

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
CENTRO DE ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS



Dissertação

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE A
DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE *Itapotihyla langsdorffii*
(ANURA: HYLIDAE)**

Fernando da Silva Moreira

Pelotas, 2020

Fernando da Silva Moreira

Impactos das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica de *Itapotihyla langsdorffii* (ANURA: HYLIDAE)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Tirzah Moreira Siqueira

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Fabiana Gonçalves Barbosa

Pelotas, 2020

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

M835i Moreira, Fernando da Silva

Impactos das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica de *itapotihyla langsdorffii* (anura: hylidae) / Fernando da Silva Moreira ; Tirzah Moreira Siqueira, orientadora ; Fabiana Gonçalves Barbosa, coorientadora. — Pelotas, 2020.

96 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, 2020.

1. Perereca-castanhola. 2. Criticamente em perigo. 3. Modelagem de distribuição de espécie. 4. América do Sul. I. Siqueira, Tirzah Moreira, orient. II. Barbosa, Fabiana Gonçalves, coorient. III. Título.

CDD : 363.7

Elaborada por Maria Inez Figueiredo Figs Machado CRB: 10/1612

Fernando da Silva Moreira

Impactos das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica de *Itapotihyla langsdorffii* (ANURA: HYLIDAE)

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 30/01/2020

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Tirzah Moreira Siqueira – Presidente

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Fabiana Gonçalves Barbosa

Prof. Dr. Érico Kunde Corrêa – Professor do CEng/UFPel – Examinador

Prof. Dr. Tiago Schuch Lemos Venzke – Examinador externo

**Dedico este trabalho aos meus pais,
minha esposa e meu filho.**

Agradecimentos

A Deus, por ter me concedido o privilégio da vida e de construir uma família maravilhosa e realizar este grande desafio nessa jornada.

A minha esposa fiel companheira Taís Ullrich pelas horas de compreensão, esforço e dedicação com o trabalho, grande incentivadora (motivadora pelo exemplo) para que eu evolua na vida pessoal, acadêmica e profissional.

Ao meu amado e amoroso filho Theo Moreira, a melhor parte de mim, pelo carinho e mola propulsora que me faz melhorar e continuar sempre.

Aos meus pais, pela minha existência e apoio incondicional.

A minha sogra Maria Emília e ao meu sogro Pedro Luís (*in memoriam*), pelos ensinamentos, por me abrigarem no seio da família e por tantos outros valores aprendidos nesta jornada.

Ao meu mentor e aos amigos de luz que me acompanham nesta caminhada.

A minha orientadora Professora Tirzah Siqueira, por me acolher, incentivar, pela generosidade, acreditando no meu trabalho e na minha capacidade de produção.

A minha co-orientadora Professora Fabiana Barbosa, pela disponibilidade e conhecimentos transmitidos.

A duas pessoas especiais que me fizeram acreditar que era possível realizar este trabalho amigos de profissão Amanda Marcon Perin e Alessandro Romano, ambos alunos do PPG Biologia Animal da UFPEl, que mesmo à distância e com as suas atividades, me acolheram e me deram o Norte para a obtenção deste título.

Ao pesquisador Patrick Colombo, por ter ajudado na filtragem e caracterização do material, disponibilizando registros importantes para este trabalho.

Aos meus colegas, amigos e pessoas que eu nem conheço que me deram força através de preces, pensamentos e palavras de conforto e motivação nos momentos difíceis.

Ao coordenador do PPCAmb, Robson Andreazza, pelos ensinamentos, apoio e parceria nessa trajetória.

À Universidade pública, gratuita, de qualidade e socialmente referenciada, responsável por toda minha formação.

Obrigado.

Resumo

MOREIRA, Fernando da Silva. **Impactos das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica de *Itapotihyla langsdorffii* (ANURA: HYLIDAE)**. 2020. 96f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

Estudos em campo voltados para estimar a distribuição das espécies são necessários, porém muitas vezes limitados, onerosos e trabalhosos. Uma ferramenta que pode ser utilizada para minimizar estes problemas é a modelagem da distribuição de espécies (MDE), que permite estimar áreas potenciais de ocorrência atuais e futuras e que vem recebendo destaque em diversas áreas do conhecimento. Na presente pesquisa, a MDE foi utilizada para conhecer a distribuição e prever os impactos das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica da perereca-castanhola *Itapotihyla langsdorffii*, a qual possui ampla distribuição com populações que ocorrem ao longo da Mata Atlântica e zonas periféricas do bioma Cerrado. No Brasil ocorre entre os Estados do Rio Grande do Sul e Sergipe, havendo também populações isoladas descritas no nordeste da Argentina e no sudeste do Paraguai. A metodologia utilizada neste estudo foi a modelagem de distribuição de espécies, analisada através de um cenário atual (1970-2000) e três cenários distintos (RCP's 4.5.6.0 e 8.5), projetados por três MCG's (CCSM4, HADGEM2-ES e MRICGCM3) para o período futuro (média entre 2061-2080), utilizando como base os dados de ocorrência da espécie (129 registros) e as variáveis ambientais selecionadas após teste de correlação (bio1, bio2, bio4, bio12 e bio18). Os modelos foram desenvolvidos com o método de entropia máxima com o auxílio do software *MaxEnt* versão 3.4.1, utilizando-se na sua interface projeções bioclimáticas atuais e futuras. Os modelos de predição de distribuição atual e de cenários futuros obtiveram valores excelentes da área sob a curva (AUC) e a validação apontou alta precisão na qualidade dos modelos. Através dos resultados de Jackknife foram verificadas as variáveis bioclimáticas que mais contribuíram na distribuição espacial da espécie como a precipitação do trimestre mais quente (bio18) e a temperatura sazonal (bio4). Conclui-se que foi possível avaliar e constatar que as mudanças climáticas causam impactos positivos na distribuição geográfica de *Itapotihyla langsdorffii*. Isso se comprovou através das projeções futuras (cenário 6.0 do CCSM4 e HADGEM2-ES e cenário 8.5 do MRICGCM3) onde o aumento das áreas de maior probabilidade de ocorrência da espécie foram verificadas em projeções futuras (2061-2080). Os modelos futuros apontaram que as regiões climaticamente adequadas para a ocorrência de *I. langsdorffii* estão localizadas na zona costeira do litoral brasileiro, majoritariamente na faixa entre os Estados de Rio de Janeiro a Santa Catarina; bem como ao longo da região Sudeste do Brasil (SP, MG, ES e RJ), sentido litoral-continente. Por fim, a presente dissertação, para além de seus objetivos, pode contribuir para embasar decisões institucionais nos processos de criação de novas unidades de conservação, elaboração de Planos de Ação para conservação das espécies ameaçadas, dentre outras atuações possíveis.

Palavras-chave: Perereca-Castanhola. Criticamente em Perigo. Modelagem de Distribuição de Espécie. América do Sul.

Abstract

MOREIRA, Fernando da Silva. **Impacts of climate change on the geographical distribution of *Itapotihyla langsdorffii* (ANURAN: HYLIDAE)**. 2020. 96f. Dissertation (Master in Environmental Sciences) – Graduate in Environmental Sciences, Engineering Center. Federal University of Pelotas, Pelotas - RS, 2020.

Studies in the field aimed to estimate the distribution of the species are needed, but often limited, costly and laborious. One tool that can be used to minimize these problems is species distribution modelling (SDM), which allows estimating current and future areas of occurrence and that has been highlighted in several areas of knowledge. In the present research, the SDM was used to know the distribution and predict the impacts of climate change on the geographic distribution of the *Itapotihyla langsdorffii*, it has a wide distribution with populations that occur along the Atlantic Forest, and peripheral areas of the Cerrado biome. In Brazil, it occurs between the states of Rio Grande do Sul and Sergipe, there are isolated populations described in northeastern Argentina and southeast Paraguay. The methodology used in this study was the species distribution modeling, analyzed through a current scenario (1970-2000) and three distinct scenarios (RCP's 4.5.6.0 and 8.5), designed by three MCG's (CCSM4, HADGEM2-ES and MRICGCM3). for the future period (average between 2061-2080), using as basis the occurrence data of the species (129 records) and the selected environmental variables after correlation test (bio1, bio2, bio4, bio12 and bio18). The models were developed using the maximum entropy method with the aid of *MaxEnt* version 3.4.1 software, using current and future bioclimatic projections at their interface. The prediction models of current distribution and future scenarios obtained excellent values of the area under the curve (AUC) and the validation pointed to high precision in model quality. Through the Jackknife results, it was verified the bioclimatic variables that most contributed to the spatial distribution of the species, such as the warmest quarter precipitation (bio18) and the seasonal temperature (bio4). It was concluded that it was possible to evaluate and verify that climate change has a positive impact on the geographic distribution of *Itapotihyla langsdorffii*. This was verified through future projections (scenario 6.0 of CCSM4 and HADGEM2-ES and scenario 8.5 of MRICGCM3) where the increase of the areas most likely to occur were observed in future projections (2061-2080). Future models pointed out that the climatically suitable regions for the occurrence of *I. langsdorffii* are located in the coastal zone of the Brazilian coast, mainly in the range between the states of Rio de Janeiro and Santa Catarina; as well as along the Southeast region of Brazil (SP, MG, ES and RJ), coast-continent direction. Finally, the present dissertation, besides its objectives, can contribute to base institutional decisions in the processes of creation of new conservation units, elaboration of Action Plans for the conservation of threatened species, among other possible actions.

Key-words: Tree Frog Castanets. Critically Endangered. Species Distribution Modeling. South America.

Lista de Figuras

Figura 1	Forçantes que causam a liberação de (GEE's) na atmosfera).....	24
Figura 2	Modelagem com RCPs, para cenários futuros, mediante as concentrações de GEE.....	25
Figura 3	Diagrama esquemático dos processos físicos envolvidos em um MCG	26
Figura 4	Imagem de um exemplar de <i>Itapotihyla langsdorffii</i> (DUMÉRIL; BIBRON, 1841).....	32
Figura 5	Distribuição de Mata Atlântica na América do Sul.....	34
Figura 6	Diagrama de BAM (biótico, abiótico e mobilidade) representando a interação entre os fatores: bióticos (B), abióticos (A) e de mobilidade (M).....	38
Figura 7	Recorte da área de estudo (América do Sul), utilizada para as variáveis Bioclimáticas.	42
Figura 8	Representação dos 129 pontos de ocorrência (triângulos em vermelho) de <i>Itapotihyla langsdorffii</i> (Hylidae) utilizados neste estudo para MDE'e com recorte de dados entre 1970-2019.....	46
Figura 9	Configurações do software <i>MaxEnt</i> utilizadas pelo autor para rodagem dos modelos.....	49
Figura 10	Configurações do software <i>MaxEnt</i> utilizadas pelo autor para rodagem dos modelos.....	49
Figura 11	Projeção do período climático atual do modelo de distribuição de <i>Itapotihyla langsdorffii</i> (Hylidae) gerado pelo software <i>MaxEnt</i>	53

Figura 12	Representação da previsão futura do modelo de distribuição de <i>I. langsdorffii</i> gerado pelo <i>MaxEnt</i> para o cenário RCP 4.5 do MCG (CCSM4).....	55
Figura 13	Representação da previsão futura do modelo de distribuição do anuro <i>I. langsdorffii</i> gerado pelo <i>MaxEnt</i> para o cenário RCP 6.0 do MCG (CCSM4).....	57
Figura 14	Representação da previsão futura do modelo de distribuição do anuro <i>I. langsdorffii</i> gerado pelo <i>MaxEnt</i> para o cenário RCP 8.5 do MCG (CCSM4).....	59
Figura 15	Representação da previsão futura do modelo de distribuição de <i>I. langsdorffii</i> gerado pelo <i>MaxEnt</i> para o cenário RCP 4.5 do MCG (HADGEM2-ES).....	61
Figura 16	Representação da previsão futura do modelo de distribuição de <i>I. langsdorffii</i> gerado pelo <i>MaxEnt</i> para o cenário RCP 6.0 do MCG (HADGEM2-ES).....	63
Figura 17	Representação da previsão futura do modelo de distribuição do anuro <i>I. langsdorffii</i> gerado pelo <i>MaxEnt</i> para o cenário RCP 8.5 do MCG (HADGEM2-ES).....	65
Figura 18	Representação da previsão futura do modelo de distribuição do anuro <i>I. langsdorffii</i> gerado pelo <i>MaxEnt</i> para o cenário RCP 4.5 do MCG (MRICGCM3).....	68
Figura 19	Representação da previsão futura do modelo de distribuição do anuro <i>I. langsdorffii</i> gerado pelo <i>MaxEnt</i> para o cenário RCP 6.0....	70
Figura 20	Representação da previsão futura do modelo de distribuição de <i>I. langsdorffii</i> gerado pelo <i>MaxEnt</i> para o cenário RCP 8.5 do MCG (MRICGCM3).....	72

Lista de Tabelas

Tabela 1	Variáveis bioclimáticas CMIP5 obtida a partir da base <i>Worldclim</i>	43
Tabela 2	Descrição dos três MCG's utilizados para a MDE's.....	47
Tabela 3	Relação do período atual projetado e os resultados de ajuste do modelo gerado	51
Tabela 4	Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o cenário atual (1970-2000).	52
Tabela 5	Relação dos cenários projetados com resultados de ajuste do modelo.....	53
Tabela 6	Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo de distribuição de <i>I. langsdorffii</i> RCP 4.5 CCSM4	54
Tabela 7	Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo de distribuição de <i>I. langsdorffii</i> RCP 6.0 CCSM4.....	56
Tabela 8	Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo de distribuição de <i>I. langsdorffii</i> RCP 8.5 CCSM4.....	58
Tabela 9	Relação dos cenários projetados com resultados de ajuste do modelo.....	60
Tabela 10	Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo de distribuição de <i>I. langsdorffii</i> RCP 4.5 HADGEM2-ES.....	61
Tabela 11	Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo de distribuição de <i>I. langsdorffii</i> RCP 6.0 HADGEM2-ES.....	63
Tabela 12	Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo de distribuição de <i>I. langsdorffii</i> RCP 8.5 HADGEM2-ES.....	65
Tabela 13	Relação dos cenários projetados com resultados de ajuste do modelo.....	66

Tabela 14	Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo de distribuição de <i>I. langsdorffii</i> , RCP 4.5 MRICGCM3.....	67
Tabela 15	Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo de distribuição de <i>I. langsdorffii</i> RCP 6.0 MRICGCM3.....	69
Tabela 16	Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo de distribuição de <i>I. langsdorffii</i> RCP 8.5 MRICGCM3.....	71
Tabela 17	Contribuição das variáveis ambientais por RCP's e MCG's.....	77

Lista de Abreviaturas e Siglas

GEE	Gases de Efeito Estufa
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MCG	Modelo de Circulação Global
MCGAO	Modelo Acoplado de Circulação Geral Atmosfera-Oceano
MPDPE	Modelagem Preditiva de Distribuição Potencial de Espécies
RCP	Caminhos Representativos de Concentração
MNE	Modelagem do nicho ecológico
IUCN	<i>International Union for Conservation of Nature</i>
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
ONU	Organização das Nações Unidas
CO₂	Dióxido de carbono
SCM	Sistemas convectivos de meso-escala
AR	<i>Assessment Report</i>
CMIP	<i>Coupled Model Intercomparison Project</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MEB	Modelo de Envelope Bioclimático
MDE	Modelo de Distribuição de Espécies
REBIO	Reserva Biológica
CCSM4	<i>Community Climate System Model</i>
HADGEM2-ES	<i>Met Office Hadley Centre, Germany</i>
MRICGCM3	<i>Meteorological Research Institute</i>
IMPE	Instituto Nacional de Pesquisas
AUC	<i>Area under the curve</i>
QGIS	<i>Geographic Information System</i>
GBIF	<i>Global Biodiversity Information Facility</i>
KM²	Quilômetro quadrado
W/m²	Watt por metro quadrado
Lat	Latitude
MG	Minas Gerais

BA	Bahia
RJ	Rio de Janeiro
SC	Santa Catarina
SP	São Paulo
RS	Rio Grande do Sul
SE	Sergipe
ES	Espírito Santo
MS	Mato Grosso do Sul
GO	Goiás
MT	Mato Grosso
DF	Distrito Federal
AR	Argentina
BO	Bolívia
PY	Paraguay
BAM	<i>Biotic, Abiotic, Moviments</i>

Sumário

1	Introdução.....	16
1.1	Objetivo Geral	19
1.2	Objetivo Específico	20
2	Revisão de Literatura	21
2.1	Mudanças Climáticas	21
2.2	Modelos de Circulação Global ou Geral (MCGS).....	25
2.3	Impactos das Mudanças Climáticas sobre a Biodiversidade.....	28
2.4	A Família Hylidae.....	30
2.5	<i>Itapotihyla langsdorffii</i> (DUMÉRIL; BIBRON, 1841).....	31
2.6	A Mata Atlântica: um Bioma em Perigo.....	33
2.7	Modelos de Nicho Ecológico.....	36
3	Metodologia	42
3.1	Caracterização da Área de Estudo.....	42
3.2	Variáveis Ambientais	42
3.3	Dados de Ocorrência	46
3.4	Modelos Climáticos	47
3.5	Desenvolvimento dos Modelos e Validação	47
4	Resultados e Discussão.....	51
5	Considerações Finais.....	78
	Referências	80

1 Introdução

O clima da terra é determinado pela entrada de energia do sol, pela saída de energia irradiada do planeta e pelas trocas de energia entre atmosfera, terra, oceanos, gelo e seres vivos. A composição da atmosfera é muito importante, pois alguns gases e aerossóis afetam o fluxo da radiação solar (BANCO MUNDIAL, 2010).

Segundo Barry e Chorley (2013), as mudanças climáticas são consideradas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) como uma variação estatisticamente significativa no estado médio do clima ou em sua variabilidade, que persiste por um período prolongado, geralmente de décadas ou mais. As mudanças climáticas podem ser decorrentes de processos internos naturais, forçantes externas naturais, ou ainda de mudanças antropogênicas persistentes na composição atmosférica e no uso do solo.

As grandes variações na temperatura da terra vêm sendo palco de muitas discussões ao longo do tempo. Atualmente, há dois pontos de vista que divergem no assunto, cada um deles possui fortes argumentos para defender suas ideias. A primeira delas, liderada pelos pesquisadores do IPCC, defende que as mudanças climáticas acontecem principalmente por causas antropogênicas (atividades humanas). A segunda corrente é defendida na visão de alguns cientistas como James Lovelock e Lynn Margulis, em suas obras “*Modulação biológica da atmosfera da Terra*” e “*Homeostase atmosférica por e para a biosfera: a hipótese de gaia*”, ambas publicadas em 1974, os quais enfatizam que tais efeitos das mudanças climáticas são causados por fatores naturais, em que o planeta sofre ciclos de esfriamento e aquecimento, desconsiderando a ideia que o homem é capaz de alterar tais fenômenos (LOVELOCK; MARGULIS, 1974).

Diante destas incertezas, fato é que as mudanças climáticas estão próximas de se tornarem a maior ameaça à biodiversidade, onde vários sistemas ecológicos já demonstram seus efeitos (GARCIA et al., 2012). Essas alterações significativas do clima e a ocorrência de eventos climáticos extremos vêm sendo observadas há um

século, gerando impactos, afetando a distribuição geográfica de plantas e animais (GARCIA et al., 2014).

De acordo com a obra Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da *International Union for Conservation of Nature's* – IUCN (2019), atualmente existem no mundo mais de 30.000 espécies ameaçadas de extinção. Esses números representam mais de 27% de todas as espécies avaliadas (112.400) até o presente. A instituição ainda salienta que dos grupos de extrema importância ecológica, os anfíbios, é o que mais tem registros de espécies ameaçadas de extinção em relação aos demais, com uma taxa percentual de 41% de risco, assim como evidenciado em 14% de todas as aves e 25% de todos os mamíferos.

Entre as principais ameaças ao grupo dos anfíbios, observadas por diversos autores em diferentes estudos, estão: degradação, fragmentação e destruição de *habitat* (BECKER et al., 2007; LOYOLA et al., 2007), competição por recursos com espécies exóticas e invasoras (VREDENBURG, 2004; BARBOSA et al., 2012), doenças infecciosas (DASZK et al., 2003) e as mudanças climáticas (CAREY; ALEXANDER, 2003; POUNDS et al., 2006). Na avaliação de Jenkins et al. (2015) a perda de *habitat* é a ameaça mais significativa para a sobrevivência das espécies, os locais escolhidos pelos tomadores de decisões determinam quais espécies e quantos destes serão capazes de sobreviver na natureza.

De acordo com dados fornecidos por Frost (2019), existem 8.120 registros de espécies de anfíbios no mundo, divididos em três Ordens: Anura (sapos, rãs e pererecas) a maior, com 7.164 espécies descritas; Caudata (salamandras e tritões), com 742 espécies; e Gymnophiona (cobras-cegas ou cecílias), com 214 espécies reconhecidas. Neste sentido, do total descrito no planeta, 1.137 espécies catalogadas ocorrem no Brasil, representando 14% do total descrito no mundo. Este fato importante destaca o Brasil na primeira colocação, em nível mundial, em relação à riqueza de espécies, e onde também está localizada a maior diversidade da Ordem Anura, com um número atual de 1093 espécies descritas (SEGALLA et al., 2019).

Uma das características marcantes dos anfíbios é a diversidade de modos reprodutivos, sendo a maior dentre todos os vertebrados tetrápodes (POUGH, 2003; DUELLMAN; TRUEB, 1986; HADDAD; PRADO, 2005). Essa variedade do modo reprodutivo, segundo Duellmann e Trueb (1994), abrange desde espécies estritamente aquáticas (maioria) até as que são totalmente terrestres, incluindo a fase larval. Estas características adaptativas, ao longo dos anos de evolução, permitiram aos anfíbios

uma ampla distribuição geográfica, observada em cinco continentes do planeta, exceto na Antártida, ocupando os mais variados *habitats* (LOEBMAN, 2005) e para algumas espécies, até mesmo a independência de ambientes aquáticos (HADDAD; ABE, 1999).

A atividade reprodutiva dos anfíbios, em regiões sazonalmente secas, está estreitamente associada com as estações chuvosas (DUELLMAN; TRUEB, 1994). Nas regiões subtropicais e temperadas, o período reprodutivo relaciona-se principalmente com a flutuação sazonal de temperatura (KWET, AXEL; DI-BERNARDO, 1998).

No período reprodutivo, as espécies de anuros que apresentam modos dependentes de água acumulada, geralmente reúnem-se em *habitats* aquáticos para a ovipostura e para o desenvolvimento larval (BERTOLUCI; RODRIGUES, 2002). Os períodos chuvosos são os melhores para observar os anuros em reprodução, já que estes não são encontrados todos na mesma época do ano (LIMA et al., 2005).

A distribuição e a diversidade da anurofauna pode variar em relação a gradientes ecológicos e abióticos, tornando as comunidades frágeis a variações ambientais (PRADO et al., 2005). Entre os fatores abióticos destacam-se a temperatura do ar, a precipitação e o hidroperíodo. O fator temperatura é responsável por uma gama de processos fisiológicos, tais como balanço hídrico, vocalização, respostas imunológicas e metamorfose (ROME et al., 1992).

A maioria dos anuros são extremamente vulneráveis à dessecação, por isso, é evidente que sua distribuição e uso de *habitat*, esteja fortemente ligada à dependência da umidade ambiental e à disponibilidade de recursos (MCDIARMID, 1994). Com isso, os eventos de precipitação propiciam disponibilidade de água acumulada, em locais permanentes ou temporários. Como consequência, há a formação de sítios terrestres para vocalização (cântico) dos machos (LIMA et al., 2005).

No entendimento de Legault (2013), estudos de campo guiados para conservação de espécies são necessários, porém na maioria das vezes insuficientes, custam caro e demandam horas de trabalho. A modelagem preditiva de distribuição potencial de espécies, (MPDPE), é uma ferramenta que pode ser utilizada para solucionar estas questões (WISZ, 2013). O uso desta tecnologia consiste em um processamento computacional onde é possível cruzar dados de ocorrência atuais de uma ou mais espécies com variáveis ambientais (SIQUEIRA, 2005).

As variações nas características climáticas do planeta, em conjunto com outros

fatores, foram responsáveis no passado por extinções em massa e contribuíram para modelar a distribuição atual das espécies e biomas (SOBERÓN, 2007). A modelagem de espécies tem sido fundamental em trabalhos conservacionistas que necessitam de respostas rápidas para a conservação de espécies raras, endêmicas ou ameaçadas de extinção (VOSS, 2000).

Cabe destacar que prever o futuro não é tarefa fácil, mesmo que se tenha uma gama de modelos que associam a ocorrência das espécies a projeções futuras (PETERSON et al., 2011). Ainda assim, vale lembrar que modelos são geralmente construídos em uma resolução espacial grosseira e podem não captar toda a variabilidade espacial de um componente climático ao longo de um gradiente ambiental (LENOIR et al., 2013).

Entre os principais impactos observados sobre a biodiversidade, estão as mudanças na distribuição espacial, na abundância das espécies e na magnitude das respostas às variações climáticas (ARAÚJO et al., 2011; THUILLER et al., 2011; GARCIA et al., 2012). Os impactos antrópicos têm efeitos diretos e indiretos significativos na distribuição das espécies. Modelos climatológicos que englobam tais impactos estão à disposição para consulta no site (www.worldclim.org) (HIJMANS et al., 2005) e podem ser utilizados para modelagem de nicho ecológico (PETERSON et al., 2011).

Tais alterações sobre a biodiversidade têm implicações profundas para os sistemas naturais. As consequências relacionam-se, principalmente, à diminuição da aptidão da espécie, expressos em diferentes escalas e têm efeitos diretos sobre indivíduos, populações e comunidades (GARCIA et al., 2014).

Há intervenções nas diferentes escalas de organização biológicas (espécies, comunidades, genética populacional e ecossistemas) e localização espacial (*habitat*, local, regional e continental) em consequência do caráter altamente variável do clima (MARENGO, 2006; NOBRE et al., 2007; PUTTEN et al., 2010).

1.1 Objetivo geral

Avaliar se as mudanças climáticas causam impacto(s) na distribuição geográfica de *Itapotihyla langsdorffii* (DUMÉRIL; BIBRON, 1841) na América do Sul, através de um cenário atual (1970-2000) e três cenários projetados para o período futuro (média entre 2061-2080).

1.2. Objetivos específicos

- Determinar quais variáveis bioclimáticas são responsáveis por caracterizar a ocorrência climática atual de *I. langsdorffii*;
- Detectar através de três cenários climáticos de emissões de GEE (RCP's 4.5, 6.0 e 8.5), quais variáveis bioclimáticas mais influenciam na distribuição espacial de *I. langsdorffii*, a partir de três modelos circulação globais (CCSM4, MRICGCM3 e HADGEM2-ES) com projeções fornecidas para o período futuro (média entre 2061-2080);
- Indicar através das projeções futuras (média entre 2061-2080) de três diferentes cenários climáticos, (RCP 4.5), (RCP 6.0) e (RCP 8.5) se haverá aumento ou redução das áreas de distribuição espacial da espécie em comparação ao período climático atual;
- Identificar as áreas de alta, intermediária e baixa adequabilidade climática para a ocorrência de *I. langsdorffii*, visando condições climáticas futuras favoráveis para a ocupação da espécie, através da projeção de três diferentes cenários (RCP's 4.5, 6.0 e 8.5), modelados para a área de calibração continental da América do Sul.

2 Revisão de Literatura

2.1 Mudanças Climáticas

Foi a partir da chamada era pré-industrial que foram observadas e registradas novas tendências nas mudanças de temperatura. No entanto, atualmente está evidente que existe uma diferença mensurável entre a variabilidade natural do clima e a causada por forças externas (IPCC, 2014).

A *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC, 1992) define mudança climática como uma alteração no clima que é atribuída direta ou indiretamente à atividade antrópica, que altera a composição da atmosfera e que se soma à variabilidade climática natural observada ao longo de escalas temporais comparáveis. Segundo o IPCC (2001), mudança climática se refere a uma variação estatisticamente significativa nas condições médias do clima ou em sua variabilidade, que persiste por um longo período, geralmente por décadas ou período maior. Os efeitos dessa variabilidade podem ser oriundos de causas naturais do sistema climático ou antropogênicas persistentes na composição atmosférica, e no uso e na ocupação da terra.

O clima é controlado por diversos fatores, chamados agentes climáticos, que podem ser naturais ou originados de atividades humanas (antrópicos). Um certo agente climático pode contribuir para aquecer o planeta, como por exemplo os gases de efeito estufa (GEE) antrópicos, enquanto outro agente pode tender a resfriá-lo, como as nuvens (PBMC, 2014).

A variabilidade climática é definida pelo IPCC (2007), através de medidas de flutuações no estado médio e outras estatísticas, tais como o desvio padrão, extremos e forma da distribuição de frequência de determinados elementos climáticos em todas as escalas espaciais e temporais. Essas variações estão associadas a processos internos naturais do sistema climático, variações nas forças naturais ou antropogênicas (IPCC, 2014). A diferença entre mudança e variabilidade depende da estrutura temporal na qual se consideram as estatísticas climáticas.

Os termos mudanças climáticas, gases de efeito estufa e aquecimento global são assuntos cada vez mais presentes e discutidos pela sociedade contemporânea. Apresentam complexidade e caráter multidisciplinar, pois profissionais de diversas áreas contribuem com a interpretação dos dados científicos. Na concepção de Melo (2015), o maior obstáculo de conservação ambiental deste século consiste em adaptar-se às mudanças climáticas e desenvolver meios de minimizar seus efeitos.

A preocupação mundial com o assunto “aquecimento global” começou a ganhar força no ano de 1988, quando foi criado o órgão internacional para concentrar os mais relevantes estudos sobre o clima e mudanças climáticas, conhecido como Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Esta entidade internacional não produz pesquisa original, mas elabora relatórios com participação aberta a todos os países membros da ONU (195 países membros).

Fundado em 1988, através da junção da Organização Mundial de Meteorologia e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, o IPCC é entidade internacional que reúne os principais cientistas de diversas áreas de conhecimento relacionados ao clima, objetivando a busca de avaliações referentes a todos os aspectos que dizem respeito às mudanças climáticas e seus impactos, com a finalidade de elaborar estratégias de mitigação realistas. De tempo em tempo os pesquisadores do IPCC elaboram Relatórios de Avaliação (*Assessment Report* ou *AR*). Até agora já foram publicados cinco relatórios: o AR1 (1990), o AR2 (1995), o AR3 (2001), o AR4 no ano de 2007 e o mais recente AR5 em 2014, com o objetivo de colaborar no planejamento e na tomada de decisões pelos governantes. Estes textos subsidiam os trabalhos da Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudança do Clima, bem como, negociações internacionais para se estabilizar, em níveis seguros, a concentração atmosférica dos GEE (RIBEIRO; GAMBA 2013).

No intuito de colaborar com as pesquisas sobre mudanças climáticas, foram desenvolvidos diferentes cenários climáticos, os quais têm por objetivo representar o futuro climático, descrevendo como isso ocorrerá e modificará em decorrência de uma determinada alteração da composição da atmosfera, resultante das atividades humanas (KIEHL; GENT, 2004), os quais serão apresentados a seguir.

O RCP 2.6 é um cenário (otimista) de mitigação, indicando uma trajetória de Força radioativa que atinge um pico 3 W/m^2 em meados de 2030, declinando posteriormente, atingindo uma constância na emissão de gases de efeito estufa a partir do ano de 2100. Esse modelo prevê um desenvolvimento médio da população,

mudança na demanda de energia elétrica e de combustíveis, possivelmente impulsionados pelos altos custos, substituição de combustíveis e escassez de recursos. Também inclui a mudança do uso da terra pela demanda por alimentos, madeira, biocombustível e mudanças no clima (mudança na temperatura média global em aproximadamente 4°C em 2100) (VUUREN et al., 2011b).

O cenário RCP 4.5 é um cenário (intermediário) de longo prazo, cuja força radioativa se estabiliza em 4,5 W/m² não excedendo esse valor a partir do ano de 2100, devido a uma gama de tecnologias e estratégias para reduzir as emissões dos GEE. Essa redução visa à minimização de custos, onde todas as nações diminuem simultaneamente as emissões de poluentes na atmosfera, mediadas por um preço mundial comum de emissão. O nível de poluição, uso da terra, combustíveis fósseis será controlado em todos os países (THOMSON et al., 2011).

O cenário RCP 6.0 é um cenário de estabilização, em que o forçamento radiativo de 6,0 W/m² total é estabilizado após 2100, pelo emprego de uma gama de tecnologias e estratégias para reduzir as emissões de GEE (FUJINO et al., 2006; HIJIOKA et al., 2008).

O cenário RCP 8.5 representa um cenário de base pessimista, há elevada emissão de GEE que aumentam consideravelmente ao longo do tempo atingindo um nível de 8,5 W/m² até o fim do século. O nível do uso da terra na agricultura e pasto subirá possivelmente impulsionado pelo crescimento populacional elevado, estimado em 12 bilhões em 2100. O crescimento da renda per capita nacional e regional é lento, e a taxa do desenvolvimento da tecnologia será menor, já o uso do petróleo será constante, evidenciando uma forte dependência no uso de combustíveis fósseis (RIAHI et al., 2011).

A temperatura da superfície da Terra varia ao longo do tempo (BRACONNOT et al., 2012). Porém, o quinto e último relatório de avaliação (AR5) emitido pelo IPCC, salienta o aumento da influência humana sobre o sistema climático. O documento destaca que é muito provável que mais da metade do aumento observado na temperatura média da superfície da terra durante os anos de 1951 a 2010 tiveram como causa a elevação das concentrações de GEE, oriundas das atividades antropogênicas aliadas a forçantes climatológicas (Figura 1) (IPCC, 2014). Mais de 97% dos estudos sobre clima, indicam que a maior razão do aumento da temperatura média global é a emissão de GEE, como o dióxido de carbono (CO₂) (ICLEI, 2016).



Figura 1 – Forçantes que causam a liberação de (GEE's) na atmosfera.
 Fonte: BARRY; CHORLEY, 2013.

Na visão de Alexander (2010), os modelos usados pelo IPCC são muito sensíveis ao CO₂, resultando em um aquecimento superestimado da superfície da Terra. Além disso, o autor admite que o planeta está aquecendo, porém destaca que o CO₂ não é o principal causador. Considera ainda, que o planeta passa por um período de resfriamento global, onde a partir de 2002, os termômetros globais estariam registrando uma diminuição nas temperaturas, tendência que permaneceria para as próximas três décadas. Apesar das incertezas referentes à influência humana no clima, a grande maioria dos pesquisadores tem demonstrado em estudos que nas últimas décadas a atmosfera tem, de fato, sofrido um processo de variabilidade climática, com maior tendência de aquecimento (SILVA, 2017).

Em que pese as incertezas sobre a causa para variação do clima, o último relatório do IPCC (AR5) divulgou, com uma probabilidade de mais de 95% de intervalo de confiança, que as mudanças nas temperaturas globais estão sendo ocasionadas por atividades humanas (Figura 2). O estudo salienta que os combustíveis fósseis continuam sendo os grandes vilões das mudanças climáticas atuais. Por exemplo, o CO₂ é fonte de 76% das emissões de GEE, e somente dez países computam mais de 70% das emissões mundiais. Na teoria, isso indica que os modelos de desenvolvimento energético e de produção precisam ser debatidos por toda a sociedade. O relatório ainda afirma que, para manter o aumento médio da temperatura abaixo de 2°C até o ano de 2100, serão necessárias grandes mudanças na matriz

energética dos países, com reduções significativas nas emissões de GEE nas próximas décadas (IPCC, 2014).

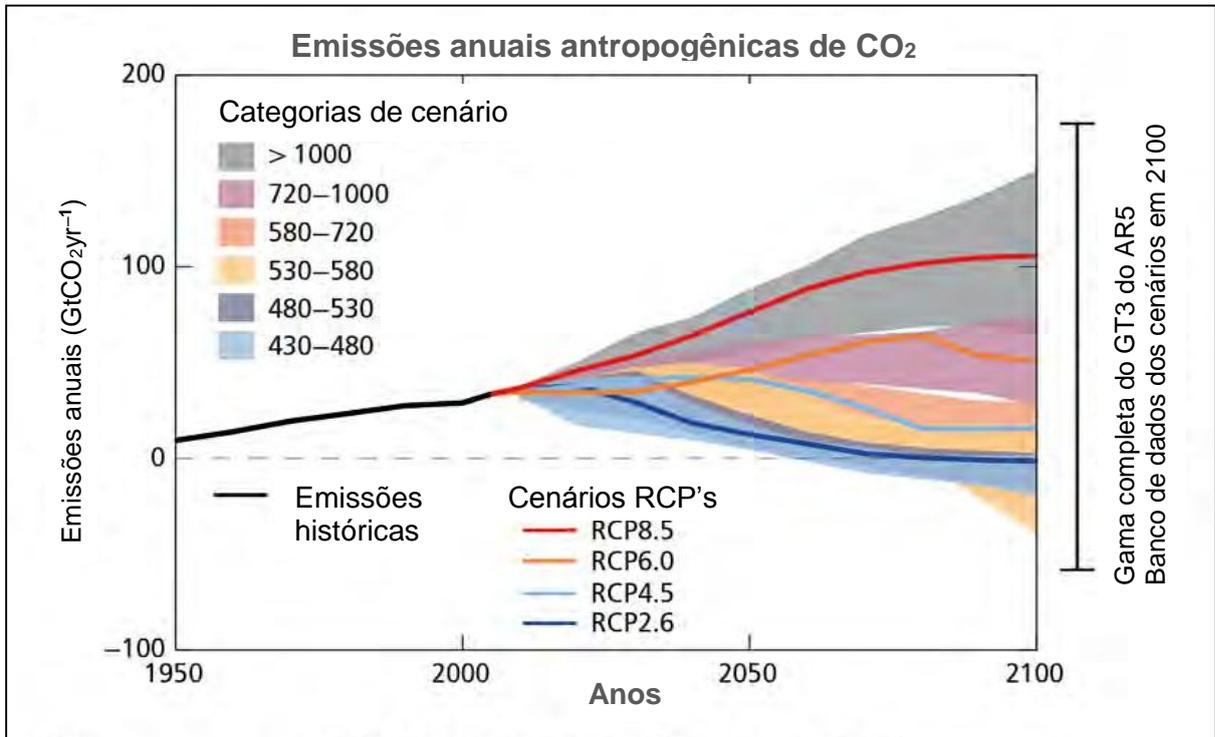


Figura 2 - Modelagem com RCPs, para cenários futuros, mediante as concentrações de GEE.
Fonte: BARRY; CHORLEY, 2013.

De acordo com o estudo elaborado por Junior-Marcos et al. (2018), os modelos do AR5 apontam para diferentes impactos de acordo com as regiões do Brasil, indicando divergências quanto ao futuro da precipitação. Contudo todos consentem quanto ao aumento de temperatura e evapotranspiração potencial em todo território nacional, com maior possibilidade de aumento das regiões com climas úmidos no Sul e no Sudeste, porém nesta região existe divergência quanto às projeções climáticas futuras. Na região Nordeste há uma sinalização de aumento das zonas com clima árido, enquanto no Norte e no Centro-Oeste há uma sinalização de aumento das zonas semiáridas.

2.2 Modelos de Circulação Global ou Geral (MCGs)

Ainda que as causas do aquecimento global e suas consequências sejam conhecidas, é complexo reconhecer as incertezas sobre as projeções futuras e aceitá-las como seguras em um processo de tomada de decisão.

Os modelos climatológicos são constituídos por um conjunto de equações matemáticas desenvolvidas com base em conhecimentos da física, química e biologia, com a finalidade de reproduzir o sistema climático da Terra (GOOSSE et al., 2010). Segundo a descrição realizada pelo IPCC (2014), os modelos climáticos são programas de computador muito sofisticados que simulam o sistema climático e suas complexas relações entre a atmosfera, oceano, superfície terrestre, neve, gelo e o ecossistema global, além de uma variedade de processos químicos e biológicos. Nos MCGs por exemplo, o sistema climático é descrito por princípios físicos, químicos e biológicos através de uma série de equações.

Os modelos buscam representar os seguintes componentes do sistema climático: atmosfera (gases), criosfera (gelo), hidrosfera (água líquida), litosfera (superfície da terra) e a biosfera (seres vivos), além da interação entre eles, realizada através de um mecanismo de intercomunicação entre os componentes do modelo (DONNER; LARGE 2008; GOOSSE et al., 2010; IPCC, 2007). Para Sampaio e Dias (2014), os MCG's consideram parâmetros de interações entre os inúmeros componentes do sistema climático e levam em conta as interações entre fontes naturais e antropogênicas de GEE's.

Na Figura 3 é possível visualizar os processos físicos envolvidos em um Modelo de Circulação Global.

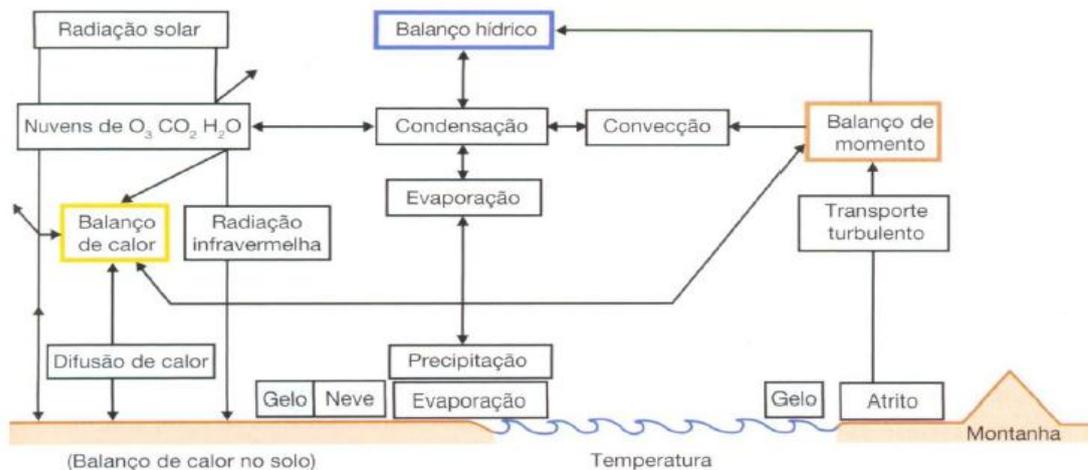


Figura 3 - Diagrama esquemático dos processos físicos envolvidos em um MCG.
Fonte: BARRY; CHORLEY, 2013.

De acordo com Barry e Chorley (2013), nos MCGs, os processos dinâmicos e termodinâmicos, assim como as trocas de radiação e massa são modelados a partir de cinco conjuntos básicos de equações:

- 1) Equações tridimensionais do movimento, ou seja, conservação de momento;
- 2) Equação da continuidade (conservação de massa ou equação hidrodinâmica);
- 3) Equação da continuidade para vapor de água atmosférico (conservação do vapor de água);
- 4) Equação de conservação de energia, ou seja, equação termodinâmica derivada da primeira lei da termodinâmica;
- 5) Equação de estado para a atmosfera.

Outros processos também se tornam necessários na resolução destas equações de forma acoplada, como a transferência radiativa através da atmosfera, atrito superficial, transferências de energia e os processos de formação de nuvens.

Os Modelos Acoplados de Circulação Geral Atmosfera-Oceano (MCGAO) foram os modelos climatológicos padrões utilizados no AR4. Sua função principal era entender a dinâmica das componentes físicas do sistema climático (atmosfera, superfície, oceano e gelo marinho) e elaborar projeções baseadas nas forçantes de GEE e aerossóis no futuro (PITA, 2011). Já o AR5 avaliou Modelos do Sistema Terrestre (MST), os quais representam o avanço dos MCGAOs, pois incluem a representação de vários ciclos biogeoquímicos (FLATO et al., 2013). Destacam Chou et al. (2014), que os MCGs utilizados no AR5 apresentaram melhorias em relação às simulações de precipitação avaliadas sobre áreas tropicais.

Com a intenção de gerar confiança ao desempenho dos MCGs, um projeto denominado *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP), foi elaborado para fazer avaliação e comparação entre diversos modelos utilizados pelos centros de pesquisas climáticas ao redor do planeta. Essa ferramenta de avaliação utiliza procedimentos comuns e dados padronizados, como por exemplo, a temperatura na superfície do mar, proporcionando assim uma ampla documentação sobre a estrutura dos modelos e os detalhes de suas parametrizações. Assim sendo, os modelos citados pelo quarto relatório de avaliação de mudanças climáticas do IPCC, o AR4, foram avaliados e comparados a partir do CMIP Fase 3 (CMIP3), enquanto que os modelos do quinto relatório (AR5) basearam-se na comparação e avaliação ao CMIP fase 5 (CMIP5).

Segundo destaca Chou et al. (2014), embora os MCGs sejam a principal

ferramenta utilizada para fornecer informações sobre as mudanças climáticas utilizando diferentes cenários de emissões de GEE, estes apresentam suas previsões em grades, ou seja, latitude, longitude, altitude e tempo, com resoluções de tamanhos variados, dependendo da necessidade de obtenção dos dados. Dessa forma, os recursos locais, como topografia, uso do solo, bacias hidrográficas e zonas costeiras não podem ser incluídos nas simulações realizadas por esses MCGs.

Um melhor entendimento na aplicação dos modelos climáticos pelos usuários pode auxiliar nas escolhas metodológicas, bem como o reconhecimento das limitações, evitando que os usuários escolham os modelos por questões subjetivas ou de conveniências relacionadas à facilidade de acesso aos dados, formato familiar, resolução adequada, entre outros (BARSUGLI et al., 2013).

Segundo Chou e Nobre (2014), o único MCG desenvolvido na América do Sul é o do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Conforme Figueroa (2016), o MCG denominado *Brazilian Global Atmospheric Model* (BAM) é o primeiro modelo atmosférico desenvolvido no Brasil, em operação no CPTEC desde janeiro de 2016, e apresenta resolução espacial de 20 km. Porém, para clima e mudanças climáticas ainda precisa se ajustar, validar e acoplar-se ao modelo oceânico.

2.3 Impactos das Mudanças Climáticas sobre a Biodiversidade

As mudanças climáticas estão sendo relatadas como uma das causas de perda da biodiversidade (ROOT et al., 2003; ARAUJO et al., 2004, BELLARD et al., 2012). Os reflexos dessas alterações no clima podem ser observados, por exemplo, no padrão de distribuição geográfica das espécies, visto que as mudanças climáticas podem causar distanciamento das espécies de seus locais atuais, uma vez que espécies se deslocam para áreas ambientalmente adequadas ao longo do tempo (ELDREDGE et al., 2005). Tal fato já foi demonstrado para espécies da Mata Atlântica (COLOMBO; JOLY, 2010), listando este bioma como um dos 3 *hotspots* mundiais mais vulneráveis às mudanças climáticas (BELLARD et al., 2014).

A distribuição geográfica das espécies está associada ao clima (BERNARDE; MACHADO, 2001). Entre os efeitos previstos pelo IPCC, encontram-se mudanças nos padrões de precipitação e aumento na temperatura média global. Esses fatores têm um impacto maior sobre espécies ameaçadas, raras ou endêmicas (TORANZA;

MANEYRO, 2013). Tais mudanças climáticas têm promovido alterações significativas nos padrões de distribuição e fenologia de diversas espécies, assim como na estrutura e funcionamento dos ecossistemas (PARMESAN, 2006). Estas têm sido apresentadas como uma das principais ameaças para a biodiversidade (PEREIRA et al., 2010).

Embora haja influência direta da temperatura na sobrevivência dos animais ectotérmicos, como répteis e anfíbios, estudos têm demonstrado que mudanças nos padrões de distribuição e vulnerabilidade de certas espécies estão relacionadas com o aumento da temperatura global (THOMAS et al., 2004; STUART et al., 2004; POUNDS et al., 2006; SODHI et al., 2008; LAWLER et al., 2009; BLAUSTEIN et al., 2010; DUARTE et al., 2012; LOYOLA et al., 2013; PIMM et al., 2014; NORI et al., 2015). A avaliação da tolerância térmica das espécies é essencial para estimar sua vulnerabilidade ao aquecimento (TEJEDO et al., 2012). Além disso, o grupo é considerado como bioindicador de qualidade ambiental pela sua sensibilidade (OLIVEIRA; CASEMIRO, 2013).

As extinções de anfíbios e as reduções da população estão sendo registradas ao longo dos anos (STUART et al., 2004; POUNDS et al., 2006). Declínios e extinções nas comunidades de anfíbios foram relatados por Eterovick et al. (2005) para áreas intocadas do Brasil e essas reduções ocorreram antes da descoberta do fungo quitridiomycose.

Nos últimos trinta anos houve um crescimento na compreensão das respostas fisiológicas dos anfíbios frente às previsões de aquecimento global (HUTCHISON; DUPRÉ, 1992; ROME et al., 1992; ULTSCH et al., 1999; WELLS, 2007; NAVAS et al., 2008; KATZENBERGER, 2009; DUARTE et al., 2012; SANABRIA et al., 2012; SANABRIA et al., 2013; SIMON et al., 2015; GUTIÉRREZ-PESQUERA et al., 2016). No Brasil, os estudos sobre o tema têm se desenvolvido nos últimos anos (TEJEDO et al., 2012; SIMON et al., 2015; GUTIÉRREZ-PESQUERA et al., 2016), no entanto, há uma porção considerável de espécies a serem analisadas.

Essas mudanças climáticas vêm afetando não somente a biodiversidade global, como também geram inquietação quanto às ameaças populacionais no grupo dos anfíbios (ALFORD, 2011; HOF et al., 2011). As espécies desse grupo representam, nos dias atuais, a maior parte da biodiversidade e suas funções fisiológicas estão diretamente atreladas à temperatura do ambiente, tornando-os mais sensíveis às mudanças climáticas (ANGILLETTA et al., 2002; HUEY et al., 2009).

A temperatura é um fator determinante para a sobrevivência dos organismos,

pois influencia os processos fisiológicos vitais (HOCHACHKA; SOMERO, 2002), sendo capaz de interferir nos padrões de abundância e distribuição das espécies, assim como em suas diversas interações ecológicas (TITON et al., 2010; PRATES et al., 2013). Neste sentido, sob condições térmicas ideais, os organismos desempenham com maior eficiência suas funções biológicas (ANGILLETTA et al., 2002; SCHULTE et al., 2011).

A distribuição geográfica das espécies de anfíbios é amplamente afetada pela temperatura (ARAÚJO et al., 2006, CASSEMIRO et al., 2012). Na Mata Atlântica, acredita-se que alterações climáticas futuras resultarão em mudanças nas áreas de distribuição de muitas espécies de anfíbios (HADDAD et al., 2008). Embora alguns estudos apontem que o aumento da temperatura não tem influência direta sobre a letalidade em anfíbios, isso poderá mudar futuramente, caso as previsões de aquecimento estejam corretas (DUARTE et al., 2012; GUTIÉRREZ-PESQUERA et al., 2016). Além disso, os anfíbios são excelentes organismos-modelo, pois são ecologicamente especializados, de baixa capacidade de dispersão e sensíveis a alterações ambientais, o que os torna interessante para estudos de biogeografia e modelos de distribuição de espécie MDE (DUELLMAN; TRUEB, 1994).

2.4 Família Hylidae

As espécies desta família apresentam elevada variedade morfológica, modos reprodutivos diversificados e ampla distribuição geográfica (POMBAL; HADDAD, 2007; FAIVOVICH et al., 2005; BERNARDE, 2012; HADDAD et al., 2013), o que as torna bons modelos para estudos comportamentais e sociais. As espécies que constituem esse agrupamento normalmente apresentam adaptações ao estilo de vida arbóreo, incluindo olhos voltados para frente e discos adesivos nos dedos, que conferem boa capacidade de escalar e visão de profundidade. Embora esse seja o padrão geral, também existem hylídeos terrestres e semi-aquáticos, nos quais essas características podem estar reduzidas ou ausentes (DUELLMAN; TRUEB, 1994; FAIVOVICH et al., 2005). Esta diversidade de características pode causar o desconhecimento de detalhes básicos da história natural e biologia destas espécies (DUELLMAN; TRUEB, 1986; FAIVOVICH et al., 2005).

Atualmente, a família Hylidae apresenta um bom exemplo da diversidade dentro do grupo dos Anuros, não só em termos de número de espécies descritas, mas

também pela variedade de modos reprodutivos. Esta família é a segunda maior dentre os anfíbios, tendo mais de 724 espécies reconhecidas mundialmente (FROST, 2019). Este grupo é composto por três subfamílias: Hylinae (cosmopolita), Australopapuana, Pelodryadinae e Phyllomedusinae, a qual é restrita aos neotrópicos. Hylinae é a subfamília com maior diversidade de modos reprodutivos, enquanto a grande maioria das espécies da subfamília Pelodryadinae possui modos reprodutivos exclusivamente aquáticos e Phyllomedusinae é um grupo em que as espécies desovam em folhas e seus girinos terminam o desenvolvimento nos corpos d'água principais (DUELLMAN; TRUEB, 1986; WELLS, 2007).

Geograficamente, a família Hylidae está distribuída, conforme Frost (2019), nos territórios da América do Norte e do Sul, nas Índias Ocidentais e na Região Austro-Papua, Eurasia temperada, incluindo o extremo norte da África e o arquipélago japonês. Foi introduzida na Nova Caledônia, Novas Hébridas (Vanuatu), Guam e Nova Zelândia.

No território brasileiro, segundo Segalla et al. (2019), existem 361 espécies da família Hylidae. No Estado do Rio Grande do Sul, o número de espécies encontradas é 42, segundo Lop et al. (2016). Cabe destacar que *I. langsdorffii* é considerada pela lista vermelha de animais ameaçados de extinção no Estado do Rio Grande do Sul, publicada em 09 de setembro de 2014, com *status* de preocupação atribuído a categoria de maior risco (criticamente em perigo (CR)), pois a distribuição atual da espécie no Rio Grande do Sul está limitada a um fragmento florestal (cerca de 113 ha) protegido por lei, conhecida como Reserva Biológica Mata Paludosa, cujo os limites encontram-se no município de Itati/RS.

2.5 *Itapotihyla langsdorffii* (DUMÉRIL; BIBRON, 1841)

Atualmente a *Itapotihyla langsdorffii* (Figura 4) pertence à subfamília Hylinae, tribo Lophiohylini, junto a outras 86 espécies. A tribo Lophiohylini inclui 12 gêneros (JUNGFER et al., 2013; FROST, 2019), dentre eles *Osteocephalus* (STEINDACHNER, 1862), o mais diversificado (25 spp), onde *I. langsdorffii* estava alocada anteriormente. Esta espécie estava anteriormente dentro do gênero *Hyla*, mas foi recentemente transferida para o novo gênero monotípico *Itapotihyla* (FAIVOVICH et al., 2005).



Figura 4 - Imagem de um exemplar de *Itapotihyla langsdorffii* (DUMÉRIL; BIBRON, 1841).
Fonte: GAIGA, 2011.

Os indivíduos da espécie apresentam hábitos noturnos, encontrados geralmente em áreas florestadas empoleiradas sobre galhos de árvores e arbustos, próximas a poças e lagoas (AQUINO et al., 2004; VRCIBRADIC et al., 2009). A dieta alimentar varia de insetos, aracnídeos e pequenos anuros (VRCIBRADIC et al., 2009; SALES AQUINO et al., 2012). A reprodução acontece de forma explosiva, podendo haver mais de cem indivíduos no mesmo aglomerado, além disso, podem permanecer em atividade noturna e diurna através de vocalizações, amplexos e interações agressivas entre machos (VRCIBRADIC et al., 2009; MAFFEI et al., 2010). Embora a vocalização da espécie seja conhecida (HADDAD et al., 2006; STRANECK et al., 1993), não foi formalmente descrita.

Listada na categoria de menor preocupação, em vista de sua ampla distribuição, a espécie pode ser encontrada em altitudes de até 700 m e é pouco tolerante a alterações antrópicas (IUCN 2010). Embora a espécie esteja listada no IUCN com tendência populacional em declínio, é improvável que esteja reduzindo o suficiente a ponto de qualificá-la em uma categoria de espécie ameaçada.

Popularmente conhecida como perereca-castanhola, é uma espécie arbórea que ocorre em arbustos e árvores dentro da floresta tropical. Reproduz-se em poças temporárias e permanentes dentro da floresta, restrito a *habitats* intocados. No Brasil, a espécie possui ampla distribuição com populações que ocorrem ao longo da Mata Atlântica, inclusive em direção ao interior do continente por áreas de mata do bioma Cerrado nos Estados de Minas Gerais e São Paulo. Este é um táxon monotípico descrito na baixada fluminense, município do Rio de Janeiro (LUTZ, 1973; FROST, 2019). Ocorre em várias áreas protegidas (Mata Paludosa). A sua distribuição vai de Norte (Estado de Sergipe) a Sul (Rio Grande do Sul) (ARZABE; LOEBMANN, 2006; CAZELLI; MOURA, 2012). As populações também ocorrem no nordeste da Argentina e no leste do Paraguai (FROST, 2018). Acredita-se que esteja em declínio no Paraguai devido à perda de *habitat* (desmatamento) para implantação de lavouras.

As filogenias mais atuais colocam *Itapotihyla langsdorffii* como irmã de espécies dos gêneros *Aparasphenodon*, *Argenteohyla*, *Corythomantis*, *Dryaderces*, *Nyctimantis*, *Osteocephalus*, *Osteopilus*, *Phyllodytes*, *Phytotriades*, *Tepuihyla* and *Trachycephalus* (DUELLMAN, et al., 2016; FROST, 2019).

2.6 Mata Atlântica: um bioma em perigo

Segundo o MMA (2018) a Mata Atlântica é uma das florestas mais ricas em diversidade de espécies ameaçadas do planeta. O bioma abrange área de cerca de 15% do total do território brasileiro, apresenta distribuição morfológica ao longo do eixo Norte - Sul que inclui 17 Estados (Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo e Sergipe), dos quais 14 estão dispostos ao longo da linha costeira atlântica.

De acordo com o Manual Técnico de Vegetações Brasileiras, do IBGE (1992), a Mata Atlântica é caracterizada como um conjunto de diferentes fitofisionomias localizadas na região litorânea do Brasil e tem como limite norte o Estado do Rio Grande do Norte e o limite sul o Estado do Rio Grande do Sul. Essas fitofisionomias são constituídas por formações florestais nativas (Figura 5) e ecossistemas associados (manguezais, vegetações de restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste).

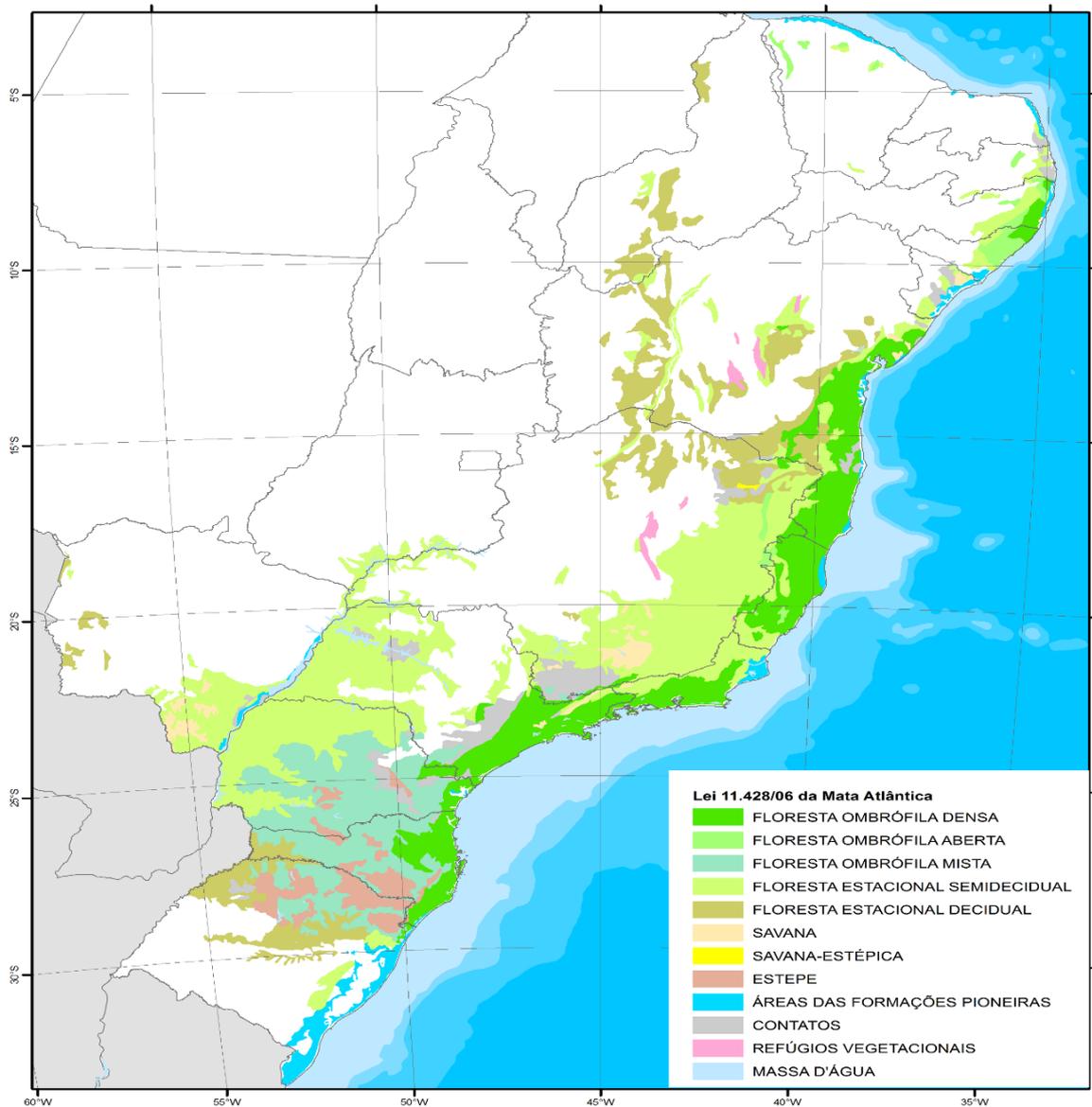


Figura 5 - Distribuição de Mata Atlântica na América do Sul.
Fonte: SOS MATA ATLÂNTICA, 2018.

A Mata Atlântica é conhecida em todo mundo pela elevada taxa de endemismo, biodiversidade e impacto antrópico, características fundamentais para fazer parte da lista como um dos 36 *hotspots* mundiais para priorização da conservação (MYERS et al., 2003). Este bioma abriga um número notável de espécies de plantas endêmicas, das quais grande proporção está ameaçada de extinção, devido a taxas alarmantes de perda de *habitat*, e é reconhecido como um ponto de acesso da biodiversidade global (MYERS et al., 2000; TABARELLI et al., 2010). Na concepção de Neves et al. (2017) é importante destacar que 45% de todas as espécies endêmicas do Domínio Atlântico ocorrem apenas em *habitats* marginais.

Nos últimos 500 anos, quase 88% do cenário original deste bioma foi perdido e/ou substituído por paisagens modificadas pelo homem, como pastagens, plantações ou áreas urbanas (RIBEIRO et al., 2009; TABARELLI et al., 2004). Hoje, restam apenas 12,4% da floresta que existia originalmente e, desses remanescentes, 80% estão em áreas privadas (SOS MATA ATLÂNTICA; IMPE, 2018).

Atualmente o bioma é protegido pela Lei nº 11.428/2006, conhecida como Lei da Mata Atlântica, regulamentada pelo Decreto nº 6.660/2008. É uma das áreas de maior diversidade do planeta. Em relação à fauna, abriga, aproximadamente, 850 espécies de aves, 370 de anfíbios, 200 de répteis, 270 de mamíferos e 350 de peixes (MMA, 2018). Apesar de sua área remanescente relativamente pequena (4.000 km²), metade da fauna brasileira de anfíbios e a maior taxa de endemismo (85%) no Brasil pode ser encontrada neste bioma (CRUZ; FEIO 2007; HADDAD et al., 2013).

De acordo com a classificação climática proposta por Köppen, o clima atual da Mata Atlântica varia entre Aw (tropical), Cwa (tropical de altitude) e Cf (subtropical). A temperatura média varia entre 14°C e 21°C, atingindo uma máxima absoluta de 35°C durante o verão. A Mata Atlântica contém regiões de estabilidade climática, mas também regiões vulneráveis. Para Franke et al. (2005) a pluviosidade anual média varia entre 1500 e 2000 mm, todavia, com a grande gama de relevos existentes na Mata Atlântica, alguns locais, como os ambientes de montanha do Estado de São Paulo, possuem altos índices pluviométricos. O total de área remanescente do bioma é vulnerável às mudanças do clima no futuro (BRASIL, 2016).

Um estudo elaborado pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014) sobre os possíveis impactos climáticos para o bioma foram modelados. As projeções dos cenários futuros para o bioma Mata Atlântica - Porção Sul/Sudeste (S/SE) estão descritos a seguir: até 2040 as projeções indicam aumento relativamente baixo de temperatura entre 0,5° e 1°C com um aumento de 5% a 10% na chuva. Em meados do século (2041-2070) mantêm-se as tendências de aumento gradual de 1,5° a 2°C na temperatura e de aumento de 15% a 20% nas chuvas, sendo que essas tendências acentuam-se ainda mais no final do século (2071-2100) com padrões de clima entre 2,5° e 3°C mais quente e entre 25% a 30% mais chuvoso.

Torres (2014), em seu estudo utilizou o método - *Reliability Ensemble Averaging* (REA) para a América do Sul e avaliou as projeções do CMIP5 no cenário RCP 8.5, concluindo que a probabilidade de um aumento de temperatura que exceda 2°C em 2071-2100 é extremamente alta (> 90%). Ainda assim, relatou outra

probabilidade considerável (> 50%) do aumento de temperatura exceder 4°C entre a faixa de latitudes 10°N (Caracas/Venezuela) – 25°S (São Paulo/Brasil). Estas conclusões corroboram com as análises realizadas por Fung et al. (2011) no qual descrevem a probabilidade de aumento no stress hídrico com um aumento de temperatura global de +2°C ou +4°C, também entre a faixa de latitudes 10°N – 25°S.

No entendimento de Dias et al. (2014) a falta de informações para avaliar o *status* atual de conservação de diversas espécies, juntamente com a degradação ambiental acelerada do bioma Mata Atlântica, motiva a necessidade de estudos primários a fim de suprir esses déficits.

Segundo Giovanelli (2009), o desenvolvimento de pesquisas básicas que abordem a história natural e a ecologia de espécies, juntamente com um planejamento ambiental adequado, são necessários para subsidiar a conservação deste bioma ameaçado.

2.7 Modelos de Nicho Ecológico

A fundamentação teórica é de que o entendimento do nicho ecológico corresponde ao conjunto de condições e recursos nos quais os indivíduos de uma espécie são capazes de crescer, sobreviver e reproduzir, servindo como base para estimar os pontos de ocorrência de uma espécie (DE MARCO JR; SIQUEIRA, 2009). Com isso, a amplitude de distribuição geográfica das espécies pode ser interpretada como a tradução espacial de seus nichos ecológicos, ou seja, as espécies ocorrem onde as condições ambientais são favoráveis e não ocorrem onde os recursos e/ou condições ambientais requeridos estão ausentes (BROWN; LOMOLINO, 1998).

A teoria ecológica implícita nos procedimentos de Modelos de Nicho Ecológico (MNE) é de que a distribuição das espécies é, pelo menos em parte, determinada pelas variáveis ambientais e que aproximações dessas variáveis podem ser estimadas. Por outro lado, a teoria ecológica explícita é de que as espécies respondem a gradientes ambientais tanto de recursos como de condições (AUSTIN, 2007).

Tudo começou com Grinnell em 1917, quando a primeira definição de nicho foi o conjunto de *habitats* onde os requisitos para uma determinada espécie viver e se reproduzir estão presentes. Anos depois, Elton em 1927, adicionou o nível trófico à ideia de nicho. Em 1934, Gause incluiu a intensidade da competição entre espécies.

Já em 1957, Hutchinson define o termo nicho ecológico como sendo um espaço com um hipervolume n-dimensional, onde cada dimensão representa o intervalo de condições ambientais ou de recursos necessários para a sobrevivência e reprodução da espécie, tais como: temperatura, umidade, salinidade, pH, recursos alimentares, locais para nidificação, intensidade luminosa, pressão predatória, densidade populacional, entre outros.

Na visão de Dalapicolla (2016), os modelos de nicho ecológico são associações entre as variáveis ambientais e os registros de ocorrência de uma espécie-alvo para identificar as condições ambientais dentro das quais as populações dessa espécie podem ser mantidas indefinidamente. Essas associações podem ser realizadas por diferentes algoritmos.

Essencialmente, a modelagem é uma técnica usada para estimar áreas de real ou potencial distribuição, ou conjuntos de *habitats* favoráveis para uma determinada espécie, com base em suas presenças observadas e, algumas vezes, ausências. Esses métodos relacionam “nichos” com “áreas de distribuição” (SOBERÓN; NAKAMURA, 2009). Eles apresentam um propósito semelhante: identificar possíveis locais adequados ambientalmente para a ocorrência de uma espécie através da identificação de algumas de suas necessidades ambientais.

A área de distribuição geográfica de uma espécie, em um certo período de tempo, é o resultado da combinação de diferentes fatores, dos quais três são de suma importância e estão destacados no diagrama de BAM (*Biotic, Abiotic, Moviments*) (Figura 6) (PETERSON et al., 2011; SOBERÓN; PETERSON, 2005).

meio de um método teórico-estatístico, produzindo uma superfície de resposta com a probabilidade de ocorrência da espécie (ARAÚJO; PETERSON, 2012; RANGEL; LOYOLA, 2012). Eles podem ser vistos como ferramentas aliadas no planejamento de ação mais adequadas e eficientes de conservação da biodiversidade sob o cenário das mudanças climáticas futuras (HADLY; BARNOSKY 2009, DAVIES; BUNTING, 2010). No entanto, como qualquer ferramenta de modelagem do clima, os modelos climáticos atuais mais avançados, que vêm progressivamente fornecendo resultados cada vez mais confiáveis e consistentes para previsões de mudanças climáticas, devem ser alimentados com estimativas seguras das forçantes radiativas (PBMC, 2014).

Utilizando modelos para prever possíveis alterações na distribuição das espécies sob diferentes cenários de mudanças climáticas, pode-se identificar prováveis impactos sobre as espécies e construir estratégias de conservação eficazes (TORANZA; MANEYRO, 2013). Na visão de Phillips et al. (2006), a utilização da modelagem (MNE, MEB, MDE) contempla estudos em diversas áreas como Biogeografia, Conservação, Ecologia, Evolução, Paleontologia entre outras. A importância desta ferramenta pode ser explicada pela maior acessibilidade de programas de MNE (NAIMI; ARAÚJO, 2016), desenvolvimento de novas técnicas e métodos para sua avaliação e validação. Neste sentido, é cada vez maior o número de estudos que utilizam a modelagem para diversos grupos taxonômicos (BARBOSA et al., 2012; ALEXANDRE et al., 2013) a fim de entender a distribuição geográfica das espécies em diferentes áreas ambientais (PETERSON et al., 2011).

No entendimento de Siqueira (2009), o processo de modelagem de nicho ecológico consiste na conversão dos dados primários de ocorrência de espécie em mapas de distribuição geográfica, mostrando a provável presença ou ausência da espécie, com a utilização de algoritmos apropriados para esta finalidade. O mesmo autor ainda enfatiza que os resultados da modelagem correspondem a um prognóstico, apoiado em dados do nicho realizado, que se aproxima do nicho fundamental da espécie onde a área projetada corresponde à distribuição potencial da espécie, com base nas camadas ambientais utilizadas na modelagem.

Uma diferente aplicação da modelagem preditiva pode ser feita na utilização de cenários sócio-econômicos e climáticos futuros, possibilitando assim estimar como se dará a evolução da distribuição da espécie frente a uma série de variáveis globais, como por exemplo, mudança tecnológica, sócio-econômica, uso da terra, poluentes

do ar, concentrações de gases do efeito estufa, temperatura do ar, dos oceanos e precipitação. Essas variáveis são úteis na avaliação de impactos climáticos sobre a conservação da biodiversidade (VUUREN et al., 2011a), pois permitem avaliar como os efeitos das mudanças climáticas globais podem afetar positivamente ou negativamente a distribuição das populações.

Fato é que as mudanças climáticas previstas para o século XXI despertam alerta global, devido ao potencial efeito negativo que poderão acarretar à biodiversidade e especialmente ao grupo dos anfíbios. Com o intuito de explicitar a amplitude e o efeito destes cenários climáticos futuros ainda incertos, os MDE's surgem como ferramentas no auxílio para melhor compreensão destes eventos.

Segundo Zimmermann et al. (2010), MDE é um dos campos da Ecologia que mais tem sido empregado a estudos de diferentes interesses. Pesquisas que utilizaram a modelagem em conjunto com a biologia das espécies, produziram resultados com enfoque ecológicos e/ou conservacionistas mais próximos da realidade, de acordo com alguns autores como Catullo et al. (2015), onde enfatiza que os modelos espaciais dos impactos das mudanças climáticas geralmente assumem que as espécies estão restritas ao seu nicho realizado e persistirão apenas se esse nicho permanecer acessível ao longo do tempo. No entanto, as espécies geralmente têm limites fisiológicos além da faixa de condições ambientais experimentadas em seu nicho atualmente realizado, e esses limites também podem ser estendidos ainda mais através de mecanismos de evolução em resposta à pressão de seleção fornecida pelas mudanças climáticas.

Estudos elaborados por Legault et al. (2013), utilizaram modelos de nicho de entropia máxima para inferir a distribuição de periquitos na Nova Caledônia, onde desenvolveram um novo método para estimar o tamanho da população, correlacionando abundância com a adequação do *habitat*. As projeções indicaram que as populações de periquitos provavelmente recuarão em resposta às mudanças climáticas futuras.

Na pesquisa realizada por Menéndez-Guerrero e Graham (2013), os autores avaliaram três grandes ameaças implicadas no declínio das populações e no desaparecimento de anfíbios equatorianos: quitridiomicose, mudança climática e perda de *habitat*. Os padrões espaciais dessas ameaças-chave para os anfíbios equatorianos foram depositados em um banco de dados multiespecífico de sapos endêmicos, juntamente com informações sobre a distribuição do patógeno e os

requisitos ambientais, a sensibilidade das espécies às mudanças climáticas (indiretamente com base na distribuição geográfica das espécies e propriedades ecológicas) e a perda de *habitat*.

Já Ortega-Andrade et al. (2013), estudaram uma população de anuros em risco de extinção, *Cochranella manche*, na Estação Biológica de Bilsa, noroeste do Equador, entre 2008 e 2009. Como resultados apresentaram informações sobre padrões anuais de abundância, ecologia comportamental, uso de *habitat* e MDE realizado com a ajuda do software *MaxEnt*.

Outros estudos, realizados por Toranza e Maneyro (2013), utilizaram MDE para descrever o período atual e as distribuições futuras (2050), em dois cenários diferentes de emissões de GEE para a espécie *Melanophryniscus montevidensis*, categorizado como vulnerável pela IUCN e ameaçado pela Lista Vermelha de anfíbios do Uruguai.

Os avanços de análises estatísticas, aliadas ao Sistema de Informação Geográfica (SIGs), proporcionaram o desenvolvimento de modelos preditivos que identificam locais ambientalmente adequados à ocorrência de uma espécie. No entanto, esses modelos podem gerar projeções frequentemente maiores que a distribuição real, por utilizarem somente variáveis ambientais e não considerarem fatores históricos, como barreiras geográficas e fatores ecológicos como capacidade de dispersão, competição e extinção (PHILLIPS et al., 2006).

Para prever áreas potenciais de ocorrência de uma espécie, a primeira etapa é conhecer quais condições e recursos são necessários para manutenção de suas populações. No entanto, determinar os fatores ambientais favoráveis que justifiquem a presença de uma espécie em uma região, é uma condição limitante que desafia a capacidade preditiva dos modelos, pois tais fatores podem variar de espécie para espécie (LEGAULT et al., 2013; PAPES; GAUBERT, 2007).

Já outros estudos buscam medir o impacto das mudanças climáticas sobre vários aspectos da biodiversidade, de características ligadas aos organismos até as propriedades dos ecossistemas, sendo eles dependentes das informações climáticas (BELLARD et al., 2012; PEREIRA et al., 2010). Com isso, as projeções feitas pelos MCGs têm sido essenciais para os MNE avaliarem de forma explícita os impactos futuros sobre a biodiversidade (THUILLER et al., 2011; LOYOLA et al., 2012).

3 Metodologia

3.1 Caracterização da Área de Estudo

A caracterização da área de estudo, para a projeção dos modelos foi baseada na área de calibração continental da América do Sul, abrangendo a faixa de latitude e longitude 10° N –30° S; –85° W –45° W (cuja extensão geográfica engloba o Brasil, o Nordeste da Argentina e a região Leste do Paraguai), onde há registros de ocorrências para a espécie (Figura 7).

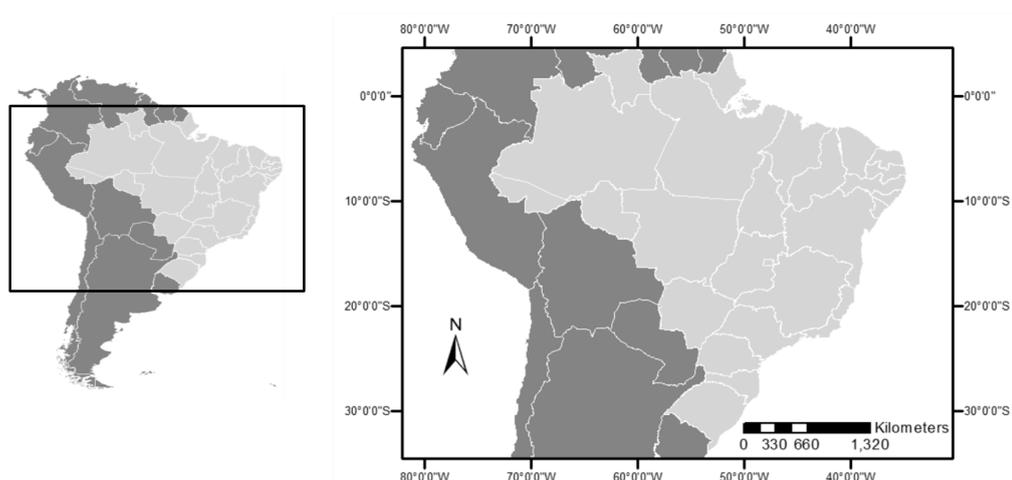


Figura 7 - Recorte da área de estudo (América do Sul), utilizada para as variáveis Bioclimáticas.
Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

A distribuição geográfica de *Itapotihyla langsdorffii* no Brasil é, segundo Frost (2019), ampla e contínua através da zona costeira do bioma Mata Atlântica. Essa amplitude estende-se do Estado do Sergipe, município Santa Luzia do Itanhy (ARZABE; LOEBMANN, 2006) e vai até a costa Leste do Rio Grande do Sul município de Itati na REBIO Mata Paludosa (LINGNAU et al., 2006).

3.2 Variáveis Ambientais

Para gerar os MDE de *I. langsdorffii*, foram descarregadas primeiramente

19 variáveis bioclimáticas (Tabela 1) com resolução espacial de 2,5 minutos (aproximadamente 5 km). O conjunto das variáveis bioclimáticas apresenta-se consistente com a escala regional segundo a classificação de Pearson e Dawson (2003). Todos os procedimentos de conversão para *raster* foram feitos no programa QGis, versão 3.4.12.

Os dados primários das camadas vêm da fonte CMIP5, obtida a partir da base *Worldclim*, versão 1.4, para modelar o período futuro (média entre 2061-2080) e versão 2.0 para as condições climáticas atuais (1970-2000), disponível no site (www.worldclim.org) (HIJMANS et al., 2005).

Tabela 1 - Variáveis bioclimáticas CMIP5 obtida a partir da base Worldclim.

Codificação	Variável bioclimática
bio1	Temperatura média anual
bio2	Variação média diurna
bio3	Isotermalidade
bio4	Temperatura sazonal
bio5	Temperatura máxima do mês mais quente
bio6	Temperatura mínima do mês mais frio
bio7	Faixa de temperatura anual
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 da precipitação
bio16	Precipitação do trimestre mais chuvoso
bio17	Precipitação do trimestre mais seco
bio18	Precipitação do trimestre mais quente
bio19	Precipitação do trimestre mais frio

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Posteriormente a obtenção das variáveis bioclimáticas, fez-se necessário o

tratamento dessas variáveis, ou seja, cortá-las para a área (*background*) onde a espécie-alvo ocorre e identificar as variáveis mais correlacionadas, a fim de evitar a multicolinearidade (GUISAN; THUILLER 2005, DALAPICOLLA, 2016).

A partir de uma correlação simples realizada através do programa *RStudio* versão 3.6.1, as variáveis que apresentaram valores acima de 0,80 de correlação foram selecionadas e excluídas, a fim de evitar superestimações no modelo.

Portanto, depois de analisadas quanto a suas correlações, as variáveis bioclimáticas utilizadas para rodar os modelos foram cinco: temperatura média anual (bio1), amplitude térmica diurna (bio2), sazonalidade da temperatura (bio4), precipitação anual (bio12) e precipitação do trimestre mais quente (bio18).

3.3 Dados de Ocorrência

Os dados de ocorrência de *Itapotihyla langsdorffii* foram compilados através de bancos de dados *online* disponíveis nas redes GBIF - *Global Biodiversity Information Facility*, (www.gbif.org), *Specieslink* (<http://splink.cria.org.br>), *Vertnet* (<http://vertnet.org>), *ARCTOS* (<http://arctos.database.museum>), *Eco registros* (<http://www.ecoregistros.org/ficha/Itapotihyla-langsdorffii>), *Biofaces* (www.biofaces.com) e com auxílio da literatura científica especializada.

Os registros de ocorrência online da espécie foram obtidos através das informações *online* das coleções a seguir: KUBI *Herpetology Collection* (KU), A coleção de herpetologia no *Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart* (SMNS), Coleção de Herpetologia (MCNAM), Coleção de Anfíbios (MCP-Anfíbios), *Museum of Vertebrate Zoology - Brazilian records* (MVZ-BR), Coleção "Célio F. B. Haddad" (CFBH), Coleção de Anfíbios DZSJRP, (DZSJRP-Amphibia-adults), Coleção de Girinos DZSJRP (DZSJRP-Amphibia-tadpoles), Coleção de Anfíbios do Centro de Coleções Taxonômicas da UFMG (UFMG-AMP), Universidade Estadual Paulista (DZSJRP), Fonoteca Neotropical Jacques Vielliard (FNJV), Coleção de Anfíbios MBML (MBML-Anfíbios), Sistema de Informação do Programa Biota/Fapesp (SinBiota), *iNaturalist Research-grade Observations* (ACC-NGS), Coleção de Tecidos Animais do Departamento de Ciências Biológicas da UFES (UFES-CTA), Coleção Zoológica da UFMT- Setor Herpetologia-Amphibia (UFMT-A), NMNH *Extant Specimen and Observation*

Records (US – Animalia), Coleção de Anfíbios do Museu de Zoologia da UNICAMP (ZUEC-AMP), Coleção Zoológica de Referência da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - Amphibia (ZUFMS-AMP).

As pesquisas pelas publicações literárias (artigos científicos, livros) foram realizadas pelo Portal de Periódicos da CAPES/MEC (www.periodicos.capes.gov.br/) e pelo site eletrônico *Web of Science* – (www.webofknowledge.com), portal virtual que indexa e sumariza publicações acadêmicas a nível mundial de alta qualidade (MCVEIGH, 2004) e corresponde a uma das bases de dados mais utilizadas para realizar pesquisas de literatura e levantamento de dados (CHADEGANI et al., 2013).

As buscas nas plataformas CAPES e *Web of Science* começaram a serem realizadas a partir do dia 20 de abril de 2019 utilizando o campo *Topic* e as seguintes sintaxes: [*“species distribution model*”* AND *“South America”*], [*“Itapotihyla langsdorffii*”* AND *“Anuran”*] e [*“ecological niche model*”* AND *“South America”*], resultando em uma listagem sintética das publicações. Os arquivos foram descarregados em formato digital (.pdf) e posteriormente inseridos na tabela de dados. Os dados de ocorrência obtidos através da literatura foram extraídos dos seguintes artigos: Azarbe; Loebmann (2006); Maffei et al. (2011); Vilella et al. (2011); Cazelli; Moura (2012); Forti et al. (2018).

A compilação dos dados preliminares levantados em todas as bases possíveis, resultava um total de 644 registros para espécie *I. langsdorffii*, porém após o recorte dos dados para o período de 1970-2019 e a triagem das informações, como exclusão de pontos repetidos/duplicados e/ou imprecisos, realizou-se a checagem dos dados de coleta e a determinação de coordenadas geográficas disponibilizados nas fontes citadas. Através do *Google maps* (<https://www.google.com.br/maps>), checou-se a localização de cada registro, após examinadas, os dados foram atualizados para 129 registros (Figura 8). Logo, somente dados de ocorrências georreferenciadas da espécie-alvo foram utilizadas nas análises.

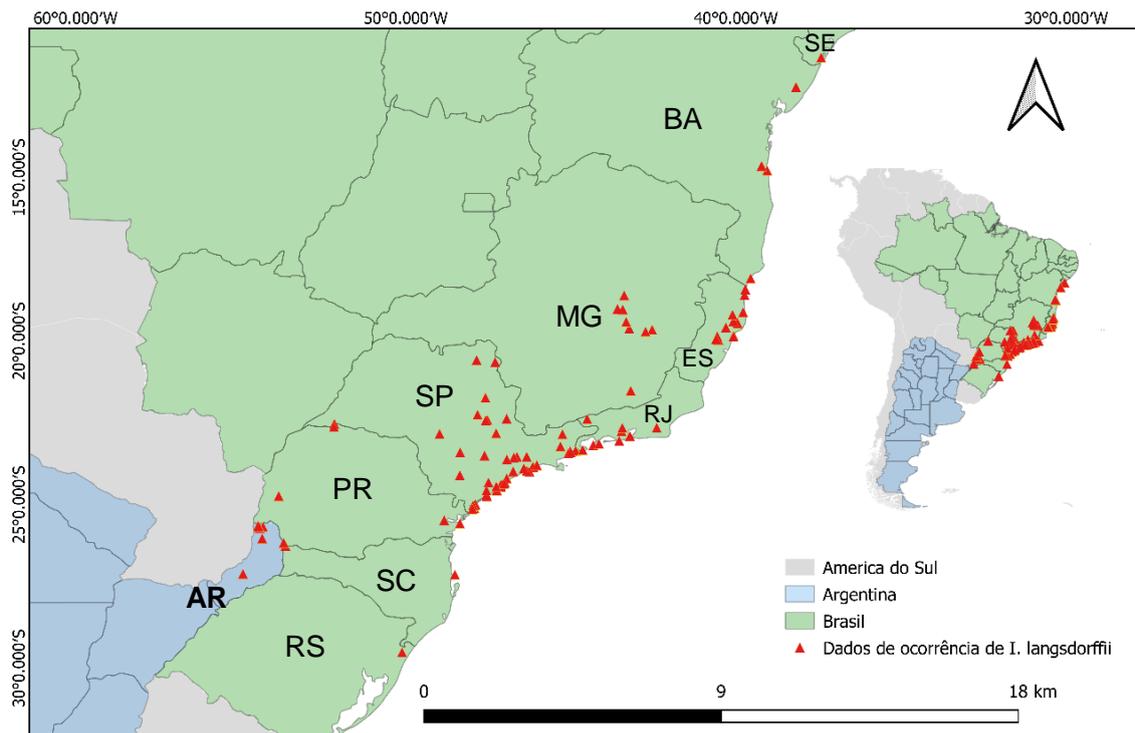


Figura 8 - Representação dos 129 pontos de ocorrência (triângulos em vermelho) de *Itapotihyla langsdorffii* (Hylidae) utilizados neste estudo para MDE's com recorte de dados entre 1970-2019. Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

3.4 Modelos Climáticos

Para a projeção das condições climáticas atuais e futuras, foram utilizadas mesmas as variáveis bioclimáticas selecionadas após o teste de correlação (bio1,bio2,bio4,bio12,bio18). Para fazer a análise e a comparação dos cenários futuros, primeiramente modelou-se o período climático atual (1970-2000). Já as projeções dos cenários futuros (média entre 2061-2080) da espécie-alvo, foram utilizadas por três modelos de circulação global (MCGs): CCSM4, MRICGCM3 e HADGEM2-ES (Tabela 2). A escolha dos MGG's se deu através do dendograma indicado por Varela et al. (2015), onde os autores realocaram os principais MCG's em quatro grupos.

Para as projeções futuras, foram utilizados três cenários conhecidos como *Representative Concentration Pathways* (RCPs) (MEINSHAUSEN et al., 2011). Trata-se de três cenários de emissões diferentes e são classificados da seguinte maneira: intermediário (RCP 4.5), estabilizador (RCP 6.0) e um pessimista (RCP 8.5), nomeados de acordo com a força radioativa dos GEE e outros agentes (VUUREN et al., 2011a).

O conjunto de variáveis bioclimáticas apresenta-se consistente com a escala regional (PEARSON; DAWSON, 2003). Todos os procedimentos de reamostragem e conversão para raster foram feitos no programa QGis, versão 3.4.12.

Tabela 2 - Descrição dos três MCG's utilizados para a MDE's.

Modelo - ID	Centro de Pesquisas	Fonte
CCSM4	University of Miami – RSMAS, USA	CMIP5
HADGEM2-ES	Met Office Hadley Centre, Germany	CMIP5
MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute, Japan	CMIP5

CMIP5 – *Coupled Model Intercomparison Project, Phase 5* (<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/>).
 Fonte: Adaptado de LIMA-RIBEIRO; DINIZ-FILHO, 2013.

3.5 Desenvolvimento dos Modelos e Validação

Para este estudo foi utilizado o método de modelagem correlativa. Segundo Dalapicolla (2016), esse método é mais utilizado para trabalhos envolvendo o grupo dos anfíbios. Esse tipo de modelagem clássica utiliza dois tipos de dados (bióticos e abióticos) para moldar os requisitos ambientais de uma determinada espécie e estimar seu grau de distribuição geográfica potencial.

Os MDEs correlativos são aplicados dentro de uma abordagem de envelope climático e avaliado se o nicho fundamental ocupado por uma espécie continuará, ou não, a existir na distribuição atual (BARBOSA; LEMES, 2016). Entretanto, alguns estudos já utilizam as variáveis pré-definidas para anfíbios, porque são ecologicamente significativas para o grupo.

Para a construção dos MDES, Dalapicolla (2016), enfatiza que devem ser realizadas as seguintes etapas: Pré-Análise, Modelagem e Pós-Análise.

- 1) PRÉ-ANÁLISE: Compreende a seleção, organização e limpeza (extração de ruídos) dos pontos de ocorrência, além da seleção dos dados ambientais para a modelagem. Pode ser realizada manualmente ou por meio de software;
- 2) MODELAGEM: Compreende a utilização de um algoritmo (exemplo o *MaxEnt*) e os dados de *input* produzidos e trabalhados na etapa de pré-análise para a criação dos modelos;
- 3) PÓS-ANÁLISE: Compreende a avaliação do modelo gerado na etapa de modelagem.

A confecção dos mapas com os MDE de *I. langsdorffii* foi realizada pelo algoritmo de máxima entropia *MaxEnt* versão 3.4.1, o qual permite estimar a

probabilidade de distribuição potencial de uma espécie, com informações climáticas existentes para áreas onde não existam registros de ocorrências disponíveis para a espécie (PHILLIPS et al., 2006). Após a geração dos modelos, os mesmos foram editados no programa QGIS 3.4.12 (QGIS, 2019).

Para a interpretação das projeções, as colorações dos mapas resultantes dos MDE para figuras de números 11 a 20, legenda “adequabilidade” indicam níveis de adequabilidade climática para a ocorrência de *I. langsdorffii*, sendo assim, foram definidos os valores de 0,1-0,3 a saber, cores azul, significam baixa adequabilidade climática de ocorrência, enquanto os valores de 0,4-0,6 a saber, cores verde, significam adequabilidade climática intermediária e os valores de 0,7, 0,8 e 0,9 a saber, cores amarelo, laranja e vermelho, significam respectivamente regiões com alta adequabilidade climática para a ocorrência da espécie-alvo.

Para análise de sensibilidade, o programa *MaxEnt* utiliza locais de ocorrência e um conjunto de variáveis bioclimáticas como precipitação e temperatura como *input*, através de uma paisagem (recorte) definida pelo usuário e dividida em grade de células, onde extrai uma amostra de localização de fundo (MEROW et al., 2013). O programa executa o teste de Jackknife, que verifica a contribuição de cada uma das variáveis utilizadas isoladamente na análise da distribuição da espécie, indicando as variáveis com maior ganho (medida de qualidade de ajuste), além de fornecer curvas de respostas para avaliar a contribuição de cada variável ambiental para o modelo (PHILLIPS et al., 2006; PHILLIPS; DUDÍK, 2008).

A construção dos MDE's deste estudo foi realizada com os seguintes dados de entrada no software *MaxEnt*:

a) Treino e Teste: para a criação de MDE's foram utilizados dois conjuntos de dados bióticos (pontos de ocorrência) diferentes. Um conjunto usado na parte de treino do modelo e outra no teste. No teste o programa verifica qual a taxa de acerto do modelo gerado no treino, com outro conjunto de pontos de ocorrência. Para a etapa de treino ou calibração usou-se a maior parte dos pontos (70%) enquanto para o teste ou avaliação utilizou-se poucos pontos (30%);

b) Replicações dos modelos: Como a modelagem trabalha com probabilidade, é necessária a criação de vários modelos para que depois o programa *MaxEnt* faça uma média de todas as replicações e gere um modelo final. O número de replicações varia, porém neste trabalho utilizou-se 15 replicações,

realizadas através da escolha do algoritmo conhecido como Bootstrap (consiste na retirada aleatória de uma localidade no conjunto de treino e a duplicação de outra localidade do mesmo grupo).

Outras configurações selecionadas no software *MaxEnt* para rodagem de todos os MDE deste estudo estão apresentadas a seguir (Figuras 9 e 10).

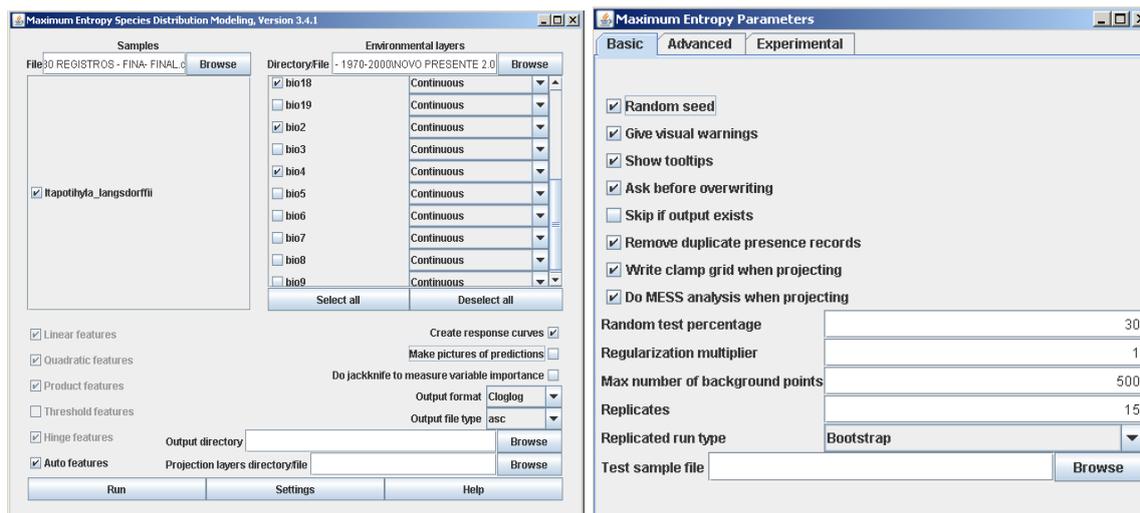


Figura 9 – Configurações do software *MaxEnt* utilizadas pelo autor para rodagem dos modelos.
Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

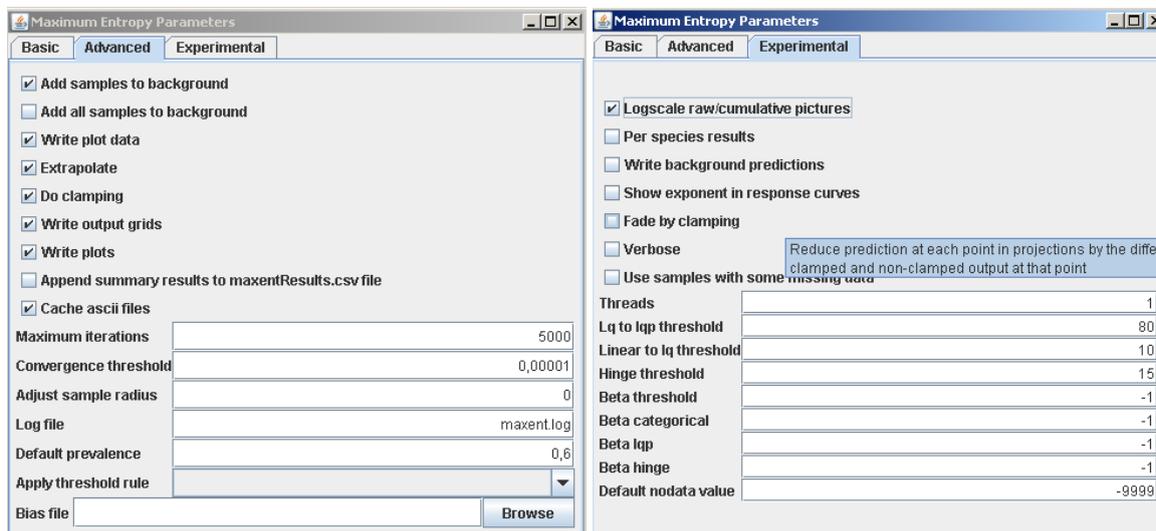


Figura 10 - Configurações do software *MaxEnt* utilizadas pelo autor para rodagem dos modelos.
Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

A avaliação do desempenho e a significância estatística dos MDE's talvez seja a fase mais crítica para construção dos modelos, isso porque é necessário demonstrar que a modelagem tem qualidade para projetar a distribuição potencial da espécie melhor do que o acaso (MEROW et al., 2013; PETERSON et al.,

2011).

O valor da área sob a curva (AUC) é calculado com dados de teste da validação do *MaxEnt* e representa um índice independente de limite de corte que avalia a capacidade discriminatória de um modelo (PHILLIPS et al., 2006).

Os valores da AUC variam entre 0 e 1, com a máxima precisão conseguida com valores de 1, e precisão não melhor do que o acaso com valores abaixo de 0.7. Quando utilizado com dados somente de presença ou presença-background, os valores máximos, teoricamente, deveriam ser <1 (PHILLIPS et al., 2006).

O cálculo da área sob a curva (AUC) fornece uma medida única do desempenho do modelo, independente da escolha prévia de qualquer limite de corte, pois a curva é construída a partir de vários limites de corte (cada limite de corte é responsável por um ponto da curva). Este valor (AUC) mede a capacidade discriminatória do modelo, permitindo interpretar seu resultado como a probabilidade de que ao sortear dois pontos, um do conjunto de presença e outro do conjunto de ausência, o modelo consiga prever os dois corretamente (DALAPICOLLA, 2016).

4 Resultados e Discussão

Neste capítulo se apresentam os resultados individuais da MDE de *Itapotihyla langsdorffii* para o período climático atual e nove projeções futuras, analisadas por três diferentes MCG's, em três cenários distintos de emissão de GEE. Na sequência, é apresentada a tabulação em três projeções futuras, nos três diferentes cenários utilizados.

Primeiramente cabe destacar que todos os modelos gerados apresentaram valores de AUC superiores a 0,9 em todos os cenários, fato que é avaliado como excelente, estando acima de resultados considerados aleatórios (ELITH, 2000).

A modelagem utilizada fez associações entre variáveis bioclimáticas selecionadas (temperatura média anual, amplitude térmica diurna, sazonalidade da temperatura, precipitação anual e precipitação do trimestre mais quente) e os registros de ocorrência da espécie, a fim de identificar condições ambientais onde as populações possam se manter (PEARSON, 2007), mesmo que essas projeções estejam em áreas ainda não inventariadas (GUISAN; THUILLER, 2005).

Projeção do Período Climático Atual

Os valores do modelo gerado (Tabela 3) indicam um excelente ajuste para os registros de presença usados para os dados de ocorrência de *I. langsdorffii* (DALAPICOLLA, 2016; METZ, 1986).

Tabela 3 - Relação do período atual projetado e os resultados de ajuste do modelo gerado.

Período	AUC Test	AUC Training	Desvio padrão
Atual (1970-2000)	0,918	0,925	0,003

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Para o período climático atual, os resultados do Jackknife gerados pelo programa *MaxEnt* indicam que as variáveis ambientais que mais contribuíram com a

previsão do modelo foram (Tabela 4): temperatura sazonal (bio4; 42,7%) e a variação média diurna (bio2; 18,0%). Além disso, a temperatura sazonal (bio4) foi a variável ambiental com maior ganho quando analisada isoladamente e também a que mais diminui o ganho quando é omitida.

Tabela 4 - Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o período climático atual (1970-2000).

Variável	Contribuição percentual	Importância da permutação
bio4	42,7	50,8
bio2	18,0	16,8
bio18	17,2	1,10
bio12	14,5	18,3
bio1	7,6	13,0

Legenda - bio1: Temperatura média anual; bio2: Variação média diurna; bio4: Temperatura sazonal; bio12: Precipitação anual; bio18: Precipitação do trimestre mais quente.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

De acordo com a projeção do modelo climático atual (Figura 11), é possível interpretar que as áreas de alta adequabilidade climática (de 0,7-0,9) para a ocorrência da espécie estão dispostas principalmente ao longo da costa litorânea brasileira, (majoritariamente sobre a faixa da floresta ombrófila densa do bioma Mata Atlântica), estendendo-se do município de Santo Antônio de Jesus na Bahia até o município de Balneário Pinhal no Estado do Rio Grande do Sul, passando por outros Estados como Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina.

Ainda assim, outras regiões de alta adequabilidade climática podem ser evidenciadas em sentido litoral-continente em alguns municípios do Estado de São Paulo como São Carlos, Ibaté, Ribeirão Bonito, Batatais, Franca, Patrocínio Paulista e Cristais Paulista) e Minas Gerais (Sacramento, Ibiraci, Delfinópolis, Cassia e Passos), localizados na faixa de transição entre as florestas semidecidual e ribeirinha, onde atualmente há registros de ocorrência da espécie.

Nessa projeção, as áreas de baixa (de 0,1-0,3) e intermediária (de 0,4-0,6) adequabilidade climática para a ocorrência de *I. langsdorffii* estão sobre Estados do Brasil onde atualmente não tem registros da mesma, como Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Goiás e Mato Grosso do Sul. Além de outras áreas verificadas como o município Paraguaio de Pedro Juan Caballero e na região dos Andes tropicais da Bolívia (Lat 17° Oeste).

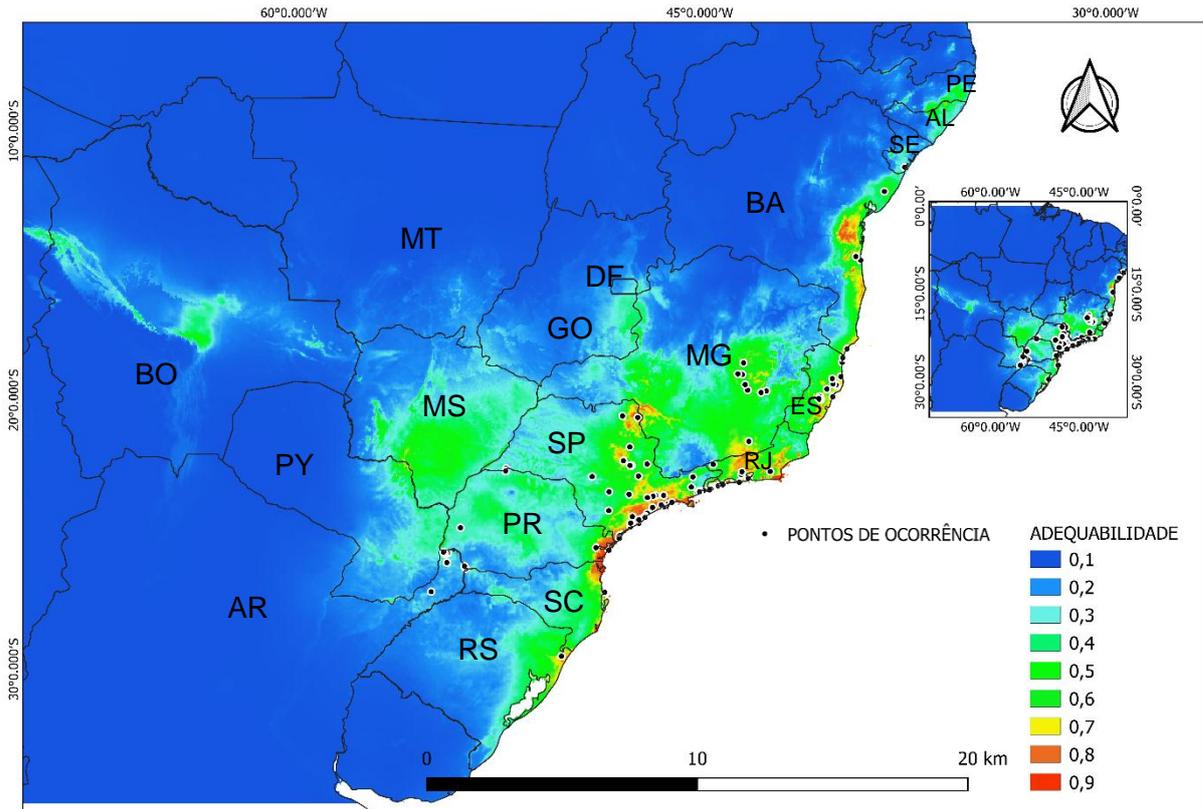


Figura 11 - Projeção do período climático atual do modelo de distribuição de *Itapotihyla langsdorffii* (Hylidae) gerado pelo software *MaxEnt*.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Projeções dos cenários – MCG Community Climate System Model (CCSM4)

Os três cenários (RCP 4.5, 6.0 e 8.5) modelados pelo MCG CCSM4 apresentaram valores médios de AUC maiores que 0,90 (Tabela 5) indicando um excelente ajuste dos dados para ocorrência de *I. langsdorffii* (DALAPICOLLA, 2016; METZ, 1986).

Tabela 5 - Relação dos cenários projetados com resultados de ajuste do modelo.

Cenários	AUC Test	AUC Training	Desvio padrão
RCP 4.5	0,9152	0,9224	0,004
RCP 6.0	0,9146	0,9211	0,002
RCP 8.5	0,9093	0,9222	0,003

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

a) Cenário RCP 4.5

Os resultados do Jackknife gerados pelo programa *MaxEnt* para este cenário

indicam que as variáveis ambientais que mais contribuíram com a previsão do modelo (Tabela 6), foram temperatura sazonal (bio4; 35,3%) e precipitação do trimestre mais quente (bio18; 30,0%). Porém a variável ambiental com maior ganho quando analisada isoladamente foi a temperatura sazonal (bio4). Contudo, a mesma variável (bio4) é a que mais reduz o ganho quando é omitida, isso significa que a mesma tem mais informações que não estão presentes nas outras variáveis.

Tabela 6 - Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo de distribuição de *I. langsdorffii* RCP 4.5 CCSM4.

Variável	Contribuição percentual	Importância da permutação
bio4	35,3	33,4
bio18	30,0	17,1
bio1	17,3	29,4
bio2	10,5	15,1
bio12	6,9	4,9

Legenda - bio1: Temperatura média anual; bio2: Variação média diurna; bio4: Temperatura sazonal; bio12: Precipitação anual; bio18: Precipitação do trimestre mais quente.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Neste cenário futuro intermediário RCP 4.5 (Figura 12), é possível interpretar que as áreas climaticamente adequadas para a distribuição espacial de *I. langsdorffii* indicam aumento quando comparadas ao período climático atual e ao cenário 8.5 de mesmo MCG. As áreas de alta adequabilidade climática para ocorrência da espécie também aumentaram quando comparadas ao período climático atual e ao cenário 8.5 de mesmo MCG.

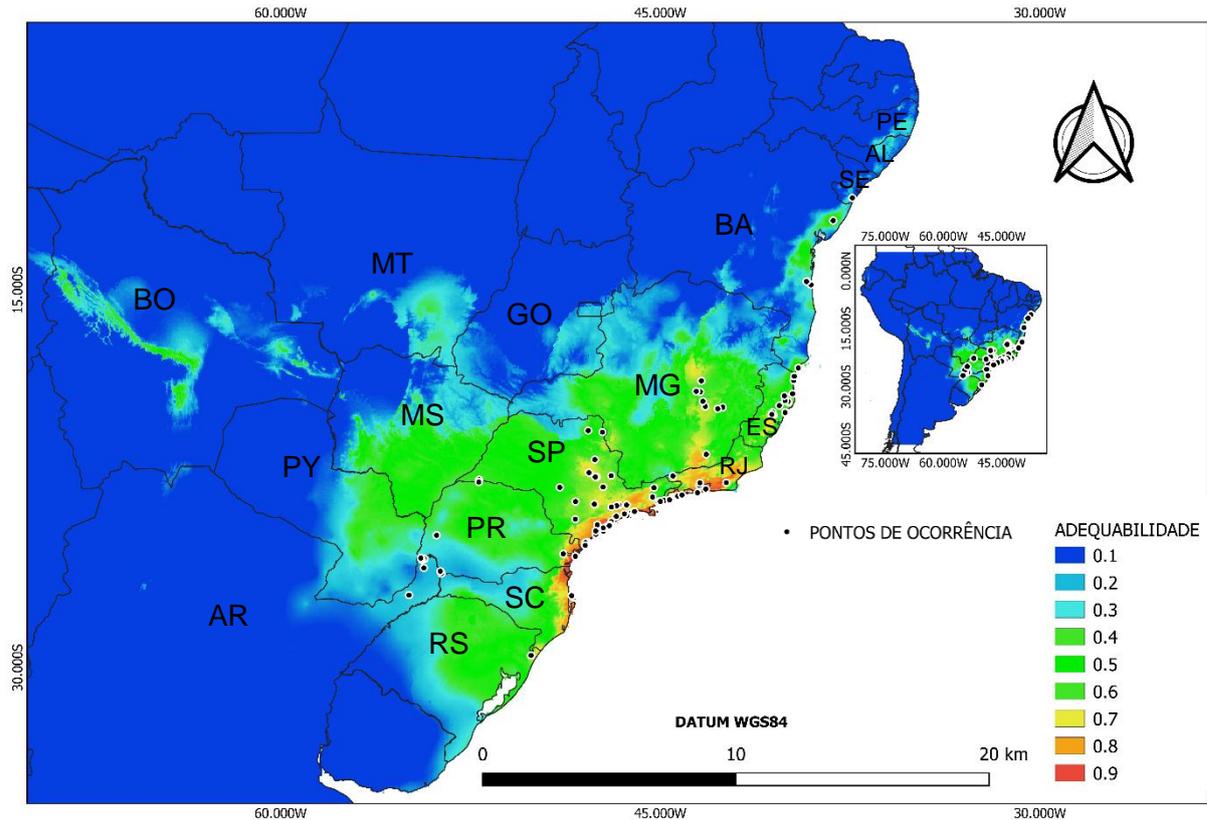


Figura 12 - Representação da previsão futura do modelo de distribuição de *I. langsdorffii* gerado pelo *MaxEnt* para o cenário RCP 4.5 do MCG (CCSM4).
Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Os dados contidos na projeção deste cenário, revelam, que as regiões de maior probabilidade de ocorrência da espécie em relação a adequabilidade climática (de 0,7-0,9), estão dispostas em parte na zona costeira do Brasil (majoritariamente ao longo da faixa da floresta ombrófila densa do bioma Mata Atlântica) entre os municípios de Santa Maria Madalena no Rio de Janeiro e Jaguaruna em Santa Catarina. Bem como, em áreas localizadas no sentido litoral-interior do continente brasileiro em municípios de São Paulo (Sorocaba, Campinas e São Carlos) e Minas Gerais (Juiz de Fora, Barbacena e Itabira). Ainda assim, outras áreas de alta adequabilidade climática para a ocorrência da espécie podem ser observadas isoladas em municípios como: Terra de Areia (RS), Santa Teresa (ES) e Diamantina (MG).

Ainda, este cenário apresenta aumento nas áreas de baixa (de 0,1-0,3) e intermediária (de 0,4-0,6) adequabilidade climática para a ocorrência da espécie, quando comparada ao período climático atual e ao cenário 8.5 de mesmo MCG, podendo haver a probabilidade de *I. langsdorffii* ocorrer em Estados brasileiros onde atualmente não possuem registros para a mesma como Alagoas, Pernambuco, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. No Paraguai a área de menor ocorrência é

observada no sentido Leste-Oeste (de Pedro Juan Caballero a Paraguari).

Os Estados localizados ao Norte da região litoral do Brasil como Sergipe e Bahia nesta projeção apresentaram baixa adequabilidade climática para a espécie, em comparação ao período climático atual.

b) Cenário RCP 6.0

Os resultados do Jackknife gerados pelo programa *MaxEnt* para este cenário indicam que as variáveis ambientais que mais contribuíram com a previsão do modelo (Tabela 7) foram temperatura sazonal (bio4; 38,2%) e precipitação do trimestre mais quente (bio18; 29,2%). Porém a variável ambiental com maior ganho quando analisada isoladamente foi a temperatura sazonal (bio4). Contudo, a mesma variável (bio4) é a que mais reduz o ganho quando é omitida, isso significa que a mesma tem mais informações que não estão presentes nas outras variáveis.

Tabela 7 - Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo de distribuição de *I. langsdorffii* RCP 6.0 CCSM4.

Variável	Contribuição percentual	Importância da permutação
bio4	38,2	46,8
bio18	29,2	8,0
bio1	13,3	22,1
bio12	10,4	12,2
bio2	8,9	10,8

Legenda - bio1: Temperatura média anual; bio2: Variação média diurna; bio4: Temperatura sazonal; bio12: Precipitação anual; bio18: Precipitação do trimestre mais quente.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Neste cenário futuro denominado RCP 6.0 (Figura 13), é possível avaliar que as áreas regiões climaticamente adequadas para a distribuição espacial de *I. langsdorffii* aumentaram em comparação ao período climático atual e ao cenário 4.5 de mesmo MCG. As áreas de alta adequabilidade climática para ocorrência da espécie também aumentaram quando comparadas ao período climático atual e aos cenários RCP 4.5 e 8.5 do mesmo MCG.

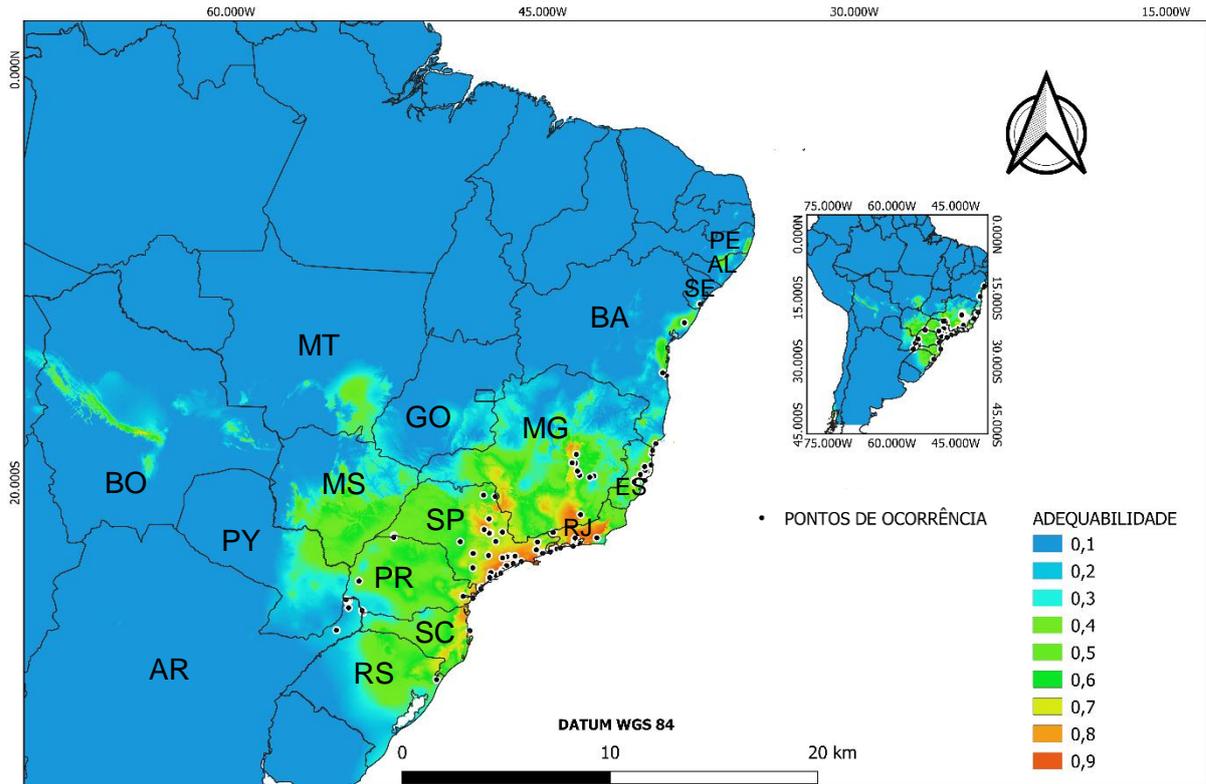


Figura 13 - Representação da previsão futura do modelo de distribuição do anuro *I. langsdorffii* gerado pelo *MaxEnt* para o cenário RCP 6.0 do MCG (CCSM4).
 Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Na projeção atual evidencia-se, através do mapa, que as áreas de alta adequabilidade climática (de 0,7-0,9) para a ocorrência da espécie, estão distribuídas ao longo da zona litorânea brasileira, iniciando no município de São Fidelis (RJ) e estendendo-se até o município catarinense de Penha, de onde adquire uma linha reta em direção ao município gaúcho de Cambará do Sul. Outras áreas de alta adequabilidade climática para a espécie, podem ser observadas em alguns municípios como Curitiba, Almirante Tamandaré, Quatro Barras e Colombo (PR); Itamogi, Monte Santo de Minas, São Sebastião do Paraíso e Jacuí (MG) São Carlos, Itirapina, Rio Claro, Matão e Araraquara (SP). Bem como, do litoral em sentido ao interior do continente na região Sudeste (de Jundiá até Ribeirão Preto, de Monte verde a Araxá, de Juiz de fora até Diamantina) e na região Sul (de Bombinhas até Cambará do Sul).

Já as áreas de baixa (de 0,1-0,3) e intermediária (de 0,4-0,6) adequabilidade climática para a espécie, quando comparada ao período climático atual e ao cenário 4.5 de mesmo MCG, percebe-se um considerável aumento da área de distribuição espacial da espécie, podendo ter a probabilidade de *I. langsdorffii* ocorrer em Estados brasileiros como Pernambuco (Lagoa do Ouro), Alagoas (Viçosa), Goiás (Catalão),

Mato Grosso (Primavera do Leste) e Mato Grosso do Sul (Campo Grande).

Contudo, em outros Estados do Brasil onde a espécie já foi descrita, foram verificadas áreas de baixa adequabilidade climática (de 0,1-0,3) em seus limites como Sergipe, Bahia, Espírito Santo e Rio Grande do Sul. No Paraguai essas áreas de baixa adequabilidade climática são observadas no sentido Leste-Oeste (de Pedro Juan Caballero a Cordillera).

c) Cenário RCP 8.5

Os resultados do Jackknife gerados pelo programa *MaxEnt* para este cenário indicam que as variáveis ambientais que mais contribuíram com a previsão do modelo (Tabela 8) foram temperatura sazonal (bio4; 32,2%) e temperatura média anual (bio1; 31,7%), porém a variável ambiental com maior ganho quando analisada isoladamente foi a temperatura média anual (bio1). Contudo, a mesma variável (bio1) é a que mais reduz o ganho quando é omitida, isso significa que a mesma possui mais informações que não estão presentes nas outras variáveis.

Tabela 8 - Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo de distribuição de *I. langsdorffii* RCP 8.5 CCSM4.

Variável	Contribuição percentual	Importância da permutação
bio4	32,2	22,5
bio1	31,7	45,2
bio18	19,6	12,9
bio12	9,5	11,3
bio2	6,9	8,1

Legenda - bio1: Temperatura média anual; bio2: Variação média diurna; bio4: Temperatura sazonal; bio12: Precipitação anual; bio18: Precipitação do trimestre mais quente.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Neste cenário futuro denominado pessimista RCP 8.5 (Figura 14), é possível interpretar que as áreas climaticamente adequadas para a distribuição espacial de *I. langsdorffii* diminuiriam em comparação ao período climático atual e aos cenários 4.5 e 6.0 do mesmo MCG. Já as áreas de alta adequabilidade climática para a ocorrência da espécie aumentaram somente em comparação ao período climático atual.

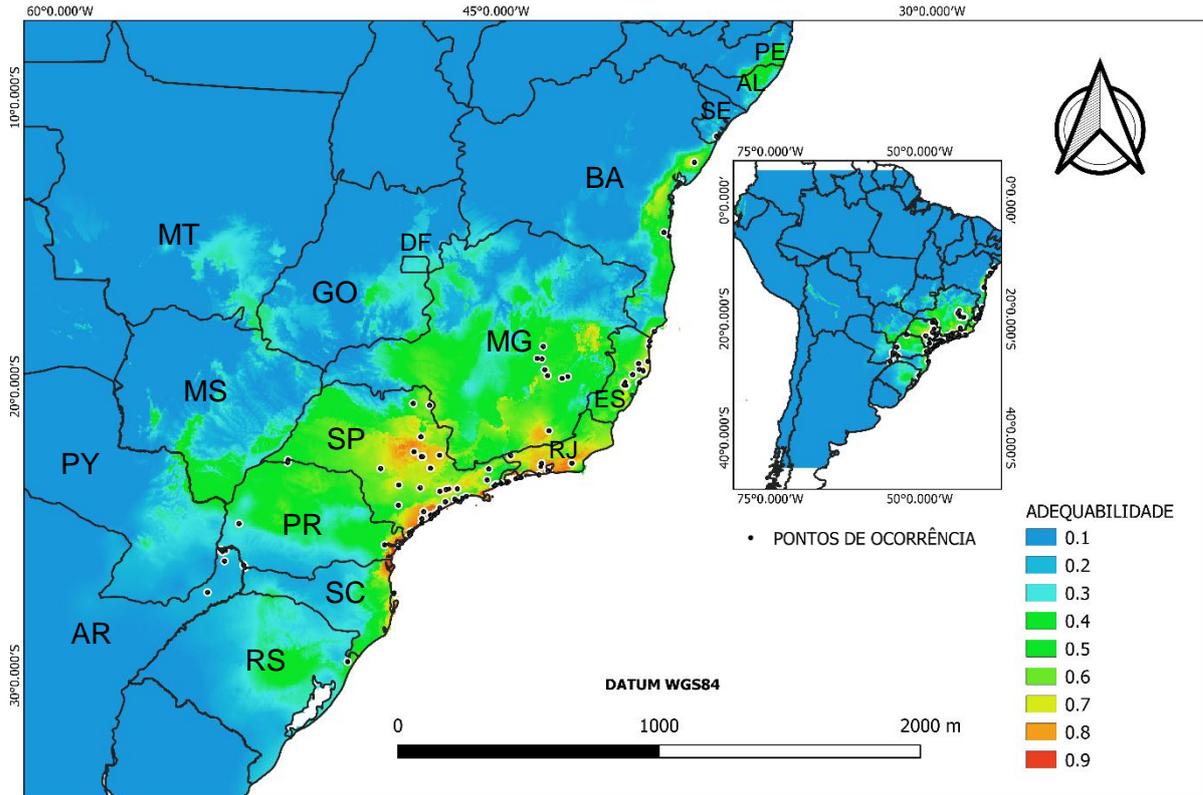


Figura 14 - Representação da previsão futura do modelo de distribuição do anuro *I. langsdorffii* gerado pelo *MaxEnt* para o cenário RCP 8.5 do MCG (CCSM4).

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

A projeção atual observada através do mapa, destaca as regiões de alta adequabilidade climática (de 0,7-0,9) para a ocorrência de *I. langsdorffii* ao longo da zona costeira brasileira, iniciando no município carioca de São Fidelis e chegando até o município catarinense de Barra Velha. Outras áreas de alta adequabilidade climática podem ser observadas isoladas em alguns municípios brasileiros como Juiz de Fora, Santos Dumont, Governador Valadares, São Felix de Minas, Teófilo Otoni (MG); Campinas, Botucatu, Piracicaba, Rio Claro, São Carlos, Bauru e Ribeirão Preto (SP); Bombinhas, Biguaçu, Tijucas, Florianópolis, Garopaba e Imbituba (SC). Ainda assim, outras regiões climaticamente adequadas para a ocorrência da espécie são percebidas no sentido litoral-interior do continente em alguns municípios do Estado de São Paulo (de Campinas a Ribeirão Preto) e Minas Gerais (de Juiz de Fora à Barbacena).

Os locais de baixa (de 0,1-0,3) e intermediária (de 0,4-0,6) adequabilidade climática para a ocorrência da espécie, em comparação ao período climático atual e aos cenários 4.5 e 6.0 de mesmo MCG, mostram neste modelo uma redução das áreas de distribuição espacial da espécie, principalmente para a região Sul. Ademais

verificou-se regiões onde a ocorrência de *I. langsdorffii* não constam em inventários para a mesma, como nos Estados brasileiros de Alagoas (Viçosa), Pernambuco (Lagoa do Ouro), Goiás (Goiânia), Mato Grosso (Primavera do Leste) e Mato Grosso do Sul (Campo Grande).

Em outros Estados do Brasil onde a espécie já foi descrita, foram verificadas áreas de baixa adequabilidade climática (de 0,1-0,3) para este cenário, é o caso de Sergipe, Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. No Paraguai a região de baixa adequabilidade climática é observada na fronteira com o Brasil (em Pedro Juan Caballero). Cabe destacar que a região situada em Misiones (Argentina) neste e nos demais cenários (4.5 e 6.0) deste MCG mostrou baixa adequabilidade climática para a ocorrência da espécie.

Projeções dos Cenários – MCG Met Office Hadley Centre (HADGEM2-ES)

Os três cenários (RCP 4.5, 6.0 e 8.5) modelados pelo MCG HADGEM2-ES apresentaram valores de AUC maiores que 0,90 (Tabela 9) indicando um excelente ajuste dos dados para ocorrência de *I. langsdorffii* (DALAPICOLLA, 2016; METZ, 1986).

Tabela 9 - Relação dos cenários projetados com resultados de ajuste do modelo.

Cenários	AUC Test	AUC Training	Desvio Padrão
RCP 4.5	0,9227	0,9288	0,002
RCP 6.0	0,9215	0,9260	0,003
RCP 8.5	0,9175	0,9240	0,003

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

d) Cenário RCP 4.5

Os resultados do Jackknife gerados pelo programa *MaxEnt* para esse cenário indicam que as variáveis ambientais que mais contribuíram com a previsão do modelo (Tabela 10) foram precipitação do trimestre mais quente (bio18; 49,4%) e temperatura sazonal (bio4; 31,3%), porém a variável ambiental com maior ganho quando analisada isoladamente foi a temperatura sazonal (bio18). Contudo, a temperatura sazonal (bio4) é a variável que mais reduz o ganho quando é omitida, isso significa que a mesma tem mais informações que não estão presentes nas outras variáveis.

Tabela 10 - Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo de distribuição de *I. langsdorffii* RCP 4.5 HADGEM2-ES.

Variável	Contribuição percentual	Importância da permutação
bio18	49,4	58,6
bio4	31,3	21,4
bio2	10,4	10,1
bio1	8,1	9,1
bio12	0,8	0,8

Legenda - bio1: Temperatura média anual; bio2: Variação média diurna; bio4: Temperatura sazonal; bio12: Precipitação anual; bio18: Precipitação do trimestre mais quente.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Para este cenário futuro denominado intermediário RCP 4.5 (Figura 15), é possível interpretar que as regiões climaticamente adequadas para a distribuição espacial de *I. langsdorffii* são relativamente menores em comparação ao período climático atual e ao cenário 6.0 de mesmo MCG. Já as áreas de alta adequabilidade para a ocorrência da espécie aumentaram em relação ao período climático atual e ao cenário 8.5 de mesmo MCG.

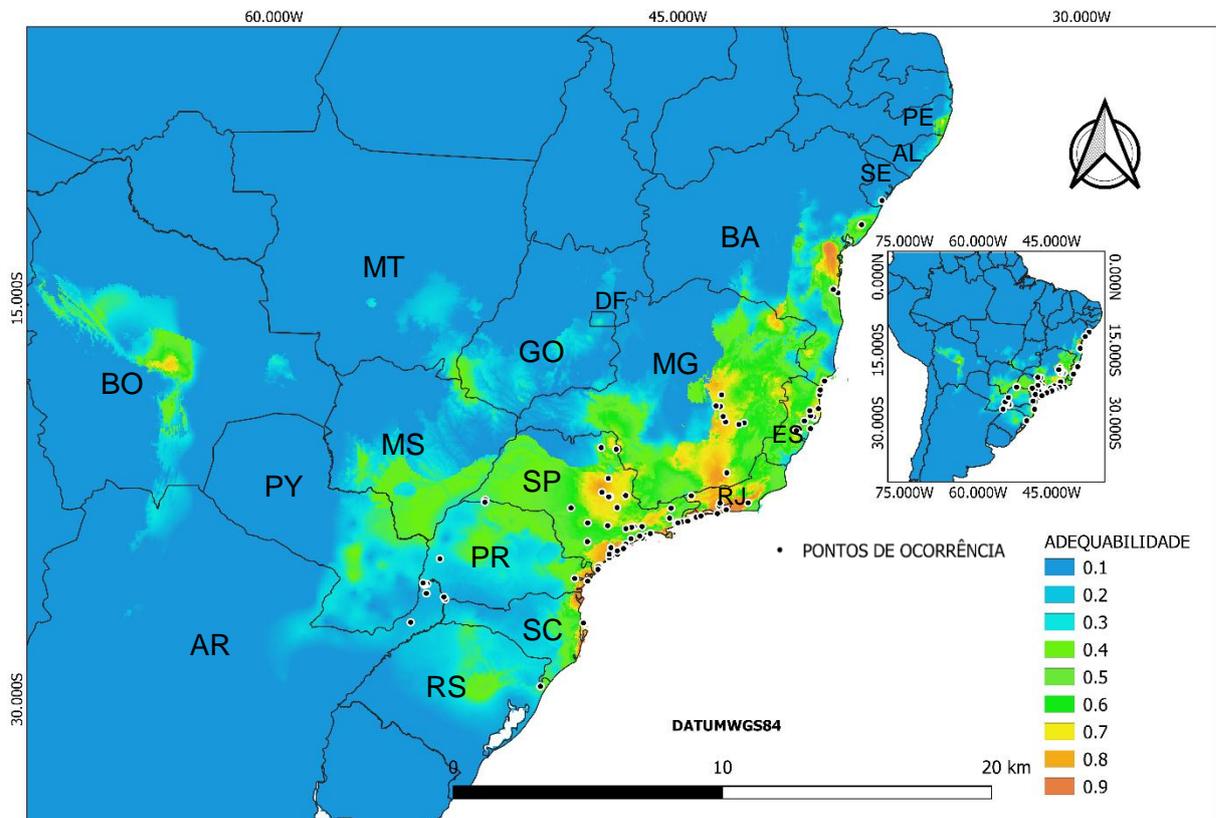


Figura 15 - Representação da previsão futura do modelo de distribuição de *I. langsdorffii* gerado pelo MaxEnt para o cenário RCP 4.5 do MCG (HADGEM2-ES).

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Os dados apresentados no mapa mostram que as áreas de alta adequabilidade climática (de 0,7-0,9) para a ocorrência de *I. langsdorffii* nessa projeção se apresenta em partes ao longo da zona litorânea brasileira entre os municípios de Santa Maria Madalena (RJ) e Barra Velha (SC), e em duas áreas da região Sudeste no sentido litoral-interior do continente, entre os municípios brasileiros de Sorocaba a São Carlos (SP); de Juiz de Fora a Diamantina (MG). Ainda assim, outras regiões climaticamente adequadas para a ocorrência da perereca podem ser percebidas isoladas entre os municípios de Santa Teresa a Santa Leopoldina (ES); de Santo Antônio de Jesus a Itacaré (BA); de Franca a Pedregulho (SP); de Bombinhas a Laguna (SC). Ainda um registro isolado em Escada (PE). Na Bolívia, a localidade dos Andes Tropicais (Lat 17° Oeste), apresenta para este cenário, uma região de alta adequabilidade climática, totalmente isolada do eixo principal de distribuição espacial de ocorrência para a espécie.

Nesta projeção, as áreas de baixa (de 0,1-0,3) e intermediária (de 0,4-0,6) adequabilidade climática para a ocorrência de *I. langsdorffii* diminuíram em comparação ao período climático atual e ao cenário 6.0 de mesmo MCG, principalmente na região Sudeste do Brasil. Ainda assim, algumas regiões brasileiras localizadas nos Estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal, Alagoas, Pernambuco e Sergipe, apresentaram baixa adequabilidade climática para a ocupação da espécie em seus territórios. No Paraguai essas áreas foram verificadas em Concepción, São Pedro, Cordillera e Pedro Juan Caballero.

e) Cenário RCP 6.0

Para este cenário, os resultados do Jackknife gerados pelo programa *MaxEnt* indicam que as variáveis ambientais que mais contribuíram com a previsão do modelo (Tabela 11) foram precipitação do trimestre mais quente (bio18; 57,4%) e temperatura sazonal (bio4; 23,4%), porém a variável ambiental com maior ganho quando analisada isoladamente foi a temperatura sazonal (bio18). Contudo, a mesma variável (bio18) é a que mais reduz o ganho quando é omitida, isso significa que a mesma tem mais informações que não estão presentes nas outras variáveis.

Tabela 11 - Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo de distribuição de *I. langsdorffii* RCP 6.0 HADGEM2-ES.

Variável	Contribuição percentual	Importância da permutação
bio18	57,4	57,2
bio4	23,4	16,2
bio1	12,6	12,2
bio2	6,1	9,6
bio12	0,5	4,7

Legenda - bio1: Temperatura média anual; bio2: Variação média diurna; bio4: Temperatura sazonal; bio12: Precipitação anual; bio18: Precipitação do trimestre mais quente.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Para este cenário futuro RCP 6.0 (Figura 16), é possível interpretar que as regiões climaticamente adequadas para a distribuição espacial de *I. langsdorffii* aumentaram em comparação ao período climático atual e ao cenário 4.5 de mesmo MCG. As áreas de alta adequabilidade climática para ocorrência da espécie também tiveram aumento quando comparadas ao período climático atual e aos cenários RCP 4.5 e 8.5 do mesmo MCG.

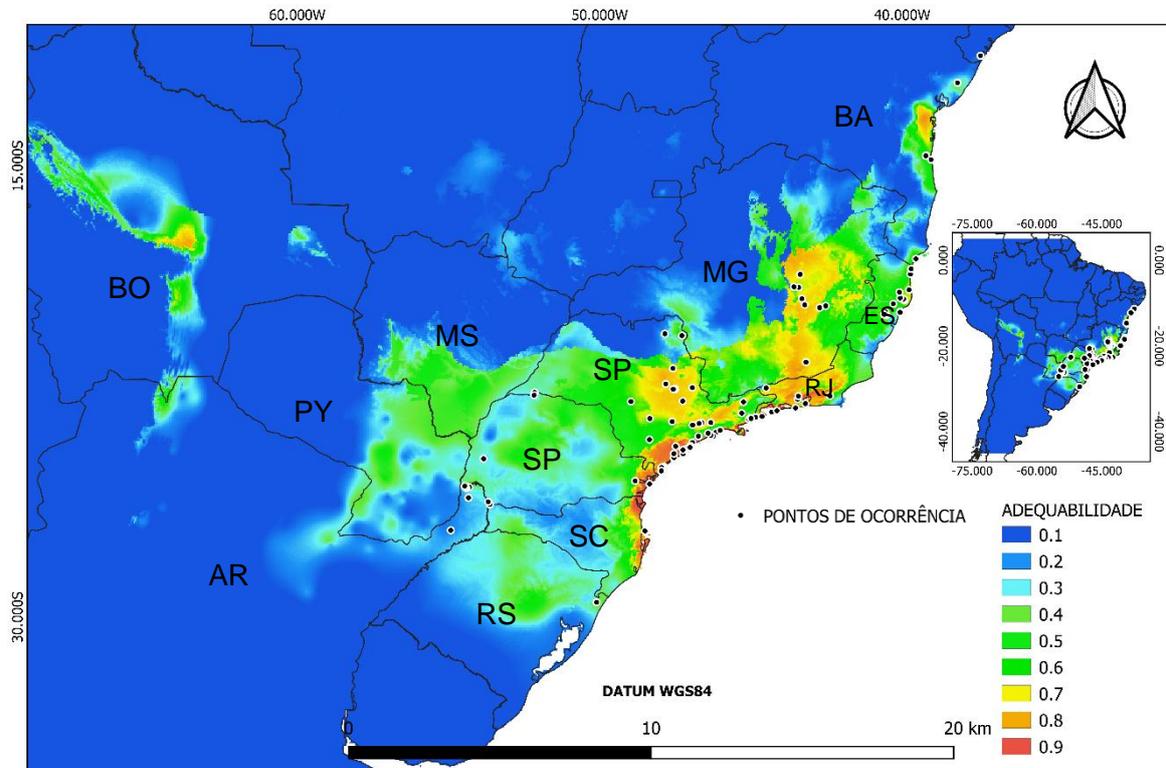


Figura 16 - Representação da previsão futura do modelo de distribuição de *I. langsdorffii* gerado pelo *MaxEnt* para o cenário RCP 6.0 do MCG (HADGEM2-ES).

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Os locais de alta adequabilidade climática (de 0.7-0.9) para a distribuição espacial da espécie se apresentam em partes ao longo da região litoral do Brasil entre os municípios de Santa Maria Madalena (RJ) e Itajaí (SC) ambos inseridos na faixa de floresta ombrófila densa da Mata Atlântica, e em duas áreas da região Sudeste no sentido litoral-interior do continente, entre os municípios brasileiros de São Paulo a São Carlos (SP); de Juiz de Fora a Capelinha (MG). No Brasil, outras localidades de provável presença da espécie foram percebidas isoladas entre os municípios de São Miguel das Matas a Marau (BA); de Bombinhas a Laguna (SC). Na Bolívia, a localidade dos Andes Tropicais (Lat 17° Oeste), apresenta para este cenário, uma região de alta adequabilidade climática, totalmente isolada do eixo principal de distribuição espacial de ocorrência de *I. langsdorffii*.

Já as áreas de baixa (de 0,1-0,3) e intermediária (de 0,4-0,6) adequabilidade climática para a ocorrência da espécie, deste cenário, quando comparado ao período climático atual e ao cenário 4.5 de mesmo MCG, apresentam aumento da distribuição espacial, podendo ter a probabilidade de ocorrer em Estados Brasileiros que até então não possuem em seus inventários descrição para a perereca-castanhola como Pernambuco (Ipojuca) e Mato Grosso do Sul (Dourados). Além da região Leste-central do Paraguai (de Pedro Juan Caballero a Assunção).

Outros Estados brasileiros onde a espécie estudada já possui dados de ocorrência, apresentaram neste cenário, áreas de baixa e intermediária adequabilidade climática em seus limites como Sergipe, Espírito Santo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Na Argentina, é possível verificar essas áreas sobre a localidade de Misiones.

f) Cenário RCP 8.5

Os resultados do Jackknife gerados pelo programa *MaxEnt* para este cenário indicam que as variáveis ambientais que mais contribuíram com a previsão do modelo (Tabela 12) foram precipitação do trimestre mais quente (bio18; 56,8%) e temperatura média anual (bio1; 22,8%), porém a variável ambiental com maior ganho quando analisada isoladamente foi a precipitação do trimestre mais quente (bio18). Contudo, a mesma variável (bio18) é a que mais reduz o ganho quando é omitida, isso significa que a mesma tem mais informações que não estão presentes nas outras variáveis.

Tabela 12 - Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo de distribuição de *I. langsdorffii* RCP 8.5 HADGEM2-ES.

Variável	Contribuição percentual	Importância da permutação
bio18	56,8	56,6
bio1	22,8	15,6
bio4	11,3	11,6
bio2	8,2	13,9
bio12	1,0	2,4

Legenda - bio1: Temperatura média anual; bio2: Variação média diurna; bio4: Temperatura sazonal; bio12: Precipitação anual; bio18: Precipitação do trimestre mais quente.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

A projeção para este cenário futuro denominado pessimista RCP 8.5 (Figura 17), mostra que as áreas de distribuição espacial de *I. langsdorffii* são relativamente menores quando comparadas ao período climático atual e aos demais cenários 4.5 e 6.0 do mesmo MCG. Já as áreas de alta adequabilidade climática para ocorrência da espécie tiveram aumento somente em comparação ao período climático atual.

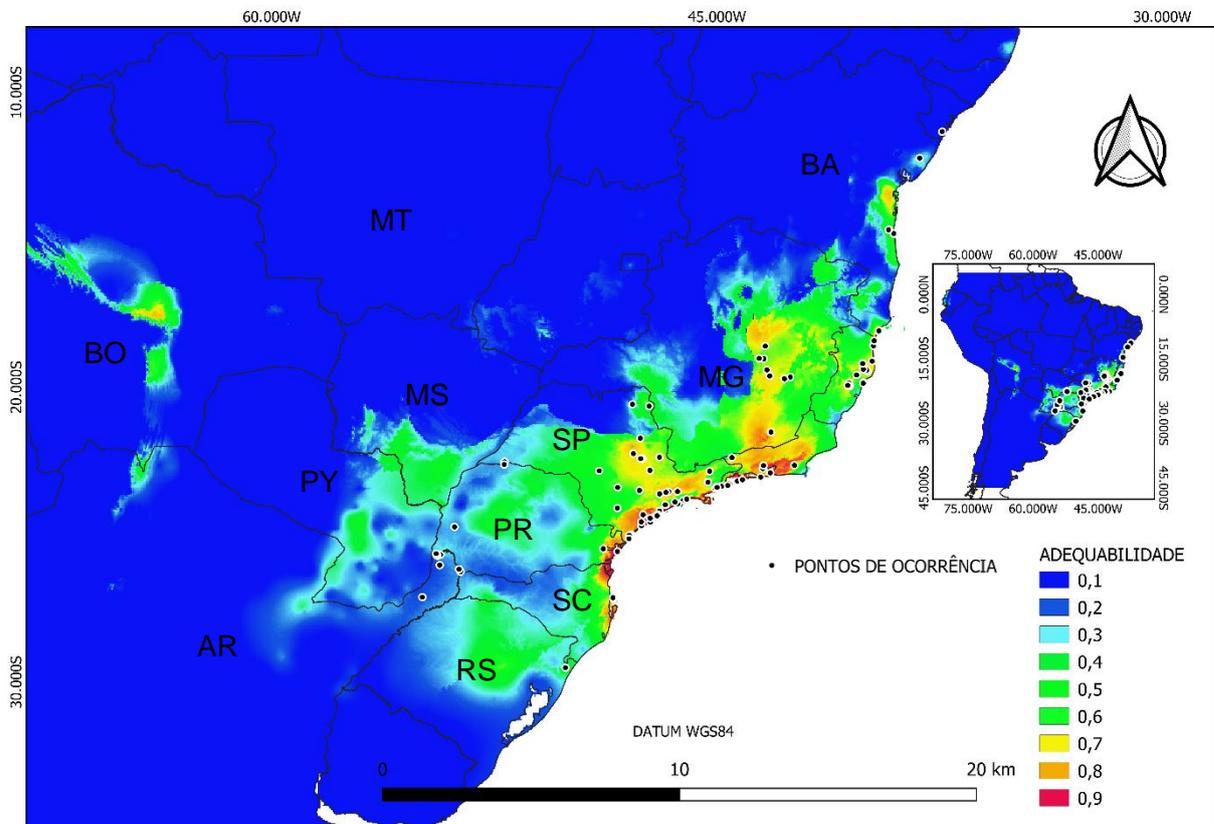


Figura 17 - Representação da previsão futura do modelo de distribuição do anuro *I. langsdorffii* gerado pelo MaxEnt para o cenário RCP 8.5 do MCG (HADGEM2-ES).

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

As áreas de alta adequabilidade climática (de 0,7-0,9) para a ocorrência de *I.*

langsdorffii são percebidas em duas frentes nesta projeção: a primeira ao longo da zona litorânea brasileira, entre os municípios de Santa Maria Madalena (RJ) e Penha (SC); a segunda com áreas de distribuição da espécie que vão no sentido litoral-continente, englobando áreas da floresta semidecidual do bioma Mata Atlântica, entre os municípios de São José dos Campos a São Carlos (SP); de Juiz de Fora a Carbonita (MG). Outras áreas de maior presença podem ser percebidas de forma isolada entre os municípios de Mutuípe à Camamu (BA); de Bombinhas à Imbituba (SC).

Neste cenário, as áreas de baixa (de 0,1-0,3) e intermediária (de 0,4-0,6) adequabilidade climática para a ocorrência da espécie, tiveram redução em relação ao período climático atual e em comparação aos cenários 4.5 e 6.0 de mesmo MCG, essa diminuição é notada principalmente nas regiões Norte e Sul do bioma Mata Atlântica. Ademais notou-se a probabilidade de *I. langsdorffii* ocorrer em três áreas climaticamente adequadas e que atualmente não possuem registros para a mesma, o Estado brasileiro de Mato Grosso do Sul (Dourados), a faixa Leste-Oeste do Paraguai entre Pedro Juan Caballero e Assunção e chegando até a localidade de Corrientes na Argentina.

Outros Estados brasileiros onde se tem registros da presença da espécie, também apresentaram baixa e intermediária adequabilidade climática para a ocorrência neste cenário, é o caso de Sergipe e Rio Grande do Sul.

Projeções dos Cenários - MCG Meteorological Research Institute (MRICGCM3)

Os três cenários (RCP 4.5, 6.0 e 8.5) modelados pelo MCG MRICGCM3 apresentaram valores de AUC maiores que 0,90 (Tabela 13) indicando um excelente ajuste dos dados para ocorrência de *I. langsdorffii* (DALAPICOLLA, 2016).

Tabela 13 - Relação dos cenários projetados com resultados de ajuste do modelo.

Cenários	AUC Test	AUC Training	Desvio padrão
RCP 4.5	0,9239	0,9270	0,002
RCP 6.0	0,9137	0,9187	0,005
RCP 8.5	0,9167	0,9241	0,004

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

g) Cenário RCP 4.5

Os resultados do Jackknife gerados pelo programa *MaxEnt* para este cenário indicam que as variáveis ambientais que mais contribuíram com a previsão do modelo (Tabela 14) foram precipitação do trimestre mais quente (bio18; 32,6%) e temperatura sazonal (bio4; 31,4%). Além disso, a temperatura média anual (bio1) foi a variável ambiental com maior ganho quando analisada isoladamente e também a que mais diminui o ganho quando é omitida, isso significa que ela tem mais informações que não estão presentes nas outras variáveis.

Tabela14 - Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo de distribuição de *I. langsdorffii*, RCP 4.5 MRICGCM3.

Variável	Contribuição percentual	Importância da permutação
bio18	32,6	8,0
bio4	31,4	33,2
bio1	14,7	28,6
bio12	13,2	20,6
bio2	8,1	9,7

Legenda - bio1: Temperatura média anual; bio2: Variação média diurna; bio4: Temperatura sazonal; bio12: Precipitação anual; bio18: Precipitação do trimestre mais quente.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

A partir deste cenário futuro denominado intermediário RCP 4.5 (Figura 18), é possível interpretar que as áreas climaticamente adequadas para a distribuição espacial da espécie aumentaram em comparação ao período climático atual e aos cenários 6.0 e 8.5 de mesmo MCG. Já, as áreas de alta adequabilidade climática para a ocorrência da espécie aumentaram em relação ao período climático atual e ao cenário 6.0 de mesmo MCG.

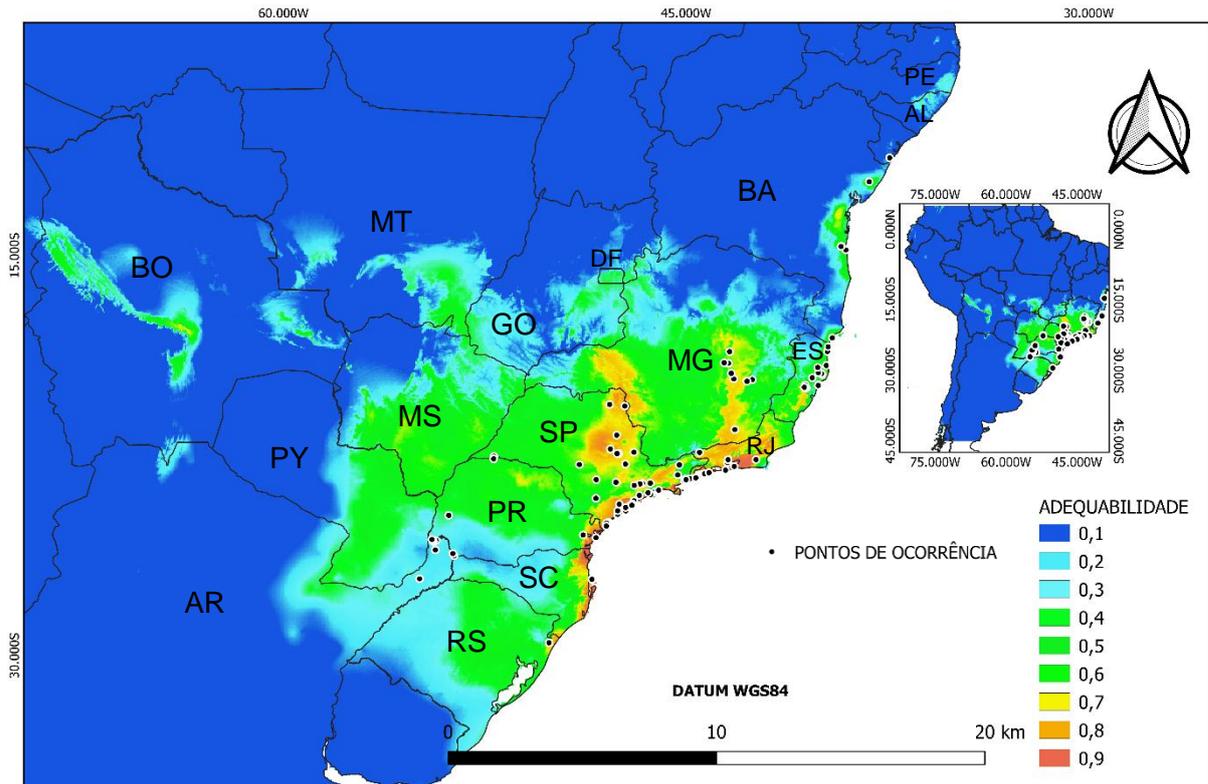


Figura 18 - Representação da previsão futura do modelo de distribuição do anuro *I. langsdorffii* gerado pelo *MaxEnt* para o cenário RCP 4.5 do MCG (MRICGCM3).
Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Os dados contidos no mapa revelam que as áreas de alta adequabilidade climática (de 0,7-0,9) para a ocorrência da espécie se apresentam em partes ao longo da região costeira do Brasil entre os municípios de São Fidelis (RJ) e Jaguaruna (SC), e em duas outras áreas da região Sudeste principalmente nos Estados de São Paulo e Minas Gerais. Ainda assim, outras regiões climaticamente adequadas para a ocorrência podem ser percebidas isoladas na região Sul entre os municípios de Sombrio (SC) à Xangrilá (RS); na região Nordeste; de Presidente Tancredo Neves à Wenceslau Guimarães (BA); e na região Sudeste de São Roque do Canaã à Rio Novo do Sul (ES).

As áreas de baixa (de 0,1-0,3) e intermediária (de 0,4-0,6) adequabilidade climática para a ocorrência de *I. langsdorffii*, aumentaram em comparação ao período climático atual, e aos demais cenários 6.0 e 8.5 de mesmo MCG. Outras localidades em que a espécie-alvo não foi descrita até o momento, apresentaram baixa e intermediária adequabilidade climática em seus territórios, como os Estados brasileiros de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Alagoas, Goiás, Distrito Federal e Pernambuco. No Paraguai essas áreas foram observadas passando por Pedro Juan

Caballero, Assunção até chegar a Corrientes na Argentina.

Ainda que, este cenário tenha aumentando as áreas de distribuição espacial da espécie, é possível observar que o Estado brasileiro de Sergipe, apresenta baixa adequabilidade climática para a ocorrência da perereca-castanhola em seu território, bem como a região situada em Misiones (Argentina).

h) Cenário RCP 6.0

Os resultados do Jackknife gerados pelo programa *MaxEnt* para este cenário indicam que as variáveis ambientais que mais contribuíram com a previsão do modelo (Tabela 15) foram temperatura sazonal (bio4; 38,5%) e precipitação do trimestre mais quente (bio18; 28,3%). Já a variável ambiental com maior ganho quando analisada isoladamente foi a temperatura sazonal (bio4). Porém, a variação média diurna (bio2) é a variável que mais reduz o ganho quando é omitida, isso significa que ela tem mais informações que não estão presentes nas outras variáveis.

Tabela 15 - Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo de distribuição de *I. langsdorffii* RCP 6.0 MRICGCM3.

Variável	Contribuição percentual	Importância da permutação
bio4	38,5	40,7
bio18	28,3	8,4
bio2	20,5	19,0
bio12	7,1	12,0
bio1	5,7	19,9

Legenda - bio1: Temperatura média anual; bio2: Variação média diurna; bio4: Temperatura sazonal; bio12: Precipitação anual; bio18: Precipitação do trimestre mais quente.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Neste cenário futuro denominado RCP 6.0 (Figura 19), é possível avaliar que as áreas climaticamente adequadas para a distribuição espacial de *I. langsdorffii* aumentaram em relação ao período climático atual e ao cenário 8.5, porém diminuíram em comparação ao cenário RCP 4.5 do mesmo MCG. As áreas de alta adequabilidade climática, aumentaram somente em comparação ao período climático atual.

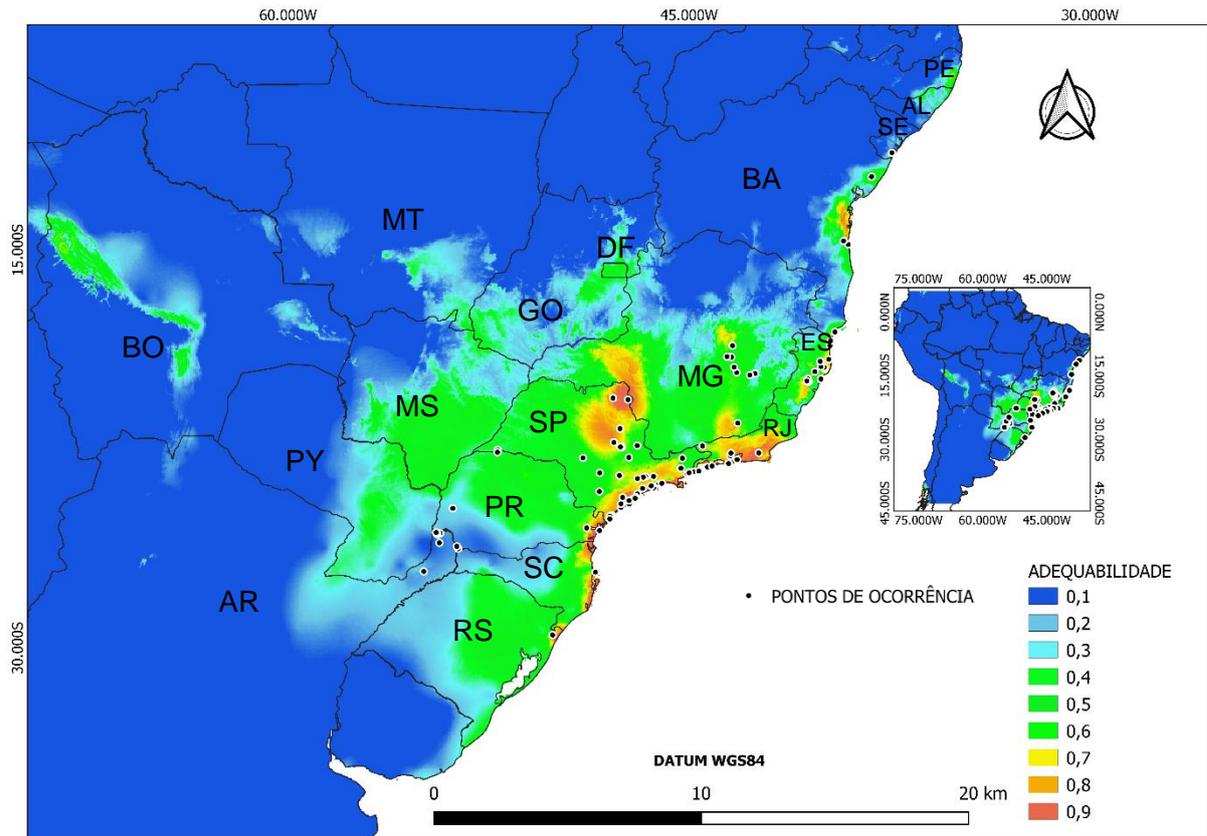


Figura 19 - Representação da previsão futura do modelo de distribuição do anuro *I. langsdorffii* gerado pelo *MaxEnt* para o cenário RCP 6.0 do MCG (MRICGCM3).
Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Para analisar essa projeção observou-se através do mapa os locais de alta adequabilidade climática (de 0,7-0,9) para a ocorrência de *I. langsdorffii*. Essas regiões podem ser observadas em duas situações: ao longo da zona litorânea brasileira (faixa de Floresta Ombrófila Densa do bioma Mata Atlântica), entre os municípios de Santa Maria Madalena (RJ) e Penha (SC); e outra na região Sudeste com áreas de distribuição da espécie no sentido litoral-interior do continente, em áreas da floresta estacional do bioma Mata Atlântica, entre os municípios de São Pedro à São Carlos (SP); de Juiz de Fora à Barbacena na porção Sul e de Guaranésia à Araguari a Oeste (MG). Ainda é possível observar outras áreas de alta adequabilidade climática para a ocorrência de espécies isoladas entre os municípios de Laje à Uruçuca (BA); de Bombinhas à Jaguaruna (SC); de Santa Rosa do Sul (SC) à Capão da Canoa (RS) e em Diamantina (MG).

Neste cenário as áreas de baixa (de 0,1-0,3) e intermediária (de 0,4-0,6) adequabilidade climática para a ocorrência da espécie aumentaram em comparação ao período climático atual e ao cenário 8.5 de mesmo MCG. Alguns Estados

brasileiros que não constam registros para a espécie, apresentaram áreas de baixa e intermediária adequabilidade climática para a ocorrência da espécie-alvo como Alagoas (Maceió), Pernambuco (Lagoa do Ouro), Mato Grosso do Sul (Dourados), Mato Grosso, Goiás (Goiânia) e Distrito Federal. Além da região central do Paraguai (de Pedro Juan Caballero a Assunção).

Outras regiões que já possuem ocorrência da espécie e apresentaram baixa probabilidade de ocorrência em seus limites são: Sergipe (Brasil) e Misiones (Argentina).

i) Cenário RCP 8.5

Os resultados do Jackknife gerados pelo programa *MaxEnt* para este cenário indicam que as variáveis ambientais que mais contribuíram com a previsão do modelo (Tabela 16) foram precipitação do trimestre mais quente (bio18; 40,7%) e temperatura sazonal (bio4; 35,8%), porém a variável ambiental com maior ganho quando analisada isoladamente foi a temperatura média anual (bio1). Contudo, a temperatura sazonal (bio4) é a variável que mais reduz o ganho quando é omitida, isso significa que a mesma tem mais informações que não estão presentes nas outras variáveis.

Tabela 16 - Relação das variáveis ambientais que mais contribuíram para o modelo de distribuição de *I. langsdorffii* RCP 8.5 MRICGCM3.

Variável	Contribuição percentual	Importância da permutação
bio18	40,7	25,7
bio4	35,8	39,3
bio2	11,3	12,2
bio1	8,3	14,3
bio12	3,8	8,5

Legenda - bio1: Temperatura média anual; bio2: Variação média diurna; bio4: Temperatura sazonal; bio12: Precipitação anual; bio18: Precipitação do trimestre mais quente.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

A projeção para este cenário futuro denominado pessimista RCP 8.5 (Figura 20), avaliou que as áreas de distribuição espacial de *I. langsdorffii* são maiores em comparação ao período climático atual e aos cenários 4.5 e 6.0 do mesmo MCG. As áreas de alta adequabilidade climática para a ocorrência da espécie são maiores neste cenário do que os outros cenários futuros do MCG MRICGCM3.

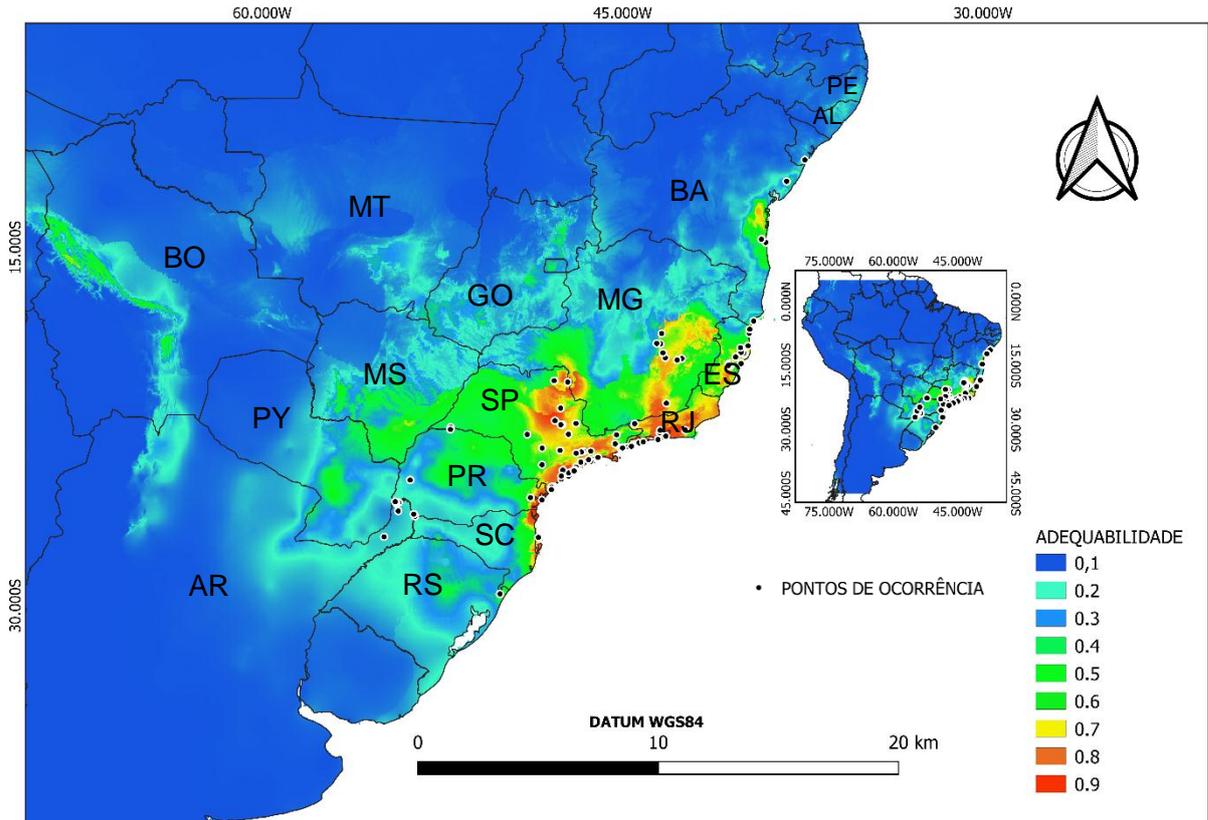


Figura 20 - Representação da previsão futura do modelo de distribuição de *I. langsdorffii* gerado pelo *MaxEnt* para o cenário RCP 8.5 do MCG (MRICGM3).
Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Os dados do mapa revelam que as regiões de alta adequabilidade climática (de 0,7-0,9) para a ocorrência da espécie se apresentam, ao longo da região costeira do Brasil entre os municípios de Muqui (ES) e Penha (SC). Duas áreas principais podem ser observadas nitidamente no mapa, ocupando grande extensão de área da região Sudeste no sentido litoral-continente distribuída em alguns municípios como Juiz de Fora, Itabira, Governador Valadares, Belo Horizonte, Teófilo Otoni (MG); São Paulo, Jundiaí, Sorocaba, Piracicaba, Rio Claro, São Carlos, São José dos Campos; Ribeirão Preto (SP). Ainda assim, áreas de alta adequabilidade climática podem ser vistas isoladas em municípios do Brasil como de Bombinhas à Imbituba (SC); de São Roque do Canaã à Guarapari (ES); de Presidente Tancredo Neves à Camamu (BA).

As áreas de baixa (de 0,1-0,3) e intermediária (de 0,4-0,6) adequabilidade climática para a ocorrência da espécie, aumentaram em comparação ao período climático atual e aos cenários 4.5 e 6.0 de mesmo MCG, este modelo obteve uma considerável redução da área de ocupação, principalmente para as regiões Norte e Sul do Brasil, bem como o Leste Argentino. Ademais, notou-se baixa probabilidade de

ocorrência de *I. langsdorffii* em locais onde até o presente não possuem registros para a mesma, como nos Estados brasileiros de Goiás (Goiânia), Distrito Federal (Brasília), Mato Grosso (Primavera do Leste), Alagoas (Maceió), Pernambuco (Lagoa do Ouro) e Mato Grosso do Sul (Campo Grande). Além da Região Leste do Paraguai (de Pedro Juan Caballero a Assunção).

Outros Estados do Brasil onde se tem evidências da presença da espécie, apresentaram baixa adequabilidade climática para este cenário, é o caso de Sergipe (Norte) e Rio Grande do Sul (Sul). Assim como na Argentina, a localidade de Misiones, também abriga uma população da espécie.

Após análise dos modelos apresentados, é possível identificar as seguintes situações:

- a) O cenário denominado de estabilização RCP 6.0 dos MCG's CCSM4 e HADGEM2-ES foi o que quantitativamente apresentou áreas com alta adequabilidade climática (de 0.7-0.9) para a ocorrência de *I. langsdorffii* em comparação ao período climático atual e aos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 dos seus MCG's;
- b) O cenário denominado pessimista RCP 8.5 dos MCG's CCSM4 e HADGEM2-ES foi o que mais diminuiu as áreas climaticamente adequadas para a distribuição espacial da espécie-alvo, em comparação ao período climático atual e aos cenários RCP 4.5 e RCP 6.0 dos mesmos MCG's;
- c) Verificou-se que as regiões climaticamente adequadas para a ocorrência de *I. langsdorffii* estão localizadas na zona costeira do litoral brasileiro, majoritariamente na faixa entre os Estados de Rio de Janeiro à Santa Catarina; bem como ao longo da região Sudeste do Brasil (SP, MG, ES e RJ), sentido litoral-continente;
- d) Através da análise dos nove modelos projetados para o futuro foi possível avaliar que áreas localizadas no Estado brasileiro de Sergipe (Região Nordeste) e na Argentina em Misiones, onde atualmente existem populações da espécie-alvo, ambas apresentaram baixa adequabilidade climática para a distribuição espacial da espécie-alvo em seus territórios.
- e) Cabe destacar, ainda, que a partir dos nove modelos futuros gerados, foi possível identificar áreas de baixa (de 0,1-0,3) e intermediária (de 0,4-0,6) adequabilidade climática para a ocorrência da espécie em localidades que atualmente não tem registros para a mesma. Esses locais analisados em

diferentes cenários projetados neste estudo, são: Alagoas (Maceió), Pernambuco (Rio Largo), Mato Grosso do Sul (Dourados), Mato Grosso (Primavera do Leste), Goiás (Goiânia) e Distrito Federal (Brasília). Além da região central do Paraguai (de Pedro Juan Caballero a Assunção).

Os resultados analisados após as projeções do período climático atual e dos cenários futuros apontam que as áreas de melhor adequabilidade climática para *I. langsdorffii* encontra-se preferencialmente dispostas ao longo da região litoral do território Brasileiro entre os Estados Rio de Janeiro e Santa Catarina, seguindo a zona tropical da floresta ombrófila densa do bioma Mata Atlântica. Provavelmente, a predileção da espécie de habitar essa faixa litorânea ocorra em virtude das variáveis bioclimáticas atuantes nesse ecossistema costeiro e pela fitofisionomia local, já que esses animais possuem estruturas adaptadas ao estilo de vida arbóreo (olhos voltados para frente e discos adesivos nas extremidades dos dedos).

Ainda em relação às projeções atuais e futuras, foi possível observar em todas as projeções (mapas climáticos) a presença de uma área isolada do eixo principal de distribuição espacial de *I. langsdorffii* de baixa e intermediária adequabilidade climática (na maioria dos cenários), trata-se da região dos Andes tropicais da Bolívia (Lat 17° Oeste). A área em questão não apresenta conexão com o eixo principal de distribuição atual da espécie, e muito provavelmente não será ocupada pela mesma, podendo, no entanto, vir a ser ocupada por outras espécies que apresentem necessidades climáticas semelhantes a espécie estudada.

Em suma, os impactos das mudanças climáticas previstas para o futuro (média entre 2061-2080), serão positivos para a distribuição geográfica de *I. langsdorffii*, visto que as variáveis bioclimáticas que mais contribuíram para os resultados dos modelos gerados foram a bio18 (precipitação do trimestre mais quente) e bio4 (temperatura sazonal), beneficiando a distribuição da espécie no futuro, mesmo com aumento da concentração de CO₂ e da temperatura média na superfície da Terra. Resultados similares foram apresentado por Arruda (2014), em sua pesquisa sobre os efeitos potenciais de mudanças climáticas sobre a distribuição de *P.centralis* (Hylidae), onde o autor constatou aumento da distribuição futura para a espécie estudada, utilizando a variável ambiental (bio18) de maior contribuição em sua pesquisa; bem como os resultados apresentados por Schreiner et al. (2013) em sua pesquisa que avaliou anfíbios no sul do continente Africano. No entanto, neste estudo a variável

temperatura (bio4) foi a variável de maior contribuição, assim como em trabalhos descritos para anurofauna (RÖDDER; WEINSHEIMER, 2013; TORANZA; MANEYRO, 2013 ORTEGA-ANDRADE et al., 2013).

O fato da variável bioclimática bio18 (precipitação no trimestre mais quente), ter apresentado maior contribuição nas projeções futuras deste estudo, segundo os testes de Jackknife, está ligado, possivelmente, aos períodos chuvosos, possibilitando assim maior disponibilidade de sítios reprodutivos para a espécie. Deste modo, considerando que alguns pontos de ocorrência de *I. langsdorffii* são poças temporárias e perenes, a variável precipitação é fundamental para fornecer condições adequadas para a reprodução da espécie.

As áreas de ocorrência de *I. langsdorffii* até o presente estão associadas a ambientes úmidos e quentes, com alto índice de precipitação, propiciando corpos d'água que apresentam condições microclimáticas pontuais que não são interpretadas nas variáveis climáticas, uma vez que na ausência de estação meteorológica, os dados são construídos por interpolação (WORLDCLIM, 2014).

De modo geral, os modelos de distribuição gerados neste estudo apresentaram bom potencial preditivo para *Itapotihyla langsdorffii*, conforme indicado pelos resultados do AUC e Jackknife. Cabe destacar, que a modelagem não leva em consideração alguns fatores que limitam as áreas de distribuição como: na avaliação dos modelos não constam fatores históricos de ocupação, padrões de reprodução, barreiras geográficas, disponibilidade de sítios reprodutivos, interação entre espécies (competição, predação, doenças, mutualismo, especiação), entre outros.

Dessa forma, os resultados da modelagem correspondem a uma previsão, baseada em dados de parte do nicho realizado, que se aproxima do nicho fundamental da espécie, mas não o é (GIOVANELLI et al., 2008; LEGAULT et al., 2013; DALAPICOLLA, 2016). Nesse sentido, as áreas de probabilidade de ocorrência projetadas pelos modelos podem ser maiores do que a distribuição real da espécie.

Os modelos gerados também não levam em consideração a biologia das espécies, como por exemplo, vagilidade (tendência de um organismo ou população de mudar sua localização ou distribuição com o tempo) e susceptibilidade à desidratação, que limitam sua capacidade de dispersão (ARAÚJO et al., 2006). Desta forma, uma visão mais conservadora dos dados sugere que a espécie não necessariamente deva ocorrer em toda a extensão da atual área de distribuição potencial gerada pelos modelos. Ao contrário, poderá haver locais específicos com

condições microclimáticas que possibilitem a ocorrência da espécie, provavelmente, associados a áreas alagadas permanentes ou temporárias.

Dessa maneira, a MDE fornece resultados brutos que devem ser lapidados, considerando as limitações da ferramenta computacional, a biologia e história evolutiva das espécies para fornecer resultados mais reais.

Talvez os cenários futuros não sejam realistas, principalmente ao prever que haverá aumento de áreas climaticamente adequadas à ocorrência de *I. langsdorffii*, uma vez que o modelo também não prevê que Mata Atlântica apresente altas taxas de fragmentação e/ou descaracterização e desmatamento do bioma. Entretanto, os atuais níveis de fragmentação e perda de *habitat* continuam elevados em todo o bioma (NEVES et al., 2017).

Conforme o estudo elaborado por Esser et al. (2018), as alterações climáticas induzidas pelo homem terão efeitos generalizados sobre o ecossistema da Mata Atlântica (LOYOLA et al., 2014). A persistência da biodiversidade através de tal mudança global vai exigir mudanças biogeográficas em todos os níveis de organização biológica, por exemplo, de populações às comunidades e a grupos funcionais, respectivamente (FRAINER et al., 2017).

Outro fator relevante a ser destacado é que Dalapicola (2016) ao utilizar o termo "equilíbrio" indica que a distribuição das espécies muda ao longo do tempo, de modo que o termo não deve ser utilizado para implicar estase.

A seguir serão apresentadas as principais variáveis bioclimáticas contributivas segundo os testes de Jackknife realizados pelo *MaxEnt*, para os nove cenários futuros projetados através de três MCG's (CCSM4, HADGEM2-ES e MRICGCM3). Assim, as variáveis que mais contribuíram para previsão dos modelos foram a bio18 (precipitação do trimestre mais quente) e bio4 (temperatura sazonal). Pode-se inferir, que o MCG MRICGCM3 é o de maior incidência das variáveis mais contributivas com as análises e, possivelmente, o que melhor representa a interpretação da previsibilidade futura. Ademais, percebe-se que os cenários RCP 4.5 e 6.0 são os que representam total efeito das variáveis bioclimáticas bio18 e bio4 (Tabela 17).

Tabela 17 - Contribuição das variáveis bioclimáticas por RCP's e MCG's.

Cenários/MCG's	MRICGCM3	HADGEM2-ES	CCSM4
RCP 4.5	bio18/bio4	bio18/bio4	bio4/bio18
RCP 6.0	bio4/bio18	bio18/bio4	bio4/bio18
RCP 8.5	bio18/bio4	bio18/bio1	bio4/bio1

Legenda - bio1: Temperatura média anual; bio4: Temperatura sazonal; bio18: Precipitação do trimestre mais quente.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Constata-se, ainda, que o cenário RCP 4.5 do MRICGCM3, foi o que apresentou mais regiões de baixa (de 0,1-0,3) e intermediária (de 0,4-0,6) adequabilidade climática para a ocorrência da espécie, quando comparado aos demais cenários modelados. Bem como o cenário RCP8.5 do MRICGCM3, foi o que apresentou mais áreas de alta adequabilidade climática (de 0,7-0,9) para a distribuição de *I. langsdorffi*, quando comparado aos demais modelos gerados neste estudo.

5 Considerações Finais

Os resultados desta pesquisa agregam importantes informações quanto à regiões climaticamente adequadas para a distribuição espacial de *Itapotihyla langsdorffii*, no futuro, indicando variáveis e condições bioclimáticas propícias para a espécie, além de prever novas áreas climaticamente adequadas para a ocorrência da mesma.

Conclui-se que foi possível avaliar e constatar que as mudanças climáticas projetadas para o futuro (média entre 2060-2080) deverão causar impactos positivos na distribuição geográfica de *Itapotihyla langsdorffii*.

Os resultados de Jacknife para o período climático atual (1970-2000), indicam que as variáveis bioclimáticas que mais contribuíram com a previsão do modelo nesse estudo foi a bio4 (temperatura sazonal) e bio2 (variação média diurna).

Já os resultados de Jacknife para as projeções futuras, indicam que as variáveis bioclimáticas que mais influenciam na distribuição espacial da espécie, em condições climáticas adequadas no futuro, são a bio18 (precipitação do trimestre mais quente) e bio4 (temperatura sazonal).

Através dos resultados das projeções futuras (cenários 6.0 do CCSM4 e HADGEM2-ES e cenário 8.5 do MRICGCM3), verificou-se o aumento das áreas climaticamente adequadas para a ocorrência da espécie em comparação ao período climático atual.

Ainda segundo os resultados das modelagens realizadas, foi possível concluir que a predileção climática da espécie se dará futuramente ao longo da zona costeira do litoral brasileiro, majoritariamente na faixa entre os Estados de Rio de Janeiro a Santa Catarina; bem como em áreas da região Sudeste do Brasil (SP, MG, ES e RJ), sentido litoral-continente.

As regiões de baixa adequabilidade climática para a espécie-alvo, segundo as projeções futuras estão localizadas no Brasil, o Estado de Sergipe (Região Nordeste) e na Argentina, a localidade de Misiones, ambas atualmente abrigam populações da espécie estudada.

Constatou-se, ainda, a partir das projeções futuras do cenário pessimista 8.5,

dos três MCG's analisados neste estudo, que a espécie alvo apresentará baixa e intermediária adequabilidade climática em áreas do Estado do Rio Grande do Sul, onde atualmente a espécie é considerada criticamente ameaçada de extinção.

Outra limitação considerável que deve abrir portas para novas pesquisas, é que a metodologia não leva em consideração outros fatores triviais para a permanência e distribuição da espécie, tais como, barreiras geográficas, padrões de reprodução, disponibilidade de sítios reprodutivos, predação, doenças, mutualismo, altas taxas de fragmentação e/ou descaracterização e desmatamento do bioma da Mata Atlântica, entre outros.

Dessa forma, os resultados da modelagem correspondem a uma previsão baseada em dados de parte do nicho realizado, a partir da análise considerando apenas as variáveis bioclimáticas, objeto deste estudo. Dito isso, a MDE fornece resultados relevantes considerando o recorte temporal, espacial e metodológico utilizado, porém, para além da limitação de toda ferramenta, deve-se levar em consideração, sobretudo, a biologia e a história evolutiva da espécie para obtenção de resultados mais fiéis.

Em que pese as limitações, este trabalho forneceu um exemplo de como se pode preencher as lacunas do conhecimento sobre distribuição de espécies usando modelagem preditiva como ferramenta. Os modelos futuros permitem prever o impacto das mudanças climáticas sobre a distribuição de espécies, sobretudo para aquelas ameaçadas de extinção, além de auxiliarem no planejamento de estratégias que possibilitem a proteção das espécies. Tais resultados, a partir do estudo, possibilitaram identificar os impactos das variáveis bioclimáticas sobre a população e atuar de forma proativa, com respostas adaptativas para conservação da espécie em determinadas localidades.

Ainda considerando o viés conservacionista, faz-se necessário garantir ambientes propícios para a reprodução e permanência das espécies, demonstrando que é imprescindível a conservação da Mata Atlântica e de outras áreas nativas, bem como a recomposição de áreas consideradas importantes para biodiversidade.

Por fim, estima-se que esse estudo possa contribuir para embasar decisões institucionais nos processos de autorização para licenciamento, criação de novas unidades de conservação, elaboração de Planos de Ação para conservação das espécies ameaçadas, entre outras atuações possíveis, sobretudo em relação à espécie estudada.

Referências

- ALEXANDER, W. H.; BROWN, J. W. Computational models of performance monitoring and cognitive control. **Topics in cognitive science**, v. 2, n. 4, p. 658-677, 2010.
- ALEXANDRE, A. M. BARROS; S. FILHO, F. A.; CAMPOS, J. N. BEZERRA. Incorporação do Impacto da Rede de Reservatórios Superficiais Artificiais de Caráter Intranual na Modelagem Hidrológica Chuva-Vazão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, n. 2, p. 67-82, 2013.
- ALFORD R.A. (2011) Bleak future for amphibians. **Nature**, 480, 461–462. 2016.
- ANGILLETTA MJ, COOPER BS, SCHULER MS, BOYLES JG (2002) The evolution of termal physiology in ectotherms. **Frontiers in bioscience** (elite edition), 27, 249–268.
- AQUINO L., M, V. SEGALLA, J. FAIVOVICH, D. BALDO 2004. *Itapotihyla langsdorffii*. A Lista Vermelha da IUCN de Espécies Ameaçadas 2004: e.T55796A11358140. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2004.RLTS.T55796A11358140.en> Acessado em 06 de maio de 2019.
- ARAÚJO, E. P.; LOPES, J. R.; CARVALHO FILHO, R. Aspectos socioeconômicos e de evolução do desmatamento na Amazônia maranhense. In: MARTINS, M.; B.; OLIVEIRA, T. G. de (Org.). *Amazônia maranhense: diversidade e conservação*. Belém: MPEG, 2011. p. 35-46.
- ARAÚJO, M. A. R. **Unidades de conservação no Brasil: da República à gestão de classe mundial**. Belo Horizonte: Segrac, 2007.
- ARAÚJO, M. B. THUILLER, W. E PEARSON, R. G. (2006). Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. **Journal of Biogeography** 33, 1712–1728.
- ARAÚJO, MIGUEL B.; PETERSON, A. Townsend. Usos e mau uso da modelagem bioclimática de envelopes. **Ecology**, v. 93, n. 7, p. 1527-1539, 2012.
- ARRUDA, L. A. G. D. (2014). Efeito potencial de mudanças climáticas sobre a distribuição de *Phyllomedusa centralis* (Anura: Hylidae).
- ARZABE, C.; D. LOEBMANN. 2006. Amphibia, Hylidae, *Itapotihyla langsdorffii*: Distribution extension. **Check List** 2(2): 33-34.

AUSTIN, MP (2007). Modelos de distribuição de espécies e teoria ecológica: uma avaliação crítica e algumas novas abordagens **Ecol. Modell.**, 200, 1 – 19.

BANCO MUNDIAL, 2010. **Desenvolvimento e Mudança climática**. Relatório Sobre Desenvolvimento Mundial. 2010.

BARBOSA, F. G.; LEMES, P. Uso de Modelos de Nicho Ecológico para Herpetofauna. **Herpetologia Brasileira**, v. 5, p. 12-15, 2016.

BARBOSA, F.G. F.S. e A.S. MELO. Use of ecological niche models to predict the distribution of invasive species: a scientometric analysis. **Brazilian Journal of Biology**, 72:821-829. 2012.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BARSUGLI, JJ, GUENTCHEV, G., HORTON, RM, WOOD, A., MEARNS, LO, LIANG, XZ, GODDARD, L. (2013). O dilema do profissional: como avaliar a credibilidade de projeções climáticas em escala reduzida. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 94 (46), 424-425.

BECKER, C.G. FONSECA, C.R. HADDAD, C.F.B. BATISTA, R.F.; PRADO, P.I. Habitat Split and the Global Decline of Amphibians. **Science** 318:1775-1777. 2007.

BELLARD C, BERTELSMEIER C, LEADLEY P, THUILLER W COURCHAMP F. Impacts of climate change on the future of biodiversity. **Ecology letters**, :365–377. 2012.

BELLARD, C., LECLERC, C., LEROY, B., BAKKENES, M., VELOZ, S., THUILLER, W., COURCHAMP, F. (2014). Vulnerabilidade dos pontos críticos da biodiversidade às mudanças globais. **Ecologia Global e Biogeografia**, 23 (12), 1376-1386.

BERNARDE, P. S. Ecologia e métodos de amostragem de Répteis Squamata. Pp. 189-201 In: SILVA, F.P.C.; GOMES-SILVA, D.A.P.; MELO, J.S. NASCIMENTO, V.M.L. (Orgs.). Coletânea de textos - Manejo e Monitoramento de Fauna Silvestre em Florestas Tropicais. **VIII Congresso Internacional Sobre Manejo de Fauna Silvestre na Amazônia e América Latina**, Rio Branco, AC. 2012.

BERNARDE, P. S. Anfíbios e répteis: introdução ao estudo da herpetofauna brasileira. **Anolis Books**, 2012.

BERNARDE, P. S.; MACHADO, R. A. Riquezas de espécies, ambientes de reprodução e temporada da vocalização anurofauna em três barras do Paraná, Brasil (Amphibia: anura). **Cuadernos de herpetologia**, v. 14, 2001.

BERTOLUC J.; RODRIGUES M. T. Utilização de habitats reprodutivos e micro-habitats de vocalização em uma taxocenose de anuros (Amphibia) da Mata Atlântica do sudeste do Brasil. **Pap. Avulsos Zool.** (São Paulo) vol.42 no.11 São Paulo Nov.2002.

BLAUSTEIN AR, WALLS SC, BANCROFT B A. LAWLER JJ, SEARLE CL, GERVAZI SS (2010) Direct and Indirect Effects of Climate Change on Amphibian Populations. **Diversity**, 2, 281–313.2010.

BRACONNOT. P, HARRISON S.P, KAGEYAMA M, ET AL. 2012. Evaluation of climate models using palaeoclimatic data. **Nature Climate Change**, 2(6):417–424.2012.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. **Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Modelagem climática e vulnerabilidades Setoriais a mudança do clima no Brasil** / Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016.

BROWN, J. H.; LOMOLINO, M. V. Comentários finais: perspectiva histórica e o futuro da teoria da biogeografia de ilhas. **Ecologia e Biogeografia Global**, v. 9, n. 1, p. 87-92, 2000.

CAREY, C.; ALEXANDER, M. A. Climate change and amphibian declines: is there a link. **Diversity and distributions**, v. 9, n. 2, p. 111-121, 2003.

CARVALHO T, BECKER CG, TOLEDO LF. 2017 Historical amphibian declines and extinctions in Brazil linked to chytridiomycosis. Proc. R. Soc. B 284:20162254. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2016.2254>. Acessado em 19 nov. 2019.

CASSEMIRO, F. A. S. GOUVEIA, S. F. E DINIZ-FILHO, J. A. F. (2012) Distribuição de *Rhinella granulosa*: integrando envelopes bioclimáticos e respostas ecofisiológicas. **Revista da Biologia** 8, 38–44.

CATULLO, R.A. LANFEAR, R. DOUGHTY, P. KEOGH, S. The biogeographical boundaries of northern Australia: evidence from ecological niche models and a multi-locus phylogeny of Uperoleia toadlets (Anura: Myobatrachidae). **Journal of Biogeography**, <http://dx.doi.org/10.1111/jbi.12230>, 2013.

CATULLO, RA; FERRIER, S.; HOFFMANN, AA (2015). Estendendo a modelagem espacial das respostas às mudanças climáticas além do nicho realizado: estimando e acomodando limites fisiológicos e evolução adaptativa. **Ecologia Global e Biogeografia**, 24 (10), 1192-1202.

CAZELLI, H.; MOURA, M. First record of *Itapotihyla langsdorffii* (Duméril and Bibron, 1841) (Amphibia: Hylidae) from a Cerrado region in Minas Gerais state, Brazil. Check List, v. 8, p. 510, 2012.

CHADEGANI, A. A. et al. A comparison between two main academic literature collections: Web of science and scopus databases. **Asian Social Science**, v. 9, n. 5, p. 18–26, 2013.

CHOU, S. C. et al. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. American **Journal of Climate Change**, v. 3, n. 5, p. 438-454, doi: 10.4236/ajcc.2014.35039. 2014a.

Citação GBIF.org (19 de setembro de 2019) Ocorrência do GBIF Download
<https://doi.org/10.15468/dl.yhdma8>.

CMIP5 – **Coupled Model Intercomparison Project**. Disponível em: <
<https://pcmdi.llnl.gov/CMIP5/Guide/modelers.html>>. Acessado em: 03 dez 2018.

COLOMBO, Alexandre F.; JOLY, C. A. Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 3, p. 697-708, 2010.

COSTA, C.N. et al. Parâmetros Genéticos para a Produção de Leite do Dia do Controle da Primeira Lactação de Vacas Girolando Estimados por Regressão Aleatória com Polinômios de Legendre. **IX Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal**, João Pessoa, PB–20 a, v. 22, 2012.

COSTA, T. R., CARNAVAL, A. C., TOLEDO, L. F. (2018). Mudanças climáticas e seus impactos sobre os anfíbios brasileiros. **Revista da Biologia**, 8, 33-37.

CRIA (Centro de Referência e Informação Ambiental). 2016. **speciesLink-simple search**. Disponível em: Acesso em: 07 de agosto 2016.

CRUZ, C. A. G; FEIO, R N; C, SANTANA C. Nova espécie de Chiasmocleis Méhelÿ, 1904 (Amphibia, Anura, Microhylidae) da Serra da Mantiqueira, Estado de Minas Gerais, Brasil. *Arquivos do Museu Nacional*, v. 65, n. 1, p. 33-38, 2007.

DA SILVA, E; T. et al. Amphibia, Hylidae, *Dendropsophus anceps* (A. Lutz, 1929) and *Itapotihyla langsdorffii* (Duméril and Bibron, 1841): New records for the state of Minas Gerais, Brazil. **Check List**, v. 7, n. 2, p. 128-130, 2016.

DALAPICOLLA, J. 2016. **Tutorial de modelos de distribuição de espécie: guia teórico. Laboratório de Mastozoologia e Biogeografia**, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. Disponível em: <http://blog.ufes.br/lamab/tutoria>. Acessado em 02 dez 2018.

DASZAK, P.; CUNNINGHAM, A. A.; HYATT, A. D. Infectious disease and amphibian population declines. **Diversity and Distributions**, v. 9, n. 2, p. 141-150, 2003.

DAVIES, A. L.; BUNTING, M. J. Applications of palaeoecology in conservation. **The Open Ecology Journal**, v. 3, n. 1, 2010.

DE MARCO JÚNIOR, P.; SIQUEIRA, M. F. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista. **Megadiversidade**, v. 5, n. 1-2, p. 65-76, 2009.

DIAS IR, MEDEIROS TT, VILA NOVA MF, SOLÉ M. **Anfíbios da Serra Bonita, sul da Bahia: um novo hotpoint no hotspot da Mata Atlântica no Brasil**. *Zookeys* .2014; (449): 105–130. Publicado em 22 de outubro de 2014. doi: 10.3897 / zookeys.449.7494.

DONNER L.J; LARGE W.G. Climate Modeling*. **Annual Review of Environment and Resources**, 33(1):1–17.2008.

DUARTE H, TEJEDO M, KATZENBERGER M et al. Can amphibians take the heat? Vulnerability to climate warming in subtropical and temperate larval amphibian communities. **Global Change Biology**, 18, 412–421.2012.

DUELLMAN, W.E. AND L. TRUEB. Biology of Amphibians. Baltimore: **The Johns Hopkins University Press**. 670 p. 1994.

DUELLMAN, WE; TRUEB, L. (1986) Biology of Amphibians. McGraw-Hill, Nova York.

DUELLMAN, W. E.; MARION, A. B.; HEDGES, S. B. Filogenética, classificação e biogeografia das pererecas (Amphibia: Anura: Arboranae). **Zootaxa** V. 4104, n. 1, p. 1-109, 2016.

ELDREDGE N; J. N. T.; P. M. BRAKEFIELD; S. GAVRILETS; D. JABLONSKI; J. BC JACKSON; R. E. LENSKI; B. S. LIEBERMAN; M. A. MCPEEK; W. MILLER. A dinâmica da estase evolutiva. **Paleobiology**, v. 31, n. S2, p. 133-145, 2005.

ELITH, J. Quantitative methods for modeling species habitat: comparative performance and an application to Australian plants. In: **Quantitative methods for conservation biology**. Springer New York, 2000. p. 39-58.

EQUIPE, Redação Central; PACHAURI, Rajendra K; MEYER, LA IPCC, 2014: mudança climática 2014: relatório de síntese. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III ao Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. IPCC, Genebra, Suíça, v. 151, 2014.

ESSER L.F.; NEVES D. M. | JOÃO ANDRÉ JARENKOW 2018 Habitat-specific impacts of climate change in the Mata Atlântica biodiversity hotspot.

ETEROVICK PC, DE QUEIROZ CARNAVAL ACO, BORGES-NOJOSA DM, SILVANO DL, SEGALLA MV, SAZIMA I. 2005 Amphibian declines in Brazil: an overview. **Biotropica** 37, 166–179. (doi:10.1111/j.1744-7429.2005.00024.x).

FAIVOVICH, J. HADDAD, C. F. GARCIA, P. C. FROST, D. R. CAMPBELL, J. A. WHEELER, W. C. Systematic review of the frog family Hylidae, with special reference to Hylinae: phylogenetic analysis and taxonomic revision. **Bulletin of the American Museum of natural History**, 1-240. 2005.

FIGUEROA, S.N, JP BONATTI, P.Y KUBOTA, G.A GRELL, H. MORRISON, S.R BARROS, J.P FERNANDEZ, E. RAMIREZ, L. SIQUEIRA, G. LUZIA, J. SILVA, JR SILVA, J. PENDHARKAR, VB CAPISTRANO, D.S ALVIM, DP ENORÉ, F.L DINIZ, P. SATYAMURTI, I.F CAVALCANTI, P. NOBRE, H.M BARBOSA, CL MENDES E J. PANETTA. **O modelo atmosférico global brasileiro (BAM): desempenho para previsão de chuvas tropicais e sensibilidade ao convectivo Esquema e resolução horizontal**. *Wea. Forecasting*, 31, 1547–1572, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-16-0062.1> 2016.

FLATO, G. et al. Evaluation of Climate Models. In: STOCKER, T. F. et al. (Eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, **Cambridge University Press**, p. 741-866, 2013.

FLATO, G. et al. Mudança climática 2013: a base da ciência física. Contribuição do grupo de trabalho I para o quinto relatório de avaliação do painel intergovernamental sobre mudanças climáticas. K., Tignor, M., Allen, SK, Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. e Midgley, PM, **Cambridge University Press**, Cambridge, Reino Unido e Nova York, NY, EUA, 2013.

FORTI LR, FORATTO RM, MÁRQUEZ R, PEREIRA VR, TOLEDO LF. Conhecimento atual em bioacústica da subfamília Lophyohylinae (Hylidae, Anura) e descrição das vocalizações de *árvores oceladas de Itapotihyla langsdorffii*. *PeerJ*. 31 de maio; 6: e4813. doi: 10.7717 / par.4813. PMID: 29868262; PMCID: PMC5985149, 2018.

FOUCAULT, A. **O Clima. História e devir do meio terrestre**. Instituto Piaget. Lisboa. 303p.1993.

FRAINER, A., PRIMICERIO, R., KORTSCH, S., AUNE, M., DOLGOV, A. V., FOSSHEIM, M., ASCHAN, M. M. Climate-driven changes in functional biogeography of Arctic marine fish communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(46), 12202-12207. (2017).

FRANKE, C. R., ROCHA, P. L. B. D., KLEIN, W., GOMES, S. L. (2005). Mata Atlântica e biodiversidade.

FROST, D. R. 2018. *Amphibian Species of the World: an Online Reference*. Version 6.0. New York, USA: **American Museum of Natural History**. Retrieved on September 9, 2018 from <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>. Acessado em 26 nov. 2018.

FROST, D. R. 2019. *Amphibian Species of the World: an Online Reference*. Version 5.2. American Museum of Natural History, New York, USA. Disponível em: <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.php>. Acessado em 19 de dezembro de 2019.

FUNG, F.; LOPEZ, A.; NEW, M. Water availability in+ 2 C and+ 4 C worlds. *Philosophical transactions of the Royal Society A: mathematical, physical and engineering sciences*, v. 369, n. 1934, p. 99-116, 2011.

GAIGA. R 2011. Imagem de *Itapotihyla langsdorffii*. Cosmópolis, São Paulo. https://www.flickr.com/photos/renato_gaiga/6548501921. Acessado em 20 de dez 2019.

GARCIA R A. ARAÚJO MB, BURGESS ND, et al. Matching species traits to projected threats and opportunities from climate change. *Journal of Biogeography*: n/a–n/a. 2014.

GARCIA, M. CABEZA, C. RAHBEK M. B. ARAÚJO. 2014. Multiple Dimensions of Climate Change and Their Implications for Biodiversity. **Science** 344:1247579.

GARCIA RA, BURGESS ND, CABEZA M, RAHBEK C, ARAÚJO MB. Exploring consensus in 21st century projections of climatically suitable areas for African vertebrates. **Global Change Biology**, 18, 1253–1269. 2012.

GIOVANELLI, J. G., ARAUJO, C. O., HADDAD, C. F., ALEXANDRINO, J. (2008). Modelagem do nicho ecológico de *Phyllomedusa ayeaye* (Anura: Hylidae): previsão de novas áreas de ocorrência para uma espécie rara. **Neotropical Biology and Conservation**, 3(2), 59-65.

GIOVANELLI, J. G. R. **Modelagem de nicho ecológico de anuros da mata atlântica**. 2009. 79f.

GOOSSE H, BARRIAT PY, LEFEBVRE W, LOUTRE MF; ZUNZ V, **Introduction to climate dynamics and climate modelling**. 2010.

GUISAN, A. THUILLER, W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. **Ecology Letters**, 8, 993-1009, 2005.

GUTIÉRREZ-PESQUERA LM, TEJEDO M, OLALLA-TÁRRAGA MA, DUARTE H, NICIEZA A, SOLÉ Testing the climate variability hypothesis in thermal tolerance limits of tropical and temperate tadpoles. **Journal of Biogeography**, 1-13. 2016.

HADDAD C.F.B, PRADO C. P. A. Reproductive Modes in Frogs and Their Unexpected Diversity in the Atlantic Forest of Brazil. **BioScience** 55(3): 207–217. 2005.

HADDAD C.F.B, TOLEDO LF, PRADO CPA, LOEBMANN D, GASPARINI JL, SAZIMA I **Guide to the Amphibians of the Atlantic Forest: Diversity and Biology**. **Anolisbooks**, São Paulo, 544 pp. 2013.

HADDAD, C. F. B. GIOVANELLI, J. G. R. E ALEXANDRINO, J. (2008). O aquecimento global e seus efeitos na distribuição e declínio dos anfíbios. In: Marcos S. Buckeridge. (Org.). **Biologia e Mudanças Climáticas no Brasil**. 1 ed. São Carlos SP: Rima Editora. p. 195-206.

HADDAD, C. F.B. **Guia dos anfíbios da Mata Atlântica: diversidade e biologia**. **Anolis Books**, 2013.

HADDAD. C. F. B. e A.B.E. Anfíbios e Répteis. In: **Workshop Mata Atlântica e Campos Sulinos**. Conservation International do Brasil. Fundação Biodiversitas, Fundação SOS Mata Atlântica, Instituto de Pesquisas Ecológicas, Secretarias do Meio Ambiente de São Paulo e Minas Gerais. 1999.

HADLY, ELIZABETH A. BARNOSKY A.D. **Vertebrate fossils and the future of conservation biology**. 2009.

HIJIOKA, Y., MATSUOKA, Y., NISHIMOTO, H., MASUI, M., AND KAINUMA, M.: Global GHG emissions scenarios under GHG concentration stabilization targets. **Journal Global Environ. Eng.**, 13, 97–108, 2008.

HIJMANS RJ, CAMERON SE, PARRA JL, JONES PG, JARVIS A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, 25, 1965–1978. 2005.

HOCHACHKA PW, SOMERO GN. Biochemical adaptation: Mechanism and process in physiological evolution. New York: **Oxford University Press**. 2002.

HOCHACHKA, P. W.; SOMERO, George N. Biochemical adaptation: mechanism and process in physiological evolution. **Oxford University Press**, 2002.

HOF, C., LEVINSKY, I., ARAÚJO, MB; RAHBEK, C. (2011). Repensando a capacidade das espécies de lidar com as rápidas mudanças climáticas. **Global Change Biology**, 17(9), 2987-2990.

HUEY RB, DEUTSCH CA, TEWKSBURY JJ ET AL. Why tropical forest lizards are vulnerable to climate warming. **Proceedings Biological Sciences The Royal Society**, 276, 1939–1948. 2009.

HUTCHISON VH, DUPRÉ RK. Thermoregulation. In: Environmental Physiology of the Amphibians (eds Ferder ME, Burggren WM) PP. 206–249. Chicago: **The University of Chicago Press**. 1992.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geociências, Diretoria. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 1992.

ICLEI. **Guia de ação local pelo clima**. 2016.

IPCC III, W. G. Third assessment report. **Summary for policymakers**. -2001, 2001.

IPCC. Climate Change 2007: Physical Science Basis. The Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: **Cambridge University Press**, p. 996. 2007.

IUCN, The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.2. Disponível em: <<http://www.iucnredlist.org>>. Acessado em: 30 dez 2019.

JENKINS, C.N, VAN HOUTAN, K.S, PIMM, S.L, SEXTOND, J.O. US protected lands mismatch biodiversity priorities. *Proc. Natl. Acad. Sei. EUA* 112, p. 5081-5086. <http://dx.doi.org/10.1073/PNAS.1418034112>. 5081-5086. 2015

JUNGFER, KH, FAIVOVICH, J., PADIAL, JM, CASTROVIEJO-FISHER, S., LYRA, MM, VM BERNECK, B., VERDADE, VK (2013). Sistemática de pererecas (Hylidae: O steocephalus): um quebra-cabeça mazoniano. **Zoologica Scripta**, 42 (4), 351-380.

JUNIOR, M., DUARTE, A., DA SILVA SILVEIRA, C., DAS CHAGAS VASCONCELOS JÚNIOR, F., GUIMARÃES, S. O., DA COSTA, J. M. F. (2018). Thornthwaite Climate Classification for Brazil Under IPCC-AR5 **Climate Change** Scenarios. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33(4), 647-664.

KATZENBERGER M.J. **Thermal Tolerance and Sensitivity of Amphibian Larvae from Palearctic and Neotropical Communities**. Master Thesis. Universidade de Lisboa, Portugal. 2009.

KIEHL, J.T. GENT, P.R. The Community Climate System Model, Version 2. *Journal of Climate*, 17: 3666-3682.2004.

KWET, A.; DI-BERNARDO, M. *Elachistocleis erythrogaster*, **uma nova espécie de microilídeo do Rio Grande do Sul, Brasil**. Estudos sobre fauna e ambiente neotropicais, v. 33, n. 1, p. 7-18, 1998.

LAWLER J.J, SHAFER S.L, BANCROFT B.A, BLAUSTEIN A.R Projected Climate Impacts for the Amphibians of the Western Hemisphere. *Conservation Biology*, 24, 38–50. 2009.

LEGAULT, A. THEUERKAUF, J. CHARTENDRAULT, V. ROUYS, S. SAOUMOÉ, M. VERFAILLE, L. DESMOULINS, F. BARRÉ, N. GULA, R. (2013) Using ecological niche models to infer the distribution and population size of parakeets in New Caledonia. *Biological Conservation*, 167, 149-160, 2013.

LENOIR, J., GRAAE, BJ, AARRESTAD, PA, ALSOS, IG, ARMBRUSTER, WS, AUSTRHEIM, G., ...BRUUN, HH (2013). As temperaturas locais inferidas pelas comunidades vegetais sugerem forte amortecimento espacial do aquecimento climático em todo o norte da Europa. *Global Change Biology*, 19 (5), 1470-1481.

LIDDICOAT, SPENCER; JONES, CHRIS; ROBERTSON, EDDY. CO2 emissions determined by HadGEM2-ES to be compatible with the representative concentration pathway scenarios and their extensions. *Journal of Climate*, v. 26, n. 13, p. 4381-4397, 2013.

LIMA, A. P., W. E. MAGNUSSON, M. MENIN, L. K. ERDTMANN, D. J. RODRIGUES, C. KELLER, AND W. HÖDL. 2005. **Guia de sapos da Reserva Adolpho Ducke – Amazônia Central**. Manaus: Áttema Design Editorial. 168p.

LIMA-RIBEIRO, M. S.; DINIZ-FILHO, J. A. F. Extinções da megafauna americana e chegada humana: avaliação aprimorada usando uma abordagem meta-analítica. *Quaternary International*, v. 299, p. 38-52, 2013.

LINGNAU, R.; ZANK, C.; COLOMBO, P.; VINCIPROVA, G. 2006. Amphibia, Hylidae, *Itapotihyla langsdorffii*: distribution extension. *Check List* 2(1): 38–39.

LOEBMANN, D. **Guia Ilustrado: Os Anfíbios da Região Costeira do Extremo Sul do Brasil**. Pelotas: Useb, 2005.

LOP S.; DOS SANTOS T. G. CECHIN S. Z. **Anfíbios anuros dos Campos Sulinos: espécies com ocorrência nas áreas campestres do Pampa e da Mata Atlântica** – Porto Alegre: Rede Campos Sulinos: UFRGS, 2016.

LOVELOCK J. E.; MARGULIS L. (1974) Homeostase atmosférica por e para a biosfera: a hipótese de gaia, **Tellus**, 26: 1-2, 2-10, DOI: 10.3402 / tellusa.v26i1-2.9731.

LOYOLA, R. D.; KUBOTA, U.; LEWINSOHN, T. M. Os vertebrates endemics so substitutes mays effaces para identificar priorities de conservação entre as ecorregiões brasileiras. **Diversidade e Distribuições**, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2007.

LOYOLA, RD, LEMES, P., BRUM, FT, PROVETE, DB E DUARTE, LD (2014). Consequências específicas do clade das mudanças climáticas para os anfíbios em áreas protegidas da Mata Atlântica. **Ecography**, 37 (1), 65-72.

LOYOLA, RD, LEMES, P., FALEIRO, FV, TRINDADE-FILHO, J., MACHADO, RB (2012). Grave perda de condições climáticas adequadas para espécies marsupiais no Brasil: desafios e oportunidades de conservação. **PloS one**,7 (9), e46257.

LOYOLA, RD, LEMES, P., NABOUT, JC, TRINDADE-FILHO, J. SAGNORI, MD, DOBROVOLSKI, R. E DINIZ-FILHO, JAF (2013). Uma abordagem conceitual direta para avaliar as prioridades de conservação espacial em mudanças climáticas. **Biodiversidade e Conservação**, 22 (2), 483-495.

LUTZ, B. 1973. Brazilian species of Hyla. **University of Texas Press**. Austin and London. 264 pp.

MAFFEI, F.; UBAID, F.K.; JIM, J. 2011. *Itapotihyla langsdorffii*, male combat. **Herpetological Bulletin** 116: 35–37.

MAFFEI, F.; UBAID, F. Kulaif; JIM, J. Predation of herps by spiders (Araneae) in the Brazilian Cerrado. **Herpetology notes**, v. 3, p. 167-170, 2010.

MARGULIS, L.; LOVELOCK, J. E. Modulação biológica da atmosfera da Terra. **Ícaro**, v. 21, n. 4, p. 471-489, 1974.

MARENCO, J. A., Dias, P. S. (2006). **Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**, 3, 63-109.

MCDIARMID, Roy W. **Preparing amphibians as scientific specimens**. 1994.
MCVEIGH, M. E. Open Access journals in the ISI citation databases: analysis of impact factors and citation patterns: a citation study from Thomson Scientific. **Thomson Corporation**, p. 1-25, 2004.

MEINSHAUSEN, M. S. J. SMITH, K. V. CALVIN, J. S. DANIEL, M. KAINUMA, J.F. LAMARQUE, K. MATSUMOTO, S. A. MONTZKA, S. C. B. RAPER, K. RIAHI, A. M. THOMSON and D. VAN VUUREN. The RCP Greenhouse Gas Concentrations and their Extension from 1765 to 2300. **Climate Change** 109:213-241.2011.

MELO T. M. **Simulação estocástica dos impactos das mudanças climáticas sobre as demandas de água para irrigação na região noroeste do Rio Grande do Sul**. Tese Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). 2015.

MENÉNDEZ-GUERRERO, P. A. GRAHAM, C. H. Evaluating multiple causes of amphibian declines of Ecuador using geographical quantitative analyses. **Ecography**, 36(7), 756–769. 2013.

MEROW C. SMITH M.J. SILANDER JR, J.A. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. - **Ecography**, - **Wiley Online Library**. 2013.

METZ, J. A. J; LAUWERIER, Hendrik Adolf;. Hopf bifurcation in host–parasitoid models. **Mathematical Medicine and Biology**, v. 3, n. 3, p. 191-210, 1986.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2014). **Lista de espécies ameaçadas**. – Available at <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-estado-de-conservacaolast> acessado em:29 nov. 2018.

MMA Ministério do Meio Ambiente. **O Bioma Mata Atlântica**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica_emdesenvolvimento.html> acessado em: 29 nov. 2018.

MYERS, N. MITTERMEIER, R. A. MITTERMEIER, C. G. Da FONSECA, G. A. e KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 403(6772), 853.2000.

NAIMI, Babak; ARAÚJO, Miguel B. sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. **Ecography**, v. 39, n. 4, p. 368-375, 2016.

NAVAS CA, GOMES FR, CARVALHO JE. Thermal relationships and exercise physiology in anuran amphibians: integration and evolutionary implications. **Comparative Biochemistry and Physiology**, 151, 344–362. 2008.

NEVES, D. M., DEXTER, K. G., PENNINGTON, R. T., VALENTE, A. S., BUENO, M. L., EISENLOHR, P. V., SAITER, F. Z. (2017). Dissecting a biodiversity hotspot: The importance of environmentally marginal habitats in the Atlantic Forest Domain of South America. **Diversity and Distributions**, 23(8), 898-909.

NEVES, D. M. et al. Dissecting a biodiversity hotspot: The importance of environmentally marginal habitats in the Atlantic Forest Domain of South America. **Diversity and Distributions**, v. 23, n. 8, p. 898-909, 2017.

NOBRE, C. A., SAMPAIO, G., SALAZAR, L. (2007). Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, 59(3), 22-27

NORI J, LEMES P, URBINA-CARDONA N, BALDO D, LESCANO J, LOYOLA R
Amphibian conservation, land-use changes and protected areas: A global overview. **Biological Conservation**, 191, 367–374. 2015.

NORMAN, MYERS. "Hotspots de biodiversidade revisitados." **BioScience** 53.10 (2003): 916-917.

OLIVEIRA, H. R.; CASSEMIRO, F. A. S. Potenciais efeitos das mudanças climáticas futuras sobre a distribuição de um anuro da Caatinga *Rhinella granulosa* (Anura, Bufonidae). **Ilheringia**, Série Zoologia, v.103, n.3, p.272-279, 2013.

OLIVER, T. H.; MORECROFT, M. D. Interactions between climate change and land use change on biodiversity: attribution problems, risks, and opportunities. **WIREs Clim Change** 5: 317–335. 2014.

ORTEGA-ANDRADE, H. MAURICIO; ROJAS-SOTO, OCTAVIO; PAUCAR, CHRISTIAN. Novel data on the ecology of *Cochranella mache* (Anura: Centrolenidae) and the importance of protected areas for this critically endangered glassfrog in the Neotropics. **PLoS One**, v. 8, n. 12, p. e81837, 2013.

PAPEŞ, M.; GAUBERT, Philippe. 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.

PARMESAN, C. Ecological and evolutionary responses to recente climate change. **Annual Review of Ecology and Systematics** 37:637-669. 2006.

PBMC: **Base científica das mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Ambrizzi, T. Araujo, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 464 pp. 2014.

PEARSON, R.G. RAXWORTHY, C.J. NAKAMURA, M. PETERSON, A.T. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. **Journal of Biogeography**, 34, 102-117, 2007.

PEARSON, R.G.; DAWSON, Terence P. Prevendo os impactos das mudanças climáticas na distribuição das espécies: os modelos de envelope bioclimatário são úteis? **Ecologia global e biogeografia**, v. 12, n. 5, p. 361-371, 2003.

PEREIRA HM, LEADLEY PW, PROENÇA V, et al. Scenarios for global biodiversity in the 21st century. **Science**, 330(6010):1496–1501. 2010.

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

- PETERSON, A.T., J. SOBERÓN, R. G. PEARSON, R.P. ANDERSON, E. MARTÍNEZ-MEYER, M. NAKAMURA; M. B. ARAÚJO. 2011. In: H.S. Horn Levin S.A. (eds). **Ecological niches and geographic distributions**. Princeton University.316p.
- PHILLIPS, S. J. ANDERSON, R.P. SCHAPIRE, R.E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, 190, 231-259, 2006.
- PHILLIPS, S. J. DUDÍK, M. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. **Ecography**, 31, 161-175, 2008.
- PIMM SL, JENKINS CN, ABELL R et al. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. **Science**, 344, 1246752.2014.
- PITA, R. F.Q. Influências das Mudanças Climáticas no Cálculo da Evapotranspiração no Semi-Árido da Paraíba. 2011.48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil), Recursos Hídricos, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.
- POMBAL-JÚNIOR, J. P. e C. F. B. HADDAD. Estratégias e modos reprodutivos em anuros. pp. 101-116. In: NASCIMENTO, L. B. e M. E. OLIVEIRA (Eds). **Herpetologia no Brasil II**. Sociedade Brasileira de Herpetologia. 2007.
- POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. **A vida dos vertebrados**. 3. ed. São Paulo: Atheneu, 2003.
- POUNDS JA, BUSTAMANTE MR, COLOMA LA, CONSUEGRA JA, FOGDEN MPL, FOSTER PN, LA MARCA E, MASTERS KL, MERINO-VITERI A, PUSCHENDORF R, RON SR, SÁNCHEZ-AZOFEIFA GA, STILL CJ, YOUNG B.E. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. **Nature** 439: 161–167.2006.
- PRADO, C. P. A. UETANABARO, M. e C. F. B. HADDAD. Breeding activity patterns, reproductive modes, and habitat use by anurans (Amphibia) in a seasonal environment in the Pantanal, Brazil. **Amphibia-Reptilia**, 26(2), 211. 2005.
- PRATES I, ANGILLETA MJ, WILSON RS, NIEHAUS AC, NAVAS C Dehydration hardly slows hopping toads (*Rhinella granulosa*) from xeric and mesic environments. **Physiological and biochemical zoology**, 86, 451–7.2013.
- VAN DER PUTTEN, WH, MACEL, M. E VISSER, ME (2010). Previsão da distribuição de espécies e respostas de abundância às mudanças climáticas: por que é essencial incluir interações bióticas nos níveis tróficos. *Transações Filosóficas da Sociedade Real B: Ciências Biológicas*, 365 (1549), 2025-2034.
- QGIS Development Team, <2019>. QGIS Geographic Information System. **Open Source Geospatial Foundation Project**. <http://qgis.osgeo.org>.

RIAHI, K. RAO, S. KREY, V. CHO, C. CHIRKOV, V. FISCHER, G. KINDERMANN, G. NAKICENOVIC, N. RAFAJ, P. RCP8.5- A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. **Climate Change**, 109, 33-57, 2011.

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

RIBEIRO W. C. GAMBA, C. A encruzilhada brasileira na ordem ambiental internacional das mudanças climáticas. Revista de Estudos Avançados – USP – 2013.

RIO GRANDE DO SUL. **Lista das espécies da fauna ameaçadas de extinção no estado do Rio Grande do Sul**. Instrução Normativa nº 3. 2014.

RÖDDER, D., WEINSHEIMER, F. Will future anthropogenic climate change increase the potential distribution of the alien invasive Cuban treefrog (Anura: Hylidae)? **Journal of Natural History**, 43, 1207-1217, 2013.

ROME LC, STEVENS ED, JOHN-ALDER HB (1992) The influence of temperature and thermal acclimation on physiological function. In: Environmental Physiology of the Amphibians (eds Ferder ME, Burggren WM). Chicago: **University Chicago Press**. 1992.

ROOT, T. L. J. T. PRICE, K. R. HALL, S. H. SCHNEIDER, C. ROSENZWEIG J. A. POUNDS. Impressões digitais do aquecimento global em plantas e animais selvagens. **Nature**, v. 421, n. 6918, p. 57, 2003.

SALES-DE-AQUINO, Débora Cristina Pereira et al. Predação de *Aparasphenodon arapapa* (Hylidae) por *Itapotihyla langsdorffii* (Hylidae). **Herpetology Notes**, v. 5, p.437-438, 2012.

SANABRIA E, QUIROGA L, MARTINO A. Seasonal changes in the thermal tolerances of *Odontophrynus occidentalis* (Berg, 1896) (Anura: Cycloramphidae). **Belgian Journal of Zoology**, 143, 23–29. 2013.

SANABRIA E, QUIROGA LB, MARTINO AL. Seasonal changes in the thermal tolerances of the toad *Rhinella arenarum* (Bufonidae) in the Monte Desert of Argentina. **Journal of Thermal Biology** 37(6):409–412. 2012.

SCARANO, F. R. (2009). Plant communities at the periphery of the Atlantic rain forest: rare-species bias and its risks for conservation. **Biological Conservation**, 142(6), 1201-1208.

SCHREINER, C. RÖDDER, D. MEASEY, G.J. Using modern models to test Poynton's predictions. **African Journal of Herpetology**, 62, 49-62, 2013.

SCHULTE PM, HEALY TM, FANGUE N. Thermal performance curves, phenotypic plasticity, and the time scales of temperature exposure. **Integrative and comparative biology**, 51, 691–702.2011.

SEGALLA M.V.; CARAMASCHI U.; CRUZ C.A.G.; GARCIA P.C.A.; GRANT T.; HADDAD C.F.B.; SANTANA D.J.; TOLEDO L.F.; Brazilian Amphibians: list of species. **Sociedade Brasileira de Herpetologia**, Vol.8:65-96. 2019.

SILVA, M R; DE MOURA, F P; JARDIM, C H. O diagrama de Caixa (Box Plot) Aplicado à Análise da Distribuição Temporal das Chuvas em Januária, Belo Horizonte e Sete Lagoas, Minas Gerais-Brasil (The box diagram (Box Plot) applied to the analysis of the temporal distribution of rainfall in). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.1, p. 023-040. 2017.

SIMON MN, RIBEIRO PL, NAVAS CA. Upper thermal tolerance plasticity in tropical amphibian species from contrasting habitats: Implications for warming impact prediction. **Journal of Thermal Biology**, 48, 36–44. 2015.

SIQUEIRA CC, VRCIBRADIC D, ALMEIDA-GOMES M, BORGES-JÚNIOR VNT, ALMEIDA-SANTOS P, ALMEIDA-SANTOS M, ARIANI CV, GUEDES DM, GOYANNES-ARAÚJO P, DORIGO TA, VANSLUYS M, ROCHA CFD. Density and richness of leaf litter frogs (Amphibia: Anura) of an Atlantic Rainforest area in the Serra dos Órgãos, Rio de Janeiro State, Brazil. **Zoologia**, 26, 97-102. 2009.

SIQUEIRA M.F. **Uso de modelagem de nicho fundamental na avaliação do padrão de distribuição geográfica de espécies vegetais**. Tese de Pós-graduação apresentada na Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2005.

SOBERÓN J. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. **Ecology Letters** 10, 1115-1123. 2007.

SOBERÓN, J. E NAKAMURA, M. Nichos e áreas de distribuição: conceitos, métodos e pressupostos. **Proc. Natl. Acad. Sei.** EUA 106 Suppl, 19644-19650 31 Kissling, WD e Schleuning, M. 2009.

SOBERON, J; PETERSON, A. **Townsend. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas**. 2005.

SODHI NS, BICKFORD D, DIEMOS AC, LEE TM, KOH LP, BROOK BW, SEKERCIOGLU C.H, BRADSHAW C.J.A. Measuring the Meltdown: Drivers of Global Amphibian Extinction and Decline. **PLoS ONE** 3, 1–8. 2008.

SOS MATA ATLÂNTICA, INPE, 2015. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica Período 2016–2017**. <https://www.sosma.org.br/projeto/atlas-da-mata-atlantica/dados-maisrecentes/>. Acessado 18 de set. 2019.

STEVEN J. PHILLIPS, MIROSLAV DUDÍK, ROBERT E. SCHAPIRE. **Software Maxent para modelagem de nichos e distribuições de espécies (Versão 3.4.1)**. Disponível em url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Acessado 22 set. 2019.

STRANECK, R.; OLMEDO, E. V.; CARRIZO, G. R. **Catálogo de voces de anfíbios argentinos**, parte 1. LOLA (Literature of Latin America), Buenos Aires, 1993.

STUART SN, CHANSON JS, COX NA, YOUNG BE, RODRIGUES ASL, ET AL. Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. **Science** 306: 1783-1786. 2004.

TABARELLI, Marcelo et al. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation**, v. 143, n. 10, p. 2328-2340, 2010.

TABARELLI, M.; SANTOS, A. M. MELO. Uma breve descrição sobre a história natural dos brejos nordestinos, **Ecologia e Conservação**, v. 9, p. 17-24, 2004.

TEJEDO M, DUARTE H, GUTIÉRREZ-PESQUERA LM et al. El estudio de lastolerancias térmicas para elexamen de hipótesis biogeográficas y de lavulnerabilidad de los organismos ante elcalentamiento global. Ejemplos em anfibios. **Boletín Asociación Herpetológica Española**, 32, 2–27. 2012.

THOMAS CD, CAMERON A, GREEN RE, BAKKENES M, BEAUMONT LJ, ET AL. Extinction risk from climate change. **Nature** 427: 145–148. 2004.

THOMSON, A.L. CALVIN, K.V. SMITH, S.J. KYLE, G.P. VOLKE, A. PATEL, P. DELGADO-ARIAS, S. BOND-LAMBERTY, B. WISE, M.A. CLARKE, L.E. EDMONDS, J.A. RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. **Climate Change**, 109, 77-94. 2011.

THUILLER, W. LAVERGNE, S. ROQUET, C. BOULANGEAT, I. LAFOURCADE, B. ARAUJO, M. B. Consequences of climate change on the tree of life in Europe. **Nature**, 470 (7335), 531.2011.

THUILLER, W., LAVERGNE, S., ROQUET, C., BOULANGEAT, I., LAFOURCADE, B., ARAUJO, MB (2011). Consequências das mudanças climáticas na árvore da vida na Europa. **Nature**, 470 (7335), 531.

TITON JR, B. Balanço hídrico e desempenho locomotor em espécies de anuros de Mata Atlântica e Cerrado. 2010. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado. Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, Brasil.

TORANZA, C. MANEYRO, R. Potential effects of climate change on the distribution of an endangered species: *Melanophryniscus montevidensis* (Anura: Bufonidae). **Phyllomedusa**, 12, 97-106, 2013.

TORRES, R. R. Análise de incertezas em projeções de mudanças climáticas na América do Sul. 2014. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Meteorologia) - **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, São José dos Campos: INPE.

ULTSCH GR, BRADFORD DF, FREDA J (1999). Physiology: coping with the environment. In:Tadpoles: The Biology of Anuran Larvae (Eds RW Mc-Diarmid, Altig R.) PP. 189–214. Chicago: **University of Chicago Press**.

UNFCCC. **United Nations framework convention on climate change**. 1992.

- VALE, C.G. TARROSO, P. BRITO, J.C. Predicting species distribution at range margins: testing the effects of study area extent, resolution and threshold selection in the Sahara-Sahel transition zone. **Diversity and Distributions**, 20, 20-33, 2014.
- VOSS R. LATIF, M., E. ROECKNER, U. MIKOLAJEWICZ e, 2000: Estabilização Tropical da Circulação Termohalina em uma Simulação de Aquecimento de Estufa. **J. Climate**, 13, 1809–1813, [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<1809:L>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<1809:L>2.0.CO;2).
- VRCIBRADIC, D., SIQUEIRA, C. C., ALMEIDA-GOMES, M., BORGES-JUNIOR, V. N. T., ALMEIDA-SANTOS, P., ALMEIDA-SANTOS, M., VAN SLUYS, M. (2009). Density and richness of leaf litter frogs (Amphibia: Anura) of an Atlantic Rainforest area in the Serra dos Órgãos, Rio de Janeiro State, Brazil. **Zoologia**, 26(1).
- VREDENBURG, Vance T. Reversing introduced species effects: experimental removal of introduced fish leads to rapid recovery of a declining frog. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 101, n. 20, p. 7646-7650, 2004.
- VUUREN, D.P.V. EDMONDS, J. KAINUMA, M. RIAHI K. THOMSON, A. HIBBARD, K. HURTT, G.C. KRAM, T. KREY, V. LAMARQUE, J.F. MASUI, T. MEINSHAUSEN, M. NAKICENOVIC, N. SMITH, S.J. ROSE, S.K. The Representative concentration pathways: an overview. **Climatic Change**, 109, 05-31, 2011a.
- VUUREN, D.P.V., STEHFEST, E., ELZEN, M.G.J., KRAM, T., VLIET, J.V., DEETMAN, S., ISAAC, M., GOLDEWIJK, K.K, HOF, A., BELTRAN, A.M., OOSTENRIJK, R., RUIJKVEN, B.V., 2011b. RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C. **Climatic Change**, 109, 95-116, 2011b.
- WELLS, K.D. The ecology and behavior of amphibians. **The University of Chicago Press**, Chicago and London. 2007.
- WISZ, M. S. POTTIER, J. KISSLING, W. D. PELLISSIER, L. LENOIR, J. DAMGAARD, C. F.; HEIKKINEN, R. K. (2013). The role of biotic interactions in shaping distributions and realised assemblages of species: implications for species distribution modelling. **Biological reviews**, 88(1), 15-30. 2013.
- WORLDCLIM, WorldClim: **global climate data: free climate data for ecological modeling and Gis**. Museum of vertebrate zoology of the University of California, Bekerly, USA. Disponível em: <<http://www.worldclim.org/>> acessado em: 02 ago 2018.