

Análise qualitativa da composição química de espeleotemas precipitados em cavidades em rochas siliciclásticas na região sudeste de Diamantina/mg

Fernanda Cristina Rodrigues de Souza
Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
Instituto Pristino
fernanda.geo.souza@gmail.com

André Augusto Rodrigues Salgado
Professor Associado da Universidade Federal de Minas Gerais -
UFMG
aarsalgadoufmg@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a composição química qualitativa de depósitos químicos presentes em cavidades desenvolvidas em rochas siliciclásticas na região sudeste de Diamantina/MG. Os procedimentos metodológicos incluíram revisão bibliográfica, trabalhos de campo, coleta e decalque de amostras de depósitos químicos, confecção de lâminas delgadas polidas, metalização das amostras com carbono (C) e análise EDS Linha e com Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Os resultados demonstram que os depósitos químicos estão presentes em todas as cavidades pesquisadas e ocorrem, especialmente, na forma de coralóides, crostas, pendentes, represas de sílica e escorrimentos. Seis amostras de depósitos químicos foram coletadas nas grutas Extração, Sempre Vivas e Salitre. Os trabalhos qualitativos com uso de MEV e EDS linha apontam variedades de elementos químicos, principalmente Ca, Si e Na. As imagens microscópicas das amostras indicam variações na concentração de minerais e a interpretação macroscópica indica diferentes espessuras nas camadas de deposição química. Esses dados obtidos associados à revisão bibliográfica permitem a discussão dos processos paleoambientais e apontam a ocorrência inicialmente de condições mais úmidas e posteriormente redução da umidade. As variações paleoclimáticas interferiram nos depósitos químicos e resultaram geralmente em redução da espessura das camadas nas bordas desses depósitos.

Palavras-chave: Composição Química de Espeleotemas; Serra do Espinhaço Meridional, Quartzitos; Cavidades; Paleoclima.

ABSTRACT

This paper aims to present the qualitative chemical composition of chemical deposits present in caves developed in siliciclastic rocks in the southeastern region of Diamantina/MG. The methodological procedures included a literature review, field work, sampling and decal of chemical deposits, preparation of polished thin sections, plating the samples with carbon (C) and EDX line analysis and Scanning Electron Microscope (SEM). The results show that the chemical deposits are presents in all studied caves and they occur, especially in the form of coralóides, crusts, pending, dikes silica and bleeding. Six samples were collected for chemical deposits in the caves Extração, Sempre Vivas and Salitre. Qualitative studies using SEM and EDX line indicate varieties of chemical elements, especially Ca, Si and Na. Microscopic images of the samples show variations in mineral concentration and the macroscopic interpretation indicates different thickness layers of chemical deposition. These obtained data associated with the literature review allow discussion of paleoclimatic processes and point initially the occurrence of wetter conditions and subsequently reducing humidity. Paleoclimatic variations probably interfered with chemical deposits and generally resulted in a reduction in the thickness of the layers at the edges of these deposits.

Keywords: *Chemical Composition of Speleothems; Serra do Espinhaço Meridional, Quartzite; Caves; Paleoclimate.*

INTRODUÇÃO

A identificação de cavidades em rochas não carbonáticas tem estimulado estudos voltados para as características específicas destes ambientes naturais subterrâneos. Os trabalhos sobre depósitos químicos em cavidades desenvolvidas em quartzitos são voltados, principalmente, para a identificação geral dos tipos existentes. A caracterização e análise química de depósitos químicos desenvolvidos em cavidades em rochas siliciclásticas foram realizadas em alguns estudos (WRAY, 1999; WILLEMS *et al.*, 2002; WILLEMS, 2006; CIOCCALE *et al.*, 2008; AUBRECHT *et al.*, 2011; DEVÈS *et al.*, 2012). Entretanto, na região sudeste de Diamantina/MG, inserida na Serra do Espinhaço Meridional este tipo estudo ainda não foi realizado sistematicamente.

Palmer (2009) define que uma variedade de depósitos acumulados nas cavidades são indicadores de condições ambientais passadas e esses depósitos podem ser os mecânicos e os químicos ou espeleotemas. A Portaria nº 887 de 15 de junho de 1990 do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais e Renováveis (IBAMA, 1990) define que os espeleotemas correspondem a deposições minerais em cavidades naturais subterrâneas que se formam, basicamente, por processos químicos. Em relação à gênese dos espeleotemas em rochas siliciclásticas, Wray (1997, 1999) afirma que diferentemente dos espeleotemas em calcita, a precipitação de opala não ocorre por liberação de CO₂, ocorre apenas por evaporação. Ou seja, a água concentrada em minerais precipita, evapora, deposita camadas de sílica amorfa e após a ocorrência de vários ciclos desses processos formam-se os depósitos químicos. O autor esclarece que a presença de quartzo, principalmente na base dos espeleotemas está associada à rocha matriz.

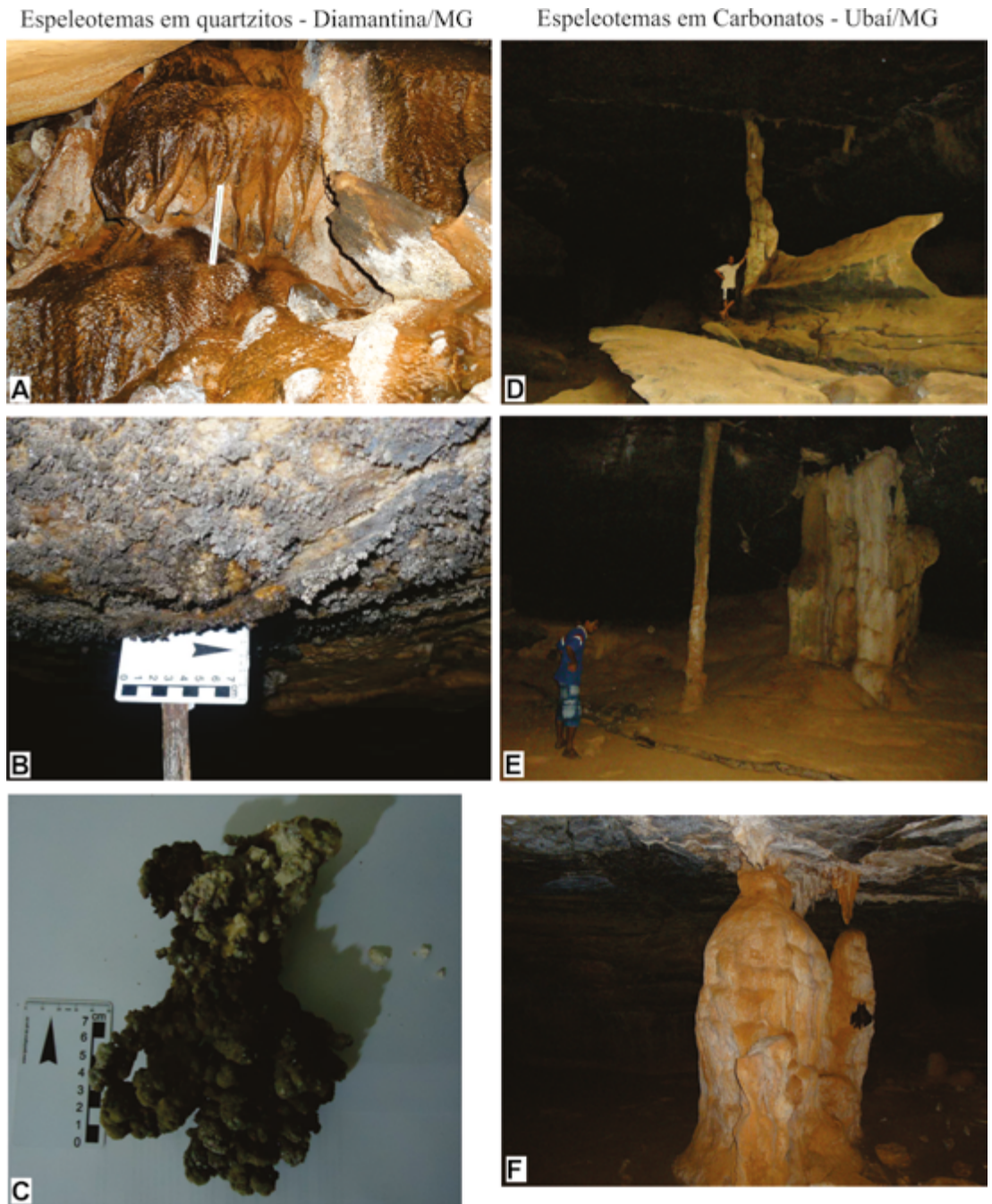
Através de difratometria de raio X e lâminas delgadas Fabri (2011) identificou apenas sílica presente na forma de quartzo e opala-A nas amostras de espeleotemas em cavidades quartzíticas da região de Itambé do Mato Dentro. Através de difração de raio X Aubrecht *et al.* (2011) identificam em amostras de estalagmites de cavidades em arenitos na Venezuela a presença de pitofilita, caolinita, quartzo e, em algumas camadas de deposição há goethita. Os autores argumentam que quartzo pode representar opala A, pois o pico localiza-se no ponto desse mineral. Devès *et al.* (2012) interpretam depósitos químicos com base em métodos de microanálises, autodiagnóstico de elementos radioativos e microespectrometria de fluorescência de raio X em amostras coletadas em cavidades do leste da Sibéria e observaram a presença principalmente de outros elementos nestas amostras como o Ca, U, Sr e Si.

Estudos sobre depósitos químicos de cavidades em rochas siliciclásticas que

utilizaram o MEV e EDS foram realizados apenas por Willems *et al.* (2002) na região de Camarões, África e por Willems (2006) na África Central. Nesses trabalhos a análise com MEV e EDS demonstra a presença de Al, Si, P, S, K e Ca. Observa-se a presença de material silicoso amorfo, que corresponde principalmente a camadas ricas em sílica, equivalente à opala A. As camadas de deposição são caracterizadas por alternância de camadas de Si e camadas contendo Si, Al, P e K. Zonas ricas em Ca e S são notáveis e corresponde a anidrita ou cristais de gipso cobrindo os microalvéolos.

A observação e análise de depósitos químicos originados nas cavidades podem auxiliar na caracterização dos espeleotemas e ampliar os conhecimentos sobre esses depósitos em cavidades não carbonáticas. A identificação de depósitos químicos, como coralóides, crostas, pendentes, escorrimentos e represas de sílica em cavidades desenvolvidas em rochas siliciclásticas na região sudeste (SE) de Diamantina – Serra do Espinhaço Meridional – estimulou a análise química qualitativa destas feições. Embora os depósitos químicos tenham dimensões pequenas se comparado aos desenvolvidos em rochas carbonáticas (Figura 1), eles registram que o processo de deposição mineral secundário ocorre e está ativo nas cavidades pesquisadas. Assim, este estudo tem como objetivo apresentar a composição química qualitativa de depósitos químicos originados em cavidades desenvolvidas em rochas siliciclásticas na região sudeste de Diamantina/MG.

Figura 1. Depósitos químicos originados em áreas de rochas carbonáticas (Ubaí/MG) e siliciclásticas (Diamantina/ MG).

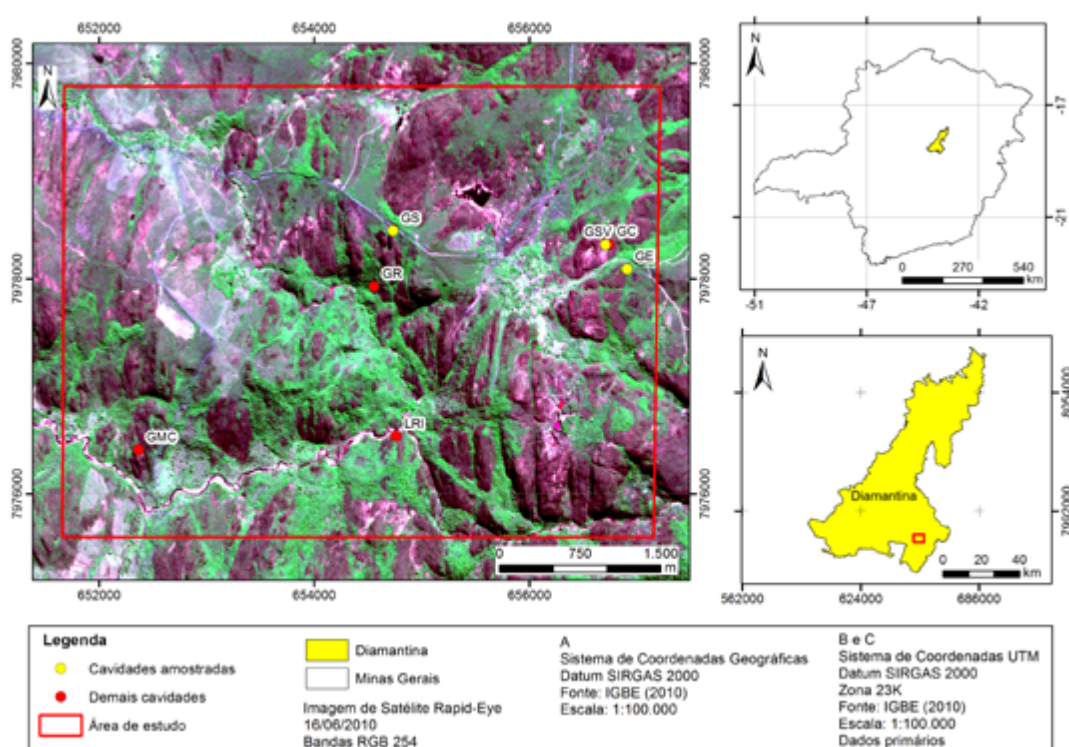


A) Represas de sílica e escorrimentos, B) coraloides; C) estalagtite; D) coluna e conjunto de espeleotemas; E) Salão composto por depósitos químicos em todo o piso, além da presença de escorrimentos e colunas; F) Salão marcado pela presença de vários espeleotemas, como escorrimentos na parede, estalagtites e coluna. Na escala da foto F, observa-se um morcego. Fotos: Os autores e Marcelo Almeida.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As cavidades (Gruta Extração, Gruta do Salitre e Gruta das Sempre Vivas) onde foram realizadas as coletas de depósitos químicos estão localizadas na região SE de Diamantina/MG (Figura 2). A área de estudo está inserida nas unidades geológicas do Supergrupo Espinhaço, Formação Sopa-Brumadinho. O contexto estratigráfico local é composto por quartzito monomítico, ortoconglomerados de matriz sericítica e metaconglomerados de matriz quartzítica. Além disso, destaca-se a presença de corpos intrusivos de rochas básicas e metabásicas na área pesquisada (NOGUEIRA; FELINTO, 1982; VIEGAS, 2010; SILVA, 2010).

Figura 2 - Localização da área de estudo.



Cavidades amostradas: GE: Gruta Extração, GS: Gruta do Salitre e GSV: Gruta das Sempre Vivas. **Demais cavidades:** GR: Gruta da Ressurgência, GMC: Gruta Monte Cristo, LRI: Lapa Ribeirão do Inferno, GC: Gruta Curralinho

Geomorfologicamente a área está inserida na Serra do Espinhaço, que segundo Saadi (1995), constitui o conjunto de terras altas, de direção geral norte-sul e convexidade orientada para oeste. Essa unidade geomorfológica, que também pode ser definida pelo termo “planalto”, representa o divisor hidrográfico entre as bacias do centro leste brasileiro e a do Rio São Francisco (SAADI, 1995). A área investigada está inserida na porção central do Planalto Diamantina e caracteriza-se pela ocorrência de relevo ondulado e suave ondulado.

O clima na área de estudo é influenciado pelo fator orográfico e é classificado como Cwb (Mesotérmico), conforme a classificação de Köppen (1948). O clima é caracterizado por apresentar duas estações bem definidas: chuvosa e seca. A temperatura média anual corresponde entre 18°C e 19°C e a precipitação média anual equivale a 1.400 mm (INMET, 2012). Nesse contexto geográfico há a ocorrência das cavidades onde os depósitos químicos foram coletados (Figura 3).

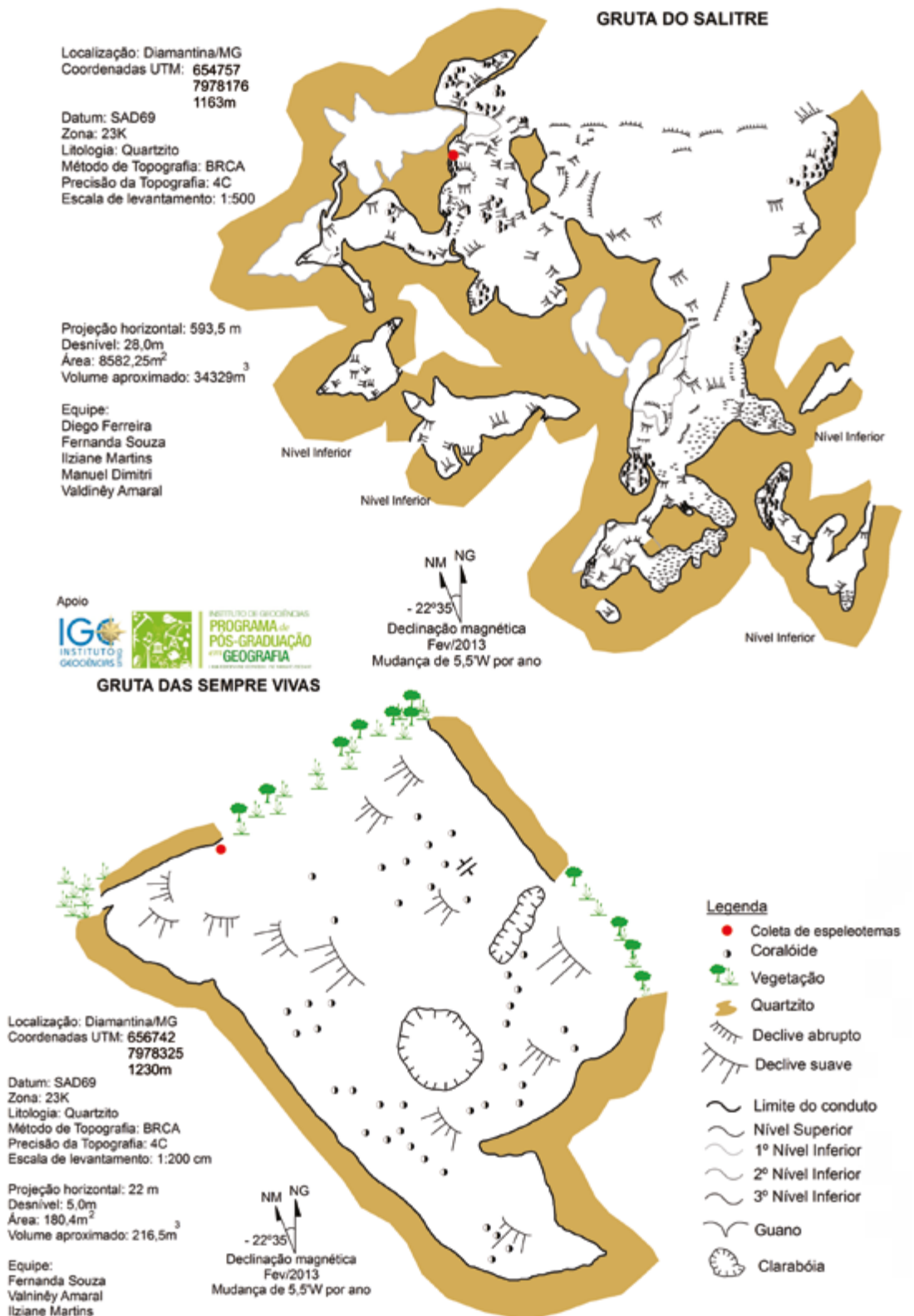
Figura 3: Gruta Extração e pontos de coleta das amostras de espeleotemas nesta cavidade.



Conforme Souza e Salgado (2014), a Gruta das Sempre Vivas localiza-se em área de ruptura de declive, é caracterizada por teto e piso suavemente inclinados, seu desenvolvimento acompanha o caimento da vertente e é recorrente a presença

de coraloides e escorrimentos nesta cavidade (Figura 4). A Gruta Extração possui desenvolvimento da cavidade é concordante com o caimento da vertente, caracteriza-se pela presença de quatro entradas, desenvolve-se próximo à ruptura de declive, possui teto e piso suavemente inclinados. Essa cavidade apresenta três níveis de desenvolvimento inferiores e um nível superior em relação ao conduto principal. Assim, essas características de desenvolvimento em diferentes níveis indicam mudanças no nível e na velocidade hidráulica durante a formação da cavidade.

Figura 4: Gruta do Salitre e Gruta das Sempre Vivas e pontos de coleta das amostras de espeleotemas nestas cavidades.



Constata-se que a Gruta do Salitre possui desenvolvimento predominantemente horizontalizado e demonstra diferentes níveis de desenvolvimento. Destaca-se que alguns condutos apresentam desenvolvimento inativo ou condutos fósseis e os condutos na porção sudoeste registram processos ativos (Figura 4) (SOUZA; SALGADO, 2014).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos são compostos por algumas etapas apresentadas por Souza e Salgado (2014), as quais incluem revisão bibliográfica, trabalhos de campo, coleta de amostras de depósitos químicos, confecção de lâminas delgadas polidas, metalização das amostras com carbono (C) e análise EDS Linha e com Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Além disso, este estudo acrescenta a coletada de seis amostras para a análise química, sendo uma amostra na Gruta das Sempre Vivas, quatro na Gruta Extração e uma na Gruta do Salitre, as quais incluem escorrimentos e estalagtites (Figura 5). A interpretação ocorreu conforme os seguintes critérios: a) características macroscópicas de deposição mineral; b) distribuição qualitativa dos principais elementos químicos em projeção linear (EDS Linha).

Todas as coletas 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 informações sobre o tipo de deposição química, a quantidade e a cavidade onde se localizam estão especificadas na Tabela 1.

Tabela 1: Identificação dos tipos de amostras selecionadas para análise química

Quantidade	Tipo de amostra	Cavidade	Nº das amostras
01	Escorrimento	Gruta das Sempre Vivas	GSV01
03	Estalagtites	Gruta Extração	GE02, GE03 e GE04
01	Escorrimento	Gruta Extração	GE05
01	Escorrimento	Gruta do Salitre	GS06

O número amostral selecionado para análise química justifica-se por considerá-lo a quantidade representativa para a interpretação em relação à área estudada e ao número de cavidades caracterizadas. A Gruta Extração concentra o maior número de amostras interpretadas, pois esta cavidade possui a maior variedade de espeleotemas e os depósitos químicos com as maiores extensões entre as cavidades em quartzitos

identificadas até o momento na região.

As amostras foram submetidas ao serviço de corte e laminação no Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto (Degeo/UFOP), onde foram confeccionadas lâminas polidas delgadas. Após o corte, realizou-se decalque das amostras coletadas, segundo suas características macroscópicas e com o auxílio de lupa 20x de aumento. Procurou-se durante o decalque manter a posição de como a amostra foi depositada. Em seguida, as lâminas foram descritas no microscópio óptico no Centro de Pesquisa Manuel Teixeira Costa (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) (SOUZA; SALGADO, 2014).

As lâminas foram preparadas para análise no MEV e esta etapa envolveu a metalização e evaporação de carbono. Este procedimento é realizado para prevenir a acumulação de campos elétricos estáticos na amostra devido à irradiação elétrica que ocorre durante a produção da imagem microscópica. Além disso, a metalização é importante porque mesmo quando há condução elétrica acima do suficiente, melhora o contraste, resolução e qualidade da imagem. Este procedimento foi realizado no Centro de Microscopia da Universidade Federal de Minas Gerais (CM/ UFMG).

Figura 5: Amostras coletadas para análise química



A análise microscópica e 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). Além disso, foram detectados os elementos químicos por meio de raios X através de EDS, o que possibilitou a análise da composição química de forma qualitativa (SOUZA; SALGADO, 2014). Dessa forma, com o MEV FEG Quanta 200 e EDS realizou-se: a) interpretação de imagens das camadas de deposição química, b) análise qualitativa da distribuição de cada elemento químico na projeção linear em diferentes camadas de deposição.

As imagens foram geradas em diversas escalas, conforme as características

particulares de cada amostra; e o aumento oscilou de 100x a 15000x, de acordo com o grau de detalhamento selecionado. As amostras foram submetidas à tensão elétrica (HV) de 15,0 kV ou 30 kV. A investigação da composição química qualitativa geral das amostras, por sua vez, 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 tabulados, estruturados e interpretados para apresentar as características das deposições químicas.

RESULTADOS

Características Macroscópicas

O Quadro 1 mostra a relação de amostras de depósitos químicos analisados, bem como suas características morfométricas. Destaca-se que em geral as amostras possuem espessura média de 5cm, a extensão varia de 4,0 a 19,0cm e a largura oscila entre 6,0 e 15,5cm.

Quadro 1: Depósitos químicos selecionados para análise

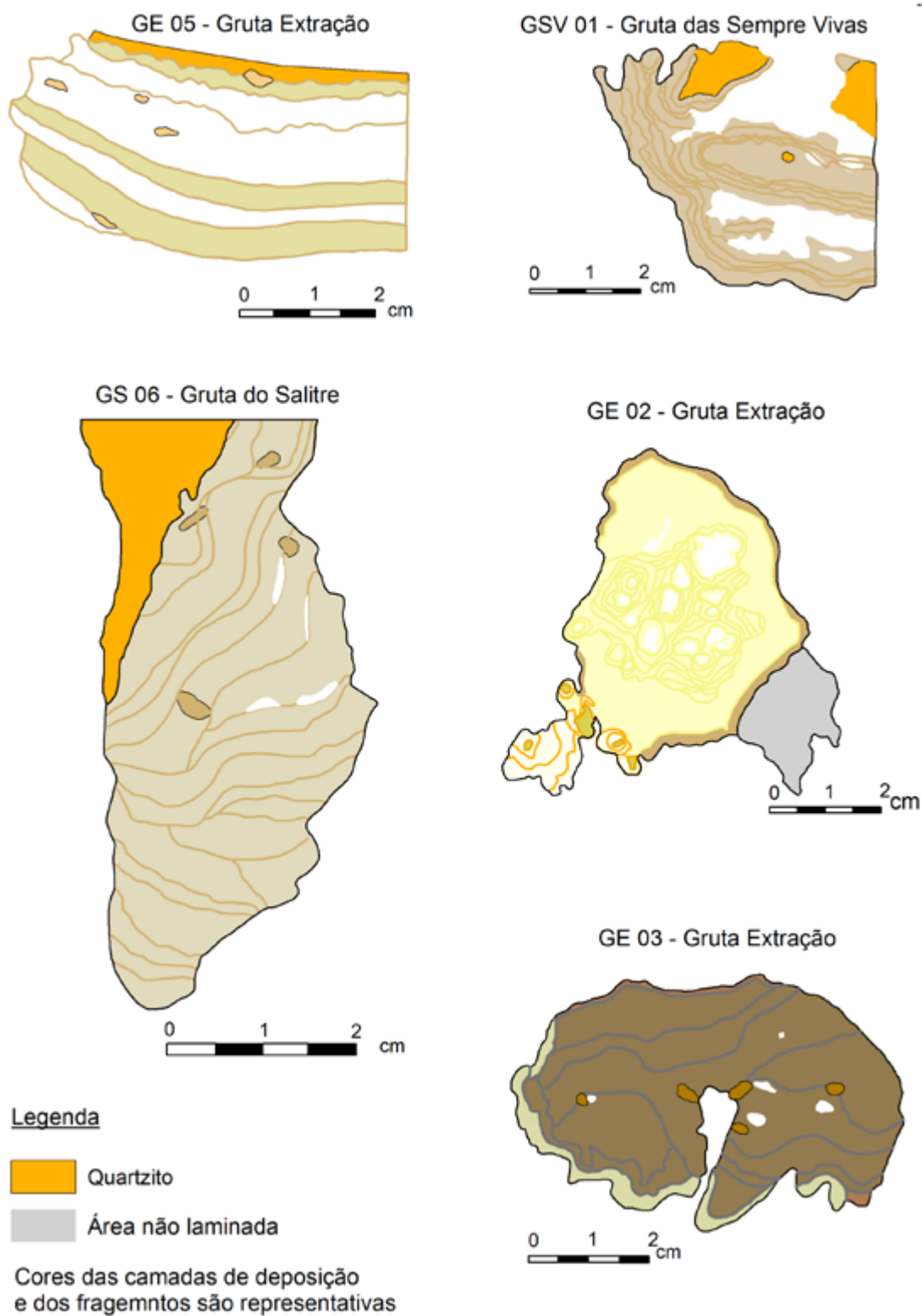
Nº da amostra	Tipo de amostra	Cavidade	Características morfométricas		
			Extensão (cm)	Largura (cm)	Espessura (cm)
GSV01	Escorrimento	Gruta das Sempre Vivas	16,5	6,5	4,3
GE02	Estalagtite	Gruta Extração	8,7	6,5	6,0
GE03	Estalagtite	Gruta Extração	4,0	6,0	5,0
GE04	Estalagtite	Gruta Extração	16,0	7,0	6,0
GE05	Escorrimento	Gruta Extração	19,0	15,5	3,0
GS06	Escorrimento	Gruta do Salitre	12,5	10,8	3,0

A amostra da Gruta das Sempre Vivas possui camadas de deposições químicas finas e onduladas. Os escorrimentos da Gruta Extração e Gruta do Salitre possuem camadas de reprecipitação química mais espessas (0,5 a 1,5cm) em relação às camadas da Gruta das Sempre Vivas. A observação macroscópica indica variações nas espessuras das camadas de deposição. Essas características podem indicar a ocorrência de períodos úmidos que favorecem maior precipitação de minerais e posteriormente ocorreram quedas nas taxas de umidade, o que ocasionou a redução na espessura das camadas de deposição química.

As estalagtites são espeleotemas da Gruta Extração e apresentam características macroscópicas diferentes. Registra-se que cada amostra possui cor e tamanhos

diferentes, as camadas de deposição, em geral, são finas e onduladas. Essas deposições possuem tonalidades de cor da parte central mais claras (GE02 e GE04) ou mais escuras (GE03) que as camadas das extremidades. Destacam-se também diferentes características na relação entre concentração mineral e espaços porosos. As informações disponíveis não permitem, até o momento, o levantamento de hipóteses que explicam as diferenças nas características macroscópicas. A Figura 6 permite a visualização de algumas amostras e suas características.

Figura 6: Decalque das amostras de deposição química



As características físicas dos depósitos químicos foram observadas em

microscópico óptico (Quadro 2). Nesse microscópio com aumento de até 10x foram observados minerais de forma amorfa e alguns fragmentos de quartzo e foi possível visualizar com maiores detalhes as camadas de deposição. Observa-se que, na maioria dos casos, as camadas de deposição dos escorrimentos são mais espessas (0,2 a 0,5mm) que as camadas das estalagmites (0,1 a 0,4mm). Com base nas características físicas observadas no microscópio óptico foram selecionadas zonas para interpretação química no MEV FEG Quanta 200 e EDS. As zonas de análise foram selecionadas conforme variação na tonalidade de cores das deposições e principalmente em variações na relação entre concentração do precipitado químico e espaços porosos. A quantidade de zonas para análise microquímica está explícita no Quadro 2 e destaca-se que nos escorrimentos foram selecionados uma zona (GSV01, GE05 e GS06) e nas estalagmites foram interpretadas duas (GE03) ou três (GE02 e GE04) zonas em cada amostra.

Quadro 2: Características físicas das amostras observadas em microscópio óptico

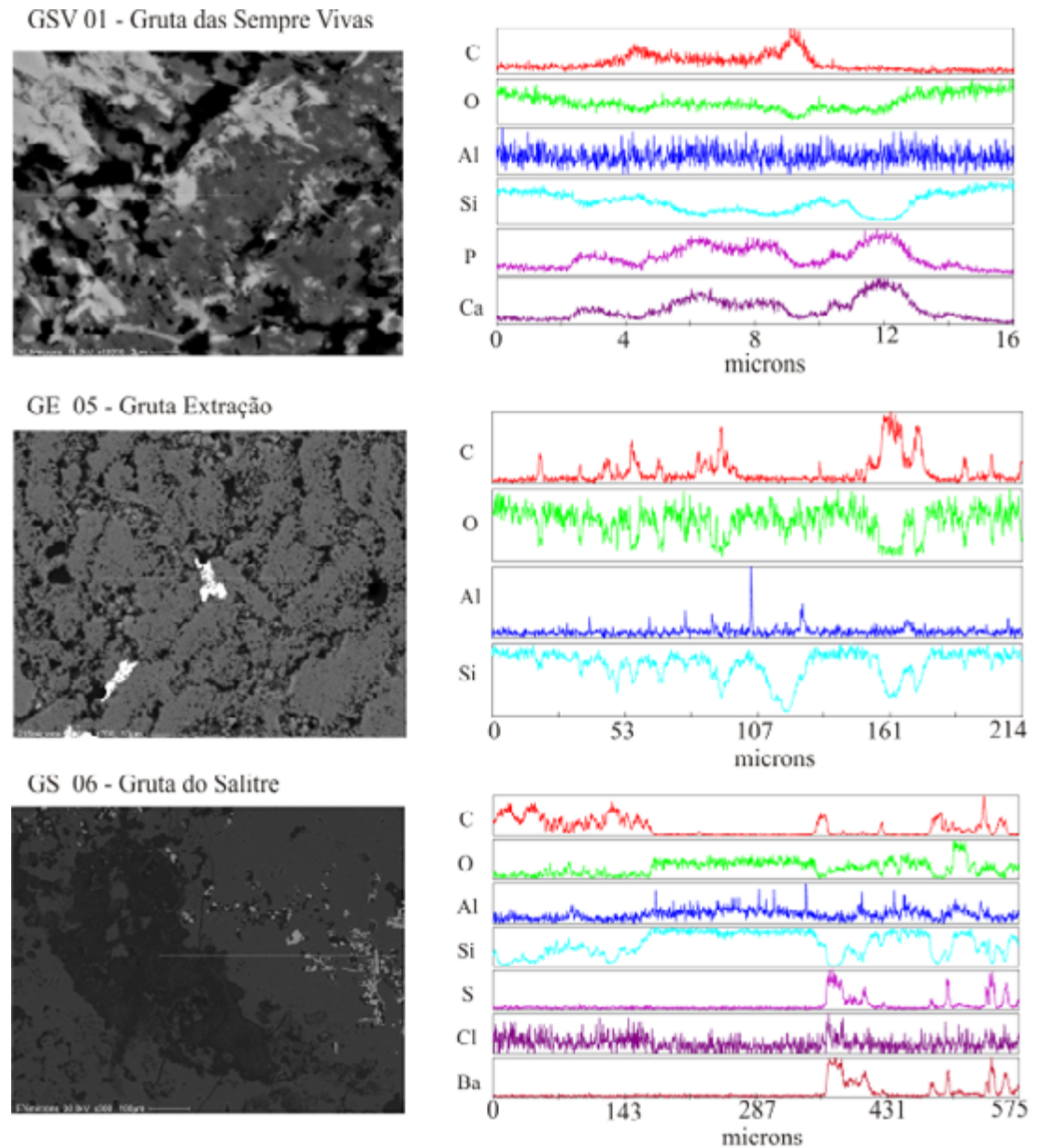
Espeleotemas	Nº da amostra	Observação Microscópio óptico	Zonas de análise microquímicas
Escorrimentos	GSV01	Camadas de deposição 0,2mm Presença de quartzo com camadas de reprecipitação química	1
	GE05	Homogeneidade da composição mineral; Espaços porosos menores de 0,2mm	1
	GS06	Homogeneidade na composição mineral Camadas de 0,5mm	1
Estalagmites	GE02	Presença de material amorfo com tons de cinza diferentes.	3
	GE03	Camadas espessas (1mm) Presença de mineral fino e alongado entre camadas.	2
	GE04	Precipitação mineral em camadas Presença de poros 0,2 a 0,4mm.	3

Distribuição dos Elementos Químicos nas Amostras

A Figura 7 mostra como os principais elementos químicos identificados estão distribuídos nas amostras de escorrimentos da Gruta das Sempre Vivas (A), Gruta Extração (B) e Gruta do Salitre (C). A amostra da Gruta das Sempre Vivas (GSV01) apresenta distribuição química de Si e O na lateral esquerda, posteriormente tem-se acréscimo de Ca, P e C e na parte direita da linha há maior concentração de Si e O. O escorrimento da Gruta Extração (GE05) apresenta predomínio em geral de Si e O e pontualmente há concentração de C. O escorrimento da Gruta do Salitre (GS06),

possui maior concentração de Si e C na porção esquerda da linha, na parte central há de Si e O e a lateral direita há predomínio de Si, O, Ba, Ca e S.

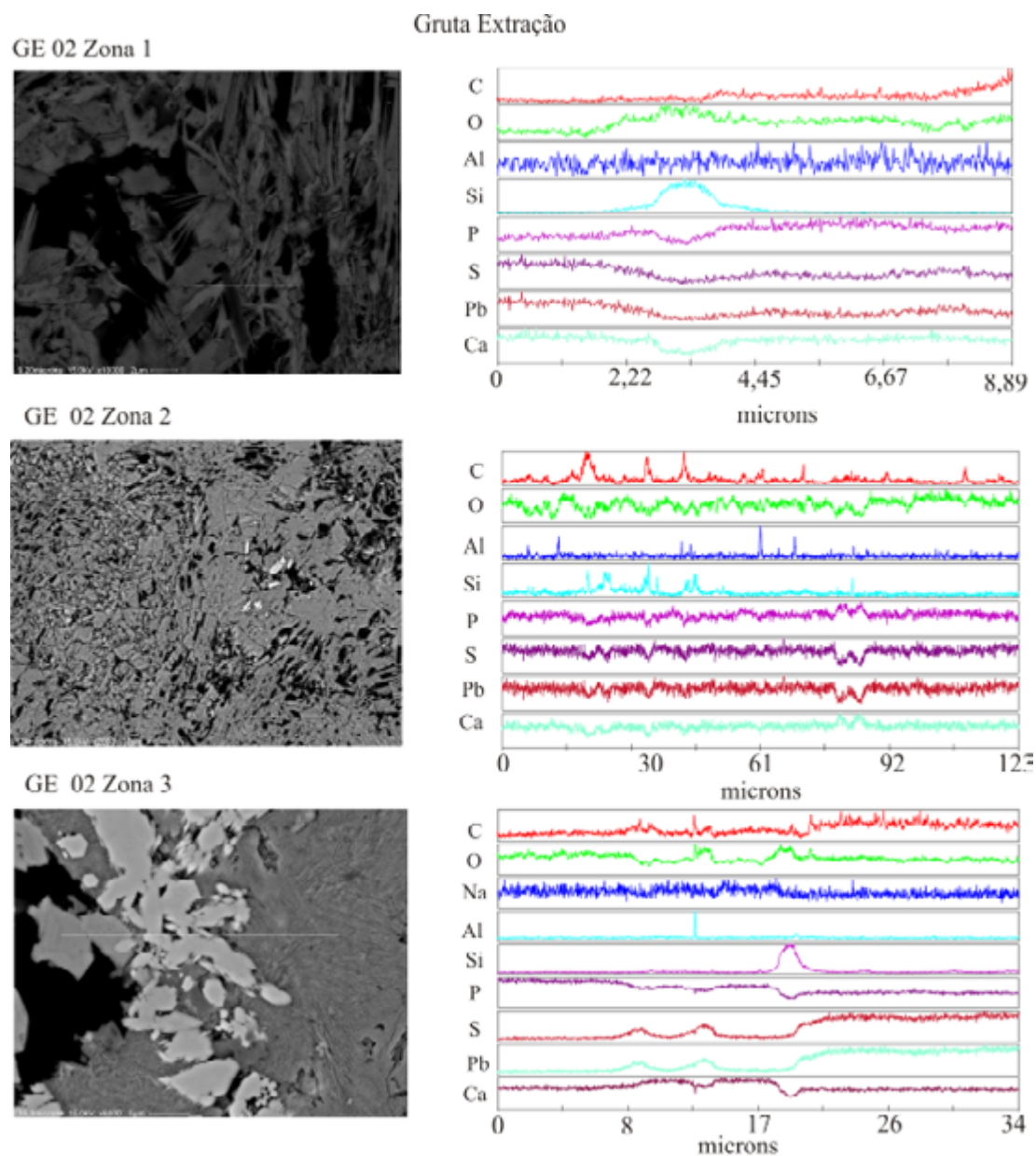
Figura 7: EDS Linha. Distribuição química qualitativa em escorrimentos



A amostra GE02 possui nas três zonas com variedade de elementos químicos. A zona 1 apresenta um pico pontual na porção central da amostra composto por Si e O, na porção esquerda concentra-se P, S, Pb e Ca e à direita identifica-se, principalmente, P, C, S e Ca. Destaca-se que no ponto com concentração de Si e O não é identificado mineral de quartzo e, possivelmente corresponde à sílica amorfa. A zona 2 possui distribuição homogênea dos elementos químicos, a composição predominante é O, mas

também identifica-se C, Na, Al, Si, P, S, Pb e Ca. Na zona 3 identifica-se especialmente P e Ca na lateral esquerda e S, Pb e C na porção direita. Além disso, observa-se a presença de Na, Al e Si em toda a amostra da zona 3 (Figura 8).

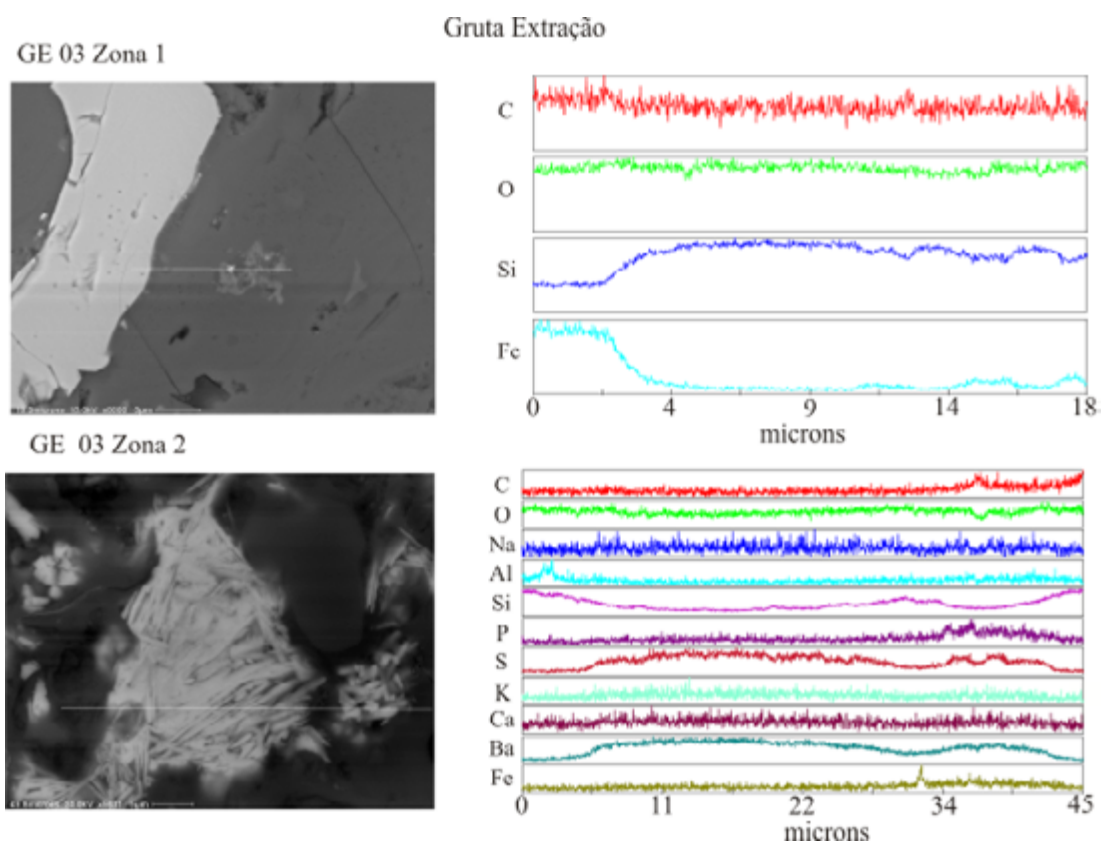
Figura 8: EDS Linha. Distribuição química qualitativa nos depósitos químicos da Gruta Extração – Amostra GE 02.



As estalagmites da Gruta Extração apresentam variações na distribuição dos elementos químicos na amostra. A amostra GE03 apresenta duas zonas principais. A zona 1 possui principalmente Fe, a porção direita da linha é composta basicamente de Si e também observa-se O e C em baixas concentrações em todas as porções da amostra. A zona 2, por sua vez, é composta por uma variedade de elementos químicos,

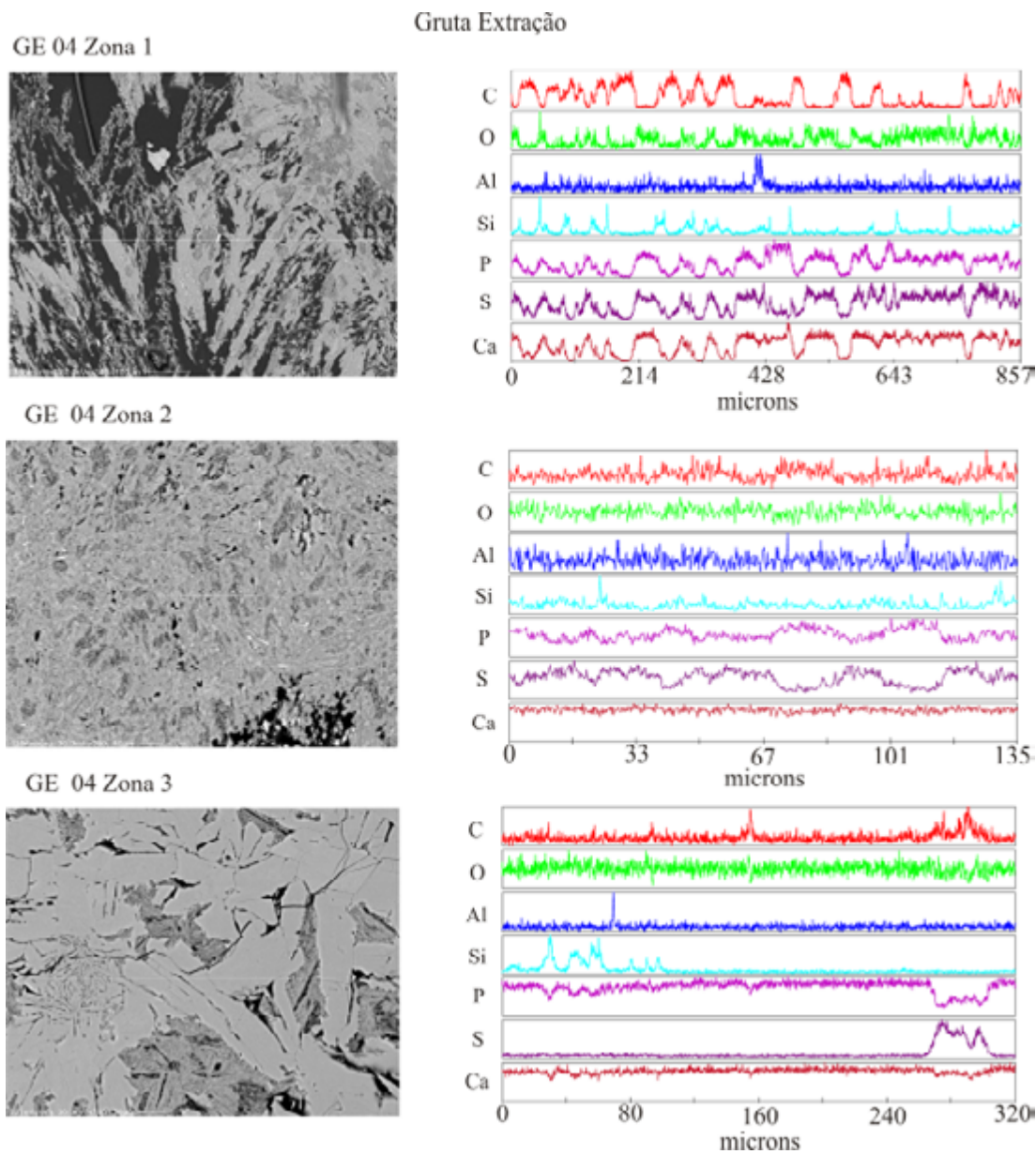
que inclui C, Si, Al, Ba, S, Fe, K, F, C e Na. A análise EDS Linha permite interpretar a concentração de Si e Al principalmente na lateral esquerda, na parte central há predomínio de Ba e S e na lateral direita observa-se principalmente Si, O, C, Ca, Ba e S (Figura 9).

Figura 9: EDS Linha. Distribuição química qualitativa nos depósitos químicos da Gruta Extração – Amostra GE 03



A amostra GE04 também apresenta variedade na composição química em todas as zonas de deposição. A zona 1 possui principalmente C, P, S e Ca, mas observa-se também a presença de O, Al e Si. Na zona 2 há predomínio de S, P e Ca e em menores concentrações identifica-se C, Si, O e Al. A zona 3, por sua vez, é composta especialmente por P e Ca e na lateral direita nota-se o predomínio de S e C (Figura 10).

Figura 10: EDS Linha. Distribuição química qualitativa nos depósitos químicos da Gruta Extração – Amostra GE 04



DISCUSSÕES

Constata-se que, em termos gerais, o teor de Si e O nos escorrimentos é maior que nas estalagmites. Nos escorrimentos, o Ca foi identificado apenas na Gruta das Sempre Vivas e nas estalagmites esse elemento químico está presente qualitativamente em altas concentrações em todas as amostras. Destaca-se que, em geral, as estalagmites possuem variedade na composição química superior aos escorrimentos. Além disso, a concentração e distribuição de Ca são consideradas representativas. Neste sentido, a concentração de Ca pode está associada à presença de feldspato cálcico na rocha

matriz. Os teores de P estão associados à presença de matéria orgânica, especialmente o guano, e a presença de C nas amostras está relacionada à metalização realizada durante a preparação da amostra com esse material.

Em relação às características macroscópicas, Wray (1999) e Lino (2009) mencionam que a cor dos espeleotemas é variável devido à presença de impurezas na rocha. Por isso, destaca-se que a variação na tonalidade das cores no centro e bordas das amostras, bem como a variedade de elementos químicos identificados nas amostras de estalagmites na área de estudo pode estar associada à composição dos quartzitos e conglomerados que ocorrem localmente. Os estudos realizados com uso de MEV e EDS neste trabalho apontam variedades de elementos químicos que compõem os depósitos químicos. Essas características reforçam a afirmação de que a presença de poliminerais na rocha matriz contribui para a formação de cavidades e depósitos químicos.

Considera-se que a presença de depósitos químicos, apesar de não ser o indicador único e exclusivo de dissolução da rocha, é um registro deste processo. Logo, pode-se afirmar que a dissolução fez parte do processo de formação das cavidades da área de estudo em alguma fase de seu desenvolvimento.

As características macroscópicas das amostras indicam variações nas espessuras das camadas de deposição química. Assim, destaca-se a possibilidade de ocorrência de períodos úmidos, o que favoreceu maior precipitação de minerais e formação de camadas espessas e posteriormente ocorreram quedas nas taxas de umidade e precipitação, o que ocasionou a redução na espessura das camadas de deposição química. Além disso, as imagens dos depósitos químicos indicam variações na concentração de minerais, que provavelmente indicam oscilações nas condições ambientais favoráveis a sua formação.

As questões paleoambientais não correspondem ao foco do trabalho e estudos mais aprofundados devem ser efetuados. Entretanto, informações de outros autores (OLIVEIRA, 1992; CARTELLE, 1994; AULER *et al.*, 2009) e que extrapolam a área de estudo contribuem para as discussões relacionadas à temática climática paleoambiental. Diante das características macroscópicas dos espeleotemas levanta-se a hipótese que a precipitação e a umidade relativa do ar local são fatores que podem ter contribuído para o desenvolvimento das feições cársticas locais. Destaca-se que a precipitação média atual equivale 1.400 mm anuais (INMET, 2012) e durante o Pleistoceno poderiam apresentar índices superiores (OLIVEIRA, 1992).

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 ambiental responsável pela extinção da megafauna pleistocênica. Oliveira (1992) afirma que durante o Holoceno Inferior ocorreu clima mais seco e perdurou até aproximadamente 4ka.

Auler *et al.* (2009) analisaram o significado paleoambiental e cronológico dos processos de entrada e erosão de sedimentos clásticos, e precipitação de espeleotemas nas áreas semi-árida de Campo Formoso e semi-úmida de Lagoa Santa, através de análise estratigráfica e datação ^{230}Th , que é um método preciso para datações até 600ka. Auler *et al.* (2009) constataram que as condições eram mais úmidas que as atuais para permitir a precipitação de espeleotemas na área de Campo Formoso e são correlatas às fases úmidas ocorridas no sudeste brasileiro. Os autores acrescentam que o clima no sudeste do Brasil provavelmente sempre foi mais úmido que o do Nordeste brasileiro. Considerando que a área de estudo encontra-se no sudeste brasileiro e é influenciada pelas questões orográficas da SdEM, constata-se que a 600ka as condições climáticas eram mais úmidas que as atuais. Portanto, os dados apresentados por esses autores e as observações dos espeleotemas da área de estudo corroboram para afirmar que o processo de deposição química nestas cavidades ocorreu redução nas taxas de umidade da fase inicial para a final de formação destes depósitos. Estudos cronológicos com os depósitos químicos podem contribuir para as discussões sobre as questões paleoambientais locais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho permite constatar que:

1. A análise da concentração química indica a predominância de Si, seguido de Ca nos depósitos químicos amostrados. Assim, nota-se que a presença de Si indica a ocorrência de sílica amorfa e o Si é um elemento químico esperado em altas concentrações em deposições originadas de rochas quartzíticas. A concentração de Ca, por sua vez, pode está associada à presença de feldspato cálcico e mica na rocha matriz. A presença de C nas amostras está associada à metalização realizada durante a preparação da amostra.
2. Possivelmente a formação dos depósitos químicos esteve associada a variações nas condições de umidade na região de estudo durante os

últimos milhares de anos, o que permitiu oscilações nas espessuras das deposições químicas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos; ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio); ao Centro de Microscopia da Universidade Federal de Minas Gerais (CM/ UFMG); Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto (Degeo/UFOP); Centro de Pesquisa Manuel Teixeira Costa (CPMTC/IGC/ UFMG); ao Instituto Casa da Glória e aos auxiliares de campo (Valdinêy Amaral, Ilziane Martins, Janice Souza, Manuel Dimitri, Fabrício Lopes, Diego Rocha, Carlos Henrique).

REFERÊNCIAS

- AULER, A. S; SMART, P. L; WANG, X; PILÓ, L. B; EDWARDS, R. L; CHENG, H. Cyclic Sedimentation in Brazilian Caves: mechanisms and paleoenvironmental significance. *Geomorphology*. n. 106. 2009. p. 142-153.
- AUBRECHT, R.; LÁNCZOS, T.; SMÍDIA, B.; BREWER-CARÍAS, C.; MAYORAL, F.; SCHLÖGL, J.; AUDY, M.; VLCEK, L.; KOVÁCIK, L.; GREGOR, M. Venezuela Sandstone Caves: a new view on their Genesis, hydrogeology and speleothems. *Geologia Croatica*. v. 61. n. 2,3. 2008. p.345-362.
- CIOCCALE, M. A.; PASQUINI, A. I.; DEPETRIS, P. J. Hallazgo de Espeleotemas Silíceas em Rocas Graníticas Del Batolito de Achala, Sierras Pampeanas de Córdoba. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, n. 63, v. 3, p. 413-420, 2008.
- DEVÈS, G.; PERROUX, A.; BACQUART, T.; PLAISIR, C.; ROSE, J.; JAILET, S.; GHALEB, B.; ORTEGA, R.; MAIRE, R. Chemical Element Imaging for Speleothem Geochemistry: application to uranium-bearing corallite with aragonite diagenesis to opal (Eastern Siberia, Russia). *Chemical Geology*, v. 294, n.295, p. 190-202, 2012.
- 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.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. Portaria 887 de 15 de junho de 1990. Brasília. 1990.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Estação Climática de Diamantina – MG. Brasília. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 25/08/2012.
- KOPPEN, W. Climatologia. México. Fondo de Cultura Económica. 1948.
- LINO, C. F. Caverna: o fascinante Brasil subterrâneo. *Caves: the fascination of underground Brazil*. 2º ed. São Paulo: Gaia. 2009.
- 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.
- PALMER, A. N. Cave Geology. 2ªed. Kansas: Allen Press. 2009. 454p.
- 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, 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.
- SOUZA, F. C. R.; SALGADO, A. A. R. Contexto Geomorfológico de Ocorrência de Cavidades em Quartzito na Região Sudeste de Diamantina/ MG. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. v.15. n.4.2014. p.505-522.

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.; COMPERE, P.; HATERT, F.; POUCKET, A.; VICAT, J. P. C.; BOULVIAN, F. Karst in granite rocks, South Cameroon: cave genesis and silica and taranakite speleothems. *Terra Nova*, v.14. n.5. 2002. p.355-362.

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.

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

WRAY, R. A. L. Opal and chalcedony speleothems on

quartz sandstone in the Sidney region, southeastern Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*, v. 46, p. 623-632, 1999.