



35<sup>o</sup>  
Bonito - MS

ANAIS do 35<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Espeleologia  
19 - 22 de julho de 2019 - ISSN 2178-2113 (online)



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 35<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Espeleologia disponível gratuitamente em [www.cavernas.org.br](http://www.cavernas.org.br).

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

CASTRO-SOUZA, R.A. et al. Distribuição multitemporal de um gênero de grilos cavernícolas para o Brasil: mudanças climáticas e impactos em ecossistemas subterrâneos. In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. *Anais...* Campinas: SBE, 2019. p.550-559. Disponível em: <[http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe\\_550-559.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_550-559.pdf)>. Acesso em: *data do acesso*.

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.  
Consulte outras obras disponíveis em [www.cavernas.org.br](http://www.cavernas.org.br)

## DISTRIBUIÇÃO MULTITEMPORAL DE UM GÊNERO DE GRILOS CAVERNÍCOLAS PARA O BRASIL: MUDANÇAS CLIMÁTICAS E IMPACTOS EM ECOSISTEMAS SUBTERRÂNEOS

*MULTITEMPORAL DISTRIBUTION OF A GENUS OF CAVE CRICKETS FOR BRAZIL: CLIMATE  
CHANGE AND IMPACTS ON UNDERGROUND ECOSYSTEMS*

**Rodrigo Antônio CASTRO-SOUZA (1,3); Thadeu SOBRAL-SOUZA (2); Lucas Mendes RABELO (1,3); Rodrigo Lopes FERREIRA (4)**

- (1) Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Lavras, Cx Postal 3037, Campus Universitário, CEP 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.
- (2) Programa de Pós-Doutorado em Ecologia Aplicada, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Lavras, Cx Postal 3037, Campus Universitário, CEP 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.
- (3) Centro de Estudos em Biologia Subterrânea ([www.biologiasubterranea.com.br](http://www.biologiasubterranea.com.br)), Setor de Biodiversidade Subterrânea, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Lavras, Cx Postal 3037, Campus Universitário, CEP 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

**Contatos:** [rodrigodesouzaac@gmail.com](mailto:rodrigodesouzaac@gmail.com); [thadeusobral@gmail.com](mailto:thadeusobral@gmail.com); [lucasmrabelo@gmail.com](mailto:lucasmrabelo@gmail.com); [drops@dbi.ufla.br](mailto:drops@dbi.ufla.br).

### Resumo

Utilizando técnicas de modelagem de nicho ecológico (ENMs) determinamos a distribuição potencial de ocorrência no presente, passado (Holoceno médio - 6 mil anos - e no Último Máximo Glacial - LGM, 21 mil anos), e futuro (ano de 2100 – RCP8.5) para um gênero de grilos amplamente distribuído em cavernas do Brasil na atualidade, *Endecous* Saussure 1878. Observou-se que, diante do cenário de aquecimento global, o nicho potencial destes organismos pode sofrer severas alterações. É plausível assumir que o deslocamento do nicho potencial destes grilos no cenário futuro pode representar impactos severos na estruturação de boa parte das populações subterrâneas da espécie, com potenciais consequências para as comunidades subterrâneas terrestres, em função das diversas interações e abundância elevada desse grupo em cavernas brasileiras. Desta forma, utilizamos preditores abióticos do ambiente externo a fim de prever a potencial distribuição do gênero nos diferentes cenários, uma vez que, apesar de abundantes, os grilos desse gênero não são estritamente cavernícolas. Evidenciamos que ocorrem rearranjos distintos para os diferentes cenários temporais preditos, com uma preocupante perda de hábitat do cenário presente para o cenário futuro, com o potencial de ocasionar alterações nos ecossistemas subterrâneos. Por fim, fica nítida a importância de estudos de ENMs para predição e conservação de organismos em cavernas, sendo evidente o papel das oscilações climáticas no rearranjo da distribuição de espécies do gênero *Endecous*. Além disso, destacamos a importância das cavernas como possíveis refúgios para manutenção de espécies deste gênero no futuro, diante do cenário de aquecimento global e a perda de habitats favoráveis em superfície.

**Palavras-Chave:** mudanças climáticas; Phalangopsidae; Ensifera.

### Abstract

*Using ecological niche modeling techniques (ENMs) we determined the potential distribution of occurrence in the present, past (mid-Holocene - 6 K - and Last Glacial Maximum - LGM, 21 K), and future (year 2100 - RCP8. 5) for a genus of crickets widely distributed in caves in Brazil currently, Endecous Saussure 1878. It was observed that, faced with the global warming scenario, the potential niche of these organisms may suffer severe alterations. It is plausible to assume that the displacement of the potential niche of these crickets in the future scenario may represent severe impacts on the structure of most of the subterranean populations of the species, with potential consequences for terrestrial subterranean communities, due to the diverse interactions and high abundance of this group in caves Brazilians. In this way, we use abiotic predictors of the external environment in order to predict the potential distribution of the genus in the different scenarios, since, although abundant, crickets of this genus are not strictly cave-dwelling. We show that different*

*rearrangements occur for the different predicted temporal scenarios, with a worrying loss of habitat from the present scenario to the future scenario, with the potential to cause changes in the subterranean ecosystems. Finally, it is clear the importance of studies of ENMs for prediction and conservation of organisms in caves, being evident the role of the climatic oscillations in the rearrangement of the distribution of species of the genus *Endecous*. In addition, we highlight the importance of caves as possible refuges for the maintenance of species of this genus in the future, in the face of the global warming scenario and the loss of favorable surface habitats.*

**Keywords:** *climate changes; Phalangopsidae; Ensifera.*

## 1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais tem se tornado possível prever a distribuição potencial de espécies, utilizando-se de algoritmos matemáticos, a partir associação de dados de ocorrência conhecidos com variáveis ambientais (FRANKLIN, 2009; PETERSON et al., 2011). Assim, utilizando recursos de simulação computacional, é possível associar o clima com a distribuição das espécies em diferentes escalas, criando modelos de distribuição que permitem prever como era a distribuição potencial de uma espécie ou um conjunto de organismos em diferentes cenários temporais (e.g. passado, presente e futuro) e associar tal distribuição com mudanças, impactos e alterações no ambiente (LIMA-RIBEIRO; DIZIZ-FILHO, 2013). Tais modelos de simulação atualmente são conhecidos como: modelo de envelope climático (BEM), modelos de nicho ecológico (ENMs), ou modelos de distribuição de espécies (SDM) (ARAUJO; PETERSON, 2012). Nos últimos anos, uma série de estudos tem utilizado a modelagem para prever a distribuição de espécies que colonizam cavidades subterrâneas (CHRISTMAN et al., 2016; MAMMOLA, 2017; MAMMOLA; LEROY, 2017).

A maioria das cavernas conhecidas ao longo do mundo estão inseridas em rochas carbonáticas (e.g. calcários e dolomitos), em regiões popularmente compreendidas como Carste. Para o caso do Brasil, nota-se que rochas não carbonáticas (e.g. rochas ferríferas, siliciclásticas e granitoides) estão muito susceptíveis à formação de cavernas e apresentam altas taxas de ocorrências destas feições (AULER et al., 2001; AULER, 2004; AULER, 2017; CECAV, 2019). No Brasil, embora as cavernas possam estar associadas a rochas de diferentes idades, (AULER, 2004) a maior parte delas originou-se e passou a se expandir no Pleistoceno. Desta forma, é possível inferir que as cavernas conhecidas atualmente já estavam presentes nas regiões Cársticas há pelo menos algumas centenas de milhares de anos, e já permitiam a colonização de muitas formas de vida que se distribuía em superfície, visto que estudos de que utilizaram datações de alguns espeleotemas

de cavernas brasileiras (e.g. CHENG et al., 2013; NOVELLO et al 2017; WANG et al., 2017) relatam idades muito antigas para estas formações.

Deste modo, para o caso dos organismos ocorrentes em cavernas, que podem manter populações viáveis tanto dentro como fora de cavernas, usualmente categorizados como troglófilos (RACOVITZA, 1907), os grilos da família Phalangopsidae Blanchard, 1845 podem representar um ótimo grupo para testar modelos de predição de nicho potencial na superfície e no subterrâneo. Dentre estes, um gênero de grilos neotropicais, descrito inicialmente por Saussure (1878), denominado *Endecous* (Orthoptera: Grylloidea: Phalangopsidae) nos chamou atenção, por apresentar um alto índice de ocorrência dentro cavidades subterrâneas na América do Sul (Cigliano et al., 2019; Material Suplementar). Além disso, tais grilos distribuem-se em todos os biomas brasileiros (SOUZA-DIAS et al., 2014). Tal gênero apresenta um enorme sucesso na colonização, estabelecimento e algumas vezes até mesmo na especialização em ambientes cavernícolas (SOUZA-DIAS et al., 2014; BOLFARINI; BICHUETTE, 2015; CIGLIANO et al., 2019), provavelmente em função de possuírem hábitos noturnos, e serem encontrados de baixo de troncos, rochas e serapilheira (ZEFA, 2006). Embora as cavernas possuam produtividade primária fotoautotrófica apenas nas regiões de entrada, sendo consideradas ambientes oligotróficos, estudos indicam que os recursos derivados de grilos (e.g. fezes, corpos, carcaças e ovos) podem atuar diretamente na estruturação de comunidades subterrâneas (TAYLOR, 2003; TAYLOR et al., 2005; Lavoie et al., 2007). A abundância destes grilos é relativamente elevada, quando comparada com a de outros organismos ocorrentes em cavernas, o que os torna um grupo de referência para estudos (LAVOIE et al., 2007; FAGAN et al., 2007). Entretanto, como os Ortópteros representam organismos ectotérmicos, os processos essenciais para a manutenção fisiológica são fortemente influenciados pela temperatura corporal, e conseqüentemente, pelo ambiente que estes organismos ocorrem (WILLOTT; HASSALL,

1998), o que os torna potencialmente sensíveis a mudanças climáticas severas.

Assim, partindo do pressuposto que o gênero *Endecous* possui diversas espécies que são fundamentais para a estruturação das comunidades cavernícolas, utilizando técnicas de modelagem de nicho ecológico, determinamos a provável distribuição do gênero para quatro momentos: Último Máximo Glacial (21 mil a.a.), Holoceno médio (6 mil a.a.), presente e futuro (ano de 2100 – RCP8.5), a fim de saber se frente ao cenário de aquecimento global, o nicho potencial destes organismos sofrerá alterações que possam representar impactos significativos em suas populações e potencialmente sobre as comunidades subterrâneas às quais se associam.

## 2. METODOLOGIA

Para compreender a distribuição atual do gênero *Endecous*, utilizamos dados de ocorrência obtidos de três fontes: *i*) um estudo desenvolvido por Zefa (2000); *ii*) registros oriundos de observações por especialistas (MELLO F.A.G., ZEFA E.) e *iii*) consulta à coleção de invertebrados subterrâneos de Lavras (ISLA), Departamento de Biologia, Universidade Federal de Lavras, Brasil. Os dados obtidos de literatura foram divididos em duas categorias: “literatura” (dados com coordenadas exatas da ocorrência) e “literatura aproximado” (dados inexatos baseados em referência descritiva do local da coleta, e.g. município, cidade, etc.). Para os dados de literatura aproximado incorporamos, por meio de análises de imagem de satélite, a coordenada geográfica da mancha de habitat conservada mais próxima ao centróide da referência descrita na bibliografia. É importante destacar que não foram incorporados dados de artigos cujas informações de identificação não eram conclusivas ou confirmadas.

A fim de conferir maior confiabilidade aos dados, utilizamos apenas os registros de indivíduos machos adultos encontrados na coleção ISLA. A identificação dos espécimes até categoria taxonômica de gênero, foi baseada na chave proposta por Mello e colaboradores (2013), assim como toda literatura existente para o grupo (CIGLIANO et al., 2019) e os critérios de distinção taxonômica do complexo fálico para as espécies atualmente conhecidas (SOUZA-DIAS, 2015).

Com base nas ocorrências georeferenciadas obtidas, sintetizamos um grid de células com resolução de 0,5° x 0,5° (50km x 50km), que posteriormente foi traduzido em uma matriz de

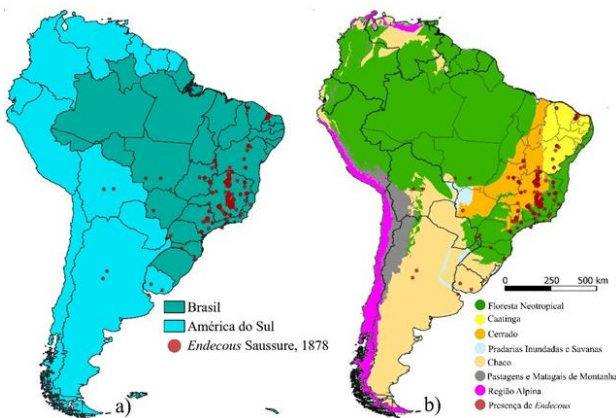
presença, utilizando o *software* QGIS. Tal resolução foi utilizada em função da grande área de ocorrência para o gênero na América do Sul. A utilização de células dessa dimensão reduz o erro das coordenadas geográficas compiladas, eliminando a sobreposição de pontos, e conseqüentemente, reduzindo o viés de amostragem. Para representar as características climáticas da área com ocorrência no presente, passado e futuro, utilizamos dados quantitativos bioclimáticos extraídos de cinco Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera (AOGCMs) adaptados por Lima-Ribeiro e colaboradores (2015): CCSM, CNRM; IPSL, MIROC, MRI. Para cada AOGCMs foram utilizadas seis variáveis bioclimáticas da base de dados EcoClimate. Estas variáveis foram selecionadas dentre um total de 19 disponíveis no EcoClimate (LIMA-RIBEIRO et al., 2015), por meio da análise fatorial de rotação Varimax. As variáveis selecionadas foram: B2 (intervalo médio diurno de temperatura mensal - T. max. - T. min); B3 (Isotermalidade); B10 (temperatura média do trimestre mais quente); B16, B17, B18 (precipitação do trimestre mais chuvoso, seco e quente, respectivamente). As seis variáveis selecionadas apresentaram baixa correlação entre si e elevada representatividade na explicação dos eixos ortogonais.

Em função da existência de diferentes critérios metodológicos de modelagem, que podem exibir padrões geográficos distintos de distribuição de nicho potencial (ENM) (BARRY; ELITH, 2006; DINIZ-FILHO et al., 2009), foram utilizados oito algoritmos para testar a distribuição potencial do gênero *Endecous* no presente, passado e futuro: Bioclim (NIX, 1986); *Mahalanobis Distance* (FARBER; KADMON, 2003); Domínio - distância de Gower (CARPENTER et al., 1993); Modelo Linear Generalizado (GLMz) (GUISAN et al., 2002); Modelo Aditivo Generalizado (GAM) (GUISAN et al., 2002); *Support Vector Machines* (SVM) (TAX; DUIN, 2004); Máxima Entropia (PHILLIPS; DUDIK, 2008) e Floresta Aleatória (RDNFOR) (GUISAN et al., 2002). Para cada algoritmo foram feitas 10 repetições aleatórias, por meio de *bootstrap*, com particionamento duplo para os pontos de ocorrência (70% treino e 30% teste), a fim de avaliar o poder de predição estatístico do modelo (*True Skill Statistic* - TSS) (ALLOUCHE et al., 2006).

Desta forma, os modelos podem apresentar valores de -1 até +1 para TSS, sendo os inferiores a 0,5 considerados ruins, e entre 0,5 e 1, gradativamente conceituados de bons até excelentes (ALLOUCHE et al., 2006). Após essa primeira

filtragem, foram eliminados os modelos com desempenho insatisfatório. Para os modelos com valores de TSS de 0,5 até 1, fizemos sobreposições através do método de *ensemble* (ARAÚJO; NEW, 2007), onde primeiramente combinam-se os 10 modelos gerados por cada algoritmo para cada AOGCM e posteriormente mescla-se os 8 modelos resultantes em um único mapa consenso. Logo, foram obtidos 400 modelos para cada cenário temporal, ou seja, (10 reamostragens x 5 AOGCMs x 8 algoritmos). Por fim, ajustamos a adequabilidade de ocorrência (*specific thresholds*) para limiares de  $\geq 23\%$ , visto que os ENMs a partir desta porcentagem sobrepueram aos registros de ocorrência na atualidade. Ao final, combinamos nossos resultados com o mapa das principais áreas de ocorrência de cavernas do Brasil, que considera áreas de ocorrências em rochas carbonáticas e não carbonáticas, visto que as cavernas também podem estar presentes diversos tipos litológicos (*shapefile* disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/projetos-e-atividades/provincias-espeleologicas.html>. Acessado em 20 de fevereiro de 2019).

Para o cenário futuro, optamos pela utilização do RCP8.5, um modelo de simulação que representa a concentração crescente de gases de efeito estufa e aerossóis até o final do século XXI (ano de 2100), simulando níveis de CO<sub>2</sub> atmosféricos maiores que 1370 (ppm). Essa abordagem prediz poucos esforços para mitigação e redução da emissão destes gases até o ano de 2100 (MOSS et al., 2010; VAN VUUREN et al., 2011; JUBB et al., 2013).



**Figura 1:** Registros de ocorrência para o gênero *Endecous Saussure*, 1878, compilados para este estudo, sobrepondo: a) América do Sul e b) Principais Biomas Neotropicais (adaptado de OLSON et al., 2001).

As análises de ENMs foram feitas no software R, utilizando o pacote dismo (HIJMANS et

al. 2017). Já para recorte dos rasters da América do Sul em cada um dos cinco AOGCMs, foi utilizado a plataforma GRAM-GIS. E para a sobreposição dos resultados foi utilizado os programas QGIS 3.4 Madeira e Inkscape. Todos programas apresentam versões gratuitas (disponível em: [www.rstudio.com](http://www.rstudio.com); [www.qgis.org](http://www.qgis.org); [www.inkscape.org](http://www.inkscape.org)).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram compilados 214 pontos de ocorrência para o gênero *Endecous*, dos quais 28 são oriundos de literatura, 1 de observação pessoal dos autores, e 185 foram extraídos do material depositado na coleção ISLA (Figura 1- a e b).

Os modelos de nicho gerados para o gênero *Endecous* exibiram alto poder de previsão, visto que os valores TSS apresentados para cada algoritmo foram superiores a 0,5 (Tabela 1). As seis variáveis bioclimáticas selecionadas foram suficientes para explicar  $\cong 91\%$  dos modelos de distribuição (Tabela 2). Tais modelos foram capazes de prever a distribuição potencial do gênero *Endecous* nos quatro cenários temporais (21K, 6K, 0K e ano 2100) (Fig. 2). A paleodistribuição potencial (21K e 6K), embora tenha sofrido um rearranjo entre estes dois cenários, mostra que possivelmente estes grilos já poderiam ocorrer em regiões com ampla ocorrência de cavernas no Brasil no passado (Fig. 2, 21K e 6K) e, desta forma, possivelmente estar participando de interações dentro das comunidades cavernícolas, como é observado nos dias de hoje (SOUZA-DIAS et al., 2014; CASTRO-SOUZA et al., 2017).

**Tabela 1:** Valores de *True Skill Statistic* (TSS) referentes cada combinação de algoritmos e AOGCMs para os ENMs do gênero *Endecous*.

Algoritmo/AOGCMs	BIOCLIM	GAM	GLM	GOWER	MAHALANOBIS	MAXENT	RANDOMFOREST	SVM	Média	Desvio Padrão
CCM	0,7038	0,7886	0,6519	0,6946	0,8496	0,7964	0,8386	0,8167	0,7675	0,0739
CNRM	0,6493	0,7948	0,5467	0,6440	0,7947	0,7948	0,8073	0,8135	0,7306	0,1021
IPSL	0,7795	0,8352	0,6074	0,7361	0,8376	0,8306	0,8584	0,8663	0,7939	0,0868
MIROC	0,6735	0,8164	0,4783	0,5573	0,8494	0,8288	0,8289	0,8226	0,7319	0,1445
MRI	0,6820	0,8119	0,5005	0,6213	0,8730	0,8432	0,8668	0,8463	0,7556	0,1382

**Tabela 2:** Resultados da Análise Fatorial de Rotação Varimax, utilizada para a seleção de variáveis bioclimáticas dentre as 19 variáveis para explicação dos modelos de potencial distribuição do gênero *Endecous Saussure*, 1878.

Eixos Vetoriais	I	II	III	IV	V	VI
Var. Exp.	B10: 0,98*	B16: 0,93*	B17: 0,92*	B3: 0,78*	B2: 0,91*	B18: 0,71*
S.C.Q.	6.135	3.507	2.716	2.598	1.547	0.917
Proporção	0.323	0.185	0.143	0.137	0.081	0.048
Acumulação	0.323	0.507	0.650	0.787	0.869	0.917

Legenda: Var.Exp. = valor de contribuição da variável explicativa selecionada; S.C.Q. = Soma das Cargas Quadradas de todas as variáveis presentes no Eixo; Proporção = Peso do eixo; Acumulação = Valor de explicação do eixo para o modelo, levando em consideração o(s) eixo(s) antecessor(es).

Já para o cenário futuro fica evidente que apenas uma parte da região atlântica, sudeste e nordeste do Brasil apresenta áreas que mantiveram o potencial para ocorrência de *Endecous* (Fig. 2, ano de 2100). Tais regiões abrangem dois dos maiores *hotspots* de biodiversidade da América do Sul, o bioma Cerrado e a Mata Atlântica (MYERS, 2000; MITTERMEIER, 2004). Desta forma, de acordo com o observado, em função da expansão agrícola, urbanização e mineração nestas áreas (FERREIRA et al., 2014), somada ao deslocamento das áreas potenciais para a distribuição, tanto em ambientes epígeos quanto em hipógeos, as populações deverão sofrer perdas consideráveis. Um agravante é a grande escassez de estudos taxonômicos e ecológicos para grilos Neotropicais, que no caso de *Endecous* e diversos outros gêneros de falangopsídeos, se baseiam muitas vezes em uma única localidade (CIGLIANO et al., 2019), como por exemplo uma única caverna, ou um único ou poucos pontos de superfície, dificultando as estimativas de habitat potencial, conseqüentemente as perdas de habitats e o estabelecimento de medidas de conservação.

Medidas de contenção do aquecimento global requerem esforços de âmbito internacional (MOSS et al., 2010), onde por exemplo, cada país apresenta metas distintas para redução de gases do efeito estufa. Dessa forma, a fim de minimizar os impactos do aquecimento global no nicho potencial dos grilos, a preservação de cavernas no Brasil se torna uma alternativa importante visto que dependendo da conformação estrutural, muitos destes ambientes podem apresentar um *time lag*, que permite tamponar as oscilações climáticas externas (BADINO, 2010; BROOKFIELD et al., 2016). Somado a isso, existem extensas evidências de uma biota que hoje se restringe às cavernas, cujos ancestrais são oceânicos, de florestas ou de serapilheira, que sobreviveram e sobrevivem às diversas mudanças climáticas e da paisagem ao longo do tempo (BOTOSANEANU; HOLSINGER, 1991; MOLDOVAN et al., 2018). Logo, diante de um cenário de mudanças climáticas futuras, a presença de cavernas pode ser um fator chave para a manutenção deste gênero, juntamente ao seu papel chave sobre a estruturação de comunidades subterrâneas neotropicais, assim como já tem sido destacado para grilos em cavernas de regiões temperadas (LAVOIE et al., 2007).

No Brasil, a legislação referente à proteção do patrimônio espeleológico prevê a categorização

das cavernas em níveis de relevância (máximo, alto, médio ou baixo), sendo as cavernas de "máxima relevância" proibidas únicas integralmente protegidas (GANEM, 2009; Decreto n.º 6640 de 7 de novembro de 2008 e Instrução Normativa n.º 01/2017). Entretanto, a maior parte das espécies de *Endecous* é troglófila, não se enquadrando como restritas ao modo de vida subterrâneo, um dos atributos biológicos significativos para conferir o grau máximo de relevância para as cavernas. Assim, é nítida a dificuldade de encontrar formas de conservação para tal grupo.

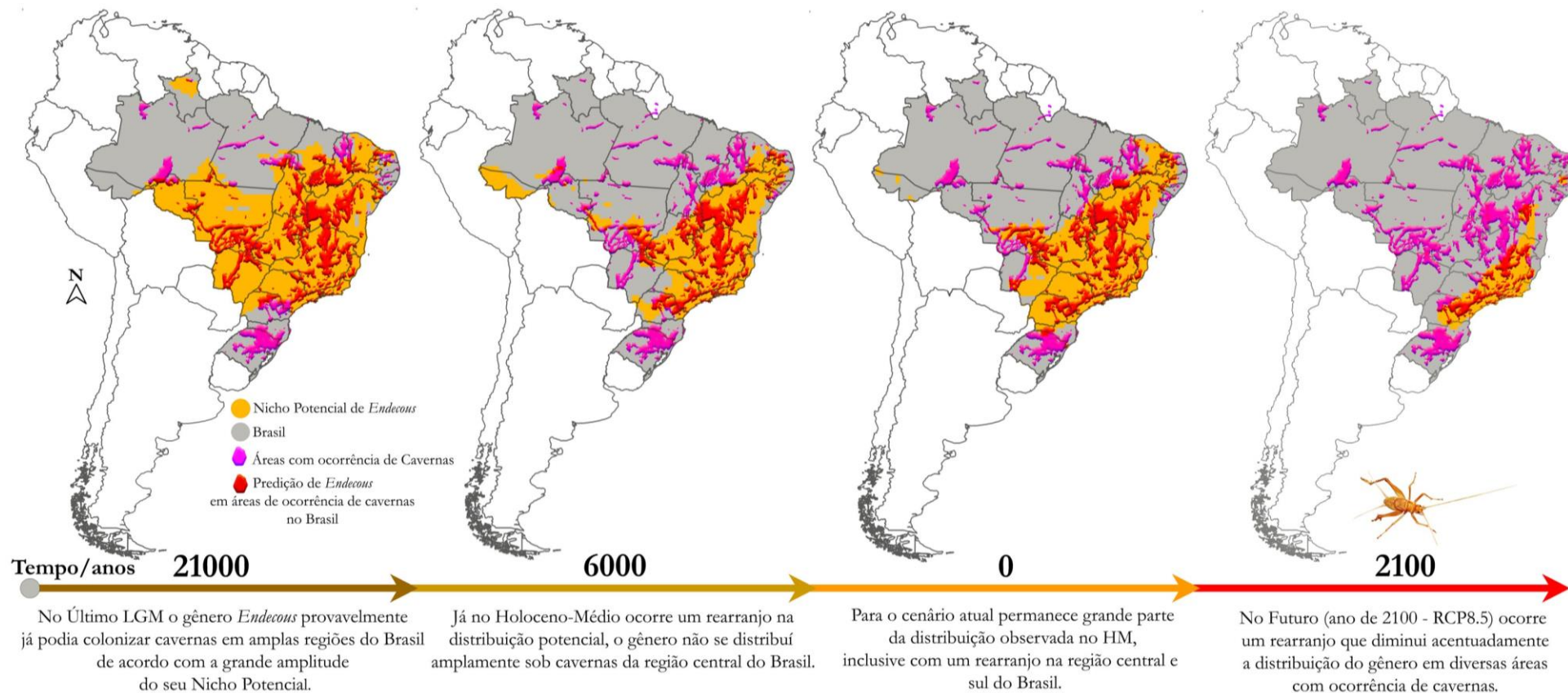
Por fim, vale salientar que as áreas apontadas como potenciais para o futuro (ano de 2100) já são ameaçadas e possuem elevada taxa de substituição das paisagens naturais por paisagens associadas às atividades antrópicas (MYERS, 2000; SUGAI et al., 2015). Infelizmente, no cenário político atual, inúmeros processos de licitação e/ou empreendimentos já ameaçam áreas denominadas "protegidas" (FERREIRA et al., 2014), o que remete à susceptibilidade de perda de importantes habitats subterrâneos que seriam refúgio para os grilos do gênero *Endecous*.

#### 4. CONCLUSÕES

Nosso estudo destaca a importância de estudos de ENMs para predição e conservação de organismo facultativos em cavernas, o que deixa evidente o papel das oscilações climáticas no rearranjo da distribuição potencial do gênero *Endecous*, ocasionando, dessa forma, possíveis alterações em ecossistemas subterrâneos. Além disso, destacamos a importância das cavernas como possíveis refúgios para manutenção do gênero no futuro, diante do cenário de aquecimento global.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio de campo da equipe do Centro de Estudos em Biologia Subterrânea – CEBS e a Universidade Federal de Lavras (UFLA). E somos eternamente gratos a *database* Ecoclimate e as instituições que fomentaram e/ou permitiram a obtenção de dados para tal estudo: CECAV; CNPq, FAPEMIG, FAPESP, VALE S.A. Em especial agradecemos ao professor Edison Zefa pelo incentivo e ensinamentos na taxonomia do gênero *Endecous*.



**Figura 2:** Consenso dos mapas referente aos modelos de potencial distribuição do gênero *Endecous* Saussure, 1878 restritos ao Brasil, baseados em modelos de nicho correlativos durante o LGM (21 mil), Holoceno-Médio (6 mil), Presente (0), e Futuro (ano de 2100 - RCP8.5) para a América do Sul. Além disso, nós sobrepomos os ENMs com as principais áreas com ocorrência de cavernas (CECAV 2019) visto que a maioria dados conhecidos na atualidade provem destes ambientes.

## REFERÊNCIAS

- ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of Applied Ecology**, v. 43, p. 1223-1232, 2006.
- ARAÚJO, M.B.; NEW, M.. Ensemble forecasting of species distributions. **Trend in Ecology and Evolution**, v. 22, p. 42-47, 2007.
- ARAÚJO, M.B.; PETERSON, A.T. Uses and Missuses of bioclimatic envelope modeling. **Ecology**, v. 93, n. 7, p. 1527-1539, 2012.
- AULER, A.S.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, R. **As grandes cavernas do Brasil**. Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, 2001. 228p.
- AULER, A. America, South. In: GUNN, J. (Eds.) **Encyclopedia of cave and karst science**. New York: Fitzroy Dearborn, 2004. p.110-118.
- AULER, A.S. Hypogean Caves and Karst of South America 55 (Eds.) In: KLIMCHOUK, A.; PALMER, A. N.; DE WAELE, J.; AULER, A. S.; AUDRA, P. (Eds.) **Hypogean karst regions and caves of the world** Springer, 2017. p. 817-826.
- BADINO, G. Underground meteorology. What's the weather underground? **Acta Carsologica**, v. 39, n. 3, p. 427-448, 2010.
- BARRY, S.; ELITH, J. Error and uncertainty in habitat models. **Journal of Applied Ecology**, v. 43, n. 3, p. 413-423, 2006.
- BOLFARINI, M.P.; BICHUETTE, M.E. *Endecous peruassuensis* n. sp. (Orthoptera: Grylloidea: Phalangopsidae) from caves of Eastern Brazil: evidence of isolation in the subterranean realm and discussion about troglomorphy. **Zootaxa**, v. 4032, n. 3, p. 297-308, 2015.
- BOTOSANEANU, L.; HOLSINGER, J. Some aspects concerning colonization of the subterranean realm – especially subterranean waters: a response to Rouch and Danielopol, 1987. **Stylogia**, v. 6, n. 1, p. 11-39, 1991.
- BROOKFIELD, A.E.; MACPHERSON, G.L.; COVINGTON, M.D. Effects of changing meteoric precipitation patterns on groundwater temperature in karst environments. **Groundwater**, v. 55, n. 2, p. 227-236, 2016.
- CARPENTER, G.; GILLISON, A.N.; WINTER, J. DOMAIN: a flexible modeling procedure for mapping potential distributions of animals and plants. **Biodiversity and Conservation**, v. 2, n. 6, p. 667-680, 1993.
- CECAV. **Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas / Instituto Chico Mendes de Biodiversidade e Conservação (CECAV/ICMBIO)**. Áreas de Ocorrência de Cavernas do Brasil. 2019. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/projetos-e-atividades/provincias-espeleologicas.html> (accessed 13 February 2019)
- CASTRO-SOUZA, R.A.; ZEFA, E.; FERREIRA, R.L. Two new species of cave crickets *Endecous* (*Notoendecous*) Gorochoff, 2014 (Orthoptera: Grylloidea: Phalangopsidae) from northeastern Brazil. **Zootaxa**, v. 4318, n. 3, p. 474-498, 2017.
- CHENG, H.; SINHA, A.; CRUZ, F.W.; WANG, X.; EDWARDS, R.L.; D'HORTA, F.M.; RIBAS, C.C.; VUILLE, M.; STOTT, L.D.; AULER, A.S. Climate change patterns in Amazonia and biodiversity. **Nature communications**, v. 4, p. 1-6, 2013.



CHRISTMAN, M.C.; DOCTOR, D.H.; NIEMILLER, M.L.; WEARY, D.J.; YOUNG, J.A.; ZIGLER, K.S.; CULVER, D.C. Predicting the occurrence of cave-inhabiting fauna based on features of the earth surface environment. **PloS one**, v. 11, n. 8, e0160408, 2016.

CIGLIANO, M.M.; BRAUN, H.; EADES, D.C.; OTTE, D. **Orthoptera Species File**. Version 5.0/5.0., 2019. Disponível em: <http://Orthoptera.SpeciesFile.org> (accessed 20 July 2019).

DESUTTER, L. **Etude phylogénétique, biogéographique et écologique dès Gryllidea Neotropicaux (Insectes, Orthoptères)**. 1990, 347 p. Thèse de Doctorat, Université Paris, XI- Orsay.

DESSUTER-GRANDCOLAS, L. II – faune souterraine II., 4 – Insecta, 56 – Ortóptera, B – Grylloidea. In: JUBERTHIE, C.; DECU, V. **Encyclopaedia Biospeologica**, v. Tome II. Moulis (France): Société de Biospéologie, 1998. p. 989-1001.

DINIZ-FILHO, J.A.F.; BINI, L.M.; RANGEL, T.F.; LOYOLA, R.D.; HOF, C.; NOGUÉS-BRAVO, D.; ARAÚJO, M.B. Partitioning and mapping uncertainties in ensembles of forecasts of species turnover under climate change. **Ecography**, v. 32, n. 6, p. 897-906, 2009.

FAGAN, W.F.; LUTSCHER, F.; SCHNEIDER, K. Population and community consequences of spatial subsidies derived from central-place foraging. **The American Naturalist**, v. 170, n. 6, p. 902-915, 2007.

FARBER, O.; KADMON, R. Assessment of alternative approaches for bioclimatic modeling with special emphasis on the Mahalanobis distance. **Ecological Modelling**, v. 160, n. 1-2, p. 115-130, 2003.

FERREIRA, J.; ARAGÃO, L.E.O.C.; BARLOW, J.; BARRETO, P.; BERENGUER, E.; BUSTAMANTE, M.; GARDNER, T.A.; LEES A.C.; LIMA, A., LOUZADA, J.; PARDINI, R.; PARRY, L.; PERES, C.A.; POMPEU, P.S.; TABARELLI, M.; ZUANON, J. Brazil's environmental leadership at risk. **Science**, v. 346, n. 6210, p. 706-707, 2014.

FERREIRA R.L.; OLIVEIRA M.P.A.; SOUZA-SILVA M. Subterranean Biodiversity in Ferruginous Landscapes. In: MOLDOVAN, O. T.; KOVÁČ, E.; HALSE, S. **Cave Ecology**. Springer: Cham, 2018. p. 435-447.

FRANKLIN J. **Mapping Species Distribution. Spatial inference and prediction**. Cambridge University Press. 2009, 320 p.

GANEM, R.S. **As cavidades naturais subterrâneas e o Decreto nº 6.640/2008**. 2009. Disponível em: <http://bd.camara.gov.br> (accessed 25 March 2019)

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

HIJMANS, R. J.; PHILLIPS, S.; LEATHWICK, J.; ELITH, J.; HIJMANS, M.R.J. Package 'dismo'. *Circles*, v. 9, n. 1, p. 1-68, 2017.

JAFFE, R.; PROUS, X.; ZAMPAULO, R.; GIANNINI, T.C.; IMPERATRIZ-FONSECA, V.L.; MAURITY, C.; OLIVEIRA G., BRANDI I.V.; SIQUEIRA J.O. Reconciling mining with the conservation of cave biodiversity: a quantitative baseline to help establish conservation priorities. **PloS one**, v. 11, n. 12, e0168348, 2016.

JUBB, I.; CANADELL, P.; DIX, M. Representative concentration pathways (RCPs). **Australian Climate Change Science Program**, p. 1-3, 2013.

- LAVOIE, K.; HELF, K.L.; POULSON T.L. The biology and ecology of North American cave crickets. **Journal of Cave and Karst Studies**, v. 69, p. 114-134, 2007.
- LIMA-RIBEIRO, M.S.; DINIZ-FILHO, J.A.F. **Modelos ecológicos e a extinção da megafauna: clima e homem na América do Sul**. Cubo, São Carlos, 2013. 155 p.
- LIMA-RIBEIRO, M.S.; VARELA, S., GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, J.; DE OLIVEIRA, G.; DINIZ-FILHO, J.A.F.; TERRIBILE, L.C. EcoClimate: a database of climate data from multiple models for past, present, and future for macroecologists and biogeographers. **Biodiversity Informatics**, v.10, p. 1-21, 2015.
- MAMMOLA, S. Modelling the future spread of native and alien congeneric species in subterranean habitats—the case of Meta cave-dwelling spiders in Great Britain. **International Journal of Speleology**, v. 46, n. 3, p. 427-437, 2017.
- MAMMOLA, S.; LEROY, B. Applying species distribution models to caves and other subterranean habitats. **Ecography**, v. 41, n. 7, 1194-1208, 2017.
- MELLO, F.A.G.; HORTA, L.S.; BOLFARINI, M.P. *Bambuina bambui*: A new genus and species of cave cricket from Brazil (Orthoptera: Grylloidea: Phalangopsidae: Luzarinae). **Zootaxa**, v. 3599, p. 87-93, 2013.
- MITTERMEIER, R.A.; GIL, P.R.; HOFFMANN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C.G.; LAMOREUX, J.; DA FONSECA, G.A.B (2004) **Hotspots revisited**. CEMEX and Agrupación Sierra Madre, 2004. 390p.
- MOLDOVAN, O.T.; KOVÁČ, L.; HALSE, S. **Cave Ecology**. Springer: Cham, 2018. 536p.
- MOSS, R.H.; EDMONDS, J.A.; HIBBARD, K.A.; MANNING, M.R.; ROSE, S.K.; VAN VUUREN, D.P.; CARTER, T.R., EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T.; MEEHL G.A.; MITCHELL J.F.B.; NAKICENOVIC N.; RIAHI K.; SMITH S.J.; STOUFFER R.J.; THOMSON A.M.; WEYANT J.P.; WILBANKS T.J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, p. 747-756, 2010.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; DA FONSECA G.A.B.; KENT J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.
- NIX, H.A. A Biogeographic Analysis of Australian Elapid Snakes. In: Longmore, R., , **Atlas of Elapid Snakes of Australia** (Eds.). Australian Flora and Fauna Series, Australian Government Publishing Service, Canberra, 1986. p. 4-15.
- NOVELLO, V.F., CRUZ, F. W., VUILLE, M., STRÍKIS, N.M., EDWARDS, R.L., CHENG, H.; EMERICK, S.; DE PAULA, M.S.; LI, X.; BARRETO E.S.; KARMANN, I.; SANTOS, R.V. A high-resolution history of the South American Monsoon from Last Glacial Maximum to the Holocene. **Scientific reports**, v. 7, p. 1-8, 2017.
- OLSON, D.M.; DINERSTEIN, E.; WIKRAMANAYAKE, E.D.; BURGESS, N.D.; POWELL, G.V.; UNDERWOOD, E.C.; D'AMICO J.A.; ITOUA, I.; STRAND, H.E.; MORRISON, J.C.; LOUCKS, C.J.; ALLNUTT, T.F.; RICKETTS, T.H.; KURA, Y.; JOHN, F.; LAMOREUX, J.F.; WETTENGEL, W.W.; HEDAO, P.; KASSEM, K.R. Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth: A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. **BioScience**, v. 51, n. 11, p. 933-938, 2001.
- PETERSON, A.T.; SOBERÓN, J.; PEARSON, R.G.; ANDERSON, R.P.; MARTÍNEZ-MEYER, E.; NAKAMURA, M.; ARAÚJO, M.B. Ecological niches and geographic distributions. **Princeton University Press**, 2011. 316p.

- PHILLIPS, S.J., DUDIK, M. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. **Ecography**, v. 31, p. 161-175, 2008.
- RACOVITZA, E.G. Essai sur les problèmes biospéologiques. **Archives de Zoologie Experimentale et Générale**, v. 6, p. 371-488, 1907.
- SKET, B. Can we agree on an ecological classification of subterranean animals?. **Journal of Natural History**, v. 42, n. 21-22, p. 1549-1563, 2008.
- SOUZA-DIAS, P.G.B., BOLFARINI, M.P., NIHEI, S.S.; DE MELLO, F.A.G. *Endecous apterus*: a new species of cave cricket from northeast Brazil, with comments on the use of subterranean habitats by Luzarinae crickets (Orthoptera: Grylloidea: Phalangopsidae: Luzarinae). **Zootaxa**, v. 3784, n. 2, p. 120-130, 2014.
- SOUZA-DIAS, P.G.B. **Análise cladística e morfologia do complexo fálico de Phalangopsidae, com ênfase em Luzarinae (Orthoptera, Ensifera, Grylloidea)**. 2015. 164p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas), Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.
- SUGAI, L.S.M.; OCHOA-QUINTERO, J.M.; COSTA-PEREIRA, R.; ROQUE, F.O. Beyond aboveground. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, n. 8, p. 2109-2112, 2015.
- TAX, D.M.J.; DUIN, R.P.W. **Support vector data description**. Mach Learn, v. 54, 45-66, 2004.
- TAYLOR, S. J. America, North: biospeleology. In: J. GUNN. **Encyclopedia of caves and karst Science 1st edition**. Routledg, Fitzroy Dearborn, New York, 2003. p. 45-49.
- TAYLOR, S.J.; KREJCA, J.K.; DENIGHT, M.L. (2005) Foraging range and habitat use of *Ceuthophilus secretus* (Orthoptera: Rhabdophoridae), a key troglone in central Texas cave communities. **American Midland Naturalist**, v. 154, p. 97-114, 2005.
- VAN VUUREN, D. P.; 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**, v. 109, n. 1-2, 5-31, 2011.
- WANG, X.; EDWARDS, R. L.; AULER, A. S.; CHENG, H.; KONG, X.; WANG, Y.; CRUZ, F.W.; DORALE J. A.; CHIANG, H. W. Hydroclimate changes across the Amazon lowlands over the past 45,000 years. **Nature**, v. 541, n. 7636, 204-207, 2017.
- WILLOTT, S. J.; HASSALL, M. Life-history responses of British grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) to temperature change. **Functional Ecology**, v. 12, n. 2, 232-241, 1998.
- ZEFA, E. **Comportamento, bioacústica, morfologia e citogenética de algumas espécies do gênero *Endecous Saussure, 1878 (Orthoptera, Phalangopsidae)***. 2000. 177p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro
- ZEFA, E. Comparison of calling songs in three allopatric populations of *Endecous itatibensis* (Orthoptera, Phalangopsidae). **Iheringia Série Zoológica**, v. 96, 13-16, 2006.