

# Impactos das mudanças climáticas: *Mismatches* e alterações na distribuição de plantas e morcegos polinizadores

Guilherme de Carvalho Chicarolli      Guillermo Florez-Montero  
Simone Rodrigues de Freitas

22 de Março de 2021

## Resumo

A modificação na distribuição geográfica das espécies é um dos inúmeros impactos que as alterações no clima podem causar nas comunidades, comprometendo o funcionamento de ecossistemas e interações ecológicas entre indivíduos. Dessa forma, como resposta às mudanças climáticas, as espécies que a adaptarem sua distribuição a lugares mais adequados serão selecionadas evolutivamente, caso contrário serão extintas. Se a adequação não for acompanhada também pela adaptação das outras espécies com os quais há relações ecológicas importantes, pode ocorrer o chamado *mismatch* espacial entre elas, que é dada pela não sobreposição geográfica das espécies. O presente projeto buscou compreender como as mudanças climáticas podem impactar a distribuição geográfica da espécie de quiróptero *Lonchophylla bokermanni* Sazima *et al.*, 1978, e da bromélia *Encholirium subsecundum* (Baker) Mez, duas espécies que possuem relações ecológicas próximas, sendo *L. bokermanni* o único polinizador conhecido de *E. subsecundum*. Utilizando-se de Modelos de Distribuição de Espécies (MDEs) foram criados modelos de distribuição potencial das espécies em dois cenários climáticos projetados para 2050, de RCP 4.5 e 8.5.

**Palavras chave:** Mudanças climáticas, modelagem, distribuição e sobreposição de espécies.

**Área do conhecimento:** Ecologia.

# Contents

<b>Resumo</b>	<b>1</b>
<b>1. Introdução</b>	<b>3</b>
<b>2. Materiais e métodos</b>	<b>4</b>
2.1 Espécies estudadas . . . . .	4
2.2 Ocorrências . . . . .	5
2.3 Modelo de Distribuição Potencial . . . . .	5
2.4 Dados ambientais . . . . .	6
<b>Apêndice</b>	<b>8</b>
<b>Referências</b>	<b>13</b>

## 1. Introdução

## 2. Materiais e métodos

### 2.1 Espécies estudadas

Modelamos a distribuição de 2 espécies: a de quiróptero *Lonchophylla bokermanni* Sazima *et al.*, 1978, e de bromélia *Encholirium subsecundum* (Baker) Mez.

*L. bokermanni* Sazima *et al.*, 1978 (DIAS e colab., 2013; SAZIMA e colab., 1978) é uma espécie de morcego de porte médio endêmica do Brasil, fazendo parte do gênero *Lonchophylla* (família Phyllostomidae), que abrange espécies nectarívoras, com focinho alongado e língua comprida (FLEMING e colab., 2009). Com poucas ocorrências no bioma do Cerrado e da Caatinga, em Minas Gerais e Bahia (Tabela 2), o quiróptero possui uma distribuição restrita (CLÁUDIO e colab., 2018). Ainda pouco se conhece sobre a biologia da espécie, porém sabe-se que alimenta-se de pólen, néctar e insetos (DIAS e colab., 2013; MORATELLI, 2013).

Em razão da degradação de seus habitats, a classificação de *L. bokermanni* quanto ao seu grau de ameaça está como “Em perigo” de acordo com a Listade Espécies Ameaçadas da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) (CLÁUDIO e colab., 2018) e como “Quase ameaçada” pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção, 2018).



Figure 1: *Lonchophylla bokermanni* Sazima *et al.*, 1978. Imagem retirada da fonte: CLÁUDIO e colab. (2018)

*Encholirium subsecundum* (Baker) Mez é uma espécie de bromélia do gênero *Encholirium* (família Bromeliaceae) que ocorre em formações rochosas, podendo atingir até 2 metros de altura e com um padrão floral quiropterófilo (CAVALLARI, 2004; DIAS e colab., 2013). A espécie é endêmica do Brasil, com ocorrências nos biomas da Caatinga, Mata Atlântica e, principalmente, no Cerrado (CAVALLARI, 2004; FORZZA, 2005; SAZIMA e colab., 1989), nos estados de Minas Gerais e Bahia (Tabela 1). Embora existam outras espécies de morcegos nectarívoros na área de

ocorrência de *E. subsecundum*, *L. bokermanni* é o único polinizador conhecido da bromélia (SAZ-IMA e colab., 1989). *E. subsecundum* não se encontra no Livro Vermelho da Flora do Brasil (MARTINELLI e MORAES, 2013) ou na Lista Vermelha da IUCN (“The IUCN Red List of Threatened Species”, 2021).

## 2.2 Ocorrências

Para o processo de Modelagem de Distribuição são necessários registros georreferenciados das espécies. Assim, foram coletados os registros de ocorrências de *Encholirium subsecundum* e *Lonchophylla bokermanni* em 3 bancos de registros online: Specielink, GBIF e SiBBr, que reúnem registros de coleções de espécies. Também foram utilizados registros de artigos que fizeram coletas de espécies.

Foram reunidos 24 registros ao todo da espécie *L. bokermanni*, com o único parâmetro prévio de possuírem coordenadas georreferenciadas. Em seguida, os registros com coordenadas geográficas duplicadas foram retirados da base de dados, sobrando apenas uma ocorrência entre as duplicadas. Então, um *buffer* com raio de 5 km foi criado ao redor de cada registro e foram selecionados apenas uma ocorrência dentro de cada *buffer*, a fim de diminuir o viés amostral na seleção de ocorrências pelo modelo (HIJMANS e SPOONER, 2001). Por fim, sobraram 8 registros, os quais foram utilizados para as modelagens (Ver tabela 2).

O mesmo método de limpeza e tratamento dos registros de ocorrência foram utilizados com os dados da *E. subsecundum*, inicialmente com 82 registros e após a retirada de registros duplicados e seleção de um registro por *buffer*, restaram 37 ocorrências de localidade da espécie (Ver tabela 1) que foram utilizados nas modelagens.

Todos as ocorrências restantes tiveram a descrição de município e localidades dos registros confrontados com os pontos de georreferenciamento (latitude e longitude), com o objetivo de verificar se estavam de acordo. Nenhum registro restante possuía descrição de localidade que não estivesse de acordo com a posição geográfica descrita.

## 2.3 Modelo de Distribuição Potencial

Para o processo de modelagem foi utilizado o pacote SDM (*Species Distribution Modelling*) (NAIMI e ARAÚJO, 2016), (versão 1.0-89), da linguagem de programação R (R CORE TEAM, 2021), versão 4.1.1, por apresentar uma série de funções importantes que automatizam o processo de modelagem, além de conter diversos algoritmos de modelagem.

Nós usamos o algoritmo de modelagem de distribuição Maxent (*Maximum Entropy*) (PHILLIPS e colab., 2006), versão 3.4.4, disponível no pacote SDM. Maxent é um software, de uso livre, para a modelagem da distribuição potencial de espécies a partir da técnica de *machine learning* conhecida como *maximum entropy modeling*.

Maxent recebe como *input* as ocorrências georreferenciadas da espécie e o conjunto de dados camadas ambientais (variáveis preditoras) determinados pelo usuário e dividido em *grid cells* ao

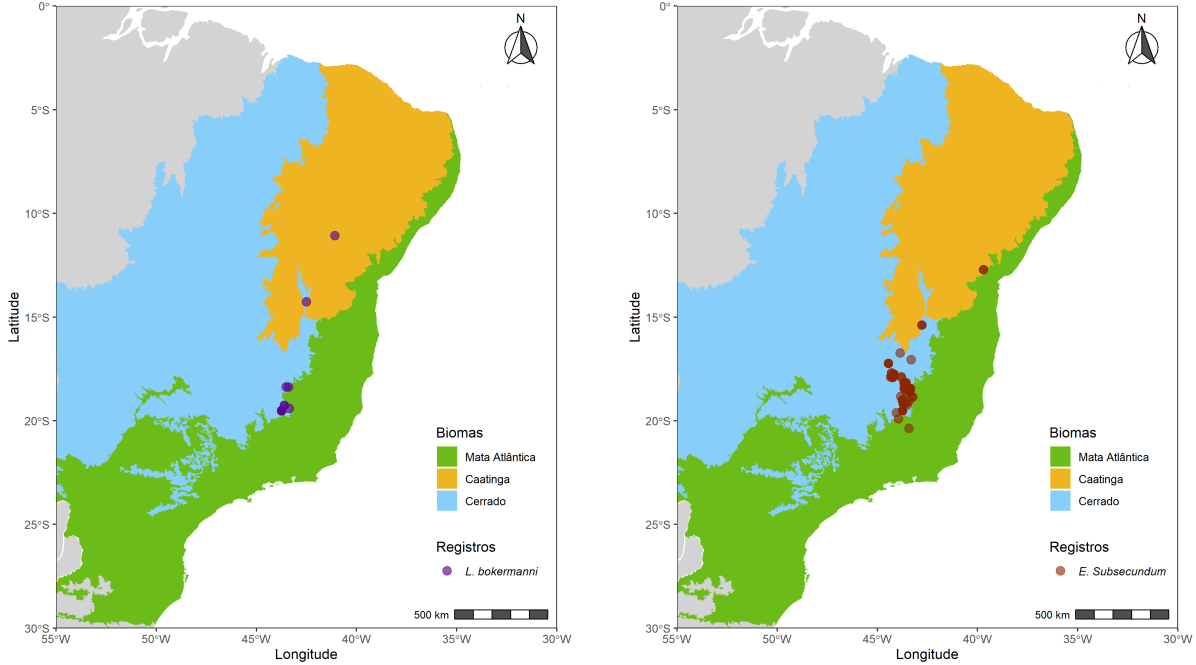


Figure 2: Gráfico das localidades de *L. bokermanni* (à esquerda) e *E. subsecundum* (à direita).

longo de uma região escolhida (MEROW e colab., 2013). Diante disso, o algoritmo amostra uma quantidade de localizações de *background* das camadas ambientais, que são confrontadas com as localizações geográficas da espécie, gerando como *output* um modelo que traduz a probabilidade de distribuição da espécie para cada *grid cell*, dada a aptidão às condições ambientais previstas para a espécie. Maxent procura, assim, a distribuição mais espalhada (de entropia máxima) para a espécie na região de estudo.

O algoritmo foi escolhido devido a sua performance superior a outros quando utilizado quantidades pequenas de dados de ocorrência das espécies (HERNANDEZ e colab., 2006; WISZ e colab., 2008), crucial para nós devido a quantidade pequena de dados para a espécie de morcego *L. bokermanni*. Além disso, Maxent requer apenas ocorrências de presença das espécies, excluindo a necessidade de registros de ausência e facilitando o trabalho com espécies que possuem baixa quantidade de registros ou não possuam registros de ausência.

A fim de avaliar a performance dos modelos criados pelo Maxent,

## 2.4 Dados ambientais

Para produzir os modelos de distribuição potencial das espécies utilizamos camadas ambientais obtidas do projeto WorldClim (FICK e HIJMAN, 2017), com resolução espacial de 2.5 arc-minutos (aproximadamente 4.5 km no equador) e representando o clima atual, correspondendo à média das observações de 1970 a 2000. As 19 variáveis bioclimáticas (Tabela 3) derivam de dados de temperatura e precipitação, representando tendências anuais, condições extremas e sazonalidade

(FICK e HIJMANS, 2017).

Para as predições de distribuições futuras, utilizamos camadas projetadas do clima global para o ano de 2050 (média de 2041 a 2060) de acordo com o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (AR5) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2013), obtidas também através do projeto WorldClim (FICK e HIJMANS, 2017). São camadas de 19 biovariáveis (Tabela 3) projetadas para o futuro, com resolução de 2.5 arc-minutos e usando o modelo de circulação ACCESS1, representando dois cenários distintos de emissão de gases do efeito estufa conforme o *Representative Concentration Pathways* (RCPs), o de RCP 45 (cenário no qual as emissões de  $CO_2$  começam a diminuir a partir de 2045) e de RCP 85 (as emissões de gases continuam a crescer ao longo do século 21) (VUUREN e colab., 2011).

Diversos autores apontaram problemas de multicolinearidade de variáveis climáticas em modelagens de distribuição (BRAUNISCH e colab., 2013; CRUZ-CÁRDENAS e colab., 2014), afetando diretamente os resultados e performance dos modelos. A fim de avaliar a gravidade da colinearidade entre os pontos de ocorrências das duas espécies e o conjunto de biovariáveis do clima atual, medimos o Fator de Inflação da Variância (VIF) das camadas ambientais. Para os dados de ocorrência da planta *E. subsecundum*, o teste resultou em 13 (de 19) variáveis bioclimáticas com problemas de colinearidade (Tabela 4). Enquanto que para o morcego *L. bokermanni*, 17 variáveis apresentaram alto grau de colinearidade (Tabela 5). Valores de VIF maiores que o limiar 10 já indicam problema de colinearidade.

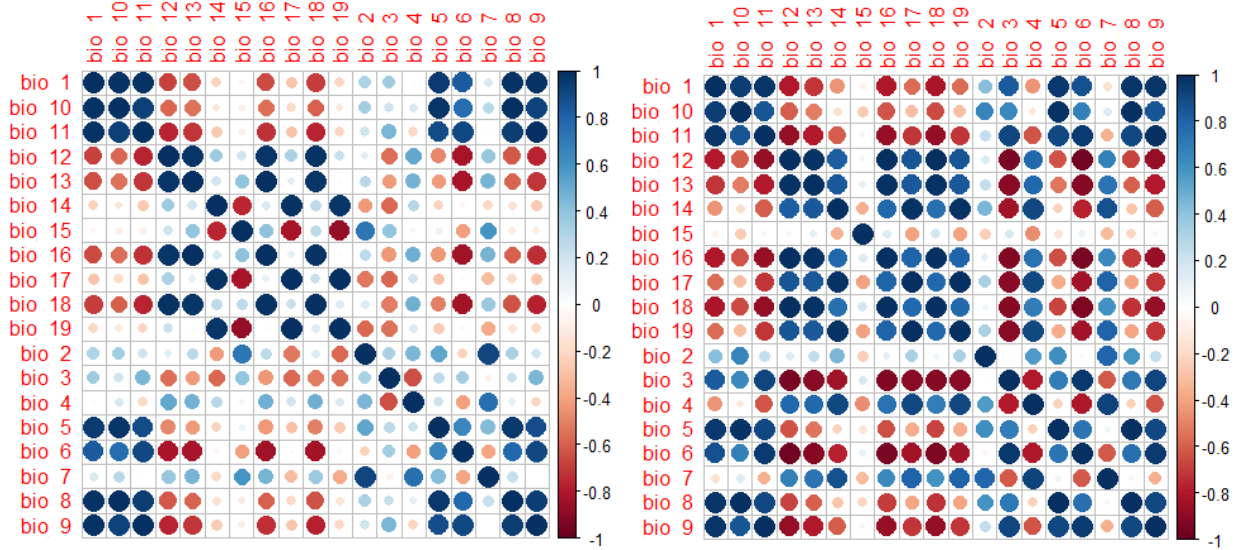


Figure 3: Matriz de correlação entre as variáveis bioclimáticas para a espécie *E. subsecundum* (à esquerda) e *L. bokermanni* (à direita)

## Apêndice

**Tabela 1:** Pontos de ocorrências de *Encholirium subsecundum* (Barker Mez)

Estado	Município	Longitude	Latitude	Referência
Minas Gerais	Belo Horizonte	- 43.93780	- 19.92080	Fundação Zoo-Botânica de Belo Horizonte
Minas Gerais	Santana do Riacho	- 43.71440	- 19.16890	Fundação Zoo-Botânica de Belo Horizonte
Minas Gerais	Conceição do Mato Dentro	- 43.42500	- 19.03720	Fundação Zoo-Botânica de Belo Horizonte
Minas Gerais	Serro	- 43.37940	- 18.60470	Coleção da Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz - USP
Minas Gerais	Serro	- 43.44500	- 18.47250	Herbário do Museu Nacional
Minas Gerais	Jequitaí	- 44.44560	- 17.23560	Coleção da Universidade Federal de Viçosa
Minas Gerais	Buenópolis	- 44.18000	- 17.87330	Coleção da Universidade Federal de Viçosa
Minas Gerais	Buenópolis	- 44.23389	- 17.92389	Coleção da Universidade Federal do Maranhão
Minas Gerais	Buenópolis	- 44.24944	- 17.90917	Coleção da Universidade Federal do Maranhão
Minas Gerais	Santana do Riacho	- 43.71440	- 19.16890	Coleção da Universidade Federal de Viçosa
Minas Gerais	Mariana	- 43.41610	- 20.37780	Coleção da Universidade Federal de Viçosa
Minas Gerais	Datas	- 43.65580	- 18.44560	Herbário do Museu Botânico Municipal
Minas Gerais	Joaquim Felício	- 44.17220	- 17.75750	Coleção da Universidade Estadual de Feira de Santana
Minas Gerais	Joaquim Felício	- 44.29190	- 17.69890	The New York Botanical Garden
Minas Gerais	Joaquim Felício	- 44.17220	- 17.75750	Herbário da Universidade Estadual de Feira de Santana
Minas Gerais	Santana do Riacho	- 43.71440	- 19.16890	Instituto de Botânica



Estado	Município	Longitude	Latitude	Referência
Minas Gerais	Penha da França	- 43.83333	- 18.83333	Coleção da Universidade de Brasília
Minas Gerais	Montes Claros	- 43.86170	- 16.73500	Coleção da UNICAMP
Minas Gerais	Santo Antônio do Itambé	- 43.33944	- 18.45694	Herbário da UFMG
Minas Gerais	Pedro Leopoldo	- 44.04310	- 19.61810	Herbário da UFMG
Minas Gerais	Itacambira	- 43.30890	- 17.06470	Herbário da UFMG
Minas Gerais	Dom Joaquim	- 43.23333	- 18.86667	Herbário do Museu do Jardim Botânico do Rio de Janeiro
Minas Gerais	Mato Verde	- 42.77889	- 15.38667	Herbário do Museu do Jardim Botânico do Rio de Janeiro
Minas Gerais	Santana de Pirapama	- 43.75556	- 19.00611	Herbário do Museu do Jardim Botânico do Rio de Janeiro
Minas Gerais	Diamantina	- 43.55278	- 18.35500	Herbário do Museu do Jardim Botânico do Rio de Janeiro
Minas Gerais	Diamantina	- 43.62806	- 18.19194	Herbário do Museu do Jardim Botânico do Rio de Janeiro
Minas Gerais	Presidente Kubitschek	- 43.55722	- 18.65389	MOURA (2014)
Minas Gerais	Santana do Riacho	- 43.51667	- 19.25000	Herbário da UFMG
Bahia	Itatim	- 39.69810	- 12.71190	Instituto de Botânica
Minas Gerais	Jaboticatubas	- 43.74500	- 19.51360	The New York Botanical Garden
Minas Gerais	Jaboticatubas	- 43.58333	- 19.16667	Herbário do Museu Nacional

**Tabela 2:** Pontos de ocorrências de *Lonchophylla bokermanni* (Sazima, Vizotto & Taddei)

Estado	Município	Longitude	Latitude	Referência
Minas gerais	Jaboticatubas	- 43.74472	- 19.51361	Coleção de Mamíferos do Museu de Zoologia da UNICAMP
Minas gerais	Jaboticatubas	- 43.74540	- 19.52210	Coleção de Quirópteros da UNESP
Minas gerais	Serra do Cipó	- 43.60000	- 19.26667	Coleção de Mamíferos do Museu de Zoologia da UNICAMP
Minas gerais	Itambé do Mato Dentro	- 43.349444	- 19.410278	NASCIMENTO e colab. (2013)
Minas gerais	Diamantina	- 43.516667	- 18.383333	DIAS e colab. (2013)
Minas gerais	Diamantina	- 43.383333	- 18.383333	ALMEIDA e colab. (2016)
Bahia	Caetité	- 42.500000	- 14.266667	CLÁUDIO e colab. (2018)
Bahia	Ourolândia	- 41.083333	- 11.083333	CLÁUDIO e colab. (2018)

**Tabela 3:** Descrição das variáveis bioclimáticas derivadas de valores de temperatura e pluviosidade (FICK e HIJMANS, 2017)

Variáveis bioclimáticas	Descrição
Bio 1	Temperatura média anual
Bio 2	Intervalo médio diurno (Média mensal (máx. temp. - mín temp.))
Bio 3	Isotermalidade
Bio 4	Sazonalidade de Temperatura (desvio padrão *100)
Bio 5	Temperatura máxima do mês mais quente
Bio 6	Temperatura mínima do mês mais frio
Bio 7	Intervalo da temperatura anual
Bio 8	Média da temperatura do quarto de ano mais úmido
Bio 9	Média da temperatura do quarto de ano mais seco
Bio 10	Média da temperatura do quarto de ano mais quente
Bio 11	Média da temperatura do quarto de ano mais frio
Bio 12	Precipitação anual
Bio 13	Precipitação do mês mais frio
Bio 14	Precipitação do mês mais seco
Bio 15	Sazonalidade de precipitação (Coeficiente de variação)
Bio 16	Precipitação do quadrimestre mais úmido
Bio 17	Precipitação do quadrimestre mais seco
Bio 18	Precipitação do quadrimestre mais quente
Bio 19	Precipitação do quadrimestre mais frio

**Tabela 4:** Valores VIF das variáveis sem problema de colinearidade ( $VIF < 10$ ) da espécie *E. subsecundum*

Variável	VIF
Bio 10	2.852144
Bio 14	6.405928
Bio 15	9.101937
Bio 18	6.039373
Bio 3	4.576259
Bio 4	4.025089

**Tabela 5:** Valores VIF das variáveis sem problema de colinearidade ( $VIF < 10$ ) da espécie *L. bokermanni*

Variável	VIF
Bio 7	1.002012
Bio 8	1.002012

## Referências

ALMEIDA, Brunna e colab. **Karyotype of three Lonchophylla species (Chiroptera, Phyllostomidae) from Southeastern Brazil**. Comparative Cytogenetics, v. 10, n. 1, p. 109–115, 2016Tradução.. Disponível em: <<https://doi.org/10.3897/CompCytogen.v10i1.6646>>.

BRAUNISCH, Veronika e colab. **Selecting from correlated climate variables: A major source of uncertainty for predicting species distributions under climate change**. Ecography, v. 36, Set 2013Tradução..

CAVALLARI, Marcelo Mattos. **Estrutura genética de populações de Encholirium (Bromeliaceae) e implicações para sua conservação**. 2004. dissertação de mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (USP), 2004.

CLÁUDIO, Vinícius e colab. **First record of Lonchophylla bokermanni (Chiroptera, Phyllostomidae) for the Caatinga biome**. Mastozoologia Neotropical, v. 25, Jul 2018Tradução..

CRUZ-CÁRDENAS, Gustavo e colab. **Potential species distribution modeling and the use of principal component analysis as predictor variables**. Revista Mexicana de Biodiversidad, v. 85, n. 1, p. 189–199, 2014Tradução.. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1870345314707444>>.

DIAS, Daniela e ESBÉRARD, Cel e MORATELLI, Ricardo. **A new species of Lonchophylla (Chiroptera, Phyllostomidae) from the Atlantic Forest of southeastern Brazil, with comments on L. bokermanni**. Zootaxa, v. 3722, p. 347–360, Out 2013Tradução..

FICK, Stephen E. e HIJMANS, Robert J. **WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas**. International Journal of Climatology, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, 2017Tradução.. Disponível em: <<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.5086>>.

FLEMING, Theodore e GEISELMAN, Cullen e KRESS, W. **The evolution of bat pollination: A phylogenetic perspective**. Annals of botany, v. 104, p. 1017–43, Set 2009Tradução..

FORZZA, Rafaela Campostrini. **REVISÃO TAXONÔMICA DE ENCHOLIRIUM MART. EX SCHULT. & SCHULT. F. (PITCAIRNIOIDEAE - BROMELIACEAE)**. Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo, v. 23, n. 1, p. 1–49, 2005Tradução.. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/42871669>>.

HERNANDEZ, Pilar A. e colab. **The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods**. Ecography, v. 29, n. 5, p. 773–785, 2006Tradução.. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.0906-7590.2006.04700.x>>.

HIJMANS, Robert e SPOONER, David. **Geographic Distribution of Wild Potato Species**. American journal of botany, v. 88, p. 2101–12, Nov 2001Tradução..

IPCC. Summary for Policymakers. STOCKER, T. F. e colab. (Ed.).. Climate Change 2013:

The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Tradução. Cambridge, United Kingdom; New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013. p. 1–30.

**Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção.** Tradução. [S.l.]: ICM-Bio/MMA, 2018. v. 1.

MARTINELLI, Gustavo e MORAES, Miguel Avila. **Livro vermelho da flora do Brasil.** Tradução. [S.l.]: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013. v. 1. p. 1100

MEROW, Cory e SMITH, Matthew J. e SILANDER JR, John A. **A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter.** *Ecography*, v. 36, n. 10, p. 1058–1069, 2013Tradução..

MORATELLI, Ricardo. **Nova espécie de morcego da Mata Atlântica homenageia o Dr. Adriano Peracchi e revela outra espécie do Cerrado que pode estar criticamente ameaçada.** Disponível em: <<https://sbeq.wordpress.com/2013/10/22/nova-especie-de-morcego-da-mata-atlantica-homenageia-o-dr-adriano-peracchi-e-revela-outra-especie-do-cerrado-que-pode-estar-criticamente-ameacada/>>.

MOURA, Mariana Neves. **Hipóteses filogenéticas baseadas em caracteres moleculares e estudos do tamanho do genoma em *Dyckia* Schult. & Schult.f. e *Encholirium* Mart. ex Schult. & Schult.f. (Bromeliaceae).** 2014. dissertação de mestrado – Universidade Federal de Viçosa, 2014.

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

NASCIMENTO, Maria Clara do e colab. **Rediscovery of *Lonchophylla bokermanni* Szima, Vizotto and Taddei, 1978 (Chiroptera: Phyllostomidae: Lonchophyllinae) in Minas Gerais, and new records for Espírito Santo, southeastern Brazil.** *Check List*, v. 9, n. 5, p. 1046–1049, 2013Tradução.. Disponível em: <<https://doi.org/10.15560/9.5.1046>>.

PHILLIPS, Steven J. e ANDERSON, Robert P. e SCHAPIRE, Robert E. **Maximum entropy modeling of species geographic distributions.** *Ecological Modelling*, v. 190, n. 3, p. 231–259, 2006Tradução.. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438000500267X>>.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing.** Tradução. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2021. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.

SAZIMA, Ivan e VIZOTTO, Luiz e TADDEI, Antonio. **Uma nova espécie de *Lonchophylla* da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil (Mammalia, Chiroptera, Phyllostomidae).** *Revista Brasileira de Biologia*, v. 38, p. 81–89, Jan 1978Tradução..

SAZIMA, Ivan e VOGEL, Stefan e SAZIMA, Marlies. **Bat pollination of *Encholirium glaziovii*, a terrestrial bromeliad.** *Plant Systematics and Evolution*, v. 168, p. 167–179, Ago 1989Tradução..

**The IUCN Red List of Threatened Species.** Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org>>.

VUUREN, Detlef P. van e colab. **The representative concentration pathways: an overview.** Climatic Change, v. 109, 2011Tradução..

WISZ, M. S. e colab. **Effects of sample size on the performance of species distribution models.** Diversity and Distributions, v. 14, n. 5, p. 763–773, 2008Tradução.. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1472-4642.2008.00482.x>>.