

# CONDRILO CAÍDO NO MUNICÍPIO DE MAFRA, SC.

Por

ADOLPHO JOSÉ MELFI

Departamento de Geologia da Faculdade de Filosofia,  
Ciências e Letras da Universidade de São Paulo.

## ABSTRACT

In this paper the author makes a brief description of a meteorite fallen in Mafra, State of Santa Catarina, Brazil. Its structure is typically chondritic both, macroscopic and microscopically and is made up of olivine (chrysolite) 40, orthopyroxene (bronzite) 29, kamacite and troilite 31, in weight percents. This composition points to a olivine-bronzite chondrite.

The stone under study weighed 600 g. and showed a density of 3.591.

The chondrules are chiefly composed of olivine and/or orthopyroxene, but a small amount of kamacite and troilite chondrules were also noted.

X-ray diffraction methods applied to the outer fusion crust proved the existence of magnetite, olivine, pyroxene and a subordinate amount of a amorphous perhaps glassy substance .

The silicate phase, as shown by the spectroscope, includes Mn, Cr, Ni and Ca as minor constituents, and B, P, Na, Ti and V as trace elements.

The metallic phase showed Si and Mg as minor constituents and Na, Ca and Co as trace elements.

Its fall was witnessed by people of Mafra, who reported that it occurred with a loud noise. It penetrated about 1 metre into the soil.

## 1 — INTRODUÇÃO

Em 1941, no Município de Mafra, estado de Santa Catarina, vários observadores testemunharam a queda de um meteorito, que produziu imenso clarão e forte ruído.

Antes de cair o meteorito sofreu intensa fragmentação, rompendo-se em vários pedaços, tendo sido recuperados apenas quatro. Estes fragmentos enterraram-se no solo cêrca de 1 metros.



Fig. 1 — Mapa de localização aproximada do local da queda.

Um destes fragmentos, objeto do presente trabalho, foi gentilmente doado pelo Sr. Theodoro Saade, proprietário de um museu na cidade de Mafra, ao Dr. Sérgio Estanislau do Amaral, que cedeu ao Departamento de Geologia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da U.S.P.

Pelas informações obtidas dos observadores, não nos foi possível reconstituir os eventos da queda, não sendo possível precisar nem o rumo nem o ângulo com que os fragmentos se projetaram no solo, e nem tampouco sua velocidade.

Foram realizados estudos mineralógicos, petrográficos e químicos, por meio de análises microscópicas, pela difração dos raios X e por métodos espectrográficos, com a finalidade de obtermos dados a respeito de sua composição mineralógica, textura, estrutura e composição química.

Devemos registrar nossos agradecimentos ao Sr. Theodoro Saade pelo seu espírito altruístico em ceder o precioso achado, bem como

pelas valiosas informações fornecidas. Ao Dr. Sérgio Estanislau do Amaral, que gentilmente nos cedeu a amostra. Ao Prof. Dr. Viktor Leinz pelas sugestões apresentadas, e aos colegas Vicente Girardi e José Vicente Valarelli pelas interpretações e microfotos das seções polidas, e Franco Levi pelas análises espectrográficas.

## 2 — DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA

O meteorito estudado possui peso total de aproximadamente 600 g. O estudo da morfologia evidenciou forma poliédrica, com arestas arredondadas (fig. 2). Esta forma é considerada caracterís-

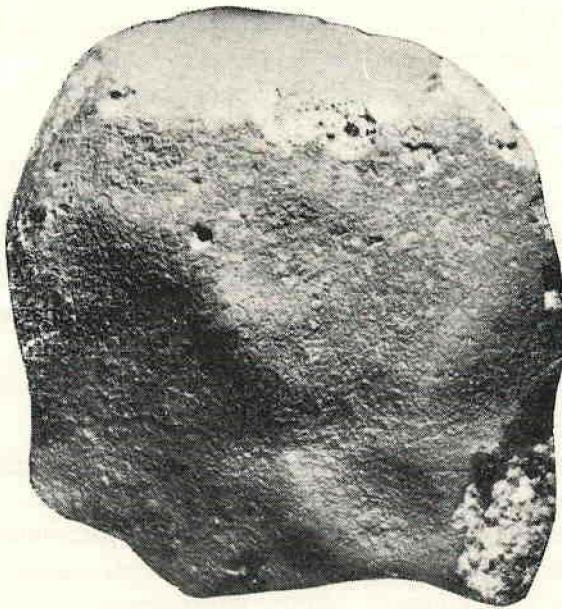


Fig. 2 — Aspecto externo do meteorito, podendo-se observar a crosta de fusão escura e o relêvo regmalglíptico.

tica para os condritos (Krinov, 1960), devido a tendência que possuem de se quebrar em planos estruturais.

Tôda superfície externa da amostra apresenta-se revestida por uma película escura, que só não aparece nas superfícies de fraturas recentes. É a chamada crosta de fusão, que constitui uma das principais características dos meteoritos. É pouco espessa, não possuindo

do em ponto algum espessura superior a 0,5 mm. Esta crosta, segundo Krinov, parece resultar da fusão parcial sofrida por minerais do meteorito ao entrar em contacto com a atmosfera da terra, durante sua queda.

A estrutura da crosta é incompleta, sendo notada apenas a presença da chamada *zona de fusão*. Não foram reconhecidas as *zonas de absorção* e a de *impregnação* (Niniger, 1952).

Apresenta superfícies denominadas de primeira ordem (Krinov, 1960), caracterizadas por proeminentes marcas causadas pela ação do atrito com a atmosfera. Algumas dessas superfícies são bem polidas.

Quase tôdas as faces possuem depressões rasas, que constituem as irregularidades mais comuns da superfície externa do meteorito. São os denominados *regmalgliptos arredondados* ou *alongados*, de tamanhos variáveis (fig. 2).

O meteorito, que parece possuir uma textura coerente, é extremamente friável, desagregando-se com relativa facilidade sob pequena pressão.

A densidade real da amostra determinada pelo método do picnômetro é de 3,591, enquanto que sua densidade aparente, determinada na balança de Stöe é de 3,247. A diferença entre os valores da densidade real e aparente evidência a porosidade de 9,6% para o meteorito.

Na superfície de fratura notamos uma aparente brechação, com o aparecimento de fragmentos de formas irregulares e angulosas. Estes fragmentos são cêntricos quebrados ou parcialmente recristalizados, ou ainda mais comumente zonas com textura diferente, emprestando a determinadas partes do fragmento meteorítico um aspecto brechóide.

Cêntricos bem arredondados são claramente visíveis nesta superfície de fratura (fig. 3), possuindo os maiores cerca de 3 mm de diâmetro, sendo a maior parte deles constituídos por silicatos, de coloração cinza clara. Cêntricos metálicos, de coloração cinza escura, brilhantes em superfícies recentemente polidas, são visíveis, dispersos na massa principal, se bem que em número bastante reduzido.

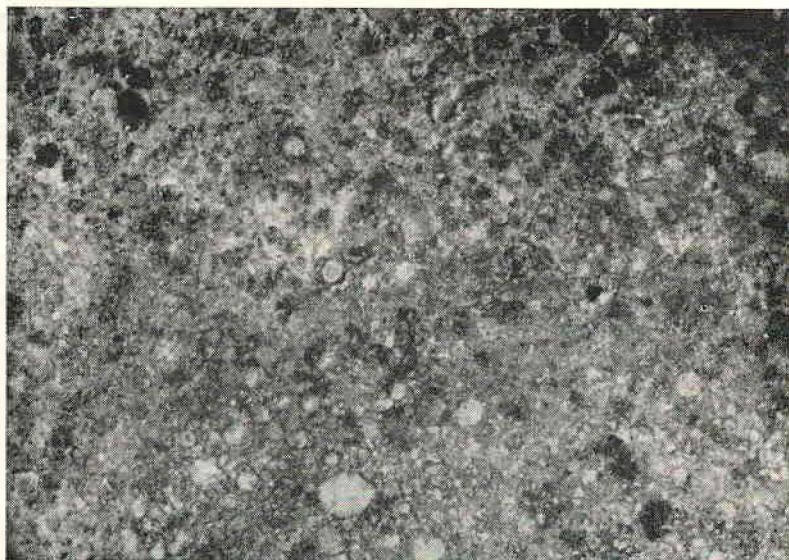


Fig. 3 — Fotografia de uma superfície de fratura, onde notamos claramente a estrutura condritica. Aumento de 3 vezes.

### 3 — EXAME MICROSCÓPICO

#### a) *Textura e estrutura*

A estrutura do meteorito é tipicamente condritica, com cõndrulos geralmente bem arredondados, esféricos (figs. 4 e 5) com diâmetros variando de 0,1 mm a 3 mm, predominando os da ordem de 0,4 mm.

Por vezes os cõndrulos se apresentam quebrados e outras vezes recristalizados, perdendo sua forma esférica regular. Em determinadas zonas, onde a recristalização é mais intensa os cõndrulos podem até mesmo desaparecer. A textura e a composição mineralógica das áreas nas quais é mais proeminente a recristalização, e onde não há praticamente nenhum cõndrulo, torna o meteorito semelhante às rochas magmáticas ultrabásicas, tornando-se difícil de caracterizá-lo como tal. Esta notável semelhança já citada por Niniger (Niniger, 1952) nos casos de acondritos, mereceu atenção especial no estudo do meteorito caído em Mato Grosso (Amaral, 1963).

Os cõndrulos podem ser mono ou polissomático, constituído essencialmente de olivina e ortopiroxênio. Nos polissomáticos, onde a olivina aparece associada com o piroxênio, predomina o hábito acicular ou fibro radiado com foco excêntrico (fig. 5), enquanto que nos monossomáticos os cristais de olivina, principalmente e ortopiroxênio, mais raramente, apresentam-se como cristais isolados idiomorfos (fig. 4) ou ainda como agregados de cristais xenomor-



Fig. 4 — Fotomicrografia da seção delgada do meteorito, onde se observam cristais idiomorfos de olivina. Aumento de 31 vêzes.

fos. E' comum notarmos nos cõndrulos polissomáticos estruturas de intercrescimento entre olivina e ortopiroxênio.

Os cõndrulos totalmente metálicos, em meteoritos do tipo condrito, são extremamente raros (Mason, 1962). Nas nossas observa-



Fig. 5 — Fotomicrografia mostrando um côndrulo monossomático de olivina fibro-radiada de foco excêntrico. Aumento de 30 vêzes.

ções microscópicas, tanto em seções polidas como em seções delgadas, notamos côndrulos constituídos por kamacita, por troilita ou constituídos de kamacita e troilita associados (fig. 6). Podem ainda em alguns casos, apresentar subordinadamente material vítreo junto aos metálicos.

#### b) *Mineralogia*

A composição mineralógica foi determinada através do estudo de seções delgadas, utilizando-se a platina universal para as medidas dos ângulos axiais e de extinção, e o método da imersão, para a determinação dos índices de refração dos minerais.

O estudo foi completado por análises microscópicas efetuadas em seções polidas e interpretação de difratogramas de raios X, utilizados apenas para a determinação da composição mineralógica da crosta de fusão, em virtude de sua finíssima textura.

A composição mineralógica aproximada do meteorito é a seguinte:

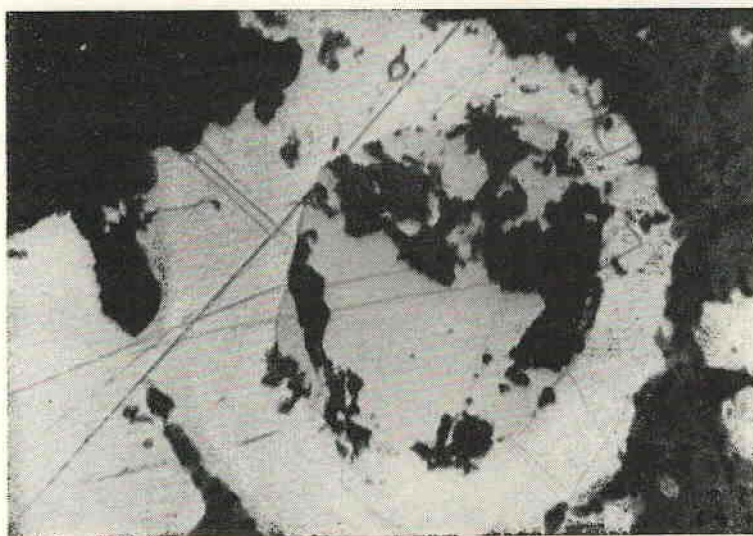


Fig. 6 — Fotomicrografia de uma seção polida observada sob luz refletida. Observa-se parcialmente um grande cõndrulo de kamacita (branco) com troilita no seu interior (creme). Aumento de 31 vêzes.

Olivina (crisolita) .....	40%	em	pêso
Ortopiroxênio (bronzita) .....	29%	"	"
Kamacita			
Troilita .....	31%	"	"
Daubrelita			

O exame revelou ser o meteorito constituído predominantemente pela fração silicática (69% em pêso) transparente, com a fração metálica subordinada (31%).

#### *Fração silicática*

Olivina e piroxênio foram os únicos minerais que pudemos identificar ópticamente na fração transparente.

*Olivina* — é o principal mineral do meteorito, constituindo cerca de 40% de seu pêso. Apresenta-se praticamente fresca e límpida tanto nos cõndrulos mono ou polissomáticos, como fora dêles, sendo um dos constituintes da matriz.



Não raramente apresenta-se idiomórfica (fig. 4), sendo porém comum, principalmente nos cóndrulos polissomáticos, hábitos fibrosos e fibrorradiados (fig. 5).

Suas propriedades ópticas, determinadas por imersão em líquidos e na platina universal, que permitem sua identificação, são:

$$2V = 84^\circ \text{ com sinal óptico positivo}$$

$$N_y = 1,717 \pm 0,003$$

Estas características indicam tratar-se de crisolita, com cerca de 20% de moléculas ferrosas de faialita.

*Ortopiroxênio* — é o segundo mineral em importância, constituindo cerca de 29% do peso total do meteorito. Pode ser facilmente identificado pela sua baixa birrefringência.

Possui uma tendência bem pronunciada para formar cóndrulos fibrorradiados, e ao contrário da olivina, apresenta-se comumente xenomorfo. Normalmente não formam grandes cristais e aparecem, assim como a olivina, tanto em cóndrulos como na matriz.

Suas características ópticas principais e que permitem sua identificação são:

$$2V = 72^\circ \text{ sendo o sinal óptico negativo}$$

$$N_y = 1,693 \pm 0,003$$

Estas propriedades permitem considerá-lo como bronzita, com aproximadamente 25% de moléculas ferrosas de ortoferrosilita.

Cristais finíssimos de olivina e ortopiroxênio são encontrados em abundância em uma massa extremamente fina, manchada, constituída parcialmente por um material vítreo, denominado por Krinov de "vidro meteorítico" (Krinov, 1960).

#### *Fração Metálica*

Os minerais metálicos, que constituem cerca de 31% em peso do meteorito, acham-se distribuídos pela massa do fragmento em pequenos corpos opacos, irregulares com respeito à forma, raramente formando cóndrulos. Apresentam coloração cinza ou pardacenta.

Sua identificação foi possível com os estudos de seções polidas, testes químicos e análises por meio de raios X.

*Kamacita* — predomina largamente entre os metálicos. É facilmente identificada pelo seu caráter fortemente magnético, pela sua maleabilidade e por seu alto índice de refletividade, apresentando-se muito branca na análise sob luz refletida (fig. 6). O difratograma de raios X deste material evidenciou tratar-se de ferrita (ferro alfa).

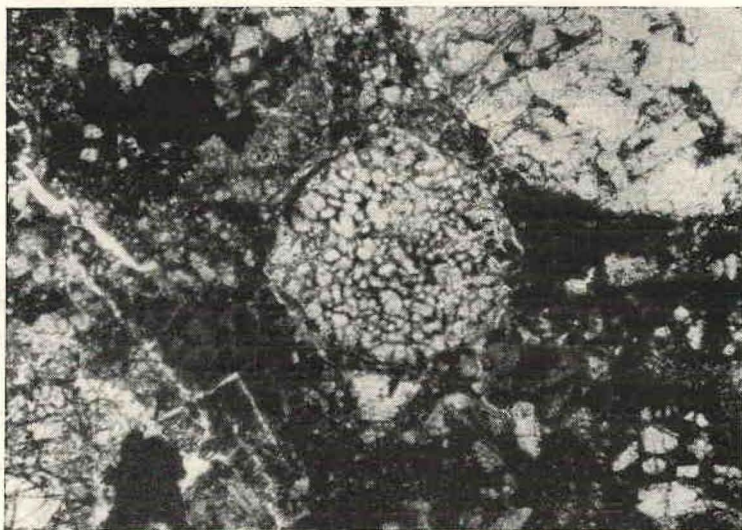


Fig. 7 — Fotomicrografia de um cõndrulo constituído por pequenos outros cõndrulos de olivina aglutinados. Aumento de 10 vêzes.

*Troilita* — em segundo lugar em abundância entre os metálicos identificamos troilita, caracterizada por suas propriedades físicas, como por exemplo a dureza que apresenta um valor médio, o magnetismo nulo ou praticamente nulo e refletividade média, mais baixa que a apresentada pela kamacita, mostrando côres cinza claro ou creme, quando observada sob luz refletida (fig. 6). Seu anisotropismo é forte, sendo sua bireflectância fraca.

*Daubrelita* — não caracterizada nas observações microscópicas, foi perfeitamente identificada nas análises por raios X, onde aparece associada à troilita.

Este mineral é relativamente abundante nos meteoritos de ferro, onde o potencial de redução extremamente alto permite seu apa-

recimento em concentrações razoáveis. Foi constatada sua presença em enstatita-condritos (Ramdohr, 1963), porém bastante rara, como frisa o próprio Ramdohr. A associação daubrelita-troilita, verificada no nosso estudo, é, segundo o mesmo autor, sempre verificada, tanto para os sideritos como para os aerolitos.

#### *Crosta de fusão*

A identificação mineralógica da crosta de fusão só foi possível através da difração pelos raios X, em virtude de sua finíssima textura. A interpretação do difratograma revelou a existência de magnetita, com vidro, olivina e piroxênio subordinados, sendo a olivina e o piroxênio certamente resto da fusão parcial da parte externa do meteorito.

### 4 — QUÍMICA

Foram elaboradas análises espectrográficas semi-quantitativas nas fases silicatada e metálica do material meteorítico, sendo encontrados os seguintes elementos: a) na fase silicatada, além dos constituintes maiores *Si*, *Fe* e *Mg*, foram detectados *Nn*, *Cr*, *Ni*, *Ca* entre os constituintes menores e *B*, *P*, *Na*, *Ti* e *V* entre os elementos traços. b) na fase metálica, além de *Fe* e *Ni* entre os constituintes maiores, foram encontrados *Si* e *Mg* entre os constituintes menores e *Na* e *Co* entre os elementos traços.

### 5 — CONCLUSÕES

Em resumo: o meteorito de Mafra pela sua estrutura típica, constituída por côndrulos pode ser considerado um condrito, onde a presença de crisolita e bronzita permitem considerá-lo um olivina-bronzita condrito, pertencente à classe III, tipo 2 da classificação proposta por Prior (in Niniger, 1952).

### 6 — LITERATURA CITADA

- AMARAL, S. E. (1962) — Nota preliminar sôbre um meteorito caído no sul de Mato Grosso. Bol. Soc. Bras. Geol., vol. 11, n.º 2, págs. 5-19.
- COUTINHO, J. M. V. e ARID, F. M. (1963) — Um condrito de São José do Rio Preto. Bol. Soc. Bras. Geol., vol. 12, n.º 2, págs. 75-85.

- KRINOV, E. L. (1960) — Principles of Meteoritics. Pergamon Press, N. Y.
- MACCALL, G. J. H. and JEFFERY, P. M. (1964) — The Woolgorong stony meteorite. Journal of the Royal Soc. of Western Australia, vol. 47, part 2, págs. 33-42.
- MASON, B. (1962) — Meteorites. John Wiley & sons. N. Y., London.
- NINIGER, H. H. (1952) — Out of the Sky. Dover Public. Inc., N. Y.
- RAMDOHR, P. (1963) — The opaque minerals in stony meteorites. Jour. of Geophysical Research, vol. 68, n.º 7, págs. 2011-2036.
- VALARELLI, J. V. e ARRUDA, M. R. — Estudo dos minerais metálicos dos meteoritos (no prelo).