

## 05 - O FULGURITO DE SÃO GERALDO DO ARAGUAIA (ESTADO DO PARÁ)

<http://gmga.com.br/05-o-fulgurito-de-sao-geraldo-do-araguaia-estado-do-para/>



[10.31419/ISSN.2594-942X.v62019i3a5LTF](https://doi.org/10.31419/ISSN.2594-942X.v62019i3a5LTF)

Lucas Torres de Faria <sup>1</sup>; Rosemary da Silva Nascimento <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aluno de conclusão de curso, Universidade Federal do Pará; Brasil, [lucas.torres.faria@gmail.com](mailto:lucas.torres.faria@gmail.com);

<sup>2</sup> Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Brasil, [rsn@ufpa.br](mailto:rsn@ufpa.br).

### ABSTRACT

Fulgurites are vitreous tube shape rocks, naturally formed by the fusion of unconsolidated sediments struck by lightning. Optical microscopy, SEM-EDS and XRD techniques were used to characterize this fulgurite collected nearby São Geraldo do Araguaia city. The sample displays a vitreous tube shape that the outer wall is composed by shattered and partially melted quartz grains adhered to a vitreous matrix. The inner wall is composed by silica glass with sparse zircon grains and rounded hematite crystals. The sample was classified as a type II fulgurite, formed from quartz rich unconsolidated sediments.

**Keywords:** Lightning; Mineralogy; Vitreous Rocks; SEM-EDS.

### INTRODUÇÃO

Fulguritos são rochas de composição vítrea simples com mais de 90% de SiO<sub>2</sub> em forma de tubos vítreos formados pela fusão de sedimentos inconsolidados, solos ou rochas ao serem atingidos por raios (Rogers, 1946; Gailliot, 1980). O termo fulgurito foi utilizado pela primeira vez por Dominique Arago em 1821, substituindo "*fulminary tube*" usado por David Hermann, considerado o primeiro a descrever um fulgurito, em 1711 (Pasek, 2017). Charles Darwin, 1833 (*apud*. Pasek, 2017) descreveu os primeiros fulguritos fora da Europa, em Maldonado, atualmente Uruguai, durante a expedição a bordo do *Beagle*. Desde então, muitos trabalhos foram publicados ao longo dos séculos XIX e XX relatando a ocorrência e descrevendo fulguritos na Europa, Estados Unidos e Austrália (Julien, 1901; Barrows, 1910; Petty, 1936; Rogers, 1946; Sponholz *et al.*, 1993).

É possível que fulguritos sejam formados sempre que um raio atinge o solo, porém, são rochas bastante friáveis, o que dificulta a preservação de boas amostras. No Brasil ocorrem cerca de 80 milhões de raios anualmente e os estados da Amazônia são os mais afetados (Alves, 2017). Apesar do alto índice de incidência de raios no país, não existem estudos sobre fulguritos em solo nacional, em geral são confundidos com estruturas resultantes de migração de sílica ou até troncos fossilizados.

Nesse sentido, foram utilizadas técnicas comuns aos geólogos como microscopia ótica, análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) associadas com análises de espectroscopia por energia dispersiva (EDS) e difração de raios-X (DRX) para caracterizar uma amostra coletada na região de São Geraldo do Araguaia, sudeste do Pará, e descrever os principais aspectos estruturais, texturais e mineralógicos bem como discutir processos e condições de formação e classificação desse tipo específico de rocha.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

A amostra estudada foi gentilmente cedida ao Prof. Dr. Paulo Gorayeb (IG/UFGA) pela Dona Raimunda Pereira da Silva, residente da localidade de Raimundo Branco, situada as margens da BR-153, a 45 km de São Geraldo do Araguaia, em novembro de 2016. Na ocasião, Dona Raimunda informou o local de coleta. A amostra foi, então, cedida a Profa. Dra. Rosemery do Nascimento. De posse da amostra, confeccionou-se duas lâminas petrográficas delgadas e duas polidas na oficina de laminação da Faculdade de Geologia (FAGEO), conforme os procedimentos descritos por Palermo & Coelho (2009), respectivamente transversal e longitudinal a amostra (Fig. 1), a fim de avaliar as feições texturais.

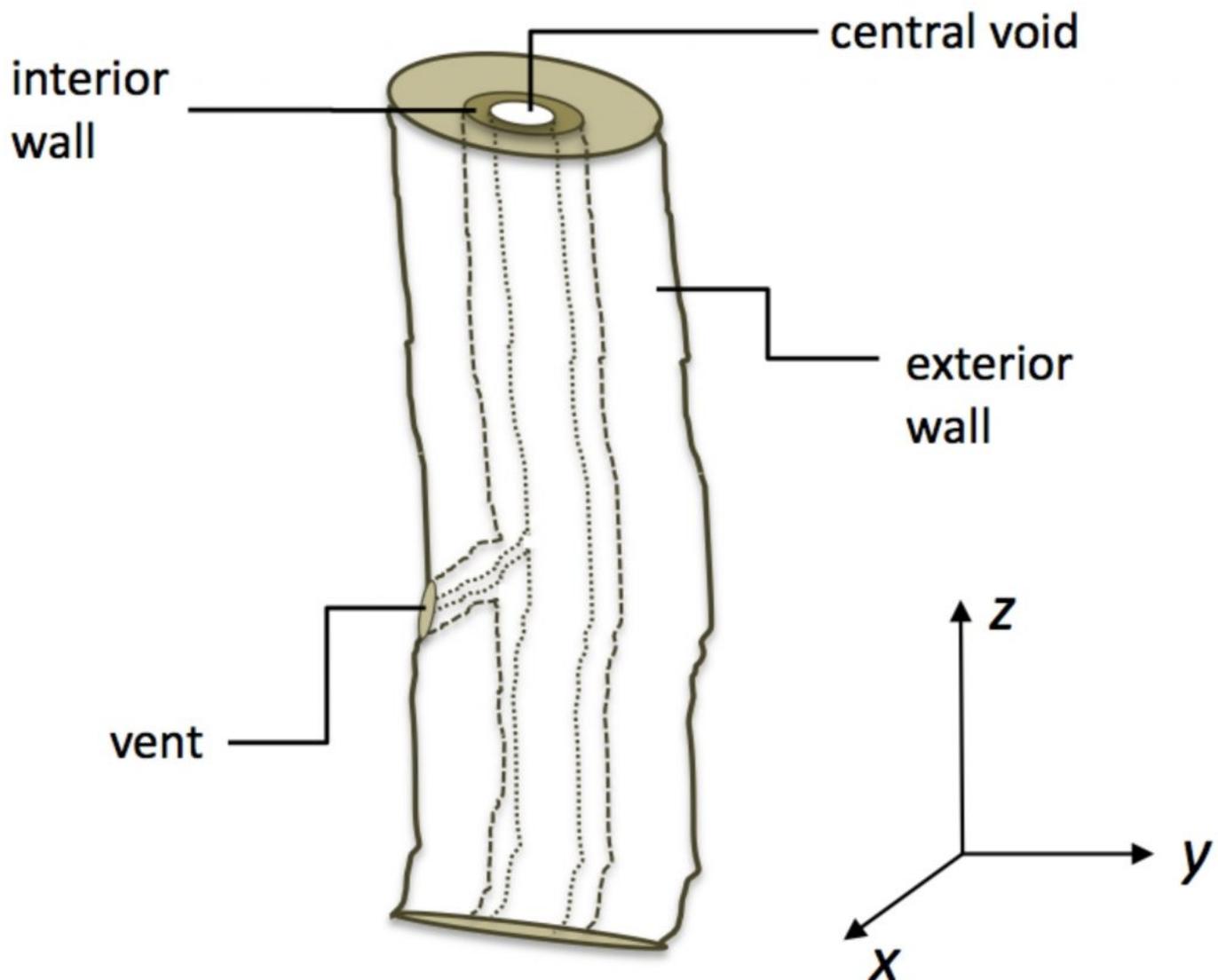


Fig. 1: Representação esquemática de um fulgurito típico com as orientações dos eixos principais. Foram feitos cortes perpendiculares e paralelos ao eixo Z para confecção das lâminas delgadas e polidas (Pasek, Block & Pasek, 2012).

As análises petrográficas foram realizadas com microscópio Zeiss, modelo AXIO Scope A1 e com microscópio Leica, modelo DM 2700P, o qual estava acoplado com câmera digital Leica, modelo MC 170HD.

As análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) apoiadas com análises químicas qualitativas por energia dispersiva (EDS) foram realizadas respectivamente com equipamento Hitachi, modelo TM 3000, e Oxford Instruments SwiftED3000, de bancada. O microscópio eletrônico utiliza feixes de elétrons com aceleração na faixa de 5-15 kV, com ampliação de 15 a 30000 vezes (zoom digital). A amostra foi analisada sob baixo vácuo e não metalizada, e as imagens obtidas a partir de elétrons secundários. As análises químicas obtidas são semi-quantitativas. Essas análises foram realizadas nos laboratórios LAMIGA do PPGG/IG/UFPA.

Para as análises por DRX foram extraídas alíquotas da superfície externa e da interna. Para isso, a parede externa foi raspada com espátula de plástico, enquanto que da interna foram retirados fragmentos. As duas alíquotas foram, então, pulverizadas em grau de ágata e analisadas pelo método do pó no Laboratório de Caracterização Mineral por Difração de Raios-X – do PPGG/IG/UFGA. Foi empregado o difratômetro modelo *Empyrean* da *PANalytical*, com tubos de raios-X cerâmico de anodo de Co ( $K_{\alpha 1} = 1,789010 \text{ \AA}$ ), foco fino longo, filtro  $K_{\alpha}$  de Fe, detector PIXCEL3D-Medpix3 1x1, no modo *scanning*, com voltagem de 40 kV, corrente de 35mA, tamanho do passo  $0.0262^\circ$  em  $2\theta$ , varredura de  $3.0072^\circ$  a  $94.9979^\circ$  em  $2\theta$ , tempo/passos de 30,6 s, fenda divergente:  $1/4^\circ$  e anti-espalhamento:  $1/2^\circ$ , máscara: 10 mm.

## LOCALIZAÇÃO DA AMOSTRA

A amostra de fulgurito deste estudo foi encontrada às proximidades da Fazenda São José, situada no município de São Geraldo do Araguaia. A área em questão está situada às margens do Rio Araguaia e nos arredores do Parque Estadual da Serra dos Martírios/Andorinhas (Fig. 2).

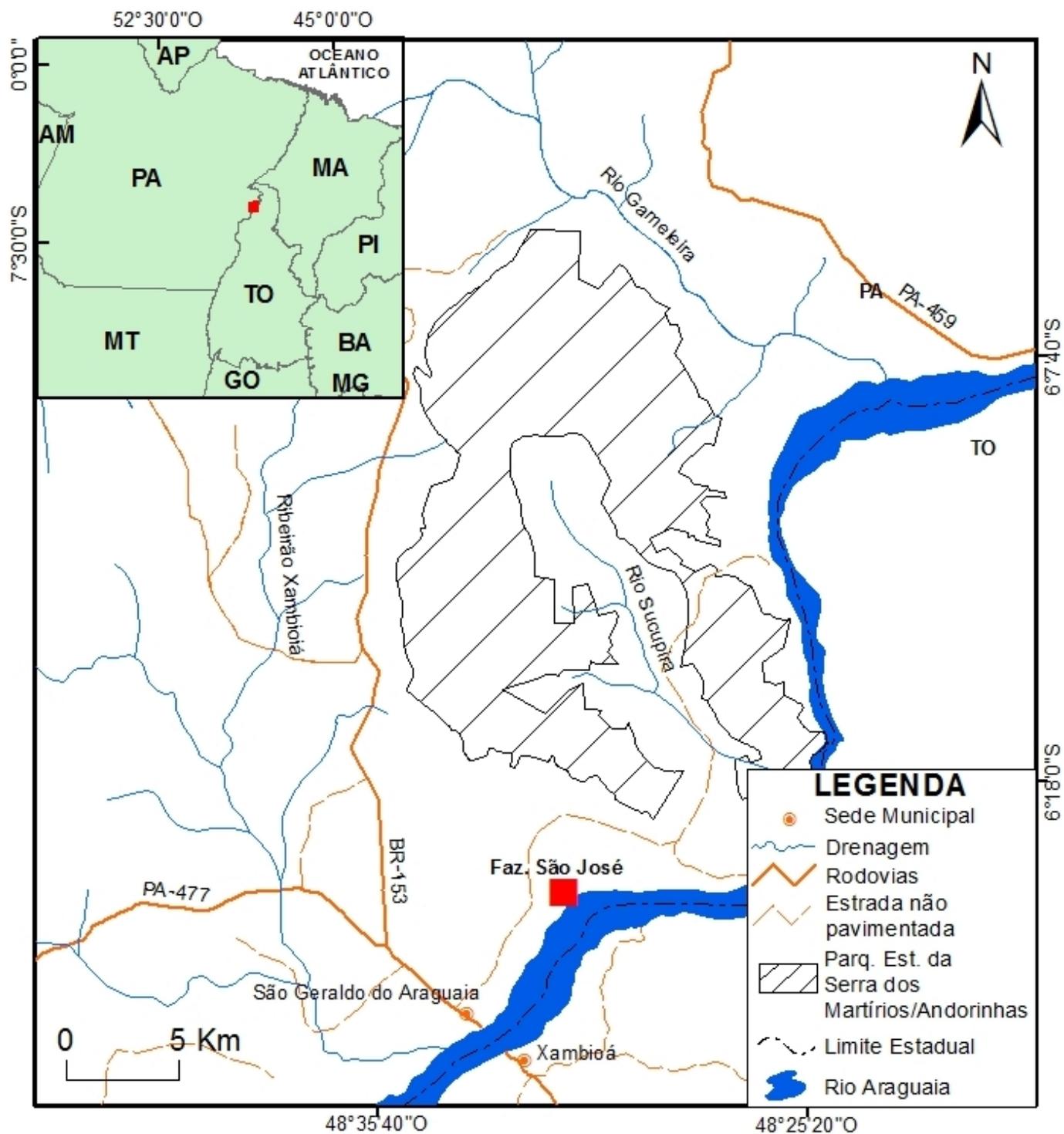


Fig. 2: Mapa de localização da Fazenda São José, local de coleta da amostra, a noroeste da cidade de São Geraldo do Araguaia. O local fica situado às margens do Rio Araguaia e nos arredores do Parque Estadual da Serra dos Martírios/Andorinhas.

## RESULTADOS

## ASPECTOS MESOSCÓPICOS

O fulgurito apresenta cerca de 25 cm de comprimento, o diâmetro maior é de 4 a 5 cm e da abertura central de 2 a 3 cm (Fig. 3-A). A parede tem 0,5 a 1 cm de espessura (Fig. 3-B) e apresenta um ligeiro zoneamento concêntrico dado pela cor, brilho e grau de consistência. O corpo principal também apresenta uma protuberância transversal com 7 cm de comprimento, 2 cm de abertura central e a parede interna é menos espessa, com cerca de 3 mm.

A parede externa da amostra tem espessura de 1 a 2 mm, cor branca e manchas acinzentadas dispersas ao longo do corpo principal. É composta por grãos de quartzo de cor branca e hialino. A granulometria é fina a média (0,125 – 0,500 mm) e apresenta textura bastante friável e porosa.

A parede interna é subdividida em parte intermediária e outra interna, considerando o zoneamento concêntrico de cores. A parte intermediária da parede interna é branca-acinzentada, em geral com 6 mm de espessura, brilho vítreo e várias bolhas submilimétricas. A parte mais interna é preta, com espessura de 2-3 mm, brilho vítreo e bolhas submilimétricas a milimétricas (até 5 mm) que ocorrem na superfície (Fig. 3-B e C).

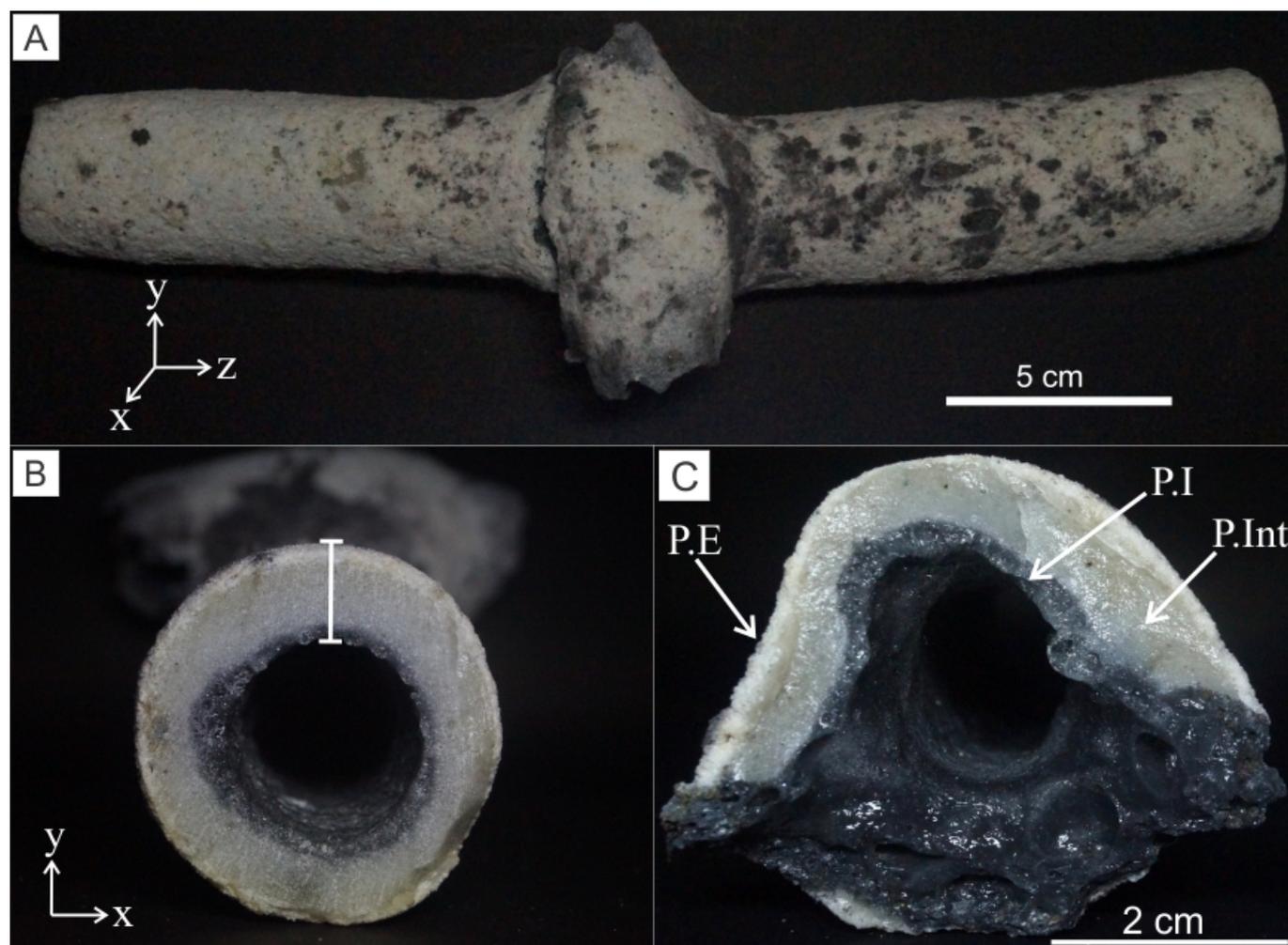


Fig. 3: Aspectos macroscópicos do fulgurito estudado. (A) Vista externa com a protuberância ao centro; (B) seção transversal com indicação da espessura da parede da amostra (0,5 - 1 cm), também é possível observar o diâmetro maior e o conduto central; (C) corte na base da protuberância ao centro, com destaque para o zoneamento concêntrico indicando as paredes externa (P.E), parede intermediária (P.Int) e parede interna (P.I).

## CONSTITUIÇÃO MINERALÓGICA

O material da parede externa, segundo as análises por DRX, é formado simplesmente por quartzo (Fig. 4). Já o da parede interna além de quartzo também contém material amorfo, além de hematita e talvez esfalerita (Fig. 5). As análises químicas obtidas por MEV/EDS apresentadas a seguir, no entanto não detectaram nem Zn e nem S. O que por enquanto parece descartar a esfalerita. Por outro lado, foram detectados teores de Fe.

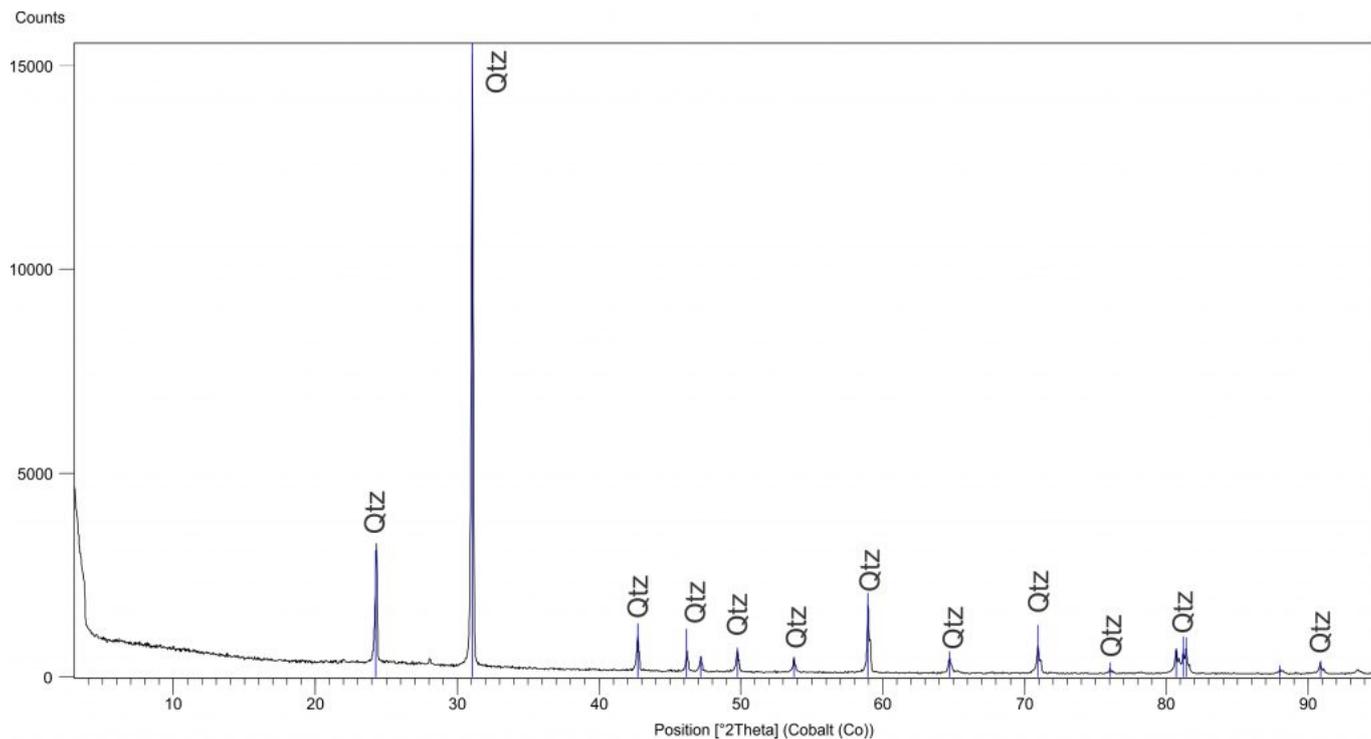


Fig. 4: Espectrograma de difração de raios-x da parede externa do fulgurito mostrando o domínio de quartzo.

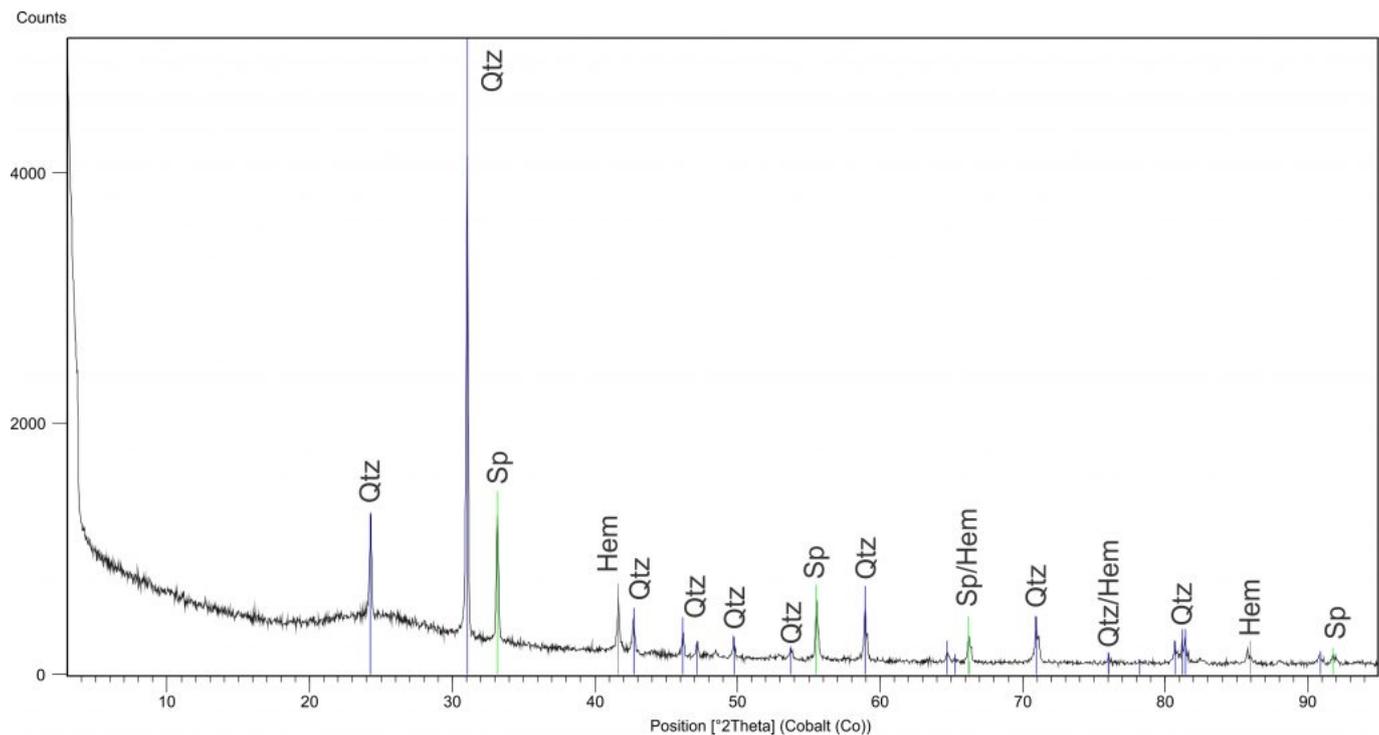


Fig. 5: Espectrograma de difração de raios-x da parede interna do fulgurito. A análise mostra a extensa banda de material amorfo, com picos correspondentes ao quartzo (Qtz), hematita (Hem) e possivelmente esfalerita (Sp).

Sob o microscópio ótico, na parede externa é possível reconhecer os grãos de quartzo em uma matriz vítrea (Fig. 6), semelhante à textura vitrofírica em rochas vulcânicas. Os grãos de quartzo parecem parcialmente substituídos por material vitrificado e são bastante fraturados. Raros grãos de zircão se destacam nesse material. O contato com a parede interna, que é vítrea e amorfa, é irregular, marcado, principalmente, pela ausência de grãos de quartzo na parede interna.

O material da parte intermediária, entre a parede interna e externa, é incolor sob nicóis paralelos e extinto em nicóis cruzados, uma característica de material amorfo. Minerais opacos de contorno arredondado e diâmetros entre 0,03 a 0,1 mm (Fig. 5-A) estão presentes nesta parte, provavelmente devem corresponder a hematita identificada por DRX. Grãos de zircão, com zoneamento destacado por bordas escurecidas e núcleos distintos, também ocorrem nessa parte (Fig. 8-A). Bolhas com < 0,05 mm a 0,15 mm de diâmetro são frequentes. No interior de algumas ocorrem minúsculos cristais pretos, não identificados. A quantidade e o tamanho das bolhas aumentam em direção à zona mais interna, enquanto que em direção à parede externa, as bolhas formam localmente pequenos aglomerados (Fig. 7-B).

A parte interna em nicóis paralelos, por sua vez, se torna escura e se extingue em nicóis cruzados. O contato entre a parte intermediária e a interna é indicado pela mudança gradual de cor. É observada uma textura com zonas concêntricas ressaltadas pela variação na coloração (Fig. 8-B). As bolhas apresentam formas elípticas, de 0,5 a 2 mm medidas no maior eixo, orientadas radialmente em relação à abertura central. Ainda, são observadas, em menor quantidade, bolhas menores, normalmente circulares, com diâmetros de 0,05 mm.

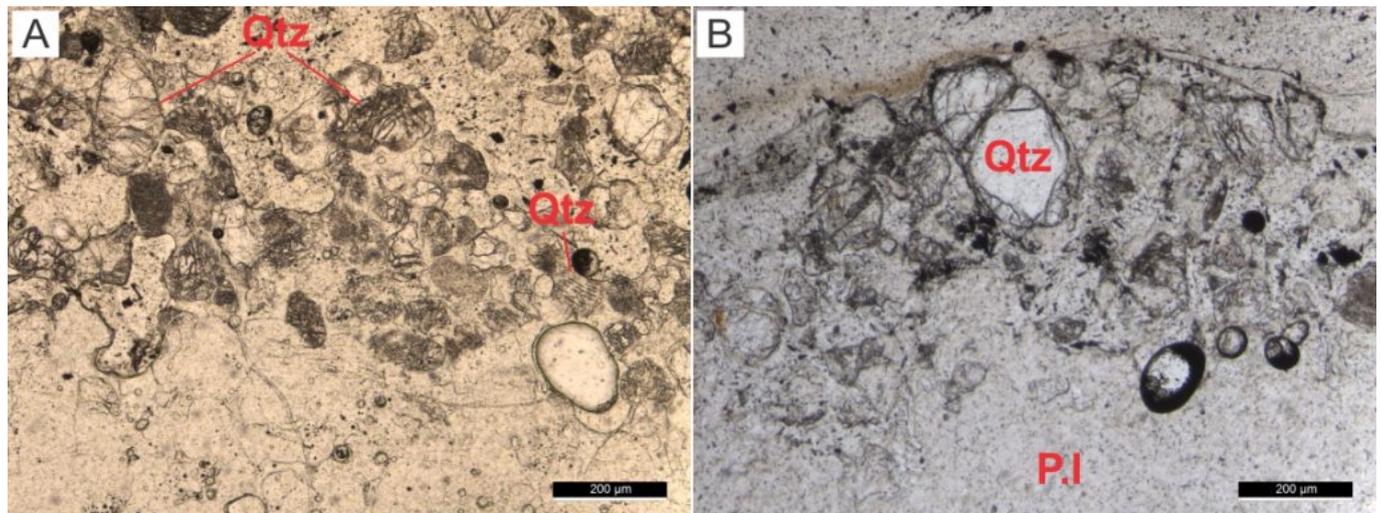


Fig. 6: Visão geral da parede externa com nicóis paralelos. (A) destaque para os grãos de quartzo fraturados (Qtz) e escurecidos devido à substituição por material vítreo dispersos em matriz vítrea; (B) grão de quartzo fraturado de granulometria média (0,35 mm) na parede externa e contato irregular com a parede interna (P.I.).

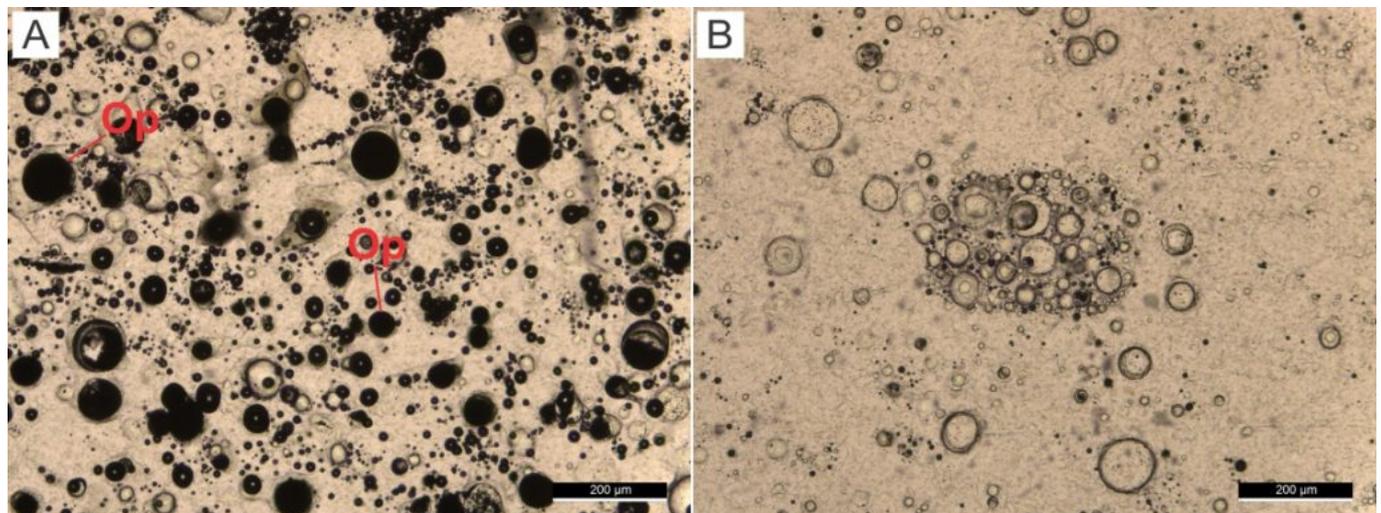


Fig. 7: Aspectos texturais da parte intermediária da parede interna. (A) Minerais opacos (Op) de contornos arredondados sob nicóis paralelos; (B) aglomerado de bolhas sob nicóis paralelos.

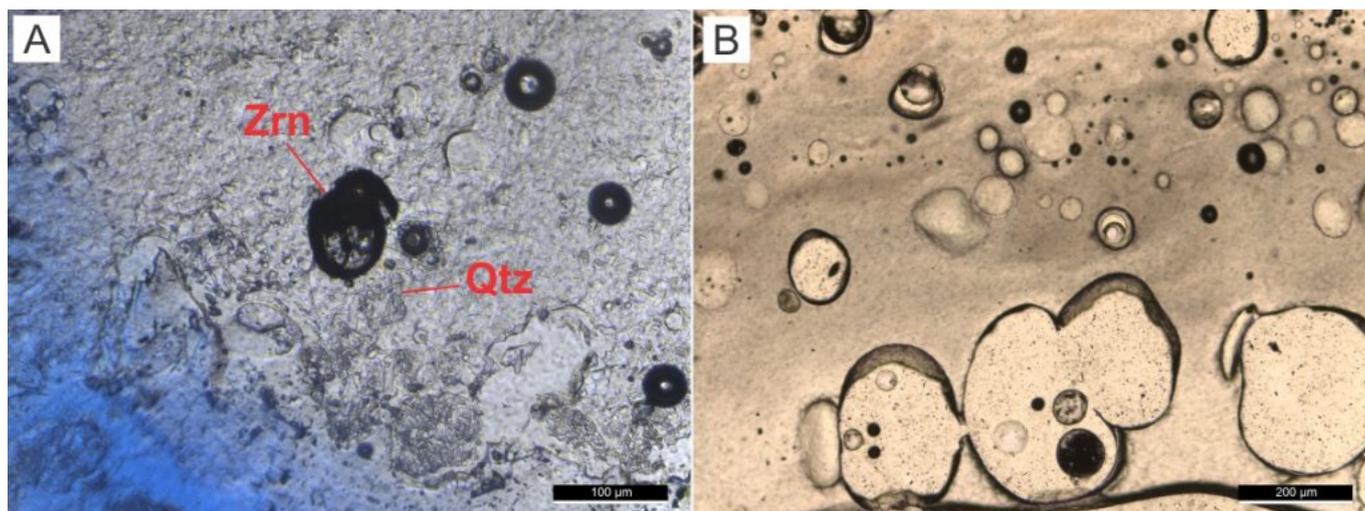


Fig. 8: (A) Aspectos texturais de grãos de zircão (Zrn) disperso em matriz vítrea sob nicóis paralelos na parte intermediária da parede interna; (B) Aspectos texturais sob nicóis paralelos da parte interna da parede interna.

Sob MEV, a parede externa apresenta matriz de sílica amorfa e, possivelmente, matéria orgânica. Algumas bolhas parecem preservar fragmentos de grãos de quartzo e, possivelmente, feldspatos e matéria orgânica (Fig. 9). A presença de sílica amorfa é inferida pelas análises de EDS, que indicam o predomínio de Si e O em conjunto com os dados de microscopia ótica. A matéria orgânica pode estar associada aos expressivos teores de C detectados nas análises de EDS. Da mesma forma, os grãos de quartzo estão associados a altos teores de C. Além disso, foi identificado um cristal cuja morfologia e composição química indicam ser calcita (Fig. 10). Os grãos de zircão ocorrem em domínio de sílica amorfa e matéria orgânica e apresentam teores expressivos de C (Fig. 11).

A parte intermediária da parede interna da amostra é predominantemente constituída por sílica amorfa e matéria orgânica, de composição semelhante à parede externa. No interior de algumas bolhas foram identificados grãos de zircão, quartzo, titanita e, possivelmente, matéria orgânica (Fig. 12). Alguns grãos de zircão dispersos na sílica amorfa apresentam zoneamento composicional (Fig. 13-A) e a presença de C e Al pode indicar a substituição pela sílica amorfa e matéria orgânica da matriz. Também ocorrem grãos de zircão com bolhas dispersas na área do grão (Fig. 13-B). Foi observado um cristal de hábito circular, com cerca de 25 µm de diâmetro, tal qual os opacos descritos em microscopia ótica (Fig. 14). A análise de EDS indica a presença de Fe, que pode confirmar a presença da hematita detectada em DRX.

A parte mais interna da parede interna é constituída por sílica amorfa e matéria orgânica, semelhante à parte intermediária e a parede externa (Fig. 15). As análises por EDS evidenciam a semelhança.

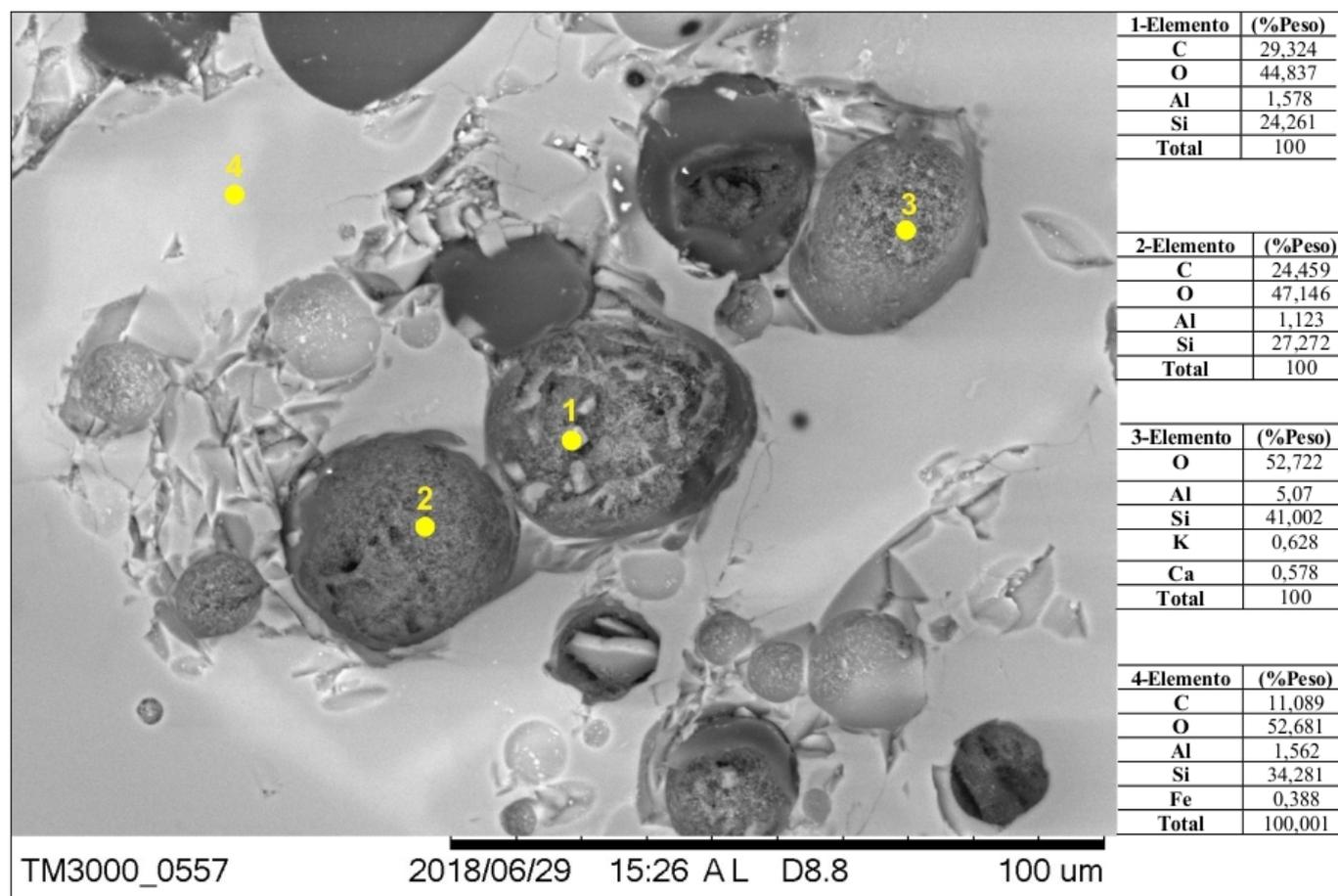


Fig. 9: Fotomicrografia de MEV em porções da parede externa com localização das análises por EDS e ao lado os respectivos dados semiquantitativos. A área cinza-claro é formada por sílica amorfa e possivelmente matéria orgânica (análise 4); as bolhas correspondem às áreas cinza-escuro de morfologia circular com fragmentos de quartzo no interior (análises 1, 2 e 3).

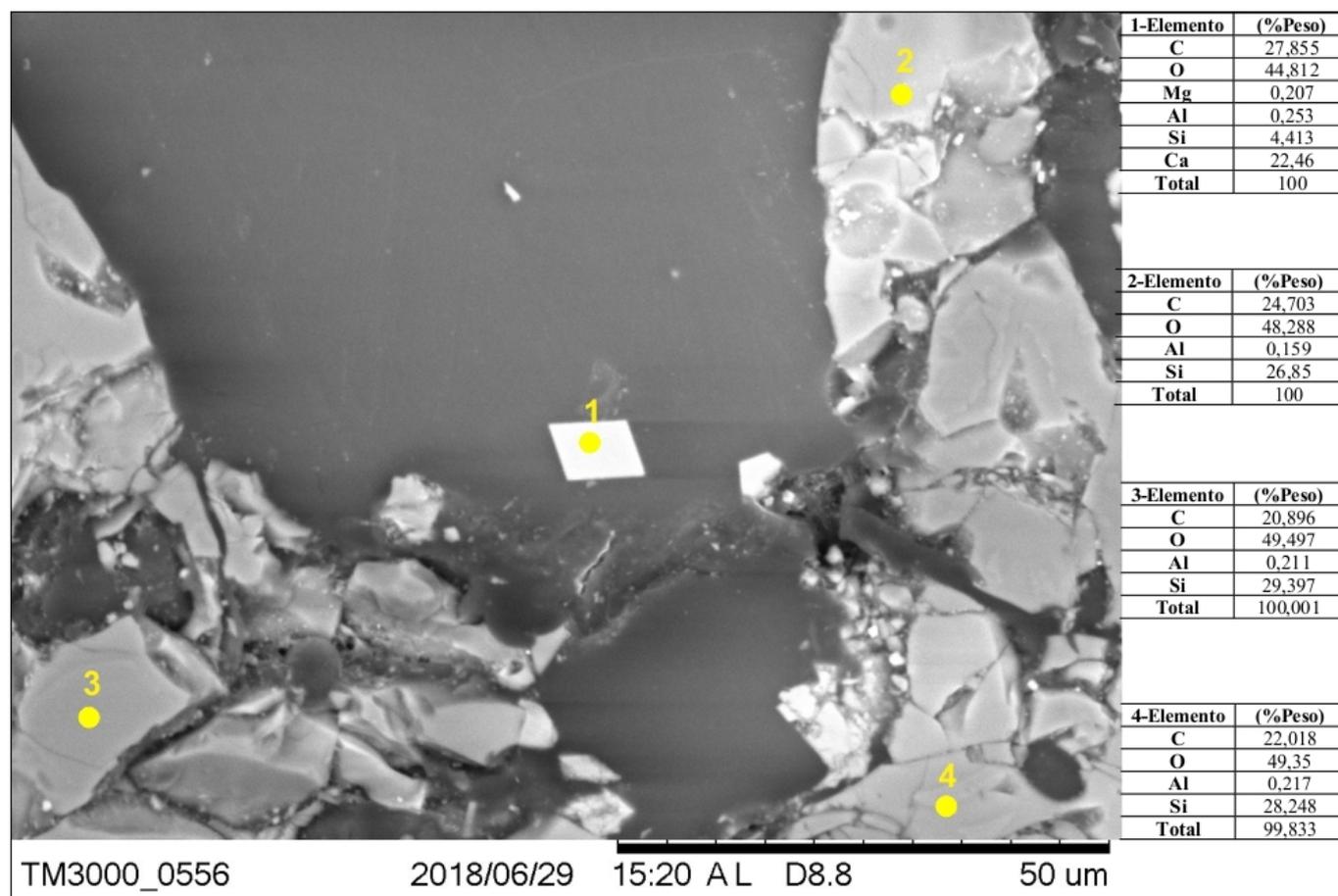


Fig. 10: Fotomicrografia de MEV da área da parede externa com localização das análises por EDS e ao lado os respectivos dados semiquantitativos. Na parte central da imagem, a morfologia e composição química sugere possível romboedro de calcita (análise 1). As análises 2, 3 e 4 foram interpretadas como quartzo, associados com expressivos teores de C possivelmente relacionado à matéria orgânica.

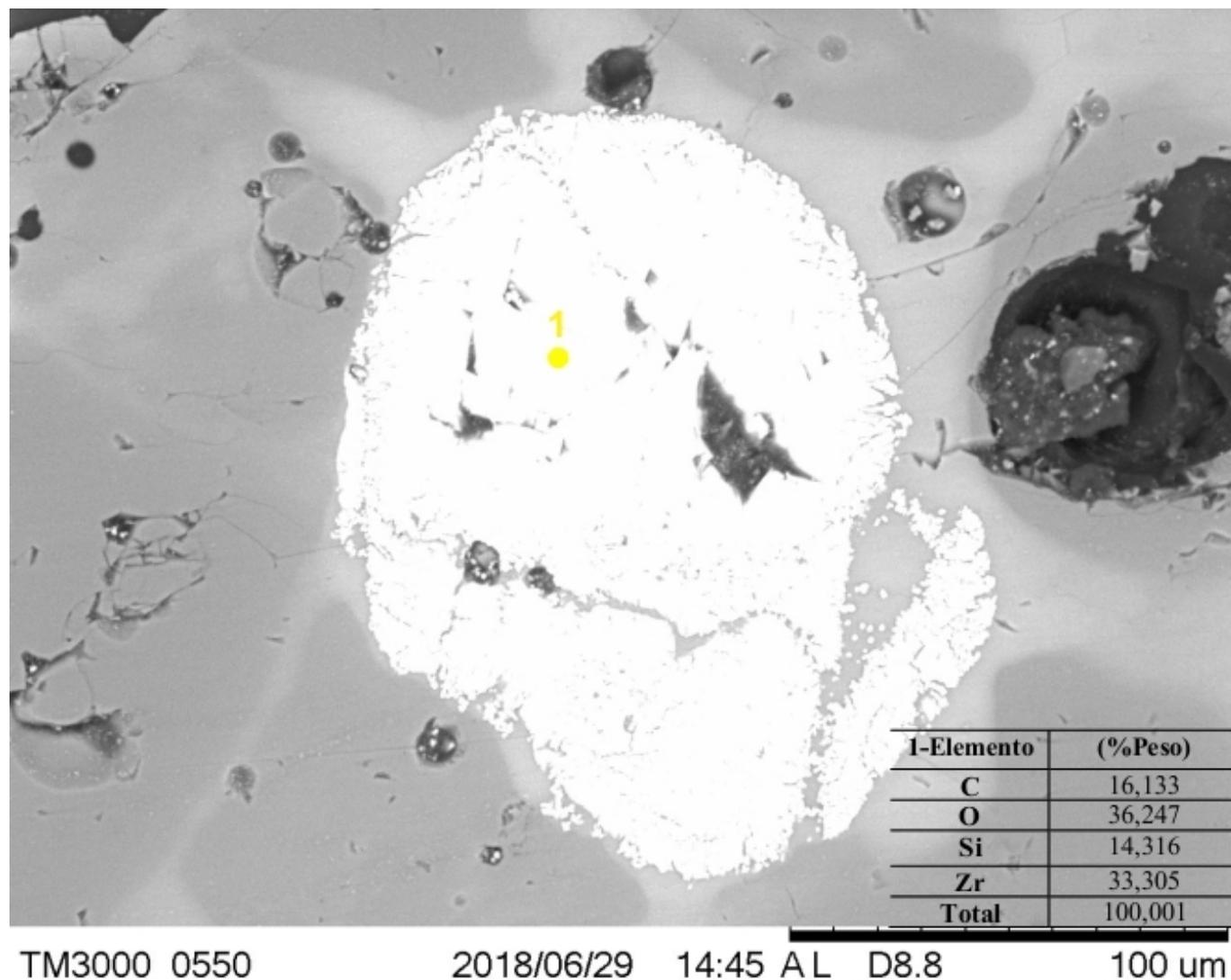


Fig. 11: Fotomicrografia de MEV mostrando grão de zircão bastante fraturado em área da parede externa em domínio de vidro de sílica. Está indicada a localização da análise por EDS e abaixo os respectivos dados semiquantitativos com expressivo teor de C, possivelmente relacionado à matéria orgânica.

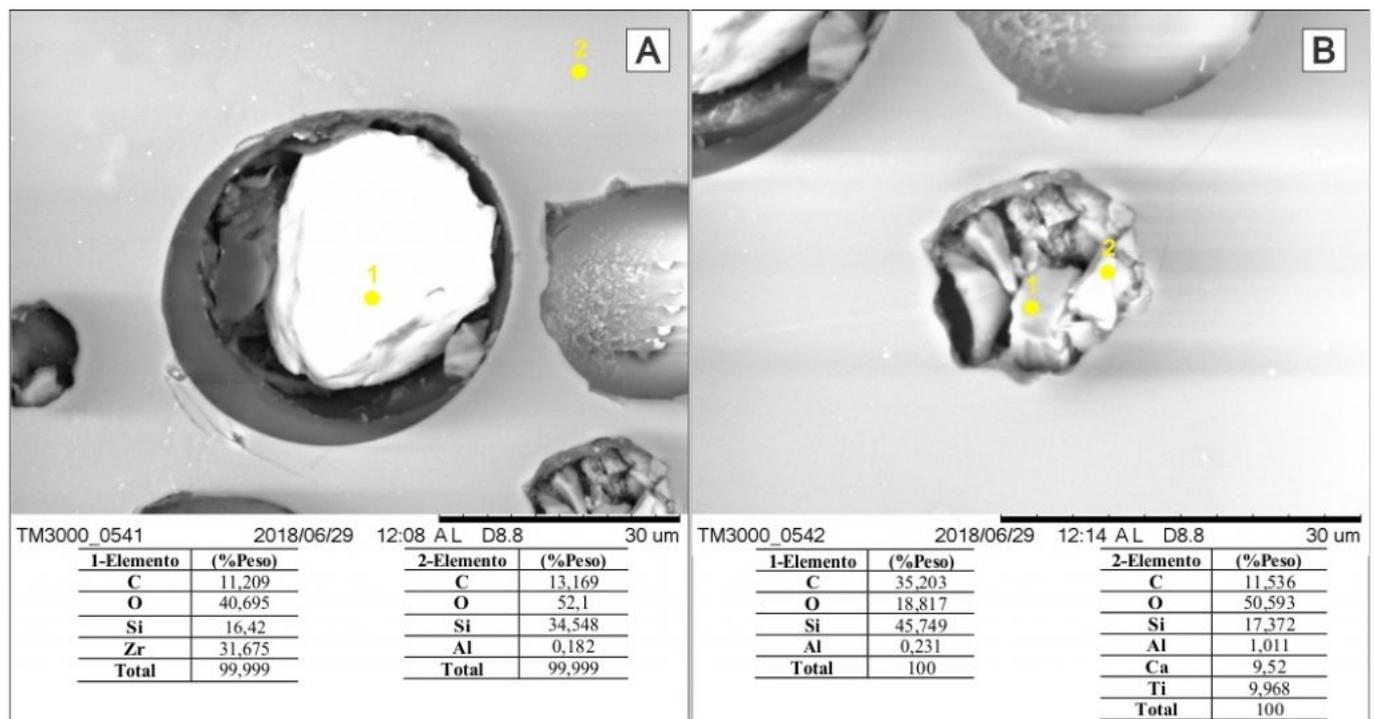


Fig. 12: Fotomicrografias de MEV da parte intermediária da parede interna com localização das análises por EDS e abaixo os respectivos dados semiquantitativos. (A) Grão de zircão (análise 1) no interior de uma bolha em domínio de vidro de sílica e matéria orgânica (análise 2); (B) fragmentos de grãos de quartzo (análise 1), titanita (análise 2) e, possivelmente, matéria orgânica, no interior de uma bolha.

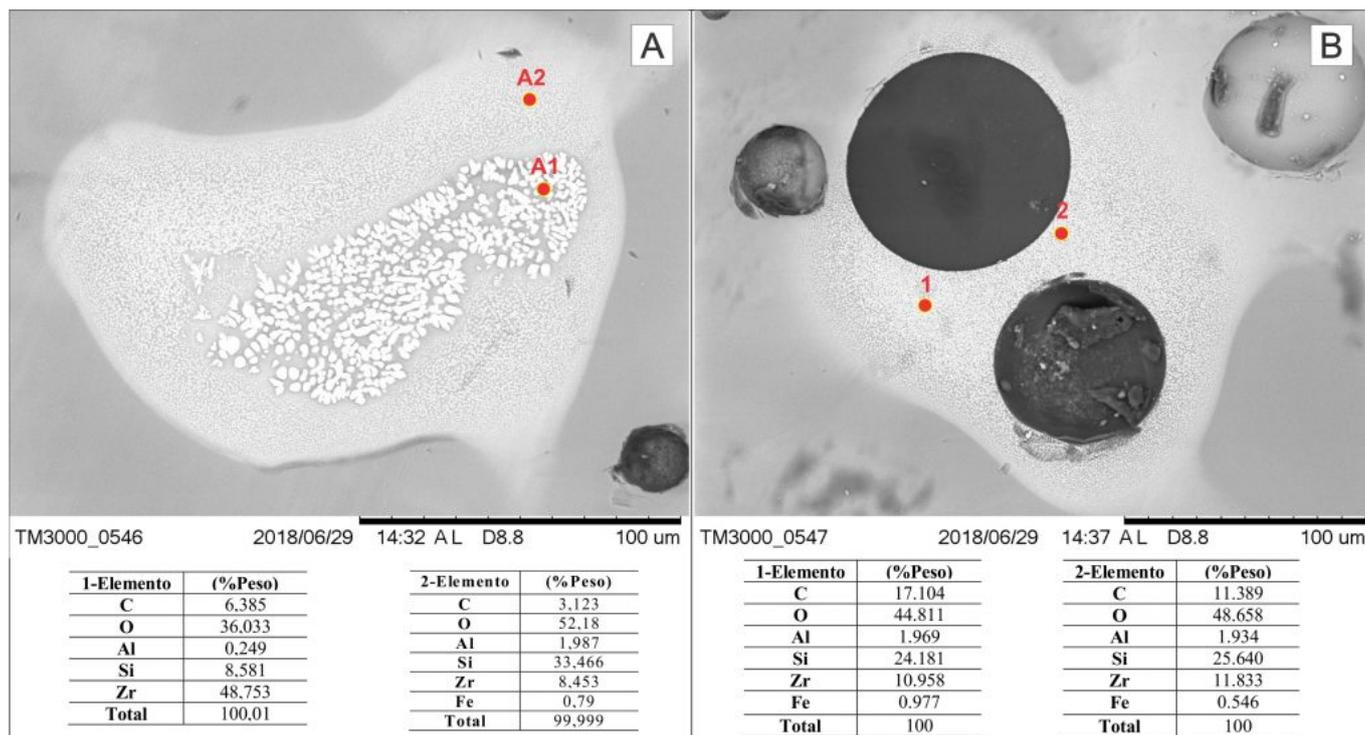


Fig. 13: Fotomicrografia de MEV mostrando grãos de zircão na parte intermediária da parede interna com localização das análises por EDS e abaixo os respectivos dados semiquantitativos. (A) Grão de zircão com zoneamento composicional, em que a porção mais central (análise A1) apresenta maiores teores de Zr em relação à borda (análise A2); (B) grão de zircão bastante alterado com duas bolhas que não englobam toda a área do grão. A presença do C pode estar associada à matéria orgânica.

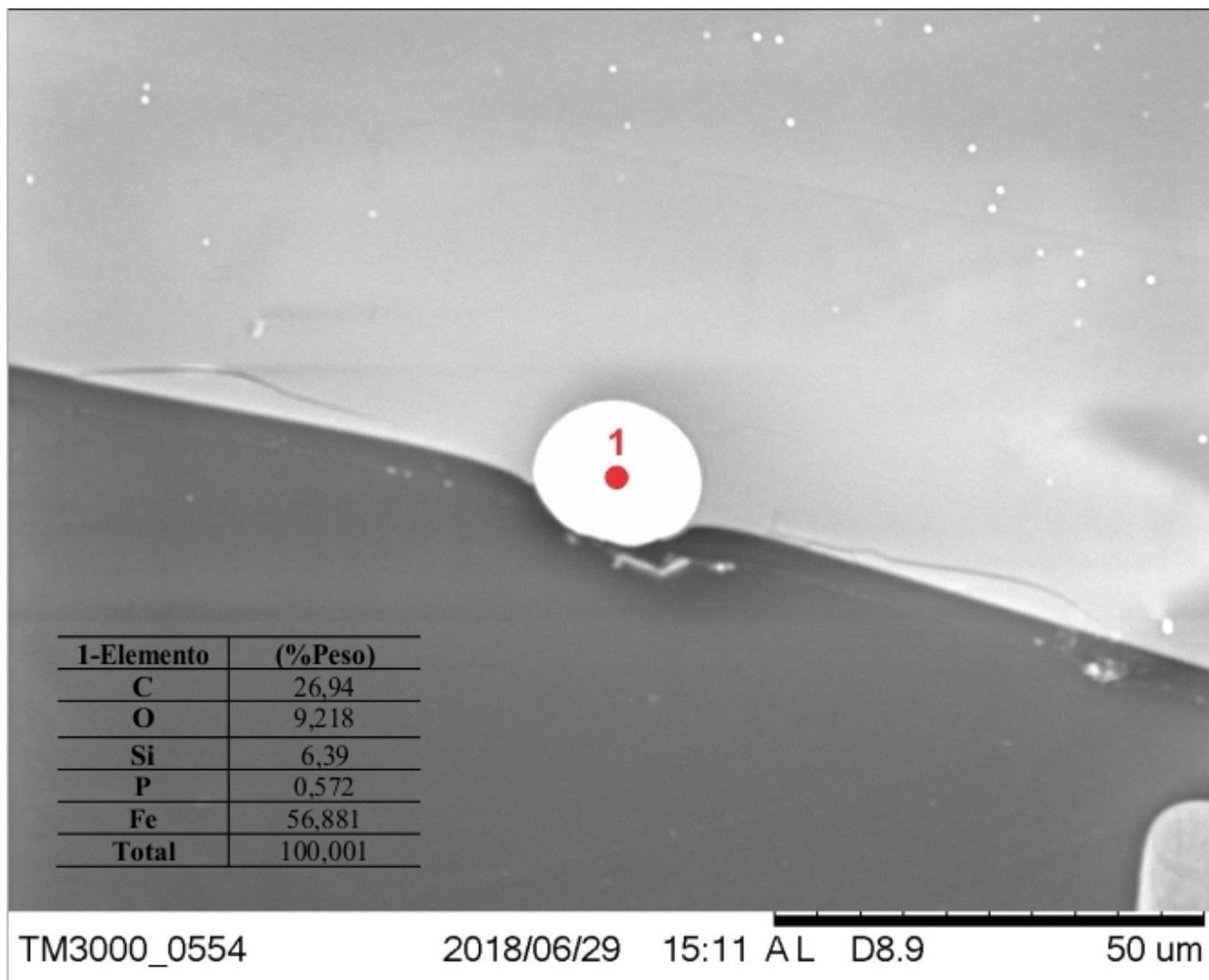


Fig. 14: Fotomicrografia de MEV de possível cristal arredondado de hematita na parte intermediária da parede interna com localização das análises por EDS e abaixo os respectivos dados semiquantitativos. O C pode estar relacionado à matéria orgânica.

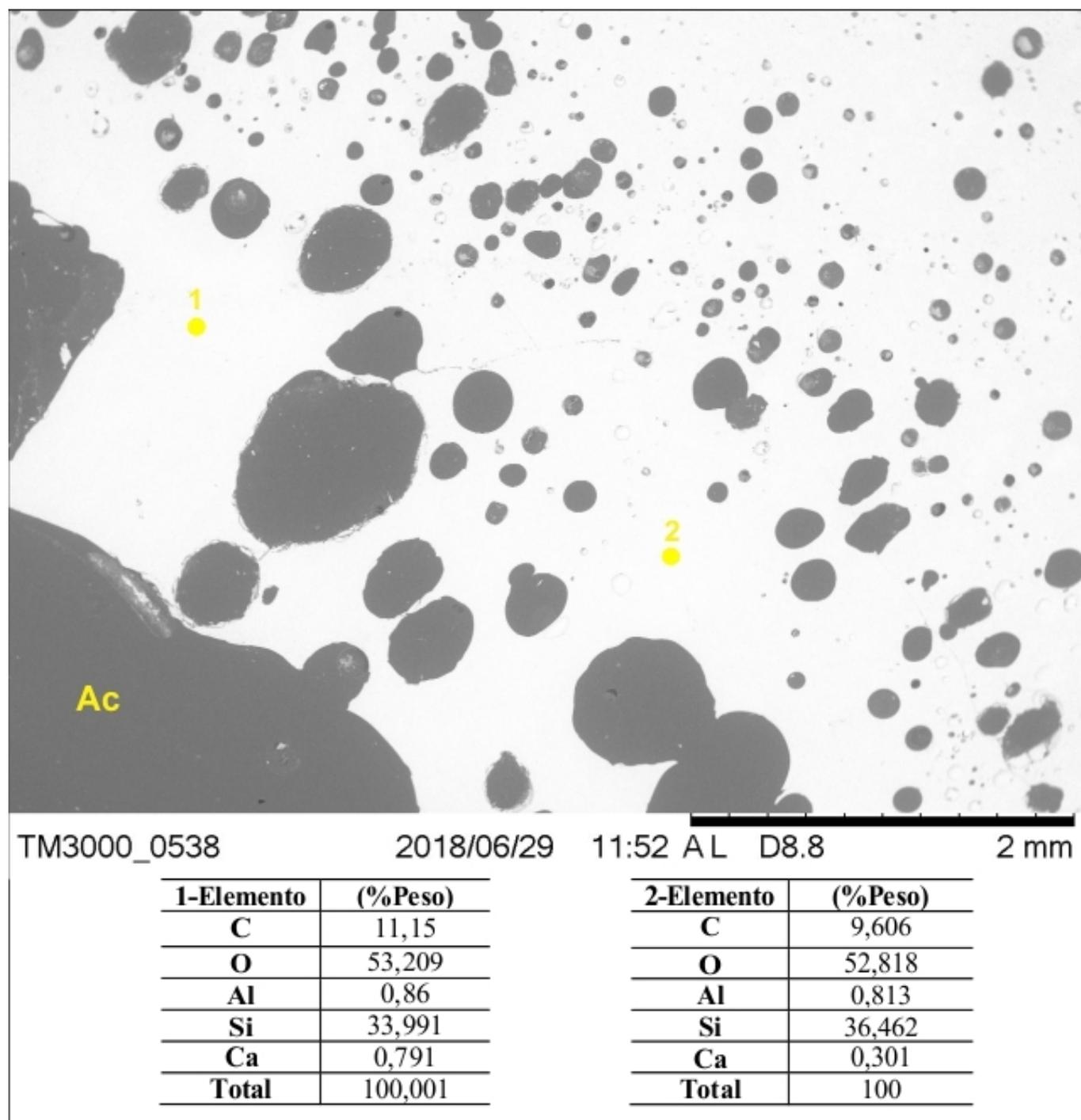


Fig. 15: Fotomicrografia de MEV mostrando a parte interna da parede interna com localização dos pontos analisados e abaixo os respectivos dados semiquantitativos, que indicam a composição do vidro de sílica com possível presença de matéria orgânica. Vale ressaltar a disposição radial das bolhas em relação à abertura central (Ac).

## DISCUSSÃO

A análise macroscópica da amostra coletada indica a forma de um tubo oco, composto predominantemente por sílica amorfa, matéria orgânica e grãos de quartzo de granulometria fina a média aderidos a parede externa. Pasek *et al.* (2012) ressaltam que as paredes externas de fulguritos são compostas pelo material original parcialmente fundido ou cozido aderido a parede. Essa característica é comumente observada em vários fulguritos, como aqueles descritos por Julien (1901), Petty (1936) e Rogers (1946).

Os grãos de quartzo bastante fraturados na parede externa da amostra devem estar relacionados ao impacto do raio, que pode gerar pressões de até 10 atm, além da variação instantânea da temperatura (Gailliot, 1980; Pinto Jr. & Pinto, 1996). Rogers (1946) e Sponholz *et al.* (1993) descreveram a ocorrência de cristobalita, principalmente na borda de grãos de quartzo, como produto de alteração térmica desses grãos. A ocorrência de cristobalita se deve a fusão incongruente do quartzo, visto que é formada em temperaturas maiores que 1500° C em baixa pressão (Deer, Howie & Zussman, 2000; Pasek, 2017). Os grãos de zircão com bordas escurecidas e núcleos distintos indicam a substituição por material vítreo, isso é sugestivo de um processo de fusão incongruente tendo como resultado um líquido (*melt*), um sólido neoformado e uma porção não fundida de zircão (Pasek, 2017). Esse processo pode explicar a variação composicional observada nos grãos de zircão, que podem estar parcialmente misturados com a matriz.

Espera-se que ocorra a fusão congruente nas paredes internas de fulguritos, em que os minerais fundem completamente para gerar um líquido. Bem como é esperado que ocorra fusão incongruente nas paredes externas (Pasek, 2017). No caso da amostra de fulgurito estudada, os zircões foram submetidos a temperaturas superiores a 1600° C, que é a temperatura em que o zircão começa a fundir (Butterman & Foster, 1967 *apud.* Pasek *et al.*, 2012).

A presença de matéria orgânica no material original, como raízes e detritos, está associada à extrema redução química durante a formação de fulguritos, isso pode gerar Fe e Si nativos, bem como compostos de Fe-Si. (Essene & Fisher, 1982 *apud.* Block, 2011). Dessa forma, é possível que a hematita identificada por DRX seja um composto de Fe-Si associado a matéria orgânica, como indicam os resultados da análise de MEV/EDS

A presença de bolhas dispersas na amostra estudada é marcante, sendo que nas proximidades da abertura central, essas bolhas tendem a exibir formas elípticas orientadas radialmente em relação à abertura central. Isso é indicativo das altas temperaturas geradas no processo de formação do fulgurito, capazes de fundir, vaporizar e deixar o material em ebulição. A deformação das bolhas está associada à compressão lateral ou tangencial dentro da parede vítrea (Julien, 1901, Petty, 1936; Pasek *et al.*, 2012). Além das bolhas permitirem o escape dos voláteis, é possível que a expansão do ar e o vapor presente isolem alguns grãos das altas temperaturas geradas na descarga elétrica, o que deixa alguns grãos relativamente inalterados (Pasek *et al.*, 2012).

Saikia *et al.* (2008) descreve fulguritos arenosos da Índia em que a superfície externa é composta por grãos não fundidos de quartzo aderidos à parede externa e a parte interna é composta por vidro. Além disso, as análises de DRX realizadas para a amostra total do fulgurito da Índia, sem separação entre parede interna e externa, indicam um padrão geral de sílica amorfa com a presença de quartzo cristalino tido como impurezas. Por outro lado, Elmi *et al.*, (2017) descreve fulguritos rochosos da Itália formados em granitos em que a composição é similar à da rocha original, porém, com a presença de minerais neoformados como cristobalita, que indicam que a temperatura excedeu os 1700 °C em condições de

pressão próximas a da atmosfera.

## CONCLUSÕES

Com base nos dados obtidos foi possível identificar que o fulgurito coletado na região de São Geraldo do Araguaia possui características morfológicas que corroboram para a classificação como um fulgurito tipo II, segundo Pasek *et al.* (2012). Esse tipo de fulgurito tem sua origem normalmente associada a materiais argilosos e siltosos. Porém, a parede externa da amostra estudada é composta predominantemente por grãos quartzo com granulometria de areia fina a média, o que remete a um material original arenoso rico em quartzo.

É importante ressaltar que fulguritos são classificados como rochas metamórficas cujo metamorfismo é dito como “metamorfismo relâmpago” (tradução livre para *lightning metamorphism*), em que as temperaturas podem superar os 2000° C em microssegundos, causando a fusão, vaporização e extrema redução química da superfície atingida pelo raio. Ainda, são observadas feições de compressão nos grãos não fundidos.

Por outro lado o metamorfismo envolve a mudança da estrutura e composição da rocha em estado sólido. Nos fulguritos, é evidente que ocorre a extensa fusão e vaporização do material original. Nesse sentido, fulguritos poderiam ser considerados rochas ígneas.

Vale ressaltar que o presente trabalho é o primeiro a descrever uma amostra de fulgurito no Brasil, mais especificamente na Amazônia. Os resultados podem contribuir para a maior divulgação e entendimento desse tipo específico de rocha, no sentido de avaliar as condições de formação bastante específicas, em virtude das temperaturas extremas que são geradas em questões de milissegundos.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem ao Prof. Paulo Gorayeb por coletar e ceder a amostra de fulgurito, ao Programa de Educação Tutorial (PET-Geologia) pela concessão de bolsa de estudo ao longo da graduação, à Oficina de Laminação pela agilidade e excelência na confecção das lâminas delgadas e polidas, aos Laboratórios LAMIGA do Museu de Geociências por realizar as análises de MEV-EDS, ao Laboratório de Difração de Raios-X – IG pelas análises realizadas e ao Laboratório de Sedimentologia por ceder os microscópios e computadores para captura das imagens.

## REFERÊNCIAS

ALVES, G. 2017. Tocantins é o estado campeão em raios; em SP, São Caetano lidera ranking. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 24 ago. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/ciencia/2017/09/1921434>>

-tocantins-e-estado-campeao-em-raios-em-sp-sao-caetano-lidera-ranking.shtml>, acesso em 23/10/2018.

BARROWS, W. L. 1910. **A Fulgurite from the Raritan Sands of New Jersey: With an Historical Sketch and Bibliography of Fulgurites in General**. School of Mines Quarterly (Columbia University) 31(4):294-319.

BLOCK, Kristin. 2011. Fulgurite classification, petrology, and implications for planetary processes. MS dissertation, Department of Planetary Sciences, University of Arizona, Tucson, 68 p.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. 2000. **Minerais Constituintes das Rochas: Uma introdução**. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 738 p.

ELMI, C.; CHEN, J.; GOLDSBY, D.; GIERÉ, R. 2017. Mineralogical and compositional features of rock fulgurites: A record of lightning effects on granite. **American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials**, v. 102, n. 7, p. 1470-1481.

GAILLIOT, M. P. 1980. "Petrified Lightning" A Discussion of Sand Fulgurites. **Rocks & Minerals**, v. 55, n. 1, p. 13-17.

JULIEN, A. A. 1901. A study of the structure of fulgurites. **The Journal of Geology**, v. 9, n. 8, p. 673-693.

PALERMO, N.; COELHO, MRC. 2009. Laboratório geológico de processamento de amostras: procedimentos técnicos. **UERJ, Centro de Tecnologia e Ciências, Rio de Janeiro**.

PASEK, M. 2017. **Fulgurites: Their Science, History and Discovery**. 1. ed. Florida: Free Radical Consulting, 103 p.

PASEK, M. A.; BLOCK, K.; PASEK, V. 2012. Fulgurite morphology: a classification scheme and clues to formation. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 164, n. 3, p. 477-492.

PETTY, J. J. 1936. The origin and occurrence of fulgurites in the Atlantic coastal plain. In: **Amer. Jour. Sci., 5th ser.**

PIERIN, A. R. H. 2013. **Análise estrutural multi-escala na porção central da faixa de dobramentos Araguaia**. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 141 p.

PINTO JR, O.; PINTO, I. R. C. A. 1996. **Relâmpagos**. São Paulo: Brasiliense, 105p.

ROGERS, A. F. 1946. Sand fulgurites with enclosed lechatelierite from Riverside County, California. **The Journal of Geology**, v. 54, n. 2, p. 117-122.

SAIKIA, B. J.; PARTHASARATHY, G.; SARMAH, N. C.; BARUAH, G. D. 2008. Fourier-transform infrared spectroscopic characterization of naturally occurring glassy fulgurites. **Bulletin of Materials Science**, v. 31, n. 2, p. 155-158.

SPONHOLZ, B.; BAUMHAUER, R.; FELIX-HENNINGSSEN, P. 1993. Fulgurites in the southern Central Sahara, Republic of Niger and their paleoenvironmental significance. **The Holocene**, v. 3, n. 2, p. 97-104.



[10.31419/ISSN.2594-942X.v62019i3a5LTF](https://doi.org/10.31419/ISSN.2594-942X.v62019i3a5LTF)

---

PDF generated by Kalin's PDF Creation Station