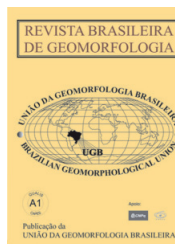


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 15, nº 4 (2014)



CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO DE OCORRÊNCIA DE CAVIDADES EM QUARTZITO NA REGIÃO SUDESTE DE DIAMANTINA/MG

GEOMORPHOLOGICAL CONTEXT OF OCCURRENCE OF CAVES IN QUARTZITE IN SOUTHEAST REGION OF DIAMANTINA/MG

Fernanda Cristina Rodrigues de Souza

Instituto Pristino

Rua João Machado, 36, Barreiro, Cep: 30.640-320, Belo Horizonte/MG, Brasil

E-mail: fernanda.geo.souza@gmail.com

André Augusto Rodrigues Salgado

Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Cep: 31.270-901, Belo Horizonte/MG, Brasil

E-mail: aarsalgadoufmg@gmail.com

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:

28/02/2014

Data de Aprovação:

19/08/2014

Palavras-chave:

Feições Cársticas; Quartzitos; Serra do Espinhaço Meridional; Geomorfologia.

Keywords:

Karst Features; Quartzite; Serra do Espinhaço Meridional; Geomorphology.

Resumo:

Neste artigo objetiva-se interpretar o contexto geomorfológico associado à ocorrência de cavidades nos quartzitos da região sudeste de Diamantina/MG - Serra do Espinhaço Meridional. Os procedimentos metodológicos são constituídos por revisão bibliográfica; levantamento cartográfico; topografia das cavidades; levantamento das linhas estruturais na área externa e no interior das cavidades, durante trabalho de campo; petrografia; análise química qualitativa de depósitos químicos por meio de Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS linha) e interpretação conjunta dos resultados. A interpretação dos resultados obtidos demonstram que a ocorrência de feições cársticas na área de estudo está relacionada a um conjunto de fatores. Assim, a presença de polimerais, como mica e feldspato; diferentes camadas estratigráficas da Formação Sopa-Brumadinho (quartzitos monomíticos e conglomerados); os lineamentos estruturais e as características geomorfológicas locais são fatores que contribuem para a ocorrência de cavidades na região. Afinal, esses fatores permitem a penetração da água no maciço; facilitam a reação química entre a água e os minerais presentes na rocha, produção de materiais inconsolidados, remobilização dos grãos alterados, formação e ampliação dos condutos.

Abstract:

This paper aims to interpret the geomorphological context associated with the occurrence of caves in the quartzite of the southeast region of Diamantina/MG -

Serra do Espinhaço Meridional. The methodology consisted in literature review; cartographic survey; topography of caves; survey of the structural lines in the area outside and inside the caves in field work; petrography; qualitative chemical analysis of chemical deposits with use of Energy Dispersive of X-Ray Spectroscopy (line EDX) and joint interpretation of the results. The interpretation of results show that the occurrence of karst features in the study area may be related to many of factors. Thus, the presence of polyminerals such as mica and feldspar; different stratigraphic layers of Formação Sopa-Brumadinho (quartzite and conglomerate); structural lineaments and local geomorphological characteristics are factors that contribute to the occurrence of caves in the region. After all, these factors allow the penetration of water into the massive; facilitate the chemical reaction between the water and the minerals in the rock, production of unconsolidated materials, remobilization of altered grains, formation and expansion of the conduits.

Introdução

Os estudos sobre cavidades em rochas siliciclásticas estão sendo desenvolvidos desde a década de 1970, período em que se destacam os estudos pioneiros de Martini (1979, 1984) e Urbani (1986a, 1986b). Desde então, ampliam-se os trabalhos que apresentam as principais feições cársticas presentes em arenitos e quartzitos, as características dos depósitos químicos e clásticos, os fatores associados à dissolução da sílica e os processos de formação das cavidades neste tipo de litologia, como Gálan (1991), Martini (2000), Corrêa Neto (2000) e Fabri (2011).

O conjunto de feições está associado a processos específicos e Martini (1979, 1984) foi pioneiro ao analisar os processos de formação das cavidades e feições cársticas em rochas siliciclásticas. O autor menciona que os processos correspondem a *arenização* (Martini, 1979; 1984) e *piping*. Martini (1979) ratifica que, embora haja o predomínio quantitativo dos processos mecânicos, a dissolução desempenha papel fundamental no início do processo de carstificação das rochas siliciclásticas. Esse conjunto de processos permite a configuração da geomorfologia cárstica em áreas cujo embasamento é composto por arenitos, quartzitos ou conglomerados.

Registram-se estudos sobre feições exocársticas em várias regiões do Brasil, como por exemplo, vale do rio Paraíba (Uagoda, 2006; Uagoda *et al.*, 2009), região central do Rio Grande do Sul (Robaina *et al.*, 2008), Serra do Espinhaço Meridional/MG (SdEM) (Rodet *et al.*, 2009) e na Serra das Confusões e Serra da Capivara (Hardt, 2011). Já as cavidades desenvolvidas em rochas siliciclásticas foram estudadas no Brasil, com destaque para aquelas investigadas nas Serras do Ibitipoca, Car-

rancas e Luminárias/MG (Corrêa Neto, 2000; Silva, 2004), no Tocantins (Morais, 2009) e no município de São Tomé das Letras (Karmann *et al.*, 1979).

Na Serra do Espinhaço Meridional/MG (SdEM), uma das principais unidades geomorfológicas compostas por quartzitos no Brasil, registram-se alguns estudos sobre feições cársticas, como o desenvolvido na região de Itambé do Mato Dentro, porção sul da SdEM (Fabri, 2011) e na região de Diamantina/MG e suas proximidades (Brichta *et al.*, 1980; Willems *et al.*, 2008 e Rodet *et al.*, 2009). Entretanto, destaca-se a importância de ampliação das áreas estudadas na SdEM, bem como o aprofundamento das pesquisas nas localidades já prospectadas.

Neste contexto insere-se este artigo, que tem como objetivo interpretar o contexto geomorfológico associado à ocorrência de cavidades na região sudeste de Diamantina/MG. Para essa análise são investigadas a Gruta do Salitre, Gruta Extração, Lapa Ribeirão do Inferno, Gruta das Sempre Vivas, Gruta Curralinho e Gruta Monte Cristo, que se desenvolvem nos quartzitos do Supergrupo Espinhaço, Formação Sopa Brumadinho.

Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo (Figura 1) localiza-se a sudeste da sede municipal de Diamantina/MG, possui área de 22,71 km² e perímetro de 19,08 km. O local está inserido nas unidades geológicas do Supergrupo Espinhaço, Formação Sopa Brumadinho, Membros Caldeirões e Datas. O Supergrupo Espinhaço representa o principal conjunto litoestratigráfico, em termos de volume e expressão orográfica da SdEM. Esse Supergrupo é composto, principalmente, por quartzitos e, subordinadamente, por metassiltitos, metaconglomerados, filitos

e metavulcanitos (Almeida Abreu e Pflug, 1994).

O contexto estratigráfico local é composto por quartzito conglomerático monomítico, ortoconglomerados de matriz sericítica e paraconglomerados de matriz quartzítica (Figura 2). Além disso, destaca-se a presença de corpos intrusivos de rochas básicas e metabásicas (Nogueira e Felinto, 1982; Viegas, 2010; Silva, 2010).

Estruturalmente, Nogueira e Felinto (1982) e Viegas (2010) defendem que essa área pode ser compartimentada em dois domínios estruturais: um próximo ao distrito de Extração, com direção NW-SE, e outro a

norte, com direção NE-SW. Silva (2010) assegura que a região de Extração permite concluir que a estruturação dos metassedimentos do Supergrupo Espinhaço representa o resultado de tectônica relativamente complexa, registrada pela intensa acomodação e deformação dos terrenos com resposta à tectônica de inversão da bacia. O autor ressalta que além das direções estruturais preferenciais apresentadas (N-S; NW-SE e NE-SW), há lineamentos com direção W-E. A Figura 2 confirma as informações geológicas apresentadas e enfatiza o contexto estrutural e estratigráfico local.

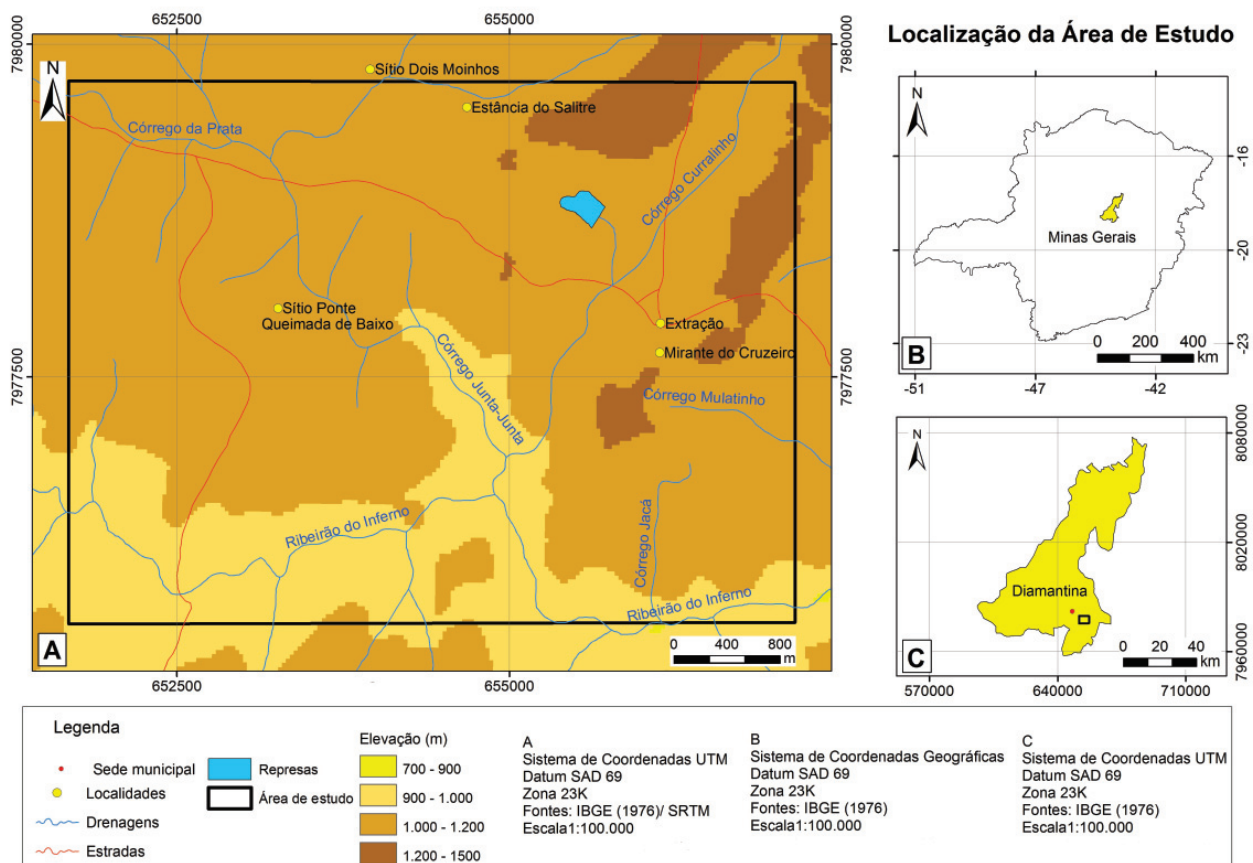


Figura 1 - Localização da área de estudo da região SE de Diamantina

Geomorfologicamente a área está inserida na Serra do Espinhaço Meridional, que segundo Saadi (1995), se constitui no conjunto de terras altas, de direção geral norte-sul e convexidade orientada para oeste. Essa unidade geomorfológica pode ser definida pelo termo “planalto” e representa o divisor hidrográfico entre as bacias do centro leste brasileiro e a do Rio São Francisco. Na SdEM, o alinhamento geral N-S é constituído por linhas de cristas descontínuas, composto pelo cru-

zamento das direções próximas de NE-SW e NW-SE. O aspecto topográfico desta unidade geomorfológica na região de Diamantina é representado por planalto de aspecto maciço (Saadi, 1995). A área investigada está situada na porção central do Planalto Diamantina e caracteriza-se pela ocorrência de relevo ondulado e suave ondulado. No entanto, entrecortando esse relevo ondulado e suave ondulado, é comum a ocorrência de relevos residuais quartzíticos (Figura 3).

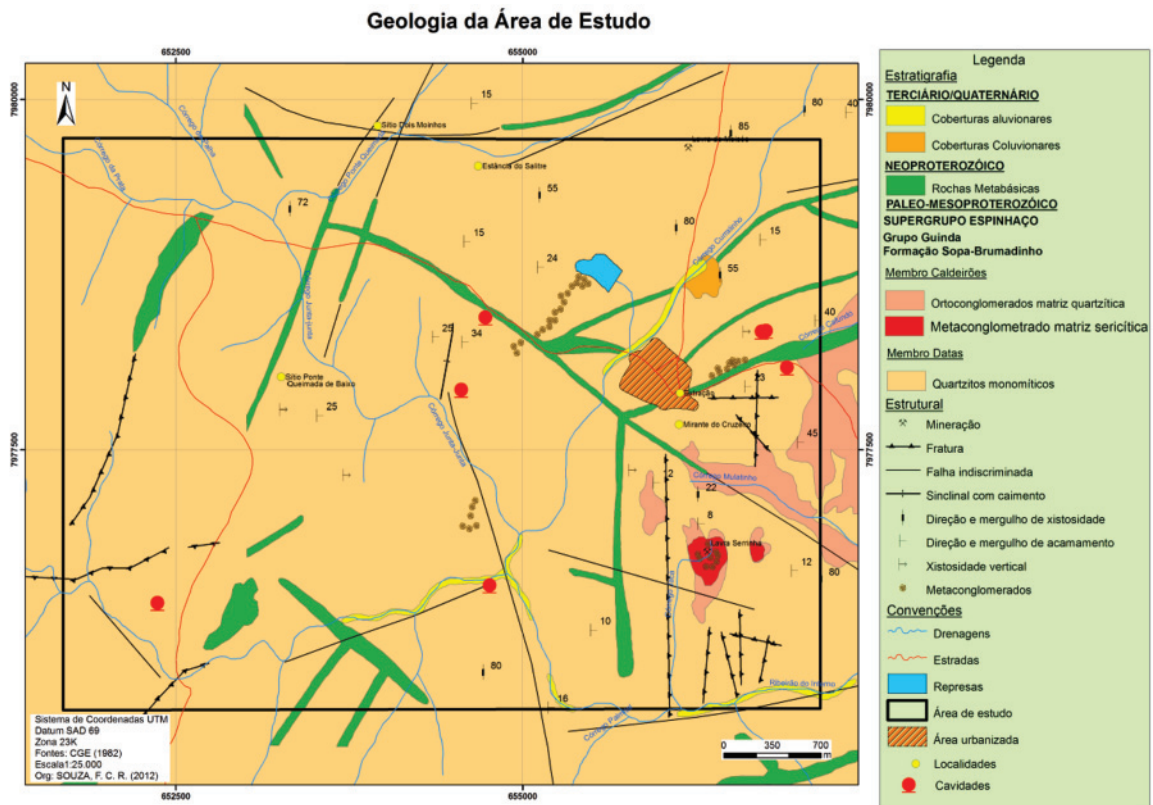


Figura 2 - Geologia da área de estudo



Figura 3 - Paisagem típica da área de estudo: relevos residuais quartzíticos entrecortando uma superfície ondulada.

Materiais e Métodos

Os procedimentos metodológicos são compostos por: a) revisão bibliográfica, b) levantamento cartográfico, c) trabalhos de campo, d) topografia das cavidades, e) levantamento das linhas estruturais na área externa e no interior das cavidades, f) petrografia, g) coleta e

análise química qualitativa de depósitos químicos, por meio de Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS linha), h) interpretação conjunta dos dados e i) correlação com as taxas de concentração química dissolvida e de denudação total apresentadas por Barreto (2012).

Os dados de estratigrafia e geologia estrutural são

obtidos junto aos mapeamentos geológicos de Nogueira e Felinto (1982), escala 1:25.000, Viegas (2010), escala 1:10.000 e Silva (2010), escala 1:10.000. Para o estudo da geomorfologia regional realiza-se o tratamento dos dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), resolução espacial de 30 metros, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A partir da compilação deste conjunto de dados são gerados os mapas. A análise dessas bases cartográficas subsidia os trabalhos de campo, a delimitação da área de estudo e as demais etapas deste trabalho.

Os trabalhos de campo envolvem topografia das cavidades com grau de precisão BRCA 4C, observação do contexto estratigráfico e coleta de rochas para análise petrográfica. Para o levantamento da direção dos lineamentos estruturais na área externa ou superficial realiza-se a interpretação de fotografias aéreas do Projeto Serra do Espinhaço (DNPM/CPRM, 1979) e imagens de satélite *RapidEye*, obtidas em 2010, com resolução espacial de 5m. As imagens são disponibilizadas pelo Núcleo de Geoprocessamento da Fundação Estadual do Meio Ambiente (NDG/ FEAM). A identificação e vetorização dos lineamentos ocorrem com a utilização das fotografias 384 e 385 e tem como base metodológica os procedimentos de fotogeologia indicados por Lopez Vergara (1978) e Andrades Filho e Fonseca (2009). A partir dos dados estruturais interpretados e vetorizados, tabula-se as direções dos lineamentos e geraram-se diagramas de rosetas para representar os padrões estruturais preferenciais na área de estudo.

A aferição da direção e mergulho dos planos de acamamento e xistosidade foi realizada durante trabalhos de campo para caracterização litológica local. A aferição da direção dos planos de fratura no interior das cavidades foi realizada durante trabalho de campo de cinco dias com esta finalidade. Para isso, utilizou-se a bússola Brunton devidamente calibrada para a região e na área superficial procurou-se envolver diferentes unidades geológicas da área pesquisada. A análise da direção dos condutos das cavidades foi realizada a partir da manipulação da planta baixa das cavidades. Este procedimento foi realizado manualmente com o uso de transferidor e registrado em planilha elaborada para esta finalidade. Todos os resultados obtidos foram registrados e processados no *software Stereo32* versão 1.0.3, que gerou os diagramas de rosetas.

A partir dos dados obtidos foi realizada a correlação entre a direção dos condutos e direção dos planos

de fratura no interior das cavidades. Posteriormente foi executada a correlação de dados de direção dos planos de acamamento presentes em todas as cavidades, com a direção dos condutos de todas as cavidades, a direção dos lineamentos estruturais superficiais, a direção e mergulho dos planos de acamamento e xistosidade.

Foram selecionadas cinco amostras de rochas para elaboração de lâminas petrográficas delgadas. O serviço de laminação foi realizado no Centro de Pesquisas Manuel Teixeira da Costa (CPMTC/IGC/UFMG). A análise macroscópica das rochas foi realizada com uso de lupa 10x de aumento. As lâminas delgadas foram analisadas e descritas com a utilização de microscópio petrográfico de luz transmitida e refletida no CPMTC/IGC/UFMG. A análise petrográfica envolveu a descrição de informações como o tipo e percentual da composição mineralógica, presença de microestruturas internas e fotomicrografia das lâminas com nicóis cruzados, aumento 2,5x.

Para a análise química qualitativa de depósitos químicos foram coletadas seis amostras desses depósitos, sendo uma amostra na Gruta das Sempre Vivas, quatro na Gruta Extração e uma na Gruta do Salitre, as quais incluem escorrimentos e estalagmites. As coletas desses materiais foram incluídas na autorização do processo nº 36472-1 expedido pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade do Ministério do Meio Ambiente (Sisbio/ ICMBio/ MMA), conforme previsto na Instrução Normativa IBAMA nº154, de 1º de Março de 2007. As amostras de depósitos químicos foram submetidas à laminação no Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto (Degeo/UFOP), onde foram confeccionadas lâminas polidas delgadas. Em seguida, as lâminas foram descritas no microscópio óptico no CPMTC/IGC/UFMG, onde foram verificadas diferenças na quantidade e distribuição da deposição química e selecionadas zonas para aprofundamento da análise microscópica no *Scanning Electron Microscopy* ou Microscópio Eletrônico de Varredura (SEM ou MEV).

As lâminas foram preparadas para análise no MEV e esta etapa envolveu a metalização e evaporação de carbono. Este procedimento foi realizado no Centro de Microscopia da Universidade Federal de Minas Gerais (CM/ UFMG). A análise química foi desenvolvida no CM/UFMG com a utilização do MEV *Field Emission Gun* ou Canhão por Efeito de Campo (FEG) Quanta

200 com *Energy Dispersive X-Ray Detector* ou Espectrometria de Energia Dispersiva (EDX ou EDS) linha. A investigação da composição química qualitativa das amostras envolveu especialmente a análise dos elementos maiores (Si, Al, Ca, Mg, K, F e O) e em alguns casos identificou-se outros elementos químicos que estavam presentes nas amostras. Todos os elementos foram identificados nas constantes de raios alfa (Ka) e beta (Kb). Os dados obtidos foram interpretados associando-os às características das deposições químicas.

Todos os dados litoestruturais e químicos são comparados ao contexto geomorfológico da área e verificados as suas relações com o surgimento das cavidades investigadas. A análise geral do contexto geomorfológico da área de estudo é realizada com base na interpretação de todos os resultados obtidos e sua associação com um estudo sobre as taxas de concentração química dissolvida (Barreto, 2012). Com base nos processos envolvidos no desenvolvimento de feições cársticas em rochas siliciclásticas, conforme aponta Martini (1979, 1984) e Urbani (1986) e na interpretação geral da área estudada elabora-se a síntese e discute-se as principais fases de formação das feições cársticas na região SE de Diamantina. Essa síntese está representada através de blocos diagramas processados no *software Corel Draw X3*.

Resultados e Discussões

Características gerais de cavidades em quartzitos e seu contexto espeleológico

A **Gruta das Sempre Vivas** localiza-se em área de ruptura de declive, é caracterizada por teto e piso suavemente inclinados e seu desenvolvimento acompanha o caimento da vertente. Os coralóides e escorrimentos são feições comuns nessa cavidade. A **Gruta Extração** caracteriza-se também pela presença de quatro entradas, desenvolve-se próximo à ruptura de declive, possui teto e piso suavemente inclinados e o desenvolvimento da cavidade é concordante com o caimento da vertente. Essa cavidade apresenta três níveis de desenvolvimento inferiores e um nível superior em relação ao conduto principal, o que indica mudanças no nível de base e na velocidade hidráulica de formação da cavidade. A **Gruta do Salitre**, por sua vez, possui desenvolvimento predominantemente horizontalizado e demonstra diferentes níveis de desenvolvimento da cavidade. Destaca-se que alguns condutos apresentam desenvolvimento inativo

ou condutos fósseis e os condutos na porção sudoeste registram processos ativos (Figura 4). A **Gruta Monte Cristo** (Figura 4) apresenta duas entradas, é composta por dois salões caracterizados em alguns trechos pela presença de teto e piso suavemente inclinados e outros segmentos com piso horizontalizado. Essa cavidade possui depósitos químicos, clásticos e orgânicos. Já a **Gruta Curralinho** (Figura 4) é predominantemente horizontalizada e apresenta teto e piso suavemente inclinados em alguns locais. A morfologia dos condutos é irregular, mas em geral há segmentos baixos, ovalados e estreitos e segmentos baixos, largos e com formas irregulares. A **Lapa Ribeirão do Inferno** localiza-se às margens da drenagem homônima, possui três condutos e apresenta morfologia predominantemente horizontalizada. Por fim, a **Gruta da Ressurgência** (Figura 4) localiza-se próximo à Gruta do Salitre, é composta por salão único e apresenta duas entradas: uma em clarabóia e outra horizontal. Essa cavidade apresenta teto e piso suavemente inclinados e o desenvolvimento da cavidade é concordante com o caimento da vertente.

Contexto litoestrutural e geomorfológico que condiciona a formação de feições endocársticas na região SE de Diamantina

Destaca-se que embora este trabalho focaliza a interpretação dos fatores litoestruturais e geomorfológicos, clima e hidrologia são condicionantes que podem interferir na formação das feições cársticas na área de estudo. Assim, embora seja necessário o desenvolvimento de estudos e usos de técnicas específicas para a análise aprofundada dos fatores climáticos e hidrológicos, o levantamento horizontalizado de dados sobre esse assunto permite a indicação de resultados gerais.

A precipitação e a umidade relativa do ar são fatores que podem ter contribuído para o desenvolvimento das feições cársticas locais. Destaca-se que a precipitação média atual equivale 1400mm anuais (INMET, 2012) e durante o Pleistoceno essas taxas poderiam apresentar índices superiores. A interpretação da influência climática pode ser sustentada a partir de dados que extrapolam a área de estudo. Oliveira (1992) interpreta, através de estudo de pólenes em sedimentos e datação C^{14} em duas lagoas em Lagoa Santa, que durante o Pleistoceno Superior (19 a 13ka) havia um clima com umidade alta e temperaturas baixas. Cartelle (1994) ressalta que por volta de 12ka houve mudança

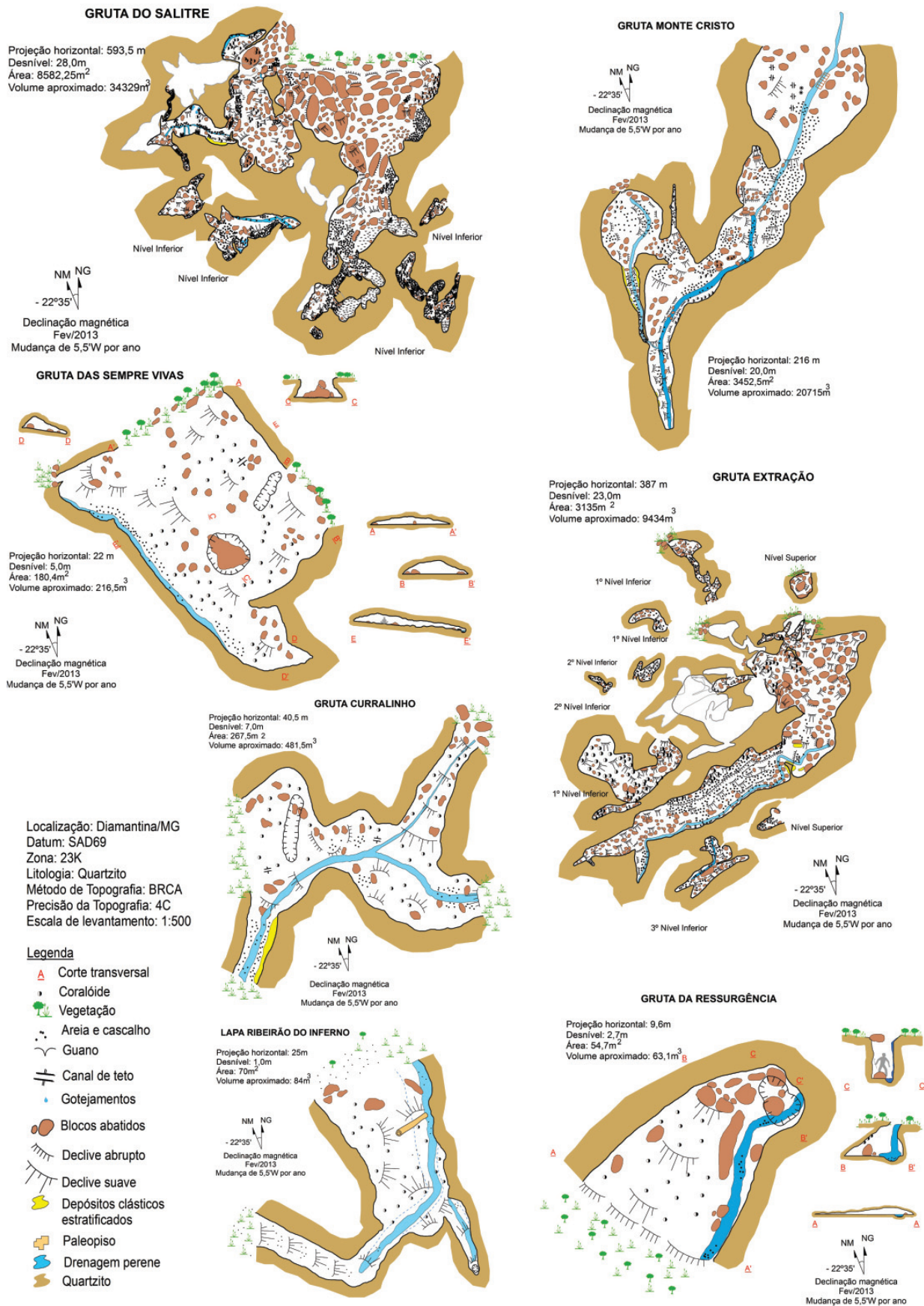


Figura 4 - Topografia das cavidades pesquisadas na região SE de Diamantina - MG

ambiental responsável pela extinção da megafauna pleistocênica. Oliveira (1992) afirma que durante o Holoceno Inferior ocorreu clima mais seco e perdurou até aproximadamente 4ka. Köhler (1989) reitera que no Holoceno Superior houve a retomada de clima com maior umidade.

Ressalta-se que os índices pluviométricos da região SE de Diamantina são inferiores aos registrados em regiões equatoriais, como por exemplo onde se desenvolveram os *tepuys* venezuelanos, que apresentam até 4000 mm anuais (Szczerban e Urbani, 1974). Porém, os volumes pluviométricos da área de estudo são superiores aos presentes nas regiões da África Subsaariana, onde a média anual varia entre 20 a 30 mm anuais (Willems *et al.*, 2006), e semelhantes aos índices observados na Serra do Ibitipoca (1500mm anuais) (Silva, 2004) e na região de Itambé do Mato Dentro (ICMBio, 2009; Fabri, 2011), áreas de ocorrência de cavidades em quartzitos. A umidade relativa do ar apresenta relação semelhante à precipitação, visto que possui máxima de 89,7% e mínima de 72,3% (INMET, 2012), o que contribui para a dissolução da rocha.

Embora a litologia em si não corresponda ao principal fator responsável pelo desenvolvimento de feições endocársticas na área investigada, vários aspectos litoestruturais locais contribuem para a ocorrência desse fenômeno. Registra-se que a litologia local composta por quartzitos e conglomerados da Formação Sopa-Brumadinho apresenta baixo grau de metamorfismo e esse fator inibe a porosidade primária, restringindo o contato da água com os minerais e limita a dissolução da rocha encaixante. As lâminas petrográficas (Figura 5) mostram que o quartzito monomítico micáceo apresenta textura granoblástica, caracterizada pela presença de minerais granulares sem orientação preferencial. Além disso, demonstram a presença de grãos de quartzo geométricos e angulosos e também apresenta mica na lateral direita da lâmina. O quartzito monomítico com lentes de hematita é constituído essencialmente por quartzo, mica, óxido e hidróxido de ferro. A lâmina petrográfica desta rocha (Figura 5A) registra a ocorrência de textura granoblástica, com contato reto entre os grãos. Os grãos são esféricos a arredondados, com tamanhos que variam de 0,2 a 0,05mm.

O paraconglomerado apresenta arcabouço constituído por grânulos e seixos angulosos a arredondados, composto por quartzo e quartzito laminado. A matriz desta rocha é constituída por quartzo, feldspato e mica,

e possui granulometria composta por areia média a grossa. A Figura 5C registra a ocorrência de um grânulo de quartzo na parte central, que representa um dos elementos do arcabouço e a alta maturidade mineralógica e textural da matriz. Os ortoconglomerados apresentam arcabouço constituído por grânulos, seixos e matacão subarredondados a arredondados composto por quartzo, quartzito, quartzito micáceo, quartzo fumê e metapelitos. A matriz desta rocha é constituída por quartzo e mica, e possui granulometria areia fina à média. A Figura 5D demonstra a presença de quartzo imersos na matriz micácea, que apresenta baixa maturidade.

Destaca-se que a composição mineralógica dos quartzitos é constituída por poliminerais, como feldspato (1 a 8%), mica (1 a 36%) e quartzo (56 a 98%) . Nesse sentido, a presença de mica e feldspato contribui para a ocorrência das cavidades. Afinal, como a mica (filossilicato) e feldspato (tectossilicato) possuem taxas de solubilidade superiores ao quartzo, esses minerais tendem a solubilizar, facilitar a reação química entre a água e a sílica, assim como contribuir para a desagregação da rocha. Importante ressaltar que as maiores concentrações de mica e feldspato foram registradas nos paraconglomerados e ortoconglomerados, conforme verificado nas lâminas (Figura 5).

A heterogeneidade granulométrica, mineralógica e a foliação são aspectos litológicos que interferem na alteração química da rocha e, conseqüentemente, na formação das cavidades. A foliação mineral observada nas rochas quartzíticas da área de estudo favorece a formação de cavidades, uma vez que funcionam como descontinuidades preferenciais para os processos geoquímicos e facilitam a dissolução e desagregação mineral. Destaca-se que quanto maior a heterogeneidade granulométrica, maior a proporção de penetração de água no maciço, o que favorece a sua reação química entre a água e os minerais presentes, bem como a desagregação da rocha. Por isso, verifica-se que as cavidades tendem a serem maiores quando apresentam contato litológico entre quartzitos monomíticos e ortoconglomerados. Esses fatores associados à composição mineralógica facilitam a dissolução da rocha e a abertura dos primeiros condutos. Afinal, a presença de mica e feldspato aumenta a quantidade de minerais intemperizados, visto que eles são minerais mais facilmente dissolvidos que o quartzo. Assim, a dissolução e lixiviação dos mesmos gera micro espaços vazios e amplia as áreas de reação entre água e os elementos químicos presentes nos demais minerais,

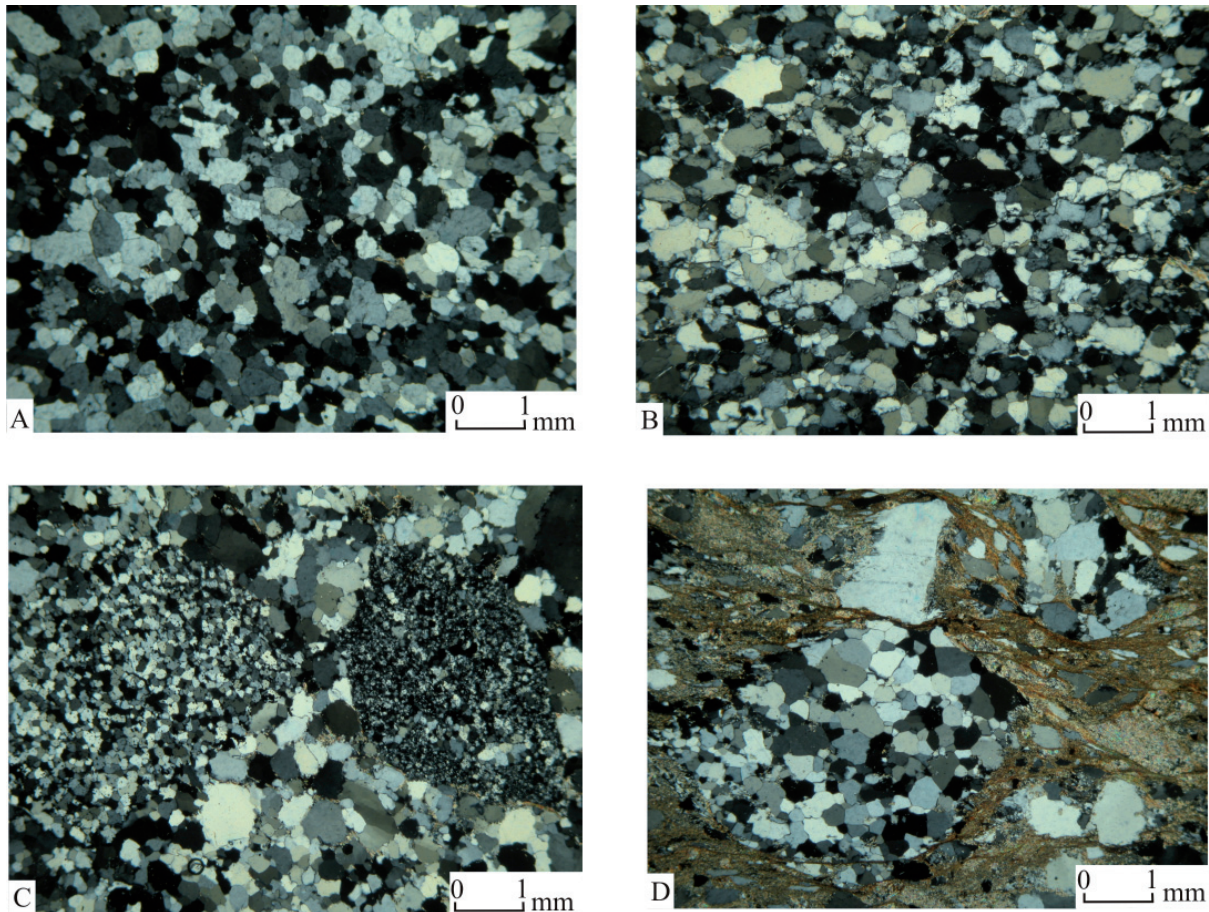


Figura 5 - Caracterização microscópica das rochas da área de estudo. Quartzito monomítico (A); Quartzito micáceo (B); Paraconglomerado (C); Ortoconglomerado (D). Nicóis cruzados. Aumento 2,5x.

contribuindo, dessa forma para a desagregação da rocha e formação dos espaços vazios, que com o auxílio do *piping* dá origem às cavidades.

As estruturas geológicas também são variáveis que favorecem o desenvolvimento das cavidades. Afinal, além de facilitar a infiltração e percolação hídrica no maciço, observa-se que a direção de alguns dos condutos é concordante com planos de fratura e de acamamento. A Figura 6 mostra as principais direções dos planos de fratura na área externa, dos planos de fratura no interior das cavidades, dos condutos das cavidades investigadas, dos segmentos fluviais superficiais, dos planos de acamamento e da xistosidade e também demonstra os mergulhos dos planos de acamamento e da xistosidade.

Observa-se a relação direta entre os seguintes fatores: a) as direções preferenciais dos planos de fratura na área externa (NE-SW); dos planos de fratura no interior das cavidades (NE-SW), a direção dos condutos das cavidades investigadas (NE-SW) e mergulho dos planos de acamamento (NE-SW) e entre b) a direção dos planos

de acamamento (SE-NW) e a direção da xistosidade (SE-NW) (Figura 6). Além disso, embora não sejam predominantes, algumas direções dos condutos das cavidades investigadas são concordantes com a direção (SE-NW) e mergulho (NE-SW) dos planos de acamamento. Portanto, planos de fratura e acamamento são concordantes com a direção de expansão das cavidades, o que é um importante indicio que essas características estruturais condicionam seu desenvolvimento.

As características geomorfológicas do relevo local também favorecem o desenvolvimento das cavidades, uma vez que elas possuem desenvolvimento concordante com a inclinação da vertente. Esse fator é importante porque a própria inclinação da vertente, associada ao gradiente de relevo permite a circulação água e sua saída do maciço. Salienta-se que a relação concordante entre a inclinação da vertente e das cavidades, associada à disponibilidade hídrica local, favorece a remobilização mecânica dos grãos alterados através do *piping* que, segundo Martini (1979, 1984) constitui uma das etapas

do processo de formação de feições cársticas em rochas siliciclásticas.

Ressalta-se que todas as cavidades identificadas só ocorreram também em função da presença de água no sistema na forma de fluxo fluvial, pluvial e hidrogeológico. Afinal, a água participa de todo o processo de desenvolvimento das cavidades, incluindo hidrólise, dissolução e remobilização dos grãos alterados. Mar-

tini (1979) e Gálan (1991) reforçam essa informação ao afirmar que a remoção da sílica é eficiente onde a circulação da água é significativa. O Quadro 1 sintetiza a relação dos principais indicadores que contribuem e inibem o desenvolvimento das feições cársticas na área investigada. Todavia, os resultados obtidos não devem ser observados isoladamente e podem ser aprofundados com dados sobre a química total de depósitos químicos e taxas de denudação local.

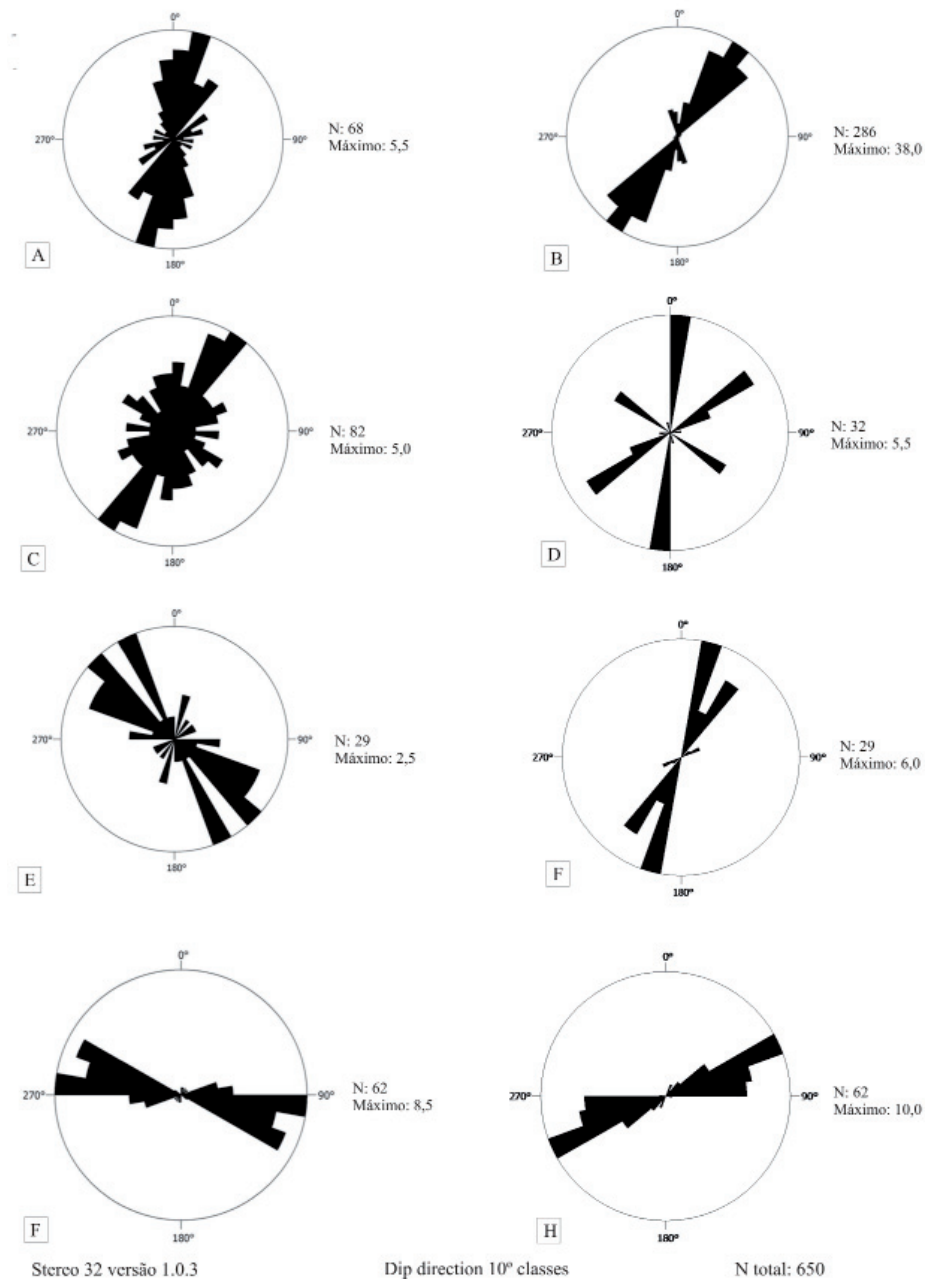


Figura 6 - Contexto estrutural de inserção das cavidades da região SE de Diamantina/MG. A) Direção dos planos de fratura na área externa; B) Direção dos planos de fratura no interior das cavidades; C) Direção dos condutos das cavidades investigadas; D) Direção dos segmentos fluviais superficiais; E) Direção dos planos de acamamento; F) Mergulho dos planos de acamamento; G) Direção da xistossidade; H) Mergulho da xistossidade.

Quadro 1: Indicadores que contribuem e inibem o desenvolvimento de feições cársticas em rochas siliciclásticas na área de estudo

Variável	Fatores que contribuem	Fatores que inibem
Hidrologia	Fluxo pluvial Fluxo hidrogeológico Fluxo fluvial	
Litologia	Polimineralização (especialmente CaO, MgO, K ₂ O) Presença de mica: 1 a 36% Ocorrência de feldspato: 1 a 8% Baixa concentração de Al ₂ O ₃ : 0,55 a 0,26 % Heterogeneidade granulométrica Foliação dos minerais Espaço poroso nos conglomerados	Metamorfismo de baixo grau Porosidade primária, principalmente dos quartzitos monomíticos
Estrutural	Facilita a infiltração e percolação hídrica Planos de xistosidade Planos de fratura e acamamento contribuem para o desenvolvimento de: - condutos com direção concordante com planos de fratura e de acamamento; - perfis transversais elípticos, triangulares e retangulares, influenciados principalmente pelos planos de acamamento; - condutos suavemente inclinados a inclinados concordantes com o mergulho dos planos de acamamento (20 a 30°);	
Geomorfologia	Relevo com colinas convexas dissecadas Gradiente de relevo local Inclinação das vertentes Facilita a remobilização mecânica dos grãos alterados	

Relação entre Cavidades, Composição Química Qualitativa dos Depósitos Químicos e Taxas de Denudação

Verifica-se a concentração dos elementos químicos maiores em amostras de escorrimentos das Grutas das Sempre Vivas, Extração e do Salitre (Figura 7). Em geral, os escorrimentos apresentam silício (Si) como o principal componente químico, seguido de oxigênio (O), oriundo dos óxidos e hidróxidos. O escorrimento da Gruta das Sempre Vivas também apresenta fósforo (P) e cálcio (Ca) na sua composição e da Gruta Extração e Gruta do Salitre, por sua vez, possuem em baixas concentrações alumínio (Al), cloro (Cl), enxofre (S) e bário (Ba).

A concentração química total nas estalagmites da Gruta Extração (GE2) nas zonas 1 e 3 são compostas predominantemente por Ca, P e O. Destaca-se que em ambas as zonas, S e Si estão presentes em concentrações intermediárias. Registra-se que devido ao contexto geológico de formação das cavidades, a concentração de Ca nas amostras merece destaque. A amostra GE03

da Gruta Extração apresenta concentrações químicas diferentes nas zonas 1 e 2. A zona 1 é constituída principalmente por Si, O e Fe. A zona 2, por sua vez, é composta por uma variedade de elementos químicos, as maiores concentrações são de Si, Ma, Ba e S e as menores concentrações são de Ca, Al, Fe, K e P.

A concentração química total nas amostras de estalagmites da Gruta Extração (GE04) nas zonas 1, 2 e 3 está representada na Figura 7. Registra-se a concentração predominante de Ca em todas as zonas de deposição. A zona 1 apresenta concentrações de Ca, P, S, O, Si e Al. A zona 2 concentra em forma decrescente Ca, P, S, O, Si e Al. A zona 3, por sua vez, constitui-se predominantemente de Ca e P e em menores concentrações há S, O, Si e Al.

Portanto, apesar da ocorrência de depósitos químicos não ser o processo único que comprova a dissolução durante a gênese das cavidades; pode-se considerar que a dissolução contribuiu em alguma etapa de formação das cavidades. Observa-se em geral o

predomínio de concentração química de Si, seguido de Ca nos espeleotemas amostrados. Assim, nota-se que a presença de Si é um elemento químico esperado em altas concentrações em espeleotemas originados em ambiente de rochas quartzíticas. A concentração de Ca, por sua vez, pode estar associada à presença de feldspato cálcico na rocha matriz.

As concentrações de Si indicam a ocorrência de sílica amorfa, conforme verificado em MEV com aumento até 1500x em baixo vácuo. Com isso, reforça-se a importância em conhecer melhor os mecanismos envolvidos na dissolução, recristalização desses elementos presentes na forma de espeleotemas e formação das cavidades. A ocorrência de Ca, provavelmente associada a feldspatos, demonstra que a composição litológica local, apesar de possuir predominantemente Si em sua composição, possui também outros elementos químicos e minerais que facilitam a dissolução e estimulam o processo inicial de desagregação dos minerais. O processo contínuo de desagregação dos minerais e a presença de água no sistema tendem a dissolver e lixiar os elementos solubilizados, permitir a remobilização de grãos insolubilizados e formar os primeiros condutos.

Nesse sentido, as litofácies de ortoconglomerados e paraconglomerados, devido a sua composição mineralógica apresentar maior concentração de mica e feldspatos na localidade em que estão inseridas, tendem a apresentar: a) maior concentração de depósitos químicos; b) possuir as cavidades com as maiores dimensões; c) permitir as maiores taxas de perdas geoquímicas locais. Registra-se que embora não seja regra, as tendências apresentadas ocorrem e foram levantadas através das observações em campo. Neste contexto, os dados das taxas de cargas catiônicas dissolvidas permitem a ampliação da interpretação dos aspectos associados à formação das feições endocársticas na área pesquisada.

Barreto (2012) analisa a concentração de carga catiônica dissolvida e apresenta que as maiores taxas de dissolução de cátions são, respectivamente, de Si, Na e Ca. Esses dados permitem constatar que apesar dos minerais compostos por Si serem considerados resistentes à dissolução, os índices de dissolução do Si na área de estudo são significativos. As concentrações de Ca

dissolvidos também merece destaque, uma vez que há ausência de rochas carbonáticas na área (Barreto, 2012).

As correlações entre taxas de cátions dissolvidos (Barreto, 2012), os resultados obtidos na petrografia das lâminas delgadas e as informações de composição dos depósitos químicos permitem a ampliação das interpretações. Os dados EDS linha dos espeleotemas registram concentrações elevadas de Si, principalmente na Gruta Extração e as taxas de Si e Ca reprecipitados apresentam qualitativamente os maiores índices. Nesse sentido, observa-se que o feldspato identificado nas lâminas petrográficas provavelmente equivale a feldspato cálcico, cuja maior concentração ocorre nos ortoconglomerados de matriz sericítica (36%). Essa camada estratigráfica, por sua vez, foi identificada no interior da Gruta Extração, o que justifica os dados verificados na composição química dos espeleotemas. Assim, esses dados reforçam a afirmação segundo a qual a dissolução de feldspatos e mica ocorre inicialmente, enfraquece as ligações químicas, facilita a ação química da água e permite a formação dos primeiros condutos que dão origem às cavidades. Esse fato também justifica a projeção horizontal, área e volume serem maiores nas cavidades que apresentam contato entre quartzitos monomíticos e conglomerados.

A interpretação dos dados secundários e os resultados obtidos comprovam que os teores de sílica dissolvidos e lixiviados são provenientes do Si presente na estrutura dos feldspatos e micas e também da sílica amorfa. Essa afirmação é reforçada pela análise química geral e qualitativa dos depósitos químicos e por Martini (1979, 1984) e Urbani (1986b), que afirmam que a solubilidade da sílica amorfa é uniforme com condições ambientais de pH entre 3 e 7, sendo essa a condição hidrogeniônica comum de regiões tropicais úmidas, como a área de estudo. Portanto, a ocorrência de feições endocársticas na área de estudo está relacionada a um conjunto de fatores, sem se restringir exclusivamente a apenas um único condicionante. A análise das variáveis¹ interpretadas ao longo deste trabalho permite a verificação da relação entre os fatores envolvidos na formação das geoformas, assim como a elaboração da síntese de formação das cavidades na região SE de Diamantina.

¹ As variáveis interpretadas são: composição litológica, organização estratigráfica, direção e mergulho dos planos de fratura, foliação, xistosidade e acamamento, compartimentação geomorfológica e gradiente de relevo associadas à distribuição espacial e projeção horizontal de cavidades e interrelacionados com dados secundários de taxas de denudação geoquímica (Barreto, 2012).

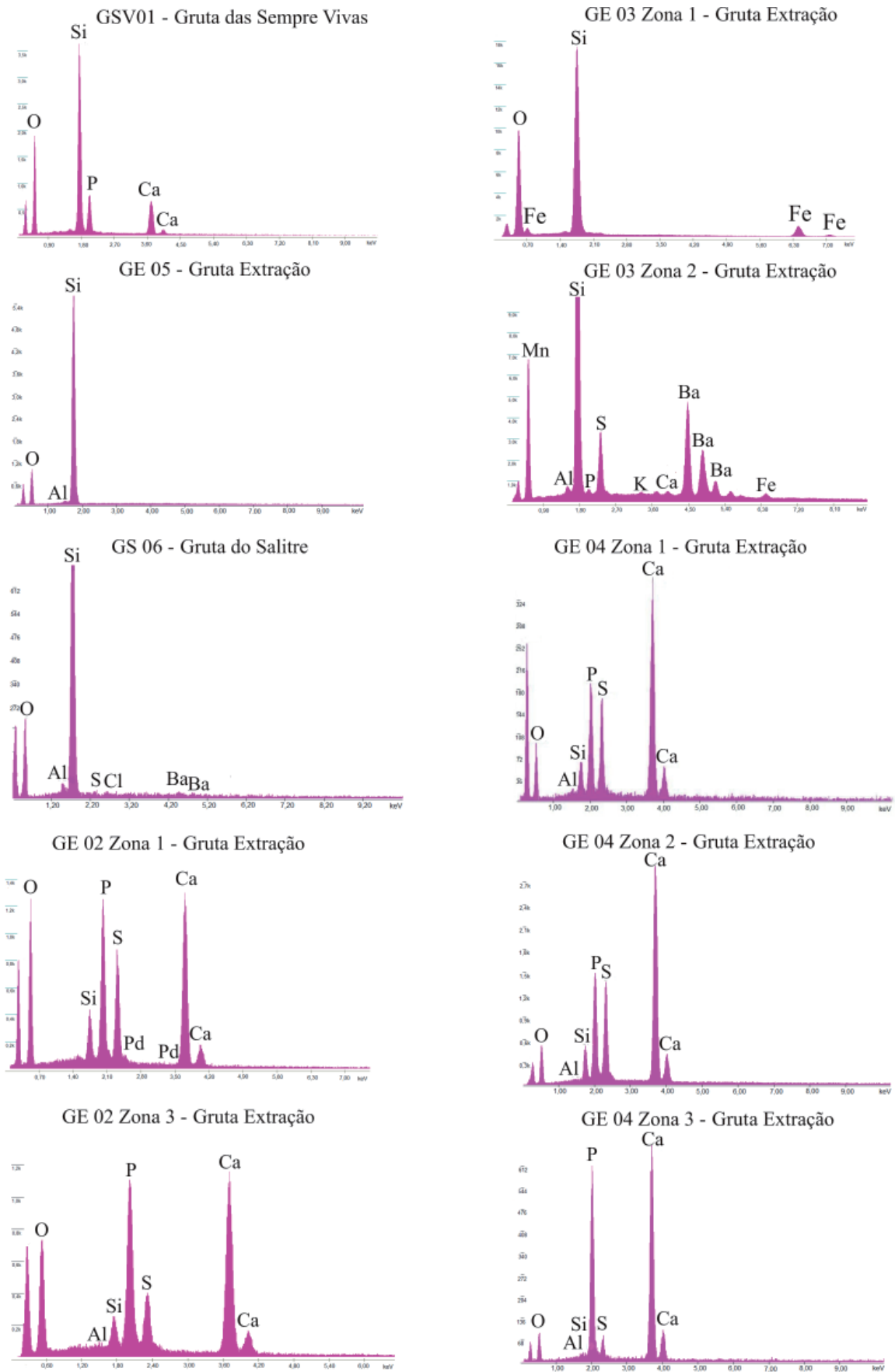


Figura 7 - Concentração química geral nos depósitos químicos.

Síntese das Fases de Formação das Cavidades na Região SE de Diamantina

As principais fases de formação das cavidades na área pesquisada inclui um conjunto de processos (Figura 8). Estima-se que a água infiltra pelas falhas e fraturas da rocha, penetra os maciços e também escoa superficialmente aproveitando a declividade local do relevo. Ao penetrar o maciço a água reage com os minerais que compõem a rocha e dissolve os elementos químicos presentes ($Ca > K > Na > Si$). Esse processo ocorre preferencialmente ao longo dos planos de xistosidade, foliação e acamamento da rocha e origina os primeiros espaços vazios que dão origem às cavidades. Em am-

biente superficial os princípios de reação química são os mesmos e acompanha também as discontinuidades litológicas (falhas, fraturas, xistosidade, foliação e acamamento) e originam às feições exocársticas.

No ambiente natural subterrâneo após esse processo inicial, há a formação de material residual alterado (areia). Esse material residual é removido pelo fluxo hídrico, favorecido também pela topografia declivosa. Assim, nas áreas com maior gradiente de relevo o fluxo hídrico tende a ter maior velocidade e permitir a remobilização dos grãos alterados. Além da remoção dos grãos alterados, processos de abatimento por alívio de tensão contribuem para a ampliação volumétrica dos condutos (Figura 8).

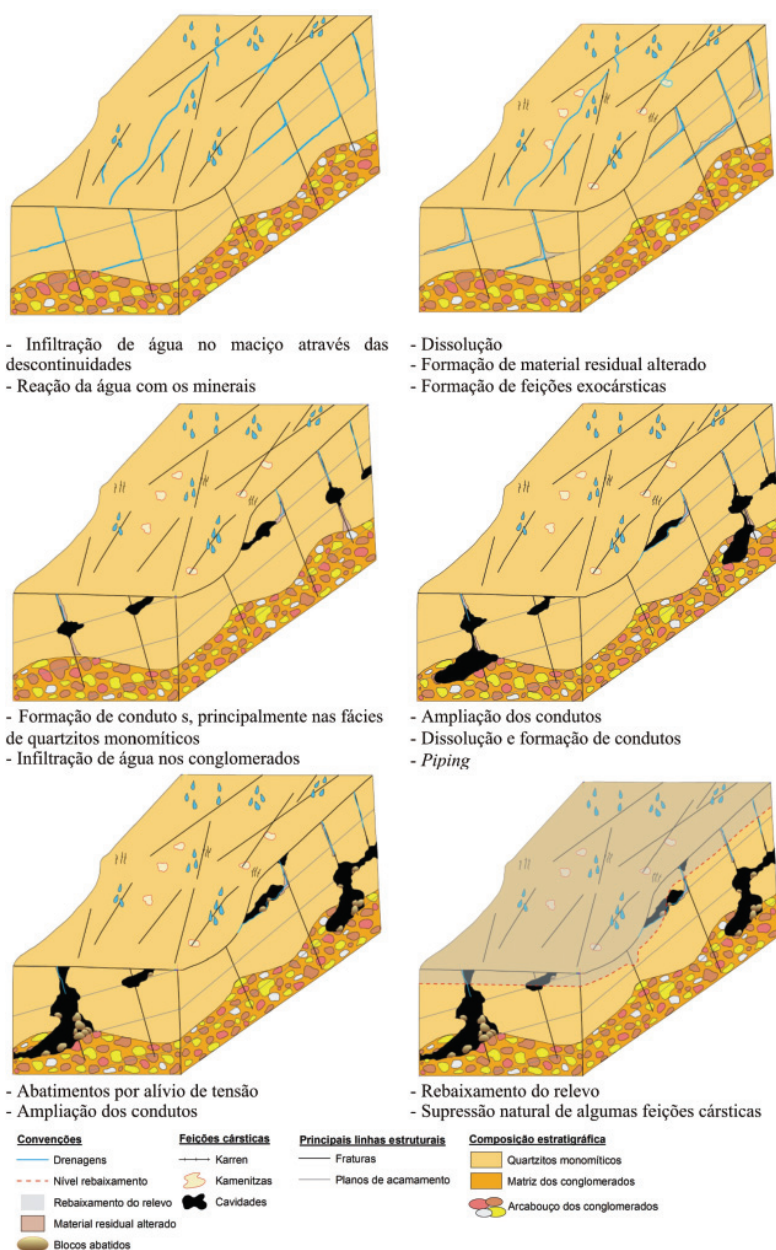


Figura 8 - Síntese das principais fases de formação das cavidades na região SE de Diamantina



Figura 9 - Arco em rochas quartzíticas na área de estudo

Quando o fluxo hídrico atinge as fácies litológicas de ortoconglomerados e paraconglomerados o processo de dissolução tende a ser mais intenso se comparado ao que ocorre nos quartzitos monomíticos. Isso ocorre devido à composição química e granulométrica da fácies de conglomerados, o que contribui para a ampliação dos condutos existentes. Assim, nas áreas onde o fluxo atingiu apenas a fácies de quartzitos monomíticos as cavidades possuem projeção horizontal menor (9,6 a 40,5m) e nos locais onde atinge as fácies de conglomerados a projeção horizontal amplia (216 a 593,5m). Concomitantemente, os processos de remobilização e abatimento continuam a ocorrer.

Nos últimos 1,5Ma o relevo na área de estudo e suas proximidades tiveram a taxa de rebaixamento de 4,84m/Ma (Barreto, 2012). Ou seja, pode-se calcular que nos últimos 10Ma o relevo local rebaixou 48,4m. Se considerarmos que a maioria das cavidades possui as menores projeções horizontais, levanta-se a hipótese de que com o rebaixamento do relevo nos últimos 10Ma, algumas cavidades foram naturalmente suprimidas (Figura 8). Essa afirmação é reforçada devido à presença de arcos na superfície que são indicativos da presença de paleocavidades (Figura 9).

Considerações Finais

A ocorrência de feições cársticas na área de estudo está relacionada a interação de elementos endógenos e exógenos na SdEM. Entre os fatores que inibem a formação das feições cársticas destaca-se o metamorfismo de baixo grau das rochas e a baixa porosidade primária, principalmente dos quartzitos monomíticos. Já os fatores que contribuem para a ocorrência e desenvolvimento das cavidades na área de estudo são precipitação, umidade relativa do ar e os fluxos hídricos pluvial, fluvial e hidrogeológico.

Constata-se que a litologia em si não corresponde ao principal fator responsável pelo desenvolvimento de feições cársticas na área investigada, entretanto, vários aspectos litológicos locais contribuem para a sua ocorrência. Os fatores litológicos favoráveis ao desenvolvimento das feições cársticas são: presença de poliminerais como mica (1 a 36%) e feldspato (1 a 8%); heterogeneidade granulométrica; foliação dos minerais; e espaço poroso nos conglomerados.

Verifica-se que as estruturas geológicas favorecem o desenvolvimento de feições cársticas, pois facilitam a infiltração e percolação hídrica no maciço. Conclui-se

que em termos de influência, primeiramente, os planos de fratura, seguido do mergulho do acamamento e planos de xistosidade são os fatores estruturais associados ao desenvolvimento das cavidades na região SE de Diamantina/MG. Afinal, a direção preferencial dos condutos (NE-SW) é concordante principalmente com a direção dos planos de fratura (NE-SW) e posteriormente com a direção e mergulho dos planos de acamamento (NW-SE). A presença de relevo com colinas convexas dissecadas, o gradiente de relevo local e a inclinação das vertentes facilitam a remobilização mecânica dos grãos alterados e, portanto, são fatores que contribuem para a formação das cavidades.

A análise química qualitativa dos depósitos químicos presentes em cavidades da área de estudo demonstram o predomínio de Si, seguido de Ca na concentração química nos espeleotemas amostrados. Assim, a presença de Si indica a ocorrência de sílica amorfa e a concentração de Ca, por sua vez, está associada à presença de feldspato cálcico na rocha matriz. Esses dados reforçam a afirmação segundo a qual a presença de políminerais (quartzo, mica, feldspato) e de vários elementos químicos (Si, Ca, Na, K) tendem a favorecer a formação de feições cársticas na área, uma vez que a dissolução de elementos químicos menos resistentes aos processos químicos permitem o processo inicial de desagregação de minerais e formação os primeiros espaços vazios. Esses espaços vazios se ocorrerem em área com presença de água líquida e relevo inclinado ou suavemente inclinado (condições presentes na área pesquisada) permitem a remobilização dos grãos alterados e a formação das cavidades.

A interpretação das taxas de denudação geoquímica e cátions dissolvidos (Barreto, 2012) e os resultados obtidos permite afirmar que os teores de sílica dissolvidos e lixiviados são provenientes do Si presente na estrutura dos feldspatos e micas e também da sílica amorfa. Assim, esses processos permitem compreender as fases envolvidas na formação das feições cársticas estudadas.

As fases de formação das cavidades na região SE de Diamantina/MG inclui um conjunto de etapas compostas por: a) infiltração de água no maciço através das discontinuidades; b) reação da água com os minerais; c) dissolução; d) formação de material residual alterado; e) formação dos primeiros condutos, principalmente nas fácies de quartzitos monomíticos; f) infiltração de água nas fácies de ortoconglomerados e paraconglomerados;

g) ampliação dos condutos; h) *piping* ou remoção do material alterado. Além disso, os processos de abatimentos por alívio de tensão contribuem para a ampliação volumétrica dos condutos.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Núcleo de Geoprocessamento da Fundação Estadual de Meio Ambiente (NG/ FEAM), ao Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais (PPGG/ IGC/ UFMG) e aos auxiliares de campo: Janice Souza, Valdinêy Amaral, Fabrício Lopes, Manuel Dimitri e Diego Rocha.

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA ABREU, P. A.; PFLUG, R. **The geodynamic evolution of the southern Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brazil**. ZBL Geology. Teil I. 1994.
- ANDRADES FILHO, C. O.; FONSECA, L. M. G. Lineamentos estruturais a partir de imagem Landsat TM e dados SRTM. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. **Anais...** INPE. Natal. 2009. p. 3151-3158.
- BARRETO, H. N. **Investigação da Influência dos Processos Denudacionais na Evolução do relevo da Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais – Brasil**. Tese (Doutorado em Geologia). DEGEO/UFOP. Ouro Preto. 2012.
- BRICHTA, A.; PATERNOSTER, K.; SCHÖLL, W, U.; TURINSKY, F. Die Gruta do Salitre bei Diamantina, Minas Gerais, Brasilien, Kein., Einsturzloch". **Zeitschrift für Geomorphologie**. n.24. v.2. Berlin: Stuttgart. p.236-242, Juni, 1980.
- CARTELLE, C. **Tempo Passado**. Mamíferos fósseis em Minas Gerais. Belo Horizonte: Palco. 1994, 132p.
- CORRÊA NETO, A. V. Speleogenesis in Quartzite in Southeastern Minas Gerais, Brazil. **Speleogenesis**. v.1. 2000. p. 452-457.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISA MINERAL/ CIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – DNPM/ CPRM. **Fotografias Aéreas** 382, 383, 384 e 385. In: DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISA MINERAL/ CIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – DNPM/ CPRM. Projeto Serra do Espinhaço. Obra 12. Folha 2423. Faixa 8, escala 1:25.000. 1979.

- FABRI, F. P. **Estudo das Cavernas Quartzíticas da Região de Itambé do Mato Dentro, Serra do Espinhaço Meridional, MG.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Belo Horizonte: IGC/UFMG. 2011. 179p.
- GALÁN, C. Disolución y genesis del karst en rocas carbonáticas y rocas síliceas: un estudio comparado. **Munibe**. v.43. 1991. p.43-72.
- HARDT, R. **Da Carstificação em Arenitos. Aproximação com o Suporte de Geotecnologias.** Tese (Doutorado em Geografia e Docteur em Géologie). Rio Claro: Universidade Estadual Paulista. Université de Rouen. 2011.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBio. Plano de Manejo: **Parque Nacional Serra do Cipó e Área de Proteção Ambiental Morro da Pedreira.** Brasília: ICMBio. 2009.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Estação Climática de Diamantina – MG.** Brasília. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 25/08/2012.
- KARMANN, I.; SANCHEZ, L. E. Distribuição das Rochas Carbonáticas e Províncias Espeleológicas do Brasil. **Espeleotema**. n. 13. 1979. p. 105-168.
- KÖHLER, H. C. **Geomorfologia cárstica na região de Lagoa Santa – MG.** São Paulo. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade de São Paulo. 1989. 113p.
- LOPEZ VERGARA, M. L. **Manual de Fotogeologia.** 2ªed. ver. aum. Madrid: J. E. N. Publicaciones Cientificas de la Junta de Energia Nuclear. 1978.
- MARTINI, J. E. J. Karst in Black Reef Quartzite Near Kaapsehoop, Eastern Transvaal. **Annals of Geological Survey**. v.13. 1979. p. 115-127.
- MARTINI, J. **Rate of Quartz Dissolution and Weathering of Quartzite.** The Boletín of the South Africa: Speleological Association. v. 25. 1984.
- MARTINI, J. Dissolutin of Quartz and Silicate Mineral. In: National Speleologia Society. **Speleogenesis Evolution of Karst Aquifers.** Huntsville/ Alabama: National Speleological Society/ USA. 2000. p. 171-173.
- NOGUEIRA, J. L. Q.; FELINTO, J. I. P. **Mapeamento Geológico do Distrito Diamantífero de Extração.** Diamantina: Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Centro de Geologia Eschwege. 1982.
- OLIVEIRA, B. S. **A palynological record of late Quaternary vegetation na climatic change in southeastern Brazil.** Dissertação. Ohio: Ohio State University. 1992. 134p.
- ROBAINA, L. E. S.; BAZZAN, T. Feições Cársticas em Rochas Siliciclásticas no Oeste do Estado do Rio Grande do Sul – Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 9. n.2. 2008. p.53-64.
- RODET, M. J.; RODET, J.; WILLEMS, L.; POUCKET, A.; NASCIMENTO, S. **Geoarqueologia do Parque Estadual do Rio Preto, Minas Gerais, Brasil.** Géoarchéologie du Parc Naturel IEF du Rio Preto, Minas Gerais, Brésil. France: Centre Normand d’Estude du Karst et dès Cavités du Sous-sol. 2009, 59p.
- SAADI, A. A Geomorfologia da Serra do Espinhaço de Minas Gerais e de suas margens. **Geonomos**. n. 3, v. 1. 1995. p. 41-63.
- SILVA, S. M. **Carstificação em Rochas Siliciclásticas: estudo de caso da Serra do Ibitipoca, Minas Gerais.** Dissertação [Mestrado em Geologia]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte. 2004. 157p.
- SILVA, M. C. R. **Litofaciologia e Sistemas Depositionais da Formação Sopa-Brumadinho na Campo Diamantífero de Extração, Diamantina – MG.** Dissertação [Mestrado em Geologia]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte. 2010. 227p.
- SZCZERBAN, E.; URBANI, F. Carsos de Venezuela. Parte 4: Formas carsicas em areniscas precambrianas del território federal Amazonas y estado Bolivar: **Boletín de La Sociedad Venezolana de Espeleologia**. v. 5. 1974. p.27-54.
- UAGODA, R. E. S. **Reconhecimento Geomorfológico de Relevo Cárstico em Rochas Quartzíticas: Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santana, Médio Vale do Rio Paraíba do Sul.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Rio de Janeiro: UFRJ/ IGEO/PPGG. 2006.
- UAGODA, R.; COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S. Morfologia de Depressões Fechadas em Domínio Cárstico-Quartzítico na Bacia do Ribeirão Santana/MG: datações absolutas iniciais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 10. n.2. 2009. p. 91-98.
- URBANI, F. Uma revision preliminar sobre El desarrollo de cavidades y otras formas relacionadas em las rocas cuarcíferas del Grupo Roraima, Guayana Venezolana. **Boletín de Geociencias**. n. 7. Caracas: Universidad Central de Venezuela. 1986a. p.10-15.
- URBANI, F. Notas sobre el origen de las cavidades em rocas cuarcíferas precambrianas del Grupo Roraima, Venezuela. **Interciencia**. v. 11, n. 6. Caracas. 1986b. p. 298-300.
- VIEGAS, R. F. **Mapeamento Geológico em Escala 1:10.000**

do Distrito de Extração, Região SE de Diamantina, Minas Gerais. TCC de Geologia [Manuscrita]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. 2010.

WILLEMS, L. **Phénomènes karstiques em roches silicates non carbonates: cas des grès, des micaschistes, des gneiss et des granites en Afrique sahélienne et équatoriale.** Tese

(Doutorado em Ciências). Faculté des Sciences, Université de Liege. Liege (França). Defesa 2000. Volume 2006.

WILLEMS, L.; RODET, J.; POUCKET, A.; MELO, S.; RODET, M. J.; COMPÈRE, P.H.; HATERT, F.; AULER, A. A. **Karst in sandstones and quartzites of Minas Gerais, Brazil.** Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe. Belgium: Corunã. 33. 2008, p.127-138.