



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

Luciano Modesto Nascimento Menezes

**Distribuição geográfica de *Bothrops erythromelas* AMARAL,
1923 (SERPENTES, VIPERIDAE) e os efeitos das mudanças
climáticas sobre a sua distribuição**

Petrolina

2018

LUCIANO MODESTO NASCIMENTO MENEZES

**Distribuição geográfica de *Bothrops erythromelas* AMARAL, 1923
(SERPENTES, VIPERIDAE) e os efeitos das mudanças climáticas
sobre a sua distribuição**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Patricia Avello Nicola
Co-orientador: Jéssica Viviane Amorim
Ferreira

Petrolina

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

FOLHA DE APROVAÇÃO

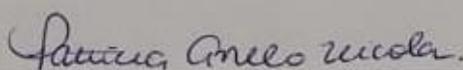
Luciano Modesto Nascimento Menezes

Distribuição geográfica de *Bothrops erythromelas* AMARAL, 1923 (SERPENTES, VIPERIDAE) e os efeitos das mudanças climáticas sobre a sua distribuição

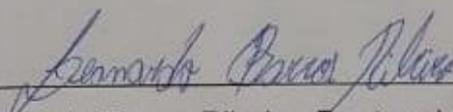
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovado em: 12 de setembro de 2018.

Banca Examinadora



(Patricia Avello Nicola, Doutorado, UNIVASF)



(Leonardo Barros Ribeiro, Doutorado, UNIVASF)



(Eivaldo Marciano Santos Silva Júnior, Doutorado, cema fauna)

M541d Menezes, Luciano Modesto Nascimento
Distribuição geográfica de *Bothrops erythromelas* AMARAL, 1923 (SERPENTES, VIPERIDAE) e os efeitos das mudanças climáticas sobre a sua distribuição / Luciano Modesto Nascimento Menezes -- Petrolina, 2018.
X, 42 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Petrolina-PE, 2018.
Orientadora: Prof^a. Dr^a.Patricia Avello Nicola

Referências.

1. Serpentes. 2. Nicho climático. 3. Caatinga. I. Título. II. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 597. 960981

Aos meus pais e irmãos, sem a base nada se sustenta.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus familiares pelo apoio, não medindo esforços para o alcance dos meus objetivos. Aos meus avós Maternos Seu Bidão “In Memoriam” (ao qual não pude me despedir) e Dona Diva pelos ensinamentos e contato com a natureza. Aos avós paternos Papi “In Memoriam” e Dona Normeide por demonstrar a importância de tradições familiares. Em especial aos meus pais Lucy e Adriano pela criação e apoio durante toda a minha vida.

Aos meus irmãos Peu e Clara pelas demonstrações práticas dos conceitos de competição durante a infância, seguido do mutualismo nos dias atuais. Aos meus primos Márcio e João, aprendemos juntos e crescemos juntos.

Aos meus amigos de infância pelos momentos de felicidades e por todas as caminhadas trilhadas em picos e cachoeiras de Jacobina-BA.

Às pessoas com quem convivi na Universidade ao longo desses anos, em especial Eduardo, Salvador, Riani, Laís e Tati.

Aos professores Luiz César e Patricia Nicola pelo espaço no Cemafauna, ao qual passei quase toda a minha graduação, responsável pelo meu crescimento não só acadêmico como pessoal. Ao professor Leonardo de Barros Ribeiro pelo ‘faro’ de trabalhos contribuindo bastante para o meu crescimento científico. À minha orientadora, muito obrigado por todas as conversas e confiança.

Um agradecimento especial para Jéssica Viviane, minha co-orientadora e uma das pessoas mais maravilhosas que tive o prazer de conhecer. Sua bondade e paciência são mais importantes que qualquer conhecimento científico.

À Fabio Miranda Walker, um irmão que a vida me deu. Muito obrigado por todas as conversas e ensinamentos, sou eternamente grato e estarei sempre a disposição. Aos grandes amigos Luis Fernando e Fabio Hirai, que estiveram sempre presentes tanto nos momentos de felicidade quanto quando mais precisei.

Ao Rastejantes Moto Clube, família também é quem você escolhe para viver.

Gratidão eterna à minha companheira Vanessa, obrigado pelo carinho e paciência principalmente nos momentos de surto. Ter alguém com quem contar diminui o peso das caminhadas, estar junto é muito mais que um ‘status’.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

O estudo de distribuição potencial de *Bothrops erythromelas* foi realizado considerando pontos de ocorrência de plataformas online de coleções científicas em conjunto com dados da coleção de herpetologia do cemafauna. Após a verificação dos dados, foram considerados 17 pontos de ocorrência sendo 25% dos dados usados para teste para modelagem. Através da análise de componentes principais (PCA) foram identificados 3 componentes que somados explicaram a distribuição da espécie com 91.62% de variância. Das 19 variáveis bioclimáticas utilizadas para o estudo, sete foram identificadas através da PCA com maior contribuição sendo que a Precipitação Anual (BIO12) alcançou de 96 a 100% de influência nos dados. O modelo gerou uma *area under the curve*, AUC = 0,97 que é considerado um excelente valor para predição geográfica. O mapa gerado através do software Maxent indicou basicamente áreas de Caatingas como áreas de potencial ocorrência da espécie para o tempo presente, com exceção de regiões da Chapa Diamantina e Chapada do Araripe que são regiões com maior regime de chuvas (acima de 1200mm). Para o futuro, houve uma ampliação da área de ocorrência potencial da espécie para o ano de 2050 podendo indicar baixos índices pluviométricos tanto para as áreas da chapadas Diamantina e do Araripe como para os limites do bioma Caatinga com o Cerrado e a Mata Atlântica, problemas que podem ser intensificados com o desmatamento dessas áreas. O estudo pode servir de alerta para conservação das áreas de transição assim como, indicador da necessidade de modelos em diversos níveis tróficos para entender as relações ecológicas e os efeitos no ecossistema em geral.

Palavras-chave: Modelagem preditiva; Nicho climático; Caatinga

ABSTRACT

The study of potential distribution of *Bothrops erythromelas* was performed considering occurrence points of online platforms from scientific collections combined with data from the cema fauna's herpetology collection. After the data cleaning, 17 points of occurrence were considered, 25% of this data was used for testing. The results of principal component analysis (PCA), identified 3 components that explained the distribution of this species with 91.62% of variance. From the 19 bioclimatic variables used for the study, seven were identified through the PCA as having the greatest contribution to its distribution, whereas the Annual Precipitation (BIO12) contributed with around 96 to 100% of influence in the data. Model generated an area under the curve $AUC = 0.97$ which is considered an excellent value to geographic prediction. The map developed using the software Maxent indicates Caatinga's ecosystem as an area of potential occurrence for this species. Regions such as Chapada Diamantina and Chapada do Araripe are exempt due to their high rainfall rates (above 1200mm). For 2050 it is expected a potential increase of occurrence areas, which might indicate low rainfall index for these region, which can be intensified due to deforestation in boundaries of Cerrado e Atlantic Forest for example. This study can contribute highlights the importance of trophic modelling as a tool for understanding ecological relationships provides and also the importance of conservation of transition areas.

Palavras-chave: Predictive modelling; Climatic niche; Caatinga

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
OBJETIVOS	11
Objetivo Geral.....	11
Objetivos Específicos	11
REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
Objeto de estudo – <i>Bothrops erythromelas</i> (AMARAL, 1923).....	12
Distribuição de espécies e modelagem preditiva.....	15
Maxent – Algoritmo de máxima entropia	17
MATERIAL E MÉTODOS.....	19
Coleta de dados.....	19
Análise dos pontos de ocorrência.....	19
Gerando um modelo de distribuição	20
RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

INTRODUÇÃO

O estudo de modelagem preditiva consiste em um processamento computacional de pontos de ocorrência de uma espécie com as variáveis ambientais, sendo capaz de construir uma ideia das condições requeridas por esse grupo (ANDERSON et al. 2003). É importante destacar que os valores resultantes das análises indicam a maior ou menor possibilidade de ocorrência da espécie.

Bothrops erythromelas é uma serpente da família Viperidae sendo a única representante desse grupo endêmica da Caatinga. A espécie é conhecida ecologicamente por apresentar hábitos noturno, terrestre, com dieta generalista e ocorrendo tanto em ambientes secos como em ambientes úmidos da Caatinga (GUEDES, 2012; MARTINS et al., 2002; RODRIGUES 2003) e apesar de ser identificada como uma espécie endêmica, pode ser encontrada em regiões de transição da Caatinga com a Mata Atlântica em áreas degradadas e bordas de matas (GUEDES, 2012).

A ocorrência de uma espécie em uma amplitude de condições específicas está relacionada diretamente as condições do ambiente, além da sua história evolutiva. Soberón (2010) disserta que a distribuição geográfica de espécies está baseada em condições bióticas, abióticas e capacidade de dispersão, sendo assim é possível mapear tanto a distribuição geográfica de dada espécie no presente quanto no futuro fundamentado em análises de mudanças climáticas em diversos cenários. Essas mudanças podem interferir nos ciclos biogeoquímicos do planeta, na distribuição e abundância de recursos biológicos e na diminuição da qualidade da água (DALE et al., 2000), efeitos que podem alterar padrões de distribuição de espécies.

O presente estudo teve as seguintes perguntas norteadoras: Qual são as áreas potenciais de distribuição atual de *Bothrops erythromelas*? A área potencial de ocorrência de *B. erythromelas* aumenta ou diminui em um cenário de mudanças climáticas? Quais são as variáveis climáticas que interferem atualmente na distribuição da espécie? Qual o papel da mudança climática na distribuição geográfica da jararaca da seca?

OBJETIVOS

Objetivo Geral

O presente estudo teve como objetivo mapear a área de distribuição potencial atual e futura de *Bothrops erythromelas*.

Objetivos Específicos

- Levantar os pontos de ocorrência da espécie em bancos de dados de coleções científicas.
- Verificar a qualidade dos registros obtidos para geração do modelo.
- Identificar as variáveis climáticas de maior impacto na distribuição da espécie.
- Gerar um modelo de distribuição potencial para *B. erythromelas* no presente.
- Gerar um modelo de distribuição potencial para *B. erythromelas* em um cenário de mudanças climáticas.
- Analisar a mudança da distribuição potencial (se houver), relacionando com as variáveis de maior impacto e seus efeitos ecológicos.

REFERENCIAL TEÓRICO

Objeto de estudo – *Bothrops erythromelas* (AMARAL, 1923)

O gênero *Bothrops* Wagler, 1824 faz parte do grupo de répteis endêmicos da região neotropical e tem como representantes as serpentes popularmente conhecidas como jararacas (ANTUNES, 2012). Em geral se tem um bom conhecimento relacionado à história natural, distribuição, taxonomia e relações de parentesco do grupo (ANDRADE; ABE, 1999; ANTUNES, 2012; ARAÚJO, 2015; ARAÚJO; MARTINS, 2007; BORGES; ARAUJO, 1998; CARRASCO et al., 2010; CISNEROS-HEREDIA et al., 2006; GRAZZIOTIN, 1999; GUEDES, 2012; GUTBERLET; CAMPBELL, 2001; HARVEY et al., 2005; HOGE, 1953; HOGE; ROMANO-HOGE, 1981; MACHADO, 2010; MACHADO et al., 2014; MARTINS et al., 2001; MARQUES et al., 2002; MENDES; SAWAYA, 2005; NASCIMENTO, 2014; SALOMÃO et al., 1999; WASKO; SASA, 2010; entre outros).

Carrasco et al. (2012) através de estudos filogenéticos, moleculares e morfológicos relacionados à ecologia corroboram tanto sobre a monofilia de *Bothrops* indicado por Wüster et al. (2002) quanto discutem o rearranjo taxonômico proposto por Fenwick et al. (2009) dos grupos de *Bothrops* conhecidos como 'jararaca' e 'neuwiedí' para o gênero *Bothropoides*. Através de uma análise mais aprofundada, Carrasco et al. (2012) concluem que houve erros na proposta de Fenwick et al. (2009) relacionados a evidências morfológicas e ecológicas propondo então o retorno desses grupos para o gênero *Bothrops*, no mesmo ano os trabalhos de Guedes e Antunes corroboram os estudos de Carrasco.

O grupo de *Bothrops* conhecido como 'neuwiedí' compreende oito espécies sendo elas *B. diporus*, *B. erythromelas*, *B. lutzi*, *B. mattogrossensis*, *B. marmoratus*, *B. neuwiedi*, *B. pauloensis* e *B. pubescens* (CASTOE; PARKINSON, 2006; FENWICK et al., 2009; MACHADO, 2010; MACHADO et al., 2014; SILVA, 2004; SILVA; RODRIGUES, 2008; WERMAN, 1992; WÜSTER et al., 2002) e a divisão do grupo está historicamente associada a distribuição geográfica das espécies (MACHADO et al., 2014). Em seu trabalho Machado et al. (2014) defende a monofilia do grupo 'neuwiedí' tendo o grupo 'jararaca' como grupo irmão,

corroborando os estudos de Wüster et al. (2002), Fenwick et al. (2009) e Carrasco et al. (2012).

Já a espécie *Bothrops erythromelas* é considerada o grupo irmão dos demais '*neuwiedii*', havendo indícios de hibridismo entre *B. erythromelas* e *B. lutzi* através de um haplótipo compartilhado (MACHADO et al., 2014). *Bothrops erythromelas* é considerada uma serpente que habita exclusivamente as áreas quentes do nordeste brasileiro da Bahia ao Ceará (ZAPPELINI, 1991). A espécie pode ser classificada como a única serpente Viperidae endêmica da Caatinga, sendo encontrada ao longo da região e podendo ocorrer também em áreas desmatadas de Floresta Atlântica nos territórios de Natal (Rio Grande do Norte), João Pessoa (Paraíba), Torre de Madalena (Pernambuco) e Itaparica (Bahia) (GUEDES, 2012). As análises de Machado et al. (2014) corroboram a ideia da *B. erythromelas* ocorrendo na Caatinga *Lato sensu* (Figura 1). A presença dessa espécie pode ser relacionada com o ambiente da seguinte forma: O bioma sendo a Caatinga; Os tipos de Caatinga classificados como as dunas paleo-quadernárias do Médio São Francisco, Caatinga Semi-árida e a Área transicional; O habitat como de área aberta; O substrato terrestre (GUEDES, 2012).

Bothrops erythromelas é conhecida como Jaraca-da-seca ou Jararaca avermelhada (Figura 2). Essa espécie é considerada noturna e terrestre, ocorrendo tanto em ambientes secos como úmidos da Caatinga (GUEDES, 2012; MARTINS et al., 2002; RODRIGUES 2003). Sua dieta é generalista se alimentando de sapos, lagartos, mamíferos e centopeias (GUEDES, 2012; MARTINS et al., 2002).

Figura 1- Distribuição geográfica dos clados do grupo *neuwiedi* obtidas através de análise molecular (A - I). Território Brasileiro dividido em biomas: AM = Floresta Amazônica, CE = Cerrado, PT = Pantanal, CA = Caatinga, AF = Floresta Atlântica e PA = Pampas. **Detalhe para a distribuição de *B. erythromelas* em A, basicamente no bioma Caatinga.** Fonte: Machado *et al.* (2014).

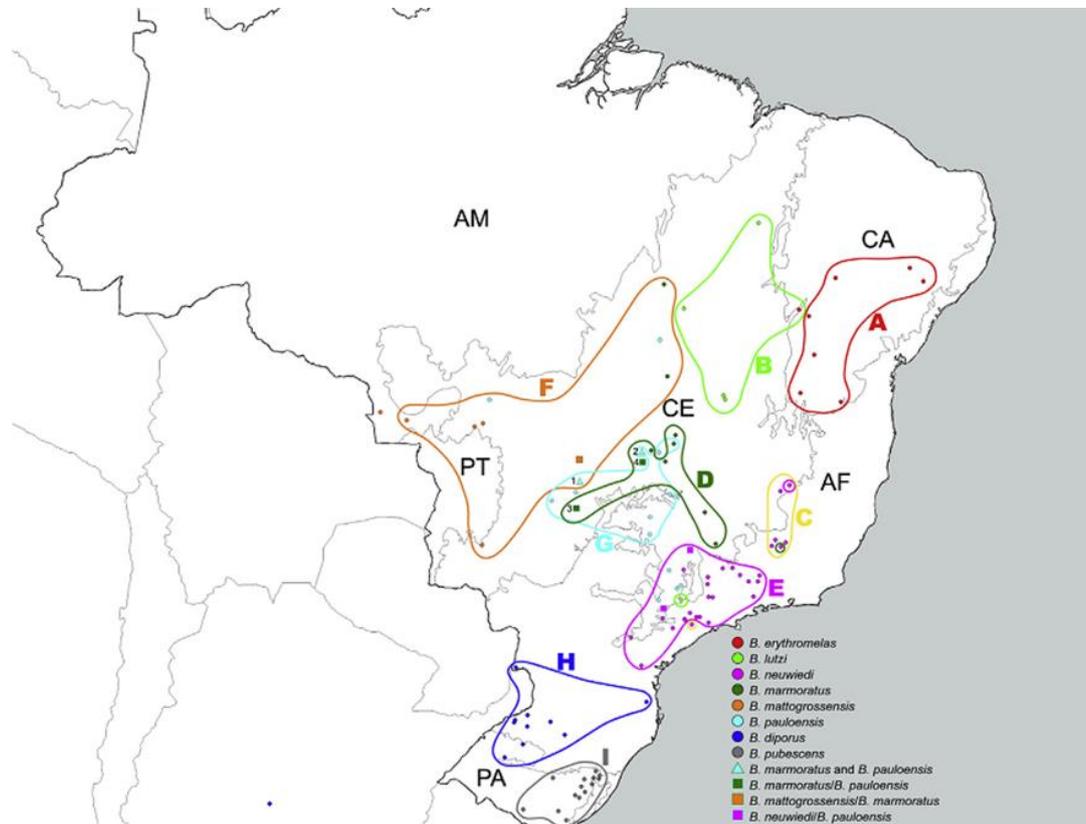


Figura 2- Espécime de *Bothrops erythromelas*, a única Viperidae endêmica da Caatinga. Foto: Paulo Mauricio Almeida Guimarães Reis



Distribuição de espécies e modelagem preditiva

Diversas alterações ambientais são relacionadas ao crescimento e dispersão de populações humanas ao longo do globo. Algumas consequências da ação antropogênica são as mudanças climáticas, nos ciclos biogeoquímicos do planeta, na distribuição e abundância de recursos biológicos e na diminuição da qualidade da água (DALE et al., 2000), refletindo diretamente na distribuição das espécies.

A distribuição geográfica de uma determinada espécie é considerada como uma expressão complexa de sua ecologia e evolução. Assim sendo, pode ser influenciada por diversos fatores, que agem em intensidades e escalas diferentes tais como, a história evolutiva da espécie e sua capacidade de dispersão (BROWN; LOMOLINO, 2006). É importante notar que os fatores climáticos exercem um grande papel quando relacionamos a distribuição de espécies em grandes escalas (WHITTAKER et al., 2001).

Há três principais fatores que determinam a distribuição geográfica de uma espécie: Condições abióticas, fatores bióticos e capacidade de dispersão, que pode ser através de locomoção própria ou através de agentes externos determinando o grau de acessibilidade da espécie à outras áreas, sendo que os dois primeiros fatores são uma função direta do nicho. (SOBERÓN, 2010). O nicho ecológico foi definido por Hutchinson (1944; 1957) como a soma de todos os fatores ambientais que influenciam um organismo, sendo que há um número de fatores limitantes para a sobrevivência de um organismo e uma amplitude de tolerância desse organismo às variáveis ambientais. Então, os fatores influenciadores somado as amplitudes de tolerância é considerada a faixa de variação de sobrevivência e reprodução de dada espécie.

É um fato que as mudanças climáticas em andamento afetarão as espécies. Para tentar mitigar e prever os efeitos dessas mudanças, diversos esforços têm sido dirigidos como questões centrais da ecologia moderna (ARAÚJO et al., 2004; ARAÚJO; RAHBK, 2006). Para barrar os efeitos da ação humana e para que se possa adquirir ou aprofundar o conhecimento existente sobre as espécies auxiliando em sua proteção e conservação, é demandado novas tecnologias e ferramentas de análise (GIANNINI et al., 2012).

A conservação das espécies, exige tanto um conhecimento detalhado sobre a história natural e biologia da espécie em questão, quanto informações sobre a sua distribuição geográfica e seu potencial de ocorrência (PAPES; GAUBERT, 2007). Além disso, as espécies consideradas especialistas em determinado habitat são consideradas mais vulneráveis a esses fatores de mudança (URBINA-CARDONA; FLORES-VILLELA, 2010), tendendo a apresentar taxas de extinção mais altas que as demais.

Um dos métodos utilizados para determinar a área de ocorrência de uma espécie é a modelagem, que consiste em um processamento computacional que combina dados de ocorrência de uma ou mais espécies com variáveis ambientais, gerando uma representação das condições requeridas daquela espécie (ANDERSON et al., 2003).

Os estudos visam estimar o quão satisfatório o local é para determinada espécie a partir das condições ambientais onde há registros de ocorrência (PHILLIPS, 2008). Em termos estatísticos, o resultado da modelagem indica áreas potenciais para a presença da espécie e não exatamente áreas onde a espécie é

encontrada (PHILLIPS, 2008). Para comprovar a ocorrência da espécie devem ser realizados trabalhos de validação de dados em campo, sendo que a distribuição geográfica de muitas espécies e os padrões de diversidade biológica são ainda relativamente desconhecidos em muitas partes do mundo (COSTA et al., 2010; LEWINSOHN; PRADO, 2002).

Nos últimos anos, houve avanços significativos nos métodos de estimação de alterações na distribuição espacial das espécies diante das mudanças climáticas (FRANKLIN, 2010), o que permite uma correlação entre ocorrência da espécie e as variáveis climáticas no espaço e tempo, podendo então estimar a distribuição geográfica das espécies após as mudanças, baseando-se no pressuposto de que as espécies estariam em equilíbrio com o ambiente (HARTLEY et al., 2010; PEARSON; DAWSON, 2003).

Maxent – Algoritmo de máxima entropia

A modelagem ecológica pode ser aplicada de diversas formas e para diversos fins (PETERSON et al., 2011) e dependendo do objetivo da análise pode ser definida como Modelo de Nicho Ecológico (MNE), Modelo de Envelope Bioclimático (MEB), Modelo de Distribuição de Espécies (MDE) e Modelo de distribuição potencial (MDP) (PETERSON; SOBERÓN, 2012). Os modelos acompanham esses objetivos e têm sido utilizados para prever as áreas adequadas para a espécie com projeções climáticas presente e futura, podendo identificar regiões e desenvolver ações preventivas de conservação (BEAUMONT et al., 2008; FRANKLIN, 2010; NORI et al., 2011) partindo-se do pressuposto de que há grandes evidências das ameaças das mudanças climáticas sobre a biodiversidade (ARAÚJO et al., 2006; LOYOLA et al., 2008; SALAZAR et al., 2007).

Os modelos podem se basear em dados de presença - *presence-only methods* ou em presença e ausência - *presence-absence methods* (FRANKLIN, 2010). O resultado da modelagem é um mapa de adequabilidade ambiental, demonstrando mapas com regiões com maior ou menor potencial para ocorrência e sobrevivência da espécie (SILLERO, 2011), o que é chamado de distribuição

geográfica modelada ou mapa preditivo (ELITH; LEATHWICK, 2009; FRANKLIN, 2010) e seu uso para estimar a distribuição potencial como no presente trabalho tem as terminologias de “Modelagem ecológica de distribuição – MDE ou Modelagem de Distribuição Potencial – MDP” (NÓBREGA; DE MARCO, 2011).

O Maxent é um algoritmo de máxima entropia sendo considerado um dos modelos mais recentes e complexos baseando-se na presença e pseudo-ausências (DINIZ FILHO, 2002; ELITH et al., 2011; PHILLIPS et al., 2006; PHILLIPS; DUDIK, 2008). Phillips et al. (2006) define o alcance da máxima entropia quando há a maior incerteza sobre a ocorrência de determinado evento, no nosso exemplo seria a maior incerteza de ocorrência da *B. erythromelas* em dadas áreas. O algoritmo gera um espectro de probabilidades de ocorrência da espécie em dado espaço geográfico a partir de variáveis ambientais que estão relacionadas aos pontos de ocorrência (DINIZ FILHO, 2002), ou seja, o modelo utiliza informações ambientais contidas em pontos de ocorrência da espécie determinando as condições ambientais favoráveis (GUISAN et al., 2002; PEARCE; FERRIER, 2000; THUILLER, 2003) e indicando quais regiões possuem dimensões ambientais similares as do ponto de ocorrência (FRANKLIN, 2010).

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta de dados

Para a coleta dos dados de ocorrência de *Bothrops erythromelas* foram utilizadas duas plataformas de informação de dados de coleções científicas sendo elas: *Specieslink* e *Global Biodiversity Information Facility* – GBIF. Em ambas bases de dados foram utilizadas as terminologias “*Bothrops erythromelas*” e “*Bothropoides erythromelas*” para pesquisa. Além dos dados das plataformas online, foram utilizados os dados da Coleção herpetológica do Centro de Conservação de Fauna da Caatinga (cemafauna). Os registros para o cemafauna foram de 2008 aos dias atuais e das coleções científicas foram de 1988 aos dias atuais.

Análise dos pontos de ocorrência

Após a coleta dos dados foi realizada uma análise dos pontos de ocorrência com o objetivo de verificação dos dados, sendo todos estes adequados ao datum SIRGAS 2000. Os registros de ocorrência de dados que indicavam dentro das zonas urbanas de municípios foram excluídos, devido à ausência de confiabilidade do ponto real de ocorrência da espécie. Havendo indivíduos com a mesma coordenada geográfica, apenas um ponto foi mantido. Além disso, animais identificados na coluna de observações das planilhas de Excel das coleções científicas como “animais perdidos”, “fichas perdidas”, “animais danificados” (de coleções que não tivemos acesso) ou “nascimentos” foram excluídos das análises.

Após a filtragem dos dados descrita acima, todos os pontos foram analisados individualmente através do QGIS 2.8.1, com imagens de satélite do Google, para diminuir o máximo possível erros metodológicos onde, os pontos de GPS que não estavam identificados como de município, mas que estavam em perímetros urbanos, foram excluídos.

Considerando que o cema fauna participa do Plano Básico Ambiental (PBA - 23) de uma obra de grande magnitude PISF (Projeto de Integração do São Francisco) e a coleção herpetológica do cema fauna tem espécimes de consultoria ambiental, há um elevado esforço amostral nessa região, se fez necessário uma metodologia diferente para verificação dos dados, seguindo as seguintes etapas:

- Houve uma análise dos registros da coleção do Cema fauna de 2008 a 2017, pelo ArcMap 10.4.1 (ESRI, 2009) sobrepondo imagens de curva de nível para identificar a altitude dos animais encontrados.

- Através das imagens de satélite no QGIS 2.8.1 foram identificadas diferentes tipos de fitofisionomias de onde os animais foram coletados. Essa análise foi realizada utilizando os mapas do Google Earth PRO, cruzando os dados da região do canal do PISF em 2007 com identificação dos diferentes tipos de vegetação (quando os animais foram coletados) com os pontos dispostos no QGIS.

- Foi delimitado um limite de 50km de distância para registros com similar fitofisionomia e altitude. Para padronização dos dados já que foi identificado que diversos registros próximos com similares características ambientais podem tendenciar os dados.

- Após o cruzamento dos pré-requisitos acima e com uma análise começando a partir do Rio São Francisco pelo canal do PISF, foram excluídos pontos com até 50km de distância que apresentavam similar fitofisionomia e altitude.

Gerando um modelo de distribuição

A partir dos ajustes nos pontos de ocorrência, diminuindo o máximo de erros de tendenciamento amostral, foi possível gerar uma tabela de três colunas para rodar no maxent no formato .csv sendo elas de espécie, latitude e longitude. As variáveis ambientais foram recortadas para o limite do Brasil e convertidas em .asc tanto para o cenário atual quanto para o futuro seguindo a plataforma de dados

Worldclim com dados de projeções climáticas do quinto relatório de avaliação do painel intergovernamental sobre mudanças climáticas (IPCC5).

Na preparação das análises, foi utilizada tanto para cenário atual quanto para o futuro, a resolução espacial de 2,5 min que é a mais adequada para escalas continentais e em nível de bioma (GIANINI et al., 2012).

Para o futuro foi utilizado o ano de 2050 com o modelo de circulação geral (GCM) CCSM4 - National Center for Atmospheric Research (EUA) por ser o mais utilizado em pesquisas científicas (DALAPICOLLA, 2016). O cenário com alta taxa de gases de efeito estufa (vias de concentração representativas, RPC 8.5; IPCC 2013) para quantificar os efeitos das mudanças climáticas sobre a espécie foi utilizado, seguindo os princípios usados no IPCC5 e também como demonstrado por Diffenbaugh e Field (2013), Peters et al. (2012) e Ribeiro et al. (2016) há uma tendência desde os anos 2000 de taxas de emissão de gases muito mais próximas da RPC8.5 do que de qualquer outra via. Foram utilizadas as 19 variáveis ambientais (Tabela 1).

Tabela 1- Variáveis ambientais usadas para o modelo, Fonte: HIJMANS, et al. 2005.

Variável	Código	Tipo
Temperatura média anual	BIO1	Bioclimática
Variação diurna media da temperatura	BIO2	Bioclimática
Isotermalidade	BIO3	Bioclimática
Temperatura Sazonal	BIO4	Bioclimática
Temperatura máxima (mês mais quente)	BIO5	Bioclimática
Temperatura mínima (mês mais frio)	BIO6	Bioclimática
Amplitude térmica anual	BIO7	Bioclimática
Temperatura média (trimestre mais úmido)	BIO8	Bioclimática
Temperatura média (trimestre mais seco)	BIO9	Bioclimática
Temperatura média (trimestre mais quente)	BIO10	Bioclimática
Temperatura média (trimestre mais frio)	BIO11	Bioclimática
Precipitação anual	BIO12	Bioclimática
Precipitação (mês mais chuvoso)	BIO13	Bioclimática
Precipitação (mês mais seco)	BIO14	Bioclimática
Precipitação sazonal	BIO15	Bioclimática
Precipitação (semestre mais chuvoso)	BIO16	Bioclimática
Precipitação (trimestre mais seco)	BIO17	Bioclimática
Precipitação (trimestre mais quente)	BIO18	Bioclimática
Precipitação (trimestre mais frio)	BIO19	Bioclimática

A versão do Maxent utilizada para modelar a distribuição da espécie foi a 3.4.1, através da técnica de máxima entropia sendo que 25% dos dados para testes como Loyola et al. (2012) para criação de um modelo logístico. A extração dos dados para a análise de componentes principais (PCA) foi realizada pelo software DIVA-GIS e a PCA foi executada através do PAST. Com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos modelos gerados diferentes estratégias podem ser utilizadas (GIANNINI et al., 2012) sendo uma delas a análises de componentes principais (PCA) enfocando diferentes algoritmos ou camadas ambientais (THUILLER, 2004; ARAÚJO et al. 2006).

É importante notar que o MAXENT é um algoritmo que consegue trabalhar com poucos pontos de ocorrência trabalhando com a qualidade dos pontos, 15 a 20 pontos são suficientes para representar a distribuição da espécie-alvo (DALAPICOLLA, 2016).

O modelo indica dados de AUC (sigla do inglês para Area Under Curve) e é possível perceber a qualidade do modelo através dos indicadores de qualidade de Metz (1986), onde os valores são classificados em excelente (0,9 – 1); bom (0,8 – 0,9); médio (0,7 – 0,8); ruim (0,6 – 0,7); muito ruim (0,5 – 0,6). O AUC mostra-se o teste mais amplamente utilizado pelos pesquisadores (GIANNINI et al., 2012). Um modelo com valor igual 1 seria considerado um “modelo perfeito” e quanto mais distante, tendendo a 0,5, a previsão seria considerada aleatória (DINIZ FILHO, 2002; GIANNINI et al., 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante as pesquisas nas plataformas online *SpeciesLink* e *GBIF* foram encontrados 406 registros de ocorrência de *Bothrops erythromelas*. Na coleção científica do cemafauna foram encontrados 101 pontos de ocorrência. A partir da análise dos registros, aqueles que não cumpriram as exigências metodológicas foram excluídos. Na análise ponto-a-ponto, algumas coordenadas que não estavam identificadas como de município foram encontrados em áreas urbanas através do QGIS 2.8.1 e também foram excluídas. O resultado da limpeza dos dados foi a presença de 17 pontos de ocorrência dispostos na *tabela 2*. Os pontos indicaram a presença de *Bothrops erythromelas* nos estados da Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba e Pernambuco. As coleções científicas dos pontos finais foram do Museu de Fauna – Coleção Herpetológica do Cemafauna Localizado em Petrolina-PE, Museu de Biologia Professor Mello Leitão em Santa Teresa-ES e Museu de Zoologia da UFBA em Salvador-BA.

Tabela 2 – Pontos de ocorrência (P) após a limpeza dos dados para *Bothrops erythromelas*.

Pontos de ocorrência	Coleção Científica	Estados	Lat	Long
P1	MFCH - Cemafauna	Pernambuco	-37.52	-8.157
P2	MFCH – Cemafauna	Pernambuco	-37.237	-8.016
P3	MFCH – Cemafauna	Pernambuco	-38.008	-8.535
P4	MFCH – Cemafauna	Pernambuco	-38.34	-8.735
P5	MFCH – Cemafauna	Pernambuco	-39.355	-8.261
P6	MFCH – Cemafauna	Pernambuco	-39.454	-8.54
P7	MFCH – Cemafauna	Pernambuco	-39.177	-8.095
P8	MFCH – Cemafauna	Paraíba	-38.568	-7.041
P9	MFCH – Cemafauna	Ceará	-38.75	-7.488
P10	MFCH – Cemafauna	Ceará	-39.077	-7.809
P11	MBML	Bahia	-41.38	-11.6833
P12	MBML	Bahia	-42.5266	-11.830278
P13	MZUFBA	Bahia	-38.3311	-9.145
P14	MZUFBA	Bahia	-42.4747	-14.0694
P15	MZUFBA	Alagoas	-37.9666	-9.4
P16	MBML	Bahia	-41.38	-11.68333
P17	MBML	Bahia	-42.5266	-11.830278

Após a seleção dos pontos de ocorrência da espécie para geração do modelo, foi realizada uma análise de componentes principais. A extração das 19 variáveis climáticas do *worldclim* (HIJMANS et al., 2005) foi somada a altitude retirada do Diva-GIS sendo esses valores relacionados aos 17 pontos de ocorrência da espécie. A PCA (Figuras 3 e 4) indicou que três componentes explicaram a variação dos dados totalizando 91.62% da variância.

Figura 3 – Análise de componentes principais indicando o componente 1 no eixo x e o componente 2 no eixo y.

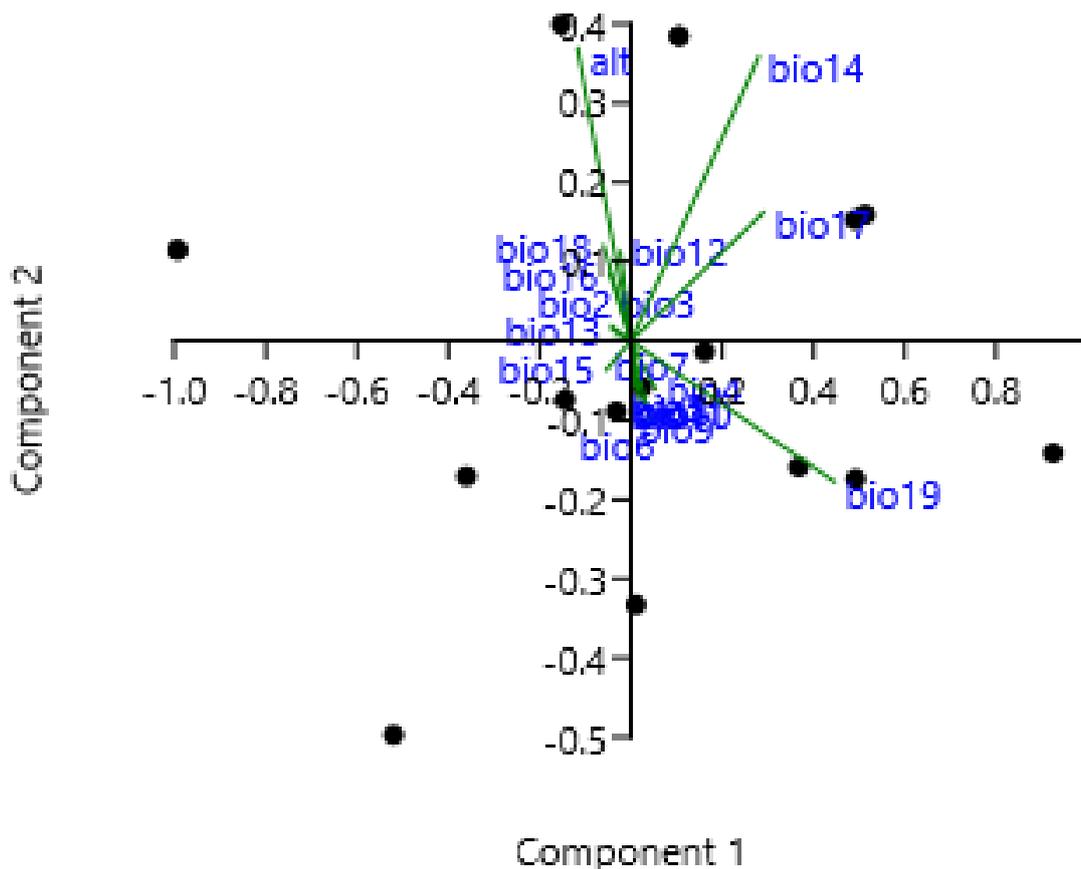
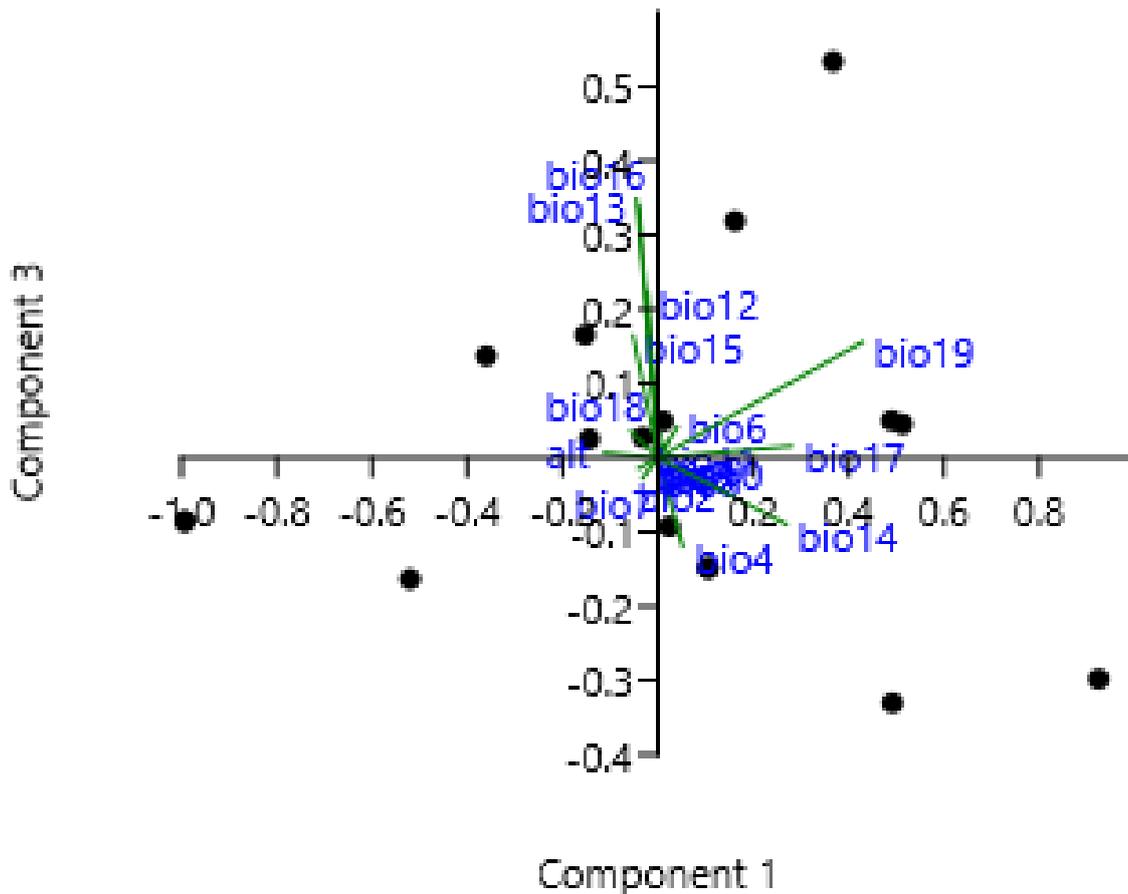


Figura 4 – Análise de componentes principais indicando o componente 1 no eixo x e o componente 3 no eixo y.



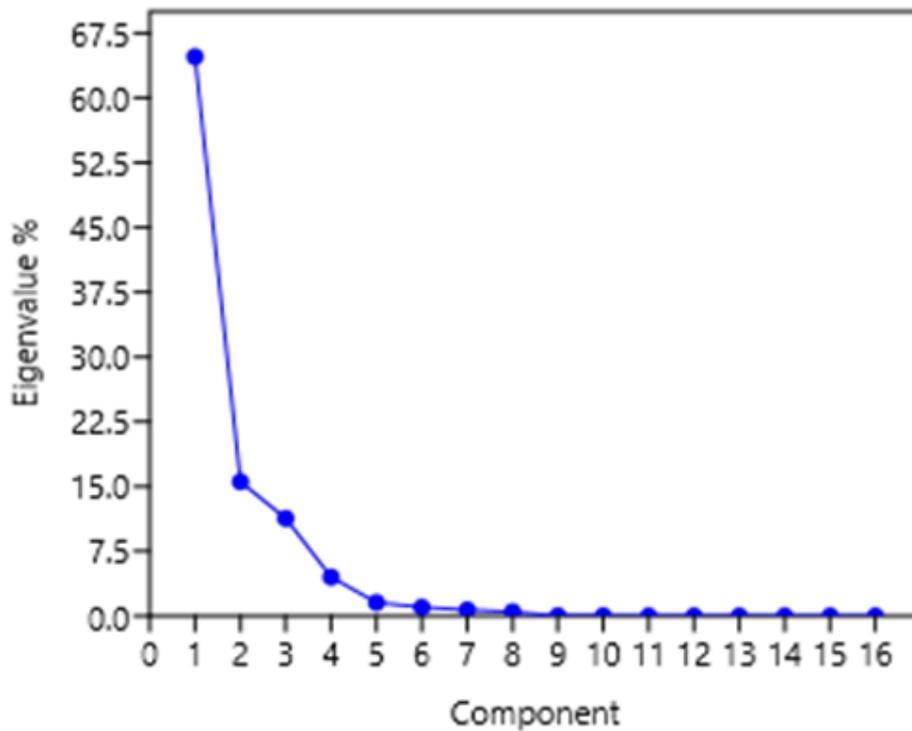
A figura 5, demonstra a análise de bastão quebrado com a influência dos componentes sobre a distribuição da espécie, sendo o componente 1 contribuindo com 64.775%, o componente 2 = 15.549% e o componente 3 = 11.303%. As variáveis que tiveram maior influência nos eixos foram a Precipitação anual (BIO12); Precipitação - mês mais chuvoso (BIO13); Precipitação - mês mais seco (BIO14); Precipitação - semestre mais chuvoso (BIO16); Precipitação - trimestre mais seco

(BIO17); Precipitação - trimestre mais frio (BIO19) e a Altitude, é importante notar que todas as variáveis estão relacionadas a precipitação, mesmo a altitude já que há influência da altitude sobre a precipitação na Caatinga (ANDRADE-LIMA, 1982; PRADO, 2003).

Tabela 3 – Variáveis ambientais e componentes principais, indicados em verde com maior contribuição.

Variáveis/Componentes principais	PC1	PC2	PC3
Alt	-0.18638	0.58714	0.010806
Bio1	0.016838	-0.091391	0.029411
Bio2	-0.067904	0.030153	-0.02362
Bio3	-0.012998	0.027034	0.022241
Bio4	0.084984	-0.096719	-0.19755
Bio5	0.0030709	-0.079664	0.01193
Bio6	0.06686	-0.16282	0.068965
Bio7	-0.054907	0.0031195	-0.045861
Bio8	0.017296	-0.087312	0.0086468
Bio9	0.031549	-0.11981	0.032424
Bio10	0.019166	-0.095996	0.022342
Bio11	0.009204	-0.091327	0.054706
Bio12	-0.036323	0.17907	0.36754
Bio13	-0.066036	0.022639	0.55945
Bio14	0.44507	0.5703	-0.14802
Bio15	-0.085714	-0.057953	0.27228
Bio16	-0.073852	0.1358	0.57661
Bio17	0.46216	0.25852	0.025979
Bio18	-0.09453	0.19189	0.058683
Bio19	0.71038	-0.28329	0.25811

Figura 5 – Demonstração de contribuição dos componentes (eixo x) e porcentagem de contribuição (eixo y), demonstrando os componentes 1, 2 e 3 como de maior contribuição para a distribuição da espécie.



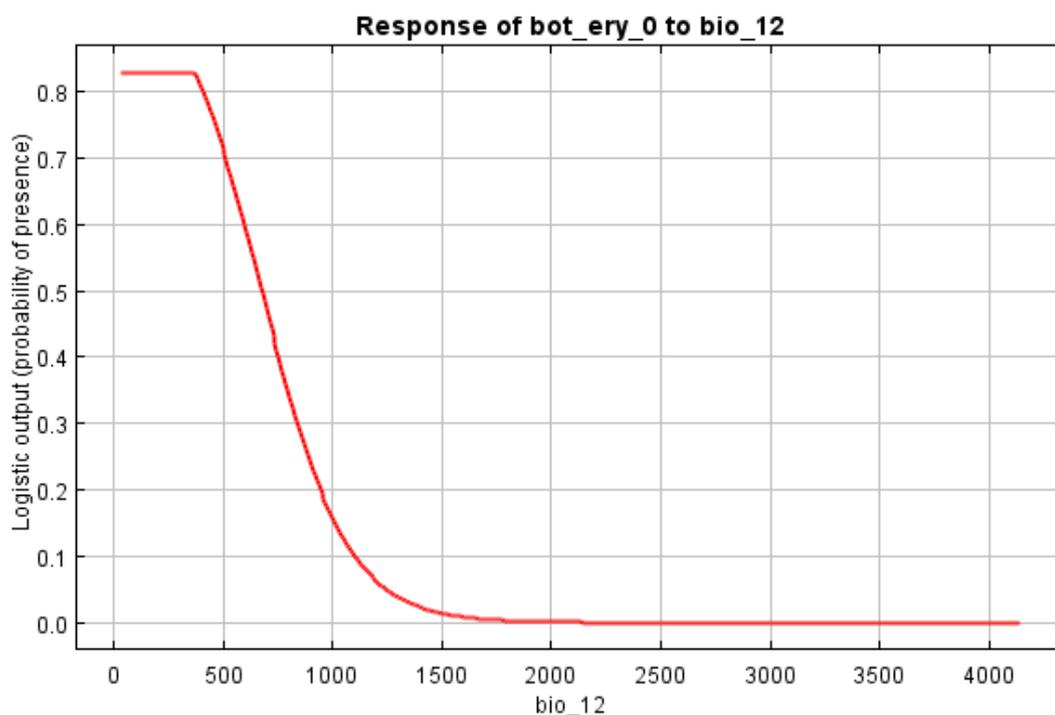
Para geração do modelo, foram utilizadas então as variáveis BIO12, BIO13, BIO14, BIO16, BIO17 e BIO19, a “altitude” foi desconsiderada para os modelos futuros por não ter contribuição direta no modelo do presente (0%) e não há indícios de variação de altitude para o ano de 2050. O modelo foi gerado em 2 testes de modelagem e ambos indicaram a variável BIO12 como a de maior contribuição, com valores de 100% em um dos testes e 98.7% no outro sendo seguida da variável BIO14 (1.3%).

As duas variáveis de maior contribuição nos modelos indicaram a Precipitação Anual (BIO12) e a Precipitação do mês mais seco (BIO14). Essas variáveis têm relação direta com o ambiente em que esses organismos são encontrados (Figura 7 para o tempo presente), a Caatinga que é amplamente

conhecido pela baixa taxa de pluviosidade e altas taxas de evapotranspiração, Sampaio (1995) e Prado (2003) colocam a precipitação média anual variando entre 240 e 1.500mm, porém menos de 750mm é recebido por metade da região sendo que em algumas regiões no centro da Caatinga se recebe menos de 500mm. Valores de Precipitação Anual similares à figura 6 demonstrando a influência da precipitação sobre a distribuição da espécie.

Além disso, as chuvas geralmente são concentradas em três meses consecutivos, apesar da alta variação anual e dos longos períodos de seca freqüentes (NIMER, 1972), sendo então caracterizada por um sistema de chuvas extremamente irregular de ano para ano, o que resulta em secas severas periódicas (KROL et al., 2001; CHIANG; KOUTAVAS, 2004).

Figura 6 – Resposta da *Bothrops erythromelas* a variável de Precipitação Anual BIO12. É possível notar que com o aumento da precipitação há uma tendência a diminuição da probabilidade de presença da espécie.



Nossos modelos geraram uma AUC = 0,971 indicando uma excelente qualidade do modelo segundo o índice de qualidade de Metz. A Figura 7 indica as áreas de maior possibilidade de ocorrência para *Bothrops erythromelas*, apontando o bioma Caatinga quase na sua totalidade como área potencial para distribuição

corroborando a afirmativa de estudo de endemismo da espécie com ampliação do mapa gerado por Machado et al (2010) (Figura 1). Sendo que, áreas de altitude como a Chapada Diamantina e Chapada do Araripe, que tem um regime de chuvas diferenciado em relação ao restante do bioma recebendo mais de 1.200mm de chuvas orográficas (ANDRADE-LIMA, 1982; PRADO, 2003), têm baixos níveis para potencial ocorrência da espécie (abaixo de 10%, Figura 6) considerando que a BIO12 é a variável de maior impacto na distribuição geográfica da espécie.

A distribuição potencial da espécie para o ano de 2050 (Figura 8) seguindo os dados bioclimáticos da CCSM4 - National Center for Atmospheric Research (EUA) e com valores de emissão de gases RPC 8.5 demonstrou um aumento na distribuição potencial da espécie. As áreas da Chapada do Araripe e Chapada Diamantina passam a ser áreas com maior potencial de ocorrência da espécie do que no tempo atual, assim como uma pequena ampliação das “áreas quentes” para as áreas de borda do Cerrado e Mata Atlântica (Figura 9).

A degradação desses ambientes de transição também pode favorecer a prevalência da *Bothrops erythromelas* sobre essas áreas, já que o aumento da temperatura e diminuição da precipitação pode torna essas áreas próximas de áreas de ocorrência dessa espécie podendo ser considerada uma boa espécie competidora sobre as espécies de florestas fechadas. Considerando que já há registros de observações de *B. erythromelas* em áreas de transição (GUEDES, 2012), o modelo de distribuição potencial futura contribui como uma das possíveis explicações para esse processo.

O aumento de áreas potenciais de ocorrência de *B. erythromelas* para o ano de 2050 considerando a precipitação como fator determinante, pode contribuir com outros estudos de modelagem meteorológica indicando o alerta para o bioma. Lima et al. (2011) descrevem o semiárido como o espaço geográfico com maior vulnerabilidade para os efeitos de desertificação no Brasil. As projeções do Painel Brasileiro de Mudanças climáticas (PBMC, 2013) indicam uma redução de 10-20% da precipitação para 2040 com um aumento de 0,5-1°C de temperatura.

Figura 7 – Mapa de distribuição de *Bothrops erythromelas* para o tempo presente, modelo gerado através do Maxent e mapa criado no ArcGis. As áreas estão separadas de acordo com os Biomas. As manchas vermelhas indicam maior possibilidade de ocorrência da espécie (valores próximos a 1) e em azul menor possibilidade (valores próximos a 0), circuladas na caatinga as UC's Chapada diamantina (mais ao sul) e do Araripe (mais ao norte).

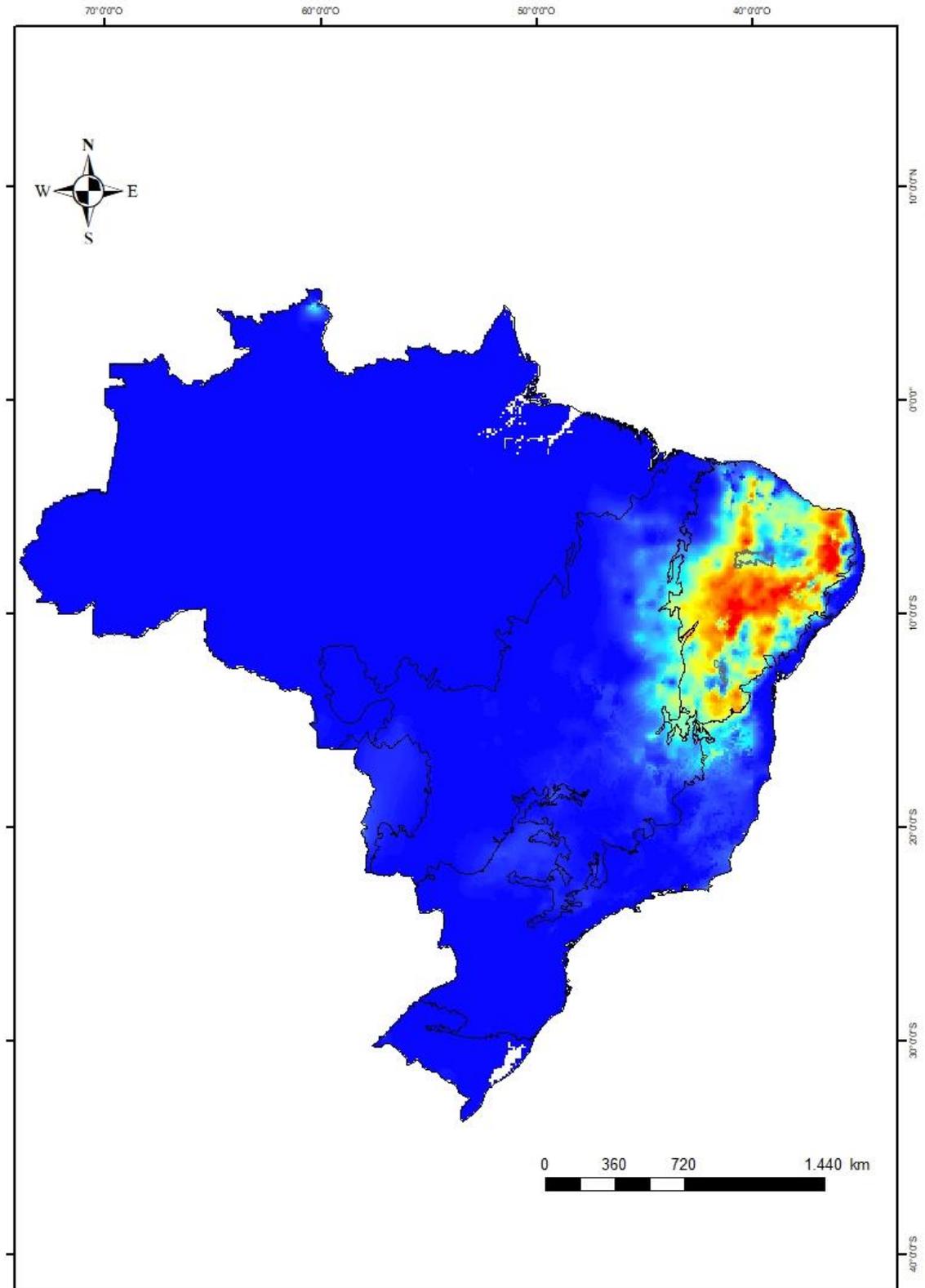


Figura 8 – Mapa de distribuição de *Bothrops erythromelas* para o tempo futuro, modelo gerado através do Maxent (CCSM4/RPC 8.5) e mapa criado no ArcGis. As áreas estão separadas de acordo com os Biomas. As manchas vermelhas indicam maior possibilidade de ocorrência da espécie (valores próximos a 1) e em azul menor possibilidade (valores próximos a 0), circunscritas na caatinga as UC's Chapada diamantina (mais ao sul) e do Araripe (mais ao norte).

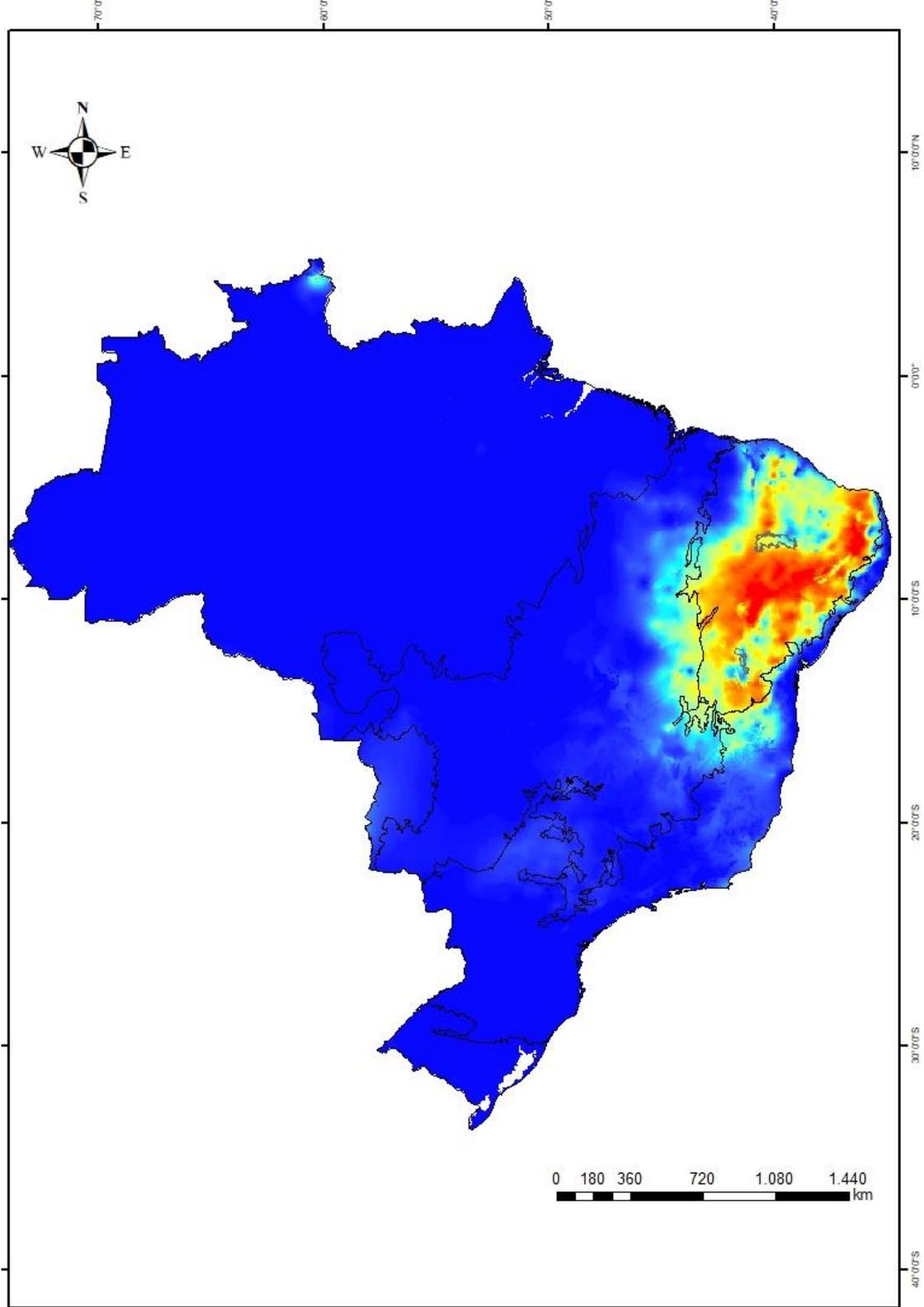
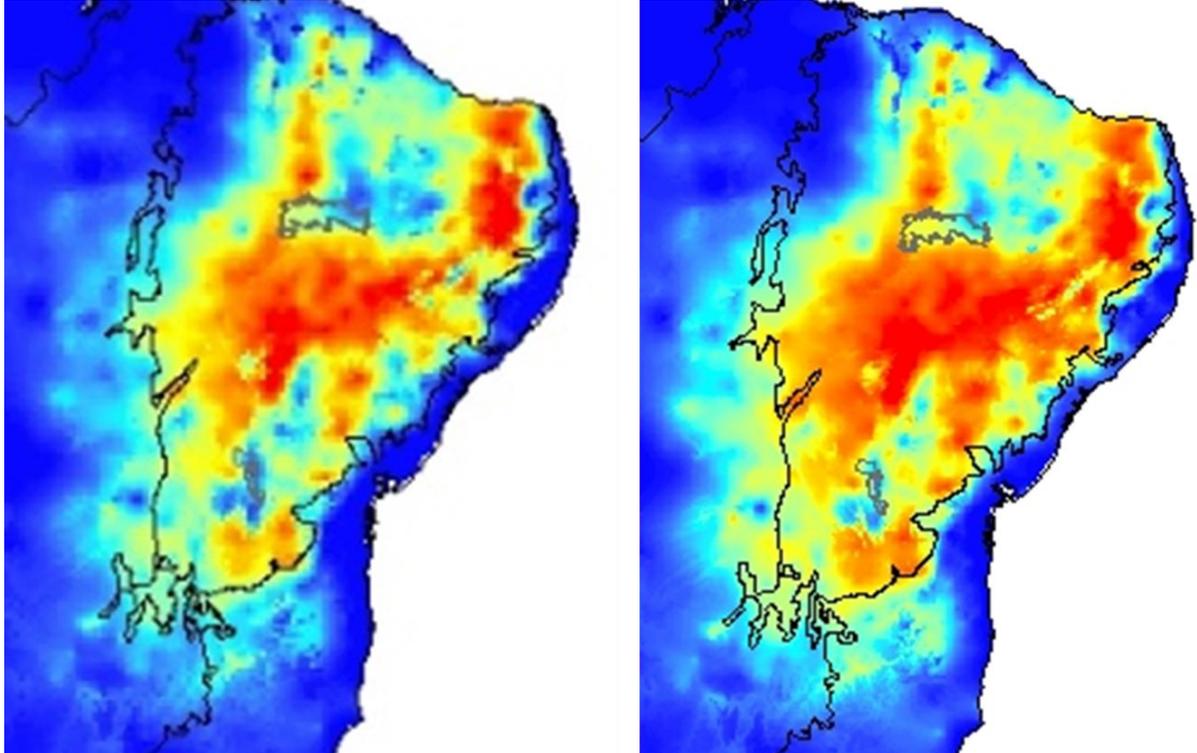


Figura 9 – Mapa ampliado das áreas de distribuição de *Bothrops erythromelas*, à esquerda para os dias atuais e à direita em um cenário de mudanças climáticas, é possível perceber as UC's Chapada do Araripe (Ao norte) e Chapada diamantina (Ao sul) e o crescimento das manchas.



Para anos posteriores (2040-2070) há uma tendência de diminuição de precipitação entre 25-35% e um aumento de 1,5-2,5°C e até 2100 os valores chegam a 40-50% de diminuição da precipitação e temperatura aumentando em torno de 3,5-4,5°C (PBMC, 2013). Cardoso e Justino (2014) corroboram esses dados indicando um aumento da evapotranspiração e temperatura para os anos de 2080 relacionada a emissão de gases do efeito estufa, com conseqüente mudança da vegetação para a Caatinga. Os autores colocam uma substituição para condições semidesérticas considerando o aumento da incidência de luz sobre o ambiente.

Considerando que a distribuição geográfica da espécie é considerada a partir de condições abióticas, bióticas e sua capacidade de distribuição (SOBERÓN, 2010), o presente modelo é capaz de explicar a distribuição potencial futura da espécie a partir das condições abióticas e sua capacidade de distribuição mas as relações ecológicas precisam ser mais aprofundadas com geração de modelos em diversos níveis tróficos. Um exemplo de condição biótica é a quantidade de recurso

disponível, a redução potencial da distribuição de espécies de Marsupiais para o Brasil (LOYOLA et al., 2012) e os efeitos negativos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade de aves e Mamíferos (JONER; LOYOLA, 2015) em conjunto com outras análises em diversos níveis tróficos pode alterar essa dinâmica de distribuição potencial, podendo ser considerados recursos limitantes para *B. erythromelas*.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A base de dados é essencial para geração de um modelo de distribuição, sendo esta diretamente dependente da qualidade dos dados de ocorrência das espécies (GIANNINI et al., 2012). O presente estudo percebeu que ainda é necessário uma melhoria na padronização dos dados e georreferenciamento, principalmente na obtenção dos dados no campo. Assim sendo, os dados das plataformas devem ser analisados com cautela evitando erros de amostragem.

A distribuição potencial da *Bothrops erythromelas* tem como principal variável a Precipitação Anual (BIO12), sendo que de 0-500mm temos o 'ótimo' para ocorrência da espécie e quanto mais aumenta os índices de precipitação, menor a chance de ocorrência da espécie com limites máximos de de 1500mm de chuva (valores próximos a 0% de probabilidade).

A distribuição potencial futura da espécie para os anos de 2050 indicam um aumento das áreas potenciais de ocorrência, indicando que haverá uma tendência a diminuição de precipitação em algumas regiões como áreas de borda da Caatinga com a Mata Atlântica e o Cerrado além das regiões de altitude como a Chapada Diamantina e a Chapada do Araripe.

É importante notar que, embora haja diversos estudos de análise dos efeitos das mudanças climáticas sobre espécies e populações, ainda não se pode concluir como esses sistemas que são considerados complexos, possam responder às mudanças (SEARS; ANGILLETTA, 2011). Trabalhos com outros organismos precisam ser realizados para uma análise mais profunda dos efeitos das mudanças climáticas no ecossistema como um todo. Todavia, o modelo de distribuição potencial realizado contribui para futuros trabalhos de modelagem, principalmente na sobreposição de mapas em diferentes níveis tróficos e relações ecológicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, R. P.; LEW, D. ; PETERSON, A. T. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. **Ecological modelling**, v. 162, n. 3, p. 211-232, 2003.
- ANDRADE, D. V.; ABE, A. S. Relationship of venom ontogeny and diet in Bothrops. **Herpetologica**, p. 200-204, 1999.
- ANDRADE-LIMA, D. de. Present-day forest refuges in northeastern Brazil. **Biological diversification in the tropics**, v. 245, p. 251, 1982.
- ANTUNES, J. F. Diversidade filogenética, distribuição geográfica e prioridades de conservação em jararacas sulamericanas (serpentes: Viperidae: Bothrops e Bothrocophias). 2012.
- ARAÚJO, D. P. de. Biogeografia histórica das jararacas do grupo Bothrops alternatus (Serpentes, Viperidae). 2015.
- ARAÚJO, M. B. et al. Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve-selection methods. **Global change biology**, v. 10, n. 9, p. 1618-1626, 2004.
- ARAÚJO, M. B.; RAHBEK, C. How does climate change affect biodiversity?. **Science**, v. 313, n. 5792, p. 1396-1397, 2006a.
- ARAÚJO, M. B.; THUILLER, W. ; PEARSON, R. G. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. **Journal of biogeography**, v. 33, n. 10, p. 1712-1728, 2006b.
- BEAUMONT, L. J.; HUGHES, L. ; PITMAN, A. J. Why is the choice of future climate scenarios for species distribution modelling important?. **Ecology letters**, v. 11, n. 11, p. 1135-1146, 2008.
- BORGES, R. C. ; ARAÚJO, A. F. B. Seleção de hábitat em duas espécies de jararacas (Bothrops moojeni Hoge e B. neuwiedi Wagler). **Rev. Bras. Biol**, v. 58, n. 4, p. 489-493, 1998.
- BROWN, J. H.; LOMOLINO, M. V. **Biogeografia**. In: Biogeografia. Funpec, 2006.
- CARDOSO, G. M. ; JUSTINO, F. Simulação dos componentes da evapotranspiração sob condições climáticas atuais e de cenários climáticos futuros de aquecimento global com o uso de modelos de clima-vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 1, p. 85-95, 2014.

CARRASCO, P. A.; LEYNAUD, G. C.; SCROCCHI, G. J. Redescription of the southernmost snake species, *Bothrops ammodytoides* (Serpentes: Viperidae: Crotalinae). **Amphibia-Reptilia**, v. 31, n. 3, p. 323-338, 2010.

CARRASCO, P. A. et al. Morphology, phylogeny and taxonomy of South American bothropoid pitvipers (Serpentes, Viperidae). **Zoologica Scripta**, v. 41, n. 2, p. 109-124, 2012.

CASTOE, T. A.; PARKINSON, C. L. Bayesian mixed models and the phylogeny of pitvipers (Viperidae: Serpentes). **Molecular phylogenetics and evolution**, v. 39, n. 1, p. 91-110, 2006.

CHIANG, J. C.; KOUTAVAS, A. Climate change: tropical flip-flop connections. **Nature**, v. 432, n. 7018, p. 684, 2004.

CISNEROS-HEREDIA, D. F.; TOUZET, J. Distribution and conservation status of *Bothrops asper* (Garman, 1884) in Ecuador. **Herpetozoa**, v. 17, n. 3/4, p. 135-141, 2004.

COSTA, G. C. et al. Sampling bias and the use of ecological niche modeling in conservation planning: a field evaluation in a biodiversity hotspot. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, n. 3, p. 883-899, 2010.

DALAPICOLLA, J. 2016. **Tutorial de modelos de distribuição de espécies: guia prático usando o MaxEnt e o ArcGIS 10**. Laboratório de Mastozoologia e Biogeografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

DALE, V. H. et al. The interplay between climate change, forests, and disturbances. **Science of the Total Environment**, v. 262, n. 3, p. 201-204, 2000.

DIFFENBAUGH, N. S.; FIELD, C. B. Changes in ecologically critical terrestrial climate conditions. **Science**, v. 341, n. 6145, p. 486-492, 2013.

DINIZ FILHO, J. A. F. Modelos ecológicos e extinção da megafauna no pleistoceno. 2002.

ELITH, J. et al. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity and distributions**, v. 17, n. 1, p. 43-57, 2011.

ELITH, J. ; LEATHWICK, J. R. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, v. 40, p. 677-697, 2009.

FENWICK, A. M. et al. Morphological and molecular evidence for phylogeny and classification of South American pitvipers, genera *Bothrops*, *Bothriopsis*, and *Bothrocophias* (Serpentes: Viperidae). **Zoological Journal of the Linnean Society**, v. 156, n. 3, p. 617-640, 2009.

FRANKLIN, J. **Mapping species distributions: spatial inference and prediction.** Cambridge University Press, 2010.

GIANNINI, T. C. et al. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Rodriguésia**, v. 63, n. 3, p. 733-749, 2012.

GRAZZIOTIN, F. G. Avaliação de variabilidade genética e estudo filogenético em serpentes do gênero *bothrops* através de marcadores de RAPD. **Salão de iniciação Científica (11.: 1999: Porto Alegre). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 1999.**, 1999.

GUEDES, T. B. Serpentes da Caatinga: Diversidade, história natural, biogeografia e conservação. 2012.

GUISAN, A. ; EDWARDS JR, T. C.; HASTIE, T. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. **Ecological modelling**, v. 157, n. 2-3, p. 89-100, 2002.

GUTBERLET, JR, R. L.; CAMPBELL, J. A. Generic recognition for a neglected lineage of South American pitvipers (Squamata: Viperidae: Crotalinae), with the description of a new species from the Colombian Chocó. **American Museum Novitates**, p. 1-16, 2001.

HARTLEY, S. ; KRUSHELNYCKY, P. D.; LESTER, P. J. Integrating physiology, population dynamics and climate to make multi-scale predictions for the spread of an invasive insect: the Argentine ant at Haleakala National Park, Hawaii. **Ecography**, v. 33, n. 1, p. 83-94, 2010.

HARVEY, M. B.; APARICIO E, J.; GONZALES A, L. Revision of the venomous snakes of Bolivia. II: the pitvipers (Serpentes: Viperidae). **Annals of Carnegie Museum**, v. 74, n. 1, p. 1-37, 2005.

HIJMANS, R. J. et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International journal of climatology**, v. 25, n. 15, p. 1965-1978, 2005.

HOGUE, A. R. Notas Herpetológicas. 1a. contribuição ao conhecimento dos ofídios do Brasil Central. **Mem Inst Butantan**, v. 24, n. 2, p. 179-214, 1952.

HOGUE, A. R.; ROMANO-HOGUE, S. A. Poisonous snakes of the world. Part I: Check list of the pit vipers Viperioidea, Viperidae, Crotalinae. **Mem. Inst. Butantan**, v. 42, n. 43, p. 179-310, 1981.

HUTCHINSON, G.E. 1944. Limnological studies in Connecticut. Part 7. A critical examination of the supposed relationship between phytoplankton periodicity and chemical changes in lake waters. **Ecology** 35: 3-26.

HUTCHINSON, G.E. 1957. Concluding remarks. **Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology** 22: 415-427.

IPCC 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia VB and PMM, editors. United Kingdom and New York, NY, USA: **Cambridge University Press**; 2013.

JONER, D. C.; LOYOLA, R.D. **Mudanças climáticas e a conservação de aves e mamíferos na Caatinga**. 2015. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Goiás.

KROL, M. S. et al. The semi-arid integrated model (SIM), a regional integrated model assessing water availability, vulnerability of ecosystems and society in NE-Brazil. **Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere**, v. 26, n. 7-8, p. 529-533, 2001.

LEWINSOHN T. M.; PRADO P. I. **Biodiversidade Brasileira: Síntese do Estado Atual do Conhecimento**. Contexto, Brasília, Brasil, 2002, 176 pp.

LOYOLA, R. D. et al. Hung out to dry: choice of priority ecoregions for conserving threatened Neotropical anurans depends on life-history traits. **PloS one**, v. 3, n. 5, p. e2120, 2008.

LOYOLA, R. D. et al. Mudanças climáticas globais e a distribuição de marsupiais no brasil. **Biologia, ecologia E conservação**, p. 487, 2012.

MACHADO, T. **Filogenia molecular das espécies de Bothrops do grupo neuwiedi (Serpentes, Viperidae)**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MACHADO, T.; SILVA, V. X.; SILVA, M. J. J. Phylogenetic relationships within Bothrops neuwiedi group (Serpentes, Squamata): Geographically highly-structured lineages, evidence of introgressive hybridization and Neogene/Quaternary diversification. **Molecular phylogenetics and evolution**, v. 71, p. 1-14, 2014.

MARQUES, O. AV; MARTINS, M.; SAZIMA, I. A new insular species of pitviper from Brazil, with comments on evolutionary biology and conservation of the Bothrops jararaca group (Serpentes, Viperidae). **Herpetologica**, v. 58, n. 3, p. 303-312, 2002.

MARTINS, M. et al. Diversity and evolution of macrohabitat use, body size and morphology in a monophyletic group of Neotropical pitvipers (Bothrops). **Journal of Zoology**, v. 254, n. 4, p. 529-538, 2001.

MARTINS, M.; MARQUES, O. AV; SAZIMA, I. Ecological and phylogenetic correlates of feeding habits in Neotropical pitvipers of the genus Bothrops. **Biology of the Vipers**, v. 307, p. 328, 2002.

MENDES, R. G. ; SAWAYA, R. Filogeografia de bothrops jararacussu: comparação da diversidade genética entre espécies da floresta ombrófila e semidecídua. **Salão**

de iniciação Científica (17.: 2005: Porto Alegre, RS). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2005., 2005.

METZ, C. E. ROC methodology in radiologic imaging. **Investigative radiology**, v. 21, n. 9, p. 720-733, 1986.

NASCIMENTO, D. S. Filogenia molecular de serpentes neotropicais do grupo *Bothrops atrox* (Linnaeus, 1758)(Viperidae: Crotalinae). 2014.

NIMER, E. Climatologia da região Nordeste do Brasil. Introdução à climatologia dinâmica. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 34, n. 1, p. 3-51, 1972.

NÓBREGA, C. C.; DE MARCO JR, P. Unprotecting the rare species: a niche-based gap analysis for odonates in a core Cerrado area. **Diversity and Distributions**, v. 17, n. 3, p. 491-505, 2011.

NORI, J. et al. Climate change and American bullfrog invasion: what could we expect in South America?. **PloS one**, v. 6, n. 10, p. e25718, 2011.

PAPES, M.; GAUBERT, P. Modelling ecological niches from low numbers of occurrences: assessment of the conservation status of poorly known viverrids (Mammalia, Carnivora) across two continents. **Diversity and distributions**, v. 13, n. 6, p. 890-902, 2007.

PBMC –Painel Brasileiro De Mudanças Climáticas; EXECUTIVO, Sumário. **Base científica das mudanças climáticas. Relatório de Avaliação Nacional**, v. 1, 2013.

PEARCE, J.; FERRIER, S. Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression. **Ecological modelling**, v. 133, n. 3, p. 225-245, 2000.

PEARSON, R. G.; DAWSON, T. P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?. **Global ecology and biogeography**, v. 12, n. 5, p. 361-371, 2003.

PETERS, G. P. et al. Rapid growth in CO₂ emissions after the 2008–2009 global financial crisis. **Nature Climate Change**, v. 2, n. 1, p. 2, 2012.

PETERSON, A. T. et al. **Ecological niches and geographic distributions (MPB-49)**. Princeton University Press, 2011.

PETERSON, A. T. ; SOBERÓN, J. Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. **Natureza & Conservação**, v. 10, n. 2, p. 102-107, 2012.

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.

PHILLIPS, S. J.; DUDÍK, M. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. **Ecography**, v. 31, n. 2, p. 161-175, 2008.

PRADO, D. E. As Caatingas da América do Sul. **Ecologia e conservação da Caatinga**, v. 2, p. 3-74, 2003.

RIBEIRO, B. R. et al. Assessing mammal exposure to climate change in the Brazilian Amazon. **PloS one**, v. 11, n. 11, p. e0165073, 2016.

RODRIGUES, M. T. Herpetofauna da Caatinga. **Ecologia e conservação da Caatinga**, v. 1, p. 181-236, 2003.

SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 9, 2007.

SALOMAO, M. G.; WÜSTER, W. ; THORPE, R. S. MtDNA phylogeny of neotropical pitvipers of the genus *Bothrops* (Squamata: Serpentes: Viperidae). Filogenia con base al ADN mitocondrial de las tobobas de fasetas neotropicales del género *Bothrops* (Squamata: Serpentes: Viperidae). **Kaupia-Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte.**, v. 8, p. 127-234, 1999.

SAMPAIO, E. S. B. Overview of the Brazilian Caatinga. **Seasonally dry tropical forests**, p. 35-63, 1995.

SEARS, M. W.; ANGILLETTA JR, M. J. Introduction to the symposium: responses of organisms to climate change: a synthetic approach to the role of thermal adaptation. **Integrative and comparative biology**, v. 51, n. 5, p. 662-665, 2011.

SILLERO, N. What does ecological modelling model? A proposed classification of ecological niche models based on their underlying methods. **Ecological Modelling**, v. 222, n. 8, p. 1343-1346, 2011.

SILVA, V. X.; RODRIGUES, M. T. Taxonomic revision of the *Bothrops neuwiedi* complex (Serpentes, Viperidae) with description of a new species. **Phyllomedusa: Journal of Herpetology**, v. 7, n. 1, p. 45-90, 2008.

SOBERÓN, J. 2010. Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. **Ecography** 33: 159-167.

THUILLER, W.. BIOMOD—optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. **Global change biology**, v. 9, n. 10, p. 1353-1362, 2003.

THUILLER, W. Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change. **Global Change Biology**, v. 10, n. 12, p. 2020-2027, 2004.

URBINA-CARDONA, J. N.; FLORES-VILLELA, O. Ecological-Niche Modeling and Prioritization of Conservation-Area Networks for Mexican Herpetofauna.

Conservation Biology, v. 24, n. 4, p. 1031-1041, Aug. 2010.

WASKO, D. K.; SASA, M. Habitat selection of the terciopelo (Serpentes: Viperidae: Bothrops asper) in a lowland rainforest in Costa Rica. **Herpetologica**, v. 66, n. 2, p. 148-158, 2010.

WERMAN, S. D. Phylogenetic relationships of Central and South American pitvipers of the genus Bothrops (sensu lato): cladistic analyses of biochemical and anatomical characters. **Biology of the Pitvipers**, p. 21-40, 1992.

WHITTAKER, R.; Willis, K. J.; Field, R. 2001. Scale and species richness: towards a general, hierarchical theory of species diversity. **Journal of Biogeography** 28:453-470.

WÜSTER, W. et al. Origins and evolution of the South American pitviper fauna: evidence from mitochondrial DNA sequence analysis. **Biology of the Vipers**, p. 111-128, 2002.

ZAPPELLINI, A. et al. Estudos bioquímico e farmacológico da peçonha de Bothrops erythromelas. 1991.