

Capítulo 5

O meteorito Putinga

Graziele Rogowski de Araújo^{1,2}, Ruth Hinrichs^{2,3}

¹ Acadêmica de Geologia, UNISINOS, São Leopoldo, RS, Brasil

² Laboratório de Microanálise, Instituto de Física, UFRGS

³ Instituto de Geociências, UFRGS

ruth.hinrichs@ufrgs.br

Resumo

O meteorito Putinga (queda em 16 de agosto de 1937) foi classificado como um condrito ordinário com teor baixo de ferro (L). O meteorito não é diferenciado e conserva a microtextura com côndrulos identificáveis, com fraturamento marcante resultante de impactos sofridos após a aglomeração. Sua caracterização petrológica é descrita como tipo 6 – indicativa de eventos térmicos e metamórficos. Consiste majoritariamente de olivina, ortopiroxênio e fração metálica de níquel-ferro, com fração menor de maskelynita e troilita, além de minerais acessórios whitlockita e cromita.

Palavras chave: meteorito, condrito, Putinga

1 | Introdução

O estudo dos meteoritos tem revelado uma série de processos ocorridos durante a formação e a evolução do Sistema Solar, fornecendo informações sobre os diferentes fenômenos que produziram os corpos planetários modernos [1-3]. A partir da nebulosa que originou o Sistema Solar, ocorreu inicialmente uma condensação de côndrulos: pequenos grãos de minerais refratários. Em sucessivos encontros e impactos, estes grãos formaram corpos maiores (planetesimais) por acreção. Ao alcançar um tamanho crítico, dependendo da história de impactos, estes corpos protoplanetários fundiram e diferenciaram em núcleo metálico e crosta silicática.

A Terra, por exemplo, sofreu diferenciação e não preservou os vestígios do período inicial de formação do Sistema Solar. Os corpos que geraram os meteoritos sofreram impactos, metamorfismo e intemperismo em uma escala muito menor, e preservaram muitas das feições de sua formação precoce durante os bilhões de anos em que vagaram sem serem perturbados, preservados no gélido espaço interplanetário.

Os vestígios preservados em meteoritos são de diferentes origens e de eventos em escalas distintas, fornecendo informações sobre:

- I) a evolução estelar – alguns meteoritos contêm grãos microscópicos (*stardust*) formados no estágio final (supernova) da evolução da estrela anterior à nebulosa solar;
- II) a idade, composição e evolução do Sistema Solar;
- III) a história geológica de corpos planetários – em especial, os meteoritos diferenciados fornecem dados importantes para a elaboração de modelos da estrutura interna dos planetas rochosos;
- IV) a história da vida – supõe-se que grande parte da água atualmente existente na Terra tenha sido trazida no período do intenso bombardeio tardio por meteoritos provenientes das regiões mais frias e distantes do Sistema Solar [2].

A maioria dos meteoritos é proveniente do cinturão de asteroides localizado entre as órbitas de Marte e Júpiter. A origem de alguns meteoritos raros é atribuída ao planeta Marte, outros são da Lua. O campo gravitacional terrestre, mais intenso, coletou os fragmentos ejetados por

impactos nestes nossos vizinhos espaciais. A origem foi determinada por características específicas, como composição química, isotópica e mineralógica [3].

2 | Classificação do meteorito Putinga

Considerando sua origem e evolução, os meteoritos são classificados em diversos grupos ilustrados no esquema da figura 1. Este método sistemático é baseado primariamente em composição química, mineralogia e aspectos texturais [4]. Apenas o meteorito Putinga será utilizado como amostra de análise neste livro. Por isso, o detalhamento descrito abaixo é breve e se direciona a este condrito ordinário L6, permitindo entender sua classificação dentro de um contexto mais amplo.

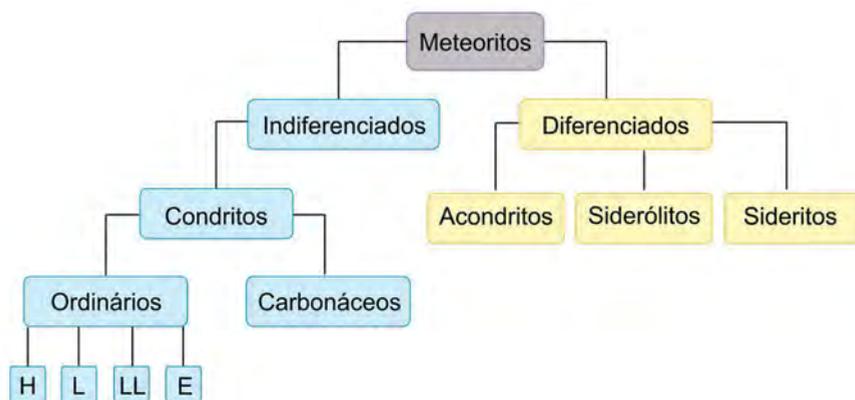


Figura 1

Classificação de meteoritos a partir de sua composição química, mineralogia e aspectos texturais. Adaptado de [4].

Meteoritos são classificados em duas categorias principais: meteoritos *indiferenciados* – agregados de grãos precoces que nunca chegaram a fundir completamente e preservam as características primordiais do Sistema Solar – e *diferenciados* – que apresentam origem em corpos parentais que sofreram diferenciação em núcleo metálico e crosta silicática [2, 4, 5].

Os meteoritos indiferenciados ou condritos podem ser subdivididos em ordinários, que são compostos principalmente por minerais de

alta temperatura (não contendo água ou hidroxila em sua estrutura) e carbonáceos, que são caracterizados pela presença de compostos orgânicos e minerais formados em temperatura comparativamente baixa (que podem conter água ou hidroxila).

Os meteoritos diferenciados são provenientes de corpos parentais grandes o suficiente para produzir o calor necessário para a fusão do material com a consequente separação dos materiais silicáticos (crosta) e metálicos (núcleo). Após a fragmentação de um corpo parental deste tipo podem se formar meteoritos acondríticos (da crosta), siderólitos (da interface crosta/núcleo, contendo porções dos dois) e sideritos (do núcleo) [2].

Os condritos ordinários apresentam subdivisões, H, L, LL e E, que representam seu conteúdo de ferro metálico: H (do inglês *high*), para altos teores de metal (10 vol.%); L (*low*), para teor de metal em torno de 5 vol.% e LL (*ultralow*) para teores de metal em torno de 2 vol.%. A categoria “E” é formada por meteoritos ricos em enstatita ($MgSiO_3$) e muito pobre em silicatos que contém óxido de ferro. Nesta categoria o ferro está principalmente na forma metálica, devido a condições extremamente redutoras de formação dos côndrulos [4].

Os condritos constituem um dos materiais mais primitivos em nosso Sistema Solar, sendo o grupo mais abundante dos meteoritos encontrados na Terra (em torno de 85%). Conforme Dodd [1], este percentual não reflete sua abundância no Sistema Solar, porém, entre o material que cai sobre a Terra, o meteorito do tipo condrítico é o mais comum. Sua origem parece ser de um corpo parental que foi ejetado do cinturão de asteroides e que não teve acreção de massa suficiente para se diferenciar [1].

O condrito é um agregado de côndrulos: objetos aproximadamente esféricos, com dimensões submilimétricas a centimétricas, com grande variação mineralógica e textural, geralmente compostos de minerais escuros (máficos). Os côndrulos são interpretados de acordo com suas relações petrológicas e químicas. Aproximadamente 25 vol.% dos côndrulos presentes em um condrito ordinário são resultado do resfriamento de gotículas totalmente ou parcialmente fundidas formadas durante eventos de alta temperatura nos tempos iniciais de formação do Sistema Solar (por exemplo, ondas de choque na formação do proto-sol). A grande maioria dos côndrulos são relacionados a clastos arredondados derivados da

fragmentação de material ígneo previamente cristalizado, dando origem a côndrulos porfiríticos. A matriz que agrega os côndrulos consiste de silicatos finos (eventualmente recristalizados) e é permeada de grãos metálicos de ferro-níquel (taenita, kamacita) e de sulfeto de ferro (troilita) [1].

Os meteoritos condríticos preservam registros das condições físico-químicas da região onde eles foram formados. Depois dos eventos de choque e aquecimentos ocorridos em sua formação no início do Sistema Solar, foram conservados em baixas temperaturas (em torno de 270 °C negativos). O interior dos meteoritos muitas vezes não chega a esquentar na passagem pela atmosfera durante sua queda. Em alguns casos, em que a queda do meteorito foi observada, verificou-se que, apesar da fusão da crosta externa, se formava gelo sobre as faces internas do meteorito, expostas pela fragmentação durante o impacto no solo [1].

Os minerais que compõe os côndrulos são principalmente piroxênios, olivinas e plagioclásio (maskelynita). A maskelynita é uma feição típica de meteoritos e trata-se de uma amorfização por choque de um plagioclásio de composição particular (oligoclásio) [5]. Em torno dos côndrulos, existe uma matriz que também contém minerais silicáticos (em parte os mesmos minerais dos côndrulos, porém não com formato esférico, mas formando agregados amebóides, por exemplo, de olivina). Também ocorrem grãos de ferro-níquel ou de sulfetos destes metais. Acredita-se que os meteoritos condríticos sejam compostos por agregados de grãos que se formaram independentemente no disco protoplanetário [6].

Além dos grupos enumerados acima, os condritos ordinários apresentam uma ampla extensão de tipos petrológicos, propostos por Van Schmus & Wood [4], variando de 3 a 6 conforme o grau de alteração e de metamorfismo. O meteorito Putinga é classificado como meteorito condrítico ordinário com baixo teor total de ferro “L6” (L de “*low iron*” e 6 como o tipo petrológico mais elevado, relacionado a processos térmicos e metamórficos que ainda permitem a discriminação de côndrulos) [7]. Sofreu frequentes severos impactos e estágios de recristalização, antes de finalmente cair sobre a Terra. Seus côndrulos estão parcialmente indistinguíveis da matriz recristalizada, porém ainda é perceptível grande variedade de côndrulos com limites bem definidos, como será mostrado na seção 3 deste capítulo.

A queda do meteorito Putinga em 16/08/1937 foi observada por várias pessoas, sendo descrita como uma bola brilhante que deixou um rastro de fumaça de 15 km, visível também a partir dos municípios vizinhos e que permaneceu no céu até anoitecer [8]. Em um evento análogo, acontecido em fevereiro de 2013 em Cheliabinsk, 180 km a leste de Moscou, fotografias dos espectadores mostram uma cena semelhante àquela, que foi pintada em aquarela por uma contemporânea da queda do meteorito Putinga [9], como pode ser comparado nas imagens da figura 2.

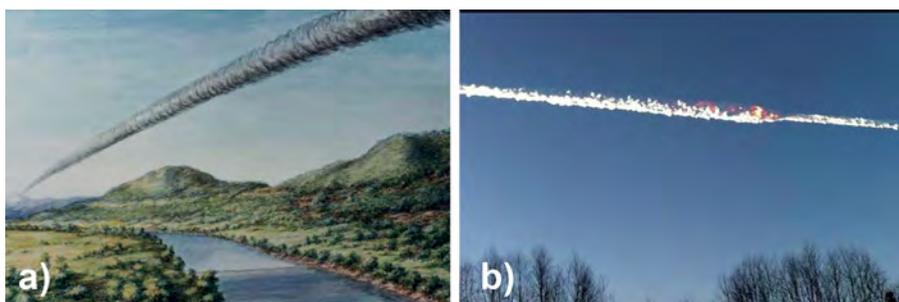


Figura 2

a) Aquarela da queda do meteorito Putinga de autoria de Gisela Schinke, contemporânea do evento, mostrando a queda do meteorito Putinga. Extraído de [9]; b) fotografia de 15/02/2013, quando um meteorito caiu 180 km a leste de Moscou, Rússia. Extraído de [10].

O maior fragmento do meteorito Putinga (figura 3a), pesando aproximadamente 45 kg (dos duzentos kg recuperados), está exposto no Museu de Mineralogia Luiz Englert do Instituto de Geociências da UFRGS. Outros fragmentos estão no Museu Geológico da Bahia em Salvador e no Museu Municipal da cidade de Putinga. Fragmentos pequenos (totalizando ~10 g), como o da figura 3b, doados pelo Museu Luiz Englert, foram utilizados para as análises descritas neste livro.

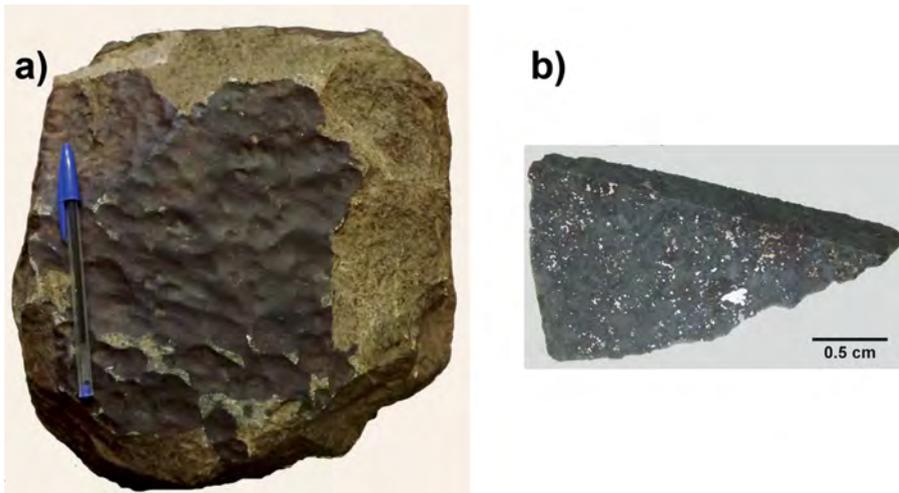


Figura 3

a) O fragmento maior (45 kg) do meteorito Putinga, preservado no Museu Luiz Englert do Instituto de Geociências da UFRGS (a caneta mede 15 cm); b) fragmento de ~5g polido para microanálise qualitativa.

O meteorito Putinga está inserido como exemplo no contexto desse livro, porque sua natureza poliminerálica faz dele uma amostra apropriada para a demonstração de técnicas de mapeamento ou de microanálise, já que as gemas monominerálicas apresentam pouca variação em sua superfície.

3 | Petrografia

Os principais minerais do meteorito Putinga são olivina magnésiana (forsterita, como um dos maiores componentes da matriz e de côndrulos); ortopiroxênios (presentes em côndrulos e, em geral, como grãos menores do que a olivina ao longo da matriz); ferro-níquel metálico; menores concentrações de maskelynita e troilita; além de quantidades acessórias de cromita e whitlockita [7]. Em lâmina delgada são reveladas feições que podem ser associadas a eventos de metamorfismo termal sofridos pelo meteorito ao longo de sua evolução. Estas são caracterizadas por uma matriz altamente recristalizada de granulometria fina (~ 0,15 mm) com côndrulos pouco definidos, deformados e frequentemente integrados à matriz, variando amplamente em forma, textura e composição [7].

As texturas condriticas mais comuns encontradas são as excentro-radiais, barradas e porfiríticas. A preservação dessas texturas depende do grau de metamorfismo termal sofrido pelo meteorito e da composição de cada cõndrulo, uma vez que diferentes tipos de cõndrulos são alterados durante o metamorfismo termal a diferentes taxas. Em toda extensão da amostra se observa extinção ondulante, fraturamento da olivina e ampla distribuição de maskelynita, indicando feições produzidas por choque [1].

Em cõndrulos barrados a olivina cristaliza na forma de barras paralelas com continuidade óptica, ou seja, constituindo um único grão caracterizado pela sua alta birrefringência em luz polarizada. Estas barras, em alguns casos, apresentam porções intersticiais de piroxênio e segmentos descontínuos de plagioclásio (maskelynita), sendo este intercrescimento granular uma feição típica de condritos do tipo petrológico 6 e 7 [1]. De uma forma geral, estes cõndrulos são discerníveis ao longo da matriz, embora bastante deformados. Um exemplo de cõndrulo barrado do meteorito Putinga está mostrado em luz natural (LN) na figura 4a e com luz polarizada (LP, Nicol a 90°) na figura 4b.

Conforme a literatura, cõndrulos excentro-radiais são compostos principalmente por piroxênios em hábito fibroso, cuja textura em forma de leque irradia a partir de um ponto da superfície do cõndrulo. Este tipo de cõndrulo apresenta maior resistência aos processos termais, podendo ser discernível ainda em meteoritos de tipo petrológico alto [1]. O cõndrulo radial apresentado na figura 4c (LP) é de intercrescimento de dois piroxênios (augita e enstatita) e de lamelas de olivina, intercaladas com segmentos descontínuos de maskelynita.

Os cõndrulos porfiríticos são compostos principalmente pelos minerais olivina e piroxênio, altamente desagregados durante a história termal do meteorito. Os limites deste tipo de cõndrulo são difíceis de discernir da matriz recristalizada. Na figura 4d (LP) remanescentes de um cõndrulo porfirítico estão preservados em um aglomerado granular.

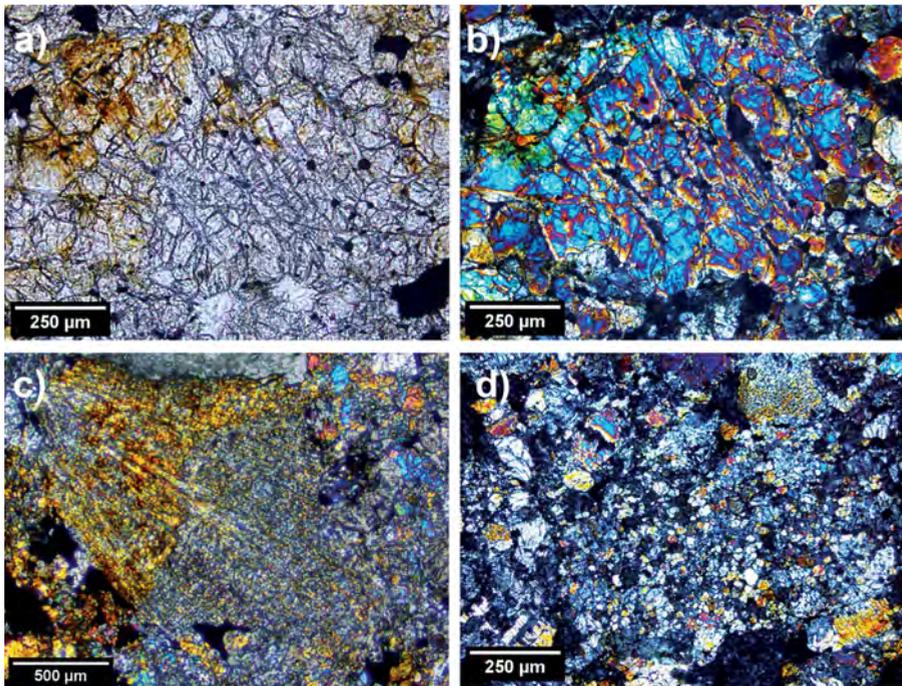


Figura 4.

Micrografias de a) cône drulo barrado em LN; b) mesmo cône drulo barrado em LP; c) cône drulo excentro-radial em LP; d) cône drulo porfirítico em LP.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Museu de Mineralogia Luiz Englert do Instituto de Geociências da UFRGS a cessão de fragmentos do meteorito Putinga, para execução do projeto de pesquisa da PROPESQ-UFRGS (11963).

Referências bibliográficas

- [1] DODD, R. T.; Meteorites: A petrologic-chemical synthesis; Cambridge University Press, New York, 1981.
- [2] HARRY, Y., McSWEEN, J.R.; Meteorites and their parent planets; Cambridge University Press, New York, 1987.

- [3] FAURE, G., MENSING, T.M.; *Introduction to Planetary Science: The Geological Perspective*; Springer, New York, 2007.
- [4] VAN SCHMUS, W.R., WOOD, J.A.; A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites; *Geochimica et Cosmochimica Acta* 31 (5): 747–765, 1967.
- [5] MILTON, D.J., DE CARLI, P.S.; Maskelynite: formation by explosive shock; *Science* 140: 670–671, 1963.
- [6] WEISBERG, M.K., MCCOY, T.J., KROT, A.N.; Systematics and Evaluation of Meteorite Classification. In: *Meteorites and the Early Solar System II*, D. S. Lauretta and H. Y. McSween Jr. (eds.); University of Arizona Press, Tucson, 2006.
- [7] KEIL, K., LANGE, D., ULBRICH, M.N.C., GOMES, C.B., JAROSEVICH, E., ROISENBERG, A., SOUZA, M. J.; *Meteoritics* 13 (2): 165–175, 1978.
- [8] BRANCO, P.M.; Procurando o meteorito Putinga. *Jornal da Pedras* 11 (7), 1997.
- [9] Museu de Mineralogia Luiz Englert, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), O meteorito Putinga. <http://www.museumin.ufrgs.br/pormet.htm> (consultado em 18/10/2013).
- [10] <http://www.portugues.rfi.fr/europa/20130215-chuva-de-meteoritos-cai-na-russia-e-deixa-mais-de-400-feridos> (consultado em 18/10/2013).