



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:

PELLEGRINI, T.G. et al. Drivers of carabid beetle species richness in caves: disentangling the effects of current and past macroclimate, soil, and area. In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. *Anais...* Campinas: SBE, 2019. p.576-580. Disponível em: <[http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe\\_576-580.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_576-580.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)

## ***PREDITORES DA RIQUEZA DE ESPÉCIES DE BESOUROS CARABIDAE EM CAVERNAS: DESTRINCHANDO OS EFEITOS DE MACROCLIMA NO PRESENTE E PASSADO, SOLO E ÁREA***

*DRIVERS OF CARABID BEETLE SPECIES RICHNESS IN CAVES: DISENTANGLING THE EFFECTS OF CURRENT AND PAST MACROCLIMATE, SOIL, AND AREA*

**Thais Giovannini PELLEGRINI (1,2); Lucas Mendes RABELO (3,4); Thadeu SOBRAL (4); Diogo Borges PROVETE (5); Rodrigo Lopes FERREIRA (3,4); Letícia Maria VIEIRA (1,2)**

- (1) Laboratório de Ecologia Florestal, Dep. de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras.
- (2) Programa de Pós-Graduação em Entomologia, Dep. de Entomologia, Universidade Federal de Lavras.
- (3) Centro de Estudos em Biologia Subterrânea, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Lavras.
- (4) Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, Universidade Federal de Lavras.
- (5) Laboratório de Síntese em Biodiversidade, Instituto de Biociências, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**Contato:** [thais.g.pellegrini@gmail.com](mailto:thais.g.pellegrini@gmail.com).

### **Resumo**

A compreensão dos padrões de riqueza em espécies é um assunto amplamente abordado em estudos ecológicos. Áreas com alta estabilidade climática são relacionadas positivamente ao aumento de riqueza de espécies, entretanto, pouco é compreendido sobre este padrão em ambientes cavernícolas, especialmente em regiões tropicais. Outra hipótese amplamente aceita é a relação espécie-área, na qual espera-se encontrar maior riqueza com o aumento da área amostrada. Neste estudo procuramos compreender os padrões de riqueza de besouros da família Carabidae em cavernas distribuídas no estado de Minas Gerais, testando a hipótese de que a instabilidade climática, tamanho linear das cavernas e litologia são fatores positivamente relacionados à riqueza de Carabidae. Apenas o tamanho linear das cavernas foi significativa e positivamente relacionado à riqueza de espécies. Esta variável é frequentemente relacionada à riqueza de invertebrados cavernícolas. Já a ausência de significância para a hipótese de estabilidade climática, pode ter sido explicada inclusão de espécies troglóbias e troglófilas no modelo, o que aumenta a riqueza de espécies que tem maior área de vida e, conseqüentemente, maior tolerância às variações climáticas se comparadas às espécies restritas ao ambiente cavernícola. Estudos abordando escalas espaciais mais amplas podem melhorar a compreensão do efeito do macroclima e das mudanças climáticas sobre a distribuição de Carabidae troglóbias.

**Palavras-Chave:** besouros predadores; padrões ecológicos; clima; relação espécie-área; litologia.

### **Abstract**

*Understanding patterns of species richness is widely discussed in ecological studies. Areas with high climatic stability are positively related to the increase in species richness, however, little is known about this pattern in cave environments, especially in tropical regions. Another widely accepted hypothesis is the species-area relationship, in which one expects to find greater richness with the increase of the area sampled. In this study we tried to understand the Carabidae beetle richness patterns in caves distributed in the state of Minas Gerais, testing the hypothesis that climatic instability, linear size of caves and lithology are factors positively related to the richness of Carabidae. Only the linear size of the caves was significant and positively related to the species richness. This variable is often related to the richness of cave invertebrates. The absence of significance for the climatic stability hypothesis may have been explained by the inclusion of troglobitic and troglophilic species in the model, which increases the richness of species that have a larger area of life and, consequently, greater tolerance to climatic variations when compared to species restricted to the cave environment. Studies addressing wider spatial scales may improve understanding of the effect of macroclimate and climate change on the distribution of troglobitic Carabidae.*

**Keywords:** ground beetle; ecological patterns; climate; specie-area relationship; lithology.

## 1. INTRODUÇÃO

Regiões cujo clima foi historicamente estável coincidem com os centros de endemismo de múltiplos táxons em áreas de superfície (Carnaval *et al.* 2008). Esses autores encontraram uma grande área climaticamente estável no corredor central da Bahia, e um pequeno refúgio em Pernambuco.

Ambientes cavernícolas possuem maior estabilidade ambiental, dada pela umidade elevada e temperatura que se assemelha às médias anuais externas (POULSON & CULVER, 1969). Tal característica pode conferir às cavernas padrões de diversidade contrários aos encontrados nos ambientes de superfície. Espera-se que contrariamente ao que ocorre em ambientes de superfície em áreas de maior instabilidade climática, as cavernas funcionem como áreas mais atrativas, lhes conferindo maior riqueza de espécies. Alguns estudos analisaram a relação entre distribuição atual das espécies cavernícolas e eventos climáticos passados (CULVER & PIPAN, 2010; ZAGMAJSTER ET AL, 2014; MOMMOLA & LEROY, 2017). No entanto, todos foram conduzidos em regiões temperadas.

Diversos estudos buscaram compreender quais parâmetros melhor explicam a riqueza de espécies em cavernas. Dentre estes destacam-se o tamanho da caverna (CULVER *et al.*, 1973; CHRISTMAN & CULVER, 2002; FERREIRA, 2004; SOUZA-SILVA *et al.*, 2011; BATUCAN *et al.*, 2013; SIMÕES *et al.*, 2015), a proximidade entre as cavernas (CHRISTMAN & CULVER, 2002; CULVER & PIPAN, 2010), além da natureza litológica da caverna (SOUZA-SILVA *et al.* 2011).

Nossa hipótese é de que quanto maior a instabilidade climática histórica, maior seria a riqueza de invertebrados no interior das cavernas de regiões tropicais.

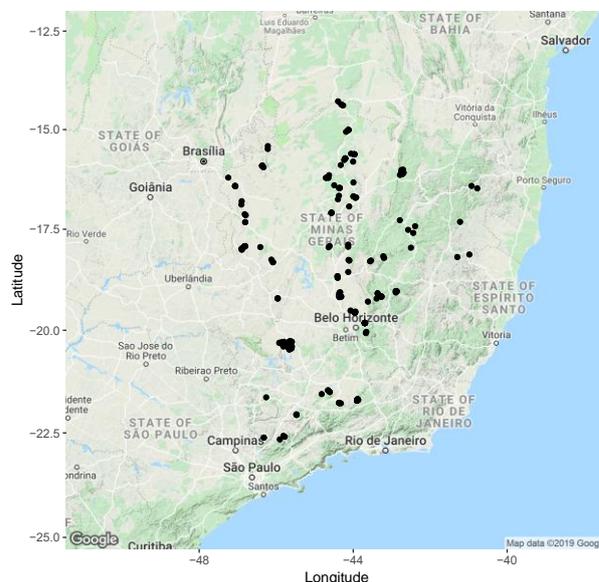
Uma vez que táxons podem responder de formas distintas às alterações ambientais, o que poderia dificultar o estabelecimento de padrões ecológicos, escolhemos besouros Carabidae como modelo. Espécies desta família possuem ampla distribuição em cavernas, com diversos representantes cavernícolas (BARR, 1967).

## 2. METODOLOGIA

### Área de estudo e desenho amostral

Selecionamos 249 cavernas no estado de Minas Gerais (Figura 1). Dados de riqueza de Carabidae troglóbios e troglófilos foram obtidos a

partir de levantamentos faunísticos executados pela equipe do Centro de Estudos em Biologia Subterrânea e estudos de licenciamento ambiental. Foram analisadas um total de 77 espécies, destas seis foram consideradas troglóbias, todas elas encontradas no município de Pains.



**Figura 1:** Distribuição das cavernas onde amostramos besouros Carabidae no estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil.

### Variáveis ambientais

Obtivemos o desenvolvimento linear amostrado (soma do comprimento dos condutos amostrados em metros). O desenvolvimento linear amostrado das cavernas variou desde menos de 10 metros para até 4 quilômetros. Para obter dados de categorias de litologia das cavernas extraímos variáveis de solo do “*Global SoilsInformationBasedonAutomatedMapping*”. Deste banco de dados foram extraídas três variáveis de textura de solo (areia, silte e clasto) com resolução de 1km (SoilGrids 1km), uma vez que estas propriedades têm maior correlação com a litologia (HENGL, 2014).

Dados climáticos históricos foram obtidos a partir do banco de dados do Worldclim 1.4 (HIJMANS *et al.*, 2005), com resolução de 1km. Para diminuir o número de variáveis explicativas foi realizada uma Análise Fatorial a partir da qual selecionamos 5 parâmetros de clima: BIO\_03, BIO\_07, BIO\_10, BIO\_15 e BIO\_16. A partir desses dados estimamos a instabilidade climática histórica calculando o seu desvio padrão tomando por referência os valores obtidos para o último Inter-glacial (~120.000 – 140.000 anos atrás), o último Máximo Glacial (~22.000 anos atrás), Holoceno Médio (~6.000 anos atrás) e presente.

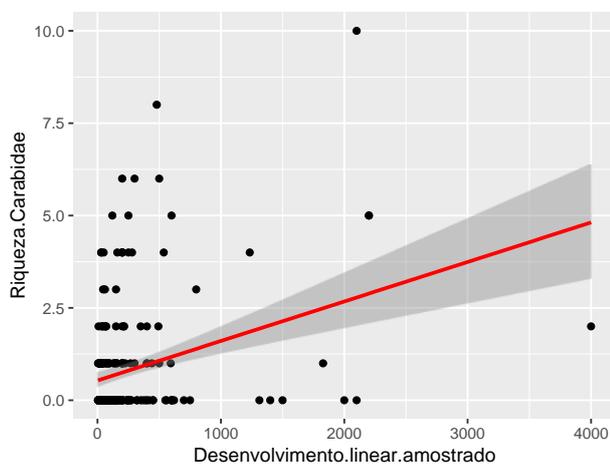
### Análises de dados

Para modelar a riqueza (variável resposta) em função de variáveis de instabilidade histórica, solo, e desenvolvimento linear amostrado da caverna utilizamos modelos lineares generalizados (GLM). As variáveis preditoras foram padronizadas por meio da função “DECOSTAND” do pacote VEGAN. A multicolinearidade foi testada com a função “VIFSTEP” do pacote USDM excluindo variáveis com  $VIF > 10$ . A autocorrelação espacial da riqueza foi testada a partir de um correlograma espacial com  $I$  de Moran, utilizando distância par-a-par geodésica entre os pontos amostrais com a função RDIST.EARTH do pacote FIELDS.

Como os dados exibiam inflação de zeros, utilizamos um modelo Zero-inflated Negative Binomial. Este modelo divide os dados em duas partes: contagem e incidência. Utilizamos uma distribuição *binomial negativa* para modelar a parte de contagem e uma distribuição binomial para os dados de presença e ausência. Este modelo foi o que melhor se ajustou aos dados ( $\Delta AICc = 0$ ; Akaike weight = 0.90). O modelo foi diagnosticado por inspeção visual dos resíduos. As análises foram feitas com a função “ZEROINFL” do pacote PSCL. Todas as análises foram realizadas no programa R.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não detectamos autocorrelação espacial na riqueza de Carabidae em cavernas. Nenhuma das variáveis analisadas teve relação significativa com a presença ou ausência de besouros (dados de incidência). Por outro lado, o desenvolvimento linear amostrado das cavernas influenciou significativamente e positivamente a riqueza (Figura 2, beta padronizado =  $0,33 \pm 0,11$ ,  $P = 0,01$ ; pseudo  $R^2$  de Nagelkerke = 0.14).



**Figura 2:** Relação entre riqueza de Carabidae e desenvolvimento linear (metros) amostrado predita pelo

modelo linear generalizado com binomial negativa ajustado para zero inflado.

Embora estudos tenham encontrado uma relação entre a distribuição atual das espécies cavernícolas obrigatórias e eventos climáticos passados em regiões temperadas (CULVER & PIPAN, 2010); ZAGMAJSTER et al., 2014; MOMMOLA & LEROY, 2017), o clima não parece afetar a riqueza de besouros Carabidae na região tropical. Estudos fisiológicos demonstram certa tolerância de alguns gêneros de organismos pertencentes à ordem coleóptera à mudanças climáticas (BRANDMAYR et al., 2013; RIZZO et al., 2015). Além disso o fato da família Carabidae ser composta majoritariamente por organismos predadores e dos organismos em estudo compreenderem em sua maioria troglóbios, faz com que os mesmos possuam maior capacidade de dispersão. Tais características do grupo em estudo podem ter promovido o comportamento de migração das espécies em épocas de condições climáticas mais adversas, não necessariamente confinando-as no ambiente subterrâneo. Stoch & Gaalassi (2010) sugerem que tais padrões são melhor evidenciados em escalas maiores, o uso de uma região limitada ao estado Minas Gerais, pode ter dificultado a detecção dos padrões como esperado inicialmente. O uso de escalas maiores, que abrangessem uma maior variação latitudinal entre as áreas amostrais, e que permitissem ainda a restrição das análises aos Carabidae troglóbios, seria mais apropriado ao teste da hipótese relacionada ao clima do passado.

Por outro lado, o desenvolvimento linear da caverna, que reflete a sua área, parece influenciar positivamente a riqueza. Diversos estudos já constataram tal relação para comunidades de invertebrados cavernícolas (Culver et al., 1973; Ferreira, 2004; Souza-Silva et al., 2011; Batucan et al., 2013; Simões et al., 2015; Ferreira & Pellegrini, 2019). Confirmando uns dos padrões bem conhecidos em Ecologia: espécie-área (May et al., 1995; Cencini et al., 2012). Áreas maiores tendem a oferecer maior disponibilidade e heterogeneidade de habitat (CHRISTMAN & CULVER, 2001; EME et al., 2014; PELLEGRINI et al., 2016), além de recursos alimentares e abrigos aos invertebrados.

### 4. CONCLUSÕES

O desenvolvimento linear das cavernas foi a variável que mais explicou a riqueza de Carabidae ao invés dos eventos climáticos passados. Dessa forma, parece que a riqueza de espécies está sendo influenciada somente pela área amostrada. No

entanto, estudos que abrangem uma maior escala espacial e que sejam restritos à organismos troglóbios são necessários no estabelecimento de padrões de diversidade em cavernas em regiões tropicais. Estudos que investigam os efeitos de mudanças climáticas sobre a diversidade de espécies são especialmente importantes para se prever os impactos do aquecimento dos ecossistemas da Terra.

## 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à toda a equipe que compõe o Centro de Estudos em Biologia Subterrânea que auxiliou nas campanhas de campo, também ao professor Paulo Pompeu pelas sugestões nas análises estatísticas e aos revisores anônimos pelas considerações enriquecedoras.

## REFERÊNCIAS

- BARR JR, T. C. Observations on the ecology of caves. **The American Naturalist**, 101.922: 475-491, 1967.
- BATUCAN, J.R.L.S. & NUÑEZA, O.M. Ant species richness in caves of Siargao Island protected landscape and seascape, Philippines. **ELBA Bioflux**, 5, 83–92, 2013.
- BRANDMAYR, P., GIORGI, F. & CASALE, A. Hypogean carabid beetles as indicators of global warming? **Environmental Research Letters**, 8(4):044047, 2013.
- CARNAVAL, A. C., MORITZ, C. Historical climate modelling predicts patterns of current biodiversity in the Brazilian Atlantic forest. **Journal of Biogeography**, 35.7: 1187-1201, 2008.
- CHRISTMAN, M. C., & CULVER, D. C. The relationship between cave biodiversity and available habitat. **Journal of Biogeography**, 28(3), 367-380, 2001.
- CULVER, D., HOLSINGER, J.R., & BAROODY, R. Toward a predictive cave biogeography: the Greenbrier Valley as a case study. **Evolution**, 689-695, 1973.
- CULVER, D. C. & PIPAN, T. Climate, abiotic factors, and the evolution of subterranean life. – **Acta Carsol.** 39: 39–577, 2010.
- EME, D., ZAGMAJSTER, M., FISER, C., GLASSI, D., MARMONIER, P., STOCH, F., CORNU, J.F., OBERDORFF, T., & MALARD, F. Multi-causality and spatial non-stationarity in the determinants of groundwater crustacean diversity in Europe. **Ecography** 37: 001–010, 2014.
- FERREIRA, R. L. **A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos.** [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.
- FERREIRA, R. L., & PELLEGRINI, T.G. Species-area model predicting diversity loss in an artificially flooded cave in Brazil. **International Journal of Speleology**, 48(2), 155-165, 2019.
- HENGL, T., DE JESUS, J. M., MACMILLAN, R. A., BATJES, N. H., HEUVELINK, G. B., RIBEIRO, E., ...& GONZALEZ, M. R. SoilGrids1km—global soil information based on automated mapping. **PloS one**. 9(8), e105992, 2014.
- HIJMANS, R. J., CAMERON, S. E., PARRA, J. L., JONES, P. G., & JARVIS, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International journal of climatology**, 25(15), 1965-1978, 2005.
- MAMMOLA, S., & LEROY, B. Applying species distribution models to caves and other subterranean habitats. **Ecography**, 41(7), 1194-1208, 2017.

- PELLEGRINI, T., SALES, L. P., AGUIAR, P., & FERREIRA, R. L. Linking spatial scale dependence of land-use descriptors and invertebrate cave community composition. **Subterranean Biology**, 18, 17, 2016.
- POULSON, T. L., & CULVER, D. C. Diversity in terrestrial cave communities. **Ecology**, 50(1), 153-158, 1969.
- RIZZO, V., SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, D. & FRESNEDA, J. Lack of evolutionary adjustment to ambient temperature in highly specialized cave beetles. **BMC Evolutionary Biology**, 15(1): 10, 2015.
- SIMÕES, M.H., SOUZA-SILVA, M., & FERREIRA, R.L. Cave physical attributes influencing the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics. **Subterranean Biology**, 16, 103, 2015.
- SOUZA-SILVA, M., MARTINS, R.P., & FERREIRA, R.L. Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. **Biodiversity and Conservation**, 20(8), 1713-1729, 2011.
- STOCH, F. & GALASSI, D.M. Stygobiotic crustacean species richness: a question of numbers, a matter of scale, **Hydrobiologia** 653: 217–234, 2010.
- ZAGMAJSTER, M., EME, D., FIŠER, C., GALASSI, D., MARMONIER, P., STOCH, F., CORNU, J.F. & MALARD, F. 2014. Geographic variation in range size and beta diversity of groundwater crustaceans: insights from habitats with low thermal seasonality. **Global Ecol. Biogeogr.** 23: 1135–1145.