

HISTÓRICO E ESTADO DA ARTE DA CIÊNCIA DOS ASTROMATERIAIS

Ananda Lopes Proença Ribeiro da Fonseca (IC), Odila Florêncio (Orientadora) e Augusto Nobre Gonçalves (PG)

Apoio: PIVIC Mackenzie

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar os resultados de estudo histórico e bibliográfico a respeito da evolução da ciência dos astromateriais. O artigo é dividido em três tópicos principais, resumidos a seguir. A introdução apresenta a fundamentação teórica (sob o ponto de vista astronômico, geológico e das ciências dos materiais) abordada no trabalho e necessária para o seu acompanhamento, além dos registros das primeiras observações humanas de astromateriais, da Antiguidade até o século XV. Em seguida, é abordada a evolução científica propriamente dita do conhecimento relacionado ao assunto, do século XVIII, quando os estudos se tornaram sistematizados, até o seu estado da arte nos dias de hoje. Por último, como conclusão do trabalho, são apresentadas considerações finais sobre a evolução histórica do conteúdo e a importância dos estudos para desenvolvimento do tema, tanto em seu aspecto científico – visando ao alcance melhor entendimento da formação e evolução da Terra e do sistema solar – como em sua perspectiva tecnológica, voltada às ciências dos materiais, pois como diversos astromateriais possuem gênese em condições termodinâmicas não observadas na Terra e apresentam fases minerais metálicas e cerâmicas, texturas e microestruturas inéditas, pode haver desenvolvimento de novos materiais com propriedades singulares ou melhoria dos processos atuais de conformação de materiais.

Palavras-chave: Astromateriais. História da ciência. Desenvolvimento científico.

ABSTRACT

This paper aims to present the results of a historical and bibliographic study on the evolution of astromaterial science. The article is divided in three main topics: the introduction, which presents the theoretical foundation (from the astronomical, geological and material science point of view) that is necessary for understanding the theme, as well as records of the first human observations of astromaterials, from antiquity until the fifteenth century. Then, the actual scientific evolution of knowledge on the subject of astromaterials is described, starting from the eighteenth century, when studies became systematized, and ending today, with the state of the art on astromaterials. Lastly, the conclusion topic presents final considerations on the historical evolution and the importance of studying and developing the theme of this article, both in its scientific aspect, aiming to reach a better understanding on the formation and evolution of the Earth and the solar system; as well as regarding its technological perspective, focusing on materials science, since as many astromaterials have genesis in extraterrestrial thermodynamic conditions and present unseen metallic and ceramic minerals, as well as textures and microstructures in their composition, they may allow the development of new materials with unique properties or the improvement of current processes of material conformation.

Keywords: Astromaterials. Science history. Scientific development.

1. INTRODUÇÃO

Astromateriais são substâncias sólidas, tradicionalmente materiais cerâmicos, metálicos ou cerâmico-metálicos, que tiveram origem no espaço sideral e, mesmo após atingirem a superfície da Terra, ainda mantiveram parte de sua massa preservada. (GOMES; KLEIN, 1980; HUTCHISON, 2004; LAURETTA; KILLGORE, 2005).

Apesar de serem estudados pela mesma ciência, a meteorítica, os astromateriais diferem-se de meteoritos, que são materiais de origem obrigatoriamente natural (SMITH; RUSSELL; BENEDIX, 2009). Como até hoje não há confirmação de astromateriais que não sejam gerados naturalmente por processos geológicos, os conceitos acabam se miscigenando.

A meteorítica é uma área do conhecimento de interface entre a astronomia, a geologia e as ciências dos materiais. Enquanto a astronomia predominantemente se fundamenta em investigações extraterrestres com uso de técnicas de caracterização indiretas, ou seja, quando não há a manipulação de amostras; a geologia caracteriza e interpreta a origem dos sólidos naturais; e as ciências dos materiais buscam o entendimento e a melhoria de processos para a conformação de materiais, visando à resolução de problemas científicos e tecnológicos da humanidade.

Como os astromateriais têm origem extraterrestre, muitas vezes apresentam feições genéticas e propriedades inéditas em comparação aos materiais terrestres, por possuírem gênese em condições termodinâmicas que não são encontradas naturalmente na Terra, o que fomenta a busca pelo seu entendimento e a possibilidade de fabricação de materiais com novas propriedades.

Para a compreensão da fundamentação teórica envolvida no estudo dos astromateriais, é necessário elucidar alguns conceitos básicos da meteorítica voltados ao seu viés astronômico. Materiais potencialmente meteoríticos, quando ainda estão no espaço (por serem resultado da desagregação de corpos parentais, como asteroides, cometas, a Lua, ou Marte), sem, no entanto, possuírem rota de colisão com a Terra no momento em que são reconhecidos, são denominados de meteoroides (ERICKSON, 2003).

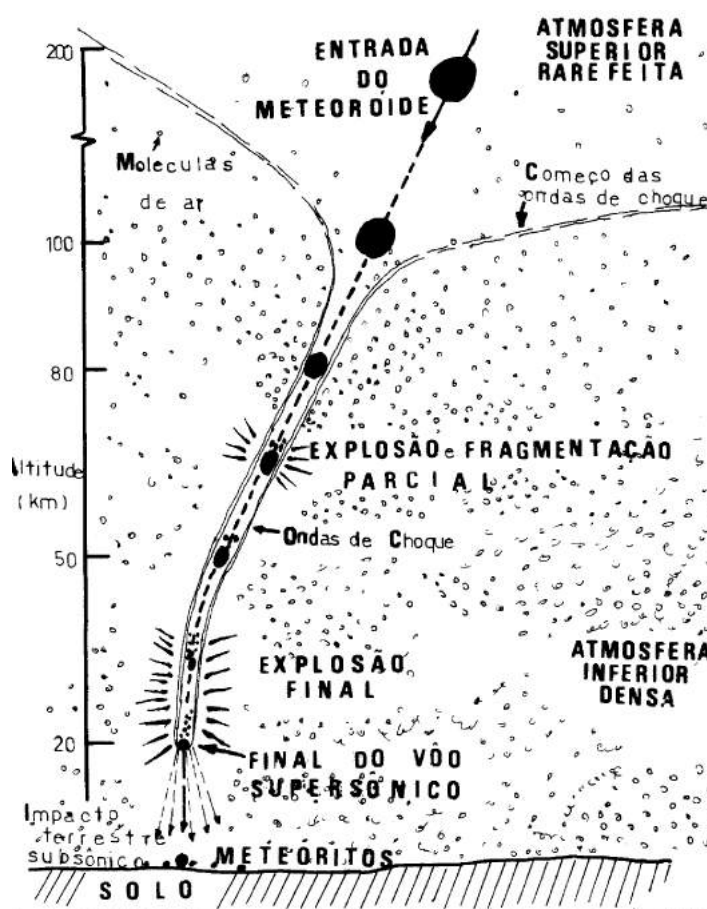
O meteoróide em rota de colisão com a Terra adentra a atmosfera, passando a submeter-se ao atrito com o ar. Por isso, o material é aquecido e queima, permitindo a formação de um rápido rastro luminoso que é o meteoro, popularmente conhecido como “estrela cadente” (ERICKSON, 2003; ZUCOLOTTO; FONSECA; ANTONELLO, 2013).

Meteoros, em seu caminho na atmosfera, podem emitir assovios ou estrondos ao explodir em sua rota de colisão com a Terra por estarem em velocidades supersônicas; quando se encontram nesse estado, os meteoros passam a ser denominados bólidos. Quando um bólido produz uma grande quantidade de brilho, eventualmente podendo superar a intensidade do brilho solar por alguns instantes, ele é chamado de *fireball* ou “bola de fogo” (ERICKSON, 2003; REYNOLDS, 2010). Um famoso exemplo de bola de fogo foi retratado por Nininger (1934) referente ao evento de 24 de março de 1933 no Novo México (EUA).

Quando o material possui tamanho e resistência para, por fim, tocar a superfície terrestre, recebe o nome de meteorito, ou astromaterial, dependendo de seu processo de formação (NORTON, 1998).

As etapas a partir da entrada de um meteoróide na atmosfera da Terra até a sua colisão com a superfície foram amplamente estudadas por Norton e Chitwood (2008) e podem ser observadas esquematicamente na Figura 1.

Figura 1. Etapas da rota de colisão de um meteoróide com a superfície terrestre.



Fonte: Zucolotto, Fonseca e Antonello, 2013.

A norma para nomeação de meteoritos foi estabelecida pelo comitê da *Meteoritical Society* e exige que eles recebam o nome local (município, vilarejo, entre outros) mais próximo de onde foram recuperados, não sendo permitido dar o nome de seu descobridor, da equipe que o descreveu, ou realizar homenagens (ZUCOLOTTO; FONSECA; ANTONELLO, 2013).

O trabalho de Zucolotto, Fonseca e Antonello (2013) destaca que quando a queda de um astromaterial é assistida, ele é classificado como “queda”, mas caso ele seja recolhido em campo, sem estar associado a um evento de observação registrado, ele é denominado “achado”.

Um exemplo de queda com significativa repercussão na mídia foi o meteorito Chelyabinsk, observado na Rússia em 15 de fevereiro 2013 e descrito por Popova et al. (2013). O meteorito Bendegó, o maior meteorito brasileiro, com 5.360 kg, exemplo de astromaterial achado, foi descoberto em 1784 no interior da Bahia e descrito inicialmente por Derby (1896) (CARVALHO et al., 2011).

Até o século XVIII, a meteorítica era muito próxima às tradições culturais locais, como no registro do “ferro celeste” em hieróglifos egípcios antigos e da liga metálica de ferro caída do céu encontrada em manuscritos sumérios datados de 1900 a.C. (ZUCOLOTTO; FONSECA; ANTONELLO, 2013).

Alguns materiais interpretados como meteoritos se tornaram objetos de veneração religiosa, como a Pedra Negra exposta na Kaaba em Meca, na Arábia Saudita e o material descrito por Tito Lívio no Império Romano e que foi transportado até a capital do império por uma importante procissão (ZUCOLOTTO; FONSECA; ANTONELLO, 2013).

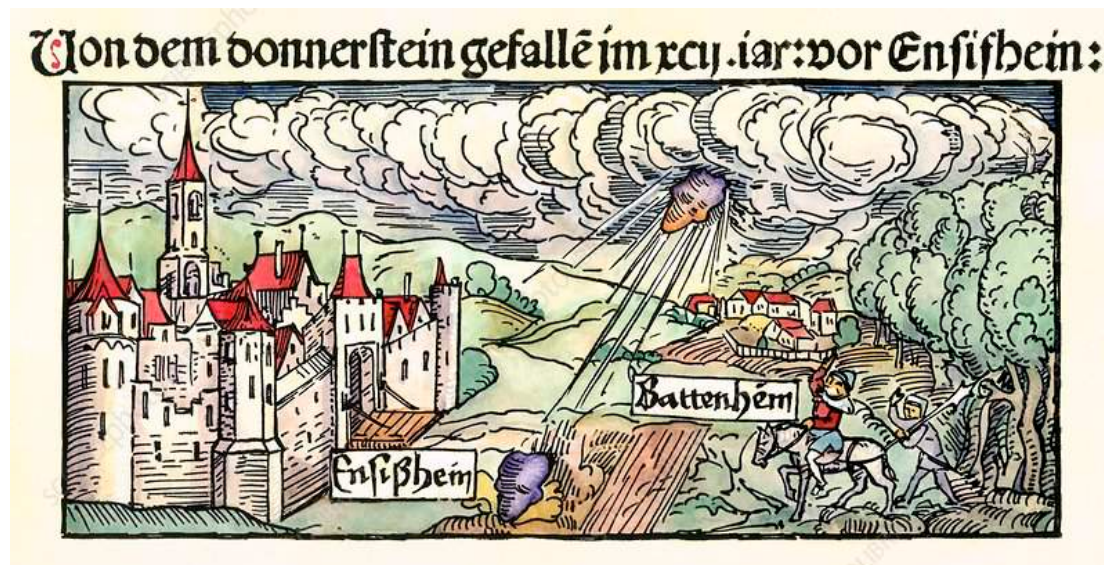
Filósofos da antiguidade, como os gregos Anaxágoras, Diógenes e Aristóteles, em oposição à conduta religiosa de outros povos propuseram que a origem os astromateriais e suas quedas não incluíam somente a ira divina, mas poderiam ser provenientes de ilusões de óptica, fragmentos de montanhas ejetados por vulcões e materiais terrestres gerados pela interação com relâmpagos (HEIDE; WLOTZKA, 1995; DE WEVER; JACQUET, 2016).

Segundo Smith, Russell e Benedix (2009), a queda de astromaterial observada pela humanidade mais antiga de que se tem notícia data de 19 de maio de 861 (no calendário juliano, ou 7 de abril do terceiro ano de Jogan, na cultural local). A amostra caiu no jardim do Templo de Nogata (*Suga Jinja Shinto Shrine*), situado no Japão, sendo preservada pelos sacerdotes locais. A história do evento foi retransmitida oralmente, mas não houve registro oficial. Em 1922, porém, o líder dos sacerdotes do

templo convidou um geólogo local para avaliar o material e, segundo a observação feita pelo profissional, confirmou-se de que se tratava de um astromaterial. A amostra original somente foi detalhadamente caracterizada décadas depois, por Shima et al. (1980).

A queda do meteorito de Ensisheim em 7 de novembro de 1492, na Alsácia (atualmente no território da França), remete ao primeiro evento de queda de astromaterial com relato escrito preservado (Figura 2). Pela singularidade do evento, a peça encontrada – com massa de 127 kg – foi conservada na igreja local, por ordem do Imperador Maximiliano I do Sacro Império Romano-Germânico. Atualmente, a amostra pode ser visitada no *Musée de la Régence* em Ensisheim, França (ROWLAND, 1990; MARVIN, 1992).

Figura 2. Xilogravura de Sebastian Brant descrevendo a queda do meteorito de Ensisheim. A tradução livre da legenda da imagem em alemão diz: “da pedra-trovão (que) caiu no ano de xcii (92) fora de Ensisheim”.



Fonte: Reprodução colorizada de Wasson (1985).

2. DESENVOLVIMENTO DO ARGUMENTO

Entre a queda do meteorito de Ensisheim em 1492 e o início do século XVIII, diversas quedas de astromateriais foram observadas e materiais meteoríticos foram recuperados, mas conforme mencionado por Smith, Russell e Benedix (2009) essas observações e materiais foram considerados pouco relevantes para a evolução do conhecimento científico.

A meteorítica moderna se iniciou propriamente em 1768 com a queda em Lucé, na França. Abbé Bacheley reuniu diversos relatos de testemunhas oculares da queda

e apresentou um relatório bastante detalhado com uma amostra à *Academy of Sciences* de Paris no ano seguinte, sistematizando as circunstâncias em que se deu o evento. A Academia nomeou uma comissão, que incluía o renomado Antoine Laurent Lavoisier para examinar o material. A comissão acabou refutando a ideia de que o material rochoso teria caído do céu, porém, independentemente das conclusões da comissão, o meteorito de Lucé é reconhecido como o primeiro astromaterial analisado quimicamente (BRIGNON, 2016).

Entre 1789 e 1803 um número considerado de quedas foram relatadas, gerando a publicação de diversos livros, artigos científicos e panfletos, discutindo a sua origem, mas de cunho científico pouco sistematizado.

Em 1794 o físico alemão Ernst Chladni publicou o livro "*On the Origin of the Pallas Iron and Others Similar to it, and on Some Associated Natural Phenomena*". Em seu livro Chladni descreveu astromateriais metálicos, explicando a origem e fenômenos associados às quedas de astromateriais, concluindo que eles poderiam possuir origem extraterrestre (MARVIN, 2007).

O ano de 1794 foi marcante para a história da meteorítica, pois também contempla a queda do meteorito de Siena, na Itália. O evento teve repercussão na comunidade inglesa que vivia ou visitava a região, ponto turístico da alta sociedade inglesa no final do século XVIII (BALDANZA; LEVI-DONATI; WILK, 1969; MARVIN, 1995).

Imediatamente no ano seguinte, em 1795, houve uma grande queda amplamente testemunhada nas fazendas de Wold Cottage, em Yorkshire, na Inglaterra. O proprietário das terras onde a queda foi observada, o Capitão Edward Topham, registrou o depoimento de testemunhas oculares do evento, além de outras pessoas que haviam ouvido a explosão, ou visto o brilho de seu bólido indiretamente (PILLINGER; PILLINGER, 1996; MARVIN, 2007). Outro aspecto que reforça a importância desse evento para a história da meteorítica foi o relato de John Shipley, um jovem lavrador que testemunhou a queda de um fragmento do astromaterial muito próximo de onde ele se encontrava, facilitando a aquisição de amostras do material (SMITH; RUSSELL; BENEDIX, 2009).

No início de 1796 Edward Topham publicou no jornal local um relato detalhado das informações que havia arrecadado. Posteriormente à publicação ele levou a rocha para Londres, local onde ela foi colocada em exposição. Um dos visitantes da exposição foi o naturalista britânico e presidente da *Royal Society*, Sir Joseph Banks, que teve acesso à alíquota do material. Banks considerou que os astromateriais

precisavam ser alvo de investigação científica detalhada e, juntamente com amostras de outros materiais que ele possuía, incluiu a amostra do Wold Cottage e as encaminhou ao químico Edward Howard (SMITH; RUSSELL; BENEDIX, 2009).

Howard descobriu que todas as amostras continham níquel em solução sólida com ferro, característica nunca antes observada em nenhum material terrestre, considerando plausível a possibilidade levantada por Chladni sobre a origem extraterrestre dos astromateriais (SEARS, 1976).

As dúvidas remanescentes da comunidade científica europeia do fenômeno natural da queda de astromateriais foi solucionada com a chuva de meteoros de L'Aigle na Normandia francesa em 26 de abril de 1803, em que mais de 3.000 exemplos de fragmentos foram observados (HUGHES, 1982).

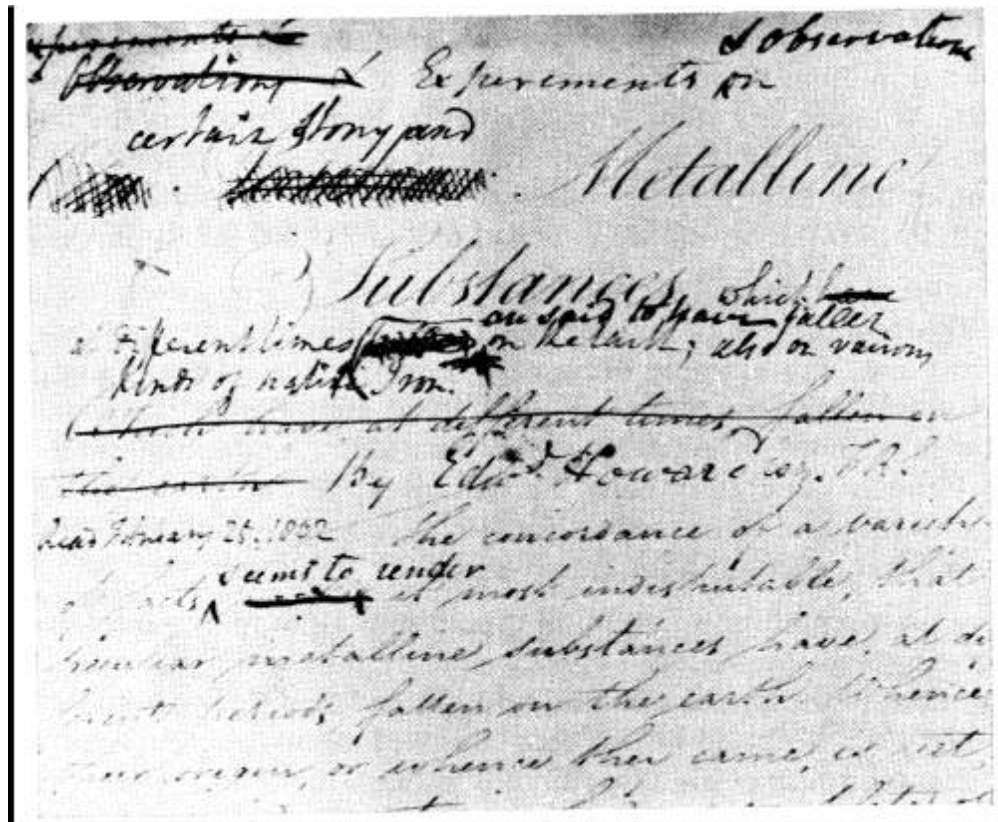
Após sanadas as dúvidas do fenômeno das quedas, a comunidade científica passou a considerar que a gênese dos astromateriais seriam erupções vulcânicas na Lua, ou que os astromateriais seriam formados nas porções superiores da atmosfera terrestre. Nesse período a comunidade acadêmica considerava que a Terra e a Lua formavam um sistema químico fechado e que todos os fenômenos atmosféricos, climáticos e, conseqüentemente, meteoríticos, faziam parte desse sistema. A teoria de Chladni de que os astromateriais seriam originados fora do sistema Terra-Lua ainda eram pouco aceitas (SMITH; RUSSELL; BENEDIX, 2009).

A partir da descoberta dos asteroides em 1801, quando eram interpretados como o resto de um planeta fragmentado, um número progressivamente maior desses corpos espaciais passou a ser observado em regiões afastadas do sistema Terra-Lua, corroborando para a noção atual de que os asteroides são corpos parentais fragmentados de origens diversas (SMITH; RUSSELL; BENEDIX, 2009).

Além da dissolução de níquel em ferro, Howard em 1802 identificou a troilita, um sulfeto de ferro de estrutura cristalina diferente da pirita (mineral popularmente conhecido como o “ouro dos tolos”) e que havia sido quimicamente identificado anteriormente no meteorito de Lucé, mas na oportunidade não houve análise de sua estrutura cristalina, passando despercebida a presença da nova fase mineral.

Devido ao receio de que suas interpretações da caracterização de fases de astrominerais não fosse aceita pela comunidade científica, Howard alterou alguns termos em seu manuscrito para amenizar as possíveis críticas, conforme pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3. Segmento da primeira página do manuscrito de Howard sobre astromateriais. É possível notar a substituição do termo “substâncias que em diferentes épocas caíram” por “(...) dizem que caíram”.

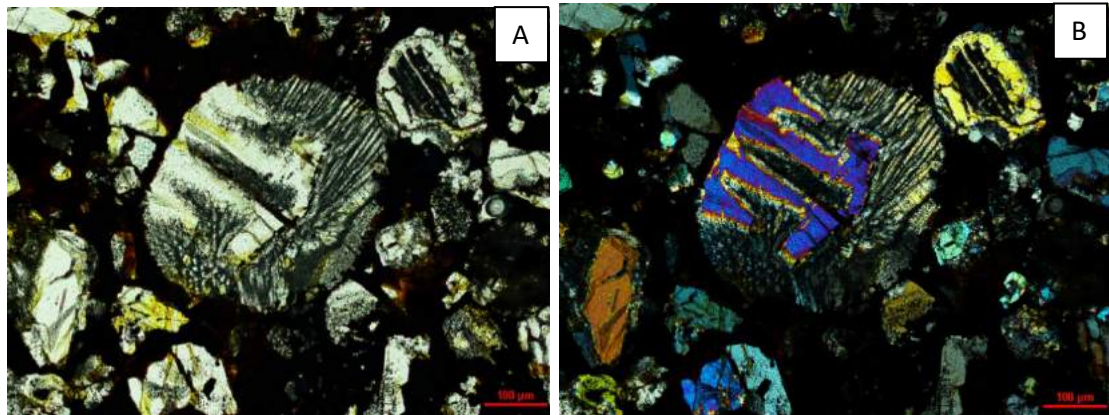


Fonte: Howard, 1802.

Sorby (1863) introduziu o microscópio óptico de luz polarizada na metalografia e petrografia, permitindo um importante avanço nas técnicas analíticas de caracterização de ligas metálicas, materiais cerâmicos, rochas e, conseqüentemente, de astromateriais. As contribuições de Sorby para a mineralogia, renderam-lhe a homenagem com o nome de um mineral, a sorbyita, pertencente ao grupo dos sulfetos ($\text{CuPb}_9(\text{Sb,As})_{11}\text{S}_{26}$).

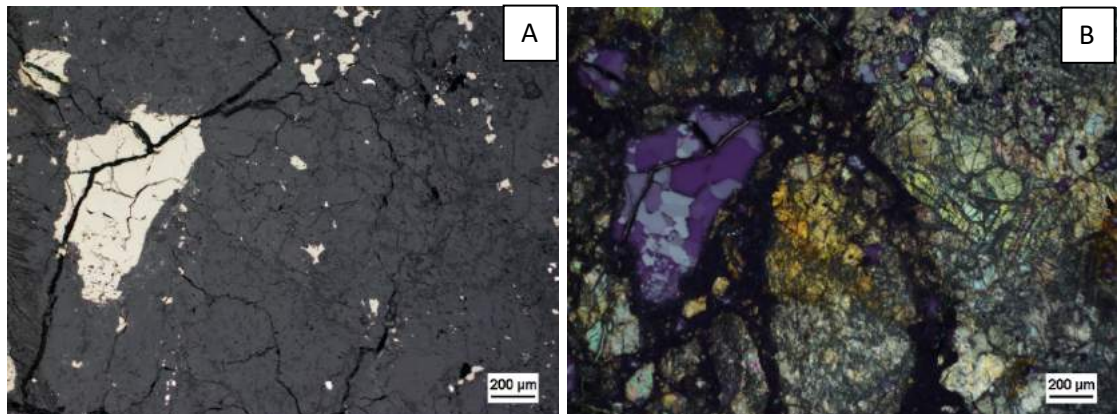
A Figura 4 exibe fotomicrografias adquiridas pela técnica de microscopia óptica com luz polarizada transmitida e a Figura 5 apresenta imagens adquiridas com a variante de luz refletida da mesma técnica de caracterização.

Figura 4. Micrografias de astromateriais adquiridas pela técnica da microscopia óptica de luz polarizada transmitida. A: analisador ausente. B: analisador inserido no sistema óptico.



Fonte: acervo dos autores.

Figura 5. Micrografias de astromateriais adquiridas pela técnica da microscopia óptica de luz polarizada refletida. A: analisador ausente. B: analisador inserido no sistema óptico.



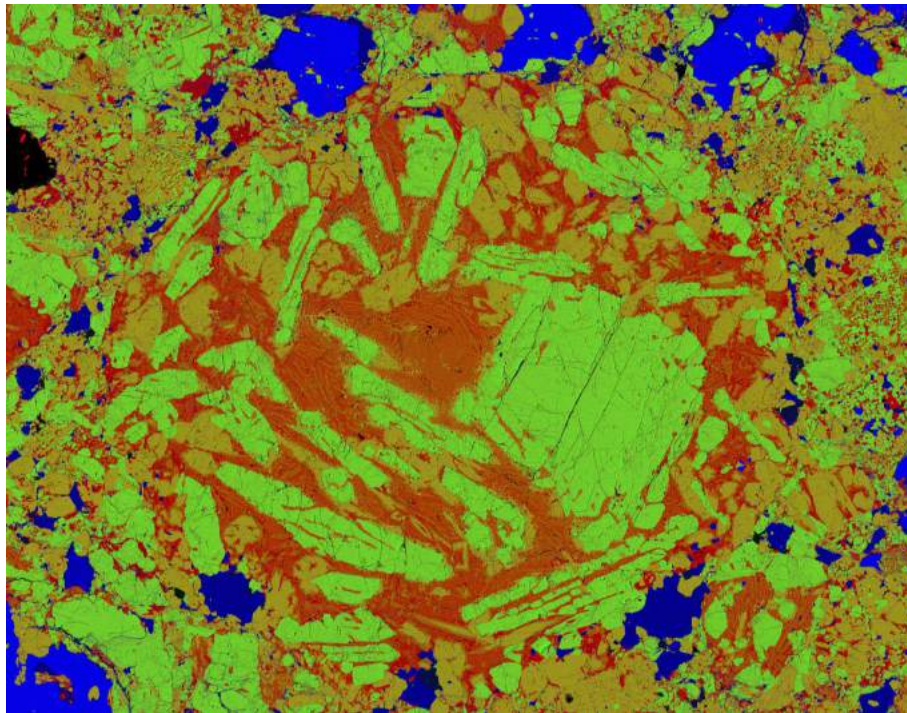
Fonte: acervo dos autores.

Em amplo trabalho de microscopia Tschermak, Wood e Wood (1885) apresentaram o reconhecimento de 16 fases minerais em astromateriais, sendo cinco delas não observadas em materiais terrestres (schreibersita, osbornita, oldhamita, daubrelita e lawrencita).

Dentre os minerais reconhecidos por Tschermak, Wood e Wood (1885) a lawrencita merece destaque, pois consiste em uma fase mineral que ocorre quando meteoritos com importantes contribuições metálicas são contaminados com cloro e pela ação da atmosfera terrestre, permitem a cristalização da lawrencita que destrói rapidamente a estrutura original do astromaterial. Esse fenômeno ficou conhecido como *Lawrencite desilase* (CORDUA, 1995).

Com a introdução da técnica da microsonda eletrônica aplicada à caracterização de materiais geológicos, Krinov conseguiu identificar 26 fases novas fases minerais em 1960 (GOMES, 1984; KRINOV, 2013). Um exemplo de imagem gerada por microsonda eletrônica pode ser observado na Figura 6.

Figura 6. Exemplo de imageamento de astromaterial realizado por microsonda eletrônica. A cor vermelha identifica silício, o verde representa o magnésio e o azul as concentrações de ferro.



Fonte: Nobre et al., 2019.

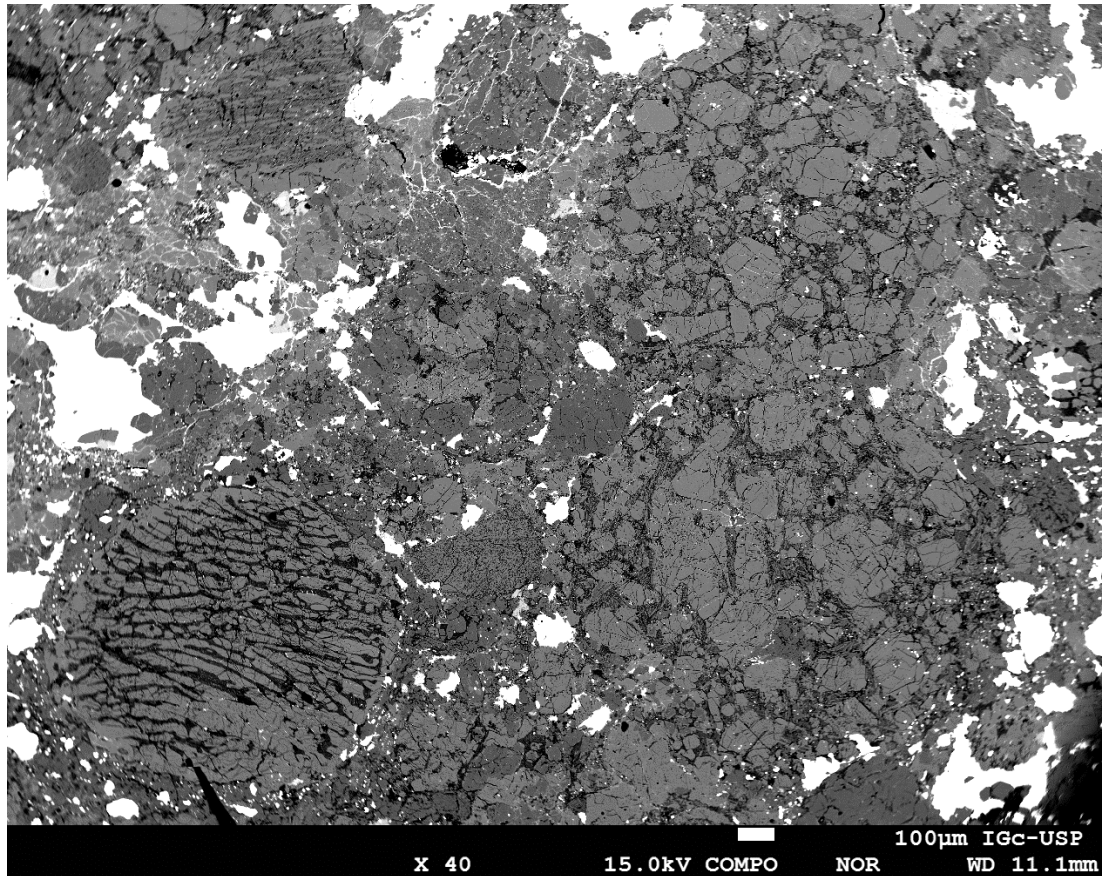
Com a difusão das técnicas de caracterização e identificação de fases em astromateriais Mason (1967) realizou a mais completa compilação sistemática dos dados referentes aos materiais meteoríticos, desenvolvendo a base para o sistema de classificação atual dos astromateriais. Paralelamente, Mason (1967) ainda apresentou a descoberta de 38 novas fases minerais (WEISBERG; MCCOY; KROT, 2006).

Um importante trabalho de compilação das novas fases e atualização da sistemática de classificação dos grupos de astromateriais foi apresentada por Rubin (1997). O trabalho demonstrou o total de 275 fases minerais identificadas em materiais meteoríticos até aquele momento.

Com o advento da microscopia eletrônica de varredura (Figura 7) e da microscopia eletrônica de transmissão com emissão de campo, Rubin e Ma (2017)

apresentaram 435 fases identificadas em astromateriais, com cerca de 40 fases possuindo condição de formação exclusivamente em ambiente extraterrestre, como a kamacita (Fe- α) e a taenita (Fe- γ).

Figura 7. Exemplo de imagem gerada por microscopia eletrônica de varredura da microestrutura de astromaterial em seção polida.



Fonte: acervo dos autores.

A atual classificação dos astromateriais foi apresentada por Krot et al. (2004) e apresenta, de forma simplificada, a seguinte estrutura:

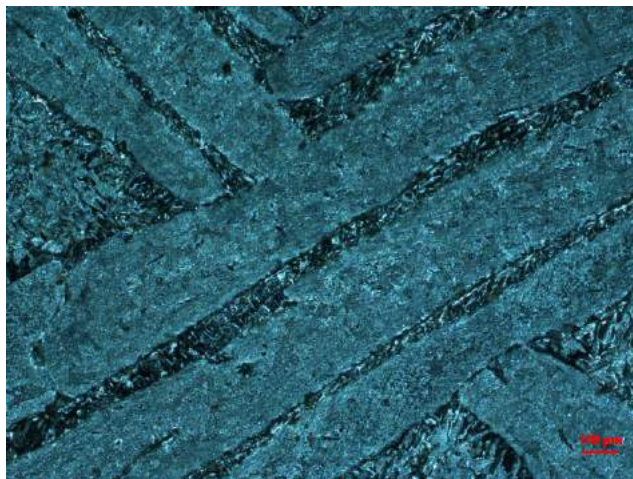
- Materiais metálicos (sideritos): são provenientes de núcleos de modelos planetários que sofreram diferenciação em crosta, manto e núcleo, conforme Figura 8;
- Materiais cerâmicos; e
- Materiais mistos (siderólitos): compostos aproximadamente pela mesma quantidade de componentes cerâmicos e metálicos (Figura 9).

Os meteoritos rochosos podem ser divididos ainda em condritos (possuem côndrulos, estruturas subesféricas, formados por fusão parcial ou total, durante o período de acreção de seu corpo parental) e acondritos. Um exemplo de microestrutura de condritos pode ser observada na Figura 10.

Os acondritos podem ser divididos em dois novos grupos:

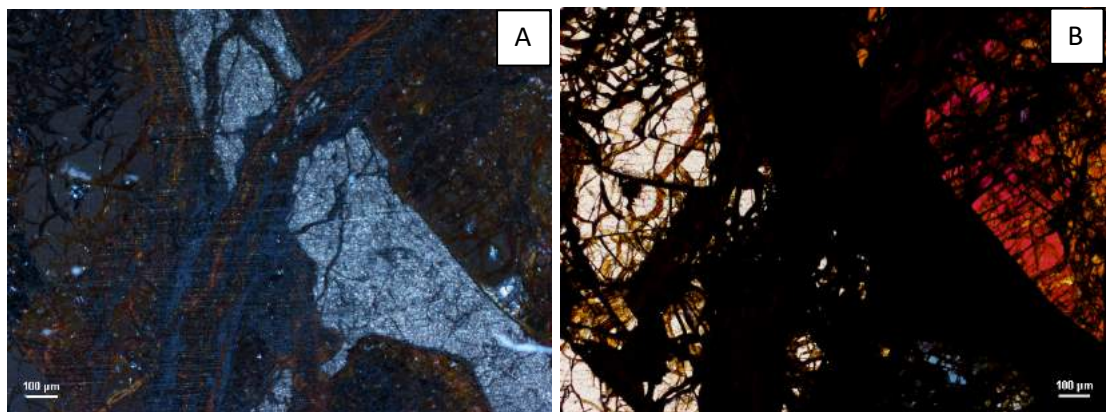
- Primitivos: rochas que não sofreram processo de diferenciação, conforme Figura 11; e
- Diferenciados: rochas diferenciadas, muitas vezes semelhantes às rochas da Terra (Figura 12).

Figura 8. Metalografia evidenciando a estrutura Widmanstätten, comum em astromateriais metálicos.



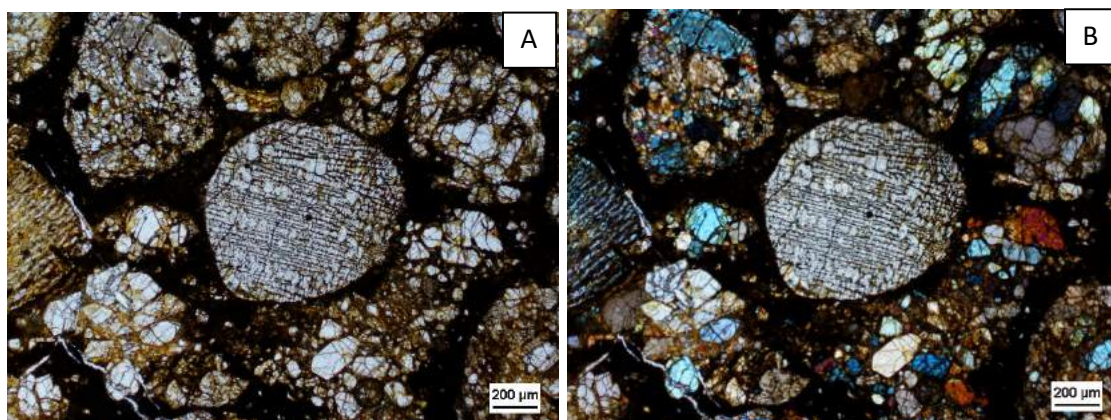
Fonte: Nobre et al., 2019.

Figura 9. Micrografia de mesosiderito. A: luz refletida evidenciando componentes metálicos. B: luz transmitida evidenciando componentes cerâmicos.



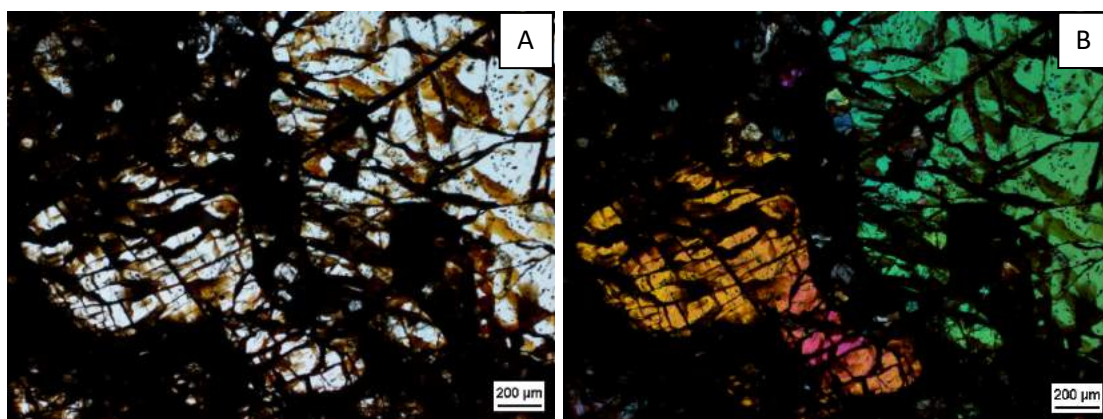
Fonte: acervo dos autores.

Figura 10. Micrografia de condrito, evidenciando as estruturas subesféricas condriticas. A: analisador ausente. B: analisador inserido no sistema óptico.



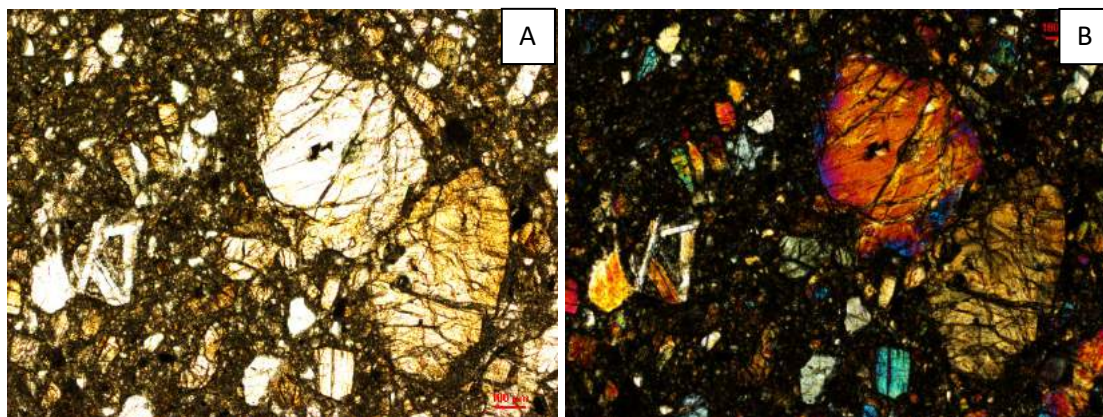
Fonte: acervo dos autores.

Figura 11. Exemplo de micrografia de acondrito primitivo. A: analisador ausente. B: analisador inserido no sistema óptico.



Fonte: acervo dos autores.

Figura 12. Exemplo de micrografia de acondrito diferenciado, semelhante a basalto terrestre. A: analisador ausente. B: analisador inserido no sistema óptico.



Fonte: acervo dos autores.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o histórico, a evolução do conhecimento científico e o estado da arte a respeito da ciência dos astromateriais, demonstrando a correlação direta que a evolução dessa ciência possui com a astronomia, a geologia e as ciências dos materiais. Apesar de investigada por diversas áreas do conhecimento, a evolução desta ciência sofreu com o ceticismo histórico, ficando temporalmente atrasada em comparação à observação de corpos celestes (pela astronomia) e à petrologia (pela geologia). Por esse motivo a aceitação da origem extraterrestre desses materiais somente foi aceita na comunidade científica na transição do século XVIII para o século XIX.

Para a reconstrução da história do sistema solar é necessário analisar os planetas, asteroides e outros objetos que orbitam o Sol e, embora as observações astronômicas dos corpos celestes sejam essenciais para a compreensão dos processos planetários, grande parte das informações geológicas e geoquímicas são provenientes do estudo direto dos astromateriais (WHITE, 2013).

Como a Terra é um planeta dinâmico e sofreu ampla modificação geológica ao longo de sua história, praticamente não restaram evidências de seus materiais primitivos (TEIXEIRA et al, 2009).

Por outro lado, muitos astromateriais não foram afetados por essa dinâmica, ou foram submetidos a condições de pressão e temperatura que não existem na Terra, apresentando diversas propriedades únicas.

Os astromateriais que não foram submetidos a processos dinâmicos como os materiais geológicos terrestres, preservam indícios significativos sobre a formação e evolução do sistema solar, sendo importantes prospectos para o entendimento científico da origem da Terra (DAY, 2015).

Como a diversidade de astromateriais é bastante ampla, apresentando um leque considerável de condições termodinâmicas de formação, há o desenvolvimento de diversas fases minerais (cerâmicas e metálicas), texturas e microestruturas que desenvolvem propriedades inéditas e que devem ser investigadas pelas ciências dos materiais, visando a obtenção de novos materiais ou a melhoria nos processos de conformação dos materiais atuais, para que desempenhem as propriedades que podem ser visualizadas nos astromateriais (GRADY; PRATESI; MOGGI CECCHI, 2014).

4. REFERÊNCIAS

- BALDANZA, B.; LEVI-DONATI, G. R.; WILK, H. B. The Siena meteorite: Mineralogy and chemistry. *Mineralogical Magazine*, v. 37, n. 285, p. 34-44, 1969.
- BRIGNON, A. L'abbé Bacheley et la découverte des premiers dinosaures et crocodiliens marins dans le Jurassique des Vaches Noires (Callovien/Oxfordien, Normandie). *Comptes Rendus Palevol*, v. 15, n. 5, p. 595-605, 2016.
- CARVALHO, W. P. et al. O Meteorito Bendegó: história, mineralogia e classificação química. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 41, n. 1, p. 141-156, 2011.
- CORDUA, W. S. *Sick meteorites*. 1995.
- DAY, J. M. D. Planet formation processes revealed by meteorites. *Geology Today*, v. 31, n. 1, p. 12-20, 2015.
- DE WEVER, P.; JACQUET, E. (2016). *Terre de Météorites. Terre à portée de main*. Ed. Sciences, France.
- DERBY, O. A. Estudo sobre o Meteorito Bendegó. *Archivos do Museu Nacional*, v. 9, p. 89-184, 1896.
- ERICKSON, J. *Asteroids, Comets, and Meteorites: Cosmic Invaders of the Earth*. Infobase Publishing, 2003.
- GOMES, C. B. Microsonda eletrônica: princípios e aplicações na geologia. *Técnicas analíticas aplicadas à geologia*. São Paulo, Edgar Blücher/Pr6-Minério, p. 159-208, 1984.
- GOMES, C. B.; KLEIN, K. *Brazilian Stone Meteorites*. New Mexico: University of New Mexico Press, 1980.
- GRADY, M.; PRATESI, G.; MOGGI CECCHI, V. Atlas of meteorites. *Atlas of Meteorites, by Monica Grady, Giovanni Pratesi, Vanni Moggi Cecchi*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2014.
- HEIDE, F.; WLOTZKA, F. (1995). *Meteorites*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- HOWARD, E. C. VII. Experiments and observations on certain stony and metalline substances, which at different times are said to have fallen on the earth; also on various kinds of native iron. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, n. 92, p. 168-212, 1802.
- HUGHES, D. W. The history of meteors and meteor showers. *Vistas in Astronomy*, v. 26, p. 325-345, 1982.
- HUTCHISON, R. *Meteorites A Petrologic, Chemical and Isotopic Synthesis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
- KRINOV, E. L. *Principles of Meteoritics: International Series of Monographs on Earth Sciences*. Elsevier, 2013.

KROT, A. N. et al. Ca, Al-rich inclusions, amoeboid olivine aggregates, and Al-rich chondrules from the unique carbonaceous chondrite Acfer 094: I. mineralogy and petrology. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 68, n. 9, p. 2167-2184, 2004.

LAURETTA, D. S.; KILLGORE, M. *A Color Atlas of Meteorites in Thin Section*. Coreia do Sul: Golden Retriever Publications, 2005.

MARVIN, U. B. Ernst Florens Friedrich Chladni (1756–1827) and the origins of modern meteorite research. *Meteoritics & Planetary Science*, v. 42, n. S9, p. B3-B68, 2007.

MARVIN, U. B. Siena, 1794: History's most consequential meteorite fall. *Meteoritics*, v. 30, 1995.

MARVIN, U. B. The meteorite of Ensisheim: 1492 to 1992. *Meteoritics*, v. 27, n. 1, p. 28-72, 1992.

MASON, B. Meteorites. *American Scientist*, v. 55, n. 4, p. 429-455, 1967.

NININGER, H. H. The great meteor of March 24, 1933. *Popular Astronomy*, v. 42, p. 291, 1934.

NOBRE, A. G. et al. Projeto de exposição itinerante de fotomicrografias e outras técnicas de imageamento de meteoritos. *Anais do 9º Simpósio Nacional de Ensino e História de Ciências da Terra*, p. 1-4, 2019.

NORTON, O. R.; CHITWOOD, Lawrence A. *Field Guide to Meteors and Meteorites*. Londres: Springer, 2008.

NORTON, O. R. *Rocks From Space*. Missoula: Mountain Press, 1998.

PILLINGER, C. T.; PILLINGER, J. M. The Wold Cottage meteorite: Not just any ordinary chondrite. *Meteoritics & Planetary Science*, v. 31, n. 5, p. 589-605, 1996.

POPOVA, O. P. et al. Chelyabinsk airburst, damage assessment, meteorite recovery, and characterization. *Science*, v. 342, n. 6162, p. 1069-1073, 2013.

REYNOLDS, M. D. *Falling stars: a guide to meteors and meteorites*. Mechanicsburg: Stackpole Books, 2010.

ROWLAND, I. D. A contemporary account of the Ensisheim meteorite, 1492. *Meteoritics*, v. 25, n. 1, p. 19-22, 1990.

RUBIN, A. E. Mineralogy of meteorite groups: An update. *Meteoritics & Planetary Science*, v. 32, n. 5, p. 733-734, 1997.

RUBIN, A. E.; MA, C. Meteoritic minerals and their origins. *Chemie der Erde-Geochemistry*, v. 77, n. 3, p. 325-385, 2017.

SEARS, D. W. Edward Charles Howard and an early British contribution to meteoritics. *Journal of the British Astronomical Association*, v. 86, p. 133-139, 1976.

SHIMA, M.; MURAYAMA, S.; YABUKI, H.; OKADA, A. *Petrography, Mineralogy and Chemical Composition on the Chondrite Nogata, Nogata-shi, Fukuoka-ken, Japan: Oldest Observed Fall in the World*, Japão, v. 15, p. 365, 1980.

SMITH, C.; RUSSELL, S.; BENEDIX, G. *Meteorites*. USA: Firefly Books, 2009.

SORBY, H. C. On the Original Nature and Subsequent Alteration of Mica-schist. *Quarterly Journal of the Geological Society*, v. 19, n. 1-2, p. 401-406, 1863.

TEIXEIRA, W. et al. *Decifrando a terra*. Companhia Editora Nacional, 2009.

TSCHERMAK, G.; WOOD, E. M.; WOOD, J. A. *The microscopic properties of meteorites*. Smithsonian Institution Press, 1885.

WASSON, J. T. *Meteorites: Their Record of Early Solar-System History*. New York: W H Freeman & Co, 1985.

WEISBERG, M. K.; MCCOY, T. J.; KROT, A. N. *Systematics and Evaluation of Meteorite Classification*. Arizona: University of Arizona Press, 2006.

WHITE, W. M. *Geochemistry*. John Wiley & Sons, 2013.

ZUCOLOTTO, M. E.; FONSECA, A. C.; ANTONELLO, L. L. *Decifrando os Meteoritos*. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2013.

Contatos: a_dafonseca@hotmail.com, augusto.goncalves@usp.br e
odila.florencio@mackenzie.br