

IMPACTOS AMBIENTAIS EM ESPELEOTEMAS CAUSADOS PELA VISITAÇÃO PÚBLICA COM CARBURETEIRAS NA CAVERNA SANTANA (PARQUE ESTADUAL TURÍSTICO DO ALTO RIBEIRA, IPORANGA-SP)

Heros Augusto Santos LOBO¹, Paulo César BOGGIANI², Isaac Jamil SAYEG², José Alexandre de Jesus PERINOTTO³

- (1) Universidade Federal de São Carlos. Centro de Ciências Humanas e Biológicas. Departamento de Geografia, Turismo e Humanidades. Rodovia João Leme dos Santos (SP 264), Km 110. Itinga. CEP 18052-780 - Sorocaba, SP – Brasil. heroslobo@ufscar.br
- (2) Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental. Rua do Lago, 562, Butantan. CEP 05508-900 - São Paulo, SP – Brasil. boggiani@usp.br; ijsayeg@usp.br
- (3) Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Departamento de Geologia Aplicada. Avenida 24-A, 1515, Bela Vista. CEP 13506-900 - Rio Claro, SP - Brasil – Caixa postal: 178. perinoto@rc.unesp.br

Introdução
Justificativa e caracterização da área de pesquisa
Materiais, métodos e etapas de pesquisa
Resultados
Discussão
Conclusões
Agradecimentos
Referências

RESUMO - O carbureto de cálcio é um composto químico produzido artificialmente pela combinação de carvão e calcário, utilizado como fonte de iluminação em explorações espeleológicas e visitação turística de cavernas, em equipamentos conhecidos como carbureteiras. A reação do carbureto com água no interior da carbureteira libera o inflamável gás acetileno, que serve como combustível para a iluminação à base de fogo. A caverna Santana (Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira-SP), vem sendo visitada para o turismo e para pesquisas desde os anos de 1970. Os visíveis escurecimentos de seus espeleotemas têm sido atribuídos às carbureteiras, cujo uso foi proibido nesta caverna em 2003. Para verificação desta hipótese, foram coletadas amostras de espeleotemas para investigações mineralógicas com uso de microscópio óptico e eletrônico, complementadas com análises químicas. Os indícios de alterações físicas e resíduos de Carbono observados em microscópio, em conjunto com a presença de um teor de aproximadamente 0,45% de Carbono residual identificado por análises químicas, comprovam o impacto negativo do uso de carbureteiras em cavernas. As conclusões reforçam a necessidade de restrição do uso de carbureteiras para fins turísticos no Brasil, seja por questões ligadas aos impactos ambientais, seja pelos riscos à saúde do usuário.

Palavras-chave: Carbureteira; Espeleotema; Espeleoturismo; Iluminação em Cavernas; PETAR.

ABSTRACT - Calcium carbide is a chemical compound artificially produced by the combination of coal and limestone. It has been widely used as fuel for simple devices called carbide lamps which are used as a source of light in the exploration and tourist visitation of caves. Inside the lamp, the carbide reacts when mixed with water and releases acetylene, which is a flammable gas that fuel the fire-based illumination. Santana Cave (State Tourist Park of Alto Ribeira-SP) has been regularly visited both for tourism and research since the 70's, and the visible darkening on its speleothems has been attributed to the use of carbide lamps, which are prohibited inside the said cave since 2003. To check this hypothesis, samples from speleothems were collected for mineral investigation with the aid of optical and electronic microscope and complemented by chemical analyses. The signs of physical changes and carbon residues that were noticed under the microscope, together with the presence of approximately 0.45% of residual carbon identified by chemical analysis, prove the negative impact of the usage of carbide lamps inside caves. The conclusion reinforces the need to restrain the use of carbide lamps inside caves, with tourist purposes, either because of the risks to the cave visitors.

Key words: Carbide Lamp; Speleothem; Speleotourism; Cave Lighting; PETAR.

INTRODUÇÃO

O uso dos reatores de carbureto, popularmente chamados de carbureteiras, foi uma das mais disseminadas práticas de iluminação móvel para fins de exploração espeleológica e espeleoturística no Brasil. Sua utilização massiva deriva de questões como baixo custo do equipamento e da matéria prima e boa iluminação, sendo apontada por Souza (2003) como uma das luzes mais eficientes para uso em cavernas. Além disso, Figueiredo

(2010) menciona que aspectos subjetivos também pesam na escolha da carbureteira, em função da simbologia que a iluminação a base de fogo representa para muitos exploradores de cavernas e mesmo turistas.

A chama da carbureteira é originada na combustão do gás acetileno (C_2H_2), o qual é obtido a partir do carbureto de cálcio (CaC_2). O CaC_2 é produzido industrialmente em fornos elétricos, que são carregados com misturas de

cal – obtido pela calcinação de rochas carbonáticas – e carvão. Nas carbureteiras, a adição de água (H₂O) ao CaC₂ permite a liberação do C₂H₂ (Wilbur, 2010).

Os principais problemas derivados do uso do carbureto são relativos a questões de saúde para o usuário e de impactos ambientais. Quanto à saúde, o primeiro problema é a combustão acidental, gerando acidentes com queimaduras nos usuários. Além disso, o acetileno é asfixiante, podendo gerar dores de cabeça, enjoos, vômito, perda da capacidade de julgamento e da coordenação motora, fraqueza física e alteração na frequência cardíaca e respiração (USDL, 2004; Foxall, 2009).

Existem também outros problemas a serem considerados. Muitas vezes, traços e pontos de cor escura podem ser vistos em pedaços do carbureto de cálcio, o que está ligado a impurezas associadas ao carvão e subprodutos do petróleo utilizados no processo de fabricação, sendo sua pureza máxima de 80% (Wilbur, 2010). Estas são liberadas junto com o acetileno, sendo os produtos mais comuns a fosfina (PH₃), arsina (AsH₃), amônia (NH₃), amoníaco (NH₄OH) e o sulfeto de hidrogênio (H₂S), os quais lhe conferem o forte odor característico, posto que o acetileno é inodoro quando puro (White Martins, s.d.). Em todos os relatos de injúria ou morte decorrentes da exposição ao acetileno, os efeitos adversos foram associados a estas substâncias contaminantes (Willians & Whittington, 2001; Foxall, 2009). Outro aspecto importante é a toxicidade aguda para peixes e invertebrados que um dos produtos da reação do CaC₂ possui, o

Ca(OH)₂ – a cal de carbureto de cálcio (White Martins, 2006).

No tocante aos impactos ambientais, estudos já conduzidos no Brasil (e.g. Scaleante, 2003; Lobo & Zago, 2010) demonstraram que o uso das carbureteiras gera impactos no espeleoclima, como o aumento da temperatura e a redução da umidade relativa do ar. Além disso, a queima do C₂H₂ em associação com o oxigênio (O₂) gera uma fuligem preta, o humo, cujas partículas são normalmente esféricas, compactas, com 60-150 nm, em uma estrutura de rede semelhante a um aerogel (Marques, 2000; Bertran et al., 2002).

Partindo deste cenário, foi realizada uma pesquisa que teve por objetivo verificar se parte dos danos ambientais visuais (escurecimento de paredes e espeleotemas) identificados na caverna Santana, uma das mais visitadas no Brasil, poderiam ser associados ao uso de reatores de carbureto em tempos pretéritos, dado que sua utilização foi proibida para uso turístico nesta caverna desde 2003. Como métodos de investigação, foram feitas coletas de amostras de rocha em áreas de visitação turística intensa – com aparente deposição de humo em sua superfície – e outras em áreas restritas ao turismo, sem a visível película preta. Estas amostras foram submetidas a análises físicas de sua superfície em microscópio estereoscópico, microscópio eletrônico de varredura (MEV) e espectrômetro de energia dispersiva de raios X (EDS), adicionadas de análises químicas, por meio de procedimentos propostos por Andrade et al. (2009).

JUSTIFICATIVA E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA

A região estudada corresponde ao Núcleo Santana do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), no qual 5 cavernas são abertas atualmente ao turismo: Santana, Morro Preto-Couto (um sistema, mas que corresponde a 2 roteiros turísticos distintos), Água Suja e Cafezal. Destas, a caverna Santana (Fig. 1) foi selecionada por ser uma das mais visitadas de todo o PETAR, com fluxos anuais de visitação da ordem de até 25.000 visitas/ano. Além disso, pesou como fator decisivo o fato desta caverna

ter sido regularmente visitada com uso de carbureteiras, por espeleólogos, monitores ambientais (nome dado na região aos profissionais que conduzem os visitantes) e turistas entre os anos de 1970 e 2003, de modo que sinais de degradação ambiental – hipoteticamente gerados pelo humo da queima do acetileno – são mais visíveis em seus espeleotemas do que nas demais cavernas do PETAR.

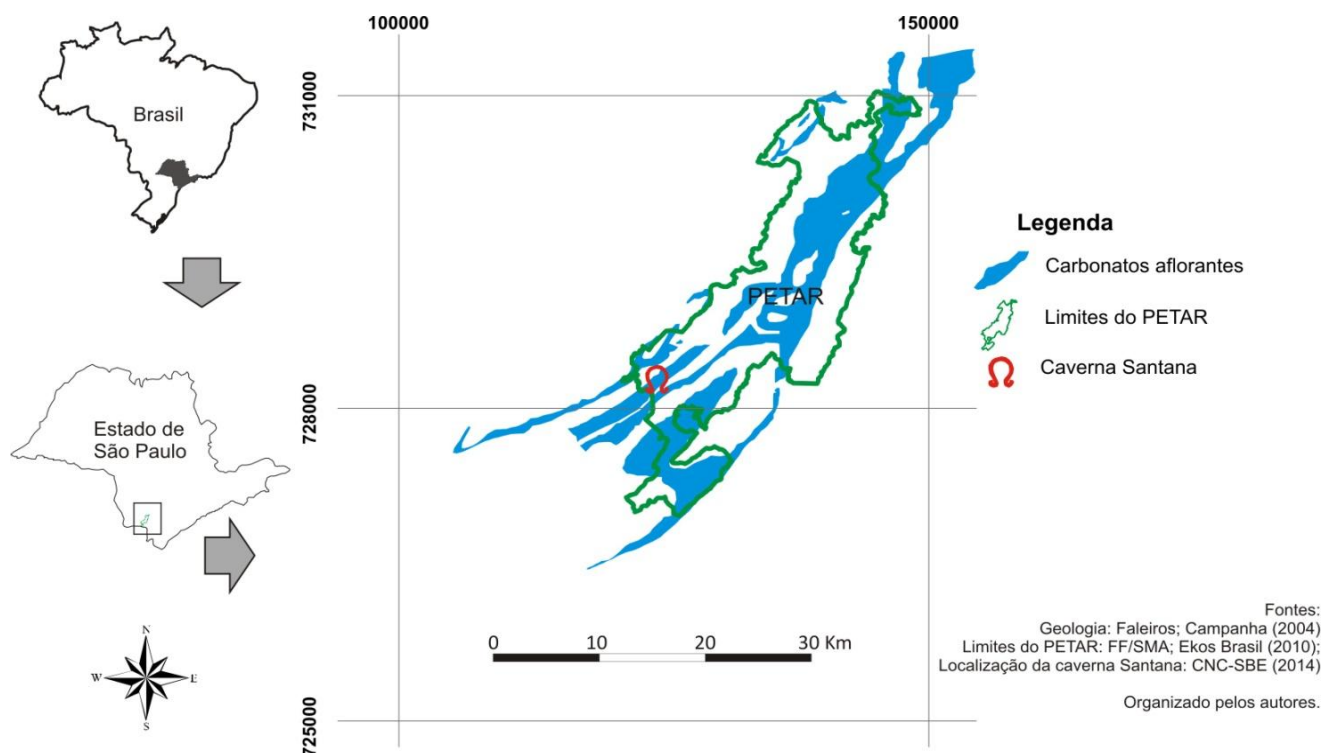


Figura 1. Localização da caverna Santana em relação ao Estado de São Paulo e ao PETAR.

A caverna Santana está inserida no contexto geológico regional do Supergrupo Açungui (Campanha & Sadowski, 1999), na Faixa de Dobramentos Ribeira (Hasui et al., 1975). No âmbito do Supergrupo Açungui a caverna encontra-se no Grupo Votuverava, Subgrupo Lajeado, em um pacote de rochas pelíticas, carbonáticas (Fig. 1) e psamíticas terrígenas, associado a corpo de gabro, com baixo grau metamórfico, limitado pelo lineamento Quarenta Oitavas a norte e pela Falha da Figueira ao sul (Campanha, 1991; Karmann & Ferrari, 2002).

As rochas carbonáticas desta região pertencem às formações Bairro da Serra (metacalcarenitos e metacalcilutitos impuros calcíticos e dolomíticos), Mina de Furnas (metacalcarenitos e metacalcilutitos laminados) e Passa Vinte (metacalcarenitos dolomíticos), sendo que a primeira delas possui maior expressão em área (Campanha, 1991) e é onde está inserida a caverna Santana (Karmann & Ferrari, 2002). Estes carbonatos apresentam composições distintas de CaO e MgO e variações em sua composição siliclástica. Tais diferenças refletem na compartimentação dos sistemas cársticos regionais e, por consequência, na distribuição das cavidades naturais (Sallun & Sallun Filho, 2009).

Do ponto de vista hidrogeológico, a caverna Santana corresponde à ressurgência do rio Roncador, principal curso d'água do sistema cárstico Pérolas-Santana. Os sumidouros deste sistema se localizam em cotas que variam entre 550-750 m de altitude, enquanto a sua ressurgência está a aproximadamente 250 m de altitude, junto ao nível de base local, o rio Betari. Trata-se de um sistema hidrológico misto, com águas autogênicas e forte participação de cursos alogênicos que adentram em seus limites, originados nos filitos, metapelitos e granitos em contato com os carbonatos (Ayub, 2007).

Em sua morfologia atual, a caverna Santana corresponde a uma extensa rede de condutos subterrâneos, cujos trechos acessíveis possuem 8.540 m mapeados, conforme dados oficiais do Cadastro Nacional de Cavernas (CNC) da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE, 2014). Em sua maior parte, a caverna é composta por canyons subterrâneos de entalhamento vadoso, embora salões pontuais formados por abatimento e condutos de sua fase de iniciação freática também possam ser observados.

Quanto ao padrão atmosférico da caverna Santana, sua conectividade com o ambiente externo é bastante limitada, gerando isolamento atmosférico parcial em seu interior. Este

confinamento, aliado ao padrão das redes de condutos da caverna e seus diversos níveis de galerias, é responsável pelo aprisionamento de ar relativamente mais quente nas galerias

superiores, limitando as trocas gasosas destas com a galeria do rio Roncador e, com isso, dificultando a dispersão de eventuais impactos da visitação (Lobo et al., 2015).

MATERIAIS, MÉTODOS E ETAPAS DE PESQUISA

Com o intuito de comprovar a influência da poluição por humo da queima de acetileno na deterioração de espeleotemas, foram coletadas 11 amostras em 6 locais distintos na caverna Santana (Fig. 2). A coleta foi autorizada pelos órgãos competentes, tanto no âmbito Federal – em função das cavernas serem bens da União – quanto em âmbito Estadual – já que a caverna se localizada em Unidade de Conservação Estadual. A seleção das amostras foi feita com base nos seguintes critérios:

- Coletas em trechos aparentemente afetados pela deposição de fuligem originada na queima do acetileno nas carbureteiras, tanto em áreas turísticas quanto em galerias pouco visitadas, para estabelecer comparações

- Amostras de espeleotemas de mesmo tipo, semelhantes entre si em suas dimensões e localização vertical relativa nos condutos e salões na caverna

- Sem causar prejuízos estéticos ao ambiente, para não gerar outras formas significativas de impacto por meio da pesquisa.

Todas as amostras foram analisadas, das quais 6 são apresentadas neste artigo, por serem mais representativas dos elementos identificados. A Tab. 1 apresenta a descrição de cada uma das amostras consideradas, com detalhamento fotográfico dos respectivos pontos de coleta na Fig. 3.

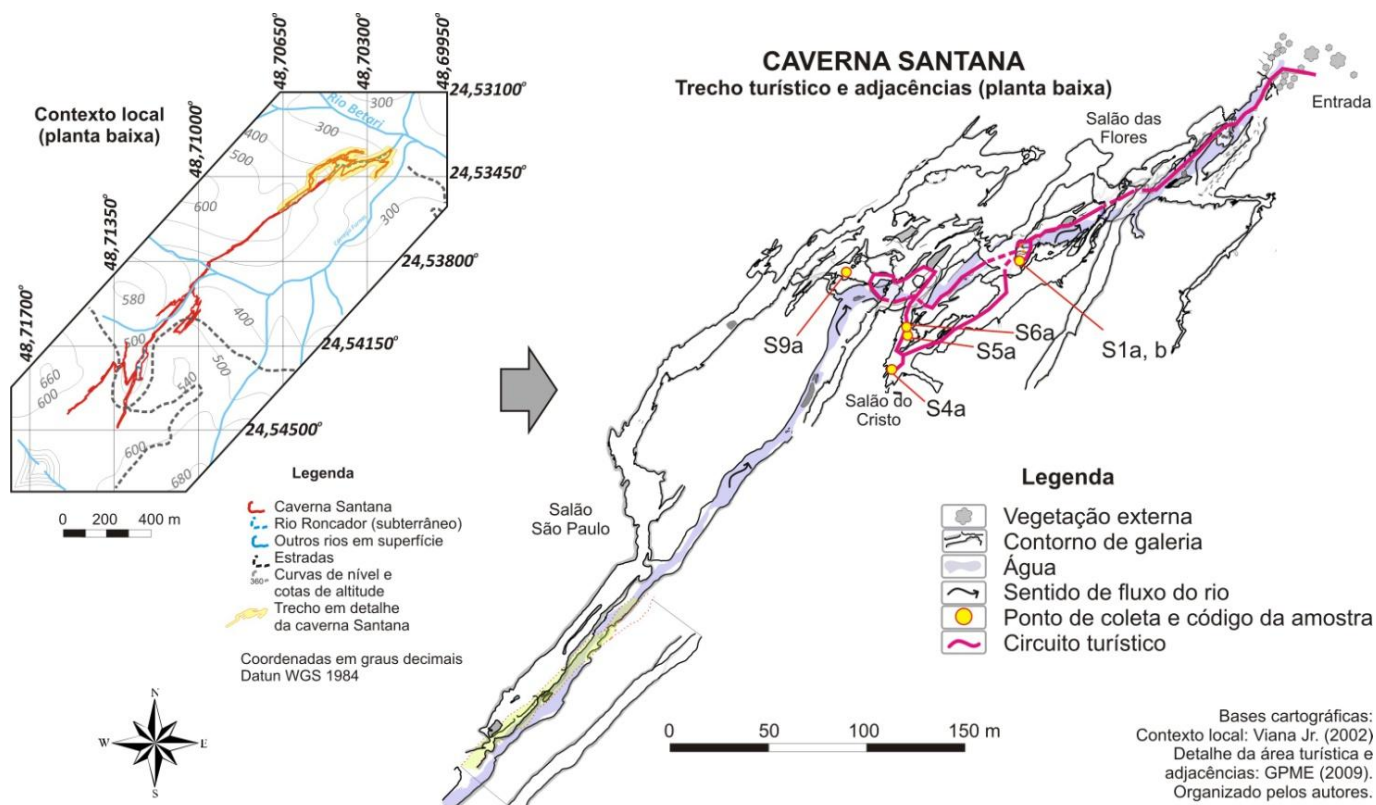


Figura 2. Mapa topográfico em planta da caverna Santana e localização dos pontos de coleta

Tabela 1. Descrição das amostras de rochas analisadas da caverna Santana

| Ponto de | Código da | Tipo de Amostra | Descrição |
|----------|-----------|-----------------|-----------|
|----------|-----------|-----------------|-----------|

| Coleta | Amostra | | |
|-----------------------------|----------|--|--|
| Acesso ao salão Fafá | S1a; S1b | Crostras calcíticas | Fuligem preta nos espeleotemas, facilmente desagregável, desprende com o tato. Deposição da fuligem obedece ao sentido gravitacional, se depositando apenas nas partes baixas da caverna e/ou diagonais e horizontais nas paredes. Teto e paredes mais verticais estão limpos. |
| Salão do Cristo | S4a | Cortina | Cortina localizada no teto, no ponto de visualização do espeleotema conhecido como “Cristo”. Aparência de queimadura por chama de carbureteira (chamuscado). |
| Sala da Fogueira – topo | S5a | Crosta calcítica em parte de um travertino ativo | Pedaco da parede de um travertino ativo, evidenciando duas situações distintas: parte preta com deposição de fuligem; parte branca, aparentemente constituída de calcita sem contaminação externa. |
| Sala da Fogueira – meio | S6a | Crosta calcítica | Idem S1. Coleta de maior quantidade para realização de análise química. |
| Conduto do travertino ativo | S9a | Estalagmite com crostras calcíticas | Estalagmite sobreposta por crostras calcíticas, de coloração totalmente branca, indicando possível inexistência de contaminação externa. |



Figura 3. S1a e b: crostras calcíticas nas proximidades do salão Fafá; S4a: espeleotema chamuscado por contato direto com chama de carbureteira no salão do Cristo; S5a: crosta calcítica próxima a travertino ativo no salão da Fogueira; S6a: crostras calcíticas no salão da Fogueira; S9a: crostras calcíticas sem aparente poluição, em conduto secundário próximo a escada final do circuito de visitação

Além do material coletado, foram preparadas amostras de humo, o qual foi gerado a partir da exposição direta de lâminas de vidro

à chama da queima do acetileno em carbureteira, por um tempo mínimo de 5 minutos.

A análise microscópica das amostras foi feita em microscópio estereoscópico, modelo Zeiss® SV 11, acoplada em uma câmera CCD Sony® *color video* e com uso do analisador de imagens Leica® QWIN® 550. As análises morfológicas e químicas elementares foram feitas em um MEV modelo 440i da marca LEO que está equipado com um espectrômetro de energia dispersiva de raios X cujo detector é de estado sólido do tipo Si(Li), da marca Oxford Ltd. As análises foram conduzidas nos Laboratórios de Petrologia Sedimentar e Microscopia Eletrônica de Varredura do IGC-USP.

Para a realização da microscopia eletrônica de varredura, as amostras foram coladas em *pin-stubs*, com uso de uma cola de carbono condutora de corrente elétrica modelo *Leit-C*, da marca PLANO GMBH. Posteriormente, as amostras foram recobertas com ouro (Au) pelo método *Sputter-coating*. As condições do MEV e EDS foram: distância de trabalho de 25 mm e corrente de sonda igual à 1 nA para os aumentos baixos e de 18 mm e 500 pA para os médios. A tensão de aceleração foi de 20.000 V

e a pressão de alto vácuo foi menor que $9,38 \times 10^{-5}$ torr.

As eletromicrografias foram realizadas com detector de elétrons secundários para a topografia das amostras e de elétrons retroespalhados para evidenciar a diferença de número atômico médio entre as regiões. As regiões mais claras apresentam números atômicos médios maiores.

As análises químicas das amostras de rochas foram realizadas no Laboratório de Química e ICP do IGC-USP. Os procedimentos foram realizados conforme proposto por Andrade et al. (2009). As amostras foram submetidas a ataque com HCl 3% à frio, para eliminação de carbonatos. Decorridas 12h de contato com o ácido, a solução foi filtrada a vácuo e lavada com água destilada e deionizada até a total eliminação de íons cloreto. Em seguida, a amostra foi seca em estufa a 100 °C, por 24h. A análise de Carbono foi realizada no resíduo obtido após a secagem em estufa. Foram utilizados como materiais de referência (SDO-1 e SCo-1) sedimentos com matéria orgânica da USGS (EUA).

RESULTADOS

A identificação e análise de impactos e danos nas rochas e espeleotemas foi baseada em pontos de contraste na caverna Santana. Os diversos tipos e níveis de alteração das superfícies das amostras coletadas são ilustrados nas Figs. 4 e 5. Observa-se elevado intemperismo superficial (Figs. 4A; 5A, B), com corrosão da calcita secundária. Também são evidentes as diferenças entre camadas mais antigas de depósitos secundários, sem fuligem preta, e as mais recentes, recobertas de fuligem (Figs. 4A, B, D).

A presença de corpos estranhos é evidente nas Figs. 5E e F. Além de placas nanométricas de calcita, nota-se uma fuligem dispersa por todo o trecho amostrado, para o qual é considerada a hipótese de ser o humo de carbono originado na queima do acetileno. Entretanto, outras hipóteses também devem ser consideradas, como fragmentos de minerais, pele humana, tecido ou mesmo decorrentes de atividade microbiológica.

A amostra S9a (Fig. 7), coletada em área fora do circuito de visitação, apresentou padrão

topográfico de superfície totalmente distinto das demais amostras analisadas. As Figs. 6A   D ilustram, em diferentes níveis de aumento, as fácies dos cristais de calcita e dois processos evidentes: um de corrosão e outro de desagrega o mecânica. Por outro lado, os corpos estranhos, biofilmes e fuligem não foram observados. O material existente é composto essencialmente por fragmentos de calcita, indicando ser da própria amostra. Além disso, mesmo nas partes das amostras coletadas na área turística que não estavam expostas ao ambiente subterrâneo, não foram identificados sinais de fuligem, matéria orgânica ou corpos estranhos depositados (Figs. 4C; 5C, D; E, F). Nas Figs. 5C e D, também   possível observar diversos microcristais de calcita, em escala nanométrica, em forma de placas – as quais também podem ser vistas em outras eletromicrografias – e estruturas alveolares. A Fig. 6E demonstra cristais de calcita totalmente preservados, os quais são acrescidos de cristais de aragonita na Fig. 6F.

Os resultados obtidos em microscópio estereoscópico e MEV ilustram diferenças físicas nos espeleotemas que apresentam fortes indícios de impactos antrópicos, além de fuligem natural e antrópica. Considerando o uso de carbureteiras durante décadas na caverna Santana para o espeleoturismo e explorações espeleológicas, foram feitas análises mais específicas em busca de indícios de contaminação originada nos produtos derivados do CaC_2 , como o acetileno, os contaminantes existentes neste gás em razão da impureza do produto de origem e o humo, produzido em sua queima. Este último é ilustrado na Fig. 7.

Para compreensão do padrão de textura do humo, inicialmente foram feitas

eletromicrografias da lâmina de vidro sem exposição ao humo (Fig. 7A, B). Após a exposição da lâmina ao humo da queima do acetileno, foi realizada nova análise no MEV (Fig. 7C), permitindo a comparação a partir da visualização de uma cadeia aglomerada de partículas nanométricas, as quais não foram distinguidas individualmente. Além disso, o mesmo padrão textural não foi observado nas amostras de espeleotemas analisadas.

Posteriormente, duas amostras de espeleotemas foram submetidas ao EDS no MEV, visando a possível identificação química de compostos contaminantes (Figs. 8 e 9).

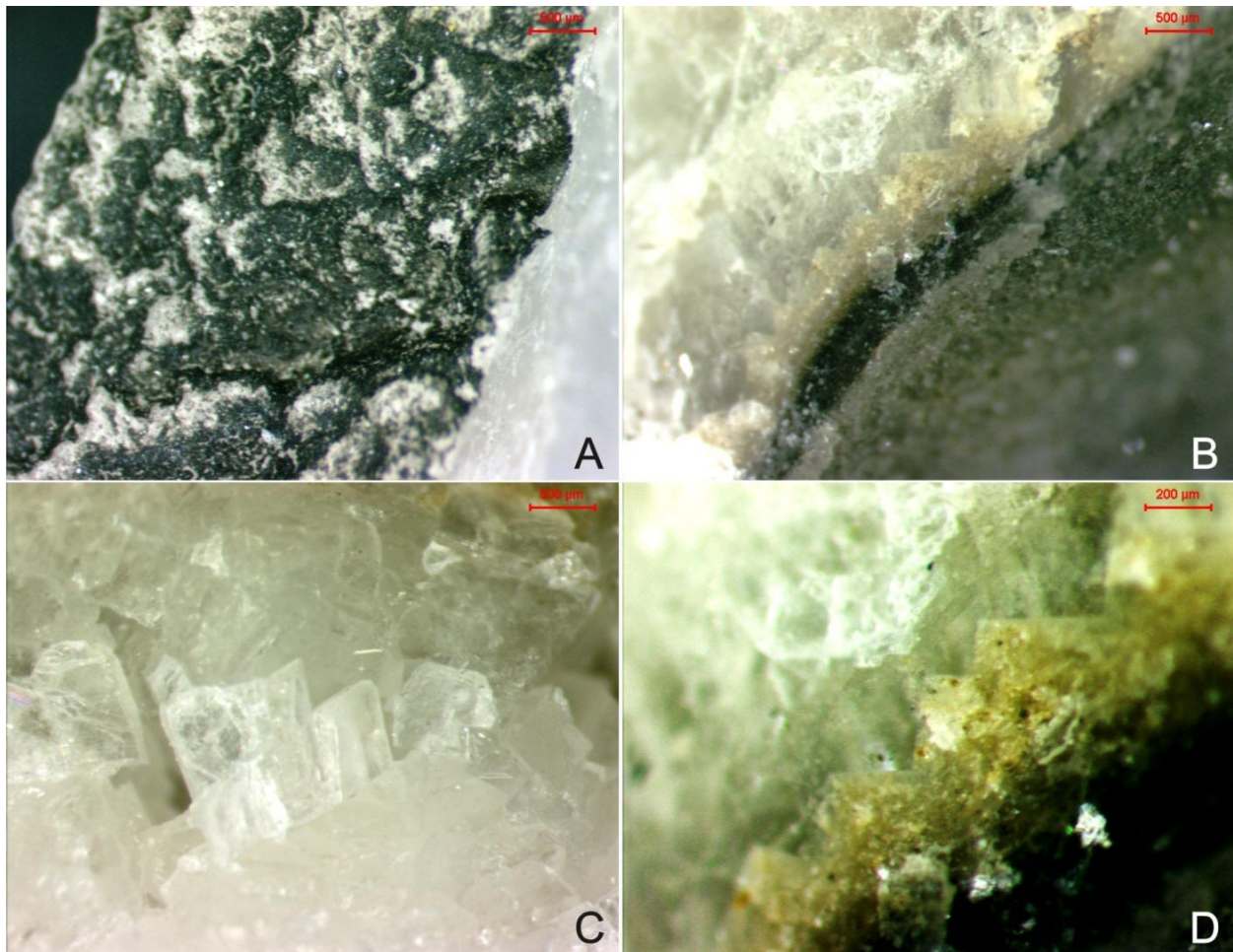


Figura 4. Micrografias de espeleotemas. A) Superfície rugosa e com fuligem da amostra S1a; B) Detalhe da lateral, evidenciando a diferença entre as camadas superiores escuras e inferiores brancas na amostra S1a; C) Superfície sem fuligem da amostra S9a. Notam-se os cristais com os hábitos típicos de calcita; D) Aumento na lateral da amostra S9a, evidenciando uma camada intermediária entre a superfície suja e os cristais branco-translúcidos.

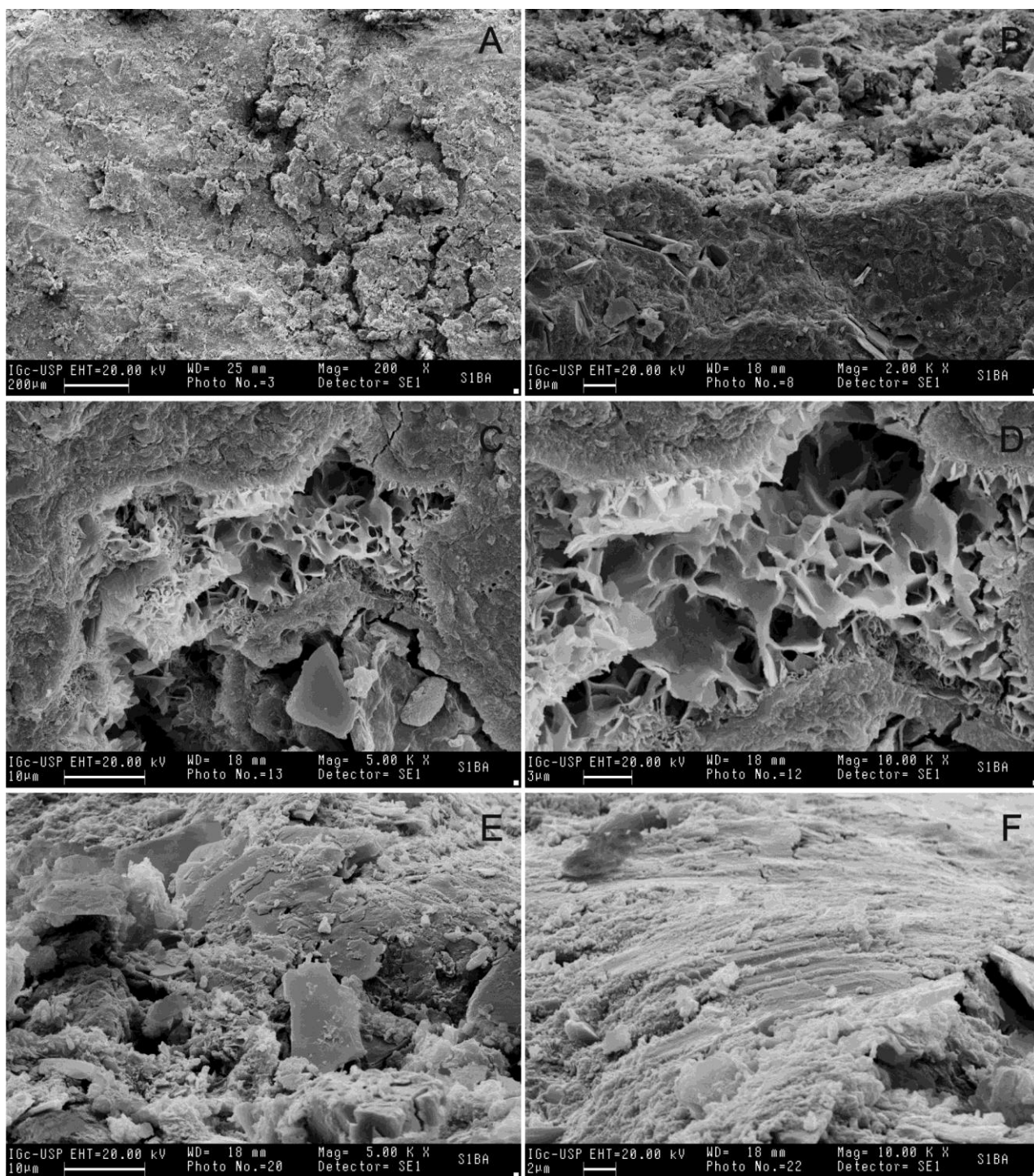


Figura 5. Eletromicrografias mostrando as superfícies fisicamente alteradas e corpos estranhos em espeleotemas da amostra S1a. A) sulcos na amostra; B) diferença entre a superfície da amostra, com evidentes impactos físicos, e sua lateral, que não estava exposta na caverna, com superfície mais preservada; C) fenda natural na amostra, com placas calcíticas, túneis e alguns corpos estranhos depositados e em ampliação maior na foto D. Nas eletromicrografias E e F, corpos estranhos e fuligem na superfície da amostra.

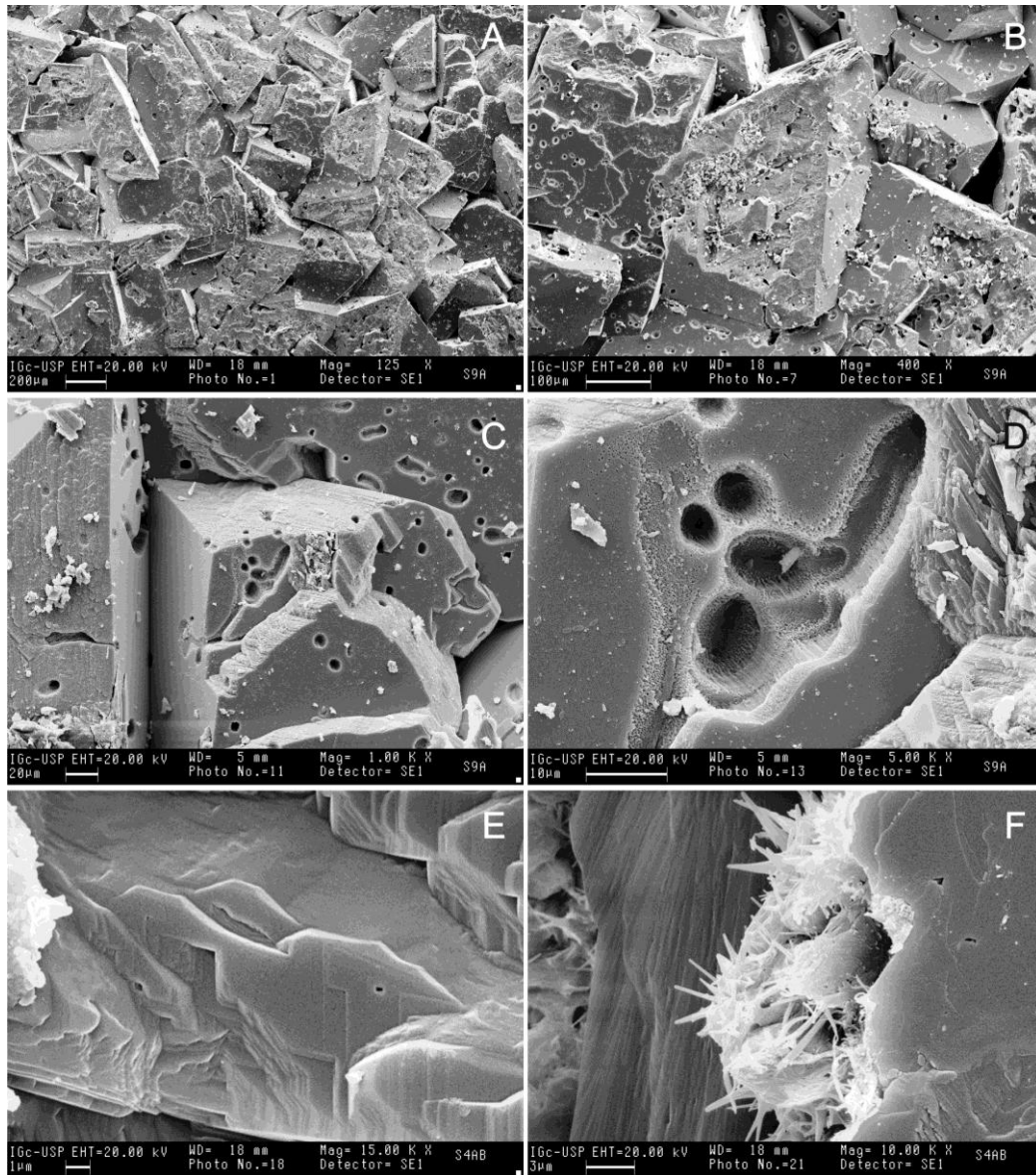


Figura 6. Eletromicrografias A-D: aspecto dos espeleotemas em trecho fora do circuito de visitação (amostra S9a); E-F: cristais preservados em face não exposta da amostra S4a

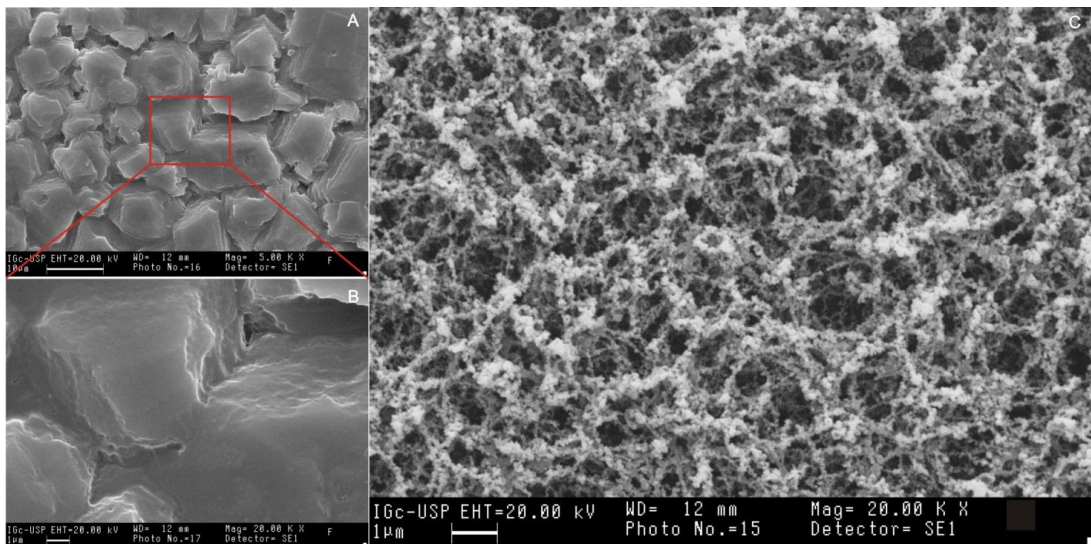


Figura 7. Eletromicrografias: A: Visão geral da lâmina de vidro sem humo, exibindo seu padrão de textura; B: Maior detalhe de A; C: Textura típica da lâmina após a exposição ao humo gerado pela queima do acetileno

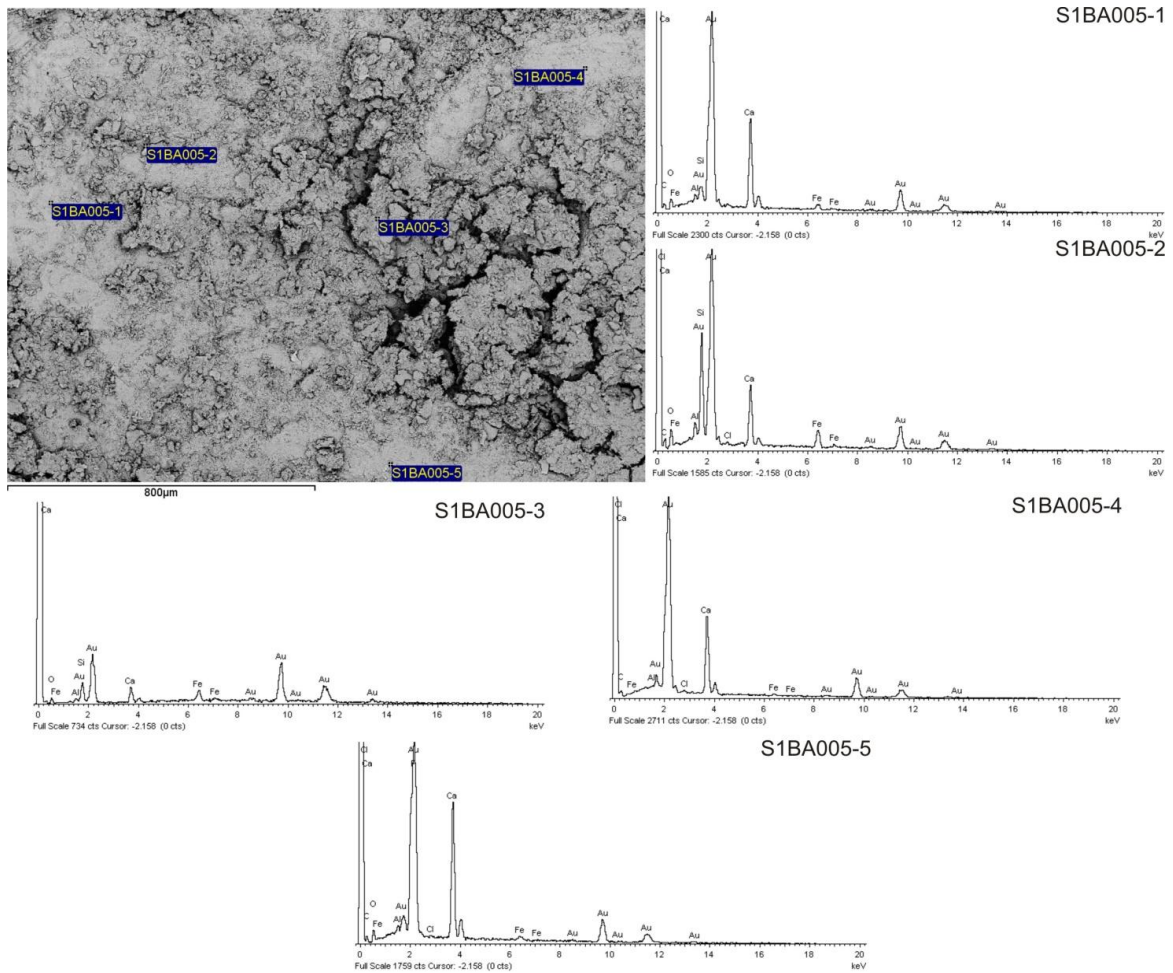


Figura 8. Eletromicrografia obtida em detector de elétrons retroespalhados da amostra S1b com as microanálises de EDS e seus respectivos espectros (S1BA005-1 à S1BA005-5)

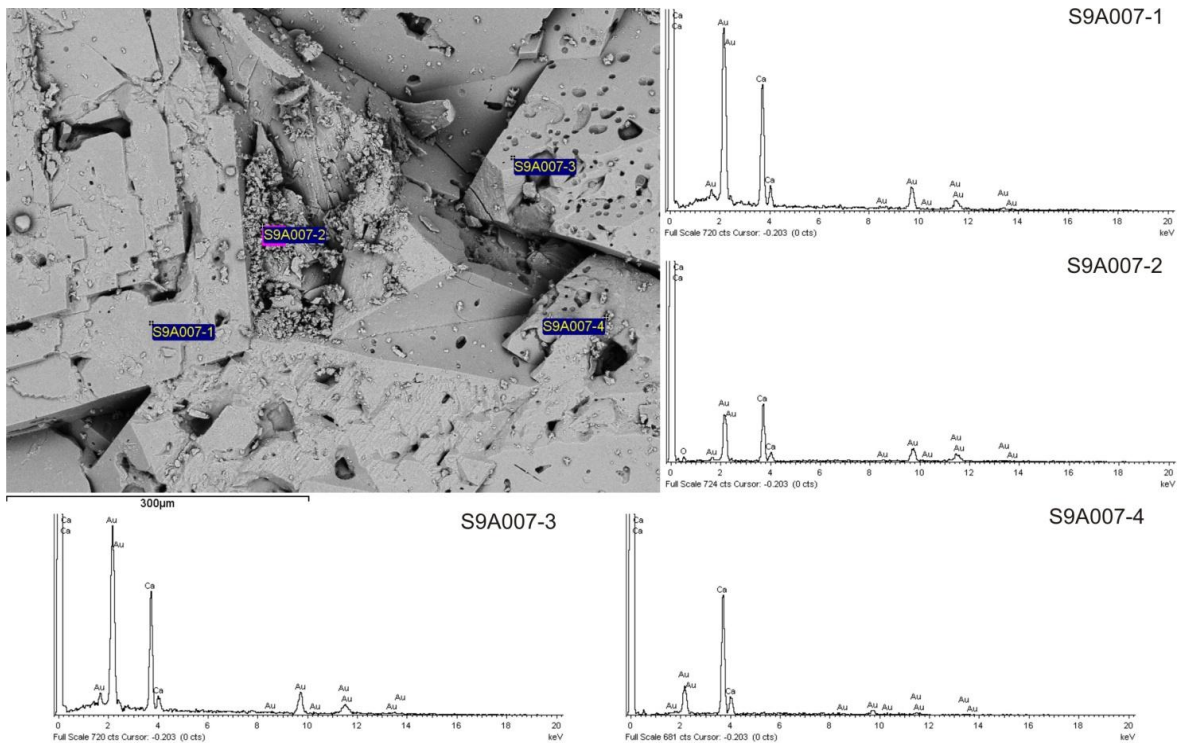


Figura 9. Eletromicrografia obtida em detector de elétrons retroespalhados da amostra S9a com as microanálises de EDS e seus respectivos espectros (S9A007-1 à S9A007-4)

Os resultados das microanálises de EDS da amostra S1b (Fig. 8), coletada no circuito de visitação, apresentam como elementos mais comuns o Au – em função do recobrimento da amostra – e o Ca – em razão do substrato carbonático. A presença do C, que pode ser atribuída ao humo do acetileno, foi confirmada em quatro dos cinco perfis realizados (Fig. 8, espectros 1, 2, 4 e 5). Outros elementos não esperados para as condições naturais do

ambiente de coleta foram também identificados, como o Fe, Al, Cl e F. Em contraste, a amostra S9a (Fig. 9), coletada fora do circuito de visitação, apresentou além do Au, apenas elementos comuns ao meio carbonático (Ca e O). Complementando este procedimento, são apresentados os resultados das análises químicas com eliminação de carbonatos, feitas em três amostras (Tab. 2).

Tabela 2. Resultados das análises químicas de amostras de espeleotemas

| Ponto de Coleta | Perda de Massa (%) | Teor de Carbono (%) / Massa resultante | Teor de Carbono (%) / Total da Amostra |
|-----------------|--------------------|---|---|
| S5a | 90,77 | 5,05 | 0,466 |
| S6a | 90,77 | 4,95 | 0,456 |
| S9a | >99,99 | - | - |

O ataque ácido resultou na perda quase total de massa da amostra S9a, evidenciando alto grau de pureza de CaCO_3 em sua composição. As amostras S5a e S6a apresentaram perda média de massa da ordem de 90%, demonstrando com isso que sua composição

inclui outros compostos que não somente o CaCO_3 . O resíduo restante do ataque ácido apresentou percentual médio de 5% de composição por C, o que representa, em média, 0,45% da amostra inicial.

DISCUSSÃO

Os impactos e danos físicos identificados em espeleotemas na caverna Santana não diferem, na escala macro de análise, daqueles registrados por estudos anteriores para outras cavernas (e.g. Pulido-Bosch et al., 1997; Fernández-Cortés et al., 2006). Na escala de detalhe, a análise dos impactos do uso das carbureteiras ganhou uma dimensão mais exata e precisa com os resultados obtidos. A comprovação dos impactos do uso de carbureteiras já havia sido feita no aspecto térmico (Scaleante, 2003), incluindo a demonstração de suas consequências negativas para a dinâmica higrotérmica da atmosfera cavernícola (Lobo & Zago, 2010), as quais segundo Faimon et al. (2006), são comuns em cavernas densamente visitadas. No entanto, pairava a hipótese levantada no trabalho de Scaleante (2003), sobre danos ambientais decorrentes da liberação de fuligem (humo) na queima do acetileno. As análises no MEV/EDS permitiram a visualização de uma série de impactos gerados pela visitação humana, obtendo resultados semelhantes ao trabalho de Pulido-Bosch et al. (1997), que foi fundamental para a

visualização de impactos físicos em microescala em espeleotemas. Todavia, a evidência visual não trouxe provas irrefutáveis de que tais impactos eram causados também pelo humo das carbureteiras.

A complementação com as análises químicas não deixou dúvidas, face aos teores de C encontrados, da ordem de 0,45%. Não havendo na região da caverna Santana outras fontes que possam ser responsáveis por este acúmulo de C, como queima de combustível fóssil, nem outro vetor de pressão antrópica que utilize hidrocarbonetos no interior da caverna, bem como a inexistência de contaminantes naturais nas amostras, como fezes de morcegos (guano), a única hipótese aceitável para esta concentração é o humo da queima do acetileno.

Na atualidade, tais impactos ainda são mais evidentes na caverna Santana do que nas demais cavernas da região. Os fatores fundamentais para esta significativa diferença são o confinamento espacial de suas galerias, aliado ao padrão de circulação atmosférica com uma célula de aprisionamento nas galerias superiores (Lobo et al., 2015) e, sobretudo, a

visitação com uso de carbureteiras entre os anos de 1990 até o ano de 2003, com o uso

indiscriminado neste período por monitores ambientais e até mesmo turistas.

CONCLUSÕES

Os impactos nos espeleotemas em função do humo foram confirmados, principalmente pelas análises químicas, mas também, por meio da comparação com estudos anteriores, pela deterioração da microtopografia das amostras de espeleotemas. Com isso, conclui-se que a iluminação à base da queima do acetileno em cavernas deve ser restringida ao mínimo necessário, como no caso de realização de pesquisas e trabalhos específicos onde o tipo de luz que este aparato produz seja imprescindível. Esta preocupação diz respeito não somente ao

espeleoturismo, pois mesmo com base em dados secundários, foram identificados potenciais contaminantes no carbureto de cálcio, em função de impurezas em sua fabricação. Assim, a restrição à exposição a estes eventuais contaminantes é fundamental, tanto para a saúde de frequentadores habituais de cavernas, como guias de turismo, monitores ambientais, pesquisadores e espeleólogos, quanto para a redução de impactos no ambiente subterrâneo.

AGRADECIMENTOS

Aos laboratórios de Petrografia Sedimentar, de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e de Química e ICP do Instituto de Geociências da USP, pelo apoio na análise ao material amostrado. Ao prof. Dr. Ivo Karmann (IGc-USP), por suas sugestões e contribuições para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. ANDRADE, S.; ULBRICH, H.H.; JANASI, V.A.; NAVARRO, M.S. The determination of total hydrogen, carbon, nitrogen and sulfur in silicates, silicate rocks, soils and sediments. *Geostandards and Geoanalytical Research*, v.33, n.32, p.337-345, 2009.
2. AYUB, S. Aplicação de rodamina-WT no estudo hidrológico de sistemas cársticos em Iporanga, estado de São Paulo. *Espeleo-Tema*, v.19, p.1-14, 2007.
3. BERTRAN, C.A.; MARQUES, C.S.T.; BENVENUTTI, L.H. Temporal evolution of soot particles from C₂H₂/O₂ combustion in a closed chamber. *Journal of Brazilian Chemistry Society*, v.13, n.1, p.47-53, 2002.
4. CAMPANHA, G.A. da C. Tectônica neoproterozóica no alto e médio Vale do Ribeira, estados de São Paulo e Paraná. São Paulo, 1991. 296 p. Tese (Doutorado em Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
5. CAMPANHA, G.A. da C. & SADOWSKI, G.R. Tectonics of the southern portion of the Ribeira Belt (Apiaí Domain). *Precambrian Research*, v.98, n.1, p.31-51, 1999.
6. FAIMON, J.; STELEL, J.; SAS, D. Anthropogenic CO₂-flux into cave atmosphere and its environmental impact: a case study in the Cisarska cave (Moravian Karst, Czech Republic). *Science of the Total Environment*, v.369, p.231-245, 2006.
7. FALEIROS, F.M.; CAMPANHA, G.A. da C. Petrografia e microestruturas de tectonitos da zona de cisalhamento Ribeira, Vale do Ribeira, SP e PR: implicações no zoneamento metamórfico e estrutural do Supergrupo Açungui e unidades correlatas. *Revista Brasileira de Geociências*, v.34, n.3, p.419-430, 2004.
8. FERNÁNDEZ-CORTÉS, A.; CALAFORRA, J.M.; SÁNCHEZ-MARTOS, F.; GISBERT, J. Microclimate processes characterization of the giant geode of Pulpí (Almería, Spain): technical criteria for conservation. *International Journal of Climatology*, v.26, p.691-706, 2006.
9. FIGUEIREDO, L.A.V. de. Cavernas como paisagens racionais e simbólicas: imaginário coletivo, narrativas visuais e representações da paisagem e das práticas espeleológicas. São Paulo, 2010. 466 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
10. FOXALL, K. Acetylene toxicall overview. s.l.: Health Protection Agency, 2009. Disponível em: http://www.hpa.org.uk/web/HPAwebFile/HPAweb_C/1246260034508. Acessado em: 16Jul2011.
11. FUNDAÇÃO FLORESTAL – FUNDAÇÃO PARA A CONSERVAÇÃO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO/SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE; INSTITUTO EKOS BRASIL (Coordenadores) Plano de manejo espeleológico do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira. São Paulo: Fundação Florestal, 2010. 765 p.
12. GPME – GRUPO PIERRE MARTIN DE ESPELEOLOGIA. Mapa da caverna de Santana. São Paulo: GPME, 2009. 1 mapa. Escala 1:500.
13. HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; COIMBRA, A. M. The Ribeira folded belt. *Revista Brasileira de Geociências*, v.15, n.4, p.257-262, 1975.
14. KARMANN, I. & FERRARI, J.A. Carste e cavernas do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), SP. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M.L.C. (Editores) Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. Brasília: DNP/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), p.401-413, 2002.
15. LOBO, H.A.S. & ZAGO, S. Iluminação com carbureteiras e impactos ambientais no microclima de cavernas:

estudo de caso da lapa do Penhasco, Buritinópolis-GO. Geografia, v.35, n.1, p.183-196, 2010.

16. LOBO, H.A.S.; BOGGIANI, P.C.; PERINOTTO, J.A.J. Speleoclimate dynamics in Santana Cave (PETAR, São Paulo State, Brazil): general characterization and implications for tourist management. International Journal of Speleology, v.44, n.1, p.61-73, 2015.

17. MARQUES, C.S.T. Cinética da reação de radicais em chamas de C_2H_2/O_2 produzidas em câmara fechada. Campinas, 2000. 148 p. Tese (Doutorado em Físico-Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas.

18. PULIDO-BOSCH, A.; MARTÍN-ROSALES, W.; LÓPEZ-CHICANO, M.; RODRÍGUEZ-NAVARRO, M.; VALLEJOS, A. Human impact in a tourist karstic cave (Aracena, Spain). Environmental Geology, Berlin, v.31 n.3/4, p.142-149, 1997.

19. SALLUN, A.E.M. & SALLUN FILHO, W. Geologia em planos de manejo: subsídios para zoneamento ambiental do Parque Estadual Intervales (PEI), Estado de São Paulo. Geociências, v.28, n.1, p.91-107, 2009.

20. SCALEANTE, J.A.B. Avaliação do impacto de atividades turísticas em cavernas. Campinas, 2003. 82. p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.

21. SBE – SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA. Cadastro nacional de cavernas do Brasil (CNC). Campinas: SBE, 2014. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/cnc/>. Acessado em: 19 Dez. 2014.

22. SOUZA, R.C. Estudo comparativo da luminosidade da chama de carbureto e da lanterna elétrica com lâmpada LED. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 27, 2003, Januária. Anais. Campinas: SBE, 2003. p.15-26.

23. USDL – UNITED STATES DEPARTMENT OF LABOR. OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH ADMINISTRATION. Acetylene. 2004. Disponível em: http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_216900.html. Acessado em: 16Jul2011.

24. VIANA JÚNIOR, O. Hidroquímica, hidrologia e geoquímica isotópica (O e H) da fácies de percolação vadosa autogênica, caverna Santana, Município de Iporanga, Estado de São Paulo. São Paulo, 2002. 113 p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

25. WHITE MARTINS. Ficha de informação de segurança de produtos químicos: cal de carbureto de cálcio. 2006. Disponível em: <http://www.whitemartins.com.br/site/fispq/WM040333.pdf>. Acessado em: 16Jul2011.

26. WHITE MARTINS. Acetileno. s.d. Disponível em: <http://www.whitemartins.com.br/site/catalogo/acetileno.html>. Acessado em: 16Jul2011.

27. WILBUR, E. Air permit for the construction and operation of a calcium carbide manufacturing plant. Columbia, 2010. 91 p. Tese (Mestrado em Ciências) - Universidade de Missouri.

28. WILLIAMS, N.R. & WHITTINGTON, R.M. Death due to inhalation of industrial acetylene. Journal of Toxicology: Clinical Toxicology, v.39, n.1, p.69-71, 2001.

Manuscrito recebido em: 23 de Novembro de 2012

Revisado e Aceito em: 02 de Fevereiro de 2015