



35^o
Bonito - MS

ANAIS do 35^o 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^o Congresso Brasileiro de Espeleologia disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br.

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

STUMPF, C.F.; RIBEIRO, T.G.R. Análise estrutural e geomorfológica da Gruta Volks Clube, Brasília – DF (Brasil). In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. *Anais...* Campinas: SBE, 2019. p.1-8. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_001-008.pdf. Acesso em: *data do acesso*.

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

ANÁLISE ESTRUTURAL E GEOMORFOLÓGICA DA GRUTA VOLKS CLUBE, BRASÍLIA – DF (BRASIL)

STRUCTURAL AND GEOMORFOLOGIC ANALYSIS OF VOLKS CLUBE CAVE, BRASÍLIA – DF
(BRAZIL)

Cintia Fernandes STUMPF (1); Tulio Gabriel Ramos RIBEIRO (2)

(1) Espeleogruppo de Brasília (EGB).

(2) Espeleogruppo da Geologia da UnB (Gregeo).

Contatos: cintia_stumpf@yahoo.com.br; tuliogabrielrr@gmail.com.

Resumo

Cavernas não carbonáticas hospedadas em rochas terrígenas compõem 12% das cavidades cadastradas no Brasil. Essas cavernas podem ser desenvolvidas por intemperismo e erosão preferencial ao longo de planos de fraqueza, como fraturas e acamamento sedimentar. Com base nessa premissa, o presente estudo tem como objetivo apresentar o resultado de um levantamento preliminar do contexto estrutural da Gruta Volks Clube, localizada no Distrito Federal (Brasil), e integrar com a geomorfologia da área. Esta gruta é atualmente erodida por curso d'água e está inserida em rochas terrígenas do Grupo Paranoá. A análise estrutural da cavidade mostrou que a entrada principal encontra-se na zona de charneira de dobra. A partir da base topográfica 4, há o padrão preferencialmente homoclinal com caimento para sudeste das camadas de pelitos, representando possivelmente que o desenvolvimento da cavidade saiu da zona de charneira e o conduto único se desenvolveu em direção à um flanco da dobra. Ocorrem também fraturas e veios predominantemente na direção NW-SE, que não parecem ter controlado diretamente o desenvolvimento da cavidade. Cálculos do campo de tensão que gerou essas estruturas indicaram que o σ_1 local era paralelo a direção dos veios (NW-SE) enquanto a direção de menor esforço σ_3 era perpendicular a essa direção (NE-SW). Estrutura de dobramento possivelmente teve importante papel na modificação do curso d'água original e na erosão preferencial da zona de charneira, resultando na captura da drenagem da superfície com a formação da cavidade.

Palavras-Chave: cavernas não-carbonática; pseudocarste; geologia estrutural; grupo Paranoá; DF; Volks Clube.

Abstract

Non-carbonatic caves hosted in terrigenous rocks make up to about 12% of the cavities registered in Brazil. These caves may be developed by weathering and preferential erosion along planes of weakness such as fractures and sedimentary bedding planes. Based on this premise, the present study aims to present the result of a preliminary structural survey of the Volks Clube Cave, located in the Distrito Federal (Brazil), and integrate with the local geomorphology. This cave is currently eroded by a watercourse and is hosted in the Paranoá Group's terrigenous rocks. The structural analysis in the cave showed that the main entrance is located in the hinge zone of a fold. From the topographic base 4 on, there is the preferably homoclinal pattern with southeastern dipping of the pelitic layers. This represent possibly that the single conduit of the cave developed toward one flank of the fold. Fractures and veins also occur predominantly in the NW-SE direction. Calculations of the tension field that generated these structures indicate that σ_1 location was parallel to the direction of the veins (NW-SE) while the direction of weaker stress σ_3 was perpendicular to that direction (NE-SW). Fold structure might have played an important role in the shift of the original water course and in the preferential erosion of the hinge zone, resulting in the drainage capture from the surface within the cave formation.

Keywords: non-carbonatic caves; pseudokarst; structural geology; grupo Paranoá; DF; Volks Clube.

1. INTRODUÇÃO

Diversos estudos e explorações espeleológicas tem sido realizados em diferentes litologias, como cavernas em arenitos (MELO et al.,

2011; STUMPF; MONTANO, 2014), em quartzitos (PICCINI; MECCHIA, 2009; WRAY, 1997), mica-xisto (KARMANN et al., 2001), formações ferríferas (OLIVEIRA, 2011; TIMO; TIMO, 2016), dentre outros. No Brasil, 28,3 % das cavernas

cadastradas se desenvolvem em rochas não carbonáticas, sendo que 12 % estão hospedadas em rochas terrígenas (CNC-SBE, acesso em março 2019).

Palmer (1991) sugere que a dissolução inicial de proto-condutos se desenvolve preferencialmente ao longo de planos de acamamento (57 %) e fraturas (42 %), enquanto que em somente 1 % dos casos a dissolução inicial é controlada pela porosidade primária da rocha. Outros autores (BAUER et al., 2016; BAUER; TOTH, 2015; ENNES-SILVA et al., 2016; KIM; SANDERSON, 2010; WATKINGS., 2015) também enfatizam que mudanças litológicas combinadas a estruturas tectônicas são fortes controladores da migração de fluidos e consequentemente da espeleogênese.

A geologia estrutural tem um papel importante no controle do desenvolvimento do carste (ENNES-SILVA et al., 2016; RIBEIRO et al., 2017; RIBEIRO; SOARES, 2018), principalmente em rochas não carbonáticas (ZATORSKI, 2014). Contudo, poucos levantamentos espeleológicos nacionais trazem informações básicas sobre a geologia estrutural local.

O presente trabalho apresenta uma análise estrutural preliminar da Gruta Volks Clube, localizada em Brasília – DF e desenvolvida em rochas siliciclásticas do Grupo Paranoá.

2. ÁREA DE ESTUDO

A Gruta Volks Clube (DF-07) se localiza dentro do núcleo urbano de Brasília – DF, próximo ao Jardim Botânico (Lat. 15,8S; Long. 47,8W). Devido ao fácil acesso (cerca de 70 m de trilha) e proximidade a diversos condomínios residenciais, a caverna é comumente visitada pela comunidade. A cavidade está inserida na Área de Preservação Ambiental (APA) do São Bartolomeu, criada pelo Decreto nº 88.940 (BRASIL, 1983), e se desenvolve em rochas siliciclásticas do Grupo Paranoá.

No contexto geológico regional, o Grupo Paranoá se insere na zona externa da Faixa de Dobramentos Brasília, e ocupa aproximadamente 65 % do território do Distrito Federal (CAMPOS, 2004). O metamorfismo do Grupo Paranoá na zona externa é de caráter anquimetamórfico a fácies xisto verde baixo (CAMPOS et al., 2013). Litologicamente, este Grupo é composto por metapelitos, metamargas e metaarenitos. Estas rochas estão deformadas, com dobras de variadas dimensões, assimétricas, com vergência para leste (FONSECA et al., 1995).

Dentre as subdivisões do Grupo Paranoá, a caverna Volks Clube está inserida na Formação Córrego do Sansão (nome informal - R4) (Figura 1), com espessura variando de 100 a 150 m. Esta formação é representada pela fácies metarritimito argiloso, composto por intercalações regulares de metassiltitos e metargilitos, com espessuras bastante regulares da ordem de 1 a 3 cm (CAMPOS, 2004). Apesar do predomínio da fração silte – argila, ocorrem também estratos delgados de quartzitos finos rosados a avermelhados. Os arenitos apresentam laminações cruzadas truncadas por onda (*hummocky*), indicando ambiente de sedimentação de plataforma pelítica com ocorrências de tempestades ocasionais (FREITAS-SILVA; CAMPOS, 1999 *apud* MARTINS et al., 2002), caracterizando assim ambiente de planície de maré sob condições de intermaré (CAMPOS et al., 2013).

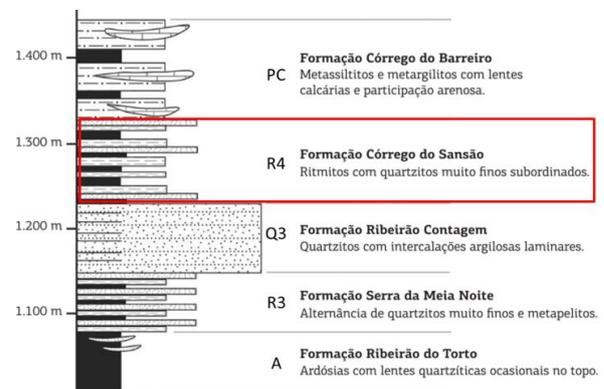


Figura 1: Coluna estratigráfica do topo do Grupo Paranoá na área tipo de Alto Paraíso de Goiás/Distrito Federal. Modificada de CAMPOS et al., (2013). Antigos nomes informais das unidades indicados de acordo com FREITAS-SILVA; CAMPOS, (1999). Destacado em vermelho Formação Córrego do Sansão, unidade de ocorrência da Cavidade Volks Clube.

3. METODOLOGIA

Foram realizadas duas saídas de campo, uma para realizar o levantamento de medidas estruturais (19/01/2019) e a segunda para realização do croqui da cavidade (02/02/2019).

As medidas estruturais foram adquiridas utilizando bússola do tipo *Brunton*. Foram individualizadas as atitudes dos planos de acamamento sedimentar (S_0), planos axiais (PA) e eixos de dobras (B). Todas as medidas foram realizadas utilizando notação *Clar* (sentido do mergulho/ângulo de mergulho para os planos e inclinação/sentido de caimento para as linhas). A análise estrutural foi realizada a partir de projeções estereográficas no hemisfério inferior, produzidas pelo *software StereoNET* versão 9.2.3 (CARDOZO;

ALLMENDINGER, 2013; ALLMENDINGER et al. 2013). Também foi utilizado o *software WinTensor* (DELVAUX; SPERNER, 2003), onde a técnica *Right Dihedron* foi aplicada para o posicionamento dos campos de tensão σ_1 , σ_2 e σ_3 locais.

A topografia da gruta foi realizada durante oficina de croqui, promovido pelo Espelegrupo de Brasília (EGB). Os dados topográficos foram obtidos por sistema digital, utilizando trena Leica DistoX, adaptada com clinômetro e bússola. Tratamento dos dados topográficos foi realizado pelo *software Compass*. Digitalização final do mapa, assim como edição de imagens, foram realizadas no *software Corel Draw*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Devido ao fácil acesso, tamanho reduzido e simplicidade morfológica da cavidade, um novo mapa foi elaborado (Figura 2). A gruta apresenta morfologia linear, desenvolvida em conduto único, escavado pela ação erosiva do curso d'água intermitente. O mesmo encontrava-se com água durante todas as visitas do presente trabalho, que foram realizadas durante a estação chuvosa.

Contudo, no cadastro da cavidade consta ausência de drenagem (SBE, 2019), além de serem reportadas variações no volume de água da cavidade (SILVA, 2007). O desnível da cavidade acompanha o gradiente hidráulico do córrego que esculpe a caverna, que é um afluente do Rio Tabocas.

A cavidade apresenta duas entradas, sendo a entrada principal o sumidouro e a entrada secundária a ressurgência do córrego. Ambas as paredes apresentam declives abruptos em direção à porção central do conduto, e o caminhamento é realizado próximo ao talvegue do curso d'água. Em relação à espeleometria, foi obtido na topografia projeção horizontal de 84 m e 22 m de desnível. Estes valores coincidem com os que constam nos dados de topografia cadastrados no Cadastro Nacional de Cavidades (SBE, 2019), evidenciando a acurácia da topografia.

Foram realizadas 77 medidas estruturais dentro da cavidade, dentre elas, acamamento sedimentar (n=39), fraturas (n=33), planos axiais (n=3) e eixos de dobras (n=2). Medidas principais do acamamento sedimentar (S_0) foram representadas no mapa topográfico da cavidade (simbologia de atitude), ao longo do conduto principal (Figura 2).

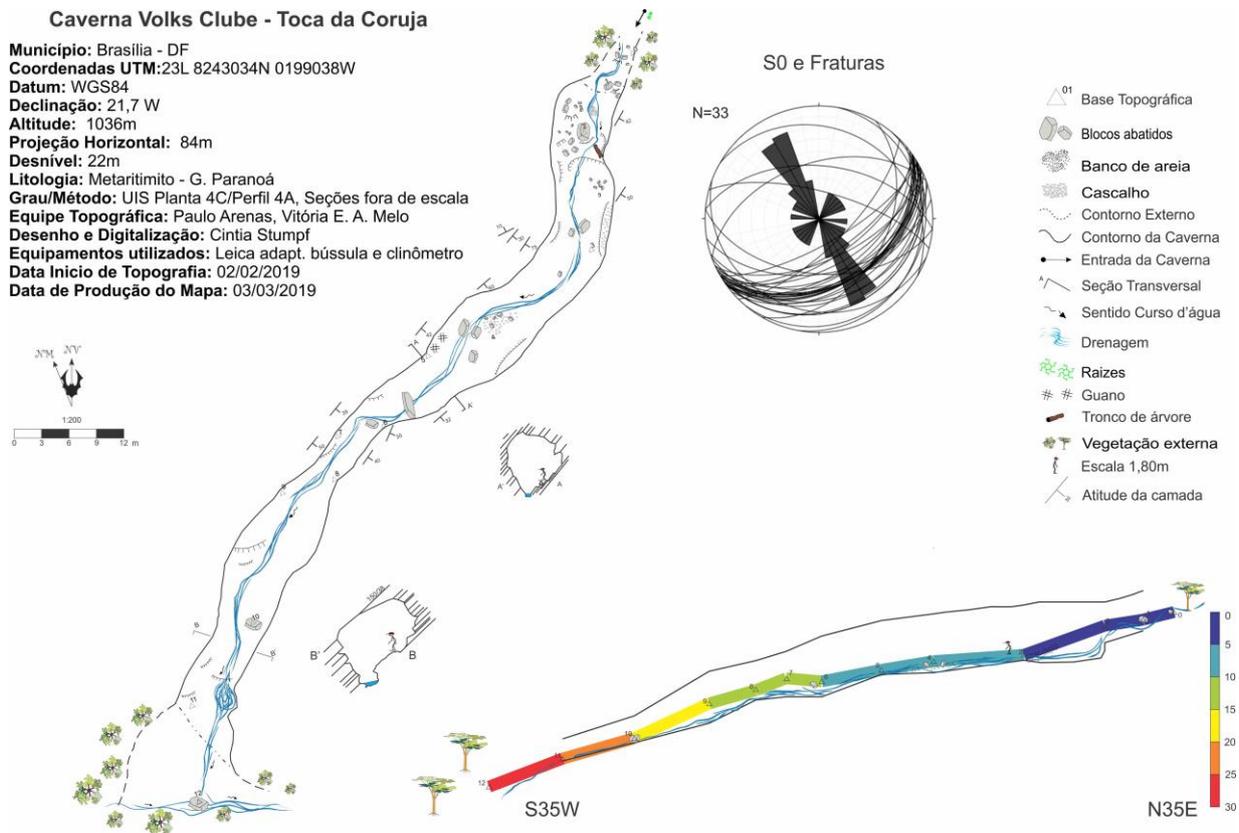


Figura 2: Mapa da cavidade, escala 1:200. Seções transversais desenhadas fora de escala. Perfil longitudinal não foi desenhado em campo, confeccionado apenas com base nas medidas de altura e profundidade na etapa de escritório.

Estereograma de acamamento (S_0) e roseta de fraturas indicam que direção do conduto é sub-paralela a direção principal das camadas e não tem relação direta com direção das fraturas.

Na entrada principal da cavidade, é possível observar uma estrutura dobrada, onde a boca da caverna é controlada pela zona de charneira de dobra. Essa dobra é métrica, com diversas dobras parasíticas centimétricas no flanco NW. Possivelmente a dobra do portal de entrada da cavidade é a continuação de dobra observada no leito do córrego antes da entrada, havendo sido erodido entre elas (Figura 3), ou são dobras da mesma família, pois apresentam atitudes semelhantes.

Os planos axiais das dobras parasíticas são sub-paralelos ao PA da dobra principal, e apresentam mergulhos verticais com direção N60E-S60W

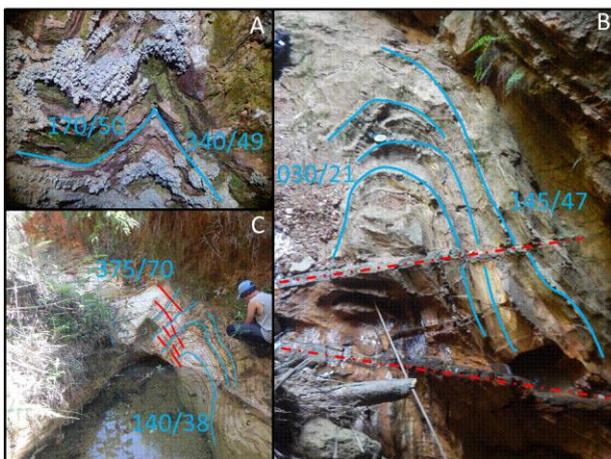


Figura 3: Fotos ilustrando as estruturas observadas na Gruta Volks Clube. A) Dobras *kinks* parasíticas na parede direita próxima a entrada da cavidade. Notar acúmulo de coralóides. B) Dobra cortada por veios de quartzo (Base 1). C) Dobra cortada por veios de quartzo (próximo a Base 0).

A partir da base topográfica quatro (4), o conduto se afasta da zona de charneira e as rochas apresentam a mesma atitude em todo o seu desenvolvimento. A maioria dos planos de S_0 mergulham para SE com caimento médio de 40° (Figura 4).

A família principal de fraturas tem direção preferencial NW-SE, e variam de 90° a 40° de mergulho para NE e SW. Uma segunda família de fraturas tem direção NE-SW com mergulho para NW. Essas últimas são menos frequentes (Figura 4-A, 3). Algumas fraturas se encontram preenchidas, provavelmente por quartzo (Figura 4-B). Estão dispersas por toda a cavidade e aparentemente não possuem papel principal na espeleogênese, pois estão discordantes do desenvolvimento da cavidade. Entretanto, o predomínio de maior densidade de fraturas discordante à direção do conduto pode ser

um resultado enviesado da coleta de dados. Neste caso, fraturas paralelas ao conduto tem menor chance de truncarem a parede da cavidade, e conseqüentemente não são observadas/medidas. Isso é importante principalmente em cavernas de conduto único linear, que não apresentam condutos discordantes permitindo a observação da rocha encaixante em cortes de direções distintas.

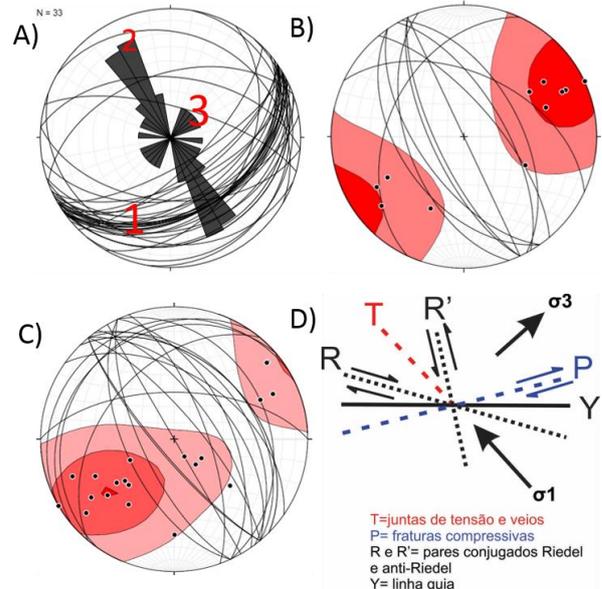


Figura 4: Estereogramas representando as estruturas observadas. A) Planos de acamamento sedimentar (S_0) e diagrama de roseta de fraturas indiferenciadas. B) Planos e respectivos pólos das fraturas preenchidas por veios (juntas de tensão). C) Planos e respectivos pólos das fraturas sem preenchimento (secas), constituindo possivelmente juntas de tensão e fraturas compressivas. D) Modelo de geração dessas estruturas. Adaptado de Petit, (1987).

A direção principal do conduto é aproximadamente N35E-S35W, subparalelo à direção preferencial do acamamento sedimentar ($S_0 = N60E-S60W$). BARROSO; RODRIGUEZ (2017) apresentam informação sobre uma pequena cavidade que ocorre na mesma unidade geológica (Gruta do Sol Nascente), contudo um pouco mais distante, a leste de Brasília. Os autores associam a formação do conduto às direções de fraturas S75W e S70W. Essas direções estão também representadas na Gruta Volks Clube, porém correspondem à família de menor densidade, não representando o padrão principal de fraturamento.

A partir das atitudes (S_0 , veios, planos axiais e fraturas indiferenciadas) foi calculada a direção dos principais tensores de deformação. Os valores obtidos indicam inclinação/sentido de caimento dos vetores $\sigma_1 = 17/331$, $\sigma_2 = 68/190$ e $\sigma_3 = 13/061$ (Figura 5). Os valores obtidos estão de acordo com a

estruturação do Domo de Brasília (D'EL-REY SILVA et al., 2011).

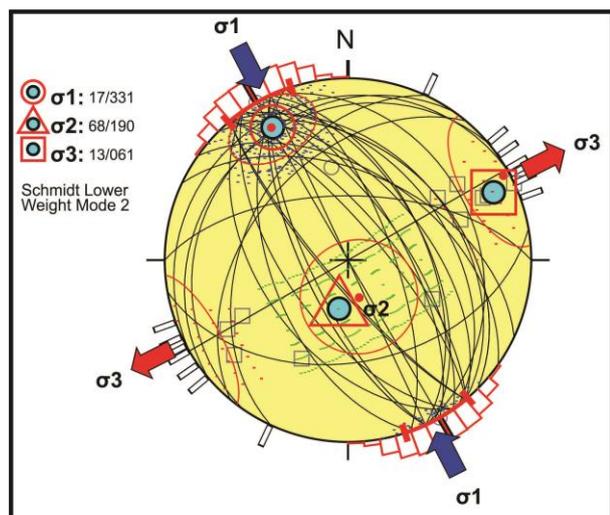


Figura 5: Produto de análise de tensão. Foram inseridas as atitudes de fraturas, veios e PA. Setas azuis = vetor σ_1 , valor médio representado por (●). Setas vermelhas = vetor σ_3 , representado por (■). Vetor σ_2 , representado por (▲).

A partir da análise descritiva de campo e com base nos campos de tensão obtidos, foi possível fazer as seguintes interpretações sobre a gênese das estruturas:

(1) O acamamento sedimentar se encontra como padrão de homoclinal com predomínio das camadas mergulhando para SE. Esse rumo de mergulho é paralelo a direção de σ_1 (*strike* do acamamento perpendicular a σ_1), assim como alguns planos axiais medidos localmente. O caimento homoclinal a partir da base topográfica 4 pode indicar que o desenvolvimento da cavidade tenha saído da zona de charneira e se estenda dentro do flanco SE da dobra. Na zona da charneira estaria a entrada da caverna, da base topográfica 0 à base 3.

(2) Os veios de quartzo apresentam direção paralela a σ_1 e perpendiculares a σ_3 , podendo indicar que essa família de estruturas são juntas de tensão preenchidas por quartzo (Figura 4-D).

(3) Já as fraturas indiferenciadas, são aquelas sem preenchimento, e ocorrem tanto paralelas a direção dos veios quanto perpendiculares a direção de σ_1 . A família NW, paralela aos veios, podem representar também juntas de tensão. Contudo, a família NE-SW, perpendicular a direção de σ_1 , sugere que essas estruturas sejam fraturas compressivas geradas durante a evolução da compressão. Para confirmar esta hipótese seriam necessárias medidas de linhas nestes planos, dado não obtido na saída de campo do presente trabalho.

A cavidade apresenta pouca ornamentação, constando apenas alguns coralóides espalhados pelas paredes, concentrados principalmente próximos à entrada principal. Próximo à entrada secundária (ressurgência), foram observados estrutura sedimentares de sobrepeso no teto da cavidade. Também ocorre sedimentação clástica, contudo pouco proeminente. Apesar da pequena vazão do córrego, o elevado gradiente transporta os sedimentos rio abaixo, resultando em uma caverna com pouca sedimentação e com pisos de rocha exposta e escorregadia.

Interessante notar que, ao observar a imagem de satélite da região, o declive no morro desde a cabeceira do curso d'água até a entrada da cavidade é muito suave, de aproximadamente 11 cm de desnível por metro de distância. Também aparece na imagem de satélite que a drenagem fluía em curso retilíneo até se juntar à drenagem principal na parte baixa do vale (drenagem representada em azul claro – Figura 6). Contudo, o desenvolvimento da caverna parece ter capturado o curso d'água da superfície, e deslocado o fluxo para sudoeste, seguindo um “atalho” de maior gradiente hidráulico, até encontrar com a drenagem principal. Se considerarmos o desnível e desenvolvimento da cavidade, o gradiente passa a 26 cm/m dentro da caverna, muito maior que da porção da cabeceira até a entrada principal. Durante a atividade de campo, a drenagem original (azul claro, Figura 6) encontrava-se seca. Possivelmente essa drenagem era o curso original do rio, mas atualmente apenas conduz fluxos de água pluvial durante episódios de precipitação.

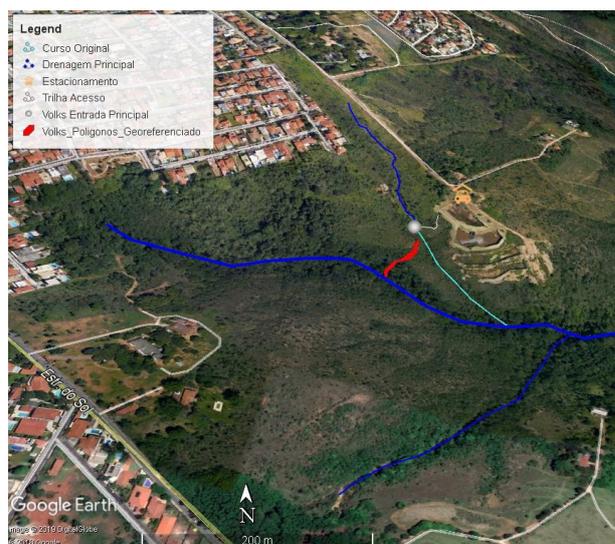


Figura 6: Imagem de satélite *Google Earth* com destaque para as drenagens e para a caverna Volks Clube. Em azul claro está destacada drenagem atualmente seca. Azul

escuro as drenagens com água corrente. Em vermelho projeção espacial da Caverna Volks Clube.

A gênese da caverna possivelmente tem controle estrutural e geomorfológico. Do ponto de vista estrutural, o desenvolvimento é controlado por planos de acamamento e secundariamente por fraturas.

Em relação ao controle geomorfológico, a erosão fluvial atual esculpe a caverna na área de talvegue. A maior inclinação induz a maior energia potencial da água, e conseqüentemente aumentando a erodibilidade. Seguramente, o deslocamento das camadas sedimentares teve papel importante no alargamento do conduto, contudo os blocos, se existiram, foram transportados rio abaixo e não são observados pontos evidentes de desabamento. A drenagem possivelmente corria pela superfície de forma retilínea no sentido sudeste, até ser capturada pela cavidade e desviada para SW com a evolução da cavidade.

5. CONCLUSÕES

A Gruta Volks Clube apresenta padrão de desenvolvimento linear escavado por pequena drenagem intermitente. Possivelmente houve percolação e erosão preferencial pela água ao longo de planos de fraqueza, predominantemente sobre zona de charneira, planos de acamamento sedimentar e secundariamente em planos de fraturas.

O mapeamento estrutural no interior da gruta evidenciou que na entrada principal há dobras assimétricas e dobras parasíticas do tipo *kink*. No restante da caverna há o predomínio de mergulho para SE das camadas.

REFERÊNCIAS

- ALLMENDINGER, R.W.; CARDOZO, N.C.; FISHER, D. **Structural Geology Algorithms: Vectors & Tensors**. 1 ed. Cambridge, England, Cambridge University Press, 2013, 289 pp.
- BARROSO, R. H. G.; RODRIGUEZ, I. M. U. Caverna do Sol Nascente 1: exemplo de caverna não-carbonática da unidade R4, Grupo Paranoá, Distrito Federal. 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.277-281. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe_277-281.pdf. Acesso em: Jan/2019
- BAUER, H.; SCHRÖCKENFUCHS, T.C.; DECKER, K. Hydrogeological properties of fault zones in a karstified carbonate aquifer (Northern Calcareous Alps, Austria). **Hydrogeology Journal**. 24, 1147–1170. <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1388-9>, 2016.

As camadas são cortadas por veios de sílica NW-SE paralelos ao que foi interpretado como juntas de tensão. Em menor quantidade foi observado família de fraturas NE-SW que podem ser de natureza compressiva.

Com base na análise estrutural *Right Dihedron*, foram calculados os vetores de tensão $\sigma_1 = 17/331$, $\sigma_2 = 68/190$ e $\sigma_3 = 13/061$, que estão de acordo com o contexto da estruturação do Domo de Brasília.

Para melhor detalhar e discutir algumas dúvidas em aberto pretende-se realizar futuramente perfis na superfície, perpendiculares as estruturas geológicas e ao desenvolvimento da cavidade. Dessa forma, ficaria evidente a presença/ausência de fraturas de direção paralela ao conduto principal, além de verificar a ocorrência de linhas na família de fraturas NE-SW, para dar suporte à interpretação de serem fraturas compressivas.

Em análise da imagem de satélite local, é possível observar o curso d'água superficial, que atualmente encontra-se seco e provavelmente atua como canalizador da água pluvial. Aparentemente, esta drenagem foi abandonada pelo curso d'água quando da captura do mesmo via subterrânea com o desenvolvimento da cavidade.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à André Souza (Caverna) pelo incentivo e participação no campo de levantamento estrutural. Também agradecemos ao Espeleogruppo de Brasília (EGB), em especial ao membro Paulo Arenas, pela organização e realização do campo para confecção do croqui da cavidade, assim como toda a equipe que participou da oficina de croqui.

- BAUER, M.; TOTH, T.M. Modeling microfracture geometry to assess the function of a karst system (Vízfő spring catchment area, Western Mecsek Mountains, Hungary). **Geologia Croatica** 58, 11–23. <https://doi.org/10.4154/GC.2015.02>, 2015.
- BRASIL. **Decreto no. 88940, de 07 de Novembro de 1983**. Dispõe sobre a criação das Áreas de Proteção Ambiental das Bacias dos Rios São Bartolomeu e Descoberto, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 09.11.1983. Disponível em <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/1980-1984/d88940.htm. Acessado em 13.3.2019.
- CAMPOS, J.E.G. Hidrogeologia do Distrito Federal: Bases para a Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos. **Revista Brasileira de Geociências** 34, 41–48. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.20043414148>, 2004.
- CAMPOS, J.E.G.; DARDENNE, M.A.; FREITAS-SILVA, F.H.; MARTINS-FERREIRA, M.A.C. Geologia do Grupo Paranoá na porção externa da Faixa Brasília. **Brazilian Journal of Geology**. 43, 461–476. <https://doi.org/10.5327/z2317-48892013000300004>, 2013.
- CARDOZO, N.; ALLMENDINGER, R.W. Spherical projections with OSXStereonet: **Computers & Geosciences**, v. 51, no. 0, p. 193 - 205, doi: 10.1016/j.cageo.2012.07.021. 2013.
- D'EL-REY SILVA; L.J.H., de OLIVEIRA, Í.L.; POHREN, C.B.; TANIZAKI, M.L.N.; CARNEIRO, R.C., FERNANDES, G.L. d. F.; ARAGÃO, P.E. Coeval perpendicular shortenings in the Brasília belt: Collision of irregular plate margins leading to oroclinal bending in the Neoproterozoic of central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**. 32, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.02.013>, 2011.
- DELVAUX, D.; SPERNER, B. New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TENSOR program. Geological Society of London, Special Publication 212, 75–100. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2003.212.01.06>, 2003.
- ENNES-SILVA, R.A.; BEZERRA, F.H.R.; NOGUEIRA, F.C.C.; BALSAMO, F.; KLIMCHOUK, A.; CAZARIN; C.L., AULER, A.S. Superposed folding and associated fracturing influence hypogene karst development in Neoproterozoic carbonates, São Francisco Craton, Brazil. **Tectonophysics** 666. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.11.006>, 2016.
- FONSECA, M.A.; DARDENNE, M.A.; UHLEIN, A. Faixa Brasília Setor Setentrional: Estilos Estruturais e Arcabouço Tectônico. **Revista Brasileira de Geociências** 25, 267–278. , 1995.
- KARMANN, I.; SÁNCHEZ, L.E.; FAIRCHILD, T.R. Caverna dos ecos (Central Brazil): Genesis and geomorphologic context of a cave developed in schist, quartzite, and marble. **Journal of Cave and Karst Studies** 63, 41–47. , 2001.
- KIM, Y.S.; SANDERSON, D.J. Inferred fluid flow through fault damage zones based on the observation of stalactites in carbonate caves. **Journal of Structural Geology** 32, 1305–1316. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2009.04.017>, 2010.
- MARTINS, E. S.; REATTO, A.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V.; BLOISE, G. L. F.; SPERA, S. T.; CARVALHO, O. A.; GUIMARÃES, R. F. As Relações da Geologia com os Solos da APA de Cafuringa, DF, Escala 1:100.000. In: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 62. Embrapa 2002.
- MELO, M.S. de; GUIMARÃES, G.B.; PONTES, H.S.; MASSUQUETO, L.L.; FIGURIM, I.; BAGATIM, H.Q.; GIANNINI, P.C.F. Carste em rochas não-carbonáticas: o exemplo dos arenitos da formação furnas, campos gerais do Paraná/Brasil e as implicações para a região. **Espeleo-Tema** 22, v.1, 81–97, 2011. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v22_n1_081-097.pdf

- OLIVEIRA, O.A.B. Aspectos Geológicos Relacionados às Cavernas no Quadrilátero Ferrífero - MG. In: RASTEIRO, M.A.; MOSS, D.F.; PONTES, H.S. (Orgs.). Congresso Brasileiro de Espeleologia, 31. Ponta Grossa. **Anais**. 2011. pp. 21–24. Disponível em: http://www.sbe.com.br/anais31cbe/31cbe_103-109.pdf.
- PALMER, A.N. Origin and morphology of limestone caves. **Geological Society of America Bulletin**. v. 103, p. 1-21. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1991\)103<0001:OAMOLC>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1991)103<0001:OAMOLC>2.3.CO;2), 1991.
- PETIT, J.P. Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks. **Journal of Structural Geology** 9, 597–608. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(87\)90145-3](https://doi.org/10.1016/0191-8141(87)90145-3), 1987.
- PICCINI, L.; MECCHIA, M. Solution weathering rate and origin of karst landforms and caves in the quartzite of Auyan-tepui (Gran Sabana, Venezuela). **Geomorphology** 106, 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.09.019>, 2009.
- RIBEIRO, T.G.R.; DOMINGUES, G.C. de O.; SOARES, L.P.; SOUZA, A.C. Structural context in the development of Tamboril Cave, Unaí-MG., In: RASTEIRO, M.A., TEIXEIRA-SILVA, C.M., LACERDA, S.G. (Eds.), Congresso Brasileiro de Espeleologia, 34. **Anais**. Sociedade Brasileira de Espeleologia, Ouro Preto-MG, pp. 297–300. , 2017. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe_297-300.pdf.
- RIBEIRO, T.G.R.; SOARES, L.P. Modelagem estrutural do Morro Tamboril, Unaí - MG., In: PALERMO, N., ARAÚJO, H.I. e, MACHADO, F.B., CORVAL, A., VALENTE, S. de C., DAL'BÓ, P.F. (Eds.), Congresso Brasileiro de Geologia, 49. **Anais**. Sociedade Brasileira de Geologia, Rio de Janeiro, p. 1063 , 2018.
- SBE.Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil (CNC). Campinas: SBE, 2019. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br>. Acesso em: 11 março 2019.
- SILVA, F.J. Relatório do levantamento da fauna de invertebrados na Gruta Volks Clube/DF, antes da interdição e implantação de portão. Produto 4. Contrato no. 2006/000347. Termo de referência no. 119708. 37pg. 2007.
- STUMPF, C.F.; MONTANO, L.F.M. Sandstone caves from Serra de Itaqueri (south-eastern Brazil). **Pseudokarst Commission Newsletter - Nachrichtenbrief**, n 24. pg. 1–7. , 2014.
- TIMO, J.B.; TIMO, M.B. Geoespeleologia de Cavernas em Quartzito e Formações Ferríferas no Quadrilátero Ferrífero, Região de Congonhas (MG). **Espeleo-Tema** 27, 11–32. , 2016.
- WATKINS, H.; BOND, C.E.; HEALY, D.; BUTLER, R.W.H. Appraisal of fracture sampling methods and a new workflow to characterise heterogeneous fracture networks at outcrop. **Journal of Structural Geology** 72. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2015.02.001>, 2015.
- WRAY, R.A.L. A global review of solutional weathering forms on quartz sandstones. **Earth-Science Review** 42, 137–160 , 1997.
- ZATORSKI, M. The structural control of the Mrocza Cave development on the slopes of Mt Kornuty (the Flysch Carpathians, Beskid Niski Mts). **Landform Analysis** 27, 55–65. <https://doi.org/10.12657/landfana.027.005>, 2014.