



ANAIS do 36º Congresso Brasileiro de Espeleologia

Brasília-DF, 20-23 de Abril de 2022



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 36º Congresso Brasileiro de Espeleologia (CBE) disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br.

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

YOSHIZUMI, W. T.; RUDNITZKI, I. D.; SILVA, R. O.. Relações estruturais e morfologia de cavernas: Estudo de caso do Carste Quartzítico da Serra do Espinhaço Meridional In: MOMOLI, R. S.; STUMP, C. F.; VIEIRA, J. D. G.; ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 36, 2022. Brasília. *Anais...* Campinas: SBE, 2022. p.406-414. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais36cbe/36cbe_406-414.pdf>. Acesso em: *data do acesso*.

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

RELAÇÕES ESTRUTURAIS E A MORFOLOGIA DE CAVERNAS: ESTUDO DE CASO DO CARSTE QUARTZÍTICO DA SERRA DO ESPINHAÇO MERIDIONAL

STRUCTURAL RELATIONS AND THE MORPHOLOGY OF CAVES: A CASE STUDY OF THE QUARTZITE KARST OF SERRA DO ESPINHAÇO MERIDIONAL

Wendy Tanikawa YOSHIKAWA (1,2); Isaac Daniel RUDNITZKI (1,2); Rafael Oliveira SILVA (1,2).

(1) Sociedade Excursionista e Espeleológica (SEE);

(2) Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Contatos: wendytanikawa@gmail.com; isaac.rudnitzki@ufop.edu.br; rafael.oliveira@aluno.ufop.edu.br.

Resumo

A baixa solubilidade da sílica implica em baixas taxas de dissolução em maciços quartzíticos, se comparado com litologias carbonáticas. Nesse sentido, é comum que a espeleogênese e a morfologia em cavernas quartzíticas seja bastante influenciada pelas características estruturais da região em que a feição está inserida. O presente estudo foi desenvolvido no carste quartzítico da serra do Espinhaço Meridional, na região do Parque Nacional das Sempre-Vivas (MG), e recorreu a análise combinada de dados de mapas geológicos e de cavidades, e à uma avaliação das atitudes de planos de fraqueza estruturais e deposicionais por meio de gráficos de projeções estereográficas. As análises evidenciaram uma influência direta dos planos estruturais herdados do evento tectônico do Ciclo Brasileiro para a formação das cavidades do PNSV, com a descontinuidade F2 (NW-SE) como principal plano estrutural de controle. Os planos de estratificações cruzadas (F1) constituem uma importante descontinuidade que propicia a instalação de *píppes*, e o truncamento de mais de um plano de descontinuidade amplia a ocorrência dessa estrutura. As cavidades estudadas admitem uma espeleogênese com gatilho químico condicionado pela intersecção espacial de descontinuidades de natureza tectônica e deposicional. Assim, a análise entre a direção dos condutos e as relações estruturais, proposta no presente estudo, se mostra eficiente mesmo ao comparar estruturas endocársticas e exocársticas. Além disso, permite relacionar cada família de descontinuidade com a formação dos grupos de condutos.

Palavras-Chave: Carste; Quartzito; Espeleogênese; Estrutural.

Abstract

*The low solubility of silica entails low dissolution rates if compared to carbonate lithologies. Therefore, it is customary that speleogenesis and the morphology in quartzite caves are deeply influenced by the structural characteristics of the area where the lineament is incorporated. This study occurs in the quartzite karst of the Espinhaço Meridional range, region of the Sempre-Vivas National Park (PNSV) in Minas Gerais state. We use combined analyses of geological and cave maps, as well as the evaluation of structures attitudes in stereographic projections to investigate the influence on the structural framework for the speleogenesis of PNSV caves. Thus, the study highlights the influence of tectonic structures inherited from the Brazilian Cycle, with the F2 discontinuity (NW-SE) as the main structural control plan. The crossed bedding planes (F1) constitute an important discontinuity that allows the installation of *píppes*, which formation is enhanced by the truncation of more than one discontinuity plane. This studied admits a chemical triggering speleogenesis from discontinuities that have tectonic and depositional origin. Hence the analysis between the direction of the conduits and the structural linkage, propounded in this study, proves to be efficient even when comparing endokarstic and exokarstic structures. Furthermore, it allows relating each family of discontinuity with the formation of each group of conduits.*

Keywords: Karst; Quartzite; Speleogenesis; Structural

1. INTRODUÇÃO

A formação do carste quartzítico foi inicialmente compreendida como um fenômeno

singular e de influência local (Wray, 1997), porém dos anos 2000 para cá muito se tem evoluído acerca do conhecimento sobre a espeleogênese nessa litologia. A aplicação do conceito de arenização e

pipping, que se formaria a partir de reações de dissolução intempérica da sílica e posterior remoção mecânica dessas partículas, é amplamente difundida na comunidade científica (Martini, 2000, Piccini & Mecchia, 2009; Sauro, 2014). Devido à baixa solubilidade da sílica, a dissolução ocorre a taxas baixas, se comparado com litologias carbonáticas. Desse modo, é comum que a espeleogênese em cavernas quartzíticas seja bastante influenciada pelas características estruturais da região em que a feição está inserida.

A análise estrutural é uma peça fundamental pois a cinemática, proveniente principalmente de esforços tectônicos, gera pervasivas descontinuidades e estruturas no maciço rochoso, controlando assim o desenvolvimento e a morfologia das cavidades (Kazemi *et al.*, 2009; Pasini, 2012). Dessa maneira, a água meteórica e/ou águas hipogênicas utilizam desses espaços na rocha para percolar e iniciar o processo de espeleogênese (Klimchouk, 2015).

Em função desse forte controle exercido pelas estruturas, foram desenvolvidas metodologias de tratamento de dados estruturais com o intuito de contribuir para a evolução do conhecimento do carste quartzítico (ex: Pasini, 2012; Tisato *et al.*, 2012). Dessa forma, se destaca Ballesteros *et al.* (2014), que propuseram o método *Speleodisc*, aplicado ao carste carbonático na região de Picos de Europa, na Espanha. A análise estrutural recorre à combinação de mapas geológicos e de cavidades, e à uma avaliação das atitudes das estruturas em diagramas de roseta e projeções estereográficas (Jameson, 2006; Hung *et al.*, 2007; Ruggieri & Biswas, 2011; Sauro, 2014). Em escala mesoscópica, são observadas as relações descontinuidades/conduto e os possíveis fractais de estruturas regionais (Verbovšek, 2007; Plan *et al.*, 2009). Junto a esse processo, também se discute a influência do arcabouço rochoso (Aubrecht *et al.*, 2011; Filipponi *et al.*, 2009; Sauro, 2014) além das características físico-químicas da água (Piccini & Mecchia, 2009; Mecchia *et al.*, 2014) como gatilhos para a espeleogênese.

O presente estudo se baseia no método *Speleodisc*, à fim de verificar a aplicabilidade desse tipo de análise para o carste quartzítico da serra do Espinhaço Meridional, na região do Parque Nacional das Sempre-Vivas (MG).

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo se situa na Faixa Araçuaí, estrutura soerguida durante a Orogenia Brasileira durante o Neoproterozóico (Alkmin *et al.* 2007). Essa estrutura bordejia a porção leste do cráton São

Francisco (CSF) e possui direção N-S, com vergência para oeste. A Serra do Espinhaço forma uma faixa orogênica que se estende por cerca de 1200km com direção N-S, que limita o sudeste do CSF e amalgama-se para nordeste com a Faixa Araçuaí (Chemale Jr. *et al.*, 2013). O PNSV está inserido na serra do Espinhaço Meridional (SdEM), compartimento sul da serra, que abrange desde as proximidades de Belo Horizonte até o município de Olhos D'Água, inteiramente no estado de Minas Gerais (Figura 1). O relevo é formado por cristas, escarpas e vales profundos como resultado da dissecação fluvial, orientada em sua maioria por antigas direções tectônicas (Horn *et al.* 2013).

As rochas que afloram no PNSV pertencem ao Supergrupo Espinhaço, sequência de rochas metassedimentares depositadas no Mesoproterozóico (Chemale Jr. *et al.*, 2013). Cerca de 90% das rochas que afloram nos limites do parque estão inseridas na Formação Galho do Miguel que pertence ao Grupo Diamantina, subdivisão do Supergrupo Espinhaço. Essa formação é constituída por quartzito de granulometria fina e bem selecionada, com estratificações cruzadas de grande porte, caracterizando um paleoambiente eólico formado por grandes campos de dunas/draas (Almeida-Abreu, 1993; Abrantes Jr, 2020).

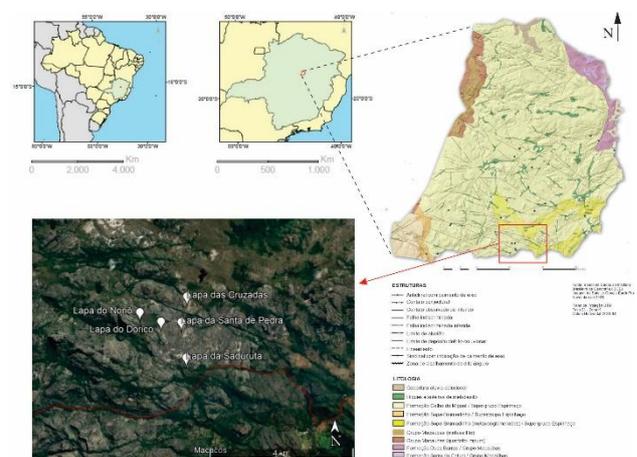


Figura 1: Localização do Parque Nacional das Sempre Vivas (PNSV), no estado de Minas Gerais, Brasil. Detalhe para a distribuição estratigráfica no PNSV e para a localização das cavidades na porção sul do parque (retângulo vermelho).

3. METODOLOGIA

3.1. Topografia das cavidades

Nos limites do parque, foram selecionadas cinco cavidades mais representativas: Lapa das Cruzadas, Lapa do Nonô, Lapa do Dorico, Lapa da Saduruta e Lapa da Santa de Pedra (Tabela 1). Essas cavidades foram topografadas segundo método

proposto por Rubbioli & Moura (2005), que utiliza bases fixas e auxílio do tripé, para atingir a precisão 4C proposta pela British Cave Research Association (BCRA; Day, 2002). Nesta etapa, foram utilizados: bússola Sunton e trena a laser com clinômetro Bosh. Os esboços de vetorização da caverna foram realizados pelo *software* AutoCAD.

Tabela 1 - Identificação, localização e desenvolvimento horizontal das cavidades estudadas.

Cavidade	Coordenadas			DH (m)
	x	y	z	
Lapa da Saduruta	628859	8013003	1236	57,85
Lapa do Dorico	628206	8013998	1268	31,02
Lapa da Santa de Pedra	628766	8013992	1228	18,25
Lapa do Nonô	627617	8014271	1308	179,93
Lapa das Cruzadas	628941	8014707	1283	34,75

3.2. Conversão e análise das visadas topográficas

A análise dos dados consistiu na conversão das visadas topográficas para planos, à fim de analisar o desenvolvimento das cavernas segundo a direção dos condutos. Para isso, adotou-se que a direção da visada topográfica é o próprio azimute e o alfa c , que reflete os desníveis da cavidades e representa o ângulo entre a bússola e o ponto de visada, é convertido para o mergulho do plano. Por exemplo, uma visada com uma atitude de 120° , alfa c de $+18^\circ$ e desenvolvimento horizontal (DH) de 3,2m, foi convertida para um plano 120/18. Portanto, o mergulho do plano é o próprio valor de alfa c , independente de valores positivos ou negativos.

Esses dados convertidos foram inseridos separadamente por cavidade no *software* *OpenStereo*, os valores foram plotados uma vez para cada metro de distância, conforme o exemplo, seria plotado 3 vezes. Essa etapa leva em consideração a distância que o conduto se desenvolve na direção da visada.

3.3. Coleta e análise de dados estruturais do endocarste e do exocarste

Para a análise das relações estruturais da caverna, foram realizadas medidas, com bússola Brunton modelo Dql-8, de falhas, fraturas, linhas e conjuntos de estratificações cruzadas, que foram interpretadas como planos de descontinuidades em que a água pode percolar. Os dados foram coletados, após a correção do norte magnético da bússola em 23 graus (zona 23K S), de acordo com o azimute/direção do mergulho, onde o plano é medido pela linha de inclinação máxima referente à direção (de 0° a 360°) e à inclinação (de 0° a 90°).

A análise estatística foi realizada pelo *software* Dips, onde foi possível identificar as famílias de descontinuidades por meio da análise dos pólos. Esses conjuntos foram representados por meio de seus planos médios em estereogramas com a mesma área (projeção de Schmit).

3.4. Comparação entre as famílias de descontinuidades e os grupos de condutos

Os condutos foram categorizados em seis grupos, segundo sua direção: G1 ($0-60^\circ$), G2 ($61-120^\circ$), G3 ($121-180^\circ$), G4 ($181-240^\circ$), G5 ($241-300^\circ$) e G6 ($301-360^\circ$), esses grupos foram representados no estereograma por pólos.

A análise da influência de cada família de descontinuidade para a formação de cada grupo de condutos ocorre através do cruzamento de dados no estereograma. Os dados das famílias de descontinuidades foram representados por planos e os grupos de condutos, presentes em cada cavidade, foram representados por pólos. Em seguida as figuras finais foram montadas no *software* Corel Draw. Os planos de descontinuidade que cortam um pólo de determinado grupo de condutos definem a influência na sua formação.

4. RESULTADOS

4.1. Mapas topográficos

Os mapas, planta baixa, perfil e corte de cada cavidade foram fundamentais para a compreensão da morfologia das feições. No geral, as cavidades estão inseridas nas bordas dos maciços residuais e localizam-se em baixa encosta, com exceção da Lapa do Nonô (Anexo 1), localizada em média encosta. Essa última também se destaca pelas suas dimensões, medindo 179,93m e, por isso, apresenta uma morfologia mais complexa, que vai desde tetos baixos e condutos mais estreitos, até salões mais amplos. Quanto à morfologia da planta, as cavidades se desenvolvem em um padrão linear ramificado e os perfis apresentam suaves variações de declividade.

4.2. Famílias de descontinuidades x Grupos de condutos

Um total de 158 medições de planos de descontinuidade foram coletadas no exocarste e endocarste da área de estudo. Os dados foram analisados em estereogramas por cavidade e as medidas foram agrupadas de acordo com a proximidade de cada cavidade. Assim, foi possível identificar 7 famílias de descontinuidades (F1, F2, F3, F4, F5, F6 e F7), cujos intervalos estão representados na Tabela 2 e seus respectivos planos

médios, na Figura 2. Os intervalos das famílias foram retirados das médias pelo *software Dips*.

Das sete famílias de descontinuidades, seis delas representam fraturas e uma delas (F1) representa os planos de estratificações cruzadas, estruturas sedimentares que possuem ampla ocorrência na área de estudo, representadas na Formação Galho do Miguel.

Tabela 2 - Range das famílias de descontinuidades.

Famílias de descontinuidades	Trend (°)	Mergulho (°)
F1	274-290	23-34
F2	267-312	67-89
F3	43-76	64-85
F4	160	37-40
F5	156	85
F6	100-112	53-61
F7	205	88

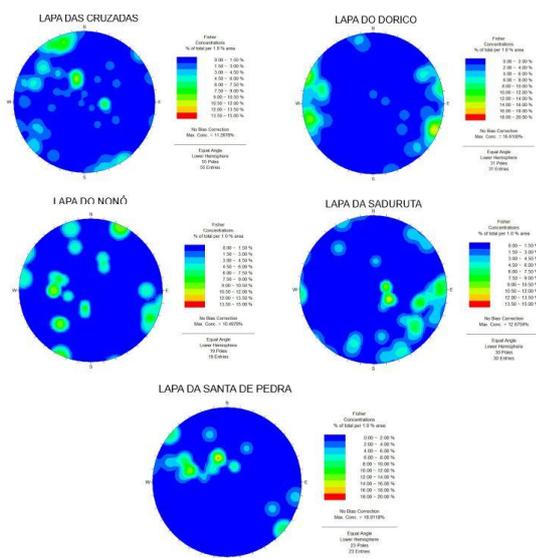


Figura 2 - Ocorrência das famílias de descontinuidades por cavidade.

Para a análise dos grupos de condutos, após inserir os dados no *software OpenStereo*, foi possível classificar a ocorrência dos grupos de condutos em cada cavidade.

O cruzamento entre os dados das famílias de descontinuidades e os grupos de condutos (Figura 3), permitiu visualizar a relação espacial entre estes dois elementos e verificar qual sua influência no desenvolvimento da caverna. Nesse contexto, os grupos G1 e G4 tiveram sua formação influenciada pelas famílias F1, F2 e F6; os grupos G2 e G5 foram condicionados pelas famílias F4, F5 e F6; e os grupos G3 e G6 pelas famílias F3 e F7.

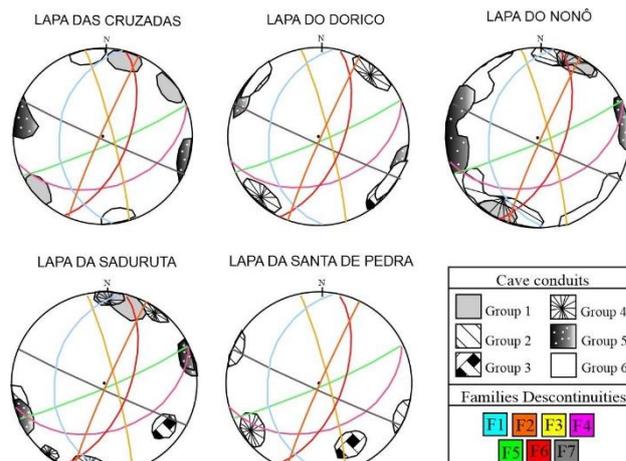


Figura 4 - Comparação da influência das descontinuidades para a formação de cada grupo de conduto.

5. DISCUSSÃO

De acordo com os estereogramas, é possível observar uma clara relação entre as famílias de descontinuidades e os grupos de condutos. Notou-se que os grupos influenciados pelas mesmas famílias de fraturas são opostos entre si no estereograma (G1 e G4; G2 e G5; G3 e G6), e representam a faixa de continuidade dos condutos (Figura 5). O plano F1, de natureza deposicional, se destaca por ser um agente facilitador da percolação da água ao se truncar com os demais planos de descontinuidade estruturais, estas condições permitem a formação dos *pippes* (Figura 6A). Essa mesma característica dos planos de estratificação é ressaltada por Aubreth *et al.* (2018) nos tepuis venezuelanos, onde os autores definem uma zona de maior permeabilidade para o fluido diagenético, nesses planos de estratificações cruzadas, nomeados como “*funnel flow*”. Na interface dessas estruturas sedimentares o fluido se dispersa pela diferença de porosidade e saturação da rocha, e litifica a porção próxima do plano de estratificação, já as porções não litificadas, se tornam mais susceptíveis ao intemperismo.

Os autores observaram a formação de cavernas de menores dimensões nos maciços Chimanta e à nordeste do maciço Akópan, nos tepuis venezuelanos, e relacionam esse menor desenvolvimento à ausência de contrastes granulométricos e a predominância da granulometria fina (Aubreth *et al.*, 2018). Essas características do arcabouço rochoso se assemelham à Formação Galho do Miguel e corroboram para similaridades em relação ao desenvolvimento das cavidades de menores dimensões dessas regiões.

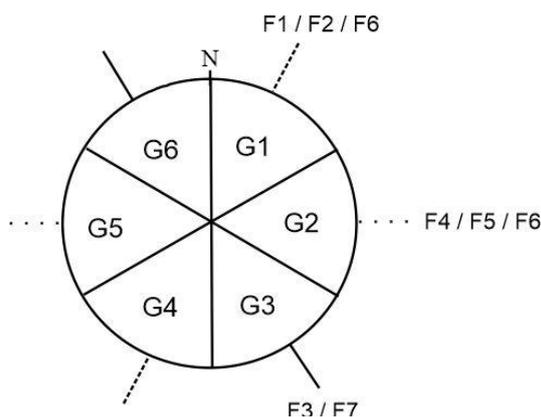


Figura 5 - Relação de continuidade dos grupos dos condutos em relação à influência das famílias de descontinuidades.

O plano estrutural mais representativo na área do PNSV é representado pela fratura F2, pois forma pares conjugados com outras fraturas, dependendo da cavidade analisada. Na Lapa do Dorico, F2 cruza com F3, na Lapa das Cruzadas F2 cruza com F5 (Figura 6B) e no exocarste da Lapa da Saduruta, F2 com F5. A Lapa do Nonô, é influenciada por múltiplas famílias, nas quais se destaca a presença de *pippes* ao longo de F6 (Figura 6C). Na Lapa da Santa de Pedra, F2 se cruza com F4 e F6, formando pares conjugados que facilitam a instalação de *pippes* (Figura 6D).

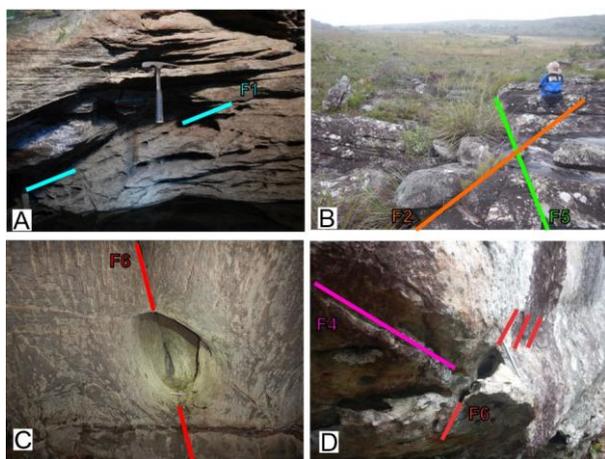


Figura 6 - Aspectos gerais das descontinuidades e *pippes*. A: Formação de *pippes* ao longo da descontinuidade F1 no endocarste da Lapa da Saduruta. B: Par conjugado formado por F2 e F5, no exocarste da Lapa das Cruzadas. C: Plano de descontinuidade F6 alargado por pipping no endocarste da Lapa do Nonô. D: Par conjugado formado por F4 e F6, no exocarste da Lapa da Santa de Pedra.

Sabe-se que esses planos constituem uma importante zona de percolação de água e tem implicações para a morfologia endocárstica. Sauro *et al.* (2014) analisaram a formação dos pilares e

pendentes nos tepuis venezuelanos e associaram suas morfologias com a direção e mergulho das fraturas que atuam na região, e destacam a relação desses planos com a morfologia endocárstica. Os autores ainda adaptam para a litologia quartzítica o conceito de “Horizonte de início” (Inception Horizont Hypotesis), inicialmente aplicado para litologias carbonáticas (Lowe, 1992; Filliponi *et al.*, 2009), que consiste numa camada da rocha mais susceptível à formação de condutos, seja por características físicas, litológicas ou químicas.

Filliponi *et al.* (2009) ainda relatam os condutos formados pela interceptação dos horizontes de início com fraturas, e em alguns casos esse horizonte de início pode ser apenas uma fratura ou uma estrutura sedimentar. Os autores mencionam a classificação desses planos de descontinuidades como: início tectônico (Tectonic inception) e início químico (Chemical inception). O gatilho tectônico é constituído por fraturas de maior espessura que permitem a passagem de um fluxo turbulento (Faulkner, 2006), já o gatilho químico é o processo de dissolução do plano de fratura e o posterior alargamento de sua espessura (Noiriel, 2005).

No PNSV esses horizontes são representados por planos de fraturas e estratificações que, ao se interceptarem, formam os *pippes*. Em certos locais, chegam a formar junções tríplices que facilitam ainda mais a passagem da água. A formação dos *pippes* é uma consequência do processo de arenização proposto por Martini (1979), que consiste no intemperismo químico por meio da reação água-rocha. Devido ao longo tempo necessário para atingir a saturação em quartzitos, a dissolução pode atuar em fissuras extremamente finas. Isso permite que o tempo de reação água-rocha seja maior, embora a dissolução da sílica seja mais lenta devido a sua grande estabilidade, o processo de dissolução torna-se mais eficiente. A água dissolve o cimento do arcabouço rochoso tornando os grãos incoesos e, posteriormente, o próprio fluido retira mecanicamente os grãos e formam-se os *pippes* ou protocondutos. Desse modo, a área de estudo admite um gatilho químico a partir de descontinuidades que possuem origem tectônica.

A descontinuidade F2 predominante no parque, cuja direção é NW-SE, tem relação com as estruturas regionais, que foram edificadas durante o Ciclo Brasileiro e possuem direção principal N-S e NW-SE. Horn *et al.* (2013) também observaram a relação de direção preferencial N-S da formação da gruta do Salitre, localizada na cidade de Diamantina (MG), com as estruturas de deformação regionais. As cavidades do PNSV, assim como a gruta do Salitre, estão localizadas nas bordas dos maciços e

podem ter relação com o alívio de pressão decorrente do acúmulo de esforços na região. A família F7 ocorre de forma mais discreta nos maciços e pode estar relacionada ao alívio da pressão oriundo desses esforços.

Desse modo, o método de análise entre a direção dos condutos e as relações estruturais presentes na região, se mostra eficiente mesmo ao comparar estruturas endocársticas e exocársticas. Além disso, o método permite relacionar a formação de cada grupo de conduto com a família de descontinuidade que promove o gatilho espeleogenético.

6. CONCLUSÕES

- Fica evidente que as estruturas tectônicas herdadas do Ciclo Brasileiro têm influência direta na formação das cavidades do PNSV. O presente estudo evidencia a descontinuidade F2 (NW-SE) como principal gatilho estrutural.
- O modelo espeleogenético de arenização fica evidente na área de estudo, e é representado pela presença de *pippes* ao longo das descontinuidades F1 (deposicional). Desse modo os

planos de estratificações cruzadas constituem uma importante zona de instalação dessa estrutura de carstificação.

- O truncamento de mais de um plano de descontinuidade amplia a ocorrência de *pippes*.
- A área de estudo admite um gatilho químico restrito as zonas de descontinuidades de origem tectônica e deposicional.
- A análise entre a direção dos condutos e as relações estruturais, proposta no presente estudo, se mostra eficiente mesmo ao comparar estruturas endocársticas e exocársticas. Além disso, permite relacionar cada família de descontinuidade com a formação dos grupos de condutos.

7. AGRADECIMENTOS

Expressamos nossos agradecimentos aos membros da SEE pela parceria e apoio durante o estudo. Ao Parque Nacional das Sempre-Vivas, aos espeleólogos e amigos Pedro Henrique Assunção, Mikhaela Alderete e Syro Lacerda pelo apoio durante a etapa de campo e de escritório.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES JR, F., Basilici, G., Soares, M.V.T. Mesoproterozoic erg and sand sheet system: Architecture and controlling factors (Galho do Miguel Formation, SE Brazil). *Precambrian Research*, 338, 105592, 2020.
- ALMEIDA-ABREU, P.A. A evolução geodinâmica da Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil. 150 pp. (Tese Doutorado) - Univ. Freiburg, Alemanha, 1993.
- ALKMIM, F. F.; Pedrosa-Soares, A. C.; Noce, C. M., Cruz, S. C. P. Sobre a evolução tectônica do orógeno Araçuaí ocidental. *Geonomos*, 15(1): 25-43, 2007.
- AUBRECHT, R; Lánzos, T; Schlögl, J; Filipčíková, P. Selective weathering of cross-bedded layers forming shelters and small caves on Akopán Tepui (Venezuela): Field, laboratory and experimental evidence about diagenesis and weathering of the Matauí Formation arenites (Roraima Supergroup, Middle Proterozoic). *Geomorphology*, 325, 55-69, 2018.
- CHEMALE Jr, F., Dussin, I. A. Martins, M. Santos, M. N. Nova abordagem tectono-estratigráfica do Supergupo Espinhaço em sua porção Meridional (MG). *Geonomos*, 19(2), 173-179, 2013.
- BALLESTEROS, D.; Jiménez-Sánchez, M.; García-Sansegundo, J.; Borreguero, M. SpeleoDisc: A 3-D quantitative approach to define the structural control of endokarst: An application to deep cave systems from the Picos de Europa, Spain. *Geomorphology*, 216, 141–156, 2014.
- DAY, A. Cave Surveying. British Cave Research Association, Cave Studies Series, 11, 2002.
- FAULKNER, T., Tectonic inception in caledonide marbles. *Acta Carsologica*, 35, 7–21, 2006.

- FILIPPONI, M., Jeannin, P., Tacher, L. Evidence of inception horizons in karst conduit networks. *Geomorphology* 106, 86–99, 2009.
- HORN, A. H., Bilal, E., Baggio, H., Trindade, W. T., Rodet, A. The salitre cave karst in the quartzite rocks of Diamantina, Minas Gerais, Brazil. *Romanian Journal of Mineral Deposits*, Bucharest: Geological Institute of Romania, 85 (2), 16-22, 2012.
- HUNG, L.Q., Dinh, N.Q., Batelaan, O., Tam, V.T., Lagrou, D.; Remote sensing and GIS based analysis of cave development in the Suoimuoi Catchment (Son La — NW Vietnam). *J. Cave Karst Stud.* 64 (1), 23–33, 2007.
- JAMESON, R.A.; Identification and analyses of early flows paths in branchwork caves in West Virginia, USA. In: Harmon, R.S., Wicks, C.M. (Eds.), *Perspectives on Karst Geomorphology, Hydrology and Geochemistry — A Tribute to Derek C. Ford, William B. White*. Geological Society of America, 23–30 (Special Paper 404), 2006.
- LOWE, D.J. *The Origin of Limestone Caverns: An Inception Horizon Hypothesis*. 512 pp. (Tese Doutorado) - Manchester Metropolitan University, Inglaterra, 1992.
- KAZEMI, R., Porhemmat, J., Kheirkhah, M. Investigations of lineaments related to Ground Water Occurrence in karstic area: a case study in Lar Catchment. *Iran. Res. J. Environ. Sci.* 3 (3), 367–375, 2009.
- KLIMCHOUK, A. The karst paradigm: changes, trends and perspectives. *Acta Carsol.* 44/3, 289-313, 2015.
- MARTINI, J.E.J. Karst in Black Reef Quartzite near Kaapsehoop, Eastern Transvaal. *Ann. South Afr. Geol. Surv.* 13, 115–128, 1979.
- MARTINI, J.E.J. Dissolution of quartz and silicate minerals. In: Klimchouk, A.B., Ford, D.C., Palmer, A.N., Dreybrodt, W. (Eds.), *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society, Huntsville, 452–457, 2000.
- NOIRIEL, C.; Contribution à la détermination expérimentale et à la modélisation des différents processus contrôlant l'évolution géochimique, structurale et hydrodynamique des roches fissures carbonatées. (Tese Doutorado) - École des Mines de Paris, França, 2005.
- PASINI, G. Speleogenesis of the “Buco dei Vinchi” inactive swallowhole (Monte Croara karst sub-area, Bologna, Italy), an outstanding example of antigravitative erosion (or “paragenesis”) in selenitic gypsum. An outline of the “post-antigravitative erosion. *Acta Carsol.* 41, 15–34, 2012.
- PICCINI, L., Mecchia, M. Solution weathering rate and origin of karst landforms and caves in the quartzite of Auyan-tepui (Gran Sabana, Venezuela). *Journal of Hydrology*, 511, 117-138, 2014.
- PLAN, L., Filipponi, M., Behm, M., Seebacher, R., Jeutter, P. Constraints on alpine speleogenesis from cave morphology? A case study from the eastern Totes Gebirge (Northern Calcareous Alps, Austria). *Geomorphology* 106, 118–129, 2009.
- RUBBIOLI, E. L., Moura, V. *Mapeamento de cavernas: guia prático*. São Paulo, Redespeleo Brasil, 92p, 2005.
- RUGGIERI, R., Biswas, J. The Karst Mandhip Khol-python cave complex in the lenticular limestone intercalations of the metamorphic Chhatrela Formation (Chhattisgarh, India). *Acta Carsol.* 40 (1), 7–15, 2011.
- SAURO, F. Structural and lithological guidance on speleogenesis in quartz– sandstone: Evidence of the arenisation process. *Geomorphology* 226, 106–123, 2014.



TISATO, N., Sauro, F., Bernasconi, S.M., Brujin, R.H.C., De Waele, J. Hypogenic contribution to speleogenesis in a predominant epigenic karst system: a case study from the Venetian Alps, Italy. *Geomorphology* 152–153, 156–163, 2012.

VERBOVŠEK, T. Fractal analyses of the distribution of cave lengths in Slovenia. *Acta Carsol.* 36 (3), 369–377, 2007.w

WRAY, R. A. L. The formation and significance of coralline silica speleothems in the Sidney Basin, southeasterh Australia. *Physical Geography*, 8, 1-17, 1997.

ANEXOS

