



ANAIS do 34º Congresso Brasileiro de Espeleologia

Ouro Preto SP, 13-18 de junho de 2017 - ISSN 2178-2113 (online)



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 34º Congresso Brasileiro de Espeleologia disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br/34cbeanais.asp

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

LAUREANO, F. V; KARMANN, I.; GRANGER, D.. Idades de soterramento por isótopos cosmogênicos em sedimentos de caverna e sua contribuição na cronologia da evolução do relevo e das cavernas da região de Iraquara. In: RASTEIRO, M.A.; TEIXEIRA-SILVA, C.M.; LACERDA, S.G. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 34, 2017. Ouro Preto. *Anais...* Campinas: SBE, 2017. p.401-407. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe_401-407.pdf>. Acesso em: *data do acesso*.

A publicação dos Anais do 34º CBE contou com o apoio do Instituto Brasileiro de Mineração. Acompanhe a cooperação SBE-IBRAM em www.cavernas.org.br/sbe-ibram

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.
Consulte outras obras disponíveis em www.cavernas.org.br



IBRAM 40 anos
INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO
Brazilian Mining Association
Câmara Mineira de Brasil

IDADES DE SOTERRAMENTO POR ISÓTOPOS COSMOGÊNICOS EM SEDIMENTOS DE CAVERNA E SUA CONTRIBUIÇÃO NA CRONOLOGIA DA EVOLUÇÃO DO RELEVO E DAS CAVERNAS DA REGIÃO DE IRAQUARA

COSMOGENIC NUCLIDE BURIAL AGES FROM CAVE SEDIMENTS AND THEIR CONTRIBUTION TO THE CHRONOLOGY OF THE RELIEF AND CAVES EVOLUTION IN IRAQUARA REGION

Fernando Verassani LAUREANO (1); Ivo KARMANN (2); Darryl GRANGER (3)

(1) Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte MG.

(2) Universidade de São Paulo, São Paulo SP.

(3) Purdue University, EUA.

Contatos: fernandolaureano@pucminas.br; ikarmann@usp.br; dgranger@purdue.edu.

Resumo

Idades de soterramento de grãos de quartzo pelos isótopos cosmogênicos ^{26}Al e ^{10}Be foram obtidas em depósitos sedimentares que assorearam os sistemas de cavernas associados aos vales cegos dos riachos das Almas e Água de Rega, região de Iraquara (BA). Durante os dois últimos milhões de anos, a drenagem superficial e os sistemas de cavernas estavam plenamente articulados na condução de água e sedimentos com rotas de fluxo subterrâneas. A sucessiva migração do canal no interior das cavernas gerou o padrão distributário observado na Lapa Doce e na Gruta da Torrinha. As idades de soterramento de grãos de quartzo destes sedimentos apontam para um período de assoreamento fluvial compreendido entre $1,91 \pm 0,12$ e $0,36 \pm 0,08$ milhões de anos para o sistema Lapa Doce-Torrinha (riacho Água de Rega) e $1,37 \pm 0,15$ e $0,87 \pm 0,17$ milhões de anos para o sistema Cão-Talhão (riacho das Almas). No topo, os depósitos de água estagnada, preferencialmente compostos por lamas, não possuem estruturas trativas ou de corrente e são associados a uma sedimentação em ambiente freático, para o qual é necessário considerar a subida do nível de base. Gretas de contração, além de relações estratigráficas e erosivas destes depósitos com crostas calcíticas evidenciam que eles não foram depositados em um evento único.

Palavras-Chave: Bahia; sedimentos; cavernas; cosmogênicos; datação de soterramento; quaternário.

Abstract

^{26}Al and ^{10}Be burial ages have been obtained from quartz grains sampled in extensive sedimentary deposits that fill cave systems associated with Das Almas and Agua de Rega creeks blind valleys, Iraquara region, Bahia (Brazil). In the last two million years, surface drainage and cave systems were full connected in terms of water and sediment transport. Successive channel migration led to the distributary pattern observed in the caves Lapa Doce and Gruta da Torrinha. Quartz simple burial ages point to fluvial aggradation between $1,91 \pm 0,12$ and $0,36 \pm 0,08$ My in Lapa Doce-Torrinha cave system (Água de Rega creek) and between $1,37 \pm 0,15$ and $0,87 \pm 0,17$ million years in Cão-Talhão cave system (Das Almas creek). At the top of sedimentary pile slackwater deposits are ordinarily muddy without tractive or current sedimentary structures. They are assigned to be deposited in a phreatic environment which, in turn, necessarily requires the base level to rise longer than seasonal floods. Mud cracks, erosive surfaces and stratigraphic relations to calcite crusts and flowstones prove that they were not deposited in a single event.

Key-words: Bahia, sediments, caves, cosmogenic, burial dating, quaternary.

1. INTRODUÇÃO

Cavernas são feições erosivas e tendem a ser removidas da paisagem no compasso dos processos que governam a evolução do relevo no qual estão inseridas. Mas enquanto estão presentes, elas funcionam como repositório de sedimentos uma vez que lá são mais preservados das intempéries e dos

efeitos da bioturbação. Sedimentos detríticos depositados em cavernas são arquivos da evolução do modelado (Antony e Granger, 2007; Lisker *et al.*, 2010; Wagner *et al.*, 2011) e de mudanças ambientais e climáticas (Moeyersons, 1997; Panno *et al.*, 2004; Ellwood e Gose, 2006), são portadores de importantes registros paleontológicos (Moriarty *et al.*, 2000; Auler *et al.*, 2006; Cartelle Guerra,

2012) e arqueológicos (Piló *et al.*, 2005; Dirks *et al.*, 2010; Carbonell *et al.*, 2008;). Além disto, tem um papel relevante quando se precisa compreender a migração de contaminantes no aquífero cárstico (Mahler *et al.*, 2007, Herman *et al.*, 2012).

Grandes sistemas de caverna existentes na região de Iraquara na Chapada Diamantina (Figura 1) guardam expressivos depósitos sedimentares, sugerindo uma longa história de preenchimento de seus condutos. Ferrari (1990), Cruz Jr. (1998), Laureano (1998) e Auler (1999) desenvolveram investigações geoespeleológicas na região e propuseram distintos modelos para a evolução dos condutos. Mas uma vez que estes estudos não possuem uma amarração geocronológica confiável e de longo alcance, suas conclusões acabam por constituir hipóteses a serem testadas. O presente trabalho apresenta idades de soterramento utilizando isótopos cosmogênicos para o registro sedimentar associado aos sistemas de cavernas da região de Iraquara e tem como objetivo contribuir com a cronologia de processos geomorfológicos no interior do Brasil.

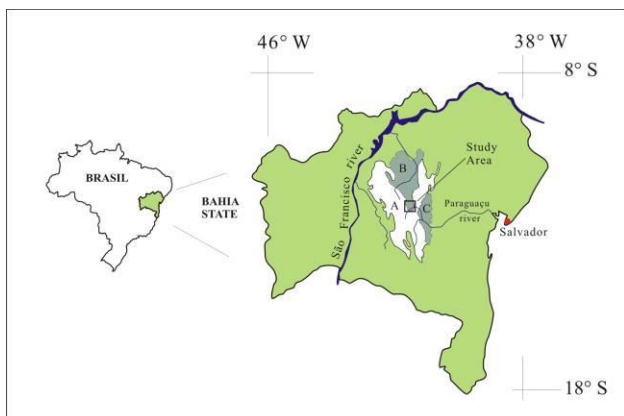


Figura 1: Localização da área de estudo: A-Chapada Diamantina; B-Bacia de Irecê; C-Bacia Una Utinga.

2. METODOLOGIA

Em campo foram coletados aproximadamente 1kg de areia ou 50 seixos para composição de cada amostra. Elas foram armazenadas em sacos plásticos e rotuladas para posterior envio ao laboratório. Um total de 26 (vinte e seis) amostras tiveram suas razões isotópicas $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ e $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ medidas (Quadro 1). Todas as amostras foram processadas no PRIME LAB, localizado no Departamento de Física da Universidade de Purdue, estado de Indiana, Estados Unidos. Seguiram, pois, os procedimentos já convencionados para extração e quantificação isotópica de alumínio e berílio

naquele laboratório. Grânulo e seixos foram inicialmente britados e moídos. Todas as amostras foram peneiradas para seleção da fração 0,5 a 0,25mm. Aproximadamente 300g desse peneirado seguiu para os passos subsequentes, o restante da amostra foi reservado.

Após a seleção granulométrica, as amostras passaram por um conjunto de procedimentos designados de separação física que é constituído de uma série de enxagues de ácidos em concentrações distintas, separação de minerais magnéticos e separação gravimétrica. O objetivo é separar o quartzo de outros minerais, concentrá-lo e limpar eventuais contaminações de ^{10}Be meteórico na superfície dos grãos. No final desta etapa uma alíquota é enviada ao ICP – Plasma para teste da concentração de alumínio que, espera-se, esteja abaixo de 100ppm. Caso esta condição não seja alcançada a amostra volta para novas tentativas de purificação. É relevante mencionar que as concentrações medidas nas amostras deste projeto raramente atingiram esta meta, apresentando regularmente valores da ordem de 200ppm. Este fato parece estar vinculado à presença de um mineral de coloração avermelhada que se encontra intercrescido ou incorporado aos grãos de quartzo. Desta forma, os ataques ácidos à superfície dos grãos não surtiram o efeito esperado e as concentrações encontradas tiveram que ser respeitadas e incorporadas aos cálculos.

Antes de serem dissolvidas, as amostras foram acrescidas de aproximadamente 0,25 gramas de uma solução de concentração conhecida de berílio (Spike Be 2010.10.14#14; $[\text{Be}] = 1069 \pm 8 \mu\text{g/g}$). Como o alumínio está presente no quartzo a concentração total desse elemento foi mensurada por ICP-OES, sendo a alíquota de cada amostra retirada após a dissolução da amostra.

O quartzo é dissolvido em ácido fluorídrico e a solução remanescente é conduzida a diversas reações químicas para retirada de componentes até a separação dos elementos de interesse em colunas de troca aniônica e catiônica (Anexo 2). Para cada conjunto de sete amostras uma amostra de branco é introduzida para controle de erros e eventuais perdas ao longo do processo de extração. Os óxidos de berílio e alumínio obtidos são respectivamente adicionados a nióbio e prata antes de serem introduzidos aos catodos que, finalmente, são levados ao espectrômetro de aceleração de massa. Para a quantificação das razões isotópicas foram utilizados os padrões de calibração de Nishiizumi *et al.* (2007) para o ^{10}Be e Nishiizumi (2004) para o ^{26}Al .

Como os resultados do espectrômetro são restritos às razões isotópicas $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ e $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ e seus respectivos erros analíticos (Anexo 3 – Resultados AMS), o primeiro passo em direção ao cálculo das idades é resolver a razão $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$, para qual é necessário processar as razões medidas, a massa da amostra, a massa e a concentração do *spike*, e as concentrações de Al medidas no ICP-OES. As concentrações de Al e Be passam ainda por uma correção pelos ganhos ou perdas medidas nas amostras de branco e, no caso do alumínio, pelos padrões analíticos do ICP. A Tabela 4.1 apresenta os valores obtidos no cálculo da razão $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ bem como na propagação dos erros.

A taxa local de produção de ^{10}Be de 5,6 átomos por grama de quartzo por ano, utilizada no cálculo das idades, foi obtida através do software CHRONUS Calculator, disponível online, que incorpora os fatores de escala recomendados por Balco et al. (2008). Os valores de entrada foram as coordenadas locais e o valor de 900m para altitude

local, que corresponde à média altimétrica das bacias de captação dos vales cegos dos riachos das Almas e Água de Rega. A taxa de produção de ^{26}Al de 38,08 átomos por grama de quartzo por ano foi obtida a partir da multiplicação do fator 6,8 pela taxa de produção obtida para o berílio. Como a coluna de rocha sobre as cavernas é da ordem de 50m, a produção muônica pós-soterramento foi desconsiderada para fins de cálculo das idades e das taxas de erosão.

A propagação dos erros para as idades e as taxas de erosão foi feita numericamente, computando-se as variações obtidas em ambas a partir da incorporação dos erros da razão $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$. Os valores de meia-vida utilizados foram os de $1,387 \pm 0,012$ milhões de anos para o ^{10}Be (Chmeleff et al., 2010) e de $7,17 \pm 0,17 \times 10^5$ anos para o ^{26}Al (Granger, 2006). A Tabela 4.3 apresenta em resumo, os valores calculados para a razão inicial, as idades de soterramento, as taxas de erosão pré-soterramento e os erros analíticos propagados.

Quadro 1: Localização e descrição das amostras datadas. *Panel 4.2: Samples description and location.*

Counter	Sample ID	Cave / stream	Site	Description
1	LS 1	Lapa Doce	Lapa do Sol	Basal sand
2	LD 2	Lapa Doce	Lapa Dois - base	Basal sand
3	LD 3	Lapa Doce	Lapa Dois topo	Upper sand
4	SA 4P	Lapa Doce	Sifão de Areia	Basal gravel
5	SA 4S	Lapa Doce	Sifão de Areia	Basal gravel (sand matrix)
6	SA 6	Lapa Doce	Sifão de Areia	Intermediate sand
7	SA 7	Lapa Doce	Sifão de Areia	Upper sand
8	CB 8	Água de Rega	Canabrava	Sand in channel bank
9	SI 9	Torrinha	Pedra Furada	Upper sand
10	SI 10A	Torrinha	Pedra Furada	Basal sand
11	CI 11	Torrinha	Conduto Interseção	Intermediate sand
12	SV 12	Torrinha	Salão do Vale	Lower sand
13	SV13	Torrinha	Salão do Vale	Intermediate sand
14	SV 14	Torrinha	Salão do Vale	Intermediate sand
15	SV 15	Torrinha	Salão do Vale	Upper sand
16	AR 16	Água de Rega	Sonhém	Modern sand
17	AR 17	Água de Rega	Pedra Furada	Modern sand
18	AR 18	Água de Rega	Well Nalvim	Intermediate sand
19	AR 19	Água de Rega	Well Nalvim	Basal gravel
20	TA 20	Talhão	Close to trench	Intermediate gravel
21	TA26	Talhão	Trench	Basal gravel
22	TA 27	Talhão	Trench	Basal sand
23	DI29	Lapa do Diva	Main galery	Red basal sand
24	DI30	Lapa do Diva	Bifurcation room	Upper sand
25	ST 31	Gruta da Santa	Pump	Rippled sand
26	NV 32	Gruta Nova	Main gallery	Sand below calcite crust

3. RESULTADOS OBTIDOS

As idades de soterramento obtidas distribuem-se entre os valores de $1,91 \pm 0,12$ milhões de anos (AR19) e $0,20 \pm 0,09$ milhões de anos (AR17) (Figura 2), possuindo boa coerência no contexto estratigráfico dos depósitos e da evolução dos condutos. Já em relação às taxas de erosão pré-soterramento nota-se uma concentração dos valores obtidos entre 1 e 3 m/Ma. Estes valores guardam uma boa sintonia com o esperado para erosão de quartzitos em um domínio cratônico e possuem ainda forte similaridade com as taxas de erosão medidas por Barreto *et al.* (2013) através do cosmogênico ^{10}Be , na Serra do Espinhaço Meridional em Minas Gerais, cujos valores são sempre inferiores a 5m/Ma. Duas amostras coletadas na Gruta do Talhão forneceram valores que destoam um pouco desta recorrência (TA26 - $6,72 \pm 0,52$ e TA20 - $14,92 \pm 1,26$ m/Ma) e, provavelmente, representam algo mais diretamente relacionado à erosão da cobertura terciária, que predomina na área de captação deste sistema de cavernas em relação às demais unidades litoestratigráficas presentes

Idades de soterramento registram a entrada de clastos para o interior do sistema de condutos, onde enfim ficam protegidos da produção de novos nuclídeos e o conteúdo desses átomos ao longo do tempo é predominantemente regido por seu decaimento. É importante lembrar-se deste fato e

não confundi-la com uma idade de deposição. Sedimentos detríticos em um sistema de cavernas estão sujeitos ao retrabalhamento em inundações ordinárias e extremas (Toran *et al.*, 2006; Herman *et al.*, 2012) e ainda há que se considerar a possibilidade de aporte de detritos provenientes de níveis superiores de condutos (mais antigos), os quais, provavelmente, já foram soterrados há muito mais tempo (Ford e Williams, 2007).

4. DISCUSSÃO

O conjunto de dados conduz à interpretação de que, durante praticamente todo o Pleistoceno, os sistemas de cavernas estudados estavam plenamente articulados aos cursos fluviais dos riachos das Almas e Água de Rega, no que diz respeito à condução de água e sedimentos. Juntos, riachos e sistemas de cavernas, registram um evento de agradação e posterior incisão de seus depósitos aluvionares, sob a vigência de taxas de desnudação da ordem de 2m/Ma. Durante o processo de agradação o preenchimento sedimentar contribuiu com a ampliação dos sistemas de condutos e acabou por introduzir novas componentes no quadro morfológico dos condutos, quer em planta, como na configuração distributária do sistema Lapa Doce-Torrinha, quer em seção, como na sobreposição de feições paragenéticas observadas em praticamente todas as galerias.

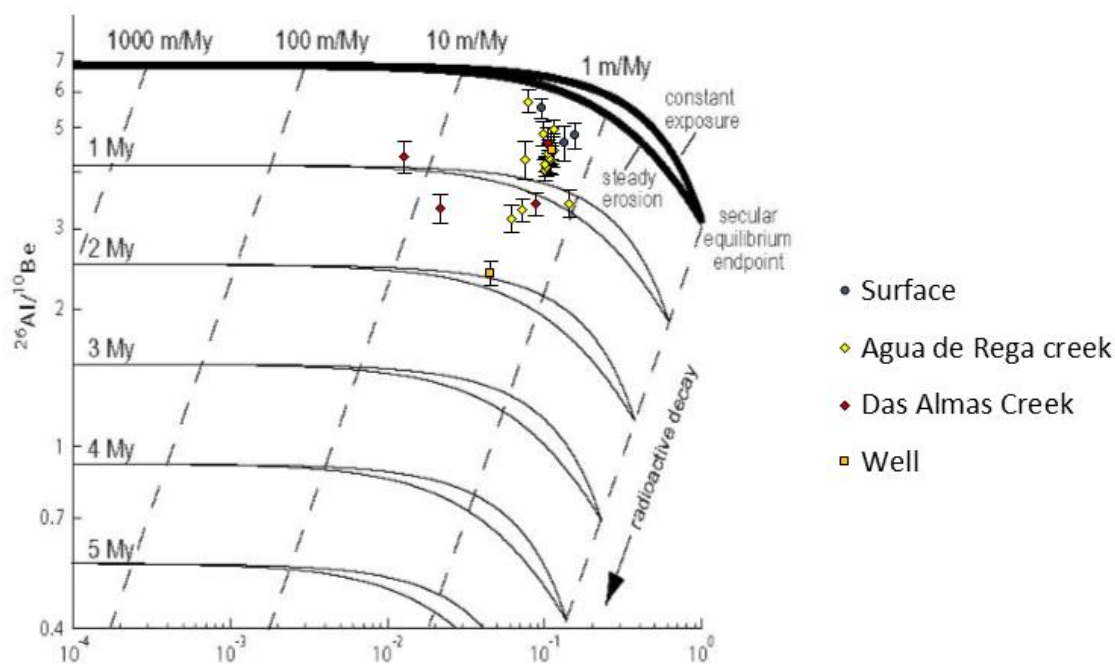


Figura 2: Diagrama exposição-soterramento com os resultados obtidos nas amostras coletadas em superfície, nos sistemas de cavernas alimentados pelos riachos das Almas e Água de Rega e em uma cisterna não revestida, escavada no aluvião deste último curso d'água.

As idades de soterramento permitem a composição de um quadro evolutivo mais refinado para o Pleistoceno. Ele tem início no Pleistoceno Inferior com a deposição fluvial tanto nos condutos tronco do sistema Lapa Doce, quanto no conduto principal do sistema Cão-Talhão. No sistema Lapa Doce, o registro sedimentar é representado por testemunhos descontínuos, preservados apesar da ação erosiva de afluxos posteriores, mais recentes. De forma diferente, o registro sedimentar do sistema Cão-Talhão aponta para um rápido processo de agradaciação ocorrido ainda no Pleistoceno Inferior, que parece conduzir ao completo assoreamento da galeria principal.

Durante o Pleistoceno Médio o processo de aluvionação dos condutos parece se intensificar no sistema Lapa Doce, o que acaba por promover sua conexão com a gruta da Torrinha e a configuração de um novo sistema, lateralmente mais amplo e efetivamente distributário: o sistema Lapa Doce-Torrinha.

O registro sedimentar do Pleistoceno Tardio é composto por pacotes métricos de lamias, sem a presença de depósitos trativos. Estas lamias apresentam, internamente, sinais de dissecação por exposição subaérea e por vezes, no topo da sequência, podem ser encontradas intercaladas, ou mesmo interdigitadas, com crostas calcílicas, cujas idades U/Th permitem, com boa precisão, assegurar seu balizamento geocronológico (Laureano et al., 2016).

REFERÊNCIAS

- ANTONY, D.M. e GRANGER, D.E. A new chronology for the age of Appalachian erosional surfaces determined by cosmogenic nuclides in cave sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 32, p. 874-877, 2007.
- AULER, A.S. *Karst Evolution and paleoclimate of eastern Brazil*. PhD Thesis. University of Bristol. 268p. 1999.
- AULER, A. S., PILÓ, L.B., SMART P. L., WANG, X., HOFFMANN, D., RICHARDS, D. A., EDWARDS, L. R., NEVES, W. A., CHENG, H. "U-series dating and taphonomy of Quaternary vertebrates from Brazilian caves. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 240, p. 508-522, 2006.
- BALCO G., STONE J.O., LIFTON N.A., DUNAI, T.J. A complete and easily accessible means of calculating surface exposure ages or erosion rates from ¹⁰Be and ²⁶Al measurements. *Quaternary Geochronology*, v.3, p.174-195, 2008.
- BARRETO, H.N., VARAJÃO, C.A.C., BRAUCHER, R., BOURLÈS, D.L., SALGADO, A.A.R., VARAJÃO, A.F.D.C. Denudation rates of the Southern Espinhaço Range, Minas Gerais, Brazil, determined by in situ-produced cosmogenic beryllium-10. *Geomorphology*, v.191, p. 1-13, 2013.

5. CONCLUSÕES

O relevo esculpido na região onde se localizam os sistemas de cavernas estudados é resultado de um longo processo de evolução. Neste contexto, o assoreamento dos condutos corresponde apenas ao mais tardio ciclo de uma história evolutiva que remonta o Paleógeno e envolve outro (s) ciclo (s) pretérito (s) de exposição e soterramento das rochas solúveis.

As taxas de erosão pré-soterramento calculadas agrupam-se, preferencialmente, em valores compreendidos entre 1 e 3 metros por milhão de anos. Duas amostras coletadas no sistema Cão-Talhão apresentaram valores de 6 e 14m/Ma, os quais podem estar associados mais diretamente à erosão das coberturas terciárias, que perfazem a unidade geológica predominante na bacia de captação do riacho das Almas, área fonte desse sistema de cavernas.

O preenchimento sedimentar dos rios e cavernas da região estudada teve início há, pelo menos, 2 milhões de anos e, muito provavelmente, compõe o mais contínuo registro sedimentar datado do Quaternário continental brasileiro. Ao longo dos sistemas de cavernas foram reconhecidos depósitos associados ao ambiente fluvial, que sedimentaram em condutos situados na zona de oscilação do nível d'água, e depósitos associados ao ambiente freático, que sedimentaram em condutos quase ou totalmente inundados.

- CARBONELL, E., BURMÚDEZ DE CASTRO, J. M., PARÉS, J. M., PÉREZ-GONZÁLEZ, A., CUENCA-BESCÓS, G., OLLÉ, A., MOSQUERA, M., HUGUET, R., VAN DER MADE, J., ROSAS, A., SALA, R., VALLVERDÚ, J., GARCÍA, N., GRANGER, D. E., MARTINÓN-TORRES, M., RODRÍGUEZ, X. P., STOCK, G. M., VERGÈS, J. M., ALLUÉ, E., BURJACHS, F., CÁCERES, I., CANALS, A., BENITO, A., DíEZ, C., LOZANO, M., MATEOS, A., NAVAZO, M., RODRÍGUEZ, J., ROSELL, J., AND ARSUAGE, J. L. The first hominin species of Europe. *Nature*, v.452, p.465-470, 2008.
- CARTELLE GUERRA, C., *Das grutas à luz: os mamíferos pleistocênicos de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Bicho do Mato Editora, 2012.
- CHMELEFF, J., von BLANCKENBURG, F., KOSSERT, K., JAKOB, D. Determination of the ¹⁰Be half-life by multicollector ICP-MS and liquid scintillation counting. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, v.268, p.192-199, 2010.
- CRUZ JR, F.W. Caracterização geomorfológica e geoespeleológica da região de Iraquara. *Dissertação de Mestrado*. Universidade de São Paulo. 1998.
- DIRKS, P.H., KIBII, J.M., KUHN, B. F., STEININGER, C., CHURCHILL, S. E., KRAMERS, J. D., PICKERING, R., FARBER, D.L., MÉRIAUX, A.S., HERRIES, A.I.R, KING, G.C.P., BERGER, L. R. Geological setting and age of *Australopithecus sediba* from southern Africa. *Science*, v. 328, p.205-208, 2010.
- ELLWOOD, B. B., & GOSE, W. A. Heinrich H1 and 8200 yr BP climate events recorded in Hall's Cave, Texas. *Geology*, v.34, p.753-756, 2006.
- FERRARI, J.A. Interpretação de feições cársticas na região de Iraquara - Bahia. *Dissertação de Mestrado*. Departamento de Geografia. Universidade Federal da Bahia. 1990.
- FORD, D. e WILLIAMS, P. *Karst hydrogeology and Geomorphology*. Revised edition. Wet Sussex: Wiley, 2007.
- GRANGER, D.E. A review of burial dating methods using ²⁶Al and ¹⁰Be. In: Siame L.L., Bourlés D.L. e Brown E.T. (eds). In situ-produced cosmogenic nuclides and quantification of Geological Processes, *Geological Society of America Special Paper* 415, p.1-16, 2006.
- HERMAN, E. K., TORAN, L., & WHITE, W. B.. Clastic sediment transport and storage in fluviokarst aquifers: an essential component of karst hydrogeology. *Carbonates and evaporites*, v.27, p.211-241, 2012.
- LAUREANO, F.V. O registro sedimentar clástico associado aos sistemas de caverna Lapa Doce e Torrinha, Iraquara, Chapada Diamantina (BA). *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo. 1998.
- Laureano, F. V., Karmann, I., Granger, D. E., Auler, A. S., Almeida, R. P., Cruz, F. W., Novello, V. F. Two million years of river and cave aggradation in NE Brazil: Implications for speleogenesis and landscape evolution. *Geomorphology*, 273, 63-77, 2016.
- LISKER, S., PORAT, R., & FRUMKIN, A.. Late Neogene rift valley fill sediments preserved in caves of the Dead Sea Fault Escarpment (Israel): palaeogeographic and morphotectonic implications. *Sedimentology*, v. 57, p.429-445, 2010.
- MAHLER, B.J.; PERSONNÉ, J-C.; LYNCH, F.L. e METRE, P.C.V. Sediment and sediment-associated contaminant transport through karst. In: SASOWSKY, I.D. AND MYLROIE, J. *Studies of cave sediments – Physical and Chemical records of paleoclimate*. Dordrecht: Springer, 2007. p. 23-46.

- MOEYERSONS, J. Geomorphological processes and their palaeoenvironmental significance at the Shum Laka cave (Bamenda, western Cameroon). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 133(1), p. 103-116, 1997.
- MORIARTY, K.C.; McCULLOCH, M.T.; WELLS, R.T.; McDOWELL, M.C. Mid-Pleistocene cave fills, megafaunal remains and climate change at Naracoorte, South Australia: towards a predictive model using U-Th dating of speleothems. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 159, p. 103-143, 2000.
- NISHIZUMI, K. Preparation of ²⁶Al AMS standards. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, v.223, p. 388-392, 2004.
- NISHIZUMI K., IMAMURA M., CAFFEE M.W., SOUTHON J., FINKEL R., MCANINCH J. Absolute calibration of ¹⁰Be AMS standards. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, v.258, p.403-413, 2007.
- PANNO, S. V., CURRY, B. B., WANG, H., HACKLEY, K. C., LIU, C. L., LUNDSTROM, C., ZHOU, J. Climate change in southern Illinois, USA, based on the age and $\delta^{13}\text{C}$ of organic matter in cave sediments. *Quaternary Research*, v.61, p.301-313, 2004.
- PILÓ, L. B., AULER, A. S., NEVES, W. A., WANG, X., CHENG, H., & EDWARDS, R. L. Geochronology, sediment provenance, and fossil emplacement at Sumidouro Cave, a classic late Pleistocene/early Holocene paleoanthropological site in eastern Brazil. *Geoarchaeology*, v.20, p. 751-764, 2005.
- TORAN, L.; TANCREDI, J.H.; HERMANN, E.K.; WHITE, W.B. Conductivity and sediment variation during storms as evidence of pathways to karst springs. In: HARMON, R.S. e WICKS, C. (Eds). Perspectives on karst geomorphology, hydrology, and geochemistry – a tribute to Derek C. Ford and William B. White. *Geological Society of America Special Paper 404*, 2006. p. 39-50.
- WAGNER, T.; FRITZ, H.; STÜME, K.; NESTROY, O.; RODNIGHT, H. HELLSTROM, J. e BENISCHKE, R. Correlations of cave levels, stream terraces and planation surfaces along the River Mur – timing of landscape evolution along the eastern margin of the Alps. *Geomorphology*, v. 134, p.62-78, 2011.