



Universidade Federal da Bahia
Instituto de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia
Área: Petrologia, Metalogênese e Exploração Mineral

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

O Meteorito Bendegó: História, Mineralogia e Classificação Química

Wilton Pinto de Carvalho

Salvador – Bahia
2010

"O Meteorito Bendegó: História, Mineralogia e Classificação
Química"

Por
Wilton Pinto de Carvalho
Bacharel em Administração (UNIFACS - 1976)

Dissertação de Mestrado

Submetida em satisfação parcial dos requisitos ao grau de

MESTRE EM CIÊNCIAS - GEOLOGIA

à

Câmara de Ensino de Pesquisa e Pós-Graduação da
Universidade Federal da Bahia

Profa. Dra. Débora Correa Rios - Orientadora (UFBA)

COMISSÃO EXAMINADORA:



(Prof. Dr Álvaro Penteado Crosta - UNICAMP)

(Prof. Dr. Herbet Conceição - UFSE)

(Profa. Dra. Maria Elizabeth Zucolotto - UFRJ)

Data da defesa: 27/04/2010

Resultado final: Aprovado (X)

Carvalho, Wilton Pinto de
O Meteorito Bendegó: História, Mineralogia
e Classificação Química/Wilton Pinto de Carvalho
Salvador: W. P. Carvalho, 2010.

213p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Geologia
Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia. 2010

1. Meteoritos 2. Sideritos 3. Meteorítica 4. Geoquímica
- I. Universidade Federal da Bahia - IGEO
- II. TÍTULO

CDU 523.51

DEDICATÓRIA

Aos Carvalhos na História do Bendegó:

Capitão-Mór Bernardo Carvalho da Cunha (1784)

Vice-Almirante José Carlos de Carvalho (1887)

Engenheiro Vicente José de Carvalho Filho (1887)

Vereador Luiz Pires de Carvalho (1888)

Família do Senhor Joviniano Carvalho (meu pai)

Família do mestrando Wilton Pinto de Carvalho

RESUMO

O meteorito Bendegó, objeto desta dissertação, é o maior exemplar da coleção brasileira e ocupa a 16ª posição entre as maiores massas de ferro-níquel de origem espacial catalogadas em todo o mundo. Sua descoberta em 1784 e subsequente remoção, em 1888, do sertão da Bahia para o Rio de Janeiro foram fatos marcantes da história da meteorítica, uma ciência multidisciplinar dedicada ao estudo de amostras de material extraterrestre natural que sobrevive à passagem brilhante e abrasiva pela atmosfera de nosso planeta.

O local do achado desse meteorito, que se acredita seja também o ponto de impacto, está inserido na porção Norte do Núcleo Serrinha, um dos três núcleos arqueanos do Cráton do São Francisco. Nessa área o embasamento é gnáissico-migmatítico intrudido por granitos TTGs do Complexo Metamórfico de Uauá. A ausência de PDFs (planar deformation features) ou de brechas em 14 lâminas delgadas confeccionadas a partir de amostras de rochas coletadas no local do achado e a geomorfologia da área estudada, que não apresenta indícios de formações circulares ou elípticas, sugerem a inexistência de cratera de impacto.

Estudos petrográficos realizados nesse meteorito o classificam estruturalmente como octaedrito grosso, apresentando lamelas de kamacita com 1,8 mm de largura em média. A distribuição paralela ao eixo principal de pelo menos 37 ocorrências de troilita, facilmente observáveis na face polida da massa principal, é uma característica única desse siderito e sua assembléia de fases mineralógicas conta ainda com os minerais coenita, cromita, haxonita, rabdita e schreibersita.

Quimicamente o Bendegó integra o grupo genético IC, segundo classificação vigente para meteoritos férreos. Esse grupo é composto de apenas 11 membros com teor de níquel entre 6,12 e 6,98%, sendo o Bendegó o maior deles em termos de massa.

Palavras-Chave: Bendegó, meteorito, meteorítica, Bahia, ferro

ABSTRACT

The Bendegó iron, this dissertation theme, is the biggest specimen of the Brazilian collection and holds the 16th position among the largest iron-nickel masses of space origin catalogued so far in the whole world. Its finding in 1784 and the following transportation, in 1888, from the Bahia State hinterland to Rio de Janeiro, were landmarks in the history of meteoritics, a multidisciplinary science dedicated to the study of natural extraterrestrial samples which survives the bright fly through the atmosphere of our planet.

That meteorite finding place, which it is believed are also the impact point, is inserted in the North portion of the Núcleo Serrinha, one out of the three Archean cores of the São Francisco craton. The basement here is gneissic migmatitic intruded by TTGs granites from the Metamorphic Uauá Complex. The lack of PDFs (planar deformation features) or breaches in 14 thin sections prepared from rock samples collected on the finding place and the geomorphology of the studied area, which does not present any vestiges of circular or ellipsoids formations, suggest that there is no impact crater.

Petrographic studies on that meteorite classify it structurally as a coarse octahedrite, showing kamacite lamellae with 1.8 mm width in average. A distribution of at least 37 occurrences of troilite parallel to the main axis are easily observed on the polished face of the main mass, being a unique characteristic for that siderite. The other mineralogical phase found in that mass are: cohenite, chromite, haxonite, rabdite and schreibersite.

Based on chemical analysis the Bendegó iron is part of the IC genetic group, according to the present classification for iron meteorites. This group is formed only by 11 members with a nickel concentration between 6.12 and 6.98%, and the Bendegó is the largest mass among them.

Key-words: Bendegó, meteorite, meteoritic, Bahia, iron

AGRADECIMENTOS

Meu sincero e profundo agradecimento à Professora Doutora Débora Correia Rios pelo seu destemor ao aceitar ser minha orientadora em um tema ainda inédito nos anais dos cursos de pós-graduação do IGEO e ao Professor Doutor Herbet Conceição que muito me ajudou como co-orientador.

Agradeço também a todos os funcionários, alunos e professores do Instituto de Geociências da Bahia, especialmente aqueles que durante o meu trabalho de mestrado conviveram comigo no Laboratório de Geoquímica Aplicada à Pesquisa Mineral, pelo interesse e acolhida às minhas idéias e planos sobre meteoritos.

Ao Museu Nacional (UFRJ), na pessoa da Dra. Maria Elizabeth Zucolotto, oficializo meu reconhecimento pelo muito que obtive de ambos para concretizar esse trabalho.

À minha família, esposa, filhos e netos pela compreensão às horas dedicadas ao estudo, pesquisa e viagens necessárias a realização deste trabalho.

Registro também meu agradecimento à FAPESB pela aprovação de três projetos apresentados pela Dra. Débora Rios e por mim que resultaram na criação do Programa de Recuperação, Identificação e Registro de Meteoritos (PROMETE) e na realização de exposição sobre esse tema durante a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia em 2009.

ÍNDICE

Dedicatória.....	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Agradecimentos	iv
Índice	v
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xii
Índice de Anexos	xiii
Capítulo I – Introdução.	1
I.1. Motivação para estudo do tema.	3
I.2. Breve histórico sobre o meteorito Bendegó.	4
I.3. Objetivos.	6
I.4. Estrutura da dissertação.	6
Capítulo II – A importância Científica dos Meteoritos.	8
II.1. Definições.	10
II.1.1. Planeta.	10
II.1.2. Planeta-Anão.	10
II.1.3. Pequenos Corpos.	10
II.1.4. Asteróides, Meteoros e Meteoritos.	11

II.2.	Meteoritos ao longo da história.	12
II.3.	Passagem pela atmosfera e efeitos do impacto	16
	II.3.1. Velocidade.....	16
	II.3.2. Ablação, Luminosidade e Perda de Massa.	17
	II.3.3. Som.	19
	II.3.4. Efeitos do Impacto.	20
II.4.	Classificação de Meteoritos.	21
	II.4.1. Classificações Históricas.	21
	II.4.2. Classificação de Prior.	22
	II.4.3. Classificação de Krot.	22
II.5.	Meteoritos Férricos Diferenciados.	27
	II.5.1. Meteoritos do Grupo IC.....	31
II.6.	Meteoritos do Brasil.	33
	Capítulo III – Metodologia Aplicada.	38
III.1.	Confecção da Base de Dados	39
	III.1.1. Revisão Bibliográfica.....	39
	III.1.2. Levantamento de Dados, Amostragem e Mapeamento.....	39
	III.1.3. Visitas Técnicas ao Museu Nacional (UFRJ).....	43
III.2.	Estudos Petrográficos	43
	III.2.1. Rochas do Embasamento no Local do Achado.....	43
	III.2.2. Amostras do Meteorito Bendegó.....	44
	III.2.3. Microscopia Eletrônica de Varredura.	44
III.3	Litogeoquímica	45
	III.3.1. Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma de Argônio Indutivamente Acoplado (ICP OES).	45
	III.3.2. Análises por Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS) .	45
	III.3.3. Ativação Neutrônica Instrumental (INAA).	46
	III.3.4. Geoquímica Isotópica.	47
III.4.	Tratamento de Dados	48

Capítulo IV – O Meteorito Bendegó: história, mineralogia e classificação química	49
IV.1. Introdução	51
IV.2. A Descoberta e Distribuição de Espécimes	54
IV.3. Área Estudada: Localização e Acessos	60
IV.4. Metodologia Aplicada	62
IV.5. Aspectos Geológicos	62
IV.6. Mineralogia	65
IV.6.1. Trabalhos Anteriores	65
IV.6.2. Feições Macroscópicas	67
IV.6.3. Composição Mineralógica e Estruturas	70
IV.7. Composição Química e Classificação	72
IV.7.1. Análise por Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS)	72
IV.7.2. Análise por Ativação Instrumental de Nêutrons (INAA)	73
IV.7.3. Classificação Química	74
IV.8. Agradecimentos	78
IV.9. Referências Bibliográficas	79
Capítulo V – Geoquímica Isotópica e a Idade dos Meteoritos	83
V.1. Idade de formação versus cristalização	84
V.1.1. Idade de formação do meteorito Bendegó	85
V.2. Idade de Exposição Cósmica	85
V.2.1. Idade de exposição do meteorito Bendegó	87
V.3. Idade Terrestre	88
V.3.1. Idade terrestre do meteorito Bendegó	89
V.4. Sistemática isotópica do Rênio-Ósmio em meteoritos férreos	89
V.4.1. O sistema Re-Os	90
V.4.2. Geoquímica de siderófilos no meteorito Bendegó	91

Capítulo VI – Considerações Finais	95
VI.1. Revisão histórica e popularização do tema.....	97
VI.2. Caracterização geológica do local do achado.....	97
VI.3. Revisão da petrologia e geoquímica do Bendegó.....	97
VI.4. Avaliação de possíveis efeitos do impacto.....	98
VI.5. Estudos isotópicos sobre o meteorito Bendegó.....	100
VI.6. Conclusões.....	100
Capítulo VII – Referências Bibliográficas	101
Anexos	111
Anexo 1	111
Anexo 2	121
Anexo 3	165

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo II – A importância Científica dos Meteoritos

Figura II.1.	Fotos dos meteoritos, ou supostos meteoritos, de importância histórica. (A) Meteorito Nogata, o registro de queda mais antigo (queda em 861) cuja amostra está preservada, e sua caixa. (B) Meteorito Ensisheim (queda em 1492). (C) Moeda do Imperador Romano Heliogabarus, e sua carruagem com o meteorito El Gabal. (D) Pedra negra da Kaaba, Meca. (E) Meteorito Siena (queda em 1794) e Abade Ambrogio Soldani. (F) Meteorito L´Aigle (queda em 1803) e Jean Baptiste Biot.....	13
Figura II.2.	Gráfico da variação da velocidade cósmica do meteoróide ao entrar na atmosfera terrestre em função da massa inicial, velocidade e ângulo de entrada (Norton 1994).....	18
Figura II.3.	Diagrama para estimativa da massa meteorítica que alcançará a superfície terrestre, considerando-se velocidades de entrada de 12 e 24 milhas/s, e massa inicial de 1 tonelada, a um ângulo de 45° (Norton e Chitwood 2008).....	18
Figura II.4.	Diagrama de estabilidade de fases Fe-Ni mostrando os campos de estabilidade da kamacita, taenita e taenita+kamacita.....	28
Figura II.5.	Padrão de Widmanstätten. (A) Meteorito Rica Aventura (Chile), coleção Michael Farmer (Norton 2008). (B) Meteorito Bendegó (Bahia, Brasil), coleção Museu Geológico da Bahia.....	28
Figura II.6.	Distribuição dos achados e quedas de meteoritos em território brasileiro (até dezembro 2009).....	34

Capítulo III – Metodologia Aplicada

Figura III.1.	Fotos do local do achado do meteorito Bendegó. (A) Visão geral do ponto zero do local do achado. (B) Detalhes do fundo da depressão existente. (C) Embasamento gnáissico migmatítico do Complexo Uauá, aflorante na margem esquerda do Riacho Bendegó, a 142 metros do local do achado. (D) Detalhe da textura do gnaiss-migmatítico. (E) Exemplo de rochas de cor escura-avermelhada, sem arestas, e com finos veios metálicos, encontradas no local do achado. (F) Fragmento de óxido de ferro, existente originalmente sob a massa do meteorito.....	40
----------------------	---	-----------

Capítulo IV – O Meteorito Bendegó: história, mineralogia e classificação química

- Figura IV.1.** Fotos históricas da expedição José Carlos de Carvalho, 1887-1888, que transportou o Bendegó da Bahia para o Rio de Janeiro. (A) Dia festivo da remoção do meteorito do leito do Riacho Bendegó, (B) Marco D. Pedro II, erigido no local do achado em 1887, (C) Aterro construído para a passagem do Rio Jacurici, (D) Juntas de bois utilizadas no deslocamento da massa meteorítica, (E) Projeto do carretão que transportou o meteorito, (F) Corte de uma fatia do Bendegó no Arsenal de Marinha - RJ. (Fotos de H. Antunes, 1887)..... **58**
- Figura IV.2.** Fotos do meteorito Bendegó no Museu Nacional, Rio de Janeiro. (A) Sr. José Carlos de Carvalho (à esquerda), chefe da expedição 1887-1888, ao lado do diretor do Museu Nacional Prof. Roquete Pinto, (B) Visita do físico Albert Einstein em 07 de maio de 1925 (postal astronômico, Observatório Nacional/MCT, M. R. Nunes, 2002), (C) Visão do meteorito exposto. Detalhes de sua estrutura: (D) Regmalites, (E) Coenita e troilita na face cortada e polida..... **59**
- Figura IV.3.** Mapa (A) de situação do local do achado do Meteorito Bendegó. (B) Mapa de acessos, partindo-se de Salvador, Capital do Estado. (C) Roteiros principais para acesso a Fazenda Bendegó da Pedra: (i) Roteiro 1 - BR - 116, próximo a Fazenda Calumbi; (ii) Roteiro 2 - Fazenda Soledade (estrada vicinal de Monte Santo a Uauá)..... **61**
- Figura IV.4.** Fotos das etapas de campo e amostragem. (A) Visão do local do achado original do meteorito Bendegó onde afloram os gnaisses e anfibólitos de embasamento do Núcleo Serrinha, (B) Fatia do Bendegó enviada para análise por INAA, (C) Fragmento do óxido de ferro, (D) Rocha do embasamento cortada por veios metálicos..... **63**
- Figura IV.5.** Mapa de abrangência do Cráton do São Francisco (A) e Mapa Geológico Simplificado do Núcleo Serrinha (apud Rios et al., 2009), indicando a área deste estudo..... **64**
- Figura IV.6.** Mapa geológico da área de estudo, local do achado do meteorito Bendegó (modificado de Inda et al. 1976)..... **66**
- Figura IV.7.** Classificação química dos meteoritos, segundo proposta de Krot et al. (2005). Traduzida e adaptada..... **68**

- Figura IV.8.** Fotos das amostras trabalhadas para a descrição petrográfica macro e microscópica do Bendegó. Massa principal exposta no Museu Nacional: (A) face polida mostrando ocorrências de troilita, coenita e kamacita com padrão Widmanstätten e (B) Face anterior (bico) com cavidades de dimensões e profundidades variadas, resultado da ablação da troilita. Amostras cedidas pelo Museu Nacional, polidas e atacadas por nital para estudos petrográficos: (C) Lâmina para microscopia eletrônica de varredura, (D) amostra triangular, (E) nódulo de troilita..... **69**
- Figura IV.9.** Microfotografias do meteorito Bendegó: (A) Cristais de kamacita, e taenita dispostas nos contatos. (B) Cristais de taenita, inclusos na kamacita. (C) Cristal de rabdita, tabular, incluso na kamacita (MEV). (D) Linhas de Neumman (MEV). (E) Gráfico EDS da kamacita. (F) Gráfico EDS da taenita, mostrando os maiores teores de Ni, quando relacionados com a kamacita.. **71**
- Figura IV.10.** Diagramas, em escala logaritmica, para classificação química dos meteoritos férreos, apresentando novos dados químicos para o meteorito Bendegó. (A) Diagrama Ir versus Ni, para os grupos de Wasson (1974). (B) Diagrama Ga versus Ni, distinguindo o grupo IC do IAB e IIAB. (C) Diagrama Ge versus Ni, resolvendo a superposição dos grupos IC e IIAB. (D) Diagrama Au versus Ni, mostrando a correlação positiva do grupo IC. (E) Diagrama As versus Ni, distinguindo o grupo IC dos anômalos. (F) Diagrama Ir versus Ni, para o grupo IC, IIAB e IIIAB, apresentando a distinção entre estes grupos. Áreas definidas por Scott (1977)..... **75**

Capítulo V – Geoquímica Isotópica e a Idade dos Meteoritos

- Figura V.1.** Visões esquemáticas das diferentes faces do meteorito Bendegó (após Derby 1896), localizando os pontos de onde foram coletadas as amostras para o estudo Re-Os, numeradas conforme Tabela V.2. (A) Visão da face frontal exposta ao observador que adentra o Museu Nacional. (B) Visão de fundo. (C) Face inferior. **92**
- Figura V.2.** Diagramas multi-elementares para elementos do grupo dos siderofilos em meteoritos. (A) Grupo IIAB. (B) Grupo IVA. (C) Grupo IVB. (D) Grupo principal dos palasitos. (E) Meteorito Bendegó (7 amostras)..... **93**

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo II – A importância Científica dos Meteoritos

Tabela II.1.	Classificação de Meteoritos (Prior 1920), apud Mason (1962).....	23
Tabela II.2.	Classificação Química de Meteoritos, proposta de Krot et al. (2005).....	25
Tabela II.3.	Classificação estrutural dos meteoritos férreos, referenciados aos grupos químicos (após Norton 2008). A tarja cinza indica o grupo classificatório do Meteorito Bendegó.....	30
Tabela II.4.	Classificação química dos meteoritos férreos. A tarja cinza indica o grupo classificatório do Meteorito Bendegó.	30
Tabela II.5.	Análises geoquímicas para os meteoritos férreos do grupo IC (dados de Wasson 1974, Scott e Wasson 1976, Scott 1977, Kracher et al. 1980). As análises estão apresentadas em ordem crescente do teor de níquel.....	32
Tabela II.6.	Relação dos Meteoritos Brasileiros reconhecidos oficialmente até 2009. (Q) Queda, (A) Achado.....	35

Capítulo III – Metodologia Aplicada

Tabela III.1.	Relação dos amostras trabalhadas. (S) Sim, (N) Não.....	42
----------------------	---	-----------

Capítulo IV – O Meteorito Bendegó: história, mineralogia e classificação química

Tabela IV.1.	Relação dos Meteoritos Brasileiros reconhecidos oficialmente até 2009. (Q) Queda, (A) Achado.....	52
Tabela IV.2.	Distribuição das amostras do meteorito Bendegó pelo mundo.....	55
Tabela IV.3.	Análises geoquímicas para os meteoritos férreos do grupo IC (dados de Wasson et al. 1975, 1977; Scott e Wasson 1976; Scott 1977, Kracher et al. 1980). As análises estão apresentadas em ordem crescente do teor de níquel.....	76
Tabela IV.4.	Análises químicas para o Meteorito Bendegó e amostras a ele associadas....	77

Capítulo V – Geoquímica isotópica e a idade dos meteoritos

Tabela V.1.	Idade de formação ^{182}Hf - ^{182}W para meteoritos do grupo IC (segundo Scherstén et al. 2006).....	86
Tabela V.2.	Dados composicionais Re-Os para o meteorito Bendegó (em ng/g - ppb)...	86

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Artigos em Jornais e Revistas.	111
Anexo 1.1.	Jornal "A Tarde", em 30 de outubro de 1990. "Meteoros, meteoritos e estrelas cadentes". Carvalho, W.P.	112
Anexo 1.2.	Jornal "A Tarde", em 01 de junho de 2008. "O dia em que a Bahia ficou sem o meteorito Bendegó". Carvalho, W.P.	117
Anexo 1.3.	Jornal "O Estado de São Paulo", em 17 de maio de 2009. "Projeto ensina a caçar meteoritos".	118
Anexo 1.4.	Jornal "A Tarde", encarte "A Tardinha", em 24 de outubro de 2009. "Mais perto do espaço".	119
Anexo 2.	Documentos Históricos.	121
Anexo 2.1.	Ofício encaminhado por D. Rodrigo José de Menezes a Martinho de Mello e Castro comunicando o achado do meteorito Bendegó (12 de Setembro de 1784). Transcrição do manuscrito.	122
Anexo 2.2.	Ofício de Bernardo Carvalho da Cunha para D. Rodrigo José de Menezes informando sobre as dificuldades para o transporte do meteorito Bendegó. (26 de agosto de 1784). Transcrição do manuscrito.....	127
Anexo 2.3.	Transcrição do ofício de D. Rodrigo José de Menezes a Bernardo Carvalho da Cunha informando está ciente das dificuldades existentes para remover o meteorito Bendegó. (20 de agosto de 1785).	132
Anexo 2.4.	Ofício de Bernardo Carvalho da Cunha para D. Rodrigo José de Menezes informando sobre a frustrada expedição para remover o meteorito Bendegó. (09 de outubro de 1786). Transcrição do manuscrito.	133
Anexo 2.5.	Ofício encaminhado por D. Rodrigo José de Menezes a Martinho de Mello e Castro comunicando a frustrada tentativa de remoção do meteorito Bendegó (16 de fevereiro de 1787). Transcrição do manuscrito.	139
Anexo 2.6.	Crônica de Machado de Assis sobre o Bendegó, na Gazeta de Notícias do Rio de Janeiro, em 27 de maio de 1888 (Gledson 1990).	141
Anexo 2.7.	Ata da sessão da Câmara Municipal da Bahia realizada em 22 de maio de 1888 que apreciou proposta do vereador Francisco Pires de Carvalho para deixar o meteorito Bendegó na Bahia. Transcrição do manuscrito.	146

Anexo 2.8.	Partituras musicais de polcas compostas para a Revista dos Acontecimentos, encenada no Rio de Janeiro em 1888.	155
Anexo 3	Artigos apresentados em congressos e encontros ligados à temática.	165
Anexo 3.1.	Carvalho, W.P., 2007. A importância científica dos meteoritos. X Encontro Nacional de Astronomia. Rio de Janeiro-RJ. CD-rom.	166
Anexo 3.2.	Carvalho, W.P., Zuculotto, M.E., 2008. Dois novos meteoritos baianos aumentam a coleção brasileira para 57. XI Encontro Nacional de Astronomia. Maceió-AL. CD-rom.	187
Anexo 3.3.	Carvalho, W.P., Rios, D.C., Conceição, H., D’Orazio, M., 2008. Avanços na avaliação geoquímica do meteorito Bendegó. 44º Congresso Brasileiro de Geologia. Curitiba-PR.	194
Anexo 3.4.	Carvalho, W.P., Rios, D.C., Santos, I.P.L., 2009. A História da Meteorítica. XI Encontro Nacional de Astronomia. Londrina-PR. CD-rom.	197
Anexo 3.5.	Carvalho, W.P., Rios, D.C., Santos, I.P.L., 2009. Meteorito Bendegó: Patrimônio Geológico da Bahia e do Brasil. XXIII Simpósio de Geologia do Nordeste. Fortaleza-CE. CD-rom.	208
Anexo 3.6.	Carvalho, W.P., 2009. A Importância Científica dos Meteoritos. Folder elaborado para a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia, ano 2009.	211
Anexo 3.7.	Rios, D.C., Carvalho, W.P., 2009. Bendegó: um visitante do espaço. Cartilha educativa em quadrinhos. PROMETE – Programa de Recuperação, Identificação e Registro de Meteoritos. Semana Nacional de Ciência e Tecnologia, ano 2009.	213

CAPÍTULO I
INTRODUÇÃO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

Os meteoritos são amostras geológicas não rotuladas de astros do sistema solar formados juntamente com a Terra, 4,6 bilhões de anos atrás. Eles trazem consigo dados esclarecedores para os maiores enigmas da ciência, tais como as condições que vigoravam durante a formação do sistema solar, e sobre a natureza e composição dos asteróides, disponibilizando assim algumas das informações mais diretas e detalhadas dos processos que ocorreram nos primeiros momentos da nossa história, proporcionando informações petrográficas, geoquímicas e geocronológicas de grande importância para ampliação do conhecimento científico sobre o processo de acreção que deu origem aos planetas e asteróides, permitindo estudar porções desses astros, inacessíveis a outros métodos.

Os meteoritos podem ser basicamente de dois tipos: pétreos e metálicos. No primeiro grupo incluem-se os condritos e acondritos e no segundo, pontificam os férreos e os férreos-pétreos ou mistos.

Acredita-se que os meteoritos férreos representam com fidelidade regiões do núcleo da Terra, situado a 6.480 km da superfície e que os acondritos são fragmentos oriundos do manto de astros que se fragmentaram.

Do total de 57 (cinquenta e sete) meteoritos coletados no Brasil, cinco foram achados na Bahia. Estas cinco massas de material extraterrestre têm representantes dos três tipos básicos da classificação estrutural de meteoritos: pétreo (meteorito Rio do Pires), férreo (meteoritos Bendegó, Palmas de Monte Alto e Vitória da Conquista) e férreo-pétreo (meteorito Quijingue). O maior deles, denominado Bendegó, objeto desta dissertação de mestrado, é uma massa de Fe-Ni com 5.360 kg, medindo 2,15m x 1,50m x 0,66m, tendo sido encontrado em 1784, na região de Monte Santo/Uauá, no tempo do Brasil Colônia. Atualmente o meteorito Bendegó encontra-se exposto no Museu Nacional, Rio de Janeiro, para onde foi transportado em 1888.

Segundo o banco de dados mantido pela Meteoritical Society, organização internacional responsável pelo registro e nomenclatura dos meteoritos, há mais de 600 (seiscentos) meteoritos férreos distribuídos pelos 14 (quatorze) grupos da classificação proposta por Wasson (1974). O meteorito Bendegó integra o grupo IC dos meteoritos férreos, o qual conta com apenas 11 (onze) espécimes.

As últimas análises químicas realizadas no meteorito Bendegó foram publicados na década de 1970. No campo da geoquímica isotópica os últimos trabalhos datam de 1978 (Voshage e Feldman), 1999 (Lavielle et al), e mais recentemente o estudo de Schertén et al. (2006). Desde então, o desenvolvimento das técnicas analíticas para estudos petrográficos e geoquímicos foi muito expressivo, notadamente em relação à utilização de novos equipamentos com maior grau de sensibilidade, permitindo dosar quantidades diminutas de elementos cuja concentração em meteoritos é muito baixa a exemplo da Ionização Termal Negativa (Cook et al. 1991) aplicada para medir o conteúdo de Re e Os em meteoritos metálicos.

I.1 MOTIVAÇÃO PARA ESTUDO DO TEMA

Quando criança, vivendo no município de Itiúba, Bahia, distante 77 km da cidade de Monte Santo, e 112 do local onde o meteorito Bendegó foi achado, o autor ouviu muitas conversas e histórias sobre uma enorme “pedra encantada” que fora levada para o Rio de Janeiro no final do reinado de D. Pedro II (1888). Para comprovar esse fato, ainda adolescente ele visitou o marco ornado com placas de bronze, que foi erigido próximo à estação ferroviária do povoado de Jacurici, local de embarque do meteorito para Salvador. Esta história empolgava porque, segundo a lenda, a “pedra” não queria de forma alguma deixar o sertão baiano, e sua remoção forçada foi, em grande parte, a responsável pela penúria dos habitantes locais na sua labuta diária para retirar da terra árida o sustento da família e dos animais de criação.

O primeiro contato do autor com a “Pedra do Bendegó”, como o meteorito é chamado pelos sertanejos, ocorreu em 1988 quando visitou o Museu Nacional no Rio de Janeiro com o objetivo de fotografar esse visitante espacial. Teve então a oportunidade de apreciar as ciclópicas dimensões do meteorito, seu formato irregular, e sua fria superfície revestida por uma crosta negra brilhante, que despertaram recordações da infância e um firme propósito de desmistificar a lenda da “Pedra do Bendegó”, trazendo à luz fatos científicos e históricos sobre o achado, o transporte, a origem, e a composição química daquele corpo celeste que despencou do céu sobre o semi-árido da Bahia.

Em 30 de outubro de 1990 o jornal *A Tarde*, sediado em Salvador, publicou o primeiro artigo de sua autoria (Anexo 1.1) com informações fidedignas sobre a remoção do meteorito para o Rio de Janeiro. Cinco anos depois foi publicado um livro, o segundo trabalho de sua autoria, intitulado “Os Meteoritos e a História do Bendegó” (Carvalho 1995), onde são

abordados, na primeira parte, os detalhes da expedição de 1887 e, na segunda, fornece explicações sobre o “que é um meteorito”, “como reconhecer”, “para que serve”, “como achar”, “características exclusivas”, “origens e classificação”.

O próximo passo nessa jornada foi buscar a formação acadêmica propícia à obtenção de conhecimentos relacionados a metodologias, análises, equipamentos e laboratórios destinados ao estudo científico dos meteoritos apresentando, em 2007, proposta para desenvolver, no Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, este trabalho de mestrado, cujo tema principal é o meteorito Bendegó, haja vista ser o maior e mais conhecido exemplar da coleção brasileira, e servir bem ao propósito de tornar a ciência meteorítica mais divulgada na comunidade geológica do Brasil.

I.2 BREVE HISTÓRICO SOBRE O METEORITO BENDEGÓ

De acordo com manuscritos históricos, o meteorito Bendegó foi achado em 1784, provavelmente no mês de junho, conforme ofício dirigido pelo governador da Bahia, D. Rodrigo José de Menezes, ao Secretário de Estado da Marinha e do Ultramar, Martinho de Mello e Castro, que determinou sua imediata remoção para Salvador a fim de ser enviado a Portugal (Anexos 2.1 e 2.2).

Entre 1784 e 1787, pelo menos três tentativas de transporte da massa de ferro, como o meteorito era conhecido na época, não lograram sucesso (Anexos 2.3 a 2.5), haja vista seu avantajado peso e dimensões que permitiram apenas deslocá-lo cerca de 200m, do local do achado até o leito do Rio Bendegó, onde permaneceu por 103 anos aguardando remoção.

Nesta época, a meteorítica ainda não tinha se estabelecido como ciência e, a maioria dos cientistas não acreditava na existência de rochas vindas do espaço. As perspectivas levantadas quando da descoberta do Bendegó sugeriam a existência de uma valiosa jazida de minério de ferro. Tais suspeitas foram descartadas pelo Capitão-Mór do Itapicuru, Bernardo Carvalho da Cunha, encarregado da remoção do meteorito que não encontrou quaisquer indícios de mineralização de ferro na área do achado, classificando a massa como “um aborto da Natureza” haja vista ser completamente estranha à geologia local (Cunha 1784, Anexo 2.2).

Em 1811 o estranho achado foi reconhecido como um provável meteorito através de um comunicado à Sociedade Real de Londres escrito pelo cidadão inglês Aristides Franklin Mornay, que estimou seu peso em 14 mil libras (6.350 kg), e confirmou o veredicto de Carvalho da Cunha sobre a inexistência de jazidas de ferro na região (Mornay 1816). No leito

do Rio Bendegó, Mornay extraiu amostras do meteorito que enviou para análises em Londres, cujos resultados foram publicados em 1816 (Wollaston 1816).

Em 1819, o meteorito foi visitado por Spix e Martius, naturalistas austríacos em viagem de estudos pelo Brasil, os quais enviaram amostras para Munique (Lahmeyer 1938). É importante destacar que no início do século XIX os estudos dos meteoritos recebiam cada vez mais atenção das instituições européias, tendo o Bendegó contribuído para se estabelecer a natureza, composição e estruturas petrográficas dos meteoritos férreos. Este interesse crescente motivou D. Pedro II a ordenar a remoção do meteorito para a sede da Corte.

Em 15 de junho de 1888 o Bendegó chegou ao Rio de Janeiro, sendo recebido pessoalmente pela Princesa Isabel, cientistas, e nobres do II Império do Brasil. Machado de Assis o homenageou com uma crônica (Gledson 1990) publicada na Gazeta de Notícias em 27/05/1888, no Rio de Janeiro, descrevendo a reunião da Câmara de Vereadores da Bahia onde se discutiu o embargo da saída do meteorito da província da Bahia (Anexos 2.6 e 2.7). Apesar do protesto de dois vereadores, o meteorito seguiu para o Rio de Janeiro. Pelo menos três polcas, estilo de música popular da época, foram compostas naquele ano tendo o Bendegó como tema central (Anexo 2.8), e encenadas em teatros de revista.

Em seguida, um lado do meteorito foi serrado no Arsenal de Marinha, extraíndo-se uma fatia de cerca de 60 kg, subdividida em muitas amostras, e enviadas para pelo menos 29 instituições em todo o mundo. Este corte objetivou também expor a parte interna do meteorito para realização de estudos estruturais, a exemplo do trabalho realizado por Orville Derby, diretor da seção de geologia do Museu Nacional (Derby 1896).

Importante registrar o papel político-social do meteorito Bendegó à época de seu traslado da Bahia para o Rio de Janeiro e subseqüentes ações dos dirigentes do Museu Nacional em relação a esse visitante do espaço. Silva (2010) estudou o meteorito sob o "conceito de discurso desenvolvido por Michel Foucault para analisar as formações discursivas" relacionadas a "O Pedaco de outro mundo que caiu na Terra", título de sua dissertação de mestrado na área de Museologia, onde apresenta interessantes conjunturas sobre a importância do político-social do meteorito, a exemplo do espaço físico que ele ocupou em diferentes tempos no Museu Nacional e os trâmites burocráticos para construção do pedestal especial que suporta essa massa extraterrestre.

Na década de 1970 o Bendegó integrou o elenco de meteoritos férreos estudados por Edward Scott e John Wasson, resultando em sua classificação química como um dos onze membros do Grupo IC (Scott et Wasson 1976, Scott 1977).

I.3 OBJETIVOS

Esta dissertação de mestrado visa fazer uma retrospectiva histórica do achado, transporte e estudos científicos desenvolvidos sobre o meteorito Bendegó, apresentar resultados de novos estudos petrográficos e geoquímicos, caracterizar geologicamente a área onde essa massa de Fe-Ni foi achada, e avaliar possíveis efeitos de sua queda sobre as rochas do local do achado localizado no Núcleo Serrinha.

I.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Tendo o meteorito Bendegó como foco principal, esta dissertação de mestrado apresenta os fundamentos da meteorítica, uma ciência que se iniciou no final do século XVIII, tomou impulso nas primeiras décadas do século XX e se consolidou com o advento do programa espacial desenvolvido pelos Estados Unidos e União Soviética a partir de 1950.

Ela está estruturada em 7 (sete) capítulos, e inclui um total de 18 (dezoito) figuras, 13 (treze) tabelas e 3 (três) anexos.

O **capítulo I** traz a introdução ao tema, a motivação para este estudo e um breve histórico sobre meteorito Bendegó, além de esclarecer o objetivo desta pesquisa e como o trabalho está estruturado.

O **capítulo II** discorre sobre a importância científica dos meteoritos, apresentando os conceitos e definições referentes a planeta, planeta anão, meteoro, meteoróide, bólido e meteorito, adotados pela União Astronômica Internacional e pela Organização Internacional de Meteoros. Em seguida aborda-se a evolução da temática ao longo da história, apresentando fatos e narrativas sobre importantes meteoritos que influenciaram o pensamento de monarcas e profetas no mundo antigo e outras rochas espaciais que marcaram época como objeto de livros e artigos que tentaram explicar cientificamente o inverossímil fenômeno de rochas que caíam do céu e o achado de massas de ferro e níquel metálicos de alta pureza. Na seqüência demonstram-se os efeitos da passagem destes corpos pela atmosfera terrestre, e são apresentados os principais sistemas estruturais e químicos para classificar meteoritos, exemplificando-os através de uma relação e mapa de localização dos 57 exemplares brasileiros. Na classificação histórica e atual destas rochas, é dado destaque ao grupo dos férreos, no qual se enquadra o Bendegó.

O **capítulo III** explica a metodologia aplicada no desenvolver deste trabalho, sendo caracterizadas as missões de campo e visitas de estudos, bem como as amostras, métodos,

equipamentos, laboratórios e técnicas utilizados para estudar o meteorito Bendegó e a área onde foi achado.

Sob o formato de um artigo submetido à Revista Brasileira de Geociências, o **capítulo IV** resume os resultados desta pesquisa ao descrever e discutir as características físicas, estruturais e químicas do meteorito Bendegó, caracterizando geologicamente o local do seu achado e apresentando um retrospecto sobre a descoberta desse visitante extraterrestre e seu traslado da Bahia para o Rio de Janeiro, demonstrando a importância que ele teve para ajudar a meteorítica a se estabelecer como ciência.

O **capítulo V** discorre sucintamente sobre os sistemas e métodos isotópicos/geocronológicos aplicáveis a meteoritos, apresentando as idades de formação, de exposição e terrestre do Bendegó.

O **capítulo VI** reúne as considerações finais deste trabalho. Aqui se discute a consistência dos dois métodos analíticos (ICP-MS e INAA) utilizados para determinação das concentrações químicas do meteorito Bendegó, e sugere-se a necessidade de realizar trabalhos geofísicos no local do achado para determinar os reais efeitos do impacto do meteorito Bendegó, uma vez que as análises petrográficas e químicas realizadas em amostras do meteorito e de rochas coletadas na área não foram conclusivas sobre crateras que poderiam ter sido abertas pelo impacto.

O **capítulo VII** apresenta as referências bibliográficas consultadas ao longo desta pesquisa.

Nos **anexos** estão disponibilizados (i) artigos publicados pelo autor em jornais e revistas, (ii) cópias dos documentos históricos, e (iii) artigos apresentados em congressos e encontros ligados à temática.

CAPÍTULO II

A IMPORTÂNCIA CIENTÍFICA DOS METEORITOS

II CAPÍTULO II – A IMPORTÂNCIA CIENTÍFICA DOS METEORITOS

Em seu âmago os meteoritos trazem marcas de cataclismas cósmicos como nano diamantes formados em explosões de estrelas denominadas supernovas e inclusões de cálcio e alumínio (CAI), primeiros sólidos a se condensar nos estágios iniciais de resfriamento da nebulosa proto-planetária. Foi esta origem violenta de alguns componentes meteoríticos, e os seus registros de um final cataclísmico para as grandes massas que impactaram a Terra, planetas e satélites, que levaram os cientistas a construir uma nova ciência, denominada meteorítica, para estudar esses fragmentos de rochas espaciais “em busca de nossas origens e talvez vislumbrar nossa possível aniquilação” (Norton 1994).

Ao atravessar a atmosfera terrestre, no final de sua longa jornada através do espaço interplanetário, os meteoritos carregam informações importantes sobre os efeitos da resistência do ar à passagem de corpos sólidos, e conseqüentes processos de aquecimento e ablação que os fazem brilhar e perder massa em sua feérica descida. Esses dados têm auxiliado projetistas de naves espaciais, aeronaves, e satélites, a aperfeiçoar o desenho desses equipamentos objetivando reduzir ao máximo a resistência do ar e ao mesmo tempo aumentar a proteção térmica das naves e objetos que necessitam retornar à Terra de forma segura.

Um tipo de meteorito, o condrito, é formado por grãos (*chondros* em grego) denominados côndrulos, sendo este o material mais primitivo do sistema solar. A concentração de seus elementos químicos é bem próxima dos números referentes à abundância dos elementos no Sol e no Universo. Como esse tipo de rocha não passou pelo processo de diferenciação, um grupo denominado Carbonáceos Ivuna (CI) é utilizado em geoquímica como parâmetro para normalização de elementos da série dos Lantanídeos (Elementos Terras Raras).

Por outro lado, os acondritos (sem côndrulos) são rochas diferenciadas com evidências de terem se originado a partir de um líquido de natureza condrítica. A variedade desse grupo de meteoritos e suas características particulares sugerem diferentes astros como fontes parentais. Nesse grupo de meteoritos estão incluídos os metálicos (Krot et al. 2005) que, acredita-se, representam porções do núcleo e da interface núcleo-manto de astros diferenciados que se fragmentaram.

Outra importante contribuição dessas rochas às Ciências da Terra são os resultados isotópicos, pois a geocronologia as identifica como o material mais antigo do Sistema Solar.

II.1 DEFINIÇÕES

A União Astronômica Internacional (IAU) define o termo meteoróide como “um objeto sólido movendo-se no espaço interplanetário, de tamanho consideravelmente menor que um asteróide, e consideravelmente maior que um átomo ou molécula”. Essa definição, assim como os conceitos para os termos meteoro, bólido e meteorito foram estabelecidos há mais de 40 anos, pela Comissão 22 da IAU, em sua XI Assembléia Geral realizada em 1961. A discussão levada a efeito na assembléia de 2006 sobre o reconhecimento de Plutão como planeta culminou com a emissão da Resolução B5 sobre a classificação dos astros do sistema solar em três categorias:

- (a) Planeta,
- (b) Planeta anão, e
- (c) Pequenos corpos do sistema solar.

II.1.1 Planeta

Para ser classificado como planeta o astro precisa preencher três requisitos: (1) estar em órbita em volta do Sol, (2) ter massa suficiente para sua própria gravidade superar as forças de um corpo rígido, de maneira que ele assuma uma forma de equilíbrio hidrostático (quase redondo), e (3) ter limpado a vizinhança de sua órbita.

II.1.2 Planeta-Anão

Por sua vez, um planeta anão é um corpo celeste que preenche as duas primeiras condições estabelecidas para o astro ser considerado um planeta, mas que não conseguiu limpar sua órbita, nem é um satélite. Plutão foi rebaixado à condição de planeta anão porque sua órbita atravessa regiões povoadas por objetos do Cinturão de Kuiper.

II.1.3 Pequenos Corpos

Finalmente, todos os outros objetos celestes que orbitam o Sol e que não são classificados como planeta, planeta anão, ou satélite, integram uma categoria denominada “pequenos objetos do sistema solar”. Em nota de rodapé, a IAU esclarece na Resolução 5B que nessa última categoria está incluída a maioria dos asteróides e dos objetos trans-netunianos, cometas e outros objetos pequenos, abstendo-se de emitir informações sobre o tamanho e constituição desses corpos.

II.1.4 Asteróides, Meteoros e Meteoritos

Nesta dissertação serão adotados os conceitos e definições para asteróide, meteoróide e partícula de poeira de Beech e Steel (1995). Esses autores sugerem limites no sistema métrico para distingui-los com base no diâmetro do corpo.

O limite superior adotado corresponde a 10 m de diâmetro, estabelecido com base no tamanho mínimo de astros detectáveis pelos telescópios do projeto *Spacewatch*. Por sua vez, o limite inferior sugerido é da ordem de 100 μm (0,1 mm), estabelecido com base no fato de que objetos menores não produzem o fenômeno luminoso denominado meteoro. Assim,

Asteróides: objetos com mais de 10 metros de diâmetro,

Meteoróides: objetos que têm entre 10 m e 100 μm (0,1 mm) de diâmetro,

Partícula de poeira, objetos com menos de 100 μm (0,1 mm) de diâmetro.

O termo **meteoro** é definido pela Organização Internacional de Meteoros (IMO) como o “fenômeno luminoso que resulta da entrada de uma partícula sólida, proveniente do espaço, na atmosfera da Terra”. Esta mesma definição é adotada pela União Astronômica Internacional (IAU).

Bólide é “um brilhante meteoro com uma magnitude visual de -4 (IMO) ou, uma definição para o mesmo fenômeno porém mais vaga: “brilhante meteoro com luminosidade igual ou superior a dos planetas mais brilhantes” (IAU). Esses dois termos, meteoro e bólide, relacionam-se à definição de meteoróide (Beech e Steel 1995).

As definições para o termo **meteorito** têm como ponto em comum o fato de uma massa sólida, de origem espacial, atingir a superfície da Terra. Segundo a IAU “meteorito é qualquer objeto definido como B (meteoróide) que alcançou a superfície da Terra sem haver se vaporizado completamente.

A IMO define meteorito como “um objeto natural de origem extraterrestre (meteoróide) que sobrevive à passagem através da atmosfera e atinge a superfície”. Combinando essas duas definições com aspectos mais específicos relacionados à composição química propomos neste trabalho a seguinte definição para meteoritos:

Meteoritos são rochas de composição metálica e/ou silicática que originalmente orbitavam o Sol (meteoróides) e que sobreviveram à passagem pela atmosfera da Terra, logrando atingir sua superfície.

II.2 METEORITOS AO LONGO DA HISTÓRIA

Meteoritos chocam-se com a Terra desde os primórdios do Sistema Solar. Os registros mais antigos de quedas de meteoritos estão localizados em depósitos de calcário explorados no Sudeste da Suécia, de onde foram extraídos mais de 40 meteoritos fósseis intrudidos em sedimentos do período Ordoviciano, entre 450 e 480 Ma (Schmitz e Tassinari 2001). Quedas mais antigas ocorreram como demonstram estruturas típicas de grandes impactos identificadas nos quatro continentes e catalogadas em banco de dados mantido pela *University of New Brunswick*, Canadá (Earth Impact Database, 2006). De acordo com este banco de dados a estrutura de impacto meteorítico mais antiga, denominada Suavjarvi, está situada na Rússia e apresenta uma idade de 2,4 Ga (Mashchak et al. 1996). Outras 13 estruturas dentre as 176 catalogadas até novembro de 2009, revelaram idade igual ou superior a 1,0 Ga. O Brasil tem seis crateras reconhecidas e registradas por esse banco de dados: Araguainha (MT), Serra da Cangalha (GO), Anel de Riachão (MA), Domo de Vargeão (SC), Cerro do Jarau (RS) e Vista Alegre (PR).

O meteorito mais antigo preservado até o presente teve sua queda registrada em 19 de maio de 861. É uma rocha condrítica com 472g denominada Nogata (Fig. II.1A). Essa preciosidade tem sido guardada por 1.167 anos em uma pequena caixa de madeira, no Santuário Suga, distrito de Fukuoka, Japão (Norton 1994).

A segunda queda mais antiga cujos registros e o meteorito estão conservados ocorreu em 7 de novembro de 1492, cinco dias antes de Cristóvão Colombo chegar às Américas, e mais de 600 anos depois da queda da rocha de Nogata. O meteorito Ensisheim é também uma rocha condrítica, com peso original de 127 kg (Fig. II.1B). Fato curioso é que o imperador austríaco Maximiliano visitou o local 15 dias depois da queda, determinando que o meteorito fosse guardado na igreja. Ele considerou a queda do meteorito um bom augúrio às guerras que movia contra os franceses e os turcos, porém a cidade de Ensisheim, que no tempo de Maximiliano integrava o império austríaco, hoje é território francês (Norton 1994). Meteoritos também foram venerados como deuses na Grécia e na Itália. O fato melhor documentado refere-se a uma rocha de forma triangular que acreditava-se ter caído dos céus, adorada como deus (El-Gabal, Fig. II.1C) na cidade de Emessa, Síria, onde o imperador romano Heliogabalus nasceu. Ao se tornar imperador, Heliogabalus mandou transportar o "meteorito" para Roma, onde foi construído um grande templo para abrigar a rocha sagrada que passou a ser a divindade mais importante do Império Romano entre 218 e 222 EC. O destino desta rocha é hoje desconhecido (McCall et al. 2005).



Figura II.1. Fotos dos meteoritos, ou supostos meteoritos, de importância histórica. (A) Meteorito Nogata, o registro de queda mais antigo (queda em 861) cuja amostra está preservada, e sua caixa. (B) Meteorito Ensisheim (queda em 1492). (C) Moeda do Imperador Romano Heliogabarus, e sua carruagem com o meteorito El Gabal. (D) Pedra negra da Kaaba, Meca. (E) Meteorito Siena (queda em 1794) e Abade Ambrogio Soldani. (F) Meteorito L´Aigle (queda em 1803) e Jean Baptiste Biot.

Outra rocha famosa, possivelmente de origem meteorítica, está preservada em Meca, na Arábia Saudita, cidade natal de Maomé (570-632 EC). A tradição mulçumana afirma que essa rocha preta foi trazida do paraíso pelo Anjo Gabriel e entregue a Abrãao quando ele estava construindo o santuário denominado Kaaba (Casa de Deus). Os mulçumanos dizem que não adoram essa pedra, mas a consideram um sinal visível de Deus e que o profeta Maomé recomendou tocá-la para que se estabeleça um contrato com Deus e se obtenha proteção no Dia do Julgamento. Vários historiadores árabes descreveram a rocha como sendo originalmente de cor branca e que seu escurecimento deu-se devido aos pecados dos homens (Dietz e McHone 1974). Esta relíquia recebe anualmente a visita de milhões de peregrinos de todas as partes do mundo em cumprimento a preceito religioso que os obrigam a ir àquele local, pelo menos uma vez na vida, se tiverem recursos para custear a viagem. (Fig. II.1D). A religiosidade impede estudos científicos que comprovem sua autenticidade como meteorito e os mulçumanos afastam esta possibilidade afirmando que a pedra não pode ser uma rocha terrestre ou meteorítica, já que se trata de material sobrenatural (Dietz e McHone 1974). Apesar das inúmeras discussões sobre sua origem, a rocha foi considerada por Kahn (1936) como um meteorito pétreo (aerólito) e está inclusa no Catálogo de Meteoritos (Prior-Hey 1953).

Na antiguidade e até o final do século XVIII os meteoritos eram associados a erupções vulcânicas, relâmpagos e trovões, haja vista o descrédito total que os estudiosos dedicavam a uma possível origem espacial para algumas rochas cujas quedas foram testemunhadas ou fragmentos compostos por uma liga de Fe-Ni que foram achados longe de qualquer ocorrência de depósitos de minério.

Apenas em 1794, um físico alemão chamado Ernst Chladni (1756-1827) decidiu publicar um livreto de 63 páginas intitulado "*Ueber den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer ihr ähnlicher Eisenmassen und über einige damit in Verbindung stehende Naturscheinungen*", traduzido dois anos depois para o inglês sob o título "*On the Origin of the Pallas Iron and Others Similar to it, and on some Associated Natural Phenomena*" (Sobre a Origem do Ferro Pallas e Outros Similares a ele, e sobre Alguns Fenômenos Naturais Associados), com explicações sobre uma provável origem espacial para uma massa de ferro e olivina (palasito) achada na Croácia em 1751 (Chladni 1794). Esse livro caiu como uma bomba no meio científico, angariando severas críticas ao seu conteúdo e autor. O próprio Chladni comenta seu crítico mais ferrenho, Georg Christoph Lichtenberg, escrevendo em 1819: "quando ele leu meu texto sentiu como se ele próprio tivesse sido atingido na cabeça por uma dessas pedras e, de imediato, desejou que eu nunca houvesse escrito aquilo".

Alexander von Humboldt também criticou as idéias de Chladni escrevendo ao amigo Carl Freiesleben: "Definitivamente, leia o infame livro de Chladni sobre massas de ferro" (McCall et al. 2005).

Neste mesmo ano um bólido foi visto em Siena, Itália por volta das 19 horas de 16 de junho de 1794, em um dia do verão europeu. Sons semelhantes a tiros de canhão foram seguidos da queda de rochas, prontamente recolhidas, ainda quentes, por muitas pessoas (Fig. II.1E). O Frade Ambrogio Soldani (1736-1808) escreveu uma dissertação demonstrando que as rochas que caíram em Siena não podiam ser vulcânicas, mas isto não foi suficiente para fazer os mais céticos crerem em rochas de origem espacial porque o vulcão Vesúvio havia entrado em erupção no dia anterior (McCall et al. 2005).

A queda seguinte aconteceu na Inglaterra na tarde de 13 de dezembro de 1795. Edward Topham, um respeitado juiz que morava próximo ao local do impacto investigou o fenômeno com seriedade, entrevistando testemunhas e presenciando a extração de uma rocha de 25 kg encravada em uma camada de calcário, a cerca de 33 cm da superfície. Topham tomou o depoimento, sob juramento, de duas testemunhas que estavam muito próximo do ponto onde o meteorito chocou-se com o solo: um pastor de ovelhas e um trabalhador rural, ambos empregados do magistrado. Os dois viram quando a rocha impactou o chão fazendo um buraco de aproximadamente um metro de diâmetro. Segundo escreveu o Juiz Thopham, o trabalhador rural (John Shipley) estava a menos de 10 metros do local do impacto e foi atingido pelo solo levantado pelo choque (McCall et al. 2005).

Embora a queda do meteorito Wold Cottage tenha sido visto por testemunhas tão eloqüentes e tenha sido investigado por um magistrado inglês, ainda não foi dessa vez que todos os cientistas mudaram de opinião quanto à origem dessas rochas, haja vista que uma grande tempestade com relâmpagos e trovões foi registrada naquele mesma tarde pelos habitantes da vila de Wold Newton, a cerca de 16 km do local da queda.

A evidência mais marcante sobre a origem espacial dos meteoritos surgiu na tarde de 26 de abril de 1803, nos arredores de L'Aigle, Normandia, França (McCall et al. 2005). Uma "chuva de pedras" com mais de 3 mil espécimes foi testemunhada por centenas de pessoas (Fig. II.1F). A Academia de Ciências da França designou um jovem físico chamado Jean Baptiste Biot (1774-1862) para investigar a ocorrência. Cético a princípio, embora levasse consigo amostras de meteoritos anteriormente coletados cuja estrutura e composição eram diferentes de qualquer rocha terrestre, Biot rendeu-se ao fato de que as rochas de L'Aigle eram de origem espacial haja vista três incontestáveis evidências:

- (i) Estrutura similar às amostras coletadas em lugares e épocas muito distantes da ocorrência investigada;
- (ii) Surgimento repentino de uma grande quantidade dessas rochas; e,
- (iii) O grande número de pessoas de diferentes profissões e interesses que presenciaram a queda.

No ano anterior à queda de L'Aigle, o químico inglês Edward Howard (1774-1816) havia analisado quatro rochas provenientes de quedas meteoríticas ocorridas em diferentes locais da Índia e da Europa. Suas análises revelaram uma semelhança muito grande entre elas, e marcante diferença composicional e estrutural se comparadas às rochas terrestres.

Certamente, a publicação do ensaio de Ernst Chladni (Chladni 1794), os resultados das análises químicas de Edward Howard (Howard 1802) e a apresentação do relatório de Jean Baptiste Biot (Biot 1803) foram decisivos para o estabelecimento da meteorítica como uma ciência multidisciplinar que se apóia firmemente na geologia, petrologia, geoquímica, geocronologia, física, astronomia e metalurgia para estudar essas amostras geológicas de outros mundos, denominadas meteoritos.

II.3 PASSAGEM PELA ATMOSFERA E EFEITOS DO IMPACTO

Meteoróides e partículas de poeira cósmica ao penetrar a atmosfera terrestre enfrentam condições físicas capazes de aniquilá-los ou reduzir consideravelmente suas massas originais e fragmentá-los antes de atingir a superfície. Essas condições adversas são geradas pela resistência que a atmosfera oferece à passagem de um corpo sólido que se movimenta a uma velocidade acima de 12 km/s. Como consequência, a queda de um meteorito gera efeitos luminosos e sonoros. Seu impacto pode alterar a morfologia do local através da abertura de crateras, produção de ondas sísmicas, criação de ondas de choques e de radiação térmica (Norton e Chitwood 2008).

II.3.1 Velocidade

A Terra movimenta-se ao redor do Sol a uma velocidade de 29,9 km/s e os meteoróides atingem velocidades heliocêntricas entre 25 e 43 km/s (Norton 1994). Quando um meteoróide e a Terra chocam-se de frente essas velocidades são somadas, mas se ele estiver viajando em uma rota de perseguição à Terra seu contato com as camadas superiores da atmosfera ocorrerá a uma velocidade correspondente à diferença entre essas duas grandezas.

A velocidade heliocêntrica média dos meteoróides cuja entrada na atmosfera foi fotografada por um sistema de vigilância do governo canadense foi calculada em 38,2 km/s.

A intensidade dos efeitos da atmosfera sobre o meteoróide dependem principalmente de cinco fatores:

- 1) velocidade inicial de entrada do meteoróide;
- 2) densidade da atmosfera;
- 3) coeficiente de retardação (*drag*);
- 4) massa e área do meteoróide submetida à resistência do ar;
- 5) ângulo de entrada do meteoróide.

Além dessas variáveis, há de se considerar a constante referente à aceleração da gravidade que é de $11,2 \text{ km/s}^2$. A redução da velocidade de entrada de meteoróides é diretamente proporcional ao coeficiente de retardação da atmosfera que varia de 0 a 1 conforme a altitude e indiretamente proporcional à massa e ao seno do ângulo de incidência. Com essas variáveis constroem-se modelos para simular a diminuição de velocidade para corpos de diferentes massas, velocidades de entrada e ângulos de incidência.

Assumindo uma velocidade de entrada de 24 mi/s (38,6 km/s), e ângulo incidência equivalente a 90° , Norton (1994), usando dados de Heide (1964), demonstrou em um gráfico a relação entre a massa e a perda de velocidade de um corpo após sua entrada na atmosfera (Fig. II.2). As curvas do gráfico demonstram que corpos originalmente com mais de 10t conseguem reter parte de suas velocidades cósmicas, enquanto meteoróides com massas de até 1t têm suas velocidades de entrada reduzidas a zero em altitudes acima de 10 mi (16,1 km), e sua queda continua apenas sob o efeito da aceleração da força de gravidade (queda livre). Isto reflete diretamente nos efeitos do impacto na superfície terrestre e que a massa original do meteoróide desempenha um papel importante nessa equação.

II.3.2 Ablação, Luminosidade e Perda de Massa

A uma altitude de 100 km, embora rarefeita, a atmosfera terrestre age como um poderoso escudo de proteção à passagem de corpos sólidos. À medida que a densidade atmosférica aumenta, a altitudes mais baixas, a resistência do ar torna-se maior, submetendo o corpo estranho a um processo denominado ablação onde a pressão e calor gerados são suficientemente altos para ionizar o ar e produzir luz, além de fundir a parte anterior do meteoróide, que passa a perder massa em sua descida incandescente.

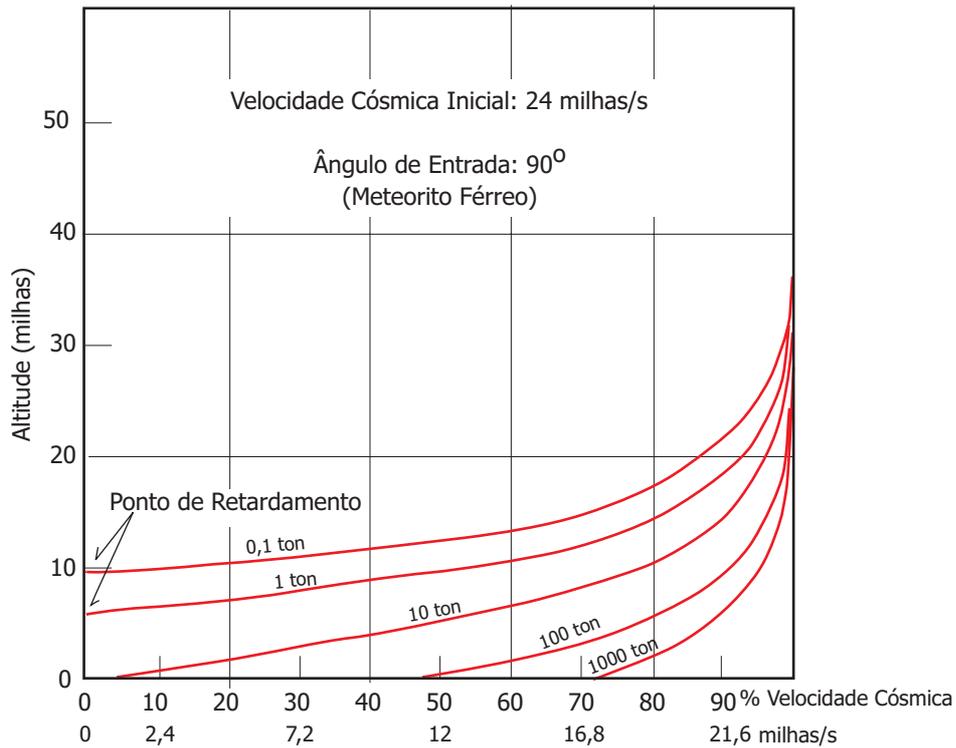


Figura II.2. Gráfico da variação da velocidade cósmica do meteoróide ao entrar na atmosfera terrestre em função da massa inicial, velocidade e ângulo de entrada (Norton 1994, Heide 1964).

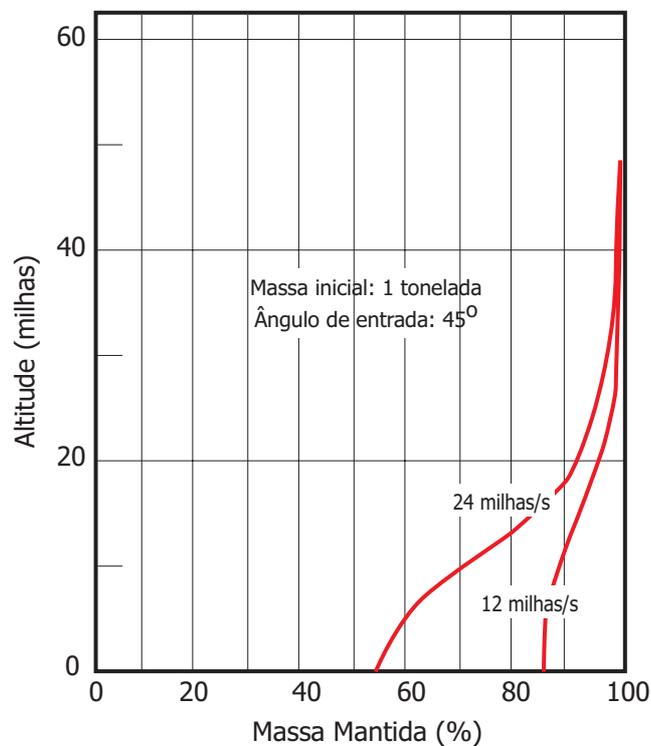


Figura II.3. Diagrama para estimativa da massa meteorítica que alcançará a superfície terrestre, considerando-se velocidades de entrada de 12 e 24 milhas/s, e massa inicial de 1 tonelada, a um ângulo de 45° (Norton e Chitwood 2008, Heide 1964).

Ao contrário da crença popular, os bólidos e meteoros não são bolas de fogo. Sua luminosidade deve-se ao atrito do meteoróide com a atmosfera que converte energia cinética em calor. Quando a temperatura na parte frontal do meteoróide supera os 1.500°C, aproximadamente a 100 km de altitude, começa o processo de ablação (Norton e Chitwood 2008), isto é, partículas do meteoróide são arrancadas e lançadas para trás do corpo em movimento. Essas partículas ionizadas colidem com átomos da atmosfera produzindo uma camada de plasma que emite fótons devido à perda de energia à medida que o meteoróide tem sua velocidade reduzida (Beech 2006). Outra explicação para essa luminosidade é a combustão de determinados componentes químicos presentes no meteoróide devido à vaporização de partículas sólidas, resultando em cores diversas observadas na luz emitida.

A ablação é responsável pela perda de massa que os corpos provenientes do espaço experimentam ao adentrar a atmosfera terrestre. Cálculos demonstrados em gráfico por Norton (1994), baseado em dados de Heide (1964), indicam que um meteoróide de ferro com uma tonelada de peso, uma velocidade inicial de 38 km/s e um ângulo de entrada de 45° poderá perder até 45% de sua massa original antes de atingir a superfície (Fig. II.3).

A velocidade do meteoróide é o fator que mais influencia o processo de ablação. Os autores citados calcularam que o mesmo meteoróide adentrando a atmosfera terrestre a 19 km/s perderia apenas 13% de sua massa original.

II.3.3 Som

Testemunhas sempre relatam ter ouvido diversos tipos de sons logo após observar a passagem de um bólido. Esses sons, em sua maioria, são comparados a trovões, tiros de canhão, rajadas de metralhadoras e, em uma escala mais baixa, a zumbidos e farfalhar de folhas.

Sons do tipo estampido são decorrentes da brusca redução a zero da velocidade supersônica do meteoróide quando a pressão do ar é alta o suficiente para fragmentar a massa. Os zumbidos e outros sons de baixo volume são subsônicos e geralmente percebidos concomitantemente à passagem do corpo a baixa altitude.

A audição de sons relacionados à queda de meteoritos é um bom indicador da distância do local do impacto, geralmente situado dentro um círculo de 50 km de raio tendo como centro um dos pontos onde o som foi ouvido. Como o som tem uma velocidade muito inferior à da luz, sua audição ocorre segundos depois da extinção do brilho do bólido, todavia existem testemunhos de sons semelhantes a assovios ou chiados que ocorreram simultaneamente à fase luminosa do meteorito.

Esse fenômeno conhecido como “som eletrofônico” ocorre durante a passagem de grandes bólidos e, de acordo com o físico Colin Keay, resulta da produção de ondas de rádio na frequência de 1 a 10 kHz. O som eletrofônico é produzido quando essas ondas de rádio colidem com algumas estruturas metálicas na superfície, como postes e torres de antenas, que agem como conversores de ondas eletromagnéticas em sons audíveis (Norton 1994).

II.3.4 Efeitos do Impacto

Os efeitos resultantes do impacto de um meteorito podem ser teoricamente calculados utilizando-se as seguintes variáveis, conforme modelo proposto por Collins et al. (2005), disponibilizado para simulações no site do Laboratório Lunar e Planetário, da Universidade do Arizona (<http://www.lpl.arizona.edu/impacteffects/>).

1. Velocidade de entrada na atmosfera.
2. Diâmetro do meteoróide antes de entrar na atmosfera.
3. Ângulo de incidência ao atingir a atmosfera.
4. Densidade do meteoróide.
5. Densidade da principal substância constituinte do alvo atingido.
6. Tipo de alvo atingido (rocha cristalina, rocha sedimentar, gelo, água).

De acordo com esse modelo, os possíveis efeitos do impacto de um meteorito são:

1. Formação de cratera.
2. Deposição do material ejetado.
3. Criação e propagação de radiação térmica.
4. Criação e propagação de ondas de choque.
5. Criação e propagação de ondas sísmicas.

A queda do meteorito Carancas em 15/09/2007 próximo ao Lago Titicaca, no Peru, abriu uma cratera com 13,5 m de diâmetro e 2,4 m de profundidade (Tancredi et al., 2009). Dezenas de pessoas viram o bólido e algumas presenciaram o impacto, cujos efeitos contrariam modelos que prevêm a fragmentação de meteoróides condríticos com mais 100 kg durante sua passagem pela atmosfera. A rápida desaceleração após a fragmentação, segundo os modelos vigentes, reduziria a velocidade dos fragmentos para um intervalo entre 100 e 300 m/s e, por essa razão, a área impactada seria muito pouco afetada (Kenkmann et al., 2009). Não foi isso que ocorreu em Carancas.

Tancredi et al. (2009) estimaram a energia do impacto em ~1-3 toneladas de TNT, apresentando as seguintes conclusões sobre o evento:

1. velocidade inicial: 12 a 17 km/s;
2. velocidade final: 3 a 4 km/s, responsável pela formação da cratera;
3. massa inicial: 7 a 12 t;
4. massa final: 0,3 a 3 t;
5. diâmetro original do meteoróide: 1,6 a 2,0m;
6. diâmetro final do meteoróide: 0,6 a 1,1m;
7. Trajetória do bólido: Azimute de 80-100°, ângulo de incidência entre 45 e 60°;
8. Diâmetro da cratera: 13,5m

A precisão das informações e dados coletados por estações sísmicas, a variedade e coerência de dezenas de testemunhos, as análises da cratera e do material ejetado, e os estudos no próprio meteorito (condrítico H4-5) que produziu a cratera de Carancas propiciaram aos pesquisadores condições nunca antes disponíveis para aperfeiçoamento dos modelos vigentes sobre a aerodinâmica e processos relacionados ao impacto. Apesar desses avanços, é importante considerar a advertência de Tancredi et al. (2009) sobre o uso de médias em vez de uma série de valores para parâmetros essenciais tais como resistência à tração e condições relacionadas ao processo de fragmentação e ablação.

II.4 CLASSIFICAÇÃO DE METEORITOS

II.4.1 Classificações Históricas

A primeira classificação dos meteoritos conhecida diferenciava os férreos dos pétreos e foi proposta por Klaproth em 1807 (Mason 1962). Em 1863 Story-Maskelyne (1870) introduziu nessa classificação o grupo de meteoritos pétreo-férreos, compostos de silicatos embutidos em uma matriz de Fe-Ni. No final do século XIX e início do século XX, dois novos sistemas de classificação foram propostos, independentemente, por Rose (1864), na Alemanha, e Meunier (1909), na França. O sistema proposto por Rose continha 67 tipos de meteoritos, sendo posteriormente ampliado e reformulado por Tschermak (1883) e Brezina (1904). Essa classificação ficou conhecida como o sistema Rose-Tschermak-Brezina. Ela contém 76 diferentes tipos de meteoritos e é baseada na composição mineralógica e características estruturais de dois grandes grupos:

- (i) amostras com predominância de silicatos, e que considerava como classes:
 - (a) acondritos,
 - (b) condritos,
 - (c) enstatitos-anortitos e
 - (d) siderólitos (mesossiderito, grhamite e lodranite).
- (ii) amostras com constituintes férreos-metálicos, predominantes ou isolados, subdivididas também em quatro classes:
 - (a) litosideritos (palasitos),
 - (b) octaedritos,
 - (c) hexaedritos, e
 - (d) ataxitos.

II.4.2 Classificação de Prior

Prior (1920) criticou a classificação Rose-Tschermak-Brezina devido a multiplicidade de classes e porque suas subdivisões são baseadas principalmente na mineralogia e em propriedades físicas de difícil distinção e com pouca representatividade, tais como a cor da massa e a presença ou ausência de veios na estrutura interna das rochas. Prior notou também imprecisões e erros na identificação de alguns minerais essenciais para a classificação dos condritos e acondritos, como os piroxênios ortorômbicos, genericamente considerados bronzitas, e a augita ser comumente confundida com pigeonita. Esse trabalho crítico resultou na proposta de uma nova classificação, corrigindo as falhas e simplificando o número de classes e subclasses. Com poucas alterações e acréscimos o sistema proposto por Prior (1920) foi utilizado durante mais de oito décadas, haja vista sua simplicidade e precisão na identificação dos minerais responsáveis pela distinção dos 4 grupos e 19 classes principais em que se acha dividido. A Tabela II.1 apresenta simplificada a classificação de Prior.

II.4.3 Classificação de Krot

Nas últimas três décadas, modernos instrumentos tais como microsondas, microscópios eletrônicos e espectrógrafos de massa, aliados a métodos analíticos cada vez mais precisos para determinação e dosagem dos elementos e minerais, proporcionaram um extenso e preciso rol de resultados analíticos provenientes do estudo de milhares de amostras de meteoritos.

Tabela II.1. Classificação de Meteoritos (Prior 1920), *apud* Mason (1962).

Grupo	Classe	Minerais Principais
Condrito	Enstatito	Enstatita, Ni-Fe
	Olivina-Bronzita	Olivina, bronzita, Ni-Fe
	Olivina-Hiperstênio	Olivina, hiperstênio, Ni-Fe]
	Olivina-Pigeonita	Olivina, pigeonita
	Carbonáceo	Serpentina
Acondrito	Aubrito	Enstatita
	Diogenito	Hiperstênio
	Chassignito	Olivina
	Ureleíto	Olivina, pigeonita, Ni-Fe
	Angrito	Augita
	Nacklito	Diopsídio, olivina
	Eucrito e Howardito	Piroxênio, plagioclásio
Pétreo-Férreo	Palasito	Olivina, Ni-Fe
	Siderófito	Ortopiroxênio, Ni-Fe
	Lodranito	Ortopiroxênio, olivina, Ni-Fe
	Mesossiderito	Piroxênio, plagioclásio, Ni-Fe
Férreos	Hexaedrito	Kamacita
	Octaedrito	Kamacita, Taenita
	Ataxito	Taenita

Esse contínuo trabalho da comunidade científica resultou no aperfeiçoamento do sistema de classificação de Prior (1920), incorporando novos tipos de meteoritos, a exemplo das rochas lunares e marcianas encontradas principalmente na Antártica e em desertos da África e Oriente Médio. Por outro lado, foram definidos parâmetros primários e secundários para classificar materiais de origem espacial. Assim, Weisberg et al. (2006) e Krot et al. (2005) apresentaram estudos semelhantes sobre o Estado d'Arte referente aos sistemas de classificação de meteoritos vigentes em 2005/2006.

A classificação dos meteoritos utilizada nesta dissertação resulta, portanto de uma atualização da proposta de Prior, realizada por Krot e colaboradores em 2005 (Krot et al. 2005). Ela busca reunir em grupos meteoritos de origem similar, e com histórico de formação parecidos, de forma a revelar prováveis relacionamentos genéticos que apontem para um determinado tipo de asteróide, planeta, satélite ou outro astro como possível fonte primária. São discutidos sucintamente os parâmetros classificatórios, grupos, classes e subclasses propostos. A Tabela II.2 apresenta simplificada esta classificação.

Condritos

A primeira distinção feita nesse sistema separa os meteoritos em condritos e não condritos. Os parâmetros primários utilizados para classificar os meteoritos condríticos são quatro, a saber:

- (i) composição química,
- (ii) composição isotópica do O,
- (iii) composição isotópica e abundância do N e C, e
- (iv) estado de oxidação.

De igual forma, os parâmetros secundários também totalizam quatro itens: (i) tipo petrológico, (ii) nível de choque metamórfico, (iii) tipo de brecha, e (d) grau de intemperismo terrestre.

Com base nesses parâmetros os condritos subdividem-se em:

- (i) Carbonáceos: oito grupos denominados CI, CM, CO, CR, CB, CH, CV e CK onde a primeira letra (C) significa carbonáceo, e a segunda representa o nome do meteorito padrão de cada série: (I) Ivuna, (M) Mighei, (O) Ornans, (R) Renazzo, (B) Bencubbin, (H) ALHA85005, (V) Vigarano e (K) Karoonda.

Tabela II.2. Classificação Química de Meteoritos, proposta de Krot et al. (2005).

Condrito			Não-Condrito															
Tipo	Grupo	Subgrupo	Tipo	Grupo	Subgrupos													
Carbonáceo	CI - Ivuna		PRIMITIVO	Acapulcoíta														
	CM - Mighei			Lodranito														
	CR - Renazzo			Winonaíta														
	CO - Ornans		Acondrito	Angrito														
	CV - Vigarano	Oxidado - Allende		Aubrito														
		Oxidado - Bali		Brachinito														
		Reduzido		HED	Howardito													
	CK - Karoonda		DIFERENCIADO	Férreo	Palasito	Eucrito												
CH - ALHA85005	HED					Diogenito												
CB - Bencubbin						Ureleíta												
Ordinário	H	Férreo-Pétreo				Palasito	Mesossiderito	Grupo Principal										
	L							Tipo Eagle Station										
	LL							Piroxênico										
Enstatito	EH	Férreo				Férreo	Mesossiderito											
	EL																	
Rumuruti									Férreo	Férreo	Mesossiderito							
Kakangari													IAB (não magmático)					
Não agrupado														Férreo	Férreo	Mesossiderito		
																		IC
																		IIAB
																		IIC
			IID															
			IE															
			IIF															
			IIIAB															
			IIICD (não magmático)															
			IIIE															
		IIIF																
		IVA																
IVB																		
Não agrupado	Marciano (SNC)	Férreo	Férreo	Mesossiderito														
Não agrupado						Shergotito												
						Nakhilito												
						Chassignito												
Não agrupado		Lunar	Férreo	Mesossiderito														
						Não Agrupado	Férreo	Férreo	Mesossiderito									

- (ii) Ordinários: O conteúdo total de Fe nos meteoritos condriticos ordinários é utilizado para subclassificar essas rochas em três tipos e cinco níveis representados por letras: H (High/Alto – 25 a 31% Fe_{total}), L (Low/Baixo – 20 a 25% Fe_{total}), e LL(Low-Low/Muito Baixo – 19 a 22% Fe_{total}).
- (iii) Enstatitos: A exemplo do tipo ordinário, os enstatitos também subclassificam-se em EH e EL (High-Alto e Low-Baixo) conforme a concentração do elemento Fe em suas massas.
- (iv) Semelhantes ao Rumuruti.
- (v) Semelhantes ao Kakangari.
- (vi) Anômalos.

Dentre os 14.986 meteoritos condritos listados no Catálogo de Meteoritos (Grady 2000) existiam 11 espécimes considerados anômalos e 22 constituindo dois grupos especiais: Rumuruti (19) e Kakangari (3).

Esses grupos que constituem a classe dos condritos são seguidos por um algarismo de 1 a 7 para identificar o tipo petrológico do meteorito, cujas características diferem em razão de alterações provocadas pela hidratação e/ou metamorfismo.

Não Condritos

Por sua vez, os meteoritos não condritos são inicialmente classificados, com base no grau de fusão a que foram submetidos, em:

- (i) Primitivos:
 - (a) Pétreos - denominados acapulcoítos, lodranitos e winonaítos, apresentam sinais de fusão parcial ou de baixa gradação e têm textura acondritica com evidência de metamorfismo do mais alto nível.
 - (b) Férreos - contêm inclusões silicáticas com textura, grau de fusão, nível de metamorfismo e composições químicas similares aos pétreos desse grupo.

- (ii) Diferenciados.

De acordo com a abundância da liga Fe-Ni, são subdivididos em:

- (a) Acondritos: que têm muito pouco ou nenhum conteúdo metálico - são considerados os angritos, aubritos, brachinitos, ureílitos, HED (howarditos,

eucrios, diogenitos), além das rochas de origem marciana (SNC) e lunar. Dezesete meteoritos acondritos não puderam ser agrupados e são considerados anômalos;

- (b) Pétreos-férreos: subdividem-se em palasitos (grupo principal, tipo Eagle Station e piroxênicos) e mesossideritos.
- (c) Férreos: essa classe é composta por 14 grupos designados com uma sigla composta por um número romano de I a IV seguido por uma ou duas letras, de A a G, conforme nomenclatura proposta por Wasson (1974). Nada menos do que 111 meteoritos férreos (16%) de um total de 709 não puderam ser classificados nesses 14 grupos, sendo considerados anômalos.

A mineralogia, em especial a predominância e proporções de certos minerais (principalmente olivina, ortopiroxênio, clinopiroxênio, plagioclásio e diopsídio), e a relação percentual entre o conteúdo de elementos-chave como Ni e Ga, Ni e Ge, Ni e Ir, Ni e As, Ni e Au), proporcionam informações para outras subdivisões e agrupamentos.

II.5 METEORITOS FÉRREOS DIFERENCIADOS

As características dos meteoritos não condritos, férreos, diferenciados, são aqui discutidas com mais detalhamento do que os outros tipos de rochas e massas de Fe-Ni espaciais apresentadas nos parágrafos anteriores, haja vista que o meteorito Bendegó, objeto principal desta dissertação, pertence a esta classe.

A hipótese mais consistente referente à formação da maioria dos meteoritos férreos tem como base de sustentação processos de diferenciação química de um líquido de natureza condritica (Wasson e Kallemeyn 2002, Wasson et al. 2007, Haack e McCoy 2005). Acredita-se que, a aproximadamente 900°C, o metal existente nesse líquido primitivo formou uma solução sólida de Taenita [α (Ni,Fe)] e Kamacita [γ (Ni,Fe)]. A composição química final do meteorito depende do conteúdo original de Ni uma vez que a solução sólida exsolve-se por difusão de átomos desse elemento, sendo mais vigorosa a temperaturas elevadas e cessando por volta dos 400°C (Fig. II.4). O crescimento dos cristais de Kamacita e Taenita é função da taxa de resfriamento da liga Fe-Ni. A largura das lamelas da Kamacita é utilizada em modelos para cálculo do tempo que a solução sólida levou para resfriar até os 400°C, permitindo assim inferir a profundidade e tamanho do astro que abrigava a massa metálica.

As lamelas de Kamacita crescem em áreas específicas dos cristais da Taenita, truncando a matriz cúbica cristalina em ângulos de 45° nos oitos pontos de junção das

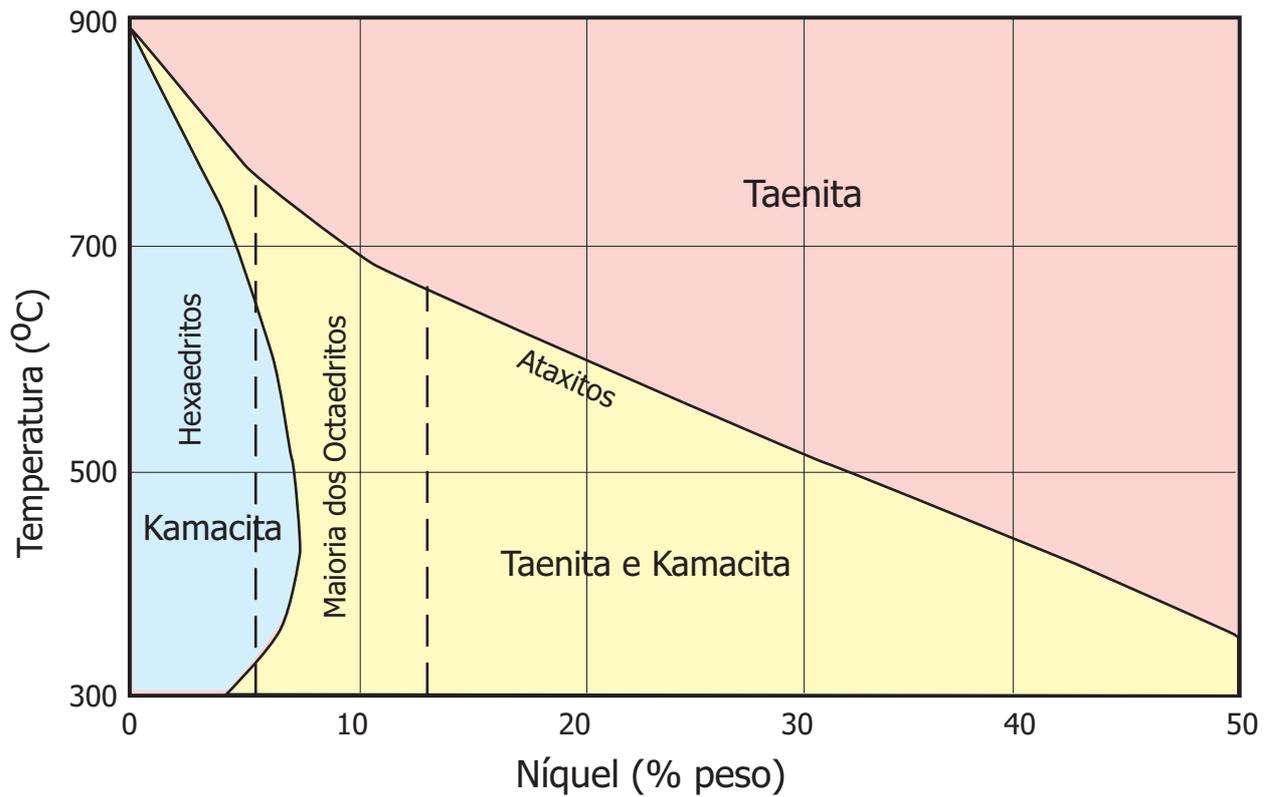


Figura II.4. Diagrama de estabilidade de fases Fe-Ni mostrando os campos de estabilidade da kamacita, taenita e taenita+kamacita.

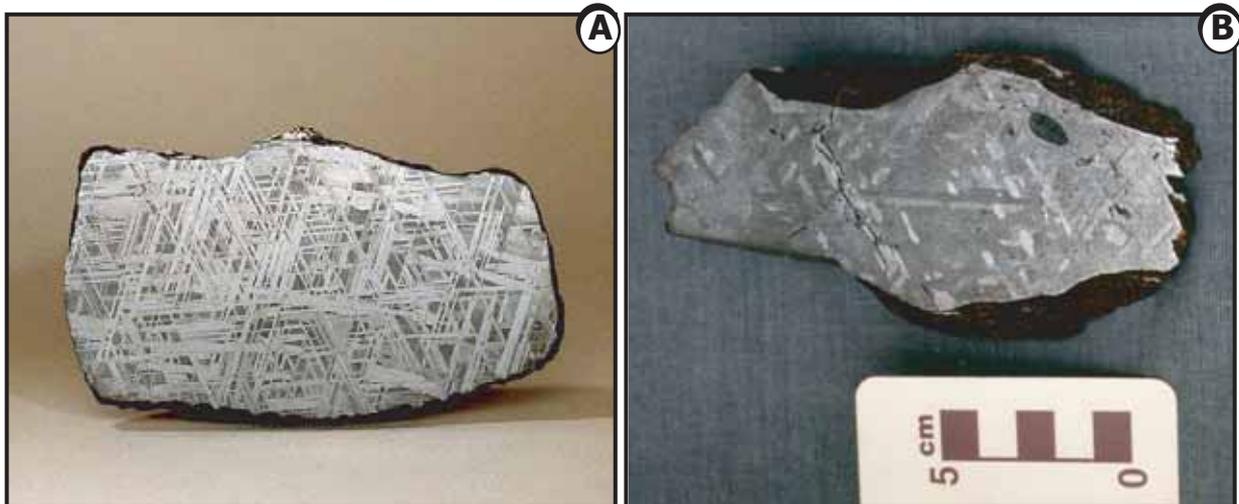


Figura II.5. Padrão de Widmanstätten. (A) Meteorito Rica Aventura (Chile), coleção Michael Farmer (Norton 2008). (B) Meteorito Bendegó (Bahia, Brasil), coleção Museu Geológico da Bahia.

arestas. Quando uma área do meteorito metálico é polida e atacada por ácido, aparecem linhas claras e escuras formando um arranjo geométrico denominado Padrão de Widmanstätten, conforme visto em fatias dos meteoritos Rica Aventura (Fig. II.5A, grupo IVA, Of, Norton e Chitwood 2008) e Bendegó (Fig. II.5B, grupo IC, Og).

A partir das hipóteses para a formação destas rochas, existem dois sistemas de classificação para os meteoritos férreos: estrutural e químico.

A **classificação estrutural** (Tabela II.3) é conhecida desde o final do Século XIX estabelecendo três grandes grupos: hexaedrito, octaedrito e ataxito, e baseia-se no conteúdo de Ni e na largura das lamelas de Kamacita que podem variar de 0,2 a mais de 50 mm (Fig. II.5). O grupo dos octaedritos, por sua vez, subdivide-se em seis subgrupos conforme a largura das lamelas: (i) muito grosso, (ii) grosso, (iii) médio, (iv) fino, (v) muito fino, e (vi) plessítico. O meteorito Bendegó, de acordo com esta classificação, é um octaedrito grosso (Tabela II.3).

A **classificação química** dos meteoritos férreos foi desenvolvida a partir dos anos 50 por Lovering et al. (1957). Esse trabalho foi seguido por estudos de John Wasson e colaboradores da Universidade da Califórnia, Los Angeles, que analisaram a química da grande maioria dos meteoritos férreos por INAA e, em uma série de doze (12) artigos (Wasson 1967, 1969, 1970; Wasson e Kimberlin 1967; Wasson e Schaudy 1971; Wasson et al. 1989, 1998; Schaudy et al. 1972; Scott et al. 1973; Scott e Wasson 1976; Kracher et al. 1980; Malvin et al. 1984), estabeleceram 14 grupos co-genéticos, produzindo um banco de dados para a química e classificação dos meteoritos férreos. Essa classificação tem por base o conteúdo de Ni e sua correlação com a concentração dos elementos-traço Ge, Ga e Ir. Além desses elementos utiliza-se adicionalmente a concentração do Au, As, P, e Sb para resolver casos em que ocorre superposição de áreas nos gráficos. Para elaboração desta classificação foram analisados mais de 650 meteoritos, utilizando-se a técnica de Ativação por Irradiação de Nêutrons (INAA) e análises de microsonda e microscopia eletrônica para cálculos do conteúdo de Ni nos cristais de Kamacita e Taenita e compará-los com as larguras das bandas de kamacita nas ligas Fe-Ni.

Os grupos co-genéticos de meteoritos férreos obedecem a uma nomenclatura representada por algarismos romanos (de I a IV), que identificam quatro grandes classes criadas por Lovering et al. (1957) após analisar as concentrações de Ga, Ge e Ni em 88 meteoritos. Wasson (1967, 1969, 1970, 1974), Wasson e Kimberlin (1967), Wasson e Schaudy (1971), Wasson et al. (1998), Schaudy et al. (1972), Scott e Wasson (1976), Scott et al. (1973), Kracher et al. (1980), mantiveram as quatro classes originalmente propostas

Tabela II.3. Classificação estrutural dos meteoritos férreos, referenciados aos grupos químicos (após Norton 2008). A tarja cinza indica o grupo classificatório do Meteorito Bend-

Classe Estrutural	Textura	Bandas de Kamacita (mm)	Niquel (%)	Grupo Químico Correlato
Hexaedritos (HEX)	Linhas de Neuman	> 50	4,5 - 6,5	IIAB, IIG
Octaedritos (O)	Linhas de Widmanstätten			
	Muito Grosso (Ogg)	3,3 - 50	6,5 - 7,2	IIAB, IIG
	Grosso (Og)	1,3 - 3,3	6,5 - 8,5	IAB, IC, IIE, IIIAB, IIIE
	Médio (Om)	0,5 - 1,3	7,4 - 10,3	IAB, IID, IIE, IIIAB, IIIF
	Fino (Of)	0,2 - 0,5	7,8 - 12,7	IID, IIICD, IIIF, IVA
	Muito Fino (Off)	< 0,2	7,8 - 12,7	IIC, IIICD
	Plessitico (Opl)	< 0,2 - fios	Fios de Kamacita	IIC, IIF
Ataxitos (D)		Nenhuma	> 16,0	IIF, IVB

Tabela II.4. Classificação química dos meteoritos férreos. A tarja cinza indica o grupo classificatório do Meteorito Bendegó.

Grupos Químicos	Quantidade de Meteoritos	Percentual (%)	Niquel (%)	Gálio (ppm)	Germânio (ppm)	Írídio (ppm)	
I	AB	125	16,25	6,5 - 60,8	2 - 100	2 - 520	0,02 - 6
	C	11	1,43	6,1 - 6,8	49 - 55	212 - 247	0,07 - 2,1
II	AB	106	13,78	5,3 - 6,4	46 - 62	107 - 185	0,01 - 0,9
	C	8	1,04	9,3 - 11,5	37 - 39	88 - 114	4 - 11
	D	117	15,21	9,6 - 11,3	70 - 83	82 - 98	3,5 - 18
	E	18	2,34	7,5 - 9,7	21 - 28	62 - 75	1 - 8
	F	5	0,66	10,6 - 14,3	8,9 - 11,6	99 - 193	0,75 - 23
	G	5	0,66				
III	AB	233	30,30	7,1 - 10,5	16 - 23	27 - 47	0,01 - 20
	CD	42	5,46	6,5 - 60,8	2 - 100	2 - 520	0,02 - 6
	E	13	1,69	8,2 - 9,0	17 - 19	34 - 37	0,001 - 6
	F	8	1,04	6,8 - 8,5	6,3 - 7,3	0,7 - 1,1	0,006 - 7,9
IV	A	65	8,45	7,4 - 9,4	1,6 - 2,4	0,09 - 0,14	0,4 - 4
	B	13	1,69	16,0 - 18,0	0,17 - 0,27	0,003 - 0,07	13 - 38

por Lovering, acrescentando letras maiúsculas para diferenciar os grupos genéticos encontrados (Tabela II.4). Existem ainda cerca de 100 meteoritos que não puderam ser enquadrados em nenhum dos grupos co-genéticos, sendo classificados como anômalos ou não-agrupados. Outros 110 meteoritos férreos até 2008 (Norton e Chitwood 2008) não haviam ainda sido classificados. Acredita-se que cada um destes grupos químicos reflita uma origem comum, a partir de um mesmo corpo parental.

O grupo mais numeroso é o IIIAB com 233 espécimes, seguido pelos grupos IAB com 125, IID com 117, e IIAB com 106 exemplares. Estes 4 grupos representam mais de 2/3 (75%) de todos os meteoritos férreos catalogados até 1999 (Grady 2000).

Segundo Wasson e Kallemeyn (2001) os grupos IIAB, IIIAB e IVA (assim como os grupos IC, IIC, IID, IE, IIF, IIIE, IIIF e IVB) foram formados por processos de cristalização fracionada de um magma que se resfriou muito lentamente. Meteoritos gerados por esse processo são definidos como magmáticos. A origem dos meteoritos dos grupos IAB e IIICD, considerados não magmáticos, ainda é assunto em discussão, admitindo-se que tenham sido formados a partir de líquidos gerados por impactos, haja vista não apresentarem significativos efeitos dos processos de partição sólido/líquido.

Distingue-se nesta classificação a subdivisão dos meteoritos férreos em magmáticos (ou diferenciados) e não-magmáticos (ou primitivos), o que permite associá-la à classificação de Krot et al (2005). Norton (1994) definem meteoritos magmáticos como *“aqueles cuja inclinação das linhas de tendência de seus elementos em relação ao Ni são consistentes com a possibilidade de terem sido formados por cristalização fracionada”*. Dodd (1986) esclarece que os meteoritos férreos magmáticos são aqueles formados através da cristalização fracionada de magmas lentamente resfriados, enquanto os não magmáticos foram formados através da segregação de cristais, em líquidos rapidamente resfriados, e contêm abundância de inclusões silicáticas.

II.5.1 Meteoritos do Grupo IC

O grupo IC de meteoritos férreos foi individualizado na década de 1970 (Scott e Wasson 1976), sendo caracterizado por teores de Níquel variando de 6,1 a 6,8% (Tabela II.4). Este grupo ainda é muito pouco estudado e inclui o meteorito Bendegó e mais dez espécimes (Tabela II.5, Scott 1977, Kracher et al. 1980). Em termos de mineralogia, Scott (1977) reporta neste grupo a abundância de Coenita (Fe_3C) com inclusões de Kamacita e Taenita. Inclusões de Troilita (FeS) são comuns nos IC, assim como foram encontradas diminutas quantidades do nitreto de cromo, Carlsbergite (CrN).

Tabela II.5. Análises geoquímicas para os meteoritos férreos do grupo IC (dados de Wasson 1974, Scott e Wasson 1976, Scott 1977, Kracher et al. 1980). As análises estão apresentadas em ordem crescente do teor de níquel.

Meteorito	Local do Achado	Massa (Kg)	Ni (%)	Ga (µg/g)	Ge (µg/g)	Ir (µg/g)	Au (µg/g)	As (µg/g)	W (µg/g)	Co (%)
Union Co.	U.S.A.	3	6.12	54.8	245	2.200	0.65	4.65	2.13	0.45
Mount Dooling	Austrália	733	6.26	52.0	234	1.100	0.60	4.6	2.03	0.44
Bendegó	Brasil	5.360	6.39	54.0	234	0.210	0.76	6.0	1.78	0.47
Mournpowie	Austrália	1.143	6.42	41.8	85	1.980	0.61	4.5	1.64	0.44
Nocoleche	Austrália	20	6.45	48.6	148	7.100	0.57	4.3	1.90	0.46
Arispe	México	307	6.54	50.3	243	9.000	0.77	7.2	2.38	0.46
Santa Rosa	Colômbia	820	6.63	50.6	222	0.067	0.92	8.0	1.06	0.45
Chihuahua City	México	54	6.68	52.7	212	0.098	0.90	7.4	0.83	0.46
Saint François Co.	U.S.A.	7	6.77	49.2	247	0.098	0.96	8.7	1.45	0.45
Etosha	Namíbia	110	6.85	48.9	217	0.120	1.04	7.9	0.96	0.46
Winburg	África do Sul	50	6.98	51,8	180	0,89	-	-	-	-

Ainda segundo Scott (1977), a textura mineral dos espécimes do grupo IC é muito variada, dificultando a utilização de modelos para cálculo da taxa de resfriamento baseados na largura das lamelas de Kamacita e conteúdo de Ni. Segundo esse autor uma tentativa realizada para os meteoritos Arispe e Bendegó, utilizando o método Goldstein-Short, forneceu uma taxa de resfriamento de 3°C/Ma e 9°C/Ma, respectivamente. O método de Wood aplicado ao meteorito Arispe resultou em uma taxa de resfriamento de 8°C/Ma. Esses resultados são coerentes com os limites de taxas de resfriamento para meteoritos do tipo octahedritos, entretanto outros exemplares desse grupo, como o Santa Rosa, apresentaram taxas de resfriamento da ordem de 10³°C/Ma.

As taxas de resfriamento a partir dos 900°C encontradas por Scott (1977) em dez meteoritos do grupo variam de 1° a 10⁴°C/Ma. Segundo esse autor, essa variação não se correlaciona com o fracionamento químico do Ni, Ga, Ge, Au, As, Ir e W, sugerindo que as massas que deram origem a esse meteorito resfriaram-se a profundidades diferentes em um mesmo astro, requerendo assim a atuação de algum mecanismo para redistribuí-las. Essa redistribuição pode ter sido causada por um grande impacto que fragmentou o astro parental e dispersou em diferentes profundidades fragmentos de seu núcleo ainda quente.

II.6 METEORITOS DO BRASIL

A primeira relação de meteoritos brasileiros existentes no Museu Nacional foi compilada por Derby (1888) e contava com apenas 7 (sete) espécimes: Angra dos Reis (rocha), Bendegó, Itapicuru-Mirim, Macau, Minas Gerais, Santa Bárbara e Santa Catharina (Zucolotto et al. 2000). Dois novos meteoritos, o Uberaba e o Santa Luzia de Goiás, foram incorporados a essa lista, respectivamente, por Oliveira (1931) e Vidal (1936). Gomes e Keil (1980) estudaram e reuniram em livro dados sobre todos os meteoritos pétreos então existentes na coleção brasileira. Em 2000, a coleção do Museu Nacional incluía 39 espécimes de um total de 50 reportados em todo o território nacional (Zucolotto et al. 2000).

Em dezembro de 2009 atingiu-se a marca de 57 exemplares oficialmente reconhecidos no Brasil, após depuração de registros do Catálogo de Meteoritos (Grady 2000) e do banco de dados mantido na WEB pela Meteoritical Society, onde constam entradas de meteoritos duvidosos (registrados apenas por citações e sem evidência física de suas existências) ou em duplicidade, porém com nomes diferentes, como o meteorito Cacilândia, proveniente da mesma queda do meteorito Paranaíba, conforme apurado pela Dra. Zucolotto através de novas análises químicas comparativas realizadas em 2009 (comunicação pessoal).



Meteoritos do Brasil Reconhecidos (Dez/2009)

- | | | | |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 1 Angra dos Reis (ferro) (RJ) | 16 Iguaraçu (PR) | 30 Palmas de Monte Alto (BA) | 44 Sanclerlândia (GO) |
| 2 Angra dos Reis (rocha) (RJ) | 17 Indianópolis (MG) | 31 Pará de Minas (MG) | 45 Santa Bárbara (RS) |
| 3 Avanhandava (SP) | 18 Ipiranga (PR) | 32 Paracutu (MG) | 46 Santa Catarina (SC) |
| 4 Balsas (MA) | 19 Ipitinga (PA) | 33 Parambu (CE) | 47 Santa Luzia (GO) |
| 5 Barbacena (MG) | 20 Itapicuru-Mirim (MA) | 34 Paranaíba (MS) | 48 Santa Vitória do Palmar (RS) |
| 6 Bendegó (BA) | 21 Itapuranga (GO) | 35 Patos de Minas (I) | 49 São João Nepomuceno (MG) |
| 7 Blumenau (SC) | 22 Itutinga (MG) | 36 Patos de Minas (II) | 50 São José do Rio Preto (SP) |
| 8 Bocaiuva (MG) | 23 Macau (RN) | 37 Patrimônio (MG) | 51 Serra de Magé (PE) |
| 9 Campos Sales (CE) | 24 Mafra (SC) | 38 Piedade do Bagre (MG) | 52 Sete Lagoas (MG) |
| 10 Casimiro de Abreu (RJ) | 25 Maria da Fé (MG) | 39 Pirapora (MG) | 53 Soledade (RS) |
| 11 Conquista (MG) | 26 Marília (SP) | 40 Putinga (RS) | 54 Uberaba (MG) |
| 12 Crateús (1931) (CE) | 27 Minas Gerais (MG) | 41 Quijingue (BA) | 55 Uruaçu (GO) |
| 13 Crateús (1950) (CE) | 28 Morro do Rócio (SC) | 42 Rio do Pires (BA) | 56 Veríssimo (MG) |
| 14 Governador Valadares (MG) | 29 Nova Petrópolis (RS) | 43 Rio Negro (SC) | 57 Vitória da Conquista (BA) |
| 15 Ibitira (MG) | | | |

Figura I I .6. Distribuição dos achados e quedas de meteoritos em território brasileiro.

Tabela II.6. Relação dos Meteoritos Brasileiros reconhecidos oficialmente até 2009. (Q) Queda, (A) Achado.

Tipo	Fato	Nome	Ano	UF	Grupo Estrutural	Grupo Químico	Massa (Kg)
Férreo	A	Angra dos Reis II	?	RJ	Hexaedrito		
	A	Balsas	1974	MA	Om	IIIAB	41,00
	A	Barbacena	1918	MG	Of	Anômalo	9,00
	A	Bendegó	1784	BA	Og	IC	5360,00
	A	Blumenau	1986	SC	Of	IVA	???
	A	Bocaiúva	1961	MG	Ataxito	Anômalo	64,00
	A	Casemiro de Abreu	1947	RJ	Om	IIIAB	24,00
	A	Crateús (1931)	1914	CE	Of	IVA	27,50
	A	Crateús (1950)	1909	CE	Opl	IIC	0,35
	A	Indianópolis	1989	MG	Ogg	IIAB	14,85
	A	Itapuranga	1977	GO	Og	IAB	628,00
	A	Itutinga	1947	MG	Om	IIIAB	3,20
	A	Maria da Fé	1982	MG	Of	IVA	18,00
	A	Nova Petrópolis	1967	RS	Om	IIIAB	305,00
	A	Palmas de Monte Alto	1954	BA	Om	IIIAB	97,00
	A	Pará de Minas	1934	MG	Of	IVA	116,30
	A	Paracutu	1980	MG	Og	IAB	
	A	Patos de Minas I	1925	MG	Hexaedrito	IIAB	32,00
	A	Patos de Minas II	1925	MG	Octaedrito	IAB	200,00
	A	Piedade do Bagre	1922	MG	Om	Anômalo	59,00
	A	Pirapora	1950	MG	Hexaedrito	IIAB	8,70
	A	Sanclerlândia	1971	GO	Om	IIIAB	276,00
	A	Santa Catarina	1875	SC	Ataxito	IAB	7000,00
	A	Santa Luzia de Goiás	1925	GO	Og	IIAB	1920,00
	A	São João Nepomuceno	?	MG	Of	IVA	6,67
	A	Soledade	1982	RS	Og	IAB	68,00
	A	Uruaçu	1986	GO	Hexaedrito	IAB	72,00
	A	Veríssimo	1965	GO	Om	IIIAB	
A	Vitória da Conquista	2007	BA	Of	IVA	10,50	
Férreo- Petro	A	Quijingue	1963	BA	Palasito	Principal	59,00

Tabela II.6. Relação dos Meteoritos Brasileiros reconhecidos oficialmente até 2009. (Q) Queda, (A) Achado (continuação).

Tipo	Fato	Nome	Ano	UF	Grupo Estrutural	Grupo Químico	Massa (Kg)
Pétreo-Acondrito	Q	Angra dos Reis	1869	RJ		Angrito	1,50
	A	Governador Valadares	1958	MG		Nakhlito	0,16
	Q	Ibitira	1957	MG		Eucrito	2,50
	Q	Serra de Magé	1923	PE		Eucrito	1,30
Pétreo-Condrito	Q	Avanhadava	1952	SP		H4	9,33
	Q	Campos Sales	1991	CE		L5	23,68
	Q	Conquista	1965	MG		H4	20,35
	Q	Iguaraçu	1977	PR		H5	1,20
	Q	Ipiranga	1972	PR		H6	2,65
	A	Ipitinga	1989	PA		H5	7,00
	Q	Itapicuru-Mirim	1879	MA		H5	2,00
	Q	Macau	1836	RN		H5	36,30
	Q	Mafra	1941	SC		L3-L4	0,60
	Q	Marília	1971	SP		H4	2,50
	A	Minas Gerais	1888	MG		L6	1,20
	A	Morro do Roccio	1928	SC		H5	0,47
	Q	Parambu	1964	CE		LL5	0,60
	Q	Paranaíba	1956	MT		L6	100,00
	Q	Patrimônio	1950	MG		L6	1,80
	Q	Putinga	1937	RS		L6	200,00
	A	Rio do Pires	19??	BA		L6	0,12
	Q	Rio Negro	1934	PR		L4	1,30
	Q	Santa Bárbara	1873	RS		L4	0,40
	Q	Santa Vitória do Palmar	2003	RS		L3	63,00
Q	São José do Rio Preto	1962	SP		H4	0,93	
Q	Sete Lagoas	1908	MG		H4	0,06	
Q	Uberaba	1903	MG		H5	30,00	

Analisando-se as características dos 57 meteoritos (Fig. II.6, Tabela II.6) destaca-se que:

- (i) Os achados (61,4%) superam as quedas (38,6%).
- (ii) A quantidade de meteoritos pétreos (27) e de metálicos (30) é quase igual, correspondendo a 47,4% e 52,6% do total, respectivamente.
- (iii) Nenhum dos 30 meteoritos metálicos teve a queda observada.

A quantidade de meteoritos provenientes de Minas Gerais (19) corresponde a 33,33% ou seja 1/3 do total da coleção brasileira, superando em muito a Bahia, Goiás e Rio Grande do Sul, que ocupam a segunda posição com 5 meteoritos (8,77%) cada um. Estão ausentes da relação nada menos do que 14 das 26 unidades federativas (excluindo-se o DF).

Excluindo-se a Argélia e Líbia, países onde grandes desertos favorecem o achado de meteoritos, o Brasil ocupava em 2000 a nona posição entre as dez nações que tinham mais de 50 meteoritos caídos ou achados dentro de suas fronteiras (Grady 2000). Considerando a extensão territorial brasileira (8,5 milhões de km²) essa quantidade de meteoritos é irrisória. Em países com áreas semelhantes à nossa, como Estados Unidos (9,8 milhões de km², 1.214 meteoritos), Austrália (7,7 milhões de km², 507 meteoritos), o número é mais de 10 vezes superior. Países como o México (2,0 milhões de km², 92 meteoritos), Argentina (2,8 milhões de km², 62 meteoritos), e mesmo a França (com apenas 544 mil km², 62 meteoritos) contabilizam números superiores aos nossos em suas coleções.

Admite-se como premissa que a queda de meteoritos ocorre uniformemente em todas as regiões do globo terrestre (Halliday et al. 1989, Halliday 2001) e que a distribuição dos meteoróides no sistema solar é inversamente proporcional à massa desses corpos. Com base nestas premissas são construídos modelos para estimar o número de quedas de meteoritos por ano em uma área de 10⁶ km² (Halliday et al. 1989). Estes cálculos sugerem a ocorrência de 83 eventos por 10⁶ km²/ano, ou seja, a probabilidade de uma queda de um meteorito com mais de 10g, a cada 10.000, anos por km² da superfície terrestre. Usando uma metodologia diferente, que considera adicionalmente a combinação de condições de intemperismo e estatísticas de exemplares recuperados, Brand (2001) propôs uma taxa de queda de meteoritos entre 36-116 eventos/ano em cada 10⁶ km².

Aplicando-se a taxa de queda de meteoritos proposta por Halliday et al. (1989) à área do Brasil a probabilidade é de que tenhamos aproximadamente 85 eventos por ano, um número que em muito excede toda a coleção acumulada ao longo dos últimos dois séculos, e chama a atenção para a urgente necessidade de pesquisas voltadas a esta temática, e desenvolvimento de políticas que permitam recuperar um maior número de amostras.

CAPÍTULO III
METODOLOGIA APLICADA

III CAPÍTULO - METODOLOGIA APLICADA

A presente pesquisa, tendo como foco o meteorito Bendegó, visa aprofundar o conhecimento que se tem sobre essa massa de Fe-Ni de origem espacial, gerando novos dados que permitam melhor conhecer este material. Para isto se utilizou da metodologia descrita a seguir:

III.1 CONFECÇÃO DA BASE DE DADOS

III.1.1 Revisão Bibliográfica

Foram inventariados e avaliados trabalhos já publicados sobre o meteorito Bendegó, rochas impactadas por meteoritos, e sobre estudos petrológicos e geoquímicos em rochas vindas do espaço, em especial, meteoritos férreos do grupo IC. Esta etapa foi dificultada pela completa inexistência no Instituto de Geociências da UFBA de bibliografia relacionada à meteorítica. Para cumprir esta fase foi necessária a aquisição de livros e compêndios sobre o assunto, em sua maioria adquiridos no exterior.

Ainda nesta fase de inventário bibliográfico foram realizadas pesquisas no Arquivo Público do Estado da Bahia, no Cartório do Registro Civil do Município de Monte Santo e nos Arquivos do Museu Nacional do Rio de Janeiro. Estas pesquisas objetivaram obter documentos históricos relacionados com a descoberta, transporte e primeiras análises realizadas no Meteorito Bendegó.

III.1.2 Levantamento de Dados, Amostragem e Mapeamento

Foram realizadas três missões de campo ao local do achado do Meteorito Bendegó. Nos estudos pré-campo foram utilizadas as folhas cartográficas SC 24-Y-B-III-1 (Santa Rosa) e SC 24-Y-B-III-2 (Serra do Caxamangó), em escala 1:50.000, do projeto Rochas Básicas e Ultrabásicas de Euclides da Cunha (Inda et al. 1976).

Os trabalhos da primeira missão, realizada nos dias 01 a 03 de novembro de 2007, concentraram-se na área do achado do meteorito, tendo sido realizado um caminhamento concêntrico, tendo como ponto central o local do achado (Fig. III.1A) e abrangendo uma área com aproximadamente 150m de raio. Nessa região foram coletadas e georreferenciadas 22 amostras de rochas aflorantes, incluindo fragmentos de quartzo e anfibólios do

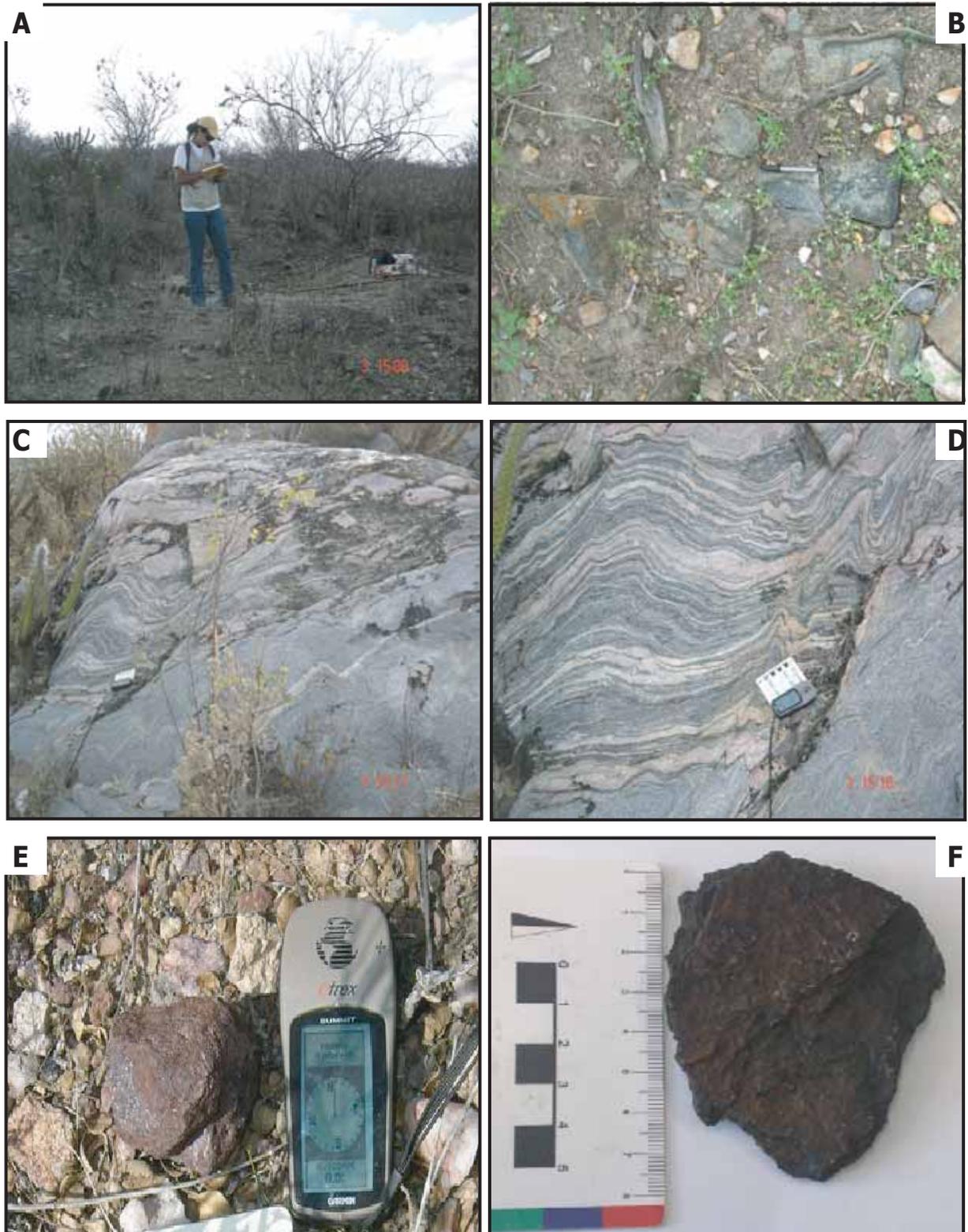


Figura III.1. Fotos do local do achado do meteorito Bendegó. (A) Visão geral do ponto zero do local do achado. (B) Detalhes do fundo da depressão existente. (C) Embasamento gnáissico migmatítico do Complexo Uauá, aflorante na margem esquerda do Riacho Bendegó, a 142 metros do local do achado. (D) Detalhe da textura do gnaisse-migmatítico. (E) Exemplo de rochas de cor escura-avermelhada, sem arestas, e com finos veios metálicos, encontradas no local do achado. (F) Fragmento de óxido de ferro, existente originalmente sob a massa do meteorito.

embasamento gnáissico-migmatítico do Complexo Uauá (Fig. III.1B), e fragmentos do óxido de ferro provenientes da camada existente originalmente sob o meteorito, conforme relatos de Cunha (1784) e Mornay (1816). Esse material oxidado é muito abundante na área do achado, tendo sido coletados cerca de 1.500 gramas de fragmentos de diversos tamanhos e espessuras. Para os trabalhos de georreferenciamento utilizou-se como base o mapa de local da queda do Meteorito Bendegó elaborado por pesquisadores do Observatório Astronômico Antares, da Universidade Estadual de Feira de Santana, em missão realizada em 2002, da qual o mestrando fez parte da equipe.

Após este primeiro campo de reconhecimento, foram realizados estudos laboratoriais utilizando imagens de satélites e mapas geológicos da região para detalhar a geologia de uma área delimitada por um raio de 10 km, tendo como ponto central o local do achado. O objetivo foi estabelecer a área para a realização de checagem dos trabalhos de mapeamento descritos na bibliografia (Inda et al., 1976, Rios 2002), georreferenciamento (coordenadas UTM por GPS) do local da queda, e coleta de amostras georreferenciadas do embasamento, a fim de identificar possíveis feições estruturais de impacto nas rochas da região do achado.

Este trabalho foi complementado por uma segunda missão de campo, realizada nos dias 12 a 14 de junho de 2008. Ao todo foram coletadas nesta etapa 8 (oito) amostras de rochas extraídas de afloramentos existentes às margens da estrada entre o povoado Desterro e do local do achado do meteorito (Fig. III.1 C, D). Nessa missão procurou-se também observar a geologia regional em busca de feições atípicas que pudessem estar relacionadas a possíveis efeitos de impacto produzidos pela queda de meteoritos.

Uma terceira e última missão de campo foi promovida nos dias 19 a 21 de abril de 2009 quando foram percorridos cerca de 50 km em estrada vicinal, no trecho Calumbi - Bendegó da Pedra - Calumbi, tendo como objetivo observar a geologia regional e possíveis sinais de alterações devidas ao impacto do meteorito em área geograficamente oposta à região coberta pela segunda missão. Em caminhamento aleatório em volta do local do achado foram coletadas amostras de rocha escura-avermelhada, com finos veios metálicos (Fig. III.1E) e um fragmento de óxido de ferro, a cerca de 30 metros de distância do local do achado. Este fragmento do óxido, pesando 112,17 gramas e medindo 80 x 69 x 10 mm, é o maior e mais pesado exemplar coletado pelo autor desde que iniciou suas visitas ao local do achado em 1990 (Fig. III.1F).

A Tabela III.1. lista as amostras coletadas em campo e utilizadas nesta dissertação, caracterizando-as e posicionando-as geograficamente e em função das análises nelas realizadas.

Tabela III.1.1. Relação dos amostras trabalhadas. (S) Sim, (N) Não.

Número Lab	Número campo	Número do Ponto	Local de Amostragem	Descrição da amostra / Litologia de campo	Latitude	Longitude	Amostra de mão			Fração Britada		Química			Observações
							Arquivo Macro	LD	LP	Arquivo	Pó An.quím	Maior	Menor	ETR	
3171	BD 2008/01	NS 16/07	Bendegó	Granito-gnaiss com schlierens máficos	464608	874124	S	S	N	S	S	ICP OES	ICP OES		
3172	BD 2008/02	NS 16/08	Bendegó	Granodiorito-gnaiss F-M com bandas sienograníticas	465585	8875774	S	S	N	S	S	ICP OES	ICP OES		
3173	BD 2008/03	NS 16/10	Bendegó	Metabasito com granito fino intercalado	471338	8881618	S	S	N	S	S	ICP OES	ICP OES		
3174	BD 2008/04	NS 16/11	Bendegó	Granito com veios máficos	471357	8881640	S	S	N	S	S	ICP OES	ICP OES		
3175	BD 2008/05	NS 16/11	Bendegó	Gabro foliado, rico em anfíbolio, bandado, com plegoclasio	471358	8881632	S	S	N	S	S	ICP OES	ICP OES		
3176	BD 2008/06	NS 16/11	Bendegó	Gabro (máfica), foliado, rico em anfíbolio	471369	8881626	S	S	N	S	S	ICP OES	ICP OES		
3177	BD 2008/07	NS 16/11	Bendegó	Tonalito	471369	8881626	N	N	N	N	N				
3178	BD 2008/08	NS 16/12	Bendegó	Gnaiss bandado com bandas graníticas cm-mm	471497	8881632	S	S	N	S	S	ICP OES	ICP OES		
3179	BD 2008/09	NS 16/13	Bendegó	Granodiorito com biotita, M-G, isotropico	470517	8883120	S	S	N	S	S	ICP OES	ICP OES		
3187	BD 2007/01	RX 01	Bendegó	máfica	471366	8881610	S	S	N	S	S	ICP OES	ICP OES		
3188	BD 2007/08	RX 08	Bendegó	Gnaiss avermelhado	471345	8881624	S	S	N	S	S	ICP OES	ICP OES		
3189	BD 2007/09	RX 09	Bendegó	quartzo leitoso	471340	8881627	S	S	N	S	S				
3190	BD 2007/13	RX 13	Bendegó	rocha com veios de metal	471329	8881654	S	S	S	S	S	ICP OES	ICP OES		Análise por INAA
3191	BD 2007/20	RX 20	Bendegó	rocha escura com quartzo	471380	8881633	S	S	N	S	S				
3192	BD 2007/21	RX 21	Bendegó	quartzo leitoso	471358	8881652	S	S	N	S	S				

III.1.3 Visitas Técnicas ao Museu Nacional - UFRJ

Além dos trabalhos em campo no local do achado, foram realizadas visitas ao Museu Nacional do Rio de Janeiro visando fotografar a massa original do Bendegó, obter e preparar amostras para análises petrológicas e geoquímicas. Esta etapa foi precedida de solicitação oficial para a concessão de amostras que permitissem realizar os estudos aqui propostos.

Ainda em 2007 foram cedidas pelo Museu Nacional quatro amostras do meteorito, pesando individualmente 6g, 4g, 13g, e 15g e totalizando 38 g, as quais foram utilizadas para estudos petrográficos através de microscopia eletrônica de varredura, e análises químicas por INAA e ICP-MS.

Em 2008 foi realizada nova visita de estudo ao Museu Nacional, e sob a orientação da Dra. Zucolotto foram preparadas duas amostras do meteorito para petrografia, além da limpeza e preparo da grande face polida da massa principal exposta para ensaio fotográfico e descrições macroscópicas. Nesta ocasião foram selecionadas também outras sete pequenas amostras, extraídas de diferentes locais da massa principal, para estudos isotópicos de Re-Os. Estas amostras foram encaminhadas diretamente pelo Museu Nacional ao Dr. Richard Walker da Universidade de Maryland.

III.2 ESTUDOS PETROGRÁFICOS

Nos estudos petrográficos foram abordados dois grupos de amostras: (i) Rochas do embasamento coletadas no local do achado, (ii) Amostras do Meteorito Bendegó. A partir deste estudo foram selecionadas as amostras para análise litogeoquímica (elementos maiores, menores e elementos de terras raras):

- (i) de rochas que possam ter sido modificados pelo impacto;
- (ii) de amostras do meteorito;
- (iii) de fragmentos oxidados coletados no local da queda.

III.2.1 Rochas do Embasamento no Local do Achado

Estudos micro-petrográficos nas rochas do embasamento supostamente impactadas visaram a comparação das suas texturas e mineralogia com similares não afetados pela queda do meteorito, descritos por Rios (2002).

A avaliação proposta incluiu descrições macro e microscópicas em campo e em 14 (quatorze) lâminas delgadas de rochas gnáissicas-migmatíticas, fragmentos de anfibólio e de quartzo existentes na superfície do local do achado do meteorito.

Buscou-se identificar deformações planares em cristais de quartzo (PDFs), típicas de impactos meteoríticos de grande porte, contudo os resultados não foram conclusivos, não tendo sido encontradas feições que confirmassem a hipótese de que a queda do Bendegó criou uma grande cratera.

III.2.2 Amostras do Meteorito Bendegó

As descrições macroscópicas do meteorito foram realizadas *in loco*, na face polida resultante do corte realizado em 1888, medindo 1,07 x 0,42 m em suas maiores dimensões. Esta superfície foi limpa, polida e atacada com nital para revelação do padrão Widmanstätten e destacar as ocorrências de troilita e coenita.

A análise microscópica foi realizada em duas fatias do meteorito, uma de formato triangular, medindo 60 x 70 x 70 mm, e outra retangular com 32 x 22 mm, contendo um nódulo de troilita e pertencentes ao acervo do Museu Nacional, analisadas através de microscópio petrográfico Zeiss, modelo Axioskop 40, no laboratório daquela instituição. Através dessas amostras buscou-se identificar a presença, morfologia e distribuição de minerais como a kamacita (α -Fe-Ni), taenita (γ -Fe-Ni), schreibersita [(Fe-Ni)₃P], e cohenita (Fe₃C), bem como grafita, silicatos e sulfetos. As diferentes texturas identificadas foram fotografadas sob microscópio.

III.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

A metalografia do meteorito foi estudada através de microscopia eletrônica de varredura (SEM-EDS), usando equipamento Shimadzu modelo SSX 550, do Instituto de Química da Universidade Federal da Bahia. Uma fatia com 21 x 18 x 14 mm de tamanho, pesando 2g, foi polida com lixa d'água de grana 100 a 600 para remoção das partes alteradas e das marcas de serra, até se obter uma superfície espelhada e uniforme que foi submetida a uma solução a 2% de HNO₃ e CH₃CH₂OH (Nital) durante 15 minutos e em seguida enxaguada em água para interromper o processo de corrosão, resultando desse procedimento o aparecimento do padrão Widmanstätten.

III.3 LITOGEOQUÍMICA

Os estudos geoquímicos envolveram amostras do meteorito e das rochas encaixantes coletada no local do achado. Nesta etapa utilizaram-se análises por Espectrometria de Plasma (ICP OES), Espectrometria de Massa Indutivamente Acoplada a Plasma (ICP-MS), Ativação Neutrônica Instrumental (INAA), visando comparar os resultados destas duas metodologias. A partir destas análises foram realizadas comparações com as concentrações publicadas de outros meteoritos integrantes do grupo IC. Devido aos cuidados necessários no manuseio e análise de amostras por INAA e ICP-MS foram realizadas em laboratórios conceituados e habituados a trabalhar com meteoritos e com essa técnica de dosagem química.

III.3.1 Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma de Argônio Indutivamente Acoplado (ICP OES)

Para os estudos litogeoquímicos as amostras coletadas no local da queda foram analisadas pelo método instrumental da Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma de Argônio Indutivamente Acoplado (ICP OES), no Laboratório de Petrologia Aplicada à Pesquisa Mineral do Instituto de Geociências da UFBA. No Laboratório de Plasma, as amostras foram submetidas a diferentes tratamentos químicos para a análise de elementos maiores, menores e traços.

Sintetizamos neste capítulo as etapas de preparação da amostra, em rotina no ICP OES da UFBA, e que precedem a análise química de rochas. As amostras devidamente pesadas são submetidas a ataques químicos, de acordo com os elementos a serem analisados. Para elementos maiores são adicionados às amostras, 0,5 mL de água régia (HCl e HNO₃, 3:1) e 3 mL de ácido fluorídrico (HF). Para elementos menores as amostras são submetidas a ataque tri-ácido, adicionando-se 15 mL de ácido fluorídrico (HF), 4 mL de ácido perclórico (HClO₄) e 10 mL de ácido nítrico (HNO₃). Os sais formados (nitratos, fluoretos e percloratos) são dissolvidos em 10 mL de ácido clorídrico (HCl) a 50%.

III.3.2 Análises por Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS)

As análises por ICP-MS foram realizadas no Dipartimento di Scienze della Terra da Università de Pisa, Itália, utilizando a metodologia proposta por D´Orazio e Folco (2003). O equipamento utilizado foi um Thermo PQ II Plus ICP-MS instalado em laboratório limpo classe 10000.

Duas alíquotas de 245,44 mg (A) e 201,54 mg (B) foram cortadas a partir de uma amostra do meteorito Bendegó com 4,133 g, e polidas com papel abrasivo de SiC (400 mesh). Ambas foram repetidamente lavadas em banho ultrasônico com água ultrapura (Milli-Q, 18.2 MΩ cm) e acetona, e secas em estufa. A alíquota (A) foi dissolvida em 4ml de *aqua regia* a aproximadamente 80 °C, enquanto a alíquota B foi dissolvida em 5 ml HNO₃ 6N a cerca de 80 °C. Dois brancos foram preparados junto com as amostras do meteorito. Ao final da dissolução, as amostras foram transferidas para frascos de vidro de 20 ml. A alíquota (A) foi usada para determinação de Ru, Rh, Pd, Sn, Sb, W, Re, Ir, Pt e Au, enquanto a alíquota "B" foi utilizada para determinar Ni, Co, Cu, Ga, Ge e Mo.

Os elementos traços foram determinados usando o método de adição padrão. Este método consiste em tomar duas sub-amostras iguais de cada solução e adicionar a uma delas quantidades conhecidas de cada analito (tomados a partir de 10 µg/ml de soluções padrão mono-elemental, CPI International, USA). A sensibilidade de cada analito é então obtida medindo as sub-amostras com e sem a adição. Este método tem acuracidade melhor em relação ao método de calibração externa porque ele eficientemente reduz os efeitos de matriz.

As massas analíticas utilizadas foram as seguintes: ⁶⁰Ni, ⁵⁹Co, ⁶⁵Cu, ⁶⁹Ga, ⁷⁴Ge, ⁹⁵Mo, ¹⁰¹Ru, ¹⁰³Rh, ¹⁰⁵Pd, ¹¹⁸Sn, ¹²¹Sb, ¹⁸²W, ¹⁸⁵Re, ¹⁹³Ir, ¹⁹⁵Pt, ¹⁹⁷Au. As medidas foram corrigida para a contribuição do branco, padrão interno (⁸⁵Rb e ²³²Th) e interferências isobáricas (⁵⁸Fe¹⁶O, ⁵⁸Ni¹⁶O e ⁵⁷Fe¹⁶O¹H para ⁷⁴Ge). Ni e Co foram determinados diluindo 2000-vezes a solução (B), e calibrando com uma solução sintética de 1000 ng/ml Ni - 100 ng/ml Co. A precisão analítica é melhor que 10% RSD para os elementos cuja concentração é > 1 µg/g e significativamente maior para elementos cujas concentrações estejam próximas do limite de detecção (Sb e Re).

III.3.3 Ativação Neutrônica Instrumental (INAA)

As análises por INAA utilizaram o Reator Nuclear McMaster, do Becquerel Laboratório (Ontário, Canadá), utilizando-se a técnica de "contagem" da amostra irradiada, segundo metodologia de rotina naquele laboratório. Nessa metodologia as amostras serão irradiadas por um determinado número de horas. Padrões consistindo de silicato em pó serão irradiados junto com as amostras. Após alguns dias de decaimento (geralmente entre 6-8 dias) as amostras e os padrões foram contados por uma hora em um par de detectores de germânio de alta pureza (HPGe), um coaxial e um planar, acoplados a um sistema analisador multi-canal. Após um segundo período de decaimento adicional (26 a 32 dias), novamente amostras e padrões serão contados, por duas horas em um detector HPGe coaxial.

Analisou-se por INAA, para determinação de Cr, Co, Ni, As, W, Ir, Au, Sb, Mo e Re:

- (i) Amostra do óxido de ferro, proveniente da massa principal do siderito enquanto ela permaneceu no local da queda,
- (ii) Amostra de rocha (AM 3190, Tabela III.1) coletada na superfície do local do achado e que apresenta um veio com conteúdo metálico, e
- (iii) Material deste veio metálico (AM. 3190, Tabela III.1).
- (iv) Amostra do meteorito, com 15 gramas, medindo 50 mm no seu maior comprimento.

As amostras foram seladas em saco plástico com 2 mm de espessura e submetidas a irradiação por um fluxo de nêutrons de $8 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}^{-1}$ durante 20 minutos. Foram realizadas duas contagens sendo a primeira após seis dias, e a segunda após transcorridos 20 dias da irradiação. A precisão analítica desse procedimento para Co, Au, Fe, Ni é de aproximadamente 3% do Desvio Padrão Relativo (RSD) e para o As, Cr, Ir e W situa-se entre 7 e 10% RSD. Para determinação dos elementos Pt, Pd, Rh, Ru uma alíquota da amostra foi fundida em mufla, para concentrar esses elementos em um "botão de sulfeto de níquel" que foi pulverizado em seguida e tratado com ácido, resultando em precipitados que foram irradiados duas vezes por um fluxo de nêutrons de $8 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}^{-1}$ durante 20 minutos e submetidos a três contagens.

Para as amostras dosadas por INAA, os elementos Cu, Ga, Ge, In, Sn e S foram analisados no ACME Laboratórios (Canadá) por ICP-MS segundo o método tradicional de digestão em ácidos fortes.

III.3.4 Geoquímica Isotópica

Análises isotópicas para o sistema Re-Os foram realizadas em sete amostras do meteorito Bendegó no Laboratório de Geoquímica Isotópica da Universidade de Maryland (USA) em parceria com o Dr. Richard Walker.

As amostras coletadas em porções distintas da massa principal do Bendegó, conforme orientação do Dr. John Wasson foram analisadas por Lynnette Pitcher. Em Maryland elas foram cortadas em pedaços de 0,05 a 0,3g utilizando uma serra Leco "Vari-cut" com 12,7 cm de diâmetro da lâmina e água ultra-pura para resfriamento. Para evitar contaminações entre as amostras, todo o aparato foi limpo com água após o corte de cada amostra, e a água ultra-pura utilizada no resfriamento foi substituída. Após lavadas as lâminas foram limpas com carborundum e novamente enxaguadas antes do corte seguinte.

Antes da dissolução, cada amostra do meteorito foi polida com carborundum e examinada sob o microscópio binocular para verificar a limpeza e ausência de inclusões.

As técnicas de separação química utilizadas nesta dissertação para as diluições isotópicas e análises isotópicas de Re-Os são descritas em detalhes por Shirey e Walker (1995), Rehkämper e Halliday (1997), Cook et al. (2004) e Becker et al. (2006). O metal polido (meteorito); um Spike consistindo de uma mistura de ^{185}Re e ^{190}Os ; um Spike consistindo de uma mistura de ^{191}Ir , ^{99}Ru , ^{194}Pt e ^{105}Pd ; 4 g de HNO_3 concentrado; e 2g de HCl concentrado, foram congelados em tubos de quartzo ou tubos Carius PyrexTM, selados e aquecidos a 240° C por mais de 24 horas para obter um equilíbrio completo entre a amostra e o Spike.

Re, Ir, Ru, Pt e Pd foram separados e purificados do ácido residual utilizando colunas de troca aniônica (200-400 mesh) com 0,2 ml de resina. Adiciona-se nas colunas as amostras com 0,8 M HNO_3 , e os elementos são sucessivamente eluídos utilizando 12 mL de 6M HNO_3 (Re e Ru), 15 mL de HNO_3 concentrado (Ir, PT), e 15 mL de HCl concentrado (Pd). Os brancos representam < 1% dos elementos analisados e têm impactos negligenciáveis dentro das incertezas analíticas. O ósmio foi analisado por espectrometria de massa de ionização termal negativa (Creaser et al. 1991) utilizando os procedimentos discutidos por Cook et al. (2004).

As análises de Re, Ir, Ru, Pt e Pd foram realizadas utilizando um espectrômetro de massa indutivamente acoplado a um plasma Nu multi-coletor (MC ICP-MS) e um nebulizador Cetac AridusTM.

III.4 TRATAMENTO DE DADOS

Os dados obtidos nas etapas anteriores foram tratados e integrados para a elaboração de artigos que resultaram nesta dissertação. Foram usados os softwares ArcGis, Excel, Word, Adobe Illustrator e GCDKit.

CAPÍTULO IV

O METEORITO BENDEGÓ:
História, Mineralogia e Classificação Química
(Artigo submetido à Revista Brasileira de Geociências)

CAPÍTULO IV - O METEORITO BENDEGÓ: HISTÓRIA, MINERALOGIA E CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA

Wilton Pinto de Carvalho¹, Débora Correia Rios^{1,2}, Herbet Conceição^{2,3}, Maria Elizabeth Zucolotto⁴, Massimo D´Orazio⁵

¹ Curso de Pós-Graduação em Geologia, Laboratório de Petrologia Aplicada à Pesquisa Mineral (GPA), Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Rua Barão de Geremoabo, 147, Campus Universitário de Ondina. 40.170-020, Salvador-BA, Brasil. wilton@atarde.com.br

² Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Bolsista de Produtividade em Pesquisa. debora.rios@pq.cnpq.br

³ Universidade Federal de Sergipe – Aracaju-SE, Brasil. herbet@pq.cnpq.br

⁴ Universidade Federal do Rio de Janeiro – Museu Nacional. mezucolotto@globo.com

⁵ Dipartimento dei Scienze della Terra, Università di Pisa, Via Santa Maria 53, 56126 Pisa, Italy. dorazio@dst.unipi.it

RESUMO

O meteorito Bendegó, uma massa de ferro e níquel com 5.360 kg, é o maior exemplar da coleção brasileira e detentor de uma rica história de contribuições à ciência meteorítica. Sua descoberta em 1784 no sertão da Bahia, sua épica remoção para o Museu Nacional (Rio de Janeiro) no final do século XIX e sua participação em estudos que estabeleceram a classificação química dos meteoritos metálicos na década de 1970 credenciam esse visitante espacial a reafirmar junto à comunidade geológica brasileira a importância dessas amostras extraterrestres que são autênticos arquivos repletos de informações sobre o que ocorreu nos primórdios do sistema solar e nos processos de diferenciação química dos planetas e asteróides. Este artigo estuda esse meteorito em seus contextos histórico, cósmico, geológico, petrológico e geoquímico lançando mão de técnicas analíticas avançadas a exemplo da análise por ativação de nêutrons, a espectroscopia de massa indutivamente acoplada a plasma e a microscopia eletrônica de varredura para melhor caracterizar as propriedades dessa massa de Fe-Ni que algum dia era parte integrante do núcleo de um objeto espacial suficientemente grande para experimentar um processo de diferenciação química.

Palavras-Chave: Bendegó, meteorito, meteorítica, Bahia, ferro.

ABSTRACT

The Bendegó meteorite, an iron and nickel mass weighting 5,360 kg, is the largest specimen in the Brazilian collection and holds a rich record of contributions to the meteoritic science. Its finding in 1784 in the hinterland of Bahia State, its epic transportation to the National Museum (Museu Nacional, Rio de Janeiro) in the end of the XIX century, and its participation in the studies which lead to the chemical classification of the metallic meteorites in the 70's, grant to this space visitor enough credibility to reinforce to the Brazilian geologic community the importance of those extraterrestrial samples, which are authentic records of the beginning of the solar system and early chemical differentiation processes of planets and asteroids. This paper presents new insights regarding the Bendegó historic, cosmic, geologic, petrologic and geochemical context and takes advantage from modern analytical methods, such as the instrumental neutron activation analysis, mass inductively coupled plasma spectroscopy, and scanning electronic microscopy, to better characterize the properties of such a Fe-Ni mass which, someday, would be the core of a space object, big enough to experiment a chemical differentiation process.

Keywords: Bendego, meteorite, meteoritic, Bahia, iron.

IV.1 INTRODUÇÃO

O meteorito Bendegó, pesando 5.360 kg, é o maior espécime dentre os 57 exemplares que compõem a coleção brasileira de rochas e fragmentos de ferro de origem espacial (Tabela IV.1, Carvalho e Zucolotto 2008). Ocupa a 16ª posição entre as maiores massas individuais catalogadas em todo o mundo. Os primeiros estudos sobre esse siderito foram publicados há mais 100 anos, quando Derby discorreu sobre suas características físicas, mineralógicas e químicas utilizando análises realizadas no final do século XIX (Derby 1896), confirmando sua classificação estrutural como um octaedrito grosso (Rose 1864). Contudo, apenas na década de 1970 o Bendegó foi considerado pertencente ao tipo IC, um grupo genético de sideritos, conforme classificação química para os meteoritos de ferro proposta por John Wasson e seus colegas da Universidade da Califórnia, Los Angeles (Scott e Wasson 1976, Buchwald 1975, Scott 1977).

A descoberta do meteorito Bendegó ocorreu no final do século XVIII (1784), aflorando a 180 metros do leito do riacho Bendegó, na região onde hoje situam-se os municípios de Monte Santo e Uauá, interior da Bahia. Essa descoberta ocorreu dez anos antes da publicação do livro pioneiro de Chladini sobre a importância científica dos meteoritos através

Tabela IV.1. Relação dos Meteoritos Brasileiros reconhecidos oficialmente até 2009. (Q) Queda, (A) Achado

Tipo	Fato	Nome	Ano	UF	Grupo Estrutural	Grupo Químico	Massa (Kg)
Férreo	A	Angra dos Reis II	?	RJ	Hexaedrito		
	A	Balsas	1974	MA	Om	IIIAB	41,00
	A	Barbacena	1918	MG	Of	Anômalo	9,00
	A	Bendegó	1784	BA	Og	IC	5360,00
	A	Blumenau	1986	SC	Of	IVA	???
	A	Bocaiúva	1961	MG	Ataxito	Anômalo	64,00
	A	Casemiro de Abreu	1947	RJ	Om	IIIAB	24,00
	A	Crateús (1931)	1914	CE	Of	IVA	27,50
	A	Crateús (1950)	1909	CE	Opl	IIC	0,35
	A	Indianópolis	1989	MG	Ogg	IIAB	14,85
	A	Itapuranga	1977	GO	Og	IAB	628,00
	A	Itutinga	1947	MG	Om	IIIAB	3,20
	A	Maria da Fé	1982	MG	Of	IVA	18,00
	A	Nova Petrópolis	1967	RS	Om	IIIAB	305,00
	A	Palmas de Monte Alto	1954	BA	Om	IIIAB	97,00
	A	Pará de Minas	1934	MG	Of	IVA	116,30
	A	Paracutu	1980	MG	Og	IAB	
	A	Patos de Minas I	1925	MG	Hexaedrito	IIAB	32,00
	A	Patos de Minas II	1925	MG	Octaedrito	IAB	200,00
	A	Piedade do Bagre	1922	MG	Om	Anômalo	59,00
	A	Pirapora	1950	MG	Hexaedrito	IIAB	8,70
	A	Sanclerlândia	1971	GO	Om	IIIAB	276,00
	A	Santa Catarina	1875	SC	Ataxito	IAB	7000,00
	A	Santa Luzia de Goiás	1925	GO	Og	IIAB	1920,00
	A	São João Nepomuceno	?	MG	Of	IVA	6,67
	A	Soledade	1982	RS	Og	IAB	68,00
	A	Uruaçu	1986	GO	Hexaedrito	IAB	72,00
A	Veríssimo	1965	GO	Om	IIIAB		
A	Vitória da Conquista	2007	BA	Of	IVA	10,50	
Férreo-Pétreo	A	Quijingue	1963	BA	Palasito	Principal	59,00

Tabela IV.1. Relação dos Meteoritos Brasileiros reconhecidos oficialmente até 2009. (Q) Queda, (A) Achado (continuação)

Tipo	Fato	Nome	Ano	UF	Grupo Estrutural	Grupo Químico	Massa (Kg)
Pétreo-Acondrito	Q	Angra dos Reis	1869	RJ		Angrito	1,50
	A	Governador Valadares	1958	MG		Nakhlito	0,16
	Q	Ibitira	1957	MG		Eucrito	2,50
	Q	Serra de Magé	1923	PE		Eucrito	1,30
Pétreo-Condrito	Q	Avanhadava	1952	SP		H4	9,33
	Q	Campos Sales	1991	CE		L5	23,68
	Q	Conquista	1965	MG		H4	20,35
	Q	Iguaraçu	1977	PR		H5	1,20
	Q	Ipiranga	1972	PR		H6	2,65
	A	Ipitinga	1989	PA		H5	7,00
	Q	Itapicuru-Mirim	1879	MA		H5	2,00
	Q	Macau	1836	RN		H5	36,30
	Q	Mafra	1941	SC		L3-L4	0,60
	Q	Marília	1971	SP		H4	2,50
	A	Minas Gerais	1888	MG		L6	1,20
	A	Morro do Roccio	1928	SC		H5	0,47
	Q	Parambu	1964	CE		LL5	0,60
	Q	Paranaíba	1956	MT		L6	100,00
	Q	Patrimônio	1950	MG		L6	1,80
	Q	Putinga	1937	RS		L6	200,00
	A	Rio do Pires	19??	BA		L6	0,12
	Q	Rio Negro	1934	PR		L4	1,30
	Q	Santa Bárbara	1873	RS		L4	0,40
	Q	Santa Vitória do Palmar	2003	RS		L3	63,00
Q	São José do Rio Preto	1962	SP		H4	0,93	
Q	Sete Lagoas	1908	MG		H4	0,06	
Q	Uberaba	1903	MG		H5	30,00	

do estudo do meteorito Palas (Chladini 1794, McCall et al. 2005). No mundo, as primeiras análises químicas de meteoritos só foram divulgadas no início do século XIX (Howard 1802), sendo necessárias mais seis décadas até o estabelecimento da primeira classificação estrutural baseada na textura e características físicas a partir de estudos petrográficos (Reichenback 1857, Story-Maskelyne 1863a, 1863b, Rose 1864), os quais culminaram com a aceitação da origem espacial destas rochas.

O meteorito Bendegó representou papel relevante nesta jornada pelo reconhecimento da meteorítica como ciência. Em 1811, o cidadão inglês Aristides Franklin Mornay (Mornay 1816) foi o primeiro a suspeitar que esta colossal massa de ferro e níquel tinha origem meteorítica. A discussão de sua natureza extraterrestre despertou a atenção de importantes cientistas da época que visitaram o local do achado, destacando-se os austríacos Spix e Martius que coletaram amostras e descreveram sucintamente o meteorito na década de 1820 (Lahmeyer, 1938). Atualmente, a principal massa do meteorito encontra-se no Museu Nacional, no Rio de Janeiro. Amostras diversas, de vários tamanhos e pesos, obtidas da fatia maior destacada da massa principal em 1888 integram o acervo de pelo menos 29 instituições acadêmicas e museus em todo o mundo (Tabela IV.2).

Os últimos dados analíticos publicados para o Bendegó remontam à década de 1970. Seu papel relevante na investigação dos grupos genéticos de meteoritos de ferro justifica uma reavaliação de sua petrografia e química à luz dos enormes avanços da geoquímica analítica nos últimos anos, os quais disponibilizaram novas técnicas e análises de alta resolução, mundialmente aplicados ao estudo de meteoritos. Assim, o principal objetivo deste artigo é reportar informações adicionais sobre a circunstância do seu achado e distribuição de espécimes, em conjunto com dados petrográficos e geoquímicos para o meteorito e rochas do local do impacto e da crosta de óxido de ferro encontrada na face inferior da massa e no solo onde ela repousava desde a sua queda. Adicionalmente objetiva-se divulgar a meteorítica junto à comunidade científica brasileira.

IV.2 A DESCOBERTA E DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIMES

O achado do meteorito Bendegó ocorreu no ano de 1784, provavelmente no mês de junho, durante o reinado de D. Maria I, a Louca, conforme ofícios enviados pelo governador da Bahia, D. Rodrigo José de Menezes ao Secretário de Estado da Marinha e do Ultramar, Martinho de Mello e Castro (Menezes 1784, 1787) e pelo Capitão-Mor do Itapicuru, Bernardo Carvalho da Cunha, ao referido governador (Cunha 1784, 1786).

Tabela IV.2. Distribuição das amostras do Meteorito Bendegó pelo mundo.

Instituição Hospedeira	Cidade/Estado	País
Instituto de Planetologia (Institut für Planetologie)	Munster	Alemanha
Instituto Max-Planck de Química (Max-Planck Institut für Chemie)	Mainz	Alemanha
Museu de História Natural (Museum für Naturkunde)	Berlim	Alemanha
Museu Reino dos Cristais - Coleção Estadual Bávara de Mineralogia (Museum Reich der Kristalle - Mineralogische Staatssammlung München)	Munique	Alemanha
Universidade de Tübingen (Universität Tübingen)	Tübingen	Alemanha
Museu da Prata (Museo de la Plata)	La Plata	Argentina
Museu de História Natural (Naturhistorisches Museum)	Viena	Áustria
Museu de Ciência e Técnica da Escola de Minas	Ouro Preto, MG	Brasil
Museu de Geociências da Universidade de São Paulo	São Paulo, SP	Brasil
Museu de Mineralogia Prof. Djalma Guimarães	Belo Horizonte, MG	Brasil
Museu Geológico da Bahia	Salvador, BA	Brasil
Museu Nacional	Rio de Janeiro, RJ	Brasil
Serviço Geológico do Canadá (Geological Survey of Canada)	Otawa	Canadá
Museu Geológico - Universidade Københavns (Geologisk Museum – Københavns Universitet)	Compenhague	Dinamarca
Museu Nacional de História Natural (Museum National d'Histoire Naturelle)	Paris	França
Museu Húngaro de História Natural (Magyar Természettudományi Múzeum)	Budapeste	Hungria
Pesquisa Geológica da Índia (Geological Survey of India)	Calcutá	Índia
Museu de História Natural (Natural History Museum)	Londres	Inglaterra
Museu do Observatório do Vaticano (Vatican Observatory Museum)	Vaticano	Itália
Academia de Ciências da Rússia (The Russian Academy of Sciences)	Moscú	Rússia ⁽¹⁾
Fundação de Estudos Planetários (Planetary Studies Foundation)	Galena, IL	USA
Museu Americano de História Natural (American Museum of Natural History)	New York, NY	USA
Museu de História Natural (Field Museum of Natural History)	Chicago, IL	USA
Museu Nacional dos Estados Unidos (United States National Museum)	Washington, DC	USA
Universidade Cristã do Texas (Texas Christian University)	Fort Worth, TX	USA
Universidade da Califórnia em los Angeles (University of California at Los Angeles)	Los Angeles, CA	USA
Universidade do Novo México (University of New Mexico)	Albuquerque, NM	USA
Universidade Estadual do Arizona (Arizona State University)	Tempe, AZ	USA

A identidade do descobridor do meteorito ainda é objeto de controvérsias: Menezes (1784), Cunha (1784) e Mornay (1816) citam textualmente Bernardino da Mota Botelho como o sertanejo responsável pelo achado. Spix e Martius (Lahmeyer, 1938), que estudaram o meteorito ainda no leito do rio Bendegó, em 1819, registram que Domingos da Mota Botelho foi quem descobriu a massa de ferro, quando era rapaz e procurava uma vaca desgarrada. Por último, Carvalho (1888), que chefiou a expedição de remoção do meteorito para o Rio de Janeiro, diz em seu relatório final que foi Joaquim da Mota Botelho quem comunicou ao governador da Bahia a descoberta e acompanhou Mornay em sua visita ao local do achado, em 1811. Os ofícios de Menezes (1784) e Cunha (1784), juntamente com o relato de Mornay (1816), não suportam a afirmativa de Carvalho (1888), apesar desta versão ter prevalecido no registro gravado no pedestal que expõe o meteorito à entrada do Museu Nacional, em detrimento de Bernardino da Mota Botelho, citado em três das cinco fontes históricas sobre o achado. O encontro de Martius e Spix com Domingos da Mota Botelho, segundo esses autores, ocorreu 35 anos após a descoberta do meteorito.

Na Bahia colonial do século XVIII aquela massa de metal foi inicialmente considerada indício de valiosa jazida de ferro, levando o governador a ordenar seu imediato transporte para Salvador a fim de ser remetida a Portugal, determinando também a realização de prospecção do suposto minério. Essa suposição foi de pronto abandonada logo na primeira tentativa de sua remoção, haja vista a constatação da natureza metálica da massa, “uma aborto da Natureza” segundo o Capitão-Mor encarregado das diligências (Cunha 1784), e à completa ausência de ocorrências mineralizadas de ferro na área circunvizinha ao local onde o meteorito foi encontrado.

Nos dois anos seguintes à descoberta do meteorito houve pelo menos três frustradas tentativas para transportá-lo até a capital da Bahia. Na primeira expedição, o meteorito foi removido de seu sitio original através da força de 30 homens aplicada a quatro alavancas de madeira colocadas sob o bloco (Cunha 1786). O solo onde repousava a massa era “duro e pedregulhento sendo difícil de escavar” e o meteorito não apresentava qualquer semelhança com as rochas do local. Sob o mesmo havia uma camada de óxido de ferro, com mais de 22 cm de espessura (Cunha 1784). Devido ao grande peso e dimensões, e à falta de meios para içar e transportar uma tão grande massa, ela foi deixada junto ao local onde repousava desde sua queda.

Na segunda tentativa, o bloco de ferro foi colocado sobre uma carreta puxada por bois que percorreram apenas 180 m, distância entre o local do achado e a margem esquerda do riacho Bendegó. O acentuado declive da margem do córrego, a falta de equipamentos e de material para construir uma passagem, aliadas à escassez de água e mantimentos,

determinaram o encerramento dessa segunda missão (Cunha 1784). Durante a terceira tentativa foi construído um aterro ligando as duas margens do riacho, porém o material utilizado, uma mistura de argila, areia, galhos e folhas de árvore da raquítica vegetação da caatinga, não suportaram o peso da carreta e sua carga, que afundaram na areia do leito do rio (Cunha 1786). Embora o governador da Bahia demonstrasse vivo interesse em mandar o meteorito para Portugal, conforme ofício de 17/02/1787 (Menezes 1787), ele não deixou o Brasil, provavelmente devido à situação política instável reinante em Lisboa na década que antecedeu a invasão francesa de 1807, que forçou a família real a trasladar-se para sua colônia na América do Sul (Pedreira e Costa 2008).

Finalmente, em 1887, no final do II Império do Brasil, sob os auspícios da Sociedade de Geografia do Rio de Janeiro, foi organizada uma expedição, sob a chefia de José Carlos de Carvalho, para transportar o meteorito para a sede da corte do Imperador D. Pedro II que pessoalmente havia solicitado esse empreendimento. Os trabalhos de remoção e transporte começaram em 7 de setembro de 1887, quando o meteorito foi colocado sobre peças de madeira no leito do riacho Bendegó para fins de cubagem e medições (Fig. IV.1), e terminaram em 15 de junho de 1888, com a chegada do siderito ao Rio de Janeiro (Carvalho 1888).

Carvalho (1928, 1888) e Carvalho (1995) descrevem com detalhes essa exitosa expedição que consumiu 126 dias para percorrer os 119 km que separam o local do achado do meteorito e a estação ferroviária do povoado de Jacurici, no município de Itiúba, de onde seguiu de trem até Salvador, e daí transportada por navio para a Corte do II Império do Brasil. Em 1887, no local do achado, foi erigido o marco D. Pedro II (Fig. IV.1B), destruído por supersticiosos moradores locais, pouco tempo depois do meteorito deixar a região. Existem apenas dois registros de marcos construídos no local de achado de meteoritos, o do Bendegó, Bahia, Brasil (1887), e o de Krasnojarsk, Sibéria, Rússia, 1980 (McCall e al., 2005).

Desde então a massa principal do meteorito Bendegó, com 5.300 kg, após o corte de uma fatia de 60 kg para obtenção de amostras, ocupa lugar de honra à entrada do Museu Nacional (Fig. IV.2). Quatro réplicas em tamanho natural foram confeccionadas até o presente (2009), uma delas atualmente exposta no museu Palais de la Découvert, em Paris, foi feita em madeira especialmente para a Exposição Universal realizada na capital da França em 1889. As outras três, em gesso e papel-marché, integram o acervo do Museu Geológico da Bahia (Salvador), do Observatório Antares (Feira de Santana) e do Museu do Sertão (Monte Santo), no Estado da Bahia.

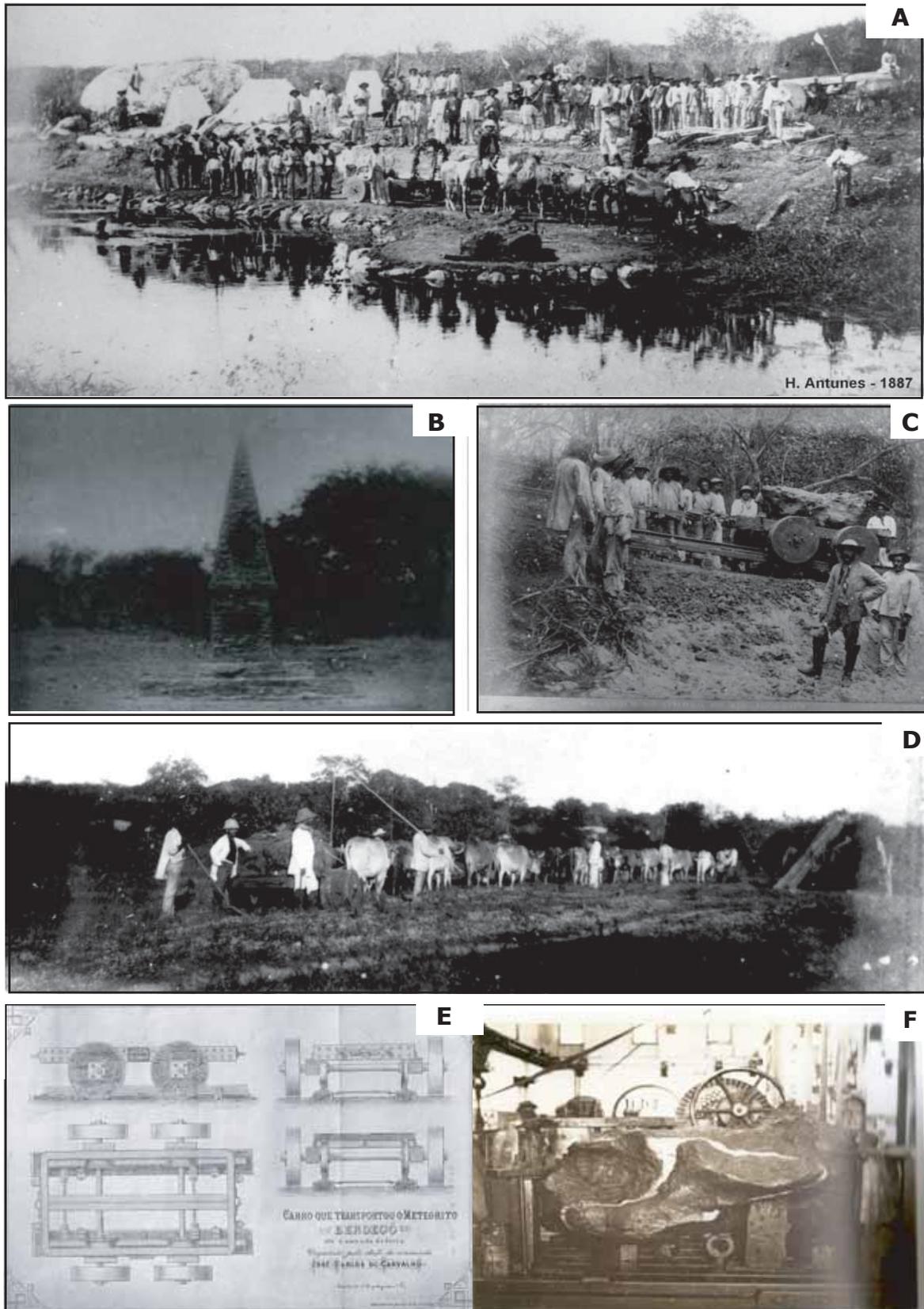


Figura IV.1. Fotos históricas da expedição José Carlos de Carvalho, 1887-1888, que transportou o Bendegó da Bahia para o Rio de Janeiro. (A) Dia festivo da remoção do meteorito do leito do Riacho Bendegó, (B) Marco D. Pedro II, erigido no local do achado em 1887, (C) Aterro construído para a passagem do Rio Jacurici, (D) Juntas de bois utilizadas no deslocamento da massa meteorítica, (E) Projeto do carretão que transportou o meteorito, (F) Corte de uma fatia do Bendegó no Arsenal de Marinha - RJ. (Fotos A, B, C e D de H. Antunes, 1887/1888).

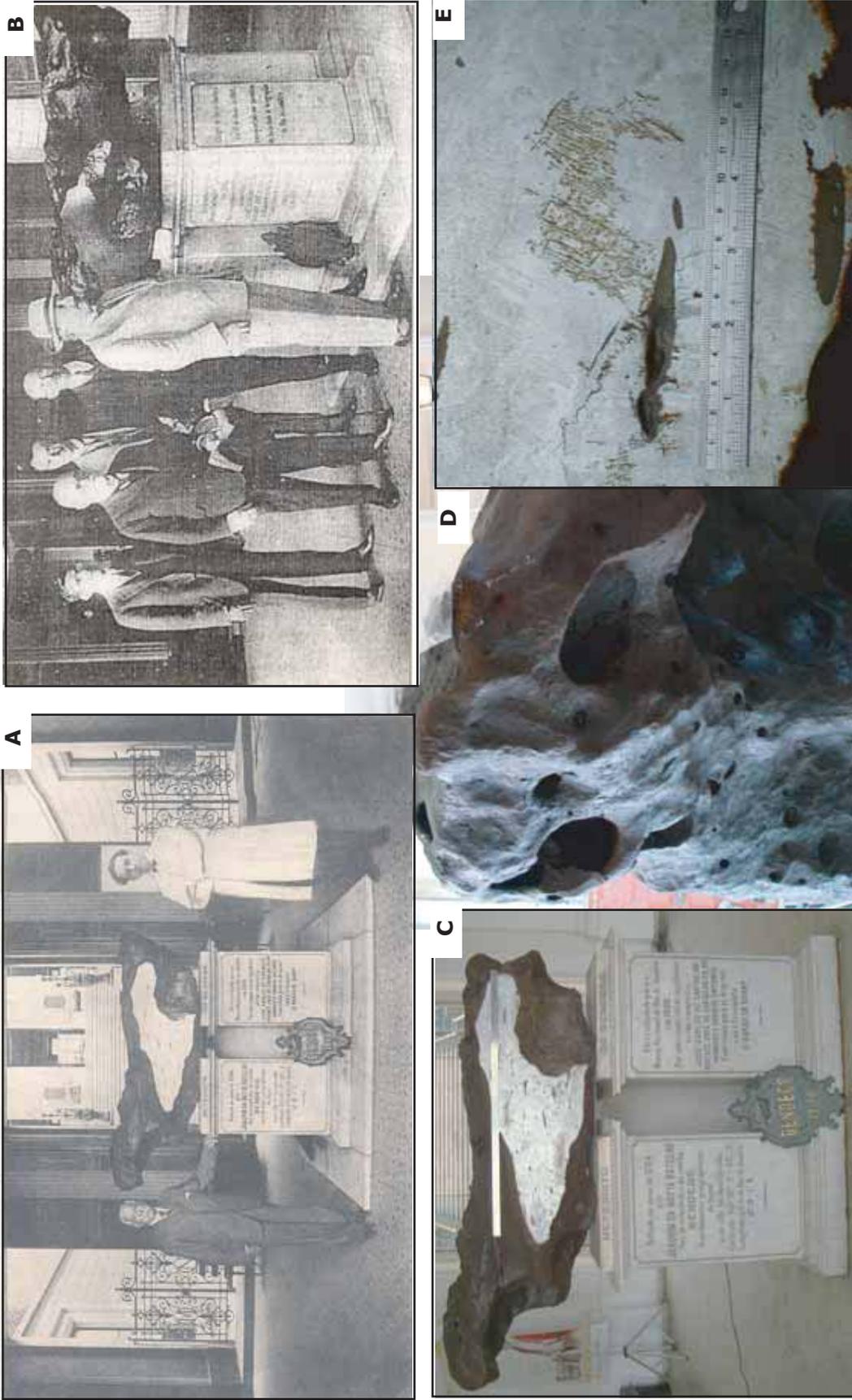


Figura IV.2. Fotos do Meteorito Bendegó no Museu Nacional, Rio de Janeiro. (A) Sr. José Carlos de Carvalho (a esquerda), chefe da expedição de transporte, com o diretor do museu, Sr. Roquete Pinto. (B) Visita do físico Albert Einstein em 07/05/1925 (postal astronômico, Observatório nacional / MCT, M.R. Nunes, 2002). (C) Visão do meteorito exposto. Detalhes de sua textura. (D) Regmalites e cavidades (E) Coenita e troilita na face cortada e polida .

IV.3 ÁREA ESTUDADA: LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

O meteorito Bendegó foi achado no sertão baiano (Fig. IV.3A). A área em estudo está compreendida entre as coordenadas E 464.000 - 476.000 e N 8.888.000 - 8.872.000, formando um retângulo de 12 km², inserido no semi-árido do Nordeste da Bahia, mais precisamente no território do município de Uauá (Fig. IV.3B).

A área estudada está inserida no "Polígono das Secas", uma região árida cuja precipitação pluviométrica situa-se entre 500 e 750 mm anuais. A vegetação é nativa com predominância de xerófitas (caatinga). A drenagem é do tipo dendrítico, predominando riachos temporários (Inda e al. 1976).

O meteorito foi encontrado a 180 metros da margem esquerda do rio Bendegó (Fig. IV.3C). As coordenadas geográficas exatas do local onde o meteorito Bendegó foi achado, conforme levantamento feito pelo Observatório Astronômico Antares, da Universidade Estadual de Feira de Santana, em 2002, são as seguintes: E 471.359,4664 (10° 07' 01,51830" S) e N 8.881.630,2778 (39° 15' 41,12180" W). O ponto de referência para se alcançar esse local é o cemitério do povoado Bendegó da Pedra, situado a apenas 200 metros do sítio onde a massa de ferro foi achada em 1784.

O local do achado dista aproximadamente 250 km de Salvador, a capital do Estado. Para este percurso, existem dois roteiros alternativos (Fig. IV.3C):

Roteiro 1: Salvador - Euclides da Cunha, através das rodovias BR-324 e BR-116. De Euclides da Cunha ao local do achado do meteorito viaja-se cerca de 60 km pela BR-116, no sentido Norte e 25 km pela estrada do Calumbi, no sentido Oeste. O entroncamento dessa estrada de barro com a BR-116 está situado à margem esquerda dessa rodovia, sentido Euclides da Cunha-Abaré. Deve-se tomar como referência para esse percurso a comunidade de Penedo e os riachos da Júlia, pontos intermediários entre o início da estrada do Calumbi e o povoado Bendegó da Pedra.

Roteiro 2: Salvador-Monte Santo, utilizando-se as estradas BR-324, BR-116 e BA-120. De Monte Santo ao local do achado do meteorito percorre-se 44 km em estradas vicinais, transitáveis a maior parte do ano. Deve-se tomar como referência para esse percurso o povoado Bendegó da Pedra como destino final e as comunidades de Santo Antônio, Soledade e Desterro como pontos intermediários do roteiro.

IV.4 METODOLOGIA APLICADA

Foram realizadas três missões de campo ao local onde o meteorito foi achado (Fig. IV.4A) para reconhecimento da geologia e coleta de amostras de rochas aflorantes, fragmentos desagregados do embasamento e peças remanescentes do óxido de ferro que originalmente jazia sob a massa metálica (Cunha 1784, Mornay 1816).

Para os estudos petrográficos foram preparadas 14 lâminas delgadas de rochas do embasamento e de fragmentos de anfibólio e de quartzo existentes na superfície do local do achado do meteorito. A metalografia do meteorito foi estudada através de uma lâmina polida preparada a partir de uma amostra cedida pelo Museu Nacional do Rio de Janeiro e que foi analisada através de microscopia de varredura eletrônica (MEV), usando equipamento Shimadzu modelo SSX 550, do Instituto de Química da Universidade Federal da Bahia. Outras duas fatias do meteorito, pertencentes ao acervo do Museu Nacional foram estudadas petrograficamente sob luz refletida.

Os estudos geoquímicos envolveram amostras do meteorito e das rochas encaixantes e do local do achado. Duas amostras do meteorito foram analisadas respectivamente por Espectrometria de Massa Indutivamente Acoplada a Plasma (ICP-MS) e por Ativação Neutrônica Instrumental (INAA).

IV.5 ASPECTOS GEOLÓGICOS

O Cráton do São Francisco (CSF) abrange quase todo o território do Estado da Bahia, além de significativa área do Estado de Minas Gerais (Fig. IV.5A; Mascarenhas 1979). O local do achado do meteorito Bendegó está situado no Núcleo Serrinha (NSer), um dos três núcleos arqueanos deste cráton.

O NSer tem aproximadamente 21.000 km² de área e uma complexa geologia composta por um embasamento gnáissico migmatítico o qual é intrudido por granitos TTGs de idades arqueanas (3.3 a 2.9 Ga). No paleoproterozóico um importante evento magmático resultou na formação da bacia do Itapicuru e granitos de natureza TTG e cálcio alcalina (2.3 a 2.15 Ga), seguidos por um evento alcalino potássico-ultrapotássico que resultou em corpos shoshoníticos, sieníticos e lamprofíricos (Fig. IV.5B; Rios et al. 2009).

O local do achado, que se acredita representar também o ponto de impacto do meteorito, está localizado nos terrenos gnáissicos-migmatíticos do Complexo Metamórfico Uauá (CMU), na porção Norte do NSer. Nesta área o embasamento é formado por rochas do

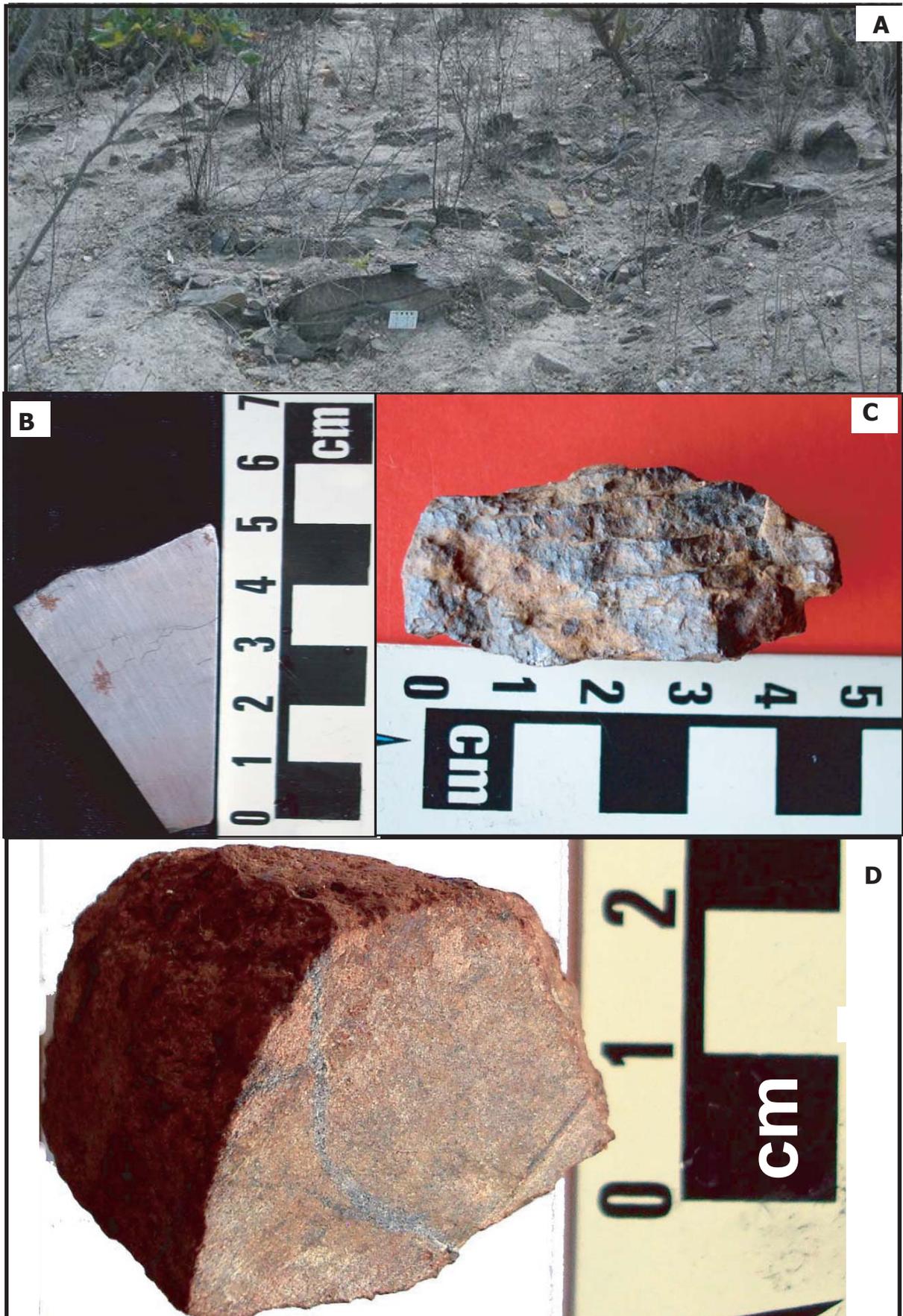


Figura IV.4. Fotos das etapas de campo e amostragem. (A) Visão do local do achado original do meteorito Bendegó onde afloram os gnaisses e anfibolitos de embasamento do Núcleo Serrinha, (B) Fatia do Bendegó enviada para análise por INAA, (C) Fragmento do óxido de ferro, (D) Rocha do embasamento cortada por veios metálicos.

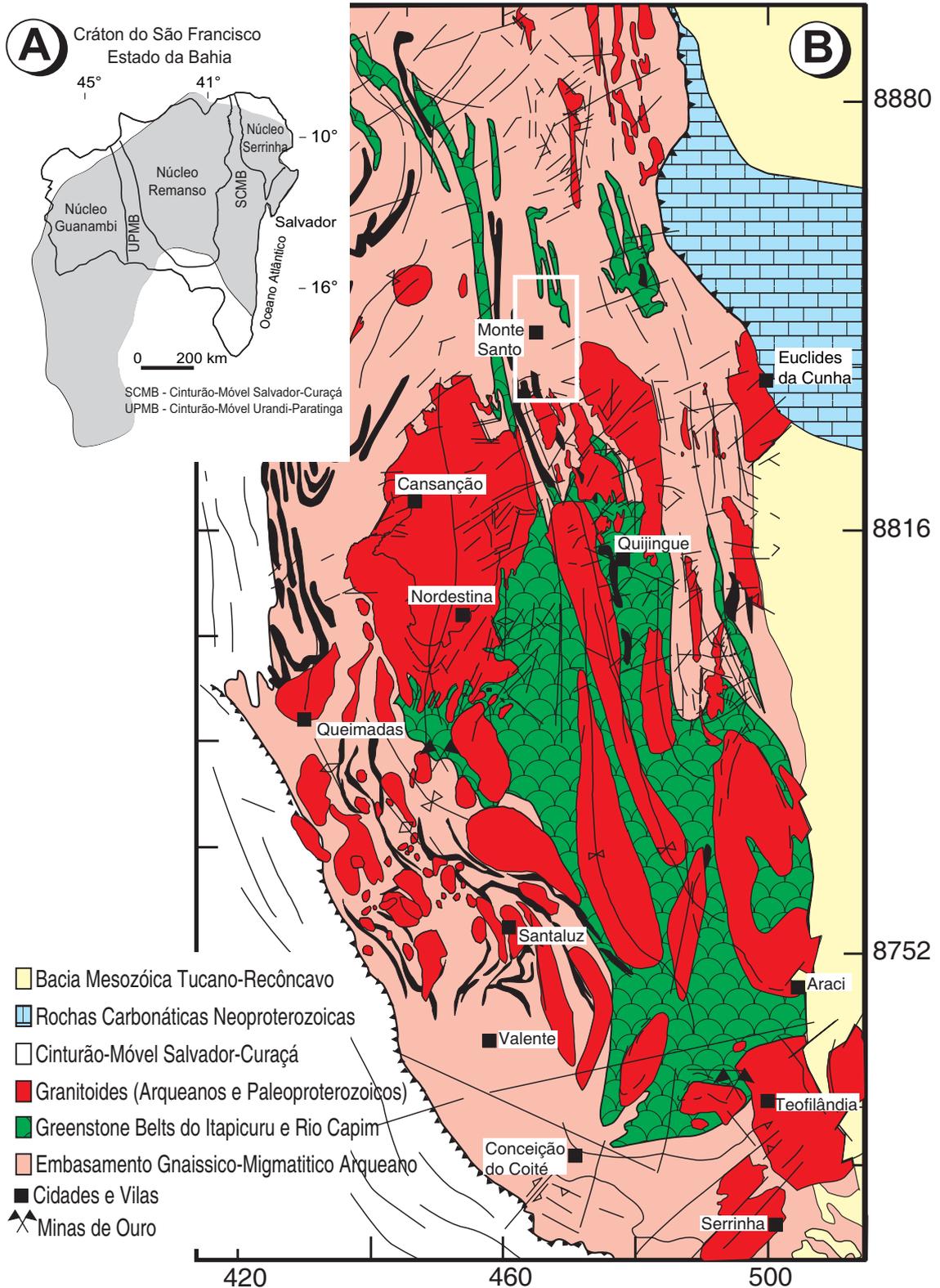


Figura IV.5. Mapa de abrangência do Crátón do São Francisco (A) e Mapa Geológico Simplificado do Núcleo Serrinha (apud Rios et al., 2009), indicando a área deste estudo.

pré-cambriano médio/inferior, da unidade inferior do CMU, predominando os gnaisses bandados, com xistosidade bem desenvolvida e orientação NNW-SSE (Inda et al. 1976, Rios et al. 2009).

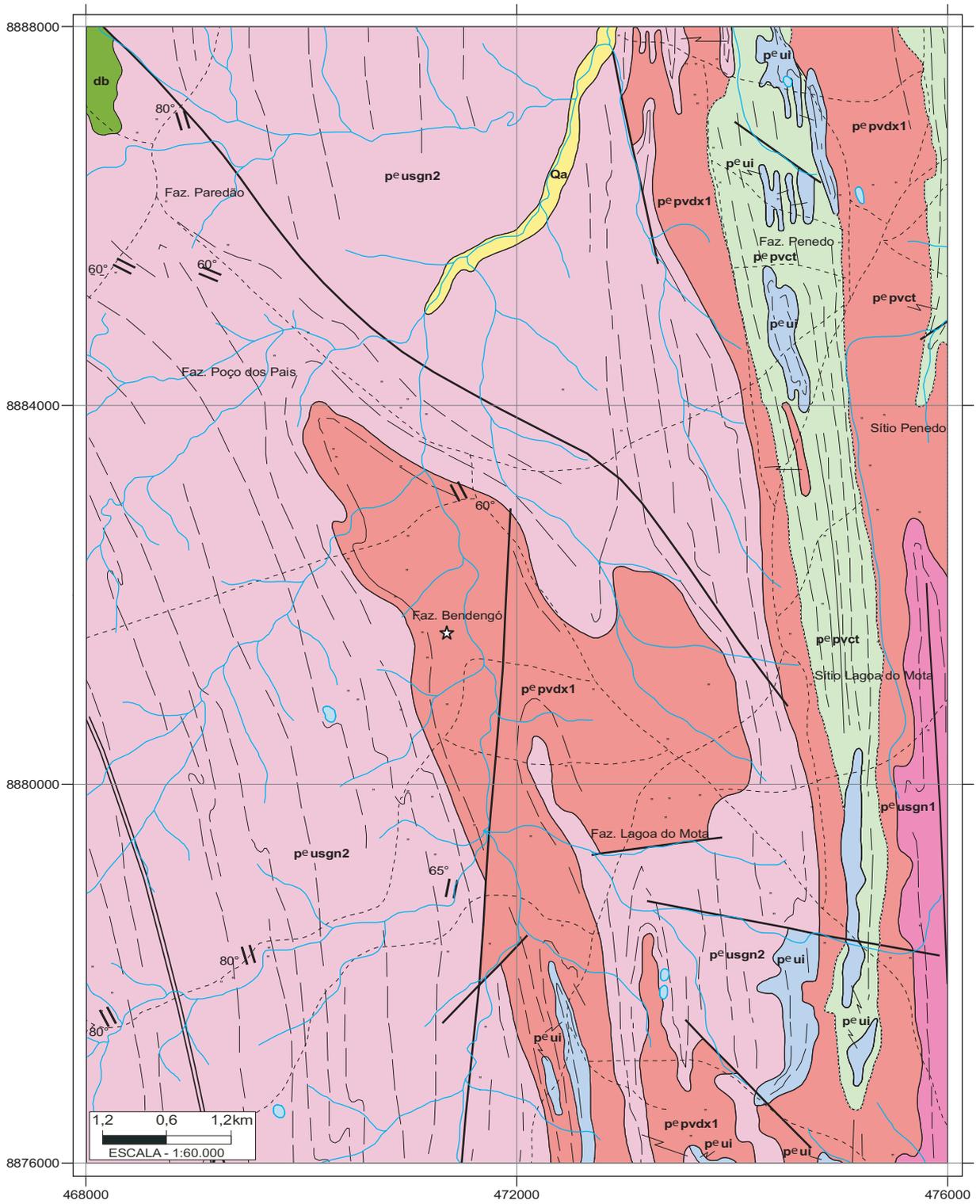
Para o mapeamento foi limitado um retângulo de 24 km² (Fig. IV.6), coordenadas E 468.000-476.000 e N 8.888.000-8.876.000, onde ocorrem gnaisses quartzo-feldspáticos, localmente cataclásticos, com intercalações de rochas básicas e ultrabásicas metamorizadas e rochas calcossilicatadas. Em menor escala ocorrem hornblenda-gnaisses e hornblenda-biotita-gnaisses com intercalações subordinadas de anfibolito. Inda e colaboradores (1976) descrevem nesta região ocorrências de "diatexitos a biotita homogêneos e não homogêneos, de composição variando de granítica até anfibolítica, englobando porções metatexíticas não transformadas e transformadas anfibolíticas" atribuídos ao Grupo Pedra Vermelha.

Em campo, observam-se inúmeros fragmentos de quartzo leitoso e de anfibolitos na superfície da área que circunda o local do achado, os quais podem ter originalmente constituído veios intrudidos no gnaisse do embasamento, juntamente com anfibolitos, provavelmente desagregados das rochas metamórficas do Complexo Uauá. O relato de Mornay (1816) cita a existência de fragmentos de quartzo leitoso firmemente presos em algumas cavidades da massa de ferro, sendo necessário o uso de martelo e talhadeira para extraí-los. Contudo, o estudo petrográfico realizado em 14 lâminas delgadas de amostras de rochas gnáissicas, fragmentos de quartzo, e anfibolitos, coletados na área estudada, não evidenciam a presença de elementos planares de deformações (PDFs), comumente observados em cristais de quartzo coletados em crateras de impacto. Para formação de estruturas PDFs é necessária uma pressão entre 4 e 50 GPa (Goltrant et al., 1992). Acredita-se que a ocorrência dos fragmentos de quartzo no meteorito sinalize a possibilidade dele ter fragmentado rochas do embasamento ou apreendido seixos existentes na superfície no momento do impacto sem, entretanto, atingir a pressão necessária para produzir as estruturas de PDFs.

IV.6 MINERALOGIA

IV.6.1 Trabalhos Anteriores

O meteorito Bendegó vem sendo estudado desde 1816 quando Wollaston (Wollaston, 1816) apresentou à Sociedade Real de Londres resultados positivos de ensaios químicos para determinação de Ni em fragmentos metálicos e em amostras oxidadas coletadas por Mornay em 1811.



Fonte: Projeto Rochas Básicas e Ultrabásicas de Euclides da Cunha (Folhas: SC-24-Y-B-III-1 e SC-24-Y-B-III-2)
Digitalização e Layout: Ivanara Pereira L. dos Santos

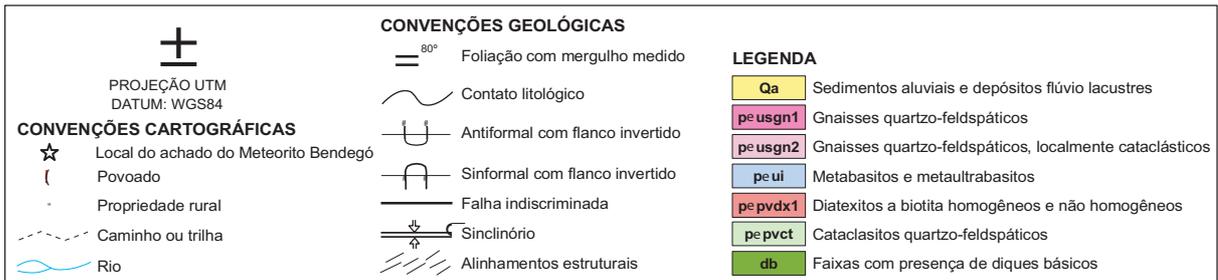


Figura IV.6. Mapa geológico da área de estudo, local de achado do Meteorito Bendegó (modificado de Inda et al. 1976).

Wollaston notou também a forma octaédrica de alguns dos fragmentos estudados. Segundo Buchwald (1975), no século XIX o meteorito Bendegó foi objeto de estudos e citações por seis autores: Reichenbach (1862), Partsch (1843), Wöhler (1860), Derby (1896), Ward (1892) e Wülfing (1897). No século XX foram publicados trabalhos e fotografias do meteorito por Vidal (1936), Perry (1944) e Curvelo (1958). Esse último apresentou a hipótese do mineral troilita, presente em algumas amostras, ter passado por um processo de ex-solução, resultando em dois tipos distintos de estrutura: alfa e beta troilita. Ainda de acordo com Buchwald (1975), Olsen (1964) estudou o Bendegó juntamente com outros meteoritos férreos objetivando determinar a estabilidade do mineral coenita.

Na década de 1970 e seguintes os meteoritos metálicos foram extensivamente estudados através de instrumentação de alta tecnologia e sofisticados métodos de análise química tais como microsondas e microscópios eletrônicos, ICP-MS e INAA, destacando-se os trabalhos de John Wasson e seus colegas da Universidade da Califórnia em Los Angeles (UCLA), que resultaram na classificação moderna dos meteoritos de ferro (Wasson, 1974; Scott & Wasson, 1976; Wasson et al. 1998, 2007, Wasson & Kallemeyn, 2002). Nesta época, o Bendegó figurou entre as seis centenas de meteoritos estudados por esse grupo de cientistas, sendo considerado inicialmente como um espécime anômalo (Wasson, 1974). Posteriormente, ele passou a integrar um novo grupo genético, o IC, que corresponde a um conjunto de 11 meteoritos raros, estudados por Scott (1977).

O grupo IC de meteoritos pertence à classe dos não-condritos, diferenciados, férreos, conforme a classificação proposta por Krot et al. (2005) para rochas de origem espacial (Fig. IV.7).

IV.6.2 Feições macroscópicas

A massa principal do meteorito Bendegó tem 2,15 x 1,50 x 0,66 metros (Fig. IV.8A). Macroscopicamente foram realizadas observações na face exposta pelo corte efetuado no meteorito em 1888, medindo 1,07 x 0,42 m em suas maiores dimensões. Para tanto, foi necessário limpar, polir e submeter a superfície à ação corrosiva do Nital (Fig. IV.8A).

Pelo menos 37 ocorrências de troilita são facilmente identificadas a olho nu na grande face polida do corpo principal do meteorito exposto no Museu Nacional. Elas apresentam-se como manchas escuras, alongadas e alinhadas no sentido longitudinal ao grande eixo do meteorito. Outra feição que se destaca macroscopicamente são seis manchas de coenita, de cor ocre, e tendo no interior de sua malha rendada nódulos de troilita. Pode-se observar também nessa face polida muitas lamelas de kamacita formando o padrão Widmanstätten (Fig. IV.8A).

CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA DOS METEORITOS

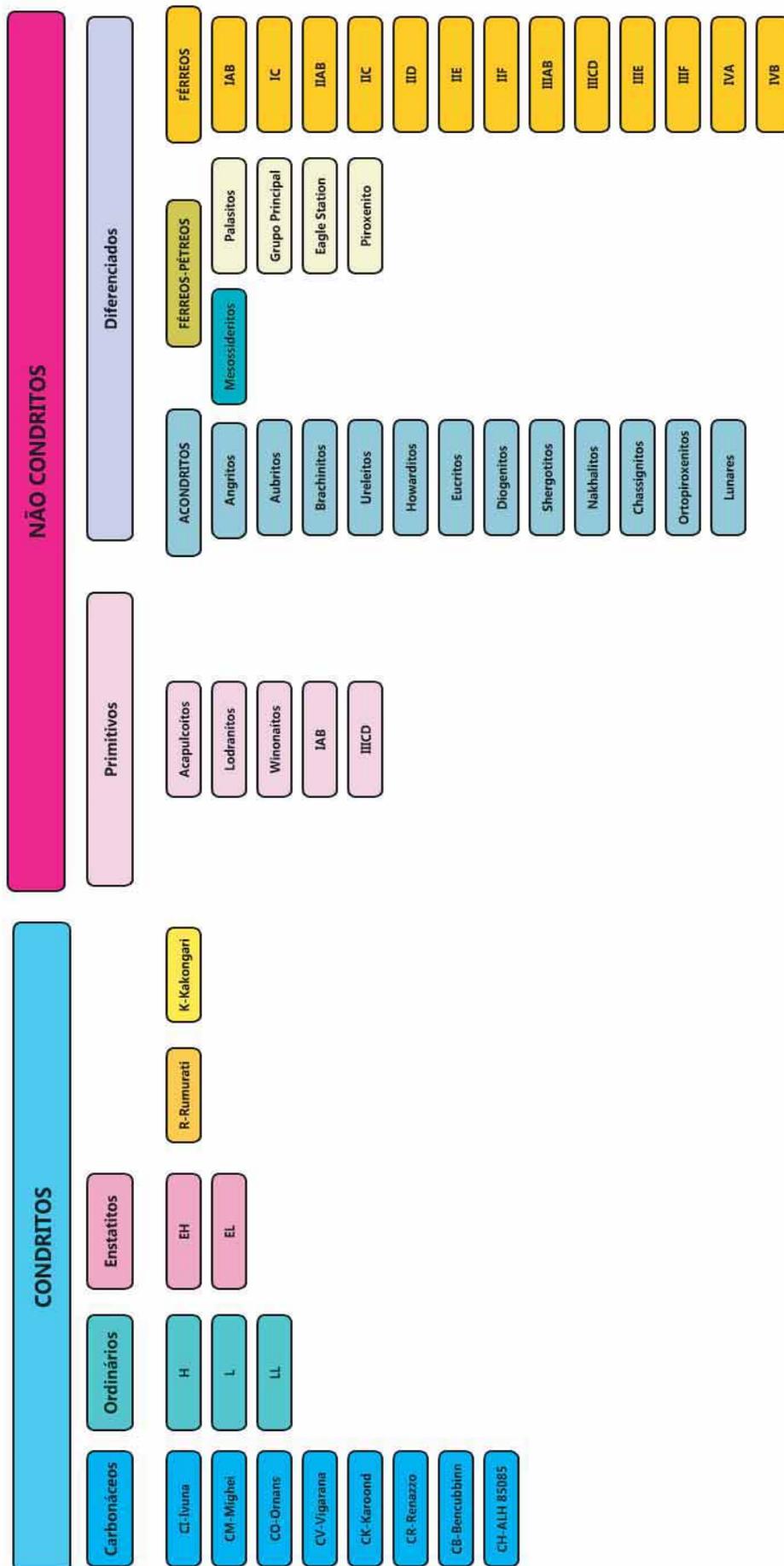


Figura IV.7. Classificação química dos meteoritos segundo proposta de Krot et al. (2005). Traduzido e adaptado.

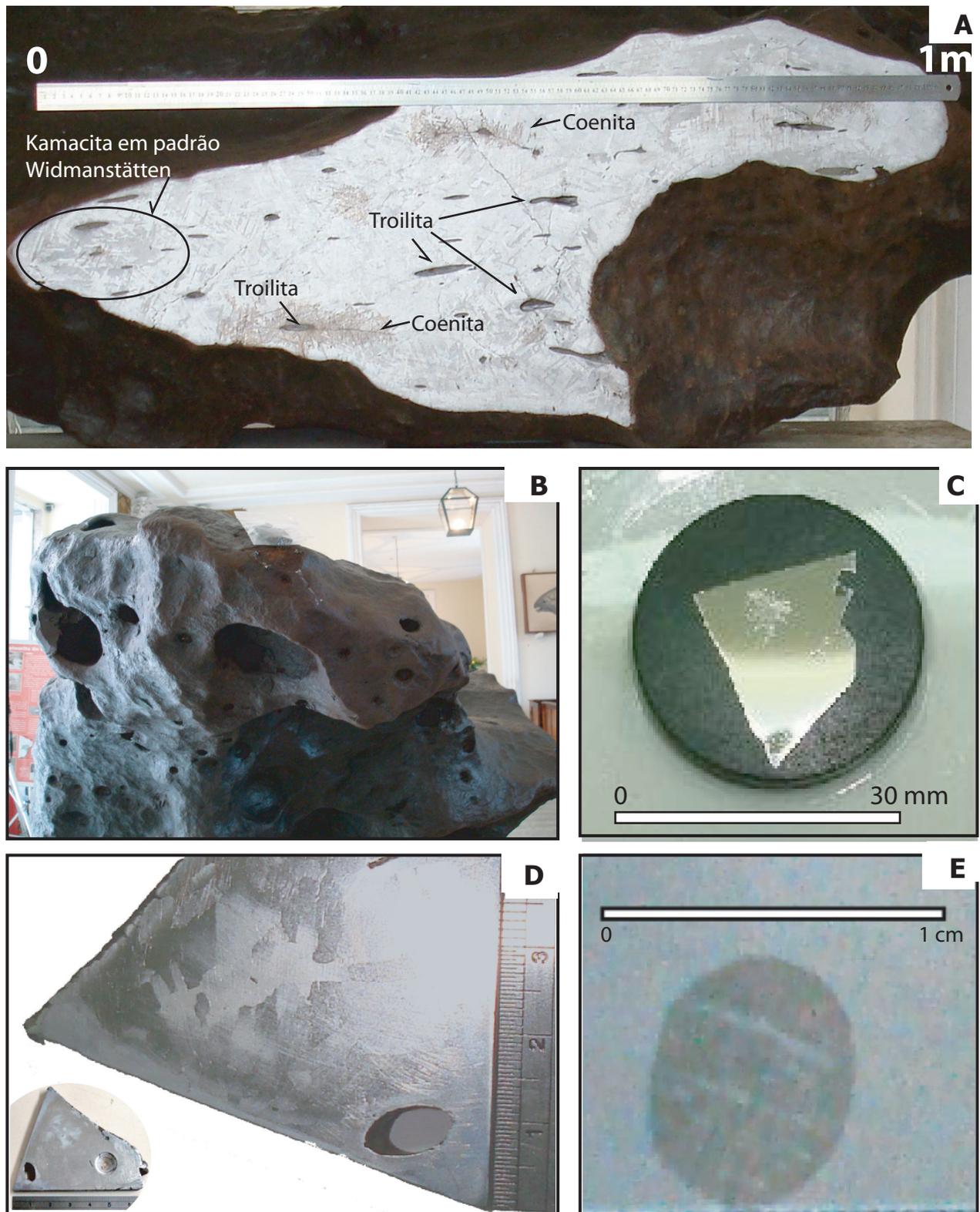


Figura IV.8. Fotos das amostras trabalhadas para a descrição petrográfica macro e microscópica do Bendegó. Massa principal exposta no Museu Nacional: (A) face polida mostrando ocorrências de troilita, coenita e kamacita com padrão Widmanstätten e (B) Face anterior (bico) com cavidades de dimensões e profundidades variadas, resultado da ablação da troilita. Amostras cedidas pelo Museu Nacional, polidas e atacadas por nital para estudos petrográficos: (C) Lâmina para microscopia eletrônica de varredura, (D) amostra triangular, (E) nódulo de troilita.

Em todo o corpo da massa observam-se numerosas cavidades circulares ou elipsóides, de dimensões e profundidades variáveis, algumas com até 10 cm de diâmetro (Fig. IV.8B). Derby (1896) contou 40 cavidades na face superior, 26 na parte posterior e 20 na anterior. Esses furos são consequência do processo de ablação durante a passagem do corpo pela atmosfera terrestre, cuja elevada temperatura fundiu e vaporizou a troilita (FeS) e aumentou as dimensões do espaço anteriormente preenchido por esse mineral.

IV.6.3 Composição Mineralógica e Estruturas

Para as análises por microscopia eletrônica de varredura (SEM-EDS), uma fatia poligonal com 21 x 18 x 14 x 13 mm de tamanho, pesando 2g (Fig. IV.8C) foi polida com lixa d'água de grana 100 a 600 para remoção das partes alteradas e das marcas de serra, até se obter uma superfície espelhada e uniforme que foi submetida a uma solução a 2% de HNO₃ e CH₃CH₂OH (Nital) durante 15 minutos e em seguida exagüada em água para interromper o processo de corrosão, resultando desse procedimento o aparecimento do padrão Widmanstätten.

Mais duas amostras pertencentes ao acervo do Museu Nacional, uma com formato triangular, medindo 60 x 70 x 70 mm (Fig. IV.8D) e outra retangular contendo um nódulo de troilita, com 32x22 mm (Fig. IV.8E) foram preparadas utilizando-se o mesmo método acima descrito, sendo destinadas ao estudo da metalografia do meteorito através de microscopia petrográfica.

A kamacita, uma liga α de Fe-Ni, é volumetricamente a fase mineralógica predominante no Bendegó, correspondendo a mais de 2/3 de seu volume. Apresenta-se em lamelas com largura média de 1,8 mm (Fig. IV.9 A). Em abundância, o segundo mineral mais importante na massa do Bendegó é a taenita (Fig. IV.9 B), uma liga β de Fe-Ni, semelhante à kamacita, porém com maior teor de Ni. Na amostra estudada a taenita ocorre como finíssimas lamelas (5 a 19 μ m de largura), dispostas entre as placas de kamacita (Fig. IV.9 A), ao redor de nódulos de troilita, ou circundando manchas de coenita.

O restante da massa é representado por uma mistura granular de kamacita e taenita, em forma acicular, conhecida como plessita e numerosos nódulos de troilita (FeS). A assembléia de fases presentes neste meteorito inclui ainda schreibersita e rabdita (Fig. IV.9 C), polimorfos de ((Fe,Ni)₃P), encontradas comumente associadas com coenita ((Fe,Ni,Co)₃C), cromita (FeCr₂O₄). A bibliografia descreve ainda a presença do carboneto hexonita (Fe_(2,3)C₆) no meteorito Bendegó, contudo este mineral não foi observado na amostra deste estudo. Estes dados estão de acordo com os estudos prévios realizados por Derby (1896), Buchwald (1975), e Scott (1977).

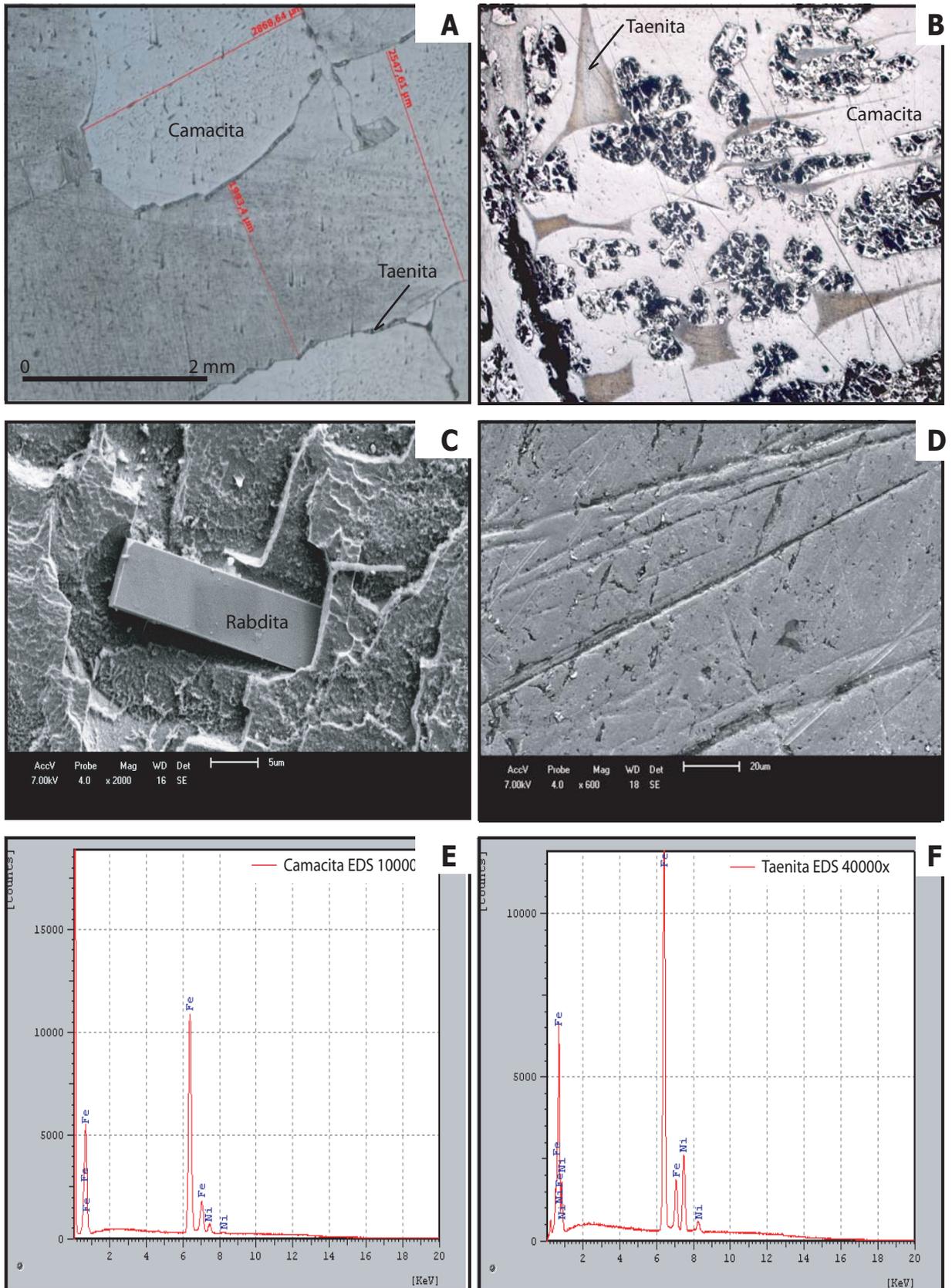


Figura IV.9. Microfotografias do meteorito Bendegó: (A) Cristais de kamacita, e taenita dispostas nos contatos. (B) Cristais de taenita, inclusos na kamacita. (C) Cristal de rabdita, tabular, incluído na kamacita (MEV). (D) Linhas de Neumann (MEV). (E) Gráfico EDS da kamacita. (F) Gráfico EDS da taenita, mostrando os maiores teores de Ni, quando relacionados com a kamacita.

As linhas de Neumann são resultado de deformações mecânicas que ocorrem a baixas temperaturas, abaixo dos 600° C (Mason 1962). Na amostra estudada estas linhas estão bem definidas (Fig. IV.9 D). Os estudos de microscopia eletrônica permitiram ainda distinguir a posição dos elementos Ni e Fe nas estruturas cristalográficas da kamacita (Fig. IV.9 E) e taenita (Fig. IV.9 F), demonstrando o enriquecimento em Ni, e a substituição do Fe por este elemento na estrutura cristalográfica da kamacita, levando à formação da taenita.

IV.7 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E CLASSIFICAÇÃO

IV.7.1 Análises por Espectrometria de Massa com Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-MS)

As análises por ICP-MS foram realizadas no Departamento di Scienze della Terra da Università de Pisa, Itália, utilizando a metodologia proposta por D´Orazio e Folco (2003). O equipamento utilizado foi um Thermo PQ II Plus ICP-MS instalado em laboratório limpo classe 10000. Duas alíquotas de 245,44 mg (A) e 201,54 mg (B) foram cortadas a partir de uma amostra do meteorito Bendegó com 4,133 g, e polidas com papel abrasivo de SiC (400 mesh). Ambas foram repetidamente lavadas em banho ultrasônico com água ultrapura (Milli-Q, 18.2 MΩ cm) e acetona, e secas em estufa.

A alíquota (A) foi dissolvida em 4ml de *água régia* a aproximadamente 80 °C, enquanto a alíquota B foi dissolvida em 5 ml HNO₃ 6N a cerca de 80 °C. Dois brancos foram preparados junto com as amostras do meteorito. Ao final da dissolução, as amostras foram transferidas para frascos de vidro de 20 ml. A alíquota (A) foi usada para determinação de Ru, Rh, Pd, Sn, Sb, W, Re, Ir, Pt e Au, enquanto a alíquota "B" foi utilizada para determinar Ni, Co, Cu, Ga, Ge e Mo.

Os elementos traços foram determinados usando o método de adição padrão. Este método consiste em tomar duas sub-amostras iguais de cada solução e adicionar a uma delas quantidades conhecidas de cada analito (tomados a partir de 10 µg/ml de soluções padrão mono-elemental, CPI International, USA). A sensibilidade de cada analito é então obtida medindo as sub-amostras com e sem a adição. Este método tem acuracidade melhor em relação ao método de calibração externa porque ele eficientemente reduz os efeitos de matriz. As massas analíticas utilizadas foram as seguintes: ⁶⁰Ni, ⁵⁹Co, ⁶⁵Cu, ⁶⁹Ga, ⁷⁴Ge, ⁹⁵Mo, ¹⁰¹Ru, ¹⁰³Rh, ¹⁰⁵Pd, ¹¹⁸Sn, ¹²¹Sb, ¹⁸²W, ¹⁸⁵Re, ¹⁹³Ir, ¹⁹⁵Pt, ¹⁹⁷Au. As medidas foram corrigida para a contribuição do branco, padrão interno (⁸⁵Rb e ²³²Th) e interferências isobáricas (⁵⁸Fe¹⁶O, ⁵⁸Ni¹⁶O e ⁵⁷Fe¹⁶O¹H para ⁷⁴Ge).

Ni e Co foram determinados diluindo 2000-vezes a solução (B), e calibrando com uma solução sintética de 1000 ng/ml Ni - 100 ng/ml Co. A precisão analítica é melhor que 10% RSD para os elementos cuja concentração é $> 1 \mu\text{g/g}$ e significativamente maior para elementos cujas concentrações estejam próximas do limite de detecção (Sb e Re). As massas analíticas selecionadas e as correções aplicadas estão listadas na Tabela IV.3.

IV.7.2 Análises por Ativação Instrumental de Nêutrons (INAA)

As análises por INAA utilizaram o Reator Nuclear McMaster, do Becquerel Laboratório (Ontário, Canadá), adotando-se a técnica de "contagem" da amostra irradiada, segundo metodologia de rotina naquele laboratório.

Para determinação de Cr, Co, Ni, As, W, Ir, Au, Sb, Mo e Re foi utilizada uma amostra do meteorito com 15 gramas (Fig. IV.4B), medindo 50 mm no seu maior comprimento, selada em saco plástico com 2 mm de espessura e submetida a irradiação por um fluxo de nêutrons de $8 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}^{-1}$ durante 20 minutos. Foram realizadas duas contagens sendo a primeira após seis dias, e a segunda após transcorridos 20 dias da irradiação. A precisão analítica desse procedimento para Co, Au, Fe, Ni é de aproximadamente 3% do Desvio Padrão Relativo (RSD) e para o As, Cr, Ir e W situa-se entre 7 e 10% RSD.

Para determinação dos elementos Pt, Pd, Rh, Ru uma alíquota da amostra foi fundida em mufla, para concentrar esses elementos em um "botão de sulfeto de níquel" que foi pulverizado em seguida e tratado com ácido, resultando em precipitados que foram irradiados duas vezes por um fluxo de nêutrons de $8 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}^{-1}$ durante 20 minutos e submetidos a três contagens.

Para as amostras dosadas por INAA, os elementos Cu, Ga, Ge, In, Sn e S foram analisados no ACME Laboratórios (Canadá) por ICP-MS segundo o método tradicional de digestão em ácidos fortes.

Adicionalmente analisou-se por INAA:

- (i) uma amostra do óxido de ferro, proveniente da massa principal do siderito enquanto ela permaneceu no local da queda (Fig. IV.4C),
- (ii) uma amostra de rocha do embasamento da região coletada na superfície do local do achado e que apresenta um veio com conteúdo metálico (Fig. IV.4D), e
- (iii) o material deste veio metálico. Para essas amostras foram determinados e dosados Cr, Co, Ni, As, W, Ir, Au, Sb, Mo e Re.

IV.7.3 Classificação Química

Meteoritos férreos são classificados basicamente em função de sua composição química, utilizando-se para isto diagramas comparativos das concentrações de Ni em relação a elementos químicos típicos como Ga, Ge, Au, As e Ir (Fig. IV.10). O grupo IC de meteoritos férreos foi individualizado na década de 70 (Scott e Wasson 1976), sendo caracterizado por teores de Níquel variando de 6,1 a 6,8% (Tabela IV.3). Este grupo ainda é muito pouco estudado e inclui o meteorito Bendegó e mais dez espécimes (Tabela IV.3, Scott 1977, Kracher et al. 1980). Tais diagramas geoquímicos clássicos permitem situar amostras do grupo IC entre o IAB e IIAB, constituindo uma classe à parte (Scott 1977). Nota-se nestes diagramas algumas dispersões e superposições, como é o caso do Ga, em que o campo dos IC superpõe-se ao campo referente aos meteoritos do grupo IIAB. As linhas de tendência encontradas para as concentrações de outros elementos-traço (Au, Ir, As) demonstram uma boa correlação, resolvendo este tipo de conflito. Foram as análises destes elementos que permitiram a Scott (1977) individualizar meteoritos anteriormente considerados anômalos no grupo IC (Tabela IV.3).

As novas análises realizadas em duas amostras do meteorito Bendegó pelas metodologias INAA e ICP MS resultaram em teores similares para os elementos analisados, quer se comparadas entre si, quer em relação à análise apresentada por Scott (1977), Tabela IV.4. Os teores encontrados para Ni, Ga, Ge e Ir, bem como as concentrações de outros elementos traços como Co, W, Sb, Au e As são consistentes com o grupo IC. Observa-se que, apesar das variações entre as diferentes amostras estudadas, e considerando-se as diferentes metodologias aplicadas, não ocorrem superposições com membros de outros grupos (Fig. IV.10).

Os dados apresentados demonstram que Bendegó é química e estruturalmente muito similar à maioria dos meteoritos do grupo IC, sendo o membro deste grupo que possui a maior massa. Os novos dados para Ni (Tabela IV.4) apresentam uma variação que cobre toda a gama possível para os membros deste grupo (Tabela IV.3). Quando os dados disponíveis para o Bendegó (Tabela IV.4) são confrontados com os outros membros do grupo IC (Tabela IV.3), percebe-se que Bendegó apresenta teores intermediários de Ge, Au e As, e o maior valor para o Ga (54-56 ppm), associados a baixos teores de Ir (0,17 a 0,22 µg/g).

As concentrações de As e de Au do Bendegó apresentam uma pequena dispersão em relação aos demais membros do grupo IC, os quais dispõem-se ao longo de uma linha no diagrama Ni versus Au (Fig. IV.10A) e Ni versus As (Fig. IV.10 B), respectivamente.

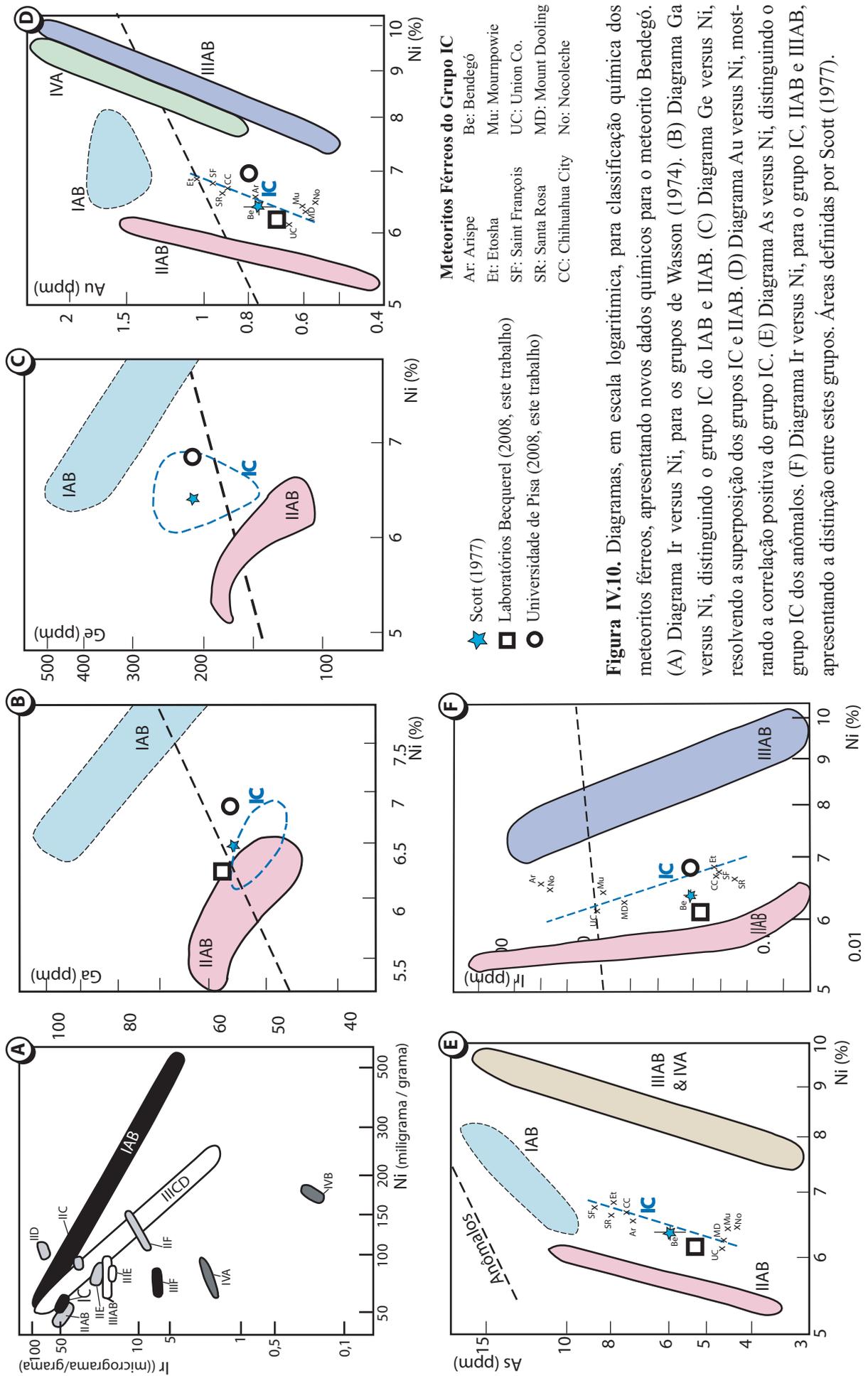


Tabela IV.3. Análises geoquímicas para os meteoritos férreos do grupo 1C (dados de Wasson et al. 1975, 1977; Scott e Wasson 1976; Scott 1977, Kracher et al. 1980). As análises estão apresentadas em ordem crescente do teor de níquel.

Meteorito	Sigla	Local do Achado	Massa (Kg)	Ni (%)	Ga (µg/g)	Ge (µg/g)	Ir (µg/g)	Au (µg/g)	As (µg/g)	W (µg/g)	Co (%)
Union Co.	UC	U.S.A.	3	6.12	54.8	245	2.200	0.65	4.65	2.13	0.45
Mount Dooling	MD	Austrália	733	6.26	52.0	234	1.100	0.60	4.6	2.03	0.44
Bendegó	Be	Brasil	5.360	6.39	54.0	234	0.210	0.76	6.0	1.78	0.47
Mournpowie	Um	Austrália	1.143	6.42	41.8	85	1.980	0.61	4.5	1.64	0.44
Nocoleche	No	Austrália	20	6.45	48.6	148	7.100	0.57	4.3	1.90	0.46
Arispe	Ar	México	307	6.54	50.3	243	9.000	0.77	7.2	2.38	0.46
Santa Rosa	SR	Colômbia	820	6.63	50.6	222	0.067	0.92	8.0	1.06	0.45
Chihuahua City	CC	México	54	6.68	52.7	212	0.098	0.90	7.4	0.83	0.46
Saint François Co.	SF	U.S.A.	7	6.77	49.2	247	0.098	0.96	8.7	1.45	0.45
Etosha	Et	Namíbia	110	6.85	48.9	217	0.120	1.04	7.9	0.96	0.46
Winburg	Wi	África do Sul	50	6.98	51,8	180	0,89	-	-	-	-

Tabela IV.4. Análises químicas para o Meteorito Bendegó e amostras a ele associadas.

Elemento	Unidade	Scott (1977) / INAA	Universidade Pisa / ICP-MS	Becquerel / INAA		
		Meteorito Bendegó		Óxido Ferro do Bendegó	Rocha com veio metálico	
Ni	mg	63,9	68,5	61,4	32,9	0,692
Co	mg	4,7	5,1	4,48	2,86	0,211
Cr	mg			0,0580	0,0515	0,5590
S	mg			0,5		
As	microg	6		5,3	4,05	1,7
Cu	microg		144	157		
Ga	microg	54	54,7	56		
Ge	microg	234	235			
Mo	microg		7	<14	<6	0,27
Ru	microg		9,3	7,6		
Rh	microg		2,17	1,85		
Pd	microg		2,87	2,06		
Sn	microg		0,53			
Sb	microg		0,08	<0,3	<0,1	0,061
W	microg	1,78	2,31	7,2	<2	<0,5
Re	microg		0,01	<0,03	<0,02	<0,01
Ir	microg	0,21	0,22	0,171	0,135	<0,003
Pt	microg		12,6	11		
Au	microg	0,76	0,8	0,693	0,435	<0,001

Isto é ainda mais evidente em relação ao Ir (Fig. IV.10 F). Os novos dados obtidos neste estudo ratificam este comportamento, demonstrando que em relação a estes elementos há uma diferença do Bendegó para os outros membros do grupo IC. Isto sugere que à medida que novas informações sejam disponíveis para o grupo IC, esta linha poderá tornar-se uma área, como ocorre para os demais grupos férreos.

As análises efetuadas confirmam ainda a eficácia do método proposto por D´Orazio e Folco (2003) para a análise química de meteoritos, tendo sido encontrados valores compatíveis com os publicados por Scott (1977) e com os realizados pela metodologia clássica de INAA no laboratório Becquerel (este trabalho), para todos os elementos.

Os resultados obtidos pela metodologia INAA aplicada a um fragmento de óxido de ferro proveniente do local do achado do meteorito Bendegó (Fig. IV.4C, Tabela IV.4) sugerem uma origem meteorítica, haja vista a presença de elevados percentuais de Ni (3,29%) e Co (0,28%), respectivamente 51,49% e 63,83% das concentrações no Bendegó. Uma amostra de rocha venulada (Fig. IV.4 D) foi também analisada por INAA. O veio metálico presente nesta amostra revelou uma alta concentração de Cr (559 ppm), superior comparativamente ao teor desse elemento no meteorito (59 ppm) enquanto que nas rochas do complexo Uauá, embasamento do Núcleo Serrinha no local do achado (abaixo do limite de detecção nos gnaisses e 40-267 ppm nos anfibolitos, Rios 2002). Estes dados justificam a realização de pesquisas mais detalhadas para os veios metálicos que cortam esse tipo de rocha. As amostras foram encontradas na superfície e distando não mais do que 30 m do local provável do impacto do meteorito. São rochas félsicas, predominantemente formadas por quartzo, sem estrutura gnáissica aparente, e que ocorrem de forma escassa, tendo sido encontrados apenas fragmentos soltos. A questão é se estes veios metálicos ricos em Ni e Cr seriam ou não evidências do choque. Análises químicas e microscópicas mais precisas dessas rochas e de amostras do embasamento do local do achado são necessárias para que possa discutir de forma mais detalhada o que pode ter ocorrido na área impactada pelo Bendegó.

IV.8 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) que tem financiado trabalhos de popularização da meteorítica na Bahia e ao Museu Nacional (UFRJ) pela cessão de amostras do meteorito. D.C. Rios e H. Conceição agradecem ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa.

IV.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Buchwald V.F., 1975. Handbook of iron meteorites: Their history, distribution, composition, and structure. Berkeley, University of California Press. Vols. 1,2, 3.
- Carvalho J.C., 1888. Meteorito de Bendegó. Relatório apresentando ao Ministério da Agricultura, Comércio e Obras Públicas e à Sociedade Brasileira de Geografia do Rio de Janeiro, sobre a remoção do Meteorito de Bendegó do Sertão da Bahia para o Museu Nacional. Rio de Janeiro, Imprensa Oficial. 64p.
- Carvalho J.C., 1928. Meteorito de Bendegó. Histórico do meteorito de Bendegó, tentativas feitas para sua remoção do sertão da província da Bahia para o Museu Nacional. Rio de Janeiro. 125p.
- Carvalho W.P., 1995. Os meteoritos e a história do Bendegó. T.A. Comunicação. Salvador, Bahia. 100p.
- Carvalho W.P., Zucolotto M.E., 2008. Dois novos meteoritos baianos aumentam a coleção brasileira para 57 exemplares. Anais do XI Encontro Nacional de Astronomia. Maceió-AL. CD-rom.
- Chladni E.F.F., 1794. Über den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer ihr ähnlicher Eisenmassen, und über einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen. Riga and Leipzig: J.F.Hartknoch, 63p.
- Cunha B.C., 1784. Ofício para Rodrigo José de Menezes. Lisboa, Portugal. Arquivo Histórico Ultramarino. Caixa 6. Doc. N. 11.664.
- Cunha, B.C. 1786. Ofício para Rodrigo José de Menezes. Arquivo Histórico Ultramarino. Caixa 64. Doc. N. 12.455. Lisboa, Portugal.
- Curvelo, W. S. 1958. Meteoritic Sulphides. Boletim do Museu Nacional, Rio de Janeiro, Nova Série Geologia, 27:23-47.
- Derby O.A., 1896. Estudo sobre o Meteorito Bendegó. Archivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro, 9:89-184.
- D'Orazio M., Folco L., 2003. Chemical analysis of iron meteorites by inductively coupled plasma-mass spectrometry. Geostandards Newsletter: The Journal of Geostandards and Geoanalysis. 27 (3): 215-225.

- Goltrant, O., Leroux, H., Doukhan, J.C., Cordier, P., 1992. Formation mechanisms of planar deformation features in naturally shocked quartz. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 74: 219-240.
- Howard E.C., 1802. 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. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A*, 92 (1): 168-212.
- Inda H.A.V., Souza A.G., Silva Filho A.A., Pires A.B., Portela A.C.P, Cavedon A.D., Sanchez B.A., Santos E.Z., Pereira F.S., Gonçalves J.C., Braga Neto L.F., Costa M.R.A., Damião R.N., Mossmann R., Oliveira V., 1976. Projeto rochas básicas e ultrabásicas de Euclides da Cunha. Relatório final. Rio de Janeiro, PROSPECT, SME-BA. 12 volumes.
- Kracher, A., Willis, J., Wasson, J.T., 1980. Chemical classification of iron meteorites: IX. A new group (IIF), revision of IAB and IIICD, and data on 57 additional irons. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 44: 773-787.
- Krot, A.N., Keil, K., Goodrich, C.A., Scott, R.D., Weissberg, N.K., 2006. Classification of meteorites. In: A.M. Davis (Ed.) *Meteorites, comets and planets, Treatise on Geochemistry*, Elsevier. 1: 83-128.
- Lahmeyer, L.F. 1938. Viagem pelo Brasil 1817-1820. Tradução brasileira de Spix, J.B. von, Martius, C.F.P. von, 1823. *Reise in brasilien auf befehl Sr. Majestat Maximilian Joseph I, Konigs Von Baiern, in den jahren 1817 bis 1820 gemacht und beschrieben*. Munchen. M. Lindauer. Edições Melhoramentos. 2ª Ed. São Paulo. 3v. 412p.
- Mascarenhas, J.F., 1979. Evolução Geotectônica do Pré-Cambriano do Estado da Bahia. In: H.A.V. Inda (ed.) *Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia. Textos Básicos*. Salvador-BA, SME/com, 2: 57-165.
- Mason, B., 1962. *Meteorites*. John Willey Inc. New York. 274p.
- McCall, G.J.H., Bowden, A.J., Howarth, R.J., (Eds.) 2005. *The History of Meteoritics and Key Meteorite Collections: Fireballs, Falls and Finds*. Geological Society, London, Special Publications. 256p.
- Menezes R.J., 1784. Ofício para Martinho de Mello e Castro. Lisboa, Portugal. Arquivo Histórico Ultramarino. Caixa 6. Doc. N. 11.663.
- Menezes R.J., 1787. Ofício para Martinho de Mello e Castro. Lisboa, Portugal. Arquivo Histórico Ultramarino. Caixa 64. Doc. N. 12.454.

- Mornay A.F., 1816. An Account of the Discovery of a Mass of Native Iron in Brazil (Bendego). *Philosophical Transactions* 106: 270-280.
- Olsen, E. 1964. Some Calculations Concerning the Effect of Nickel on the Stability of Cohenite in Meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 28:609-617.
- Partsch, P. 1843. Die Meteoriten oder von Himmel gefallenen Steine und Eisenmassen in K. Hof-Mineralien-Kabinete zu Wien, 162 pp.
- Pedreira, J., Costa F.D., 2008. D. João VI – Um Príncipe entre Dois Continentes. Companhia das Letras, São Paulo, 508p.
- Perry, S. H. 1944. The Metallography of Meteoric Iron. U. S. National Museum Bulletin 184, 115 p.
- Reichenback K.L. von, 1857. Über die Rinden der Meteorsteine. *Annalen der Physik*. 104: 472-482.
- Reichenback, K.L. von, 1862. Über die näheren Bestandtheile des Meteoreisens. *Annalen der Physik und Chemie*. 115: 148-149 & 151.
- Rios D.C., Davis D.W., Conceição H., Davis, W.J., Rosa M.L.S., Dickin, A.P., 2009. Geologic evolution of the Serrinha nucleus granite-greenstone terrane (NE Bahia, Brazil) constrained by U-Pb single zircon geochronology. doi:10.1016/j.precamres.2008.10.001. *Precambrian Research*, 170: 175-201.
- Rios, D.C., 2002. Granitogênese no Núcleo Serrinha: Litogeoquímica e Geocronologia. Curso de Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal da Bahia. Tese de Doutorado. 238p.
- Rose G., 1864. Beschreibung und Eintheilung der Meteoriten auf Grund der Sammlung im mineralogischen Museum zu Berlin, 138 pp.
- Scott E.R.D., 1977. Composition, Mineralogy and Origin of Group IC Iron Meteorites. *Earth and Planetary Science Letters*, 37: 273-284.
- Scott E.R.D., Wasson J.T., 1976. Chemical classification of iron meteorites - VIII. Groups IC, IIE, IIIF and 97 other irons. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 40: 103-115.
- Story-Maskelyne, N. H., 1863a. Catalogue of the collection of meteorites, in the British Museum. 4 p.
- Story-Maskelyne, N.H., 1863b. On aeroliths and the fall of stones at Butsura, India. May 1861. *The American Journal of Science and Arts. Second Series*, XXXVI, November 1863, 64-76.

- Vidal, N. 1936. Meteoritos Brasileiros. Boletim do Museu Nacional, 12:91-109.
- Ward, H. A., 1892. Illustrated Descriptive Catalogue of Meteorites", Ward's Natural Science Establishment Rochester, New York, 75. 8 pp
- Wasson, J. T., Choi, B-G, Jerde, E. A., Ulf-Moller, F., 1998. Chemical classification of iron meteorites - XII. New members of the magmatic groups. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62: 715-724.
- Wasson, J.T., 1974. *Meteorites - Classification and Properties*. Springer, 316 p.
- Wasson, J.T., Huber, H. Malvin, D., 2007. Formation of IIAB iron meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71: 760-781.
- Wasson, J.T., Kallemeyn, G.W., 2002. The IAB iron-meteorite complex: A group, five subgroups, numerous grouplets, closely related, mainly formed by crystal segregation in rapidly cooling melts. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66 (13): 2445-2473.
- Wöhler, F. 1860. Neure Untersuchungen über die Bestandtheile dês Meteorsteines vom Capland. *Sitzber. Akad. Wiss. Wien. Math-naturw. Kl.* 41:565-567.
- Wollaston, W.H., 1816. Observations and experiments on the mass of native iron found in Brazil. *Philosophical Transactions* 106: 281-285.
- Wülfing, E.A. 1897. *Die Meteoriten in Sammlungen und ihre Literatur, nebst einem Versuch, den Tauschwerth der Meteoriten zu bestimmen*. Laupp'sche Verlagsbuchhandlung, Tübingen, 460 pp.

CAPÍTULO V
GEOQUÍMICA ISOTÓPICA E IDADE DE METEORITOS

CAPÍTULO V – GEOQUÍMICA ISOTÓPICA E A IDADE DOS METEORITOS

A geoquímica isotópica é uma importante ferramenta da petrologia moderna, sendo freqüentemente utilizada para datar rochas e eventos relacionados à evolução da Terra. A geocronologia, ou datação radiométrica considera o fato de que todas as rochas contêm traços de elementos radioativos de ocorrência natural. Isto se aplica também aos meteoritos e elementos pares tais como Re-Os, Sm-Nd, K-Ar, Rb-Sr, U-Pb e Lu-Hf têm sido utilizados com sucesso para datar tanto amostras terrestres como extraterrestres. Neste sentido, avanços crescentes tem ocorrido no campo da geoquímica de elementos altamente siderófilos (Pt, Pd, Ir, Os, Ru, Rh, Au, Re) e isto inclui os pares ^{187}Re - ^{187}Os e ^{190}Pt - ^{186}Os , especificamente aplicados nas pesquisas relacionadas com a história da Terra Primitiva, Meteoritos e da Lua. De forma geral, através da geocronologia de isótopos radioativos é possível determinar a idade dos meteoritos para três eventos distintos:

- (i) **Idade de Formação ou Cristalização:** seria o tempo de fragmentação da massa original ou o tempo de segregação ou cristalização, e está relacionada, portanto com a idade de formação dos meteoritos.
- (ii) **Idade de Exposição do Meteoróide:** relacionada ao tempo de permanência no espaço sideral até colidir com a Terra.
- (iii) **Idade Terrestre do Meteorito:** tempo decorrido desde a sua queda na superfície terrestre.

V.1 IDADE DE FORMAÇÃO VERSUS CRISTALIZAÇÃO

A idade de cristalização da maioria dos meteoritos supera a idade das rochas terrestres mais antigas. Por exemplo, um meteorito acondrito que caiu em Angra dos Reis, Rio de Janeiro, em 1869, teve sua idade de formação calculada em 4,56 Ga pelo método U-Pb (Amelin, 2008), superando o gnaiss de Acasta - Canadá (4,2 Ga), considerada a rocha terrestre mais antiga já reconhecida, em 0,36 Ga (Iizuka e al., 2006). Similarmente, os cristais de zircão herdados encontrados no Yilgarn Craton - Austrália (4,40 Ga), são 0,16 Ga mais novos (Wilde e al., 2001). Essa antiguidade torna os meteoritos fontes exclusivas de informações sobre os processos de acreção da poeira interestelar que originou o sistema solar.

De igual forma, meteoritos são fontes de informação sobre como e quando ocorreu a diferenciação dos astros parentais e respectivos processos de partição dos elementos, principalmente os calcófilos, siderófilos e litófilos.

Os sistemas ^{107}Pd - ^{107}Ag , ^{53}Mn - ^{53}Cr , ^{187}Re - ^{187}Os e ^{190}Pt - ^{186}Os , onde ambos os elementos são siderófilos, têm sido os mais utilizados para calcular a idade de cristalização do núcleo de planetóides, de onde possivelmente se originaram os meteoritos férreos, como o Bendegó.

Por sua vez, o sistema ^{182}Hf - ^{182}W , no qual um dos elementos é litófilo (Hf), e portanto permanece na porção silicática do magma após a segregação da parte metálica, gera uma particularidade no sistema, que o torna adequado para calcular a idade de formação do núcleo, em vez de sua idade de cristalização, eventos estes que podem estar separados por alguns milhões de anos, haja vista a lenta taxa de resfriamento do magma (Scherstén et al. 2006).

V.1.1 Idade de formação do meteorito Bendegó

Scherstén et al. (2006) calcularam pelo sistema ^{182}Hf - ^{182}W a idade de formação de 49 amostras provenientes de 30 diferentes meteoritos férreos, compreendendo os grupos IAB-IICD, IIE, IC, IIAB, IIIAB, IIIE, IIIF, IVA e IVB. O Grupo IC foi representado por seis amostras sendo duas (2) do meteorito Bendegó, três (3) do Arispe e uma (1) do Nocolche, todas fornecidas pelo Museu de História Natural de Londres. O mérito dessa pesquisa reside na quantidade de amostras analisadas e na precisão dos números apresentados, cuja margem de erro situa-se na faixa de 1 a 2 milhões de anos apenas, demonstrando que, em um mesmo grupo, as idades de formação variam muito pouco, evidenciando uma provável origem comum. Assim, as seis amostras dos três meteoritos que representam o grupo IC têm uma variação máxima de 1,8 Ma, sendo que as duas provenientes do meteorito Bendegó foram as mais antigas, com idades da ordem de 4,571 Ga (Tabela V.1). É importante frisar que, de acordo com esses dados, o meteorito Bendegó apresenta a segunda mais antiga idade de formação, dentre os 30 meteoritos analisados nessa pesquisa.

V.2 IDADE DE EXPOSIÇÃO CÓSMICA

As determinações da idade de exposição de meteoritos podem ser realizadas pela medição da concentração de alguns isótopos estáveis formados pelo processo denominado *Spallation*, resultante da ação dos raios cósmicos sobre a superfície e interior de massas que vagam pelo espaço sideral.

Tabela V.1. Idade de formação ^{182}Hf - ^{182}W para meteoritos do grupo IC (segundo Scherstén et al. 2006).

Meteorito	Milhões de Anos	Erro Estimado		Milhões de Anos		
		Mais	Menos	Mínimo	Máximo	Média
Arispe a2	4.570,1	1,4	1,3	4.568,8	4.571,5	4.570,2
Arispe B	4.570,2	1,4	1,3	4.568,9	4.571,6	4.570,3
Arispe a1	4.570,5	1,4	1,8	4.568,7	4.571,9	4.570,3
Nocoleche	4.570,6	1,5	1,7	4.568,9	4.572,1	4.570,5
Bendegó B	4.570,8	1,4	1,2	4.569,6	4.572,2	4.570,9
Bendegó A	4.571,9	1,3	2,0	4.569,9	4.573,2	4.571,6

Tabela V.2. Dados isotópicos Re-Os para o meteorito Bendegó (em ng/g - ppb).

Amostra	Re	Os	Ir	Ru	Pt	Pd	$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$	$^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$	Δ
1 Esquerda	11,05	102,7	204,2	8592	9497	2233	0,13630	0,5191	1,1
2 Topo	10,44	99,1	200,2	7441	9158	1992	0,13540	0,5083	0,4
3 Base	10,96	103,5	206,2	7761	8211	2103	0,13573	0,5104	2,2
4 Atrás	12,33	114,2	230,8	9361	10290	2486	0,13580	0,5204	-5,0
5 Direita	10,86	102,6	203,0	8459	9039	2142	0,13588	0,5108	3,4
6 Frente	11,02	103,0	204,8	8699	10413	2190	0,13648	0,5161	5,3
7 (sem local definido)	11,44	105,0	211,0	8874	10350	2076	0,13659	0,5256	-1,1

Abaixo, valores Normalizados por Orgueil (C1)

Amostra	Re	Os	Ir	Ru	Pt	Pd
Orgueil (C1)	38,31	458,51	455,55	649,60	859,16	562,92
1 Esquerda	0,2884	0,2239	0,4482	13,23	11,050	3,966
2 Topo	0,2726	0,2161	0,4396	11,45	10,660	3,538
3 Base	0,2860	0,2258	0,4526	11,95	9,557	3,736
4 Atrás	0,3217	0,2491	0,5066	14,41	11,980	4,417
5 Direita	0,2836	0,2172	0,4455	13,02	10,520	3,805
6 Frente	0,2876	0,2238	0,4496	13,39	12,120	3,891
7 (sem local definido)	0,2987	0,2291	0,4632	13,66	12,050	3,688

Com isto, os meteoritos oferecem também oportunidade única para os cientistas estudarem os efeitos dos raios cósmicos e do vento solar sobre a estrutura dos átomos de determinados elementos, examinando isótopos formados em resposta a colisões de partículas de alta energia com o meteoróide, enquanto ele orbitava o Sol. Nessa linha de estudo calcula-se a idade de exposição cósmica dos meteoritos, o que permite deduções sobre as condições da radioatividade e do magnetismo reinantes no espaço durante suas peregrinações.

No espaço, os meteoróides estão sob um constante bombardeio de raios cósmicos provenientes da Via Láctea e de outras galáxias. Essas radiações são predominantemente compostos de prótons, nêutrons e partículas alfa, e sua energia é da ordem de 100 MeV (mega-eletron volts) a 10 GeV (Giga-eletron volts). Essa energia se traduz em velocidades entre 43% e 99% da velocidade da luz, (Mewaldt, 1996). A interação dos raios cósmicos com os átomos da massa do meteoróide produz núclídeos radioativos através de dois processos distintos (Jull, 2006):

(i) *spallation*: resultado da desintegração do núcleo de um átomo devido a uma colisão com partículas dos raios cósmicos;

(ii) reações de captura de nêutrons.

Essa irradiação produz uma segunda onda de partículas, nêutrons em sua maioria, que continuam a interagir com a massa do meteoróide produzindo mais núclídeos radioativos. Esses dois processos são contínuos, começando quando o meteoróide é exposto aos raios cósmicos, logo após ter se fragmentado em razão de impactos, e só terminam quando o meteoróide adentra a atmosfera da Terra.

A idade de exposição aos raios cósmicos (Cosmic - Ray Exposure, ou CRE) de um meteorito corresponde portanto, a esse período e pode ser calculada medindo-se as concentrações de determinados isótopos radioativos de meia-vidas curtas, a exemplo do ^{14}C , ^{59}Ni , ^{41}Ca , ^{81}Kr , ^{36}Cl , ^{26}Al , ^{10}Be , ^{53}Mn e ^{129}I , que resultaram dos processos desencadeados pelo bombardeio dos raios cósmicos. As equações para determinação da CRE levam em conta também as concentrações dos isótopos estáveis ^3He , ^{21}Ne , ^{38}Ar , ^{83}Kr e ^{126}Xe (Herzog, 2006).

V.2.1 Idade de exposição do meteorito Bendegó

Voshage e Feldmann (1978) calcularam a CRE de vários meteoritos férreos, inclusive do Bendegó, usando os sistemas $^{41}\text{K}/^{40}\text{K}$ e $^4\text{He}/^{21}\text{Ne}$, encontrando um valor da ordem de 940 ± 90 Ma. No mesmo estudo, outro membro do grupo IC, o meteorito Arispe, teve sua CRE calculada em 955 ± 90 Ma.

Lavielle et al. (1999) calcularam a CRE de 17 meteoritos, inclusive do Bendegó, usando os sistemas $^{36}\text{Cl}/^{36}\text{Ar}$, $^{26}\text{Al}/^{21}\text{Ne}$, $^{10}\text{Be}/^{21}\text{Ne}$ obtendo resultados consistentes entre os três métodos. Comparando-se esses resultados com a CRE obtida por Voshage e Feldman (1978) pelo sistema $^{41}\text{K}/^{40}\text{K}$, verificaram-se diferenças significativas. Lavielle e colaboradores (1999) atribuem essa diferença a um incremento na intensidade do fluxo de raios cósmicos nos últimos 100 Ma, o que aumentaria a produção de isótopos de meia-vida curta, mas não afetaria significativamente a produção de isótopos de meia-vida longa, tais como os utilizados no estudo de Voshage e Feldman (1978). Ainda segundo estes autores, a CRE do Bendegó para os diferentes sistemas seria: $^{36}\text{Cl}/^{36}\text{Ar}$, 329 ± 23 Ma, $^{26}\text{Al}/^{21}\text{Ne}$, 312 ± 17 Ma, $^{10}\text{Be}/^{21}\text{Ne}$, 349 ± 17 Ma.

A pesquisa de Lavielle et al. (1999) não é conclusiva quanto a CRE obtida para os 17 meteoritos analisados comparativamente aos números obtidos por Voshage e Feldman (1978). Na verdade o objetivo do estudo de Lavielle foi propor um novo método de calibragem para a taxa de produção de isótopos em massas meteoríticas metálicas sujeitas ao bombardeio de raios cósmicos. Bendegó é o único meteorito do grupo IC presente neste estudo, o que limita as considerações que podemos tirar destes resultados.

V.3 IDADE TERRESTRE

A medição da quantidade de isótopos que atingem nível de saturação enquanto uma massa permanece no espaço e que começam a decair ao cessar o bombardeamento de raios cósmicos, após a entrada da massa na atmosfera do nosso planeta, permitem a determinação da idade terrestre de meteoritos. Os principais isótopos utilizados para determinação dessa idade são: ^{39}Ar , ^{14}C e ^{36}Cl . O cálculo do tempo de residência de um meteorito na Terra, em essência, segue a mesma metodologia e princípios aplicados à obtenção da idade de exposição aos raios cósmicos, através da medição das concentrações de isótopos produzidos por *spallation* ou captura de nêutrons enquanto o meteoróide vaga pelo espaço: ^{14}C , ^{59}Ni , ^{41}Ca , ^{81}Kr , ^{36}Cl , ^{26}Al , ^{10}Be , ^{53}Mn , ^{129}I , ^{39}Ar , ^{41}Ca , ^{59}Ni e ^{60}Fe (Jull, 2005).

Além dos parâmetros usados nas equações para cálculo da CRE, tais como as taxas de produção e de decaimento dos isótopos produzidos pela ação dos raios cósmicos, o raio, e a massa do meteoróide, admite-se como premissa para estimativa da idade terrestre dos meteoritos um tempo suficientemente longo de exposição aos raios cósmicos, para que a produção de isótopos de meia-vida curta atinja o nível de saturação.

Na superfície terrestre o meteorito está protegido da ação dos raios cósmicos, cessando assim a produção de radionuclídeos cosmogênicos, ou seja, aqueles que foram criados até a entrada do meteoróide na atmosfera começam a decair. A idade terrestre resulta então da diferença entre a concentração de determinados isótopos antes e depois da queda do meteorito. Desses estudos também são derivadas informações sobre os efeitos do clima e da geologia local em relação à preservação dessas rochas extraterrestres, e calcula-se a taxa de prováveis quedas por determinada unidade de área e tempo (Jull 2005).

V.3.1 Idade terrestre do meteorito Bendegó

A idade terrestre do meteorito Bendegó foi estimada em 122 ± 27 mil anos (Lavielle et al. 1999). Outro estudo, realizado por McCorkell et al. (1968), obteve para o meteorito Hoba (um férreo do grupo IVB), um tempo de permanência na Terra de aproximadamente 80 mil anos. Coincidentemente os relatos do achado de ambos os meteoritos registram a existência de uma camada de óxido de ferro, com cerca de 30 cm de espessura, sob as respectivas massas. Análises posteriores de fragmentos desse óxido revelaram proporções de Fe e Ni similares às existentes nas massas principais (veja também tabela IV.4), demonstrando sua origem intempérica e sem a concorrência de processos de lixiviação (McCorkell et al. 1968).

V.4 SISTEMÁTICA ISOTÓPICA DO RÊNIO-ÓSMIO EM METEORITOS FÉRREOS

O sistema Re-Os é potencialmente o mais propício para datação de meteoritos de ferro, sendo eles metais de transição que integram o grupo da platina. O Rênio (Re) tem dois isótopos naturais: ^{187}Re (62,6%) e ^{185}Re (37,4%), e comporta-se como um elemento altamente siderófilo (HSE) e incompatível, preferindo a fase líquida. O Ósmio (Os) tem sete isótopos naturais: ^{184}Os (0,20%), ^{186}Os (1,6%), ^{187}Os (1,5%), ^{188}Os (13,29%), ^{189}Os (16,22%), ^{190}Os (26,38%), e ^{192}Os (40,98%), sendo um elemento calcófilo compatível, preferindo a fase sólida em processos de cristalização do manto, sendo retido nos resíduos. Esse comportamento tão desigual faz com que a crosta seja relativamente pobre em Os e rica em Re, e gera diferenças significativas entre as razões Re/Os encontradas no manto e na crosta, comparativamente às razões de outros pares de elementos radiogênicos.

Com isto, os isótopos ^{187}Re e ^{187}Os formam um sistema radiogênico da maior importância na investigação dos processos geoquímicos e geocronológicos. O ^{187}Re tem uma meia-vida de 41,6 Ga, decaindo para o ^{187}Os por emissão Beta e sob uma constante igual $1,666 \times 10^{-11} \text{ y}^{-1}$.

A descoberta do processo de ionização, na década de 1990, denominado *Negative Thermal Ionization Mass Spectrometry* (NTIMS), aumentou bastante a sensibilidade dos equipamentos de espectrometria de massa, o que levou ao aumento na precisão das medidas da composição dos isótopos e sua concentração. Essa técnica proporciona a produção de íons negativamente carregados OsO_3^- e ReO_4^- invertendo a polaridade do magneto dos espectrômetros de massa, permitindo obter resultados de alta precisão para as razões Re-Os.

V.4.1 O sistema Re-Os

Acredita-se que meteoritos férreos são massas de Fe-Ni, segregados a partir de silicatos condriticos durante os estágios iniciais de evolução do Sistema Solar. Os 14 distintos grupos de férreos presumivelmente formaram-se a partir de corpos parentais distintos (Kelly e Larimer 1977). O Bendegó pertence ao grupo IC, um dos 11 grupos de férreos ditos "magmáticos". De forma geral a ocorrência do Re e Os no manto e crosta terrestre é extremamente rara: Re = 390 pg/g (ppt) e Os = 50 pg/g (ppt). Nos meteoritos férreos, supostamente oriundos do núcleo de asteróides, a abundância desses elementos aumenta substancialmente: as concentrações de Re ficam entre 1284 e 3249 pg/g (ppt) e as de Os entre 15,553 e 48,367 ng/g (ppb).

A extração e purificação do Os e Re de amostras meteoríticas e terrestres exigem técnicas especiais com a diluição das amostras em H_2SO_4 ou HNO_3 , usando ampolas de vidro seladas (técnica de Carius e suas variações), aquecidas a 180-200°C. A extração do Os é feita através da adição de clorofórmio (CHCl_3) e posterior pipetagem da solução contendo OsO_4 . O Os assim obtido é purificado com HBr e micro-destilação com CrO_3 . O Re é extraído através de troca de anions em colunas de destilação com a resina AG1-X8 (100-200 mesh), e em seguida é purificado pela passagem através de uma segunda coluna de resina. Essas técnicas permitem extrair até 80% do Os e 70% do Re contidos nas amostras.

Os principais riscos de contaminação residem nas fases de corte e preparação das amostras, reagentes de qualidade duvidosa e concentração residual do Re em filamentos de Pt. A produção e calibração dos *spikes* exige também redobrada atenção haja vista as diminutas quantidades de Re e Os presentes nas amostras.

O carregamento dos filamento com o Re e Os extraídos é a fase seguinte da metodologia, levando-se em conta que filamentos de Pt possuem uma quantidade de Re alta que pode comprometer os resultados, sendo muitos vezes substituídos por filamentos de Ni.

Assim, desde os anos 90 pesquisadores tentam aplicar a técnica ao estudo de meteoritos férreos. Shen et al. (1996) utilizou 24 amostras de cinco grupos distintos de meteoritos de ferro (IAB, IIAB, IIIAB, IVA e IVB) para traçar uma isócrona clássica para estes cinco grupos, tomados conjuntamente, o que permitiu limitar a ocorrência do evento de fracionamento a $4,61 \pm 0,1$ Ga. Esse estudo registra incertezas na calibração do *spike* da ordem de 1,6% e de 3% no valor da constante de decaimento do ^{187}Re , resultando em uma incerteza geral de 4% para converter a inclinação da isócrona em idade de cristalização dos meteoritos analisados.

V.4.2 Geoquímica de siderófilos no Meteorito Bendegó

Neste trabalho analisou-se as concentrações elementais de siderófilos (Tabela V.2) e a razão isotópica Re-Os em 7 (sete) amostras coletadas de diferentes locais da massa principal do meteorito Bendegó (Fig. V-1). Utilizou-se um espectrômetro de massa indutivamente acoplado a um plasma Nu multi-coletor (MC ICP-MS) e um nebulizador Cetac Aridus™.

Os resultados obtidos foram comparados com os trabalhos já realizados em meteoritos férreos de outros grupos (Cook et al. 2004, Shen et al. 1996), visando avaliar a duração do processo de cristalização, fato essencial quando se deseja entender a história de resfriamento do corpo parental do meteorito. Os valores de Os (99 a 114 ppb) encontrados nas amostras de diferentes regiões do Bendegó permitem compará-lo aos férreos de baixo ósmio dos subgrupos IIB e IIIB (Cook et al. 2004).

A partir destes dados foram confeccionados diagramas multi-elementares plotando os elementos siderófilos analisados, normalizados pelo meteorito condritico Orgueil (CI), com padrões produzidos no Laboratório de Geoquímica Isotópica de Maryland para vários outros meteoritos férreos e palasitos. Estes padrões foram plotados (Fig. V.2 A a D) para comparação com os resultados do Bendegó (Fig. V.2.E), que apresenta uma distribuição única dentre os tipos férreos e palasitos já analisados.

As variações nas abundâncias dos elementos altamente siderófilos em Bendegó (Tabela V.2, Fig. V.2E) são tão insignificantes que inviabilizam o modelamento dos processos ígneos nesta suíte de amostras. Por outro lado, os dados nos dizem que, ao menos para este grupo de elementos analisados, a cristalização e o fracionamento da massa parental do Bendegó não gerou variações, ainda que modestas. Por outro lado, o *trend* Ni-Ir (Fig. IV.10 F) expõe a limitada variação dos teores de Ni nos meteoritos IC, o que é sugestivo de um fracionamento cristal-líquido dominado por processos de cristalização fracionada.

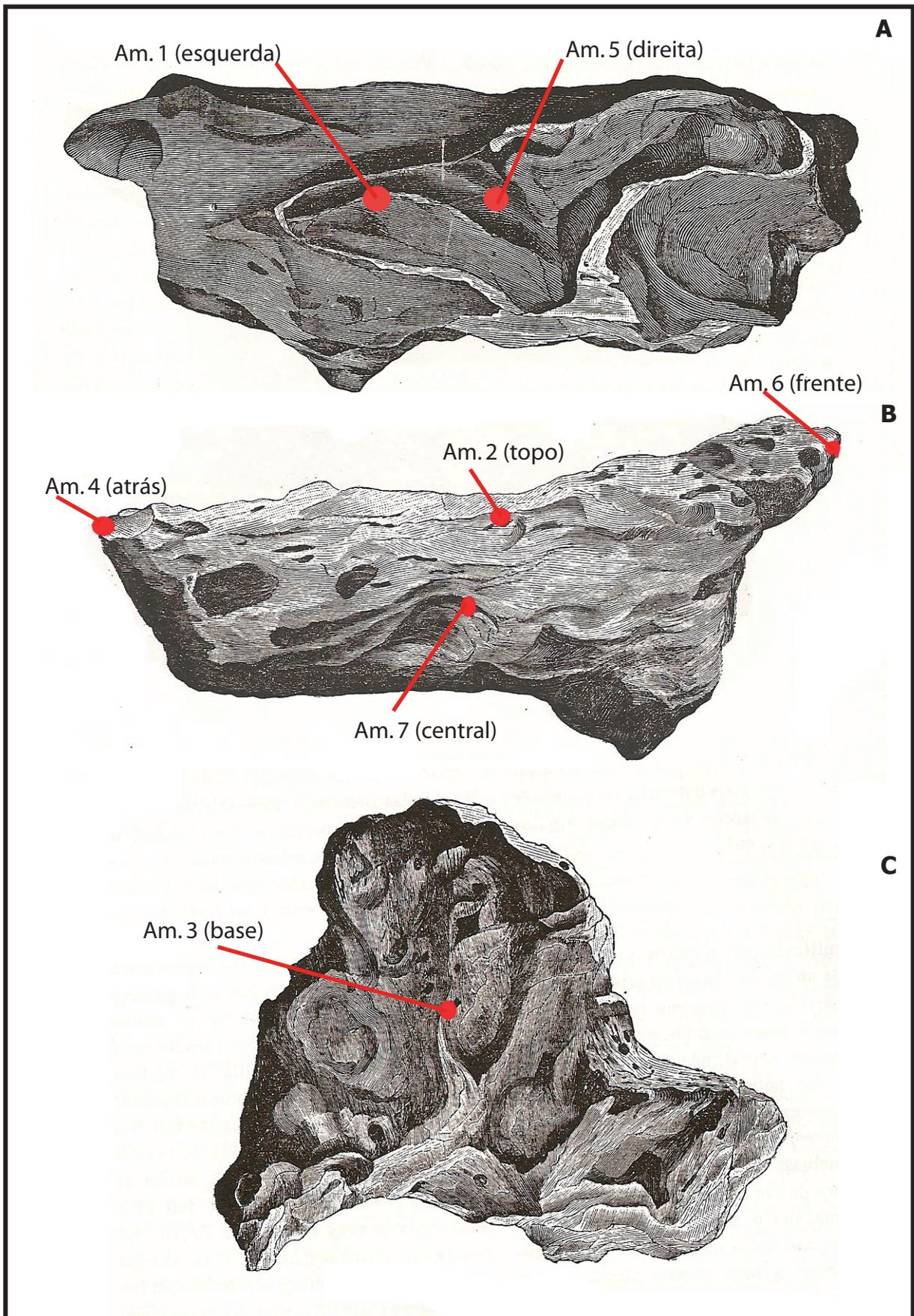


Figura V.1. Visões esquemáticas das diferentes faces do Meteorito Bendegó (após Derby 1896), localizando os pontos onde foram coletadas as amostras para o estudo Re-Os, numerados conforme na tabela V.2. (A) Visão do face frontal exposta ao observador que adentra o Museu Nacional, (B) Face de fundo, (C) Face inferior.

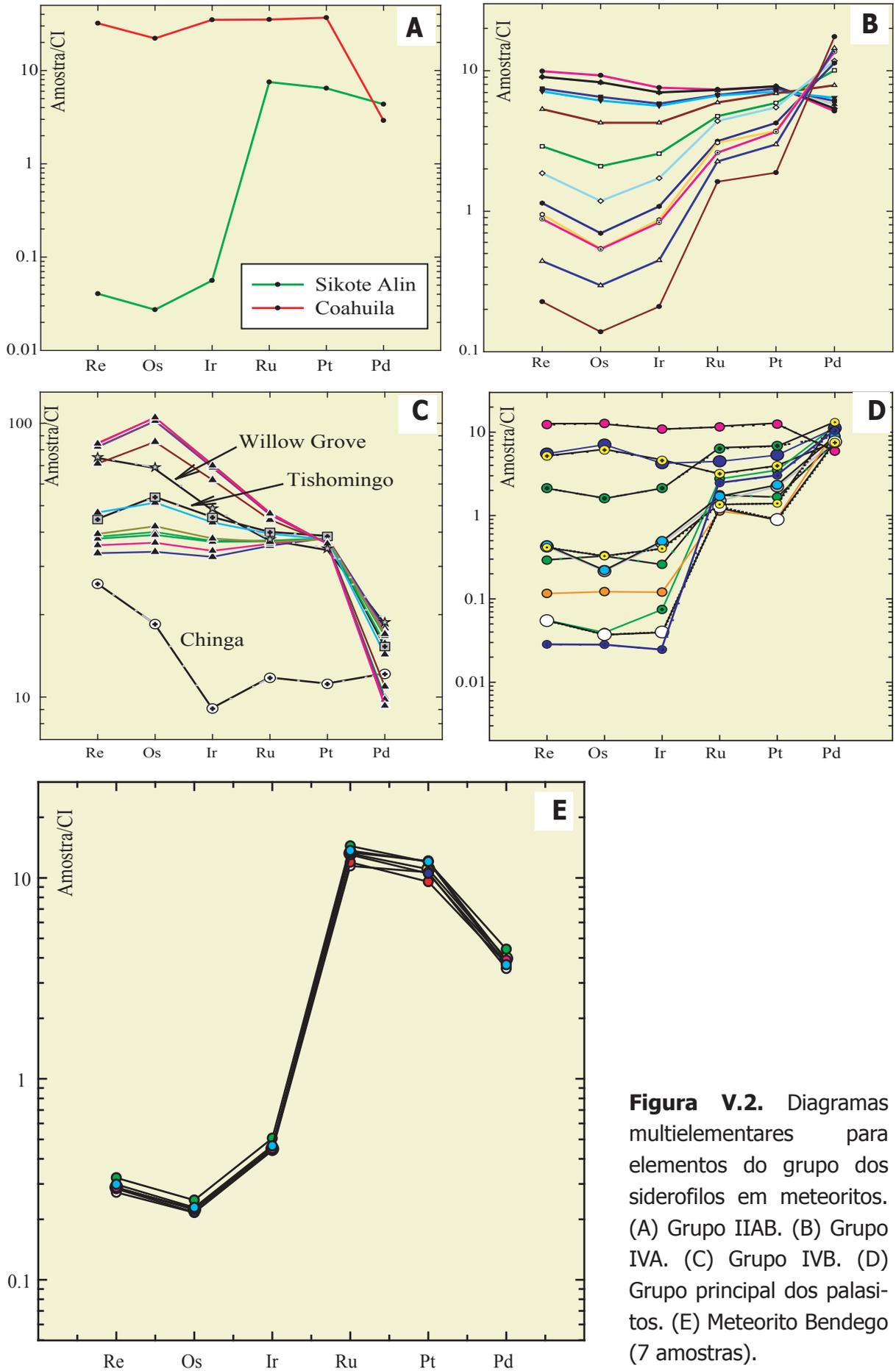


Figura V.2. Diagramas multielementares para elementos do grupo dos siderófilos em meteoritos. (A) Grupo IIAB. (B) Grupo IVA. (C) Grupo IVB. (D) Grupo principal dos palasitos. (E) Meteorito Bendego (7 amostras).

As variações na razão Re/Os, e consequentemente em $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ são muito pequenas. As amostras do Bendegó distribuem-se ao longo da isócrona típica dos meteoritos férreos. Todavia, devido a limitada variação na composição isotópica, é impossível estabelecer uma isócrona significativa apenas com base nas amostras deste meteorito. Vale ressaltar que o Bendegó pertence a um grupo raro, o IC, e não existem relatos na literatura de análises isotópicas Re-Os para meteoritos deste grupo. A dificuldade para se obter amostras de outros membros do grupo IC e a ausência de dados isotópicos publicados referentes às suas concentrações de Re-Os inviabilizaram a construção de uma isócrona que permitisse calcular a idade de formação do Bendegó através do método Re/Os e limitaram as conclusões. Espera-se poder dar continuidade a este estudo, gerando dados adicionais para outros férreos do grupo IC, de forma que possamos avaliar como esta distribuição dos elementos altamente siderófilos foi gerada, e se ela poderia, ou não, ser resultado de um precursor condrítico (Walker, R., comunicação pessoal).

CAPÍTULO VI
CONSIDERAÇÕES FINAIS

CAPÍTULO VI – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os trabalhos acadêmicos no Brasil sobre meteoritos são raros e em nossas universidades ainda não existem centros de estudos dedicados às rochas e fragmentos de ferro e níquel de origem cósmica. A pequena quantidade de meteoritos (57) que integram a coleção brasileira e a quase inexistente bibliografia em português são indícios de que o tema não tem merecido a devida atenção no ambiente universitário.

Tomemos como exemplo a quantidade de meteoritos coletados em Minas Gerais: são 19 (dezenove) exemplares, ou seja, 33% do total da coleção brasileira e mais de seis vezes a quantidade encontrada na Bahia e Rio Grande do Sul, cada um com cinco espécimes. É provável que esse desempenho de Minas Gerais deva-se à intensa atividade de mineração no Estado e à presença de garimpeiros e geólogos em proporções maiores que em outras unidades da Federação. Outro fator que reforça essa suposição é a existência há décadas de universidades no interior do Estado e um maior nível de conhecimento da população sobre minerais e rochas. No Brasil, de modo geral, as pessoas não têm sido informadas sobre a importância dos meteoritos, e tem conhecimentos muito limitados sobre a origem do Universo, do Sol, e de seus astros coadjuvantes.

O meteorito Bendegó é um excelente exemplo disto. Sua descoberta é um fato bem documentado, assim como as tentativas frustradas que objetivaram transportá-lo para Salvador em 1784 e 1785 (Anexo 2). Em 1811 já se suspeitava que aquela massa de Fe-Ni era um meteorito (Mornay, 1816), entretanto, apenas em 1816 foram publicadas suas primeiras análises químicas e estruturais realizadas na Inglaterra (Wollaston, 1816). A expedição de 1887/1888 (Carvalho, 1888) que levou esse meteorito para o Rio de Janeiro atendia ordens diretas do Imperador D. Pedro II que visavam cumprir recomendação de cientistas europeus a respeito da importância desse visitante extraterrestre. O sucesso da expedição e seus épicos trabalhos mereceram o reconhecimento do mundo científico do final do século XIX que culminaram com a exposição de uma réplica do meteorito, confeccionada em madeira, na Exposição Universal de Paris, de 1889. Apesar disto, mesmo no meio acadêmico, o Bendegó é pouco conhecido e pouco estudado.

Ao finalizar este trabalho de mestrado o autor acredita ter alcançado cinco objetivos básicos que se propôs desenvolver sobre o meteorito Bendegó, destacando-se as seguintes ações e resultados para cada um deles:

VI.1. REVISÃO HISTÓRICA E POPULARIZAÇÃO DO TEMA

A história do maior meteorito brasileiro foi resgatada e novos documentos históricos foram trazidos à luz, analisados e incluídos na dissertação. A divulgação da meteorítica no meio acadêmico e em instâncias mais populares contabilizou sucessos, a exemplo do Programa de Recuperação, Identificação e Registro de Meteoritos – PROMETE, apoiado pela FAPESB e implantado no Departamento de Geoquímica do Instituto de Geociências da UFBA; a apresentação e publicação de trabalhos do autor em congressos e simpósios de Geologia e encontros de Astronomia nos anos de 2007, 2008 e 2009 (Anexos 3.1 a 3.6); a realização de exposição específica sobre meteoritos em um shopping center de Salvador durante a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia em 2009; e a criação e impressão de uma cartilha em quadrinhos (Anexo 3.7) intitulada “Bendegó, um Visitante do Espaço.” Esses esforços de divulgação da meteorítica vieram comprovar uma grande carência por parte da população baiana sobre o tema e a necessidade de se ampliar as ações voltadas para a popularização da ciência, em especial a divulgação de informações sobre os meteoritos.

VI.2. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DO LOCAL DO ACHADO

Através de três missões de campo e estudo dos mapas geológicos da área constatou-se que o local do achado está localizado em terrenos arqueanos, gnáissicos-migmatíticos do Complexo Metamórfico Uauá (CMU), na porção Norte do Núcleo Serrinha. Nesta área o embasamento é formado por rochas do pré-cambriano médio/inferior, da unidade inferior do CMU, predominando os gnaisses bandados, com xistosidade bem desenvolvida e orientação NNW-SSE (Inda et al. 1976, Rios et al. 2009). O local do achado do meteorito Bendegó também foi caracterizado geograficamente, disponibilizando-se nesta dissertação um mapa de localização e acessos.

VI.3. REVISÃO DA PETROLOGIA E GEOQUÍMICA DO BENDEGÓ

Foi realizada uma abrangente revisão dos trabalhos publicados entre 1896 e 2009 sobre o meteorito Bendegó, destacando-se os estudos de Derby (1896), Buchwald (1975) e Scott (1977), voltados para análises petrográficas e geoquímicas. Complementarmente, foram feitas novas análises químicas através de ICP-MS e INAA, além de novos estudos petrográficos da massa principal e de amostras do meteorito, constatando-se grande coerência entre os resultados apresentados em trabalhos prévios e os atuais.

Na mineralogia do Bendegó constatou-se o predomínio dos minerais Kamacita, Taenita e Plessita (ligas de Fe-Ni), figurando como acessórios a Troilita (FeS), os polimorfos Schreibersita e Rabdita ((Fe,Ni)₃P), a Coenita ((Fe,Ni,Co)₃C) e a Cromita (FeCr₂O₄). A análise do padrão Widmattaten do meteorito revelou lamelas de Kamacita com espessura média de 1,8 mm, típica do grupo estrutural Octaedrito Grosso. A microscopia eletrônica de varredura destacou linhas de Neumann bem definidas e sugestivas de deformação mecânica sofrida pelo meteorito em algum estágio de sua jornada cósmica.

As análises geoquímicas prévias e os resultados atuais apresentaram teores de Ni, Ga, Ge e Ir característicos dos meteoritos do Grupo IC, conforme classificação proposta por Scott (1977) para o meteorito Bendegó. Pela primeira vez, analisou-se através de INAA uma amostra do óxido de ferro resultante do intemperismo sofrido pelo meteorito, constatando-se a presença de Ni, Ir, Au e Co em teores menores que os encontrados na massa principal, porém suficientemente altos para sugerir que esse óxido de ferro é originário dela.

VI.4 AVALIAÇÃO DOS POSSÍVEIS EFEITOS DO IMPACTO

A geomorfologia da área estudada não apresenta indícios de formações circulares ou elípticas conforme observações levadas a efeito em três missões de campo e através de análises de fotografias de satélites.

Estudos petrográficos processados em 14 (quatorze) lâminas delgadas de amostras de rochas coletadas no local do achado não apresentaram formações planares de deformação (PDFs), geralmente associadas a impactos de grande intensidade.

Esses dois fatos, aliados à ausência de brechas e de rochas com sinais de fusão sugerem que o impacto do meteorito Bendegó não produziu cratera, entretanto, considerando-se o tempo decorrido entre a queda e o achado desse meteorito (122±27 ka, Lavielle et al., 1999) é possível que a massa tenha atingido uma cobertura sedimentar escavando-a até atingir o embasamento migmatítico-gnaíssico onde o corpo foi encontrado, deixando atrás de si um grande buraco, totalmente erodido no decorrer dos séculos.

Conforme visto no Capítulo II, embora a cratera produzida pela queda do meteorito Carancas em 2007 tenham evidenciado falhas nos atuais modelos construídos para avaliar a dinâmica da passagem de meteoróides pela atmosfera terrestre e deduzir os efeitos gerados pelos respectivos impactos, utilizamos o estudo de Collins et al. (2005) para simular duas situações possíveis para o meteorito Bendegó:

VI.4.1 Formação de cratera que foi erodida ao longo dos séculos

Segundo esse modelo, adotando-se como premissas uma massa de ferro-níquel com 3 m de diâmetro e uma velocidade de entrada equivalente a 13 km/s, não se fragmentaria durante sua passagem pela atmosfera se o ângulo de incidência fosse igual a 45°.

Nestas condições, esse corpo conservaria aproximadamente 50% de sua velocidade inicial e seu impacto em rochas cristalinas criaria uma cratera final com 125 m de diâmetro e 26 m de profundidade. O choque não produziria radiação térmica e as ondas sísmicas (2,4 na escala Richter) seriam imperceptíveis a uma distância de 1 km do ponto zero. Pouca ou nenhuma fusão ocorreria nas rochas impactadas, haja vista a redução de 50% da velocidade inicial do meteoróide, entretanto o choque seria suficientemente forte para fragmentar o alvo, criando uma camada de brechas com no máximo 12,3 m de espessura.

VI.4.2 Formação ou não de cratera(s)

As premissas adotadas para essa segunda hipótese, são as mesmas acima, alterando-se apenas o tipo de rocha impactada (sedimentar, em vez de cristalina) e a velocidade de entrada que passaria a ser 14 km/s.

O meteoróide se fragmentaria a uma altitude de 5.230 m, mantendo apenas 24% de sua velocidade inicial. Grandes fragmentos atingiriam a superfície podendo ou não criar "crateras" (provavelmente buracos) de diversos tamanhos dispostas em um campo elíptico (strewn field) e que podem ter sido completamente erodidas.

Relatos históricos sobre o achado do meteorito falam apenas de uma grande massa, não mencionando quaisquer outros fragmentos. Decorridos 226 anos desde o seu achado têm-se notícia de apenas dois pequenos pedaços pesando menos de 1 kg achados a cerca de 40 cm de profundidade por um caçador de meteoritos do Rio Grande do Sul, Sr. José María Monzôn, usando detectores de metal para varredura em volta do provável local do impacto.

Tendo em vista a ausência de indícios macro e microscópicos de formação de cratera e levando em conta que as simulações apontam para um choque a velocidade hipersônica, cuja energia seria suficiente para escavar a superfície de impacto, sugerimos a realização de estudos geofísicos no local do achado para verificar a existência ou não de indícios de deformações que possam estar gravadas no embasamento.

VI.5 ESTUDOS ISOTÓPICOS SOBRE O METEORITO BENDEGÓ

Pela primeira vez um meteorito férreo do Grupo IC foi analisado para determinação das concentrações e razões isotópicas dos elementos Re e Os. Esse estudo foi processado na Universidade de Maryland, Estados Unidos e seus resultados permitiram a elaboração de um diagrama representando as concentrações dos elementos siderófilos (Re, Os, Ir, Ru, Pt e Pd), normalizadas para o meteorito carbonáceo Ivuna, encontrados em sete amostras do meteorito Bendegó coletadas de diferentes partes da massa original.

Não foi possível construir uma isócrana que incluísse as concentrações de Re e Os do meteorito Bendegó haja vista dificuldades para se obter amostras de outros meteoritos do Grupo IC, todavia os dados isotópicos gerados para o maior representante desse grupo representa o primeiro passo em direção a estudos mais complexos quando houver disponibilidade de amostras de outros exemplares dessa família de meteoritos férreos.

VI.6 CONCLUSÕES

Ao propor o desenvolvimento desta dissertação o autor, que convive com o tema há mais de 20 anos, vislumbrava a sensibilização do corpo docente e discente do Instituto de Geociências da UFBA para a meteorítica, uma nova ciência estabelecida a partir dos estudos de material extraterrestre que atinge nosso planeta diariamente. Essa perspectiva foi plenamente preenchida ao longo dos últimos três anos, haja vista a criação, no Departamento de Geoquímica, de um programa para recuperação, identificação e registro de meteoritos conhecido pela sigla PROMETE e que conta com apoio financeiro da FAPESB. Graças ao PROMETE foi possível realizar uma grande exposição de rochas e fragmentos de ferro de origem espacial que aconteceu em um *shopping center* de Salvador, durante a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia de 2009 e imprimir uma cartilha educativa sobre meteoritos (anexo 3.7). O vivo interesse da população por esse evento e sua divulgação pelos jornais (anexo 1), televisões e rádios comprovaram a necessidade de ações que visem a popularização da ciência, como o PROMETE, fruto desse trabalho de mestrado, se propõe fazer. Esse trabalho propiciou também a divulgação da meteorítica através de painéis e apresentações orais no 44° Congresso Nacional de Geologia, 23° Simpósio de Geologia, 10°, 11° e 12° Encontro Nacional de Astronomia (anexo 3), além da participação do autor como instrutor de um curso de extensão sobre astronomia realizado pelo Instituto de Física da UFBA em 2007, 2008 e 2009.

CAPÍTULO VII
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPÍTULO VII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amelin, Y., 2008. U–Pb ages of angrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 72-1: 221-232.
- Becker H., Horan, M.F., Walker, R.J., Gao, S., Lorand J-P., Rudnick, R.L., 2006. Highly siderophile element composition of the Earth's primitive upper mantle: constraints from new data on peridotite massifs and xenoliths. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 70: 4528-4550.
- Beech, M., 2006. *Meteors and Meteorites: Origins and Observations*. Crowood Press Ltd. Malbrough-UK. 157 p.
- Beech, M., Steel, D., 1995. On the definition of the term "meteoroid". *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*. 36: 281-284.
- Biot, J.B. 1803. Relation d'un voyage fait dans le department de l'Orde pour constater la réalité d'un météoré observé à l'Aigle le six floréal an XI. Baudouin. Imprimeur de l'Institute National de France. Themidor An XI. Paris.
- Brand, P.A., 2001. Quantification of meteorites in fall rates from accumulation in deserts and meteorites accumulations on Mars. In: B. Peuker-Ehrenbrink and B. Schmitz (Eds.) *Accretion of extraterrestrial matter throughout Earth's history*. Kluwer, New York. pp. 267-303.
- Brezina, A., 1904. The arrangements of collections of meteorites. *Proceedings American philosophical society*, vol. XLIII no. 176.
- Buchwald V.F., 1975. *Handbook of iron meteorites: Their history, distribution, composition, and structure*. Berkeley, University of California Press. Vols. 1,2, 3.
- Carvalho J.C., 1888. Meteorito de Bendegó. Relatório apresentando ao Ministério da Agricultura, Comércio e Obras Públicas e à Sociedade Brasileira de Geografia do Rio de Janeiro, sobre a remoção do Meteorito de Bendegó do Sertão da Bahia para o Museu Nacional. Rio de Janeiro, Imprensa Oficial. 64p.
- Carvalho J.C., 1928. Meteorito de Bendegó. Histórico do meteorito de Bendegó, tentativas feitas para sua remoção do sertão da província da Bahia para o Museu Nacional. Rio de Janeiro. 125p.
- Carvalho W.P., 1995. Os meteoritos e a história do Bendegó. T.A. Comunicação. Salvador, Bahia. 100 p.

- Carvalho W.P., Zucolotto M.E., 2008. Dois novos meteoritos baianos aumentam a coleção brasileira para 57 exemplares. Anais do XI Encontro Nacional de Astronomia. Maceió-AL
- Chladni E.F.F., 1794. Über den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer ihr ähnlicher Eisenmassen, und über einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen. Riga and Leipzig: J.F.Hartknoch, 63p.
- Collins, G.S., Melosh, H.Jay, Marcus, R.A., 2005. Earth Impact Effects Program: A Web-based computer program for calculating the regional environmental consequences of a meteoroid impact on Earth. *Meteoritics & Planetary Science* 40, 6 : 817–840.
- Cook, D.L., Walker, R.J., Horan, M.F., Wasson, J.T., Morgan, J.W., 2004. Pt-Re-Os systematics of group IIAB and IIIAB iron meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 68: 1413-1431.
- Creaser, R.A., Papanastassiou, D.A., Wasserburg, G.J., 1991. Negative thermal ion mass spectrometry of osmium, rhenium and iridium. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 55: 397-401.
- Cunha B.C., 1784. Ofício para Rodrigo José de Menezes. Lisboa, Portugal. Arquivo Histórico Ultramarino. Caixa 6. Doc. N. 11.664.
- Cunha, B.C. 1786. Ofício para Rodrigo José de Menezes. Arquivo Histórico Ultramarino. Caixa 64. Doc. N. 12.455. Lisboa, Portugal.
- Curvelo, W. S. 1958. Meteoritic Sulphides. *Boletim do Museu Nacional, Rio de Janeiro, Nova Série Geologia*, 27:23-47.
- Derby, O.A., 1888. *Revista do Observatório Nacional.* 3.
- Derby, O.A., 1896. Estudo sobre o Meteorito Bendegó. *Archivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro*, 9:89-184.
- Dietz, R.S. e McHone, J., 1974. Kaaba Stone: Not a meteorite, probably an agate. *Meteoritics.* 9,2:173-179
- Dodd, R.T., 1986. *Thunderstones and shooting stars.* Haward University Press. Cambridge. 196 p.
- D'Orazio M., Folco L., 2003. Chemical analysis of iron meteorites by inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Geostandards Newsletter: The Journal of Geostandards and Geoanalysis.* 27 (3): 215-225.
- Earth Impact Database, 2006. <<http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/>> (Acessado em 21/dezembro/2009).
- Gledson, J. (Ed.), 1990. *Bons dias!* Ed. Hucitec / Unicamp. 132p.

- Goltrant, O., Leroux, H., Doukhan, J.C., Cordier, P., 1992. Formation mechanisms of planar deformation features in naturally shocked quartz. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 74: 219-240.
- Gomes, C.B., Keil, K., 1980. *Brazilian Stone Meteorites*. University of New Mexico Press. Albuquerque. 161p.
- Grady, M.M., 2000. *Catalogue of Meteorites*. Cambridge University Press, London, 5th edition. 689p.
- Haack, H., McCoy, T.J., 2005. Iron and stony-iron meteorites. In: A.M. Davis (Ed.) *Meteorites, comets and planets, Treatise on Geochemistry*, Elsevier. 1: 325-345.
- Halliday, I., 2001. The present day flux of meteorites to the Earth. In: B. Peucker-Ehrenbrink and B. Schmitz (Eds.) *Accretion of extraterrestrial matter throughout Earth's history*. Kluwer, New York. pp. 305-318.
- Halliday, I., Blackwell, A.T., Griffin, A.A., 1989. The flux of meteorites on the Earth's surface. *Meteoritics*. 24: 173-178.
- Heide, F., 1964. *Meteorites*. University of Chicago Press. 144p.
- Herzog, G. F., 2006. Cosmic-ray Exposure Ages of Meteorites. In A.M. Davis (Ed.) *Meteorites, comets and planets, Treatise on Geochemistry*, Elsevier. 1: 347-380.
- Howard E.C., 1802. 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. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A*, 92 (1): 168-212.
- Iizuka, T., Horie, K., Komiya, T., Maruyama, S., Hirata, T., Hidaka, H. e Windley. B. F., 2006. 4.2 Ga zircon xenocryst in an Acasta gneiss from northwestern Canada: Evidence for early continental crust. *Geology*; 34-4; 245-248.
- Inda H.A.V., Souza A.G., Silva Filho A.A., Pires A.B., Portela A.C.P, Cavedon A.D., Sanchez B.A., Santos E.Z., Pereira F.S., Gonçalves J.C., Braga Neto L.F., Costa M.R.A., Damião R.N., Mossmann R., Oliveira V., 1976. *Projeto rochas básicas e ultrabásicas de Euclides da Cunha. Relatório final*. Rio de Janeiro, PROSPECT, SME-BA. 12 volumes.
- Jull, A. J. T., 2006. Terrestrial Age of Meteorites. In McSween, Harry Y.; McSween, H. Y., Jr.; Binzel, Richard P. (Ed). *Meteorites And the Early Solar System II*. Univ of Arizona Press. 889-905.
- Kahn, A. R., 1938. On the meteorite origin of the Black Stone of the Kaaba. *Popular Astronomy* 46:403-407.

- Kelly, W.R et Larimer, J.W., 1977. Chemical fractionation in meteorites 8. Iron-meteorites and cosmochemical history of metal phase. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 41: 93-111.
- Kenkmann, T., Artemieva, N.A., Wünnemann, K., Poelchau, M.H., Elbeshausen, D., Nuñez Del Prado, H., 2009. The Carancas meteorite impact crater, Peru: geologic surveying and modeling of crater formation and atmospheric passage *Meteoritics and Planetary Science*, 44 (7): 985-1000.
- Kracher, A., Willis, J., Wasson, J.T., 1980. Chemical classification of iron meteorites: IX. A new group (IIF), revision of IAB and IIICD, and data on 57 additional irons. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 44: 773-787.
- Krot, A.N., Keil, K., Goodrich, C.A., Scott, R.D., Weissberg, N.K., 2005. Classification of meteorites. In: A.M. Davis (Ed.) *Meteorites, comets and planets, Treatise on Geochemistry*, Elsevier. 1: 83-128.
- Lahmeyer, L.F. 1938. *Viagem pelo Brasil 1817-1820, tradução brasileira de Spix, J.B. von, Martius, C.F.P. von, 1823. Reise in brasilien auf befehl Sr. Majestat Maximilian Joseph I, Königs Von Baiern, in den jahren 1817 bis 1820 gemacht und beschrieben. Munchen. M. Lindauer. Edições Melhoramentos, 2 Edição, São Paulo, 3v. 412p.*
- Lavielle, B., Marti, K., Jeannot, J.-P., Nishizumi, K. e Caffee, M. 1999. The Cl-Ar-K-K records and cosmic ray production rates in iron meteorites. *Earth and Planetary Science Letters*, 170: 93-104.
- Lovering, J.F., Nichiporuk, W., Chodos, A. and Brown, H., 1957. The distribution of gallium, germanium, cobalt, chromium, and copper in iron and stony-iron meteorites in relation to nickel content and structure. *Geochim. Cosmochim. Acta* 11:263-278.
- Malvin, D.J., Wang, D., Wasson, J.T., 1984. Chemical classification of iron meteorites: X. Multielement studies of 43 irons, resolution of group-IIIE from group IIIAB and evaluation of Cu as a taxonomic parameter. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48: 785-804.
- Mascarenhas, J.F., 1979. Evolução Geotectônica do Pré-Cambriano do Estado da Bahia. In: H.A.V. Inda (ed.) *Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia. Textos Básicos*. Salvador-BA, SME/com, 2: 57-165.
- Mashchak, M.S. e Naumov, M.V., 1996. The Suavjarvi Structure: an early proterozoic impact site on the Fennoscandian shield. 27th Lunar and Planetary Science Conference 1996: 825-826.

- Mason, B., 1962. Meteorites. John Willey Inc. New York. 274p.
- McCall, G.J.H., Bowden, A.J., Howarth, R.J., (Eds.) 2005. The History of Meteoritics and Key Meteorite Collections: Fireballs, Falls and Finds. Geological Society, London, Special Publications. 256p.
- McCorkell, R. H., Fireman, E. L., D'Amico, J. e Thonsom, S. O., 1968. Radioactive Isotopes in Hoba West and Other Iron Meteorites. Meteoritics 4-2: 113-122
- Menezes R.J., 1784. Ofício para Martinho de Mello e Castro. Lisboa, Portugal. Arquivo Histórico Ultramarino. Caixa 6. Doc. N. 11.663.
- Menezes R.J., 1787. Ofício para Martinho de Mello e Castro. Lisboa, Portugal. Arquivo Histórico Ultramarino. Caixa 64. Doc. N. 12.454.
- Meunier, S., 1909. Guide dans La collection des meteorites avec le catalogue des chutes représentées au Muséum. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. 58 p.
- Mewaldt, R.A., 1996. Cosmic Rays. MacMillan Encyclopedia of Physics, J. S. Rigden Editor in Chief, MacMillan, New York 1996.
- Mornay A.F., 1816. An Account of the Discovery of a Mass of Native Iron in Brazil (Bendego). Philosophical Transactions 106: 270-280.
- Norton, O.R., 1994. Rocks from Space, Meteorites and Meteorites Hunters; illustrated by Dorothy S. Norton. Mountain Press Publishing Company, Missoula, Montana, Usa. 449 p.
- Norton, O.R., et Chtiwood, L.A., 2008. Field Guide to Meteors and Meteorites. Springer. London. 287 p.
- Oliveira, E., 1931. Catálogo de meteoritos do Museu Nacional. Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil e Escola de Minas. Anais da Academia Brasileira de Ciências. 3: 33.
- Olsen, E. 1964. Some Calculations Concerning the Effect of Nickel on the Stability of Cohenite in Meteorites. Geochimica et Cosmochimica Acta, 28:609-617.
- Partsch, P. 1843. Die Meteoriten oder von Himmel gefallenen Steine und Eisenmassen in K. Hof-Mineralien-Kabinete zu Wien, 162 pp.
- Pedreira, J., Costa F.D., 2008. D. João VI – Um Príncipe entre Dois Continentes. Companhia das Letras, São Paulo, 508p.
- Perry, S. H. 1944. The Metallography of Meteoric Iron. U. S. National Museum Bulletin 184, 115 p.
- Prior, G. T., 1920. The Classification of Meteorites. Mineralogical Magazine. 19:51-63

- Prior, G.T., 1953. Catalogue of Meteorites. 2nd Revised Edit. By M.M. Hay, British Museum (Nat. Hist.), London, 173.
- Rehkämper, M., Halliday, A.N., 1997. Development and application of new ion-exchange techniques for the separation of the platinum group and other siderophile elements from geological samples. *Talanta*. 44: 663-672.
- Reichenback K.L. von, 1857. Über die Rinden der Meteorsteine. *Annalen der Physik*. 104: 472-482.
- Reichenback, K.L. von, 1861. Über das innere Gefüge der nähren Bestandtheile des Meteoreisens. *Annalen der Physik*, 114: 99-132, 250-274, 477-491.
- Reichenback, K.L. von, 1862. Über die näheren Bestandtheile des Meteoreisens. *Annalen der Physik und Chemie*. 115: 148-149 & 151.
- Rios D.C., Davis D.W., Conceição H., Davis, W.J., Rosa M.L.S., Dickin, A.P., 2009. Geologic evolution of the Serrinha nucleus granite-greenstone terrane (NE Bahia, Brazil) constrained by U-Pb single zircon geochronology. *Precambrian Research*, 170: 175-201.
- Rios, D. C., 2002. Granitogênese no Núcleo Serrinha, Bahia, Brasil: Geocronologia e Litogeoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Tese de Doutorado. 238p.
- Rose G., 1864. Beschreibung und Eintheilung der Meteoriten auf Grund der Sammlung im mineralogischen Museum zu Berlin, 138 pp.
- Schaudy, R., Wasson, J.T., Buchwald, V.F., 1972. The chemical classification of iron meteorites: VI. A reinvestigation of irons with Ge concentrations lower than 1 ppm. *Icarus*. 17: 174-192.
- Scherstén, A., Elliott T., Hawkesworth C., Russell S. e Masarik, J., 2006. Hf-W evidence for rapid differentiation of iron meteorite parent bodies. *Earth and Planetary Science Letters*, 241: 530-542
- Schmitz, B. e Tassinari, M., 2001. Fossil Meteorites. In: Bernhard Peucker-Ehrenbrink and Birger Schmitz (Ed.) *Accretion of extraterrestrial matter throughout earth's history*. Kluwer Academic/Plenum Publisher. New York. 1:319-332.
- Schmitz, B. e Tassinari, M., 2001. Fossil Meteorites. In: Bernhard Peucker-Ehrenbrink and Birger Schmitz (Ed.) *Accretion of extraterrestrial matter throughout earth's history*. Kluwer Academic/Plenum Publisher. New York. 1:319-332

- Scott E.R.D., 1977. Composition, Mineralogy and Origin of Group IC Iron Meteorites. *Earth and Planetary Science Letters*, 37: 273-284.
- Scott E.R.D., Wasson J.T., 1976. Chemical classification of iron meteorites - VIII. Groups IC, IIE, IIIF and 97 other irons. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 40: 103-115.
- Scott E.R.D., Wasson J.T., Buchwald, V.F., 1973. Chemical classification of iron meteorites - VII. A reinvestigation of irons with germanium concentrations between 25 and 80 ppm. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 37: 1957-1983.
- Shen, J.J., Papanastassiou, D.A. et Wasserburg, G.J., 1996. Precise Re-Os determinations and systematics of iron meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60, 15, 2887-2900
- Shirey, S.B., Walker, R.J., 1995. Carius tube digestion for low blank rhenium-osmium analysis. *Anal. Chem.*, 67: 2136-2141.
- Silva, S.D., 2010. O pedaço de outro mundo que caiu na Terra. As formações discursivas acerca do meteorito de Bendegó do Museu Nacional. Dissertação (Mestrado em Museologia e Patrimônio) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro/Museu de Astronomia e Ciências Afins/Programa de Pós-Graduação em Museologia e Patrimônio. Rio de Janeiro. 147p.
- Spix, J.B. von, Martius, C.F.P. von, 1823. *Reise in brasilien auf befehl Sr. Majestat Maximilian Joseph I, Königs Von Baiern, in den jahren 1817 bis 1820 gemacht und beschrieben*. Traduzido por Lahmeyer, L.F. 1938. *Viagem pelo Brasil 1817-1820, tradução brasileira de Munchen*. M. Lindauer. Edições Melhoramentos, 2 Edição, São Paulo, 3v. 412p.
- Story-Maskelyne, N.H., 1870. On the Mineral Constituents of Meteorites. *Proceedings of the Royal Society of London*.18:146-157
- Story-Maskelyne, N.H., 1863a. Catalogue of the collection of meteorites, in the British Museum. 4 p.
- Story-Maskelyne, N.H., 1863b. On aeroliths and the fall of stones at Butsura, India, May 1861. *The American Journal of Science and Arts, Second Series*, XXXVI, November 1863, 64-76.
- Tancredi, G., Ishitsuka, J., Schultz, P. H., Harris, R. S., Brown, P., Revelle, D. O., Antier, K., Le Pichon, A., Rosales, D., Vidal, E., Varela, M. E., Sánchez, L., Benavente, S., Bojorquez, J., Cabezas, D., Dalmau, A., 2009. A meteorite crater on Earth formed on September 15, 2007: The Carancas hypervelocity impact. *Meteoritics & Planetary Science*. 44 (12): 1967-1984.

- Tschermak, G., 1883. Beitrag zur Classification der Meteoriten. Sitzber. Akad. Wiss. Wien. Math-Noturw. Kl; Abs I, 88:347-371
- Vidal, N. 1936. Meteoritos Brasileiros. Boletim do Museu Nacional, 12: 91-109.
- Voshage, H. e Feldmann, H., 1978. Investigations on cosmic-ray-produced nuclides in iron meteorites, 2. New results on $^{41}\text{K}/^{40}\text{K}$ - $^4\text{H}/^{21}\text{Ne}$ exposure ages and the interpretation of age distributions. Earth and Planetary Science Letters, 40: 83-90.
- Ward, H. A., 1892. Illustrated Descriptive Catalogue of Meteorites", Ward's Natural Science Establishment Rochester, New York, 75. 8 pp
- Wasson, J.T., 1967. The chemical classification of iron meteorites: I. A study of iron meteorites with low concentrations of gallium and germanium. Geochim. Cosmochim. Acta. 31: 161-180.
- Wasson, J.T., 1969. The chemical classification of iron meteorites: III. Hexahedrites and other irons with germanium concentrations between 80 and 200 ppm. Geochim. Cosmochim. Acta. 33: 859-876.
- Wasson, J.T., 1970. The chemical classification of iron meteorites: IV. Irons with Ge concentrations greater than 190 ppm and other meteorites associated with group I. Icarus. 12: 407-423.
- Wasson, J.T., 1974. Meteorites - Classification and Properties. Springer, 316 p.
- Wasson, J.T., Choi, B-G, Jerde, E. A., Ulf-Moller, F., 1998. Chemical classification of iron meteorites - XII. New members of the magmatic groups. Geochimica et Cosmochimica Acta, 62: 715-724.
- Wasson, J.T., Huber, H. Malvin, D., 2007. Formation of IIAB iron meteorites. Geochimica et Cosmochimica Acta, 71: 760-781.
- Wasson, J.T., Kallemeyn, G.W., 2001. The IAB Iron-Meteorites: A Group, Three Subgroups and Two Subgrouplets, Mainly Formed by Melting and Mixing on One or More Carbonaceous Chondrite Asteroids. Meteoritics & Planetary Science, 36, Supplement, p.A220
- Wasson, J.T., Kallemeyn, G.W., 2002. The IAB iron-meteorite complex: A group, five subgroups, numerous grouplets, closely related, mainly formed by crystal segregation in rapidly cooling melts. Geochimica et Cosmochimica Acta, 66 (13): 2445-2473.
- Wasson, J.T., Kimberlin, J., 1967. The chemical classification of iron meteorites: II. Iron and pallasites with germanium concentrations between 8 and 100 ppm. Geochim. Cosmochim. Acta. 31: 2065-2093.

- Wasson, J.T., Ouyang, X.W., Wang, J.M., Jerde, E., 1989. Chemical classification of iron meteorites - XI. Multielement studies of 38 new irons and the high abundance of ungrouped irons from Antarctica. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53: 735-744.
- Wasson, J.T., Schaudy, R., 1971. The chemical classification of iron meteorites: V. Groups IIIC and IIID and other irons with germanium concentrations between 1 and 25 ppm. *Icarus*. 14: 59-70.
- Weisberg, M.K., McCoy T.J., Krot A.N., 2006. 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, 943 p.
- Wilde, S.A, Valley, J.W, Peck, W.H. and Graham, C.M., 2001. Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago. *Nature*, 409:175-178.
- Wöhler, F. 1860. Neure Untersuchungen über die Bestandtheile dês Meteorsteines vom Capland. *Sitzber. Akad. Wiss. Wien. Math-naturw. Kl.* 41:565-567.
- Wollaston, W. H., 1816. Observations and experiments on the mass of native iron found in Brazil. *Philosophical Transactions* 106: 281-285.
- Wülfing, E.A. 1897. Die Meteoriten in Sammlungen und ihre Literatur, nebst einem Versuch, den Tauschwerth der Meteoriten zu bestimmen. Laupp'sche Verlagsbuchhandlung, Tübingen, 460 pp.
- Zucolotto, M.E., Andrade, W.A., Klein, V.C., 2000. The meteorite collection of Museu Nacional - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brazil. *Meteoritics & Planetary Science*. 35: A185-A187.

ANEXO 1

ARTIGOS EM JORNAIS E REVISTAS

Transcrição do artigo publicado no jornal A Tarde, Salvador-Ba em 30-10-1990

Meteoros, Meteoritos e Estrelas Cadentes

Wilton Carvalho

Estrelas cadentes são aqueles traços luminosos que vemos no céu, em noites escuras. Para o homem do povo, aquela trilha de luz no céu é o rastro de uma estrela que está caindo. Para o cientista, é uma massa de ferro ou de pedra que vagava pelo espaço, foi atraída pela força da gravidade da Terra e está sendo consumida pelo calor do atrito gerado pela sua entrada na atmosfera do nosso planeta. Quando esses corpos sólidos são inteiramente consumidos pelo calor, nas camadas atmosféricas da Terra, são chamados de *meteoros*. Se eles têm uma massa suficientemente grande para conseguir chegar à superfície, então passam a chamar-se *meteoritos*.

A QUEDA

A queda de um meteorito é um espetáculo ao mesmo tempo bonito e ameaçador. Geralmente é acompanhada de zunidos, estrondos, explosões e manifestações luminosas variadas, tais como relâmpagos e bolas de fogo. Em 1954, de acordo com a revista Life, um fragmento de meteorito de 4,5 kg atravessou o teto de uma casa no Alabama, Estados Unidos, ferindo um homem. No dia 11 de novembro de 1883, os habitantes de Macau, no Rio Grande do Norte, presenciaram uma estranha chuva de pedras, a maioria do tamanho de um ovo de pomba. Pedras pesando até 40 quilos caíram sobre animais, matando-os. Na Sibéria, União Soviética, em 1908, um corpo celeste ao desintegrar-se próximo ao solo afetou uma área de 400 mil hectares e sua explosão foi ouvida há mais de 560 km de distância. O maior meteorito encontrado na Terra pesa 60 toneladas, é composto de ferro e níquel e pode ser visto na localidade de Hoba, na África. Muitos meteoritos chegam à Terra anualmente. Apenas 18 a 20 são encontrados. A maioria cai no oceano e em florestas tropicais, inabitadas. Os museus de todo o mundo dispõem de coleções para exposição e estudos. O Museu Nacional do Rio de Janeiro conta com uma coleção de 39 meteoritos achados em território brasileiro, sendo o *Bendegó*, encontrado aqui na Bahia, o maior e mais conhecido. Ele pesa 5.360 kg estando no 11º lugar, em peso, entre os meteoritos férreos conhecidos.

Existem três tipos de meteoritos, de acordo com sua composição: 1) os de ferro e níquel, cerca de 5,7% dos achados; 2) os de ferro e rocha, 1,5% dos espécimes encontrados e 3) os compostos exclusivamente de rocha que são os mais comuns, aproximadamente 92,8% de todas as quedas já estudadas.

“PEDRA ESTRANHA”

Os índios conheciam aquela “pedra estranha” há muitos anos e chamavam-na *cuitá*, que significa *pedaço de ferro caído*, segundo Afrânio Peixoto em seu livro Breviário da Bahia. Nome mais apropriado ninguém poderia dar àquele meteorito composto de 96% de ferro, 3% de níquel e 1% de outros elementos. O local onde foi achado fica há ouço mais de 180 metros do Riacho de Bendegó, distante 48 quilômetros da cidade de Monte Santo, no nordeste da Bahia. Próximo a esse lugar os índios pintaram em uma grande massa de granito sinais que se assemelham a uma estrela caindo.

Não se sabe quando a “Pedra do Bendegó” caiu. O primeiro registro de sua existência consta de uma comunicação que um morador da região, chamado Joaquim da Mota Botelho, fez ao governador da Bahia, D. Rodrigo José de Menezes, em 1784. Joaquim Botelho disse ao governador que estava procurando uma vaca que sumira de sua fazenda, tendo

encontrado uma “pedra estranha”, muito grande e pesada que parecia conter ouro e prata. Naquele tempo, como ainda hoje, corria no sertão de boca em boca a lenda das minas de prata do Moribeca, bandeirante baiano destemido que morreu em 1619, sem revelar seu segredo, temendo ser enganado pelos nobres que lhe prometeram o título de Marquês das Minas do Brasil para que ele mostrasse o local das miraculosas jazidas.

REMOÇÃO: PRIMEIRA TENTATIVA

Em 1785, o capitão-mor do Itapicuru recebeu ordens do governador para remover a “pedra” para Salvador. Esse capitão chamava-se Bernardo Carvalho da Cunha e fez tudo o que pôde para desincumbir-se daquela missão impossível: transportar uma massa de ferro pesando mais de cinco toneladas, por uma região seca e sem estradas. Em 1785, não existiam guindastes hidráulicos montados em caminhões que fazem do levantamento e transporte de objetos pesados uma tarefa fácil que um só homem executa. O nosso capitão só dispunha de carros-de-bois e da força muscular de homens e animais. Ele não desanimou. Mandou construir um carro-de-bois baixo e reforçado, juntou um batalhão de homens e uma centena de animais e partiu de Queimadas para o Riacho do Bendegó, onde a “pedra” jazia, enferrujando no tempo. O capitão-mor era engenhoso e planejou transportar o meteorito por terra até o Rio Vasa-Barris para utilizar essa via fluvial, na época das chuvas e fazer chegar sua preciosa carga até as proximidades do Porto de Aracaju, mais perto do que o de Salvador. Com seus homens, o capitão construiu uma calçada de pedras sobre o leito do Riacho do Bendegó para que o carro-de-bois não afundasse na areia. Não se sabe como, mas sem dúvida com muito suor, a “pedra” de 5.360 quilos foi colocada sobre o carro-de-bois que atrelado a 40 animais partiu guinchando, bem devagar. A missão começara bem, faltava porém, vencer o trecho mais difícil que era a travessia do leito do riacho, logo ali, a 180 metros de distância. O peso era grande e o declive na margem do riacho fez o carro ganhar velocidade. O veículo perdeu o controle, o calor gerado pelo atrito das rodas incendiou os eixos e a “Pedra do Bendegó” com carro e tudo encalhou na areia. O capitão-mor desistiu da missão, tirou algumas amostradas da “pedra” e as enviou ao governador com o relato do ocorrido.

ERA ENCANTADA

As amostras e o relatório do capitão-mor acabaram com a lenda de que a pedra continha prata e ouro, mas reforçaram a superstição de que a “pedra” era encantada e por isso recusara-se a deixar o sertão. O Bendegó ficou 102 anos lá, no leito do riacho do qual tomou o nome. Ilustres cientistas estrangeiros andaram muitas léguas no lombo de burro para ver e estudar aquela maravilha. Um inglês chamado Mornay esteve no local em 1810, a serviço do governador geral da Bahia, fazendo o reconhecimento oficial da “pedra” como um meteorito verdadeiro. Não perdeu a oportunidade e tirou uma amostra de mais de dois quilos que enviou ao museu de Londres. Em 1821 foi a vez dos naturalistas alemães Spix e Martius que também conseguiram retirar um pedaço de 3,6 quilos que se encontra no museu de Munique. O descobridor do meteorito, Joaquim da Mota Botelho, ainda era vivo e foi quem guiou esses três cientistas até o Riacho do Bendegó.

Graças ao seu enorme peso, o Bendegó inteiro não foi remetido para a Europa, a exemplo de um bloco de cobre puro, com cerca de 1.300 quilos, que foi encontrado em Cachoeira, trazendo marcas de ter atravessado a atmosfera terrestre e que foi remetido para Portugal em 1782, figurando, desde então, na coleção do Museu de História Natural de Lisboa. Os trabalhos para remoção definitiva da “Pedra do Bendegó” começaram em 1887. O então tenente da Marinha José Carlos de Carvalho, ofereceu-se para transportar o Bendegó do sertão da Bahia para o Museu Nacional no Rio de Janeiro. A Sociedade de Geografia aprovou a idéia e o Barão de Guaiá, deputado pela Bahia, financiou a expedição.

CARRETÃO ESPECIAL

O tenente José Carlos de Carvalho, que morreu como almirante, dispunha de melhores equipamentos do que o nosso capitão-mor Bernardo de Carvalho, que fora o primeiro a tentar remover o meteorito. A estrada de ferro Salvador-Juazeiro estava sendo construída e já alcançara Queimadas e Itiúba. Em Aramari, perto de Alagoinhas, existiam oficinas “modernas”, que tinham ordens o governo federal para atender qualquer requisição do tenente Carvalho. Ele próprio era um marujo treinado em lidar com cordas, cabos, alavancas, roldanas e macacos. Após arrancar o meteorito das areias do Bendegó e colocá-lo sobre uma pilha de dormentes, o chefe da expedição foi até as oficinas da estrada de ferro, com todas as medidas e planos no bolso da algibeira para mandar construir um carretão de madeira e ferro. O detalhe técnico mais importante desse carretão consistia num sistema de dois eixos com quatro rodas cada um. Externamente, havia quatro rodas grandes de madeira, tipo roda de carro-de-bois, e internamente quatro rodas de ferro, do tipo usado pelos vagões da estrada de ferro. Em terreno seco e consistente utilizavam-se as rodas de madeira e o carretão funcionava como um carro-de-bois comum. Em terrenos alagados ou arenosos e na travessia de córregos e depressões, o carretão transformava-se um troile e usava suas rodas de ferro para deslizar sobre trilhos de aço, sustentados por dormentes de madeira.

O transporte da Pedra do Bendegó começou em 25 de novembro de 1887, um dia nublado, segundo o relatório do tenente Carvalho. O sistema de trilhos foi utilizado para retirá-lo do riacho. A marcha até a estação do Jacurici durou 126 dias. A distância percorrida foi de 113,4 quilômetros, andando em média 900 m por dia. O chefe da expedição não conhecia o sertão da Bahia e escolheu o mês chuvoso de novembro para iniciar sua marcha. Os aguaceiros atrapalharam muito o seu trabalho. O meteorito caiu do carretão nada menos do que sete vezes, devido a acidentes causados principalmente pelas chuvas e rompimentos de cordas que serviam de freios na descida de ladeiras. Os eixos do carro, apesar de reforçados, também sucumbiram ao peso da “pedra” e partiram-se quatro vezes durante o trajeto. Ao saber dessas notícias os sertanejos coçavam a cabeça e resmungavam: “A pedra é encantada, não quer ir embora, não.” Finalmente, em 15 de maio de 1888, o meteorito foi embarcado em vagão na estrada de ferro e conduzido a Salvador, distante 368 km do local do embarque. De Salvador, o Bendegó seguiu de navio para o Rio de Janeiro, onde chegou em 2 junho.

FICOU A LENDA

O meteorito foi embora, mas lenda ficou. Erigiu-se no local de sua queda um marco de pedra e cimento, forma piramidal, tendo sido colocado em sua base uma caixa de ferro contendo uma ata dando conta do objetivo da missão, patrocinadores e data do início dos trabalhos para remoção do meteorito, isto é, 7 de setembro de 1887. Esse marco recebeu no nome de D. Pedro II, em homenagem ao imperador do Brasil.

Os sertanejos que não aprovaram a retirada de sua “pedra encantada” ficaram cada dia mais desconfiados. Acharam que levar a “pedra” contra sua vontade ainda ia trazer problemas para a região. Alguns anos após o meteorito ter sido removido, a seca castigou o sertão mais uma vez e o povo decidiu destruir logo o marco D. Pedro II a fim de restaurar a confiança de Deus e conseguir chuvas. Do pensamento à ação durou pouco tempo. Reuniram-se e investiram contra a “torre” como eles chamavam o marco com placas de bronze, louvando o imperador e a comissão de engenheiros. Desmantelaram-no todo e cavaram em sua base à procura de outra “pedra, irmã da que levaram”. Nada foi encontrado a não ser a ata lavrada em 7 de setembro de 1887. Sem saber ler, os sertanejos propagaram a outra lenda de que no papel encontrado estava escrito apenas as palavras “Jesus, Maria e José”.

Hoje, nada existe no local para assinalar onde caiu o mais importante meteorito do Brasil. Ninguém sabe por onde andam a ata e as placas de bronze colocadas pelo chefe da expedição que o removeu para o Rio de Janeiro. Subsistiu na região apenas a lenda de que existe outra pedra, irmã da que levaram e, quando for achada trará riqueza e prosperidade para aquela caatinga. Mais sorte do que o marco D. Pedro II teve seu irmão menor, o marco Barão de Guai, construído no povoado de Jacurici, município de Itiúba. Ele ainda está assinalando o lugar onde o Bendegó foi embarcado, em vagão da estrada de ferro, com destino a Salvador.

AJUDE A CIÊNCIA

Se você sabe de alguma "pedra" estranha com sinais de haver sido submetida a um grande calor, comunique-se conosco, que iremos até o local para verificar. Pode ser um meteorito. Escreva ou telefone para Caixa Postal 1.110, 40001, Salvador-BA, fone (071) 242-7813.

ARTIGO I

O dia em que a Bahia ficou sem o meteorito Bendegó

WILTON CARVALHO

Há 120 anos, no dia 1º de junho de 1888, o meteorito Bendegó deixava Salvador a bordo do vapor Arlindo com destino ao Rio de Janeiro. Esse fragmento de asteróide foi achado em 1784 no sertão da Bahia, nas terras hoje pertencentes ao município de Uauá. No tempo do Brasil colonial foram feitas várias tentativas para trazer o meteorito para Salvador a fim de ser enviado para Portugal.

Seus 5.360 quilos de ferro e níquel impossibilitaram essa tarefa durante um século. Finalmente, em 1888, cumprindo ordens do Imperador Dom Pedro II, uma comissão de engenheiros da Sociedade Brasileira de Geografia transportou o meteorito desde as margens do Riacho Bendegó até a Estação Ferroviária de Jacurici, município de Itiúba, seguindo-o em vagão aberto para percorrer 367 km de trilhos até Salvador.

POLÊMICA – Sua remoção do sertão da Bahia para a Corte, no Rio de Janeiro, contou com recursos do Barão de Guahí, um próspero banqueiro baiano. No mesmo dia em que o meteorito chegava à Estação Ferroviária da Calçada, o vereador Francisco Pires de Carvalho apresentou à Câmara, reunida em sessão ordinária, uma proposta para o meteorito permanecer em território baiano.

Essa proposta foi duramente criticada pelo vereador Antônio Euzébio, sendo em seguida derrotada pelo placar de 8x2. Pires de Carvalho não se calou e exigiu que constasse na ata: "Quero que saibam em todo tempo que houve um baiano que protestou contra essa extorsão e que lembrou um meio de impedi-la."

O vapor Arlindo com sua preciosa carga chegou ao Rio de

Janeiro em 15 de junho de 1888, onde foi festivamente recebida pela princesa Isabel. Na década de 1970 a Prefeitura de Monte Santo tentou trazer o meteorito de volta através de gestões junto à Presidência da República e ao Museu Nacional, do Rio de Janeiro.

Não conseguiu e a Bahia teve de se contentar com réplicas em gesso e em papel marché, atualmente expostas no Museu Geológico (Salvador), Museu do Sertão (Monte Santo) e Observatório Antares (Feira de Santana).

O meteorito Bendegó, uma massa de ferro-níquel pesando 5.360 kg foi encontrada na caatinga de Uauá-Monte Santo em 1784. Foram necessários quase seis meses para ser transportado através de picadas, lajedos, serras e vales do semi-árido baiano. A jornada foi tão árdua que exigiu 126 dias para percorrer apenas 113 km.

Os meteoritos são amostras de material extraterrestre que trazem informações sobre a origem do sistema solar. São fragmentos do núcleo, manto e crosta de asteróides que passaram por processos de diferenciação similares aos que ocorreram na Terra há 4,5 bilhões de anos. O meteorito Bendegó é o maior espécime da coleção de 55 exemplares achados ou caídos no Brasil.

Ele pertence a um raro grupo de meteoritos férreos caracterizados pelo baixo teor de níquel (6,1 a 6,8%). Além de ferro e níquel, o Bendegó tem diminutas concentrações de ouro, irídio, gálio, germânio, arsênio, cobalto, cobre, molibdênio, platina, tungstênio e muitos outros elementos químicos. No mundo inteiro já foram catalogados 984 massas de ferro de origem espacial.

Wilton Carvalho é mestrando em Geologia no Instituto de Geociências da Ufba

CIÊNCIA

Projeto ensina a 'caçar' meteoritos

No Ano Internacional da Astronomia, jovens são incentivados a ajudar na busca de material usado em pesquisa

Alexandre Gonçalves

Uma legião de jovens caçadores de meteoritos espalhada pelo País. Esse é o objetivo de um projeto lançado no Ano Internacional da Astronomia, que comemora os quatro séculos das primeiras observações telescópicas de Galileu Galilei. Folders foram distribuídos na Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA), realizada antecorrem em escolas de ensino fundamental e médio de todo o Brasil. O material ensina a diferenciar pedregulho de objetos que chegam do espaço.

"Os meteoritos são registros únicos da história do sistema solar", explica a astrônoma Maria Elizabeth Zucolotto, do Museu Nacional, no Rio. "São restos de planetas que já não existem ou não chegaram ao espaço. Revelam segredos sobre o núcleo dos astros – provavelmente, nunca chegaram ao núcleo da Terra – e dão pistas sobre a origem da vida. Há indícios de que substâncias importantes vieram cavilando no espaço em meteoroides", aponta Elizabeth. "Mesmo a água que existe no nosso planeta não deve ter se formado aqui."

Ela estuda o assunto há 30 anos e sabe como é difícil encontrar um meteorito. "Uma pessoa pode buscar a vida inteira e jamais topor com um", afirma. "Porisso, é tão importante para a ciência contar com milhares de olhos em todos os lugares."

No folder distribuído para os estudantes, Elizabeth pede que enviem amostras dos minerais suspeitos para seu laboratório.

Só 58 meteoritos foram registrados no País; nos EUA são 1.500

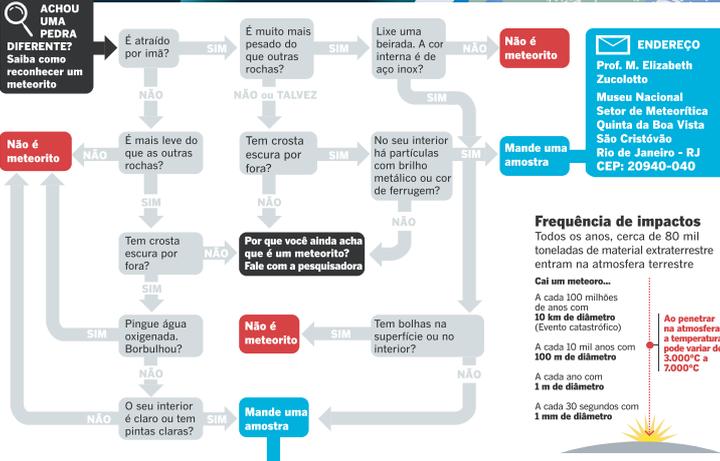
Cedo ou tarde, muitos meteoritos descobertos no País passam pelas mãos da astronomia. Ela analisa e cataloga os meteoritos brasileiros. "Até o fim do ano, teremos 60 registrados." Atualmente, são 58. No mundo inteiro, há mais de 36 mil, 70% deles achados na Antártida.

Nos Estados Unidos, foram encontrados cerca de 1.500. "O povo aqui não sabe o que fazer com os meteoritos", afirma Elizabeth.

Em Palmas de Monte Alto (BA), por exemplo, a 700 quilômetros de Salvador, um meteorito metálico de 97 quilos permaneceu mais de 50 anos entre duas estantes do grupo escolar Marcelino Neves. Em novembro de 2007, o objeto foi mostrado ao paleontólogo Douglas Riff Gonçalves, que enviou uma amostra para Elizabeth. Ela confirmou a descoberta. Uma carta escrita pelo padre José Dorme ao Museu Nacional, em 1888, já descrevia um "aerólito" que caíra na região. Durante mais de cem anos, os cientistas ignoraram seu paradeiro.

SEGREDOS
"Apenas 0,5% de amostra que recebo no meu laboratório é realmente meteorito", aponta Elizabeth. As demais peças são descartadas como minerais terrestres.

Para que a campanha de divulgação não transforme o laboratório do Museu Nacional em uma pedreira, Elizabeth incluiu no folder um fluxograma que ajuda a identificar minerais com chances reais de serem



Os tipos de meteorito



METÁLICO
Formado por uma liga de níquel e ferro. É mais fácil de ser reconhecido no campo



MISTO
Ao ser cortado, é possível reconhecer pedacos de rocha no metal ou o contrário



ROCHOSO
Parece um pedaco de concreto de construção, pintado por fora de preto



MUSEU NACIONAL - A pesquisadora Maria Elizabeth Zucolotto ao lado do maior meteorito do Brasil

classificados como meteoritos (mais informações nesta página)

"Inspire-me em um guia médico para realizar diagnósticos simples em casa", conta. Há dois tipos principais de meteorito: os rochosos e os metálicos. Enquanto os primeiros têm formas facilmente identificáveis, os outros são confundidos com

rochas terrestres e só costumam ser achados quando há testemunhas do lugar da queda.

Até agora, a divulgação custou R\$ 25 mil. A iniciativa, financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), compartilha uma verba destinada à popularização da astronomia. Fal-

ta chegar uma segunda parcela de igual valor.

É o primeiro projeto de Elizabeth relacionado a meteoritos com financiamento público. "De 1997 a 2002, submeti outros, mas não passaram", afirma a pesquisadora. "Essa área de pesquisa precisa ser mais valorizada no País."

Recém-criada, sociedade quer popularizar área

Em agosto, foi criada a Sociedade Meteorítica Brasileira (SMB). O geólogo Rodrigo Sato, presidente da instituição, sonha com uma publicação nacional semelhante ao Meteoritical Bulletin, dos EUA, para registrar os achados no País.

A SMB também pretende auxiliar na descoberta de crateras. "Vamos quadracular o Brasil e voluntários poderão investigar cada parte no Google Earth", explica Sato. "Organizaremos expedições para visitar os lugares onde há indícios fortes de crateras."

O geólogo promove o site brasileiro Space Rocks que vende meteoritos. O preço varia de R\$ 5 a R\$ 1 mil. São realizadas algumas dezenas de transações mensais. Dono de uma coleção com 600 exemplares, o geólogo pretende deixá-la exposta no Museu de Geociências, que será criado em Florianópolis (SC) com o apoio do Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (Crea-SC).

'Sonho achar uma peça valiosa', diz colecionador

Quando criança, o administrador Wilton Carvalho ouvia histórias da pedra encantada que caiu na caatinga. Foram homens da capital até lá para levar o objeto. Os idosos diziam que a pedra não queria acompanhá-los: travava as rodas do carro de boie e caía no chão. A persistência e o engenho dos pesquisadores venceram e, por ordem de D. Pedro II, o meteorito embarcou para o Rio, em 1888, em uma estação ferroviária do município de Itiúba (BA), cidade natal de Carvalho, a 360 quilômetros de Salvador.

Em 1990, com 44 anos, Carvalho visitou o Museu Nacional e ficou maravilhado com o bloco de metal que vierá da sua terra. Feito de ferro e níquel, Bendegó é o maior meteorito brasileiro. Tem 5.360 quilos. Carvalho tornou-se colecionador. Soube de uma chuva de meteoritos em Campos Sales (CE), uma cidade com 26 mil habitantes a 500 quilômetros de Fortaleza.

O administrador contratou uma pessoa para visitar os lavradores e descobrir se alguém tinha guardado pedacos do meteorito. Conseguiu vários fragmentos. Em contato com colecionadores de outros países realizou trocas para aumentar a variedade do seu acervo.

No início, quis fazer dinheiro com o hobby. Comprou meteoritos em Tucson (EUA), na maior feira de pedras do mundo. Tentou revendê-los aqui e continuou procurando meteoritos Brasil a fora. Em poucos anos, descobriu que o ramo era pouco promissor. Não havia compradores brasileiros e as buscas custavam caro, sem retorno.

"Sonho encontrar um meteorito 'valioso'", comenta em tom de brincadeira. "Passaria o resto da vida caçando só por prazer."

Sua maior aventura foi uma incursão na floresta amazônica para encontrar a "Tunguska brasileira". Em 1908, um objeto celeste atingiu o vale do Rio Tunguska, na Sibéria, e devastou 60 quilômetros quadrados de floresta. Segundo registros de um missionário, um evento semelhante, porém menor, ocorreu na Amazônia em 1930.

Em 1997, ao lado de pesquisadores do Observatório Nacional e de duas emissoras de televisão, Carvalho visitou a região do Rio Curuçá. Imagens de satélite insinuavam a existência de uma cratera. Vários dias na floresta terminaram sem sucesso: "Não podia ser lá: havia árvores com troncos grossos." Todos os anos, Carvalho realiza três viagens para procurar meteoritos.

A paixão de colecionador fez Carvalho ingressar na academia. No fim do ano, defenderá tese de mestrado sobre Bendegó na Universidade Federal da Bahia (UFBA). Com sua orientadora, Débora Rios, conseguiu financiamento da Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Bahia (Fapesb) para o Programa de Recuperação, Classificação e Registro de Meteoritos (Promete). O projeto pretende recuperar meteoritos que caíram no Estado. Sua coleção particular está exposta no Museu Geológico da Bahia.

Em Foco

AMBIENTE
• UE reduz emissões de gases de efeito estufa
A Comissão Europeia informou ontem que em 2008 o setor da indústria pesada, o mais poluente, reduziu em 3,06% as emissões de gases do efeito estufa nos países da União Europeia. Ao todo, as emissões registradas chegaram a 2,118 bilhões de toneladas de gases-estufa. Na Espanha, o setor reduziu suas emissões em 12,4%. ● EFE

ESPAÇO 1
Astronautas trocam câmera do Hubble
Os astronautas do ônibus espacial Atlantis saíram ao espaço ontem para fazer reparo inédito no telescópio Hubble. John Grunsfeld e Andrew Feustel trocaram uma câmera queimada, o que nunca havia sido feito no telescópio, de 19 anos. Eles também acoplaram ao equipamento um instrumento para detectar luzes de corpos celestes muito distantes. ● AP



ESPAÇO 2
Agência europeia lança telescópio espacial
A Agência Espacial Europeia lançou na quinta-feira o telescópio Herschel, o maior já posto em órbita até hoje. Ele servirá para obter informações sobre como o universo foi criado e se a Terra é o único planeta onde há vida. Ao contrário do telescópio Hubble, que capta imagens ópticas, o Herschel conseguirá apenas dados em radiações invisíveis. ● AP

SAÚDE
Caminhada incentiva combate à hipertensão
Ocorre hoje em São Paulo uma caminhada para incentivar a prevenção da hipertensão arterial. O evento, que começa às 8 horas no Museu do Piapanga, é aberto a qualquer interessado. Durante a caminhada serão oferecidos, gratuitamente, exames de pressão arterial, aferição de altura e peso e orientação sobre postura corporal.

ATARDINHA

Mais perto do espaço

No ano dedicado à astronomia, exposição mostra meteoritos, pedras que caem do céu

* Páginas 4 e 5

Briga na escola vira caso de polícia e de desrespeito ao Estatuto da Criança e do Adolescente

* Página 3

Maquete gigante do Sistema Solar faz dos visitantes astronautas

Pedra do céu

CAPA

4e5 A TARDINHA
Salvador, Sábado, 24 de outubro de 2009

INICIANDO

Ele viu o que ninguém conhecia

O italiano Galileu Galilei mudou o nosso modo de ver o espaço. Ele descobriu montanhas e crateras na Lua, satélites em Júpiter e novas estrelas. Há 400 anos, percebeu que os planetas giravam ao redor do Sol. Ainda antes de morrer, em 1642, aos 78 anos, observou que Vênus tem fases como a Lua, viu manchas no Sol e anéis em Saturno. (Fábio Freitas)



Noite galileiana

Hoje, as 18h, quem for à exposição poderá apontar um telescópio para o céu noturno, onde verá estrelas e planetas. Aqui, João Gabriel, 7, faz o que Galileu fez há séculos.



O espaço, junto com planetas, satélites, estrelas e cometas, existem pedras que vagam sem destino e caem ao acaso: são os meteoróides. Quando um destes chega à camada de ar que envolve a Terra (veja o gráfico ao lado), tem uma velocidade 123

MARIA SANTOSSA
santossa@pessoal.ig.com.br

vezes mais rápida que a de um avião. Aos poucos é freado pelo ar. Mesmo assim, a força com que o meteoróide (é assim que ele é chamado quando cai aqui na Terra) chega ao solo é capaz de causar estragos. Alguns já perfuraram carros, atravessaram telhados, machucaram pessoas. Até agora, a maioria atingiu animais. Uma chuva de meteoritos que caiu em 1868, nos Estados Unidos, matou bois e vacas. No Egito, um cachorro morreu. Há 65 milhões de anos, um possível asteroide (que é um grande meteoróide) matou todos os dinossauros. *E como se fossem várias bombas atômicas. Além de derreter tudo o que estava ao alcance, o asteroide originou ondas gigantes, terremotos e uma nuvem de poeira que cobriu o Sol", disse o pesquisador Wilton Carvalho.

PISTAS DO CENTRO – O Brasil tem 58 meteoritos. Três deles caíram na Bahia. Parece muito, mais não é. Cerca de 30 mil meteoritos foram encontrados no mundo. Só os Estados Unidos e a Austrália têm, juntos,

123

O Bendegó veio do espaço para a Bahia

Em 1874, uma pedra de ferro foi achada a 30 quilômetros de um lugar chamado Monte Santo, na Bahia. Um garoto procurava uma vaca quando encontrou o maior meteorito brasileiro, o Bendegó. Trinta homens se juntaram para carregar aquela pedra grandona, mas o máximo que conseguiram foi virar o meteorito de lado. Como o Bendegó tinha 5,36 toneladas (mais pesado que um elefante), ele levou 104 anos empacado. O resgate só foi feito em 1887, com ordens de D. Pedro II, que na época era imperador do Brasil. Uma carreta foi construída especialmente para levar Bendegó. Tinha rodas de madeira, mas também andava sobre trilhos ou podia ser puxada por bois. Chegou em Salvador de trem. Daqui, ele embarcou em um navio para o Rio de Janeiro, onde está até hoje, no Museu Nacional. O Bendegó é o 16º maior meteorito do mundo. Na exposição há uma réplica, escultura baseada no original.

Fonte: Wilton Carvalho, pesquisador

Como se formam...

Cinturão de asteroides

Milhares de fragmentos de rocha e de ferro. É como um planeta despojado que viaja por uma estrada circular em torno do Sol (orbital). Quando os cometas atravessam o cinturão, alguns saem da estrada e ficam perdidos pelo espaço.

Os mesmos cometas que trazem as asteroides da órbita já batem de frente com Marte e com a Lua. A maioria dos cometas que ficam vagando e podem atingir a Terra milhões de anos depois.

Meteoróide
Corpo do sistema solar. Pode ser do tamanho de um grão de areia (poeira cósmica) ou ter quilômetros de extensão (asteróides).

Meteorito
Luz que a poeira cósmica produz ao passar pelos canais de ar que envolvem a Terra. São as estrelas cadentes.

BOLA DE fogo
50 km

atmosfera

Meteorito
É a pedra que sobreviveu ao atrito com a atmosfera e conseguiu chegar à superfície do planeta.

Cratera
Buraco produzido no solo após o impacto.

TERRA

SOL

Planetas: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Netuno, Plutão.

Peso nos mundos

Na exposição *O Segredo dos Meteoritos*, balanças demonstram o peso que uma pessoa teria em outros planetas. Rebeca Corrêa, 10, foi uma das que contou: "Fiquei bem pesada em Júpiter. Meu peso dobrou! Mas gosto mais de Saturno, por causa dos anéis".

mais de mil. "O número de meteoritos conhecidos depende de pessoas que procuram por eles. Aqui no País, poucos fazem isso", contou Wilton, que organizou uma exposição sobre o tema. A geóloga Débora Rios ensinou a importância de achar as pedras do céu. "Essas rochas são formadas por elementos muito parecidos com os que existem no centro da Terra, um lugar muito quente, que pouco conhecemos. Quando as estudamos, entendemos o interior do planeta".

Se você achar uma pedra diferente, leve ao Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, em Ondina. Eles confirmam se é um meteorito e devolvem.

O Segredo dos Meteoritos / L1 do Shopping Paralela – Av. Luiz Viana Filho, 8.544 / Hótel, das 9h às 22h, e amanhã, das 14 às 20h / Grátis

...e como riscam o céu?

Meteoróide
Corpo do sistema solar. Pode ser do tamanho de um grão de areia (poeira cósmica) ou ter quilômetros de extensão (asteróides).

Meteorito
Luz que a poeira cósmica produz ao passar pelos canais de ar que envolvem a Terra. São as estrelas cadentes.

BOLA DE fogo
50 km

atmosfera

Meteorito
É a pedra que sobreviveu ao atrito com a atmosfera e conseguiu chegar à superfície do planeta.

Cratera
Buraco produzido no solo após o impacto.

TERRA

SOL

Planetas: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Netuno, Plutão.

Como se formam...

Cinturão de asteroides

Milhares de fragmentos de rocha e de ferro. É como um planeta despojado que viaja por uma estrada circular em torno do Sol (orbital). Quando os cometas atravessam o cinturão, alguns saem da estrada e ficam perdidos pelo espaço.

Os mesmos cometas que trazem as asteroides da órbita já batem de frente com Marte e com a Lua. A maioria dos cometas que ficam vagando e podem atingir a Terra milhões de anos depois.

Meteoróide
Corpo do sistema solar. Pode ser do tamanho de um grão de areia (poeira cósmica) ou ter quilômetros de extensão (asteróides).

Meteorito
Luz que a poeira cósmica produz ao passar pelos canais de ar que envolvem a Terra. São as estrelas cadentes.

BOLA DE fogo
50 km

atmosfera

Meteorito
É a pedra que sobreviveu ao atrito com a atmosfera e conseguiu chegar à superfície do planeta.

Cratera
Buraco produzido no solo após o impacto.

TERRA

SOL

Planetas: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Netuno, Plutão.

vezes mais rápida que a de um avião. Aos poucos é freado pelo ar. Mesmo assim, a força com que o meteoróide (é assim que ele é chamado quando cai aqui na Terra) chega ao solo é capaz de causar estragos. Alguns já perfuraram carros, atravessaram telhados, machucaram pessoas. Até agora, a maioria atingiu animais. Uma chuva de meteoritos que caiu em 1868, nos Estados Unidos, matou bois e vacas. No Egito, um cachorro morreu. Há 65 milhões de anos, um possível asteroide (que é um grande meteoróide) matou todos os dinossauros. *E como se fossem várias bombas atômicas. Além de derreter tudo o que estava ao alcance, o asteroide originou ondas gigantes, terremotos e uma nuvem de poeira que cobriu o Sol", disse o pesquisador Wilton Carvalho.

PISTAS DO CENTRO – O Brasil tem 58 meteoritos. Três deles caíram na Bahia. Parece muito, mais não é. Cerca de 30 mil meteoritos foram encontrados no mundo. Só os Estados Unidos e a Austrália têm, juntos,

123

MARIA SANTOSSA
santossa@pessoal.ig.com.br

No espaço, junto com planetas, satélites, estrelas e cometas, existem pedras que vagam sem destino e caem ao acaso: são os meteoróides. Quando um destes chega à camada de ar que envolve a Terra (veja o gráfico ao lado), tem uma velocidade 123

ANEXO 2
DOCUMENTOS HISTÓRICOS

M^{mo} Exp.^{mo} Sr.

11663



Em tres Mezes que aqui me veio falar Bernar-
dino de Moraes Botello denunciando-me que estan-
do trabalhando em hum Costado de terra sem que
pudesse nos Certões de Sara Barros descobrir hum Cor-
po solido, duro, e avultado que parecia ferro. Em
Consequencia desta noticia inculci o Capitão-mor do
Arquipelago offozte examinar, e buscar se qua com offi-
to era ferro, e otamando permittir transportalo do li-
tio em que estava para o Porto de Nazar mais vizi-
nho, e de lá para esta Cidade. offozte examinando,
e dando-me ao mesmo tempo conta da qualidade
do terreno em que fora achado, para fazer o meu
juizo sobre este Negocio.

Entem Tecebi do dito Capitão mor a Ter-
ceira de qua a S.^{ta} Remeto a Copia inclusa,

à qual me reporto, por tratar com bastante clareza esta
matéria, devendo se acordar que não se per-
deu a natureza depositada naquelles lugares.
Luzes se podem macha deite Metal isolada,
e sem laços de Congruencia com os principios pro-
ductivos do terreno em que foi achada; antes foy
theoricamente conhecido, que a terra dura de que
se fala he de lica especie aqua na lingua do pais
se chama tapinhocanga, que em toda appare-
ta macha amalgamada com algumas particulas
ferreas mais, ou menos perfectas, e em maior,
ou menor abundancia. Sulgo por consequencia
que o Distrito em que esta appareço hade conter
muito mais ferro de não consolidado em hum
Corpo tao extenso, do menos expallado em pequenos



Perceiros unidos ao dito S.º J.º de Canga.

Das amostras que a C.ª de Canga terá
as suas qualidades, e pelas medidas e outras dimensões
e quanto ao seu transporte são de grande impor-
tancia que me parecem necessarias para a C.ª de Canga
a esta Cidade, e temetela a C.ª de Canga.

D.º J.º de Canga. Bahia 12 de
Agosto de 1884

M.º e Cap.º S.º

Martinho de Melo e Castro.

J.º de Canga. Lou de Moraes

Ilmo. Exmo. Snr.

Há três meses que aqui me veio falar Bernardino da Mota Botelho denunciando-me que estava trabalhando em um roçado numa terra que possui nos sertões de Vaza Barris descobrira um corpo sólido, duro, e avultado que parecia ferro. Em consequência desta notícia incumbi o Capitão-mór do Itapicuru fosse examinar esse achado que com efeito era ferro e [se] o tamanho permitisse transportá-lo do sítio em que estava para o porto de mar mais vizinho, e de lá para esta Cidade o fizesse examinando e dando-me ao mesmo tempo conta da qualidade do terreno em que fora achado, para fazer o meu juízo sobre este negócio.

Ontem recebi do dito Capitão-mór a resposta de que a V.Excia. remeto a cópia inclusa, a qual me reporto, por tratar com bastante clareza esta matéria; devendo só acrescentar que não me persuado de que a Natureza depositasse naquele lugar uma tão grande massa deste metal isolada, sem razões de congruência com os princípios produtivos do terreno em que foi achada; antes fico teoricamente convencido que a terra dura de que ele fala é de uma espécie a que na língua do país se chama tapinhoácanga, que em toda parte se amalgamada com algumas partículas férreas mais ou menos perfeitas, e em maior ou menor abundância. Julgo por consequência que o Distrito em que ela apareceu há de conter muito mais ferro se não consolidado em um corpo tão extenso ao menos espalhado em pequenos pedaços unidos ao dito Tapinhoácanga.

Pela amostra que a V.Excia. remeto verá sua qualidade, e pelas medidas as suas dimensões e quanto ao seu transporte fico dando as providências que me parecem necessárias para a conduzir a esta Cidade e remetê-la a V. Excia.

Deus guarde V. Excia. Bahia 12 de Agosto digo de Setembro de 1784.

Ilmo. Exmo. Snr.

Martinho de Melo e Castro

D. Rodrigo José de Menezes

Opia
11664

Ilmo Pno. Sr. M. = Em Observancia da Ordem de S. Bento, a 17 de Junho, fui ao Certão de Parabarris, e Cito de Bendego, onde achei Bernardino da Costa Botelho, e mandei fazer humas cavacas de ferro, que o dito descobrio no referido Cito, em Amanguoi do seu Centro, onde estava firmado, com bastante trabalho por se a terra ser dura, e pedregulenta, que com facilidade não se podia cavar por falla de instrumentos de ferro que não havia noquelle lugar, e só sim. dous cavadores de ferro, que por cautela procurei em caminho, e por acaso achei para o dito efeito. — Dito ferro he hum aborto da Natureza, segundo parece, e he todo liquido, e molle sem cascalle, ou impuridade alguma, cujo comprimento e grossura consta das Medidas que remeto a V. Ex. por este portador, que são de 6 palmos de comprimento, e quinze Menos quatro dedos de largura e grossura. — A sua figura he a seguinte: He hum. Dito ferro ou hum. de ferro, e tanta largura tem em humas pontas como em outras, com a diferença somente de ter em humas pontas humas fôrmas de triângulo com grande grossura, e na outra humas fôrmas de triângulo sendo humas pontas algum tanto mais compridas que a outra, com o Verticillato, aberto o dedo index, e o maior da mão, e não tem mais fundura adita fôrmas, porque pouco entrou pela base dentro. — Da parte de cima, que estava ao tempo he está aberta como hum. axequite, e he como hum. espelho, e tem humas côvas pouco fundas, e lisas por dentro como o mais corpo, as quaes parciões feitas pela mesma Natureza, e pela parte de baixo que estava acantada na terra não he lisa como por cima, mas sim ferrugenta, e tem varias Caixas do mesmo ferro liquido do comprimento de hum. palmo mais e menos, que estavam fucadas na terra, e em quanto não se cavava até se descobria a ponta não havia forças que abalassem a dita barra, a qual se de tal sorte, que meida por baixo dela quatro e quatro de madeira grossa, e comprida, e carregando neles mais de strinella humens de força não a movia do seu Accento, nem se dava o menor abalo; mas tanto se forcejou com ella que a lançou fora.

seu centro, e a pux em pé de humo illargura. — Mandei tirar hum pedacinho que estava em humo heita, para mandad a V. Ex. para amostra dela, e não foi possível tirar se por quebrao hum ma tañadeira de aço que levou humo ferro, e apenas restou humo pequena lancha que mandei bater pelo dito Oficial, que fez a barrinha que a V. Ex. temto, e disse dito, que ferro me viu nunca o vio, porque logo que estocou como martelo vio a sua perfeição. — Arrancado a dita barra mandei fazer humo cavado no axente dela para ver se tinha mais algum metal, Não se achou couza alguma, e só sim humo cascalho pódre de ferrugem, que não se fazia em pedaçõ, no que pareço já ter sido usado, e a terra já tinha consumido parte dela, porque o cascalho pódre hera bastante, e entrava pela terra dentro perto de dous palmos. — Vários individuos que se achavam no lugar o peso da dita barra tem quatro centas arrobas e mais; por em deo tem embargo da falta de experiencia que tem de pesos avultados de ferro a Cavalis em trezentas arrobas. — Não execute a Ordem de V. Ex. em fazer conduzir logo a dita barra para esta Cidade, porque Não caber hum Carro Ordinario na largura, nem este sendo as tañadeira da granizada e humada pódre conduzir tal grande peso, assim se fazes em pedaçõ. — Disse hum Oficial delo rampina, que se poderá conduzir em Carretos cento estes feitos de madeira dobrada; por em outro Oficial disse, que em Carretos não podia ser por serem os Rodos muito baixos, e não creia a lancha entretarem se todo, e nesta forma Não poderem os bois arrastalos, e que poderá ser em dous Carros de Madeira q. na porto o Cabecallo de hum em cima da Mexa de outro bem seguro, e amarrado com cordas fortes, e com duas outras travessas de pau forte pelas bandas, e pelo Meio dos Leitões dos Carros, para ser a dita barra acentada nelas para Não quebrar as cadeias dos ditos Leitões, que Não podem ser muito grossas. Para a dita condução he necessario indispensavelmente abrir se huma estrada Nova por onde Não haja Ladrisas, e Cicarõs



com as bancas fundas, pois pelo caminho por onde fui, e vi
que he o unico que ha, tem huma Ladeira muito a pique, que
deci, e subi de pé, e em parte com as mãos pelo chão, por não
ter em que me pegar para não encorregar para baixo, e hum ca-
valo de carga encorregou com ella de tal sorte, que quasi Nôme
= Fize esta representação a V. Ex.^a para mandar o que for
servido, respectivo á dita condução, e para se lançar a dita ban-
ca em cima do carro está parecendo, que não se poderá fazer
sem Moitad, porque abraço não poderá subir, por carecer de
muitas pessoas, e estas não terem todas lugares para pegarem
e ajudarem humas as outras. = Vindo eu ja de Teresopolis, no ter-
ceiro dia de jornada recebi hum aviso de hum morador, que da
parte da Jacobina passava pela sua fazenda em dia antecedente
te hum individuo desconhecido armado de pistolas, e outras ar-
mas de fogo, e varios instrumentos de ferro, e outros ferros de fe-
reiro, em procura do dito ferro, e dizendo-lhe, que quer o ferro
mandado ver o d. ferro, e arrancalo, e que a seu tempo se ha de ex-
ecutado, e pretendia dar conta a V. Ex.^a para ordenar o que se ha-
via executado, e q. seria muito de difficil e perigoso, e respondeu a
dito individuo que ja agora havia de hir a elle, e que em hum
abril e fezar de solto o havia de fazer em pedação, e no mesmo
instante despachei huma Ordem por hum proprio de cavallo
para se intimar ao dito individuo, e sustalo, e certamente assim
se havia de executar, e duvidando Ordenei que o prendesse com a
Ordem de V. Ex.^a, e o levasse para a Cadeia desta Vila. =
Alguns dias depois fiz na Teresopolis cavacaç, que foi feita com
alguns escravos proprios, e com os individuos daquelle vil-
lano, que mandei chamar, e toda ficou satisfeita, e eu
tambem. = Deo guarda a V. Ex.^a Vila de Itapicuru vinte
e seis d' Agosto de Mil setecentos e oitenta e quatro. = Ber-
nardo Carvalho da Cunha

CÓPIA

Ilmo. e Exmo. Snr. – Em observância à ordem de V. Excia. de quatorze de junho fui ao Sertão do Vazabarris e Sítio do Bendegó onde achei Bernardino da Mota Botelho e mandei fazer uma cavação. E extrai o ferro, que o dito descobriu no referido sítio, e o arranquei de seu centro onde estava fincado, com bastante trabalho por ser a terra tão dura e pedregulhenta, que com facilidade não se podia cavar por falta de instrumentos de ferro, que não havia naquele lugar, e só (?um ou dois?) cavadores de ferro, que por cautela procurei em caminho e por acaso achei para o dito efeito. O dito ferro é um aborto da Natureza, segundo parece, e é todo líquido e maciço sem cascalho, ou impuridade alguma, cujo comprimento e grossura constam das medidas que remeto a V. Excia. por este portador, que são dez palmos de comprido e quinze menos quadro dedos de largura e grossura. A sua figuração é a seguinte: é um chanfrão ou barra de ferro que tanta largura tem em uma ponta com em outra, com a diferença somente de ter em uma ponta uma popa de naveta com grande grossura, e na outra, uma forquilha bem no meio, sendo uma ponta algum tanto mais comprida que a outra, como, verbigratia, aberto o dedo index e o maior da mão e não tem mais fundura a dita forquilha porque pouco entra pela barra dentro.

Da parte de cima, que estava ao tempo é tão preta como um azeviche e lisa como um espelho, e tem uma covas pouco fundas e lisas por dentro como o maior corpo, as quais parecem feitas pela mesma Natureza; e pela parte de baixo que estava assentada na terra não é lisa como por cima, mas sim ferrugenta e tem várias raízes do mesmo ferro líquido do comprimento de um palmo mais ou menos que estavam fincadas na terra, e enquanto não se escavaram até se descobrir a ponta, não havia forças que abalasses a dita barra, a qual pesa de tal sorte que metidos por baixo dela quatro espeques de madeira grossa, e comprida, e carregando neles mais de trinta homens de força não a moviam de seu assento, nem lhe davam o menor abalo, mas tanto se forcejou com ela que a lancei fora de seu centro, e a pus de pé de uma ilharga.

Mandei tirar um pedacinho que estava em uma beira para mandar para V. Excia. para amostra dela e não foi possível tirar-se por quebrar uma talhadeira de aço que levou um ferreiro, e apenas se extraiu uma pequena lasca que mandei bater pelo dito oficial, que fez a barrinha que a V. Excia. remeto, e diz o dito, que ferro melhor nunca o viu, porque logo que lhe tocou com o martelo viu a sua perfeição.

Arrancada a dita barra, mandei fazer uma cavação no assento dela para ver se tinha mais algum metal. Não se achou cousa alguma e só sim um cascalho podre de ferrugem que nas mãos se fazia em pedaços, no que parece que já havia sido maior e a terra já tinha consumido parte dele, porque o cascalho podre era bastante e entrava pela terra dentro perto de dois palmos.

Vários indivíduos que lá se achavam avaliaram o peso da dita barra em quatrocentas arrobas e mais, porém eu, sem embargo da falta de experiência que tenho de pesos avaliador de ferro a avalio em trezentas arrobas.

Não executei a ordem de V. Excia. em fazer conduzir logo a dita barra essa Cidade, porque não cabe em um carro ordinário na largura, nem este tendo as madeiras da grossura combinada pode conduzir tão grande peso sem se fazer em pedaços.

Disse-me um oficial de carpina que só se poderá conduzir em carretões sendo estes feitos de madeira dobrada; porém outro oficial disse, que em carretões não podia ser por serem os rodeiros muito baixos e nas areias e lamas enterrem-se todos, e nesta forma não poderiam os bois arrastá-los, e que poderá ir em dous carros de madeira grossa, posto o cabeçalho de um em cima da mesa do outro bem seguro, e amarrado com cordas fortes, e com duas outras travessas de pau forte pelas bandas, e pelo meio dos leitos dos carros para ir a dita barra assentada nelas para não quebrar as cadeias dos ditos leitos, que não podem ser muito grossas. Para a dita condução é necessário indispensavelmente abrir-se uma estrada nova por onde não haja ladeiras e riachos com ribanceiras fundas, pois pelo caminho por onde fui, e vim que é o único que há, tem uma ladeira muito a pique que desci e subi de pé, e em parte com as mãos pelo chão por não ter em que me pegar para não escorregar para baixo, e um cavalo de carga escorregou com ela de tal sorte que quase morreu.

Faço esta representação a V. Excia. para mandar o que for servido, respectiva à dita condução, e para se lançar a dita barra em cima do carro está parecendo, que não se poderá fazer sem moitão, porque a braço não poderá subir, por carecer de muitas pessoas e essas não terem todas lugar para pegarem e ajudarem umas às outras.

Vindo eu já de retirada, no terceiro dia de jornada, recebi um aviso de um morador que, das partes da Jacobina, passara pela sua fazenda no dia antecedente um indivíduo desconhecido armado de pistolas e outras armas de fogo, e vários instrumentos de fole e outros ferros de ferreiro, em procura do dito ferro, e dizendo-lhe ele que V. Excia. tinha mandado ver o dito ferro e arrancá-lo e que assim o tinha já executado e pretendia dar conta a V. Excia. para ordenar o que se havia executar, e que seria muito dificultoso espedaçá-lo, respondeu o dito indivíduo que já agora havia de ir a ele e que em um abrir e fechar de olhos o havia de fazer em pedaços, e no mesmo instante despachei uma ordem por um próprio de cavalo para se intimar ao dito indivíduo e sustá-lo, e certamente assim se havia de executar, e duvidando ordenei que o prendessem à ordem de V. Excia. e o remetessem para a cadeia desta Vila.

Alguma despesa fiz na referida cavação que foi feita com alguns escravos próprios e com indivíduos daquela vizinhança que mandei chamar e toda ficou satisfeita, e eu também.

Deus guarde a V. Excia.

Vila de Itapicuru, vinte e seis de agosto de mil setecentos e oitenta e quatro.

Bernardo Carvalho da Cunha.

Para o Capitão-Mor Bernardo Carvalho da Cunha

Estou persuadido da grande invernada que tem havido neste sertão e da impossibilidade em que se achas [.....] de carrear para a condução da grande massa de ferro que se descobriu no seu distrito, e porque já dei conta a nossa Corte com a própria carta que me escreveu, remetendo amostra deste descoberto, e certifiquei que com a maior brevidade remeteria a mencionada massa, é necessário que Vossa Mercê se não descuide de aplicar quanto for possível a sua remessa. Quanto as queixas dos povos para desobrigar de concorrer para o serviço desta remessa, como estou inteiramente persuadido de que V.M. nela se há de comportar com justiça e sem opressão [...] não se deve levar da injusta calúnia que se lhe imponha a eles, pois sempre hei o de mandar [...] ouvir [...] requerimento ou representação.

Deus guarde a Vossa Mercê. Bahia 20 de agosto de 1785. Dom Rodrigo José de Menezes.

Sr. Cap. Mor Bernardo Carvalho da Cunha

Em outra ocasião responderei as outras duas cartas que V.M. agora me escreves e enviarei a V.M. as Portarias respectivas ao Lazareto, tendo já remetido a V.M. as duas que me pediu nas suas cartas para João Pereira Ramos {...}

Ilmo Sr. Ex. Senhor

12455



Por ordem de V. Ex.^a fui apremun.^a via pessoal.^{te}
 advertido de V. Ex.^a para fazer sua escavação
 cao. p.^a desenterrar a barra fofa q.^e descobriu na
 Cilha do Bendegó, e como fute assim executu.
 Por outra ordem de V. Ex.^a mandei fazer sua carre-
 rota combast.^a trabalho, e alguma despesa, p.^a fazer
 conduzir ad.^a barra, q.^e não sahio amou contento, e
 contra pord.^a do Escó do Engenheiro, q.^e V. Ex.^a amittio, m.
 fazer outra condobrado trabalho p.^a fallada mada
 ras, e como mada despesa, e tor ni pessoal. e como
 mo ser tao. p.^a o trabalho fute, e q.^e não pude conde-
 guar p.^a varias difficuldades, q.^e uncontente, por em sem-
 pre tive a felicidade de vencer amayor, q.^e foi mon-
 tar ad.^a barra na Carréta, q.^e hera om ayor de
 cayo q.^e eu tinha p.^a extra ordinario p.^a esta ad.^a
 barra, em q.^e serv.^o não som.^{te} houve q.^e trabalho,
 e não. tam ben bast.^a despesa, e a qual sempre
 deatendi p.^a tudo de q.^e tinha de dar intima execu-
 ção. ad.^a ordens de V. Ex.^a, e depois de conseguir a despi-
 da felicidade assenti comigo q.^e não hie. embabaro
 mais haveria em hir ad.^a barra a Província de
 V. Ex.^a, havendo bois mansos, p.^a a conduzir om,
 e p.^a o fute V. Ex.^a fui sub. vido ^{das} m.
 Cap.^a da V. da Lagoa de V. Ex.^a p.^a dar o ad. jutorio de
 bois q.^e p.^a mim the p.^a seguido, e q.^e assim execu-
 tui, e como depois de montada ad.^a barra mandei
 dei meter bois na Carréta p.^a haver sahio do in-
 terro, em q.^e estava, e om felicidade sahio com a

duvia vir, pois tinha lá o carro q' d'ca m. p' condu-
zir material novo; após de folhas, mandando cor-
tar m. ^{tas} lamadas com toda a lousa, fothagem, e a lousa
lá dentro do Rio até cravar impunthar as debansci-
ras, depois mandou a castor terra de hua, e outra p' de
das debansciaras p' a cubrir a fothagem, e depois q' a car-
reta passaria p' lousa, e um trabalho de hua, p' q'
passava todos, p' a hua, e outra p', como também
alguns cavalheiros e brios maripos, sem se descurir
comunor disco, não advertindo q' o ruído da barra
he m. diferente, e extraordinario, cujo engano não
confuso, senão, depois q' a carrreta chegou nomepe
da istua, usou terra de tal uso, e q' marca, e
is houve amido p' a tirarem daquelle lugar,
p' q' cada vez se enterrava mais p' dar d' hua de
terra q' tal vez não estaria bem p' a lousa, e p' esta
duas, e a tirou o ^{m.} Cap. com os brios maripos q' eu
tinha mandado p' a condução, e q' do chegou,
e me fez p' a. e a ferido o vauzo, e v' frustrada,
todas as m. de agencias, e de puzas, q' tenho feito,
com as a feridas tres jornadas com o interesse de dar
completa recuperação. e o de m. de N. Co. ficou con in-
de rivel puzar, e a hua. ^{2o} Eu isto lembrado,
q' prometi a N. Co. e go tar todas as m. de hua, p' con-
duzir ad. barra, e nã. tendo efeito, neste caso, e a
p' a N. Co. p' a dar o Engenheiro q' N. Co. quize se
dar m. e como agora vejo, q' he ferido, e a lousa
nil usua a lousa, e a lousa, e a lousa, p' a N. Co. ven-
do servido, m. do Engenheiro, p' q' com a sua vir



vinda, e direcção. poderia hir ad. barra da Pruvincia
 de S. Co. a enafalta ficara S. Co. a persuadido, e certifi-
 cado dig. denotaria. sorte poderia hir, e q. p. essa
 impossibilidade. superduração ^{an} das diligencias.

Concedero q. trinda ad. barra do lugar, em q.
 esta p. industria do Engenho, não habera outro
 embarço q. impedira a sua vida, em q. ^{ta} as
 necess. p. ad. a condução, menos embarço haue-
 ra, p. q. eu afere a proutar em execucao. do ordem
 do S. Co. a, e a via de necess. p. o Engenho. usar
 d'elles p. ad. trinda, podem vir em carro dig. q. do
 Sr. Reconcaro, ou Cascoira ate a Topa Brind noj.
 carro q. actualm. de conduram tabaco, e d'outros ^{com}
 de g. a bria, e poderia dar conduram p. a. a. d.
 Engenho. vir mandar a todo successo, e este
 deve reparar se a certo q. o Engenho m. favor
 hu. Carreta. asua e licca. contora a segurancia
 necess. p. ad. a condução, p. q. poderia haver fal-
 ta na Carreta, ujos e lico. bastantem. q. do
 sos, idemadira forte, mas como o que hu. m.
 a cada passo pegão fogo, e uora nenhuma. uonda
 uca, e q. não insidira no Carreta, e q. uonda de a
 uoda, parase, q. melhor uora. S. Co. a manda
 na q. p. uuido D. q. a S. Co. a 28. S. Co.
 do Sta. Jucara de Lima, de 8br. 9 de 1786

D. m. de S. Co. a 28 de 1786
 D. m. de S. Co. a 28 de 1786
 D. m. de S. Co. a 28 de 1786
 D. m. de S. Co. a 28 de 1786

D. m. de S. Co. a 28 de 1786

414

Por ordem de V. Excia., fui a primeira vez pessoalmente ao sertão do Vaza Barris mandar fazer uma escavação para desenterrar a barra de ferro que se descobriu no sítio do Bendegó e com efeito assim aconteceu.

Por outra ordem de V. Excia., mandei fazer uma carreta com bastante trabalho e alguma despesa para fazer conduzir a dita barra, e por não sair a meu contento correspondendo ao risco do Engenheiro que V. Excia. remeteu dei em (decidi) fazer outra com dobrado trabalho por falta de madeiras e com a mesma despesa, tornei pessoalmente ao sertão para o referido efeito a que não pude conseguir por várias dificuldades que encontrei, porém sempre tive a felicidade de vencer a maior que foi montar a dita barra na carreta que era o maior receio que eu tinha pelo extraordinário peso da dita barra, em cujo serviço não somente houve grande trabalho senão também bastante despesa, a qual sempre atendi pelo [dever] que tenho de dar inteira execução às ordens de V. Excia.; e depois de conseguir a referida felicidade, assentei comigo que nenhum embaraço mais haveria em ir a dita barra à presença de V. Excia., havendo bois mansos para a conduzir [...] para esse efeito V. Excia. foi servido mandar ordem ao Cap. Mor da Vila de Água Fria para dar adjutório de bois que por mim lhe fosse pedido, o que assim [.....]; e como depois de montada a dita barra mandei meter bois na carreta para a ver sair do aterro em que estava e com felicidade saiu com admiração e até o lugar onde mandei ter mão por não poder adiantar mais o seu curso respectivamente ao Rio Bendegó, cujas ribanceiras são altas e não era possível terraplina-las sem muito serviço [...] não se poder fazer naquele deserto por falta de águas para poder descer e subir a carreta e justamente por estarem os bois mansos que conduziram a carreta para cima, e matolotagem que dei para a jornada, já decaídos, não tive outro remédio senão aprontar outras [.....] de bois para mandar puxar a dita barra em tempo mais conveniente, como dei conta a V. Excia., e com efeito nos fins de julho do presente ano, quando as chuvas começaram a escassear nesse sertão e me chegou a notícia de estarem os massapês mais enxutos para agüentarem o grande peso da dita barra, mandei aprontar 60 bois mansos e os mandei para lá por não poder ir pessoalmente por moléstia que padecia mandei em meu lugar o Capitão mor João Correa de Figueiredo Bittencourt por ser bastantemente experiente de carreaduras e [fiar] nele a condução da dita barra, dando-lhe todas as providências necessárias para a dita condução, e todas recomendações competentes, e fiquei na certeza de que certamente viria felizmente a dita barra, como podia ser, mas não sucedeu assim porque o dito Cap. Mor tomou a resolução e empreendeu de fazer uma estiva no dito rio para passar a carreta com mais facilidade e se havia de fazê-la de madeira, como devia ser, pois tinha lá carro que de cá mandei para conduzir o material necessário, a fez de folhas, mandando cortar muitas ramadas com toda a sua folhagem, ia arruma-las dentro do rio até quase emparelhar as ribanceiras depois mandou arrastar terra de uma e outra parte das ribanceiras para cobrir a folhagem, supondo que a carreta passaria felizmente e sem trabalho algum, porque passavam todos para uma e outra parte, como também alguns cavaleiros e bois mansos, sem se descobrir o menor risco, não advertindo que o peso da dita barra é muito diferente, extraordinário, cujo engano não conheceu senão depois que a carreta chegou no meio da estiva e se enterrou de tal sorte, que nunca mais houve remédio para a tirarem daquele lugar, porque cada vez se enterrava mais pro dar [...] a terra que talvez não estava bem pilada, e por essa razão se retirou o dito Capitão Mor com os bois mansos que eu tinha mandado para a dita condução, e quando o dito chegou e me fez penosamente o referido sucesso, e vi frustradas todas as minhas diligências e despesas que tenho feito com as referidas três jornadas com o interesse de dar completa execução à ordem de V. Excia., fiquei com indizível pesar e sentimento. Eu estou lembrando que prometi a V. Excia. esgotar todas as minhas diligências para conduzir a dita barra, e não tendo o feito, nesse caso daria parte a V. Excia. para mandar o Engenheiro que V. Excia. quisesse mandar, e como agora vejo que é forçosa, indispensável a sua vinda a dou sentidamente, para V. Excia. sendo servido mandar o dito Engenheiro para que com a sua vinda e direção pode ir a dita barra à presença de V. Excia. e na falta ficará V. Excia. persuadido e certificado de que de nenhuma sorte poderá ir e que para essa impossibilidade se perderão as mesmas diligências.

Considero que tirada a dita barra do lugar em que está por indústria do Engenheiro, não haverá outro embaraço que impeça a sua ida, e no que respeita ao necessário para a dita condução, menos embaraço haverá porque eu o farei aprontar com a execução da ordem de V. Excia., com os aviamentos necessários para o Engenheiro usar deles para a dita tirada podem vir em carros {.....} porta do Recôncavo ou Cachoeira até Água Fria, nos carros que atualmente conduzem tabacos e daí o Cap. Mor de Água Fria os poderá mandar conduzir para cá, e para o dito Engenheiro vir mandarei todo o necessário; neste caso me parece de acerto que o Engenheiro mande fazer um carretão a sua [.....] com toda a segurança necessária para a dita condução porque não poderá haver falta na carreta, cujos eixos são bastantemente grossos e de madeira forte, mas como o peso é muito a cada passo pegam fogo e coisa nenhuma o embaraça, e que não incendiara no carretão e que sendo de 4 rodas parece que melhor será.

E V. Excia. mandará o que for servido. Deus guarde V. Excia. Ba. Vila de Itapicuru de Cima
9 de Outubro de 1786

Bernardo Carvalho da Cunha

6^o
N5

M^{mo} D^{mo} Sr.



12454

Le ela Carta inclusa do Capitão m^{re} das
Ordenanças da Villa do Itapicuru desima, conheçerá V.^o
E^o; que meião tenho descuidado de applicar quanto têm sido
possivel a remessa da grande Massa de ferro, que vindo já em mar
cha para esta Bahia, teve a infelicidade, que declara a mesma fan-
ta; e porque pretendo mandar hui Engenheiro habil para a condu-
ção da dita Massa de ferro, pondo todo o exfôrço nesta diligencia,
persuado-me terei o gosto de aenviar a V. E^o; para ficar satisfeito
a sua recommendação. De org.^o a V. E^o. Bahia a 16
de Fevereiro de 1787

M^{mo} D^{mo} Senhor
Martinho de Mello, Castro.



Ilmo. Exmo. Snr.

Pela carta inclusa do Capitão-mór das ordenanças da Vila do Itapicuru, conhecerá V. Excia. Que menos tenho descuidado de aplicar quanto tem sido possível à remessa da grande massa de ferro, que vindo já em marcha para esta Bahia, teve a infelicidade, que declara a mesma carta, e porque pretendo mandar um Engenheiro hábil para a condução da dita massa de ferro pondo todo esforço nesta diligência, persuado-me terei o gosto de a enviar a V. Excia., para ficar satisfeita a sua recomendação. Deus guarde V. Excia. Bahia
16 de fevereiro de 1787.

Ilmo. Exmo. Snr.

Martinho de Melo e Castro

MACHADO DE ASSIS

SEÇÃO
MESTRADO

BONS DIAS!

crônicas (1888-1889)

edição, introdução e notas de
JOHN GLEDSON

**UNIVERSIDADE FEDERAL
DA BAHIA**

Instituto de Letras
BIBLIOTECA

Reg.

25792

EDITORA HUCITEC
EDITORA DA UNICAMP
São Paulo, 1990

9

27 de maio de 1888

BONS DIAS!

Cumprе não perder de vista o meteorólito de Bendegó¹. Enquanto toda a nação bailava e cantava, delirante de prazer pela grande lei da abolição, o meteorólito de Bendegó vinha andando, vagaroso, silencioso e científico, ao lado do Carvalho.

— Carvalho, dizia ele provavelmente ao companheiro de jornada, que rumores são estes* ao longe?

E ouvindo a explicação, não retorquir nada, e pode ser até que sorrisse, pois é natural que nas regiões donde veio, tivesse testemunhado muitos cativeiros e muitas abolições. Quem sabe lá o que vai pelos vastos intermúndios de Epicuro e seus arrabaldes²?

Vinha andando, vagoroso, silencioso, científico, ao lado do Carvalho.

— Carvalho, perguntou ainda, falta muito para chegar ao Rio de Janeiro? Estou já aborrecido, não da sua companhia, mas da caminhada. Você sabe que nós, lá em cima, andamos com a velocidade de mil raios; aqui nestas ridículas estradas de ferro,

* No jornal, há aqui um ponto de interrogação.

¹ O nome do lugar, de forma variável, escreve-se assim nesta cr. Alguns detalhes acerca do meteorólito: pesava mais de trinta mil quilos, e foi trazido até a Bahia por quarenta juntas de bois, que num momento ficaram atolados no leito do rio Bendegó, perto de Monte Santo. "Carvalho" é o comandante José Carlos de Carvalho (1847-?), chefe da expedição, e membro da Sociedade Geográfica do Rio de Janeiro.

² Filósofo grego (341 a.C.-?), que achava que os deuses eram seres imortais que habitavam estes "intermúndios" ("metakosmia", em grego), ou espaços entre os mundos. A palavra "intermúndios" provém do latim, e de fato só se conhecem as doutrinas de Epicuro através dos escritores romanos, principalmente Lucrécio e Cícero, que no seu *De natura deorum* emprega esta palavra.

BONS DIAS!

a jornada é de matar. Mas espera, parece que estou vendo uma cidade...

— É a Bahia, a capital da província.

Chegaram à capital, onde um grupo de homens corria para uma casa, com ar espantado, preocupado, ou como melhor nome haja em fisionomia, que não tenho tempo de ir ao dicionário. Esses homens eram os vereadores. Iam reunir-se extraordinariamente, para saber se embargariam ou não a saída do meteorólito³.

Até então não trataram do negócio, por um princípio de respeito ao governo central. O governo central ordenara o transporte e as despesas; a Câmara Municipal, obediente, ficou esperando. Logo, porém, que o meteorólito chegou à capital, interveio outro princípio — o do direito provincial. Reuniu-se a câmara e examinou o caso.

Parece que o debate foi longo e caloroso. Uns disseram provavelmente que o meteorólito, tendo caído na Bahia, era da Bahia; outros, que vindo do céu, era de todos os brasileiros. Tal foi a questão controversa. Compreende-se bem que era preciso resolver primeiro esse ponto, para entrar na questão de saber se os meteorólitos entravam na ordem das atribuições reservadas às províncias. O debate foi afinal resumido e o voto da maioria contrário ao embargo; apenas dois vereadores votaram por este, segundo anunciou um telegrama.

E o meteorólito foi chegando, vagaroso, silencioso, científico, ao lado do Carvalho.

— Carvalho, disse ele, os que não quiserem embargar a minha saída são uns homens cruéis. Mas por que é que aqueles dois votaram pelo embargo?

— Questão de federalismo⁴...

³ Machado tirou esta notícia de um telegrama da GN de 23 de maio: "Salvador: Chegou ontem a esta capital o meteorólito de Bendegó. A Câmara Municipal reunida ontem em sessão extraordinária, tratou de embargar a saída do mesmo. A favor desta idéia votaram apenas dois vereadores".

⁴ Com efeito, esta forma constitucional, verdadeiro assunto desta cr., foi muito discutida na época. Sente-se pelo tom que Machado desconfiava muito da idéia. Até quando menciona o fato de o governo central ter pago as despesas da viagem à Bahia, fica claro que viu no telegrama citado uma ocasião excelente para expor o lado mesquinho e localista desta "solução". É curioso notar que Ferreira de Araújo se opunha menos ao federalismo. Num artigo de 28 de maio, em que vê como inevitável o triunfo da república, diz assim: "A nosso ver, a monarquia não deve fazer guerra às aspirações contidas na idéia federal, seria isso preparar a

E o nosso amigo explicou o sentido desta palavra, e o movimento federalista que se está operando em alguns lugares do império. Mostrou-lhe até alguns projetos discutidos agora, para o fim de adotar a constituição dos Estados Unidos, sem fazer questão do chefe de Estado, que pode ser presidente ou imperador...

Aqui o meteorólito, sempre vagoroso e científico, piscou o olho ao Carvalho.

— Carvalho, disse ele, eu não sou doutor constitucional nem de outra espécie, mas palavra que não entendo muito essa constituição dos Estados Unidos com um imperador...

Cheio de comiseração, explicou-lhe o nosso amigo que as invenções constitucionais não eram para os beiços de um simples meteorólito; que a suposição de que o sistema dos Estados Unidos não comporta um chefe hereditário resulta de não atender à diferença do clima e outras. Ninguém se admira, por exemplo, de que lá se fale inglês e aqui português. Pois** é a mesma coisa.

Entretanto, confessou o nosso amigo que, por algumas cartas recebidas, sabia que o que está na boca de muitas pessoas é um rumor de república ou coisa que o valha, que esta idéia anda no ar...

— *Noire? Aussi blanche qu'une autre.*

— *Tiens! Vous faites de calembours?*

— Que queria você que eu fizesse, retorqui o meteorólito, metido naquelas brenhas de onde você me foi arrancar? Mas vamos lá, explique-me isso pelo miúdo.

E o nosso amigo não lhe ocultou nada; confiou-lhe que andam por aí idéias republicanas, e que há certas pessoas para quem o advento da república é certíssimo. Chegou a ler-lhe um artigo da *Gazeta Nacional*, em que se dizia que, se ela já estivesse estabelecida, acabada estaria há muitos anos a escravidão...

Nisto o meteorólito interrompeu o companheiro, para dizer que as duas coisas não eram incompatíveis: porque ele antes de ser meteorólito fora general nos Estados Unidos — e general do Sul, por ocasião da guerra de secessão, e lembra-se bem que

revolução; o mais que pode, e é o que deve fazer se compreende o seu papel evolucionista [...] é preparar a nação para essa que é hoje o ideal das formas de governo [...]"

** Peis, no jornal.

BONS DIAS!

73

os Estados Confederados, quando redigiram a sua constituição, declararam no preâmbulo: "A escravidão é a base da constituição dos Estados Confederados". Lembra-se também que o próprio Lincoln, quando subiu ao poder, declarou logo que não vinha abolir a escravidão ⁵...

— Mas é porque lá falam inglês, retorquiu o nosso amigo Carvalho; a questão é essa.

O meteorólito ficou pensativo; daí a um instante:

— Carvalho, que barulho é este?

— É a visita do Portela, presidente da província ⁶.

— Vamos recebê-lo, acudiu o meteorólito, cada vez mais vagaroso e científico.

BOAS NOITES.

⁵ Os Estados Confederados (i.é, os do Sul) foram uma *república* escravista. Com efeito, Lincoln, eleito em 1860, negou explicitamente qualquer intenção de perturbar a escravidão nos estados onde estava estabelecida. Só durante a guerra (em 1862), e em parte como estratégia para provocar revoltas de escravos no Sul, é que promulgou a emancipação geral.

⁶ Manuel do Nascimento Machado Portela (1833-95), presidente da Bahia, 1888-89.

Acta da sessão ordinária em 22 de Maio de 1888.

Presidência de Sr. Dr. Augusto A. Guimarães.

Presentes, de honras do costume, o Sr. Virador Sr. Augusto A. Guimarães, Sr. Antonio Enxerto, Sr. Virgilio de Carvalho Capitão Pereira d'Almeida, Luiz José da Silva, Sr. Bellarmino Costa, Sousa Lins, Carand Rodrigues e Francisco Pires, e Sr. Dr. Presidente abri a sessão, sendo lida e posta em discussão a acta da anterior.

O Sr. Virador Francisco Pires pede a palavra para requerer uma rectificação á acta, na parte relativa á resolução da proposta de seu illustre collega o Sr. Dr. Antonio Enxerto. Não diz, contra essa proposta pelo modo porque estava redigida, mas contra a idéa n'ella contida: a felicitação ao Ex. Cons. Dantas. Espera que o Sr. Dr. Presidente mande fazer essa emenda.

O Sr. Dr. Presidente declara que o Sr. Virador Pires será satisfeito na presente acta. O acto continuo foi approvado e assignado a acta da sessão anterior.

Tem-se conhecimento dos seguintes telegrammas, q' após a leitura são mandados archivar.

a) Repartição feral dos Telegraphos = Estação da Bahia 18 de Maio de 1888 = Procedente de Rio = Endereço = Sr. Augusto Guimarães = Apparece cordialmente felicitações dirigidas pela Camara e Municipal dessa Cidade = João Alfredo.

b) Repartição feral dos Telegraphos = Estação da Bahia, 15 de Maio de 1888 = Procedente de Rio = Endereço = A Camara e Municipal da Bahia = A Hon. Camara Municipal da Corte congratula-se com essa Camara pela effluviação da escravidão em nossa patria. = J. Ferreira Nobre, Presidente.

É apresentado um requerimento de Official Alvaiz que, por ter completado 15 annos de serviço, no dia 12 de fevereiro tem direito, em face de disposto no art. 4.º § 1.º da Resolução Presidencial n.º 1651 de 23 de Junho de 1868, e art. 99 da Lei n.º 2.234 de 12 de Setembro de 1881.

Os requerimentos estavam annexos os títulos de serviço e certidão passada pelo Secretario da Municipalidade. Além disso tinham parecer da Commissão de Justiça, opinando pela deferimento da petição, em vista das disposições legais referidas.

88.

O Sr. Dr. Presidente fez subjecto em discussão.
O Sr. Sr. Pires nota que o parecer se está assignado
por um dos Membros da Commissão, parecendo-lhe que
por isso não pode ainda ser discutido.
O Sr. Dr. e Ant. Tomaz de Barros diz que não é o primeiro
parecer que entrega sem a assignatura de seu digno collega
da Commissão, que as vezes está fôr da cidade e com quem
está de interesse harmonizar.
O Sr. Sr. Virador diz que o melhor é preencher a Com-
missão.
O Sr. Dr. Presidente declara que o Sr. Dr. Francisco Pires
está fôr da cidade, mas não deu parte a Camara, que
a ausencia desse Sr. Virador é por poucos dias, e que sub-
stitua e pareça a discussão, não tendo a assignatura
de um dos dignos Membros da Commissão, pois que esta
foi cuidada por uma formalidade, visto como se trata de
objecto que não offerre duvida: é questão de direito claro.
O Sr. Francisco Pires não insiste; está satisfeito com
as explicações que ouviu.
O parecer, encerrada a discussão, é approvado por una-
nimidade.
O Sr. Dr. Presidente declara que não ha mais expedien-
te sobre a mesa.
Diz que, a proximando-se a festa de Corpus Christi,
que a Camara é obrigada a fazer, vai mandar ler os offi-
cios que tem de ser expedidos ao governo. São lidos e as-
signados os subditos officios, ficando o Presidente auto-
rizado a fazer as disposições com a verba para ella determi-
nada.
Pede aos Srs. Viradores que tenham propostas a apre-
sentar, que iam fazel-o.
O Sr. Francisco Pires tem uma proposta; mas antes
de entregal-a quer sobre ella dizer algumas palavras.
Diz, em resumo, que como filho desta Provincia, con-
te que ella traballe si para a Corte, e que ainda tenha,
por causa da maldita centralisação, tudo precisamos, e estamos quasi estacionarios, queram le-
var-se e finalmente que a cis enviam-nos, o meteorito
Bendegó, que deve a qualquer hora chegar a estação
da Estrada de ferro na Caladua.
Quer que se saiba em todo tempo que ha em bra-
hians que protestem contra essa centralisação e que lembrem
o meio de impedil-a.
Lamentta que o arthurum Virador ou Deputado desta

Província se lembrarem de oppor-se a isso.
Entende que o Bendegó attribuirá estrangeiros a nossa
patria, curiosa de verem aquella raridade, que em factos de
tudo o Brasil Publico.
E' esta a proposta: " Sendo as Camaras Municipaes
as fins interpretes dos sentimentos dos seus Municipaes, in-
cumbendo-lhes de fazer a acquisição de todos os melhoram-
tos da Provincia, se dirija a Sua Magestade Imperial, pedindo-lhe
que deixe ficar aucta Capital e mineralitha - Bendegó -
vista de esse phenomeno e mais notavel de mundo, e fizesse
de por sua raridade chamar a curiosidade das maiores cul-
tas para esta Provincia. Para da Camara Municipal, 22 de
Maio de 1868 - Francisco Pires de Carvalho."

O Sr. Presidente fez a materia em discussão.
O Sr. Dr. Antonio Euribio começou dizendo que e' mais fa-
cil de se oppor-se as propostas do honrado Sr. Vereador Francis-
co Pires. Não e' mais vantavel ao seu collegas, simplesmente
dirigir de algumas de suas opiniões.
Não tem competencia na Camara, não foi para
oppor-se, mas unicamente para intervir de qualquer modo
que o mineralitho Bendegó siga para a Corte. Em que
caracter dirigir-se-hia elle do governo, solicitando-lhe que
obtenha de Sua Magestade Imperial Regente que deixe o Ben-
degó nesta Capital? O mineralitho e' bem deste Municipio?
Não, porque não e' nem de do Monte Santo, onde
foi encontrado, como tambem não e' de propriedade da Pro-
vincia, a vista de nossa legislação. Se ha' algum que te-
nha direito sobre o Bendegó, certo não e' o Sr. Pires, e' de ter-
reno onde elle sahio, onde foi encontrado. Depois, no caso
de ficar o Bendegó nesta Capital, onde o collocariam?
No Publico? Ah! era para desaparecer em breve
tempo, porque não faltaria quem quizesse possuir um peda-
cinho d'aquella raridade, e tantas amostras lhe haviam de
tirar, que dentro em pouco acabariam com elle.
Prescindindo da questão de logar, insiste-se de direito,
na lei organica das Camaras não ha' nenhuma disposição
que as autorize a entrar em questão desta ordem.
Sua justificação teria, pois, sua intervenção neste de-
bato da Provincia?
Um Sr. Vereador. - Estando a Assembléa aberta, e' a
ella que se deve dirigir, e' ella que deve pronunciar a respeito

1871

retirada do Bendegó.
O Sr. Dr. Antonio Euzebio, nem elle e competente; porque, reputa o meteorolito não e propriedade da Provincia.
Pensei, pensa quem, ainda quando se fudesse considerarem o meteorolito propriedade da Provincia, não seria esta a melhor occasião para encontrar os d'esses tal oivamente manifestado pela Princesa Imperial, que acabou de firmar a lei que extinguiu a escravidão no Brazil.
Parece-me que, quando de toda parte seigem felicitações a Princesa Regente, quando e chefe da igreja catholica a cabeça de presidente e com a rosa de ouro, com que honra os grandes actos da humanidade, não seria generoso, pelo menos offerecer a Patria, a satisfação de aquelles desejos.
O Bendegó não symboliza gloria da Provincia, não tem senão valor scientifico, que aqui, seguramente, não poderia ser devidamente apreciando; e sobre Viçador e o proprio que recorre que aqui não teriamos onde collocar o meteorolito objecto proprio para figurar em Muséum ou em estabelecim^{to} scientificos.
Entretanto, não tanto por essas considerações como pela manifestação incompetencia da Camara, nega em veto a proposta do benrado Sr. Viçador, e assim se exprime, não que de modo nenhum influir no animo de seus dignos collegas, que, como sempre votará com toda franqueza.
Continuando a proposta em discussão, o Sr. Francisco Pires diz que, não obstante os argumentos de seu digno collega que acabou de fallar, insiste em sua proposta.
E' uma opinião que o Bendegó tambem pode aqui servir para estudo, e para atrahir sabios e curiosos estrangeiros. Pensa que o meteorolito pertence a Provincia e n'ella deve ficar.
Encerrada a discussão, votam pela proposta o auctor e o Sr. Dr. Bellarmine Costa; e contra os Sr. João Siqueira, Coronel Rodrigues, Dr. Virgilio de Carvalho, Capitão Pereira d'Almeida, Luiz José da Silva, Luiz d'Almeida, Dr. Antonio Euzebio e Dr. Augusto Guimarães.
O Sr. Viçador Francisco Pires fez a seguinte requisição: Já estando a Assembléa Provincial funcionando de há parte de dois meses, e não tendo sido submettido a consideração da Camara o balanco de sua receita e despesa, que tem de ser submettido a Assembléa, requiro que se me informe qual a razão de semelhante demora. Páço da Camara, 22 de Maio de 1871 - Francisco Pires de Carvalho.

O Sr. Dr. Presidente replicou que os balancetes que deviam
ser apresentados a Assembleia, no Relatório deste anno, já se
fez em Novembro do anno passado, porque n'essa occasião
estando já findo o anno financeiro, e já se
do. se o Corpo Legislativo Provincial funcionando, emia a
logo a tramitação seu trabalho, de modo que aquillo que o Sr.
Mencionar julga atrasado, teve, ao contrario, a dizer tanto.
No Relatório que, para fornecer uma formalidade, tem
de ser remettido n'estes dias, são os balancetes do primeiro e
segundo decennio de anno vigente.
E não havendo mais nada a tratar, o Sr. Dr. Presidente
fezhem a sessão.
Sylveira. Secretário,
Pellegrini Sr. Dr. Secretário
segundo
Sr. José de Silva

Acta de dia 8 de Junho de 1888.
Presidencia de Sr. Dr. Augusto A. Guimarães.
As horas de costume, feita a chamada, responderam
na sessão os Sr. Presidentes Dr. Augusto Guimarães, Sr.
José Silva, Sr. José de Silva, Sr. Pereira et Almeida,
Carvalho, Coimbra e Francisco Reis, pelo que o Sr. Dr.
Presidente declarou não haver mais nada a tratar, e
no legal.
Sylveira. Secretário,
Pellegrini Sr. Dr. Secretário
segundo

Câmara Municipal da Bahia

Ata da sessão ordinária em 22 de Maio de 1888.

Presidência do Sr. Dr. Augusto A. Guimarães.

Presentes, às horas de costume, os Srs. Vereadores Dr. Augusto A. Guimarães, Dr. Antonio Euzébio, Dr. Virgílio de Carvalho, Capitão Pereira d'Almeida, Luiz José da Silva, Dr. Berllarmino Costa, Souza (Suares), Coronel Rodrigues e Francisco Pires. O Sr. Presidente abriu a sessão, sendo lida e posta em discussão a ata da anterior.

O Sr. Vereador Francisco Pires pediu a palavra para requerer uma retificação à ata, na parte relativa à notação da proposta de seu ilustre colega o Sr. Dr. Antonio Euzébio. Votou, diz, contra essa proposta pelo modo como porque estava redigida, não contra a idéia nela contida: a felicitação ao Exmo. Cons. Dantas. Espera que o Sr. Presidente mande fazer essa emenda.

O Sr. Presidente declarou que o Sr. Vereador Pires será satisfeito na presente ata. E, ato contínuo foi aprovada e assinada a ata da reunião anterior.

Toma-se conhecimento dos seguintes telegramas, que após a leitura são mandados arquivar.

"Repartição Geral dos Telégrafos = Estação da Bahia. 18 de maio de 1888 = Procedente do Rio = Endereço - Sr. Augusto Guimarães. Agradeço cordialmente felicitações dirigidas pela Câmara Municipal dessa cidade - João Alfredo ."

"Repartição Geral dos Telégrafos = Estação da Bahia. 15 de Maio de 1888 = Procedente do Rio = Endereço -À Câmara Municipal da Bahia = A Ilma. Câmara Municipal da Corte congratula-se com essa Câmara pela extinção da escrivão em nossa pátria. - J. Ferreira Nobre, Presidente."

É apresentado um requerimento do Oficial Maior da Secretaria da Câmara, Manoel Rodrigues Valença, em que, por ter completado 25 anos de serviço no dia 20 de fevereiro do corrente ano, pede a gratificação adicional a que tem direito, em face do disposto no art. 4º § 1º. da Resolução Provincial nº1051 de 29 de junho de 1868, e art. 99 da de nº 2.284 de 12 de setembro de 1881.

Ao requerimento estavam anexos os títulos de nomeações e certidão passada pelo Secretário da Municipalidade. Além disso tinha parecer da Comissão de Justiça, opinando pelo deferimento da petição, em vista das disposições legais referidas.

O Sr. Dr. Presidente pôs o objeto em discussão.

O Sr. Francisco Pires nota que o parecer só está assinado por um dos membros da Comissão, parecendo-lhe que por isso não pode ainda ser discutido e votado.

O Sr. Dr. Antonio Euzébio diz que não o primeiro parecer que entrega sem a assinatura de seu digno colega da Comissão, que às vezes está fora da cidade e com quem está de inteira harmonia.

Um Sr. Vereador diz que o melhor é preencher a Comissão.

O Sr. Dr. Presidente declara que o Sr. Dr. Garcia Pires está fora de cidade, mas não deu parte à Câmara; que ausência desse Sr. Vereador é por poucos dias e que submetia o parecer à discussão, não tendo a assinatura de um dos dignos membros da Comissão, visto como se trata de objeto que não oferece dúvida: é questão de direito claro.

O Sr. Francisco Pires não insiste; está satisfeito com as explicações que ouviu.

O parecer, encerrada a discussão, é aprovado por unanimidade.

O Sr. Dr. Presidente declara que não há mais expediente sobre a mesa.

Diz que, aproximando-se a festa de Corpus Christi, que a Câmara é obrigada a fazer, vai mandar ler os ofícios que tem de ser expedidos ao Governo. São lidos e assinados os sobreditos ofícios, ficando o Presidente autorizado a fazer as despesas com a verba para ela decretada.

Pede aos Srs. Vereadores que tenham propostas a apresentar, queiram fazê-lo.

O Sr. Francisco Pires tem uma proposta; mas antes de entregá-la que sobre ela dizer algumas palavras.

Disse, em resumo, que como filho desta Província, nota que ela trabalha só para a Corte e que nada tinha por causa da maldita centralização. Enquanto de tudo precisamos e estamos quase estacionários, querem levar até o fenômeno que o céu enviou-nos, o meteorolito Bendegó, que deve a qualquer hora chegar à estação da Estrada de Ferro na Calçada.

Quer que se saiba em todo tempo que houve um baiano que protestou contra essa extorsão e que lembrou um meio de impedi-la.

Lamenta que nenhum senador ou deputado desta Província se lembrasse de opor-se a isso.

Entende que o Bendegó atrairá estrangeiros à nossa pátria, curiosos de verem aquela raridade, que em falta de outro lugar mais apropriado em que fique, pede ser depositado no Passeio Público.

É esta a proposta: "Sendo as Câmaras Municipais as fiéis intérpretes dos sentimentos de seus munícipes, incumbindo-lhes de fazer a aquisição de todos os melhoramentos, requeiro que esta Câmara, por intermédio do Presidente da Província, se dirija a Sua Alteza Imperial, pedindo-lhe que deixe ficar nesta Capital o meteorolito - Bendegó -, visto ser um fenômeno o mais notável do mundo, capaz de por sua raridade chamar a curiosidade das nações cultas para esta Província.

Paço à Câmara Municipal, 22 de Maio de 1888. Francisco Pires de Carvalho."

O Sr. Dr. Presidente põe a matéria em discussão.

O Sr. Dr. Antonio Euzébio começa dizendo que é mais fado seu em opor-se às propostas do honrado Sr. Vereador Francisco Pires. Não é má vontade ao seu colega, simplesmente diverge de algumas de suas opiniões.

Não conhece competência na Câmara, não já para opor-se, mas unicamente para intervir de qualquer modo que o meteorolito Bendegó siga para a Corte. Em que carcter dirigir-se-ia ela ao Governo, solicitando-lhe que obtivesse de sua Alteza Imperial Regente que deixe o Bendegó nesta Capital? O meteorolito é bem deste município?

Não, porque não o é nem do de Monte Sante, onde foi encontrado, como também não o é de propriedade da Província, à vista de nossa legislação. Se há alguém que tenha direito sobre o Bendegó outro não é senão o dono do terreno onde ele foi encontrado. Depois, no caso de ficar o Bendegó nesta Capital, onde o colocaríamos? No Passeio Público? Aí era para desaparecer em breve tempo, porque não faltaria quem quisesse possuir um pedacinho daquela raridade e tantas amostras lhe haviam de tirar, que, dentro de pouco acabariam com ele.

Prescindindo da questão do lugar, insiste na de direito. Na Lei Orgânica das Câmaras não vê nenhuma disposição que as autorize a entrar em questão desta ordem.

Que justificação teria, pois, sua intervenção neste desejo que manifestam alguns cidadãos de que o Bendegó não saia da Província?

Um Sr. Vereador. -- Estando a Assembléa aberta, é a ela que se devem dirigir, é ela que deve (pr...) a não retirada do Bendegó.

O Sr. Dr. Antonio Euzébio: nem ela é competente; porque, repito o meteorolito não é propriedade da Província.

Depois, pensa que, ainda quando se pudesse considerar o meteorolito propriedade da Província, não seria esta a melhor ocasião para contrariar os desejos tão vivamente manifestados pela Princesa Imperial, que acaba de firmar a lei que extinguiu a escravidão no Brasil.

Parece-lhe que, quando de toda parte surgem felicitações à Princesa Regente, quando o chefe da Igreja Católica acaba de presentear a Rosa de Ouro, com que honra os grandes atos da humanidade, não seria generoso, pelo menos, opor-se a Bahia à satisfação daqueles desejos.

O Bendegó não simboliza glórias da Província, não tem senão valor científico, que aqui, seguramente, não poderia ser devidamente apreciado; o nobre Vereador é o próprio que reconhece que aqui não teríamos onde colocar o meteorolito, objeto próprio para figurar em museus ou em estabelecimentos científicos.

Entretanto, não tanto por essas considerações como pela manifesta incompetência da Câmara, nega seu voto à proposta do honrado Sr. Vereador, e assim se exprimindo, não quer de modo nenhum influir no ânimo de seus dignos colegas, que, como sempre votarão com toda franqueza.

Continuando a proposta em discussão, o Sr. Francisco Pires diz que, não obstante os argumentos de seu digno colega que acaba de falar, insiste em sua proposta.

É sua opinião que o Bendegó também pode aqui servir para estudos e para atrair sábios e curiosos estrangeiros. Pensa que o meteorolito pertence à Província e nela deve ficar.

Encerrada a discussão, votam pela proposta o autor e o Sr. Dr. Bellarmino Costa; e contra os Srs. João Seixas, Coronel Rodrigues, Dr. Virgílio de Carvalho, Capitão Pereira d'Almeida, Luiz José da Silva, Luiz d'Azevedo, Dr. Antonio Euzébio e Dr. Augusto Guimarães.

O Sr. Vereador Francisco Pires fez o seguinte requerimento:

"Já estando a Assembléa Provincial funcionando a perto de dois meses, e não tendo sido submetido à consideração da Câmara o balanço de sua receita e despesa, que tem de ser submetido à Assembléa; requeiro que se me informe qual a razão de semelhante demora. Paço da Câmara, 22 de Maio de 1888 -- Francisco Pires de Carvalho.

O Sr. Dr. Presidente explica que os balancetes que deviam ser apresentados à Assembléa, no Relatório deste ano, já o foram em Novembro do ano passado, porque nessa ocasião estando já findo o ano Municipal de 1886 a 1887, e, achando-se o Corpo Legislativo Provincial funcionando, enviou-lhe logo a Câmara esse trabalho, de modo que aquilo que o Sr. Vereador julga atrasado, teve, ao contrário, adiantamento.

No Relatório que, para preencher uma formalidade, tem de ser remetido neste dias, vão os balancetes do primeiro semestre decorrido do ano vigente.

E não havendo mais nada a tratar, o Sr. Dr. Presidente fechou a sessão.

(R)

REVISTA
 dos
 57
 ACOMPANHAMENTOS
 BENDEGO
 de 1888

Musqueta Simão (Tango)	18000
Trampolim Polka	12000
Valsa da falcatura (Atta- clava)	10000
Polka dos bucos	10000
Polka dos lórris	10000
Canção do amor	10000
Caracóis Habanera	10000
Herminia Polka	10000
Duzentos mil reis (Solo Zola) Habanera	10000
Tango dos ibérios (Bil- lampsage)	10000
Quadrilha	10000

(B)

EDITORES
 BUSCHMANN & GUTMARAES
 52, RUAS DOS OLIVEIS
 RIO DE JANEIRO.

BG-11-7

Imprensa Lithographica e Estamparia de Buschmann & Gutmaraes

2

O BENDEGÓ

NOTA DE 2002000 (FALSA)

HABANERA cantada pela atriz BELLEGRANDI

MUSICA DO MAESTRO J. A. PINTO.

Introdução

PIANO

The piano introduction is written in 2/4 time with a key signature of one sharp (F#). It consists of two staves: a treble clef staff and a bass clef staff. The treble staff begins with a treble clef, a key signature of one sharp, and a 2/4 time signature. The first measure contains a quarter rest followed by a quarter note G4. The bass staff begins with a bass clef, a key signature of one sharp, and a 2/4 time signature. The first measure contains a quarter rest followed by a quarter note G2. The introduction continues with a series of chords and melodic lines in both hands.

The first system of the piano accompaniment continues the piece. It features a treble clef staff with a melodic line and a bass clef staff with a rhythmic accompaniment. The key signature remains one sharp and the time signature is 2/4.

The second system of the piano accompaniment continues the piece. It features a treble clef staff with a melodic line and a bass clef staff with a rhythmic accompaniment. The key signature remains one sharp and the time signature is 2/4.

CANTO

The first system of the vocal line (CANTO) is written in a treble clef staff. It begins with a treble clef, a key signature of one sharp, and a 2/4 time signature. The melody starts with a quarter note G4, followed by a quarter note A4, and then a quarter note B4. The accompaniment in the bass clef staff continues with a rhythmic pattern.

The second system of the vocal line continues the melody. It features a treble clef staff with a melodic line and a bass clef staff with a rhythmic accompaniment. The key signature remains one sharp and the time signature is 2/4.

(2152)

(9152) D.C.

BIblioteca Nacional
Rio de Janeiro
333959



O BENDEGÓ

POLKA DA ACTUALIDADE

PARA PIANO

ppp

ABDON MILANEZ

IMPERIAL ESTABELECIMENTO
PIANOS & MUSICAS
NARCISO & ARTHUR NAPOLEÃO
89, RUA DO OUVIDOR 89.
Rio de Janeiro

B

Lith. Imp. de Narciso & Arthur Napoleão

2

O BENDEGÓ

POLKA DA ACTUALIDADE.

Preço 12000

ABDON MILANEZ.

PIANO

Propriedade dos Edictores. 3208

Handwritten musical score for piano, consisting of six systems of two staves each. The notation includes treble and bass clefs, a key signature of one flat, and various rhythmic values. The score concludes with a double bar line, the number '12', and the initials 'D. G.'

3308



198.057/63

TANGOS E HAVANERAS PAR. PIANO

1. PALOMITA PARAGUAYA, (1.ª) Dança.....	1\$000	41. MI GUSTAN TODAS, Habanera.....	1\$000
2. " " (2.ª) ".....	1\$000	42. OJOS MATADORES, ".....	1\$000
3. DOLORES, Habanera.....	1\$000	43. OS ME DEIXES DAS BRAZILEIRAS, Habanera (1906)	1\$000
4. CONCHITA, ".....	1\$000	44. ROBINSON CRUSOÉ, Tango.....	1\$000
5. PERTUNDA ".....	1\$000	45. EN EL PALMAR, Habanera.....	1\$000
6. SAUDADES DE LUQUE, Habanera.....	1\$000	46. UNA FLOR, ".....	1\$000
7. BRAZILEIRA, Dança ".....	1\$000	47. TANGO DA RECREATIVA, C. Menezes.....	1\$000
8. LOS NEGROS ".....	1\$000	48. ANILLO DE HIERRO (La Tinturera), Habanera.....	1\$000
9. LA PALOMA ".....	1\$000	49. SOSPIRO, por Francisca Gonzaga, Tango.....	1\$000
10. EL NEGRITO ".....	1\$000	50. AMORTEM GELLO (resp. ao Amor tem fogo) Tango.....	1\$000
11. EL SOL DE SEVILLA ".....	1\$000	51. CARMEN, de Bizet, Habanera.....	1\$000
12. UNA VIEJA ".....	1\$000	52. ESTUDIANTINA, ".....	1\$000
13. PRIM, Tango.....	1\$000	53. HEROE Á FORÇA, Tango.....	1\$000
14. JOVEN TELEMACO, Tango.....	1\$000	54. PITECO ".....	1\$000
15. TANGO AMERICANO.....	1\$000	55. PERIQUITO ".....	1\$000
16. CANÇÃO DOS NEGROS DE HAVANA.....	1\$000	56. O GRILLO ".....	1\$000
17. RELAMPAGO, Tango.....	1\$000	57. MORENITA, Habanera.....	1\$000
18. (AMOR SOBRENCERO.....) Habanera.....	1\$000	58. DJELMA, Tango.....	1\$000
19. PALMEIRA, Habanera.....	1\$000	59. IDILIO, ".....	1\$000
20. VICENTINA ".....	1\$000	60. SARAH, Polka-habanera.....	1\$000
21. NO ME OLVIDES, Habanera.....	1\$000	61. A RIO GRANDENSE, Habanera.....	1\$000
22. SEDUCTOR por Francisca Gonzaga, Tango.....	1\$000	62. ARAUNA, (Quilombo) com palavras, Tango.....	1\$000
23. SONHANDO "..... Habanera.....	1\$000	63. " " sem ".....	1\$000
24. ZAMACUECA, por J. White, Dança Chilena.....	1\$000	64. GATA BORRALHEIRA, Tango.....	1\$000
25. PROCESSO DO CAN-CAN, Seguidilha.....	1\$000	65. DE PETROPOLIS A PARIS, Tango.....	1\$000
26. CECY E BONHO DA VIRGEM, Tango.....	1\$000	66. TRES ROCAS DE CRYSTAL, Canção Sevillhana.....	1\$000
27. AMOR TEM FOGO, Tango.....	1\$000	67. DIARINHA, Polka-habanera.....	1\$000
28. CARIOCA, por C. Polonio, Tango.....	1\$500	68. CABRAL, Tango.....	1\$000
29. ALI BABA, Tango.....	1\$000	69. QUEBRA QUEBRA MINHA GENTE, Tango.....	1\$000
30. AMOR EM SONHOS, Tango.....	1\$500	70. O SENHOR PADRE VIGARIO, Tango chulo.....	1\$000
31. HESPERIDINA, Habanera.....	1\$000	71. AS TERNURAS DE SEU BEM, Padinho.....	1\$500
32. DÁ CÁ O PÉ PAPAGAIO, Habanera.....	1\$000	72. A VERDADEIRA HESPERIDINA, Habanera.....	1\$500
33. LA NEGRITA, Habanera.....	1\$000	73. O AMOR TEM GELO, Novo Tango.....	1\$600
34. SAUDADES DO RIO GRANDE DOSUL, Habanera.....	1\$000	74. ESCUTA BENZINHO, Tango Brasileiro.....	1\$500
35. PYRILAMPO, Habanera.....	1\$000	75. EL OLE, Dançado Hspanhol.....	1\$000
36. REMISSÃO DOS PECCADOS, Tango.....	1\$500	76. FLOR DAS MOÇAS BRASILEIRAS, Habanera.....	1\$000
37. SOSPIRO DAS FLORES, Habanera.....	1\$000	77. O PREGO, Tango.....	1\$600
38. GENTIL COMO UNA PALMEIRA, Habanera.....	1\$500	78. O BILONTRA, (Ataca Philippe) Lundú.....	1\$000
39. HABANERA.....	1\$000	79. LUNDU' DAS MULATINHAS, Lundú.....	1\$000
40. LA CHALACA, Habanera.....	1\$000	80. A DONZELLA THEODORA, Ai! Ai! Pobre Pai.....	1\$000

MÉLODIES CÉLESTES Collection de morceaux faciles pour les commençants

1. MANDOLINATA, de Paladilhe.....	RUMMEL.....	1\$00	53. MEFISTOFELE, Serenata.....	BONAMICI.....	1\$00
2. NON É VER, de T. Mattei.....	LITTMANN.....	1\$00	54. DONNA JUANITA, Serenata.....	L. LUDOVIC.....	1\$00
3. LE COR DES ALPES, de Proch.....	MULDER.....	1\$00	55. " " Polka.....	".....	1\$00
4. LE CARNAVAL DE VENISE.....	GERVILLE.....	1\$00	56. BOCCACIO, Serenata.....	".....	1\$00
5. LA CHAPELLE, de G. Tell.....	".....	1\$00	57. MADAME FAVART, Tyrolienna.....	OFFENBACH.....	1\$00
6. FLKUR DES ALPES, Tyrolienna.....	".....	1\$00	58. DONNA JUANITA, Valse.....	STREABBOG.....	1\$00
7. JENNY MA BELLE, Valse.....	LITTMANN.....	1\$00	59. DINORAH, Valse da Sombra.....	PALMER.....	1\$00
8. GARDÉS DE LA REINE, Valse.....	STREABBOG.....	1\$00	60. " Santa Maria.....	STREABBOG.....	1\$00
9. LES PLAISIRS D'ALLEMAGNE.....	GERVILLE.....	1\$00	61. FILHA DO REGIMENTO.....	PALMER.....	1\$00
10. RÊVES DU PASSÉ, Valse.....	STREABBOG.....	1\$00	62. HUGUENOTTES, Duetto e Rataplan.....	LUDOVIC.....	1\$00
11. CUIR DE RUSSIE, Valse de Klein.....	".....	1\$00	63. " Celebre duetto.....	".....	1\$00
12. LE BEAU DANUBE, Strause.....	".....	1\$00	64. " Cêro nupcial.....	".....	1\$00
13. INDIANA, Valse de Marcellhou.....	".....	1\$00	65. " Scena della cangiura.....	".....	1\$00
14. LA FILLE DE M ^{me} ANGOT.....	CROISEZ.....	1\$00	66. " Brindisi.....	".....	1\$00
15. LA SOMNAMBULA, cavatine.....	MULDER.....	1\$00	67. SERENADE DE SCHUBERT.....	PALMER.....	1\$00
16. " de Bellini.....	GERVILLE.....	1\$00	68. LA VAGUE, Valse de Metra.....	WACHS.....	1\$00
17. NORMA, Duo des deux femmes.....	LITTMANN.....	1\$00	69. L'ESPÉRANCE, Valse de Metra.....	".....	1\$00
18. " Cêlbre final.....	".....	1\$00	70. ULTIMO PENSAMENTO de Weber.....	ALBERTI.....	1\$00
19. " Souvenir de Bellini.....	GERVILLE.....	1\$00	71. SÉRÉNADÉ HONGROISE.....	STREABBOG.....	1\$00
20. " Costa Diva.....	PALMER.....	1\$00	72. ROBERTO DO DIABO.....	ALBERTI.....	1\$00
21. BEATRICE DI TENDA.....	GERVILLE.....	1\$00	73. RIGOLETTO, Bella figlia de l'amore.....	".....	1\$00
22. GUARANY, Sento una Forza.....	MENOZZI.....	1\$00	74. TROVADOR, Miserere.....	LUDOVIC.....	1\$00
23. " Canzone.....	".....	1\$00	75. MANTHA, Romance da Rosa.....	ALBERTI.....	1\$00
24. PURTAINS.....	PALMER.....	1\$00	76. FAUST, " das Soreas.....	".....	1\$00
25. LE BARBIER DE SÉVILLE.....	GERVILLE.....	1\$00	77. " Valse.....	".....	1\$00
26. I VESPREI SICILIANI.....	BONAMICI.....	1\$00	78. MOISE, Priêre.....	PALMER.....	1\$00
27. LA FORZA DEL DESTINO.....	".....	1\$00	79. MINUETO DE BOCHERINI.....	ALBERTI.....	1\$00
28. " " ".....	".....	1\$00	80. AIDA, Duetto final e Marcha.....	PALMER.....	1\$00
29. L'EBREA (La Juivo).....	MENOZZI.....	1\$00	81. PROPHETA, Marcha.....	LUDOVIC.....	1\$00
30. " " ".....	".....	1\$00	82. DESIR D'HARMONIE, de Lange.....	".....	1\$00
31. IL POLIUTO (Il Martiri).....	BONAMICI.....	1\$00	83. LA GIOCONDA, Dança das Horas.....	STREABBOG.....	1\$00
32. MANTHA.....	".....	1\$00			

A handwritten musical score for a piece titled "Bendegó". The score is written on a single page of aged paper with a grid pattern. It consists of six systems of music, each with a treble and bass clef. The first system is marked with a "2" and a "2^a" bracket, and the title "Bendegó" is written above the treble staff. The first system also includes a dynamic marking of *mf*. The second and third systems are marked with an "8" above the treble staff. The fourth system includes a *cresc.* marking and a dynamic of *f*. The fifth system has a dynamic of *p*. The sixth system features first and second endings, marked "1^a" and "2^a". At the bottom left of the page, the number "(9109)" is written.

Trampolim

The first system of musical notation for 'Trampolim' consists of two staves. The upper staff is in treble clef and contains a series of chords, primarily triads and dyads, with some accidentals. The lower staff is in bass clef and contains a rhythmic accompaniment of eighth and sixteenth notes. A dynamic marking of *ff* (fortissimo) is placed in the lower staff.

The second system continues the piece and includes first and second endings. The first ending is marked '1ª' and the second ending is marked '2ª'. The notation includes chords and melodic lines in both staves.

The third system of musical notation continues the piece with chords and rhythmic accompaniment in both staves.

The fourth system includes first and second endings, marked '1ª' and '2ª'. The piece concludes with a double bar line and the marking 'D.C. no 8'.

Coda

The Coda section consists of two staves. The upper staff contains chords, and the lower staff contains a rhythmic accompaniment. A dynamic marking of *f* (forte) is present.

(2109)



na capa: *Album Musical 1889 -*



A distinta atriz cantora Herminia Adelaide

HERMINIA

POLKA sobre os motivos mais populares da revista *O BENDEGÓ*

POR M. LIMA.

PIANO

Coro dos Fiscaes.

Coda.

Coro de Chins.

(2109)

na capa: [Rio de Janeiro] Rua das Azevedas, 52 577-719/1981d
Buschmann & Guimarães - Imperial Lithographia e Estamparia
1889 - Album Musical



36-I-63

ANEXO 3

ARTIGOS EM CONGRESSOS E ENCONTROS TEMÁTICOS

A IMPORTÂNCIA CIENTÍFICA DOS METEORITOS



*Curso de Pós Graduação
em Geologia- UFBA
Julho/2007*

**Seminários em
Petrologia,
Metalogênese e
Exploração Mineral.**

Mestrando:
Wilton Carvalho
Orientadora:
Dra. Débora Rios
Prof. Dr. Herbet
Conceição

ÍNDICE

Sumário.....	03
Introdução.....	07
Definições Básicas e Nomenclatura.....	08
Amostras Extraterrestres.....	09
Classificação de Prior – 1920.....	11
Classificação Moderna – 2005.....	12
Meteoritos Férreos.....	14
Grupo IC.....	16
Conclusões.....	20
Referências.....	21

SUMÁRIO

Os meteoritos são amostras de material extraterrestre que trazem preciosas informações sobre a origem do sistema solar. Eles são fragmentos do núcleo, manto e crosta de asteróides que passaram por processos de diferenciação similares aos que ocorreram na Terra há 4,5 b.a.

Nesse estudo demonstra-se a importância científica dos meteoritos, fazendo-se uma rápida apresentação da meteorítica. Seus conceitos básicos e regras de nomenclatura são abordados de forma sucinta, enfatizando-se os sistemas de classificação criados para agrupar esse material.

Os meteoritos férreos mereceram especial atenção nesse trabalho, haja vista abrigarem o siderito Bendegó no Grupo IC. Esse meteorito é objeto da dissertação de mestrado do autor, em fase de elaboração.

Palavras-chave: Bendegó, cratera, meteorito, meteoróide, extraterrestre

Introdução

Desde o Cambriano até o Quaternário ocorreram pelo menos quinze extinções em massa, sendo a mais severa registrada no final do Permiano, cuja duração da ordem de 15 m.a. parece relacionar-se à fragmentação e deriva dos continentes e respectivas mudanças climáticas e orogênicas.

Ao contrário dos eventos registrados no Permiano, a extinção ocorrida no Cretáceo foi súbita e mais seletiva, atingindo com maior intensidade a vida marinha do que a vida terrestre. Entre os animais marinhos extintos aqueles que habitavam águas poucos profundos ou flutuavam (planctônicos) foram mais afetados do que os seres residentes no fundo dos oceanos (bentônicos).

Há fortes indícios de que a queda de um meteorito de 10 km de diâmetro causou essa extinção em massa ocorrida há 65 m.a., sendo os principais a descoberta de uma camada de argila escura rica em metais nobres situada entre depósitos de calcário típicos dos períodos Cretáceo e Terciário (K-T) e uma gigantesca cratera submersa, localizada na Península de Yucatan, Golfo do México.

A exploração jornalística da extinção dos dinossauros e grandes répteis no final do Cretáceo, assim como o sucesso de filmes de ficção científica retratando as conseqüências do impacto de asteróides com a Terra fixaram na mente de grande parte da humanidade a imagem dos meteoritos como grandes exterminadores, deixando em segundo plano a importância científica desses fragmentos de matéria extraterrestre.

A hipótese que aponta para uma relação entre a extinção em massa do Cretáceo e a queda de um meteorito foi inicialmente aventada em 1969 por Digby McLaren e reforçada em 1973 por Harold Urey. Apenas em 1980, uma equipe da Universidade da Califórnia, Berkeley, liderada por Walter Alvarez, demonstrou que uma fina camada de argila encontrada no limite dos depósitos de calcário do Cretáceo e Terciário apresentava alta concentração de Ir, elemento excepcionalmente abundante nos meteoritos, porém raro na crosta terrestre. Essa mesma equipe verificou que abaixo da argila rica em Ir (Cretáceo) havia evidência da proliferação de foraminíferos, fato que não ocorria no calcário acima dessa linha (Terciário) evidenciando a ocorrência da extinção em massa K-T.

Dez anos mais tarde, imagens de satélite e estudos geofísicos levados a efeito por empresas da indústria do petróleo confirmaram a existência da cratera submersa de Chicxulub, uma depressão multianelar com aproximadamente 180 km de diâmetro, no fundo da Península de Yucatan. A idade dessa cratera coincide com o final do período Cretáceo, construindo-se assim mais um pilar de sustentação à hipótese cataclísmica da grande extinção ocorrida há 65 m.a.

A importância científica dos meteoritos não se restringe às catástrofes que possam ter impactado nosso planeta ao longo do tempo geológico ou às ameaças que asteróides em possíveis rotas de colisão com a Terra representam para o futuro da humanidade.

O interesse dos cientistas pelos meteoritos foi primeiramente registrado em 1794 através de um pequeno livro escrito por Ernst Friederick Chladini resumando suas investigações e descobertas sobre fragmentos de rochas e de metal cujas quedas foram testemunhadas e apresentavam consistente documentação.

Chladini foi o primeiro cientista a aceitar que esse material “caía do céu”, estava relacionado à passagem de bólidos e que provinha de regiões além da atmosfera terrestre, possivelmente do espaço interestelar. Em 1802, as primeiras rochas meteoríticas foram analisadas na Inglaterra pelo químico Edward Charles Howard que encontrou uma composição muito semelhante nas quatro amostras que estudou e que provinham de localidades diferentes da Europa e Índia. Anos mais tarde isso, corria um boato de que Thomas Jefferson, naturalista e segundo presidente dos Estados Unidos, havia dito em 1807: “Senhores, eu acreditaria mais facilmente que dois professores noviorquinos mentiriam do que acreditaria em pedras que caem do céu”, referindo-se ao relato feito por dois cientistas da Universidade de Yale sobre a queda do meteorito Weston, Connecticut, no inverno daquele ano.

Apesar do ceticismo da comunidade científica, as análises dos meteoritos prosseguiram em ritmo lento, mas constante. Em 1857, Karl Ludwig von Reichenback estudou os minerais e a textura dos meteoritos utilizando um microscópio comum, seguindo-se observações com o microscópio petrológico, inventado em 1861 por Nevil Story-Maskelyne.

No final do século XIX as universidades e museus conseguiram reunir uma quantidade substancial e variada de meteoritos e informações petrológicas suficientes para estabelecer uma primeira classificação dessas rochas e fragmentos de ferro baseada na textura e características físicas, aceitando como ponto pacífico sua origem espacial.

O meteorito Bendegó, descoberto no Brasil em 1784, representou papel relevante nessa jornada pelo reconhecimento da meteorítica como ciência, haja vista o interesse que despertou na comunidade científica européia um artigo publicado no *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, em 1819, dando conta dos resultados de análises químicas conduzidas por Wollaston em amostras coletadas pelo engenheiro britânico A. F. Mornay, contratado pelo Governo brasileiro para investigar ocorrências de águas termais no sertão da Bahia, em 1810.

Em 1886 membros da Academia de Ciências de Paris, recomendaram ao Imperador do Brasil D. Pedro II promover meios para que o meteorito Bendegó fosse transportado para o Rio de Janeiro, onde poderia ser estudado e assim contribuir para aumentar as informações disponíveis sobre o ferro espacial do qual é constituído.

O meteorito Bendegó, pesando 5.360 k foi transportado do município de Monte Santo, Bahia, para a Corte Imperial, na cidade do Rio de Janeiro, passando a integrar o acervo do Museu Nacional a partir de 1888. No final do século XIX era o maior meteorito exposto em um museu, extraindo-se dele amostras que foram encaminhadas a diversas instituições dos Estados Unidos e Europa. A importância desse meteorito para a comunidade científica pode ser avaliada ainda por dois fatos: sua participação na Exposição Universal, realizada em Paris em 1889, quando milhares de pessoas tiveram oportunidade de apreciá-lo através de uma réplica em madeira, mandada confeccionar pelo Governo do Brasil e a visita que recebeu do eminente físico Albert Einstein quando de sua passagem pelo Rio de Janeiro em 1925.

Nos últimos 100 anos, o desenvolvimento da geoquímica, astronomia, termodinâmica e outras ciências afins que consubstanciam os estudos dos meteoritos abriu um vasto campo de pesquisa em busca de explicações sobre a origem do sistema solar e processos de diferenciação dos astros que o compõem.

Mônica Grady, atualmente professora do Center for Earth, Planetary, Space & Astronomical Research, da Open University, Londres, é autora do Catálogo de Meteoritos, edição 2000 e durante muitos anos foi Curadora da coleção de meteoritos do Museu Britânico. No artigo de abertura da coletânea de trabalhos científicos reunidos no livro *Meteorites and the Early Solar System II*, ela resumiu a importância científica dos meteoritos escrevendo em 2006:

“Usamos os meteoritos e seus componentes para inferir todos os estágios da evolução do sistema solar, da condensação dos sólidos primordiais à agregação, alteração, diferenciação e formação de brechas.”

Definições básicas e nomenclatura

A meteorítica é uma ciência multidisciplinar que utiliza intensamente recursos e definições emprestadas da Geologia, Geoquímica, Astronomia, Física e sistemas isotópicos para estudar os meteoritos. Alguns termos utilizados para definir os principais fenômenos ligados aos meteoritos muitas vezes ganham conotação diferente em abordagens não científicas, daí a necessidade de apresentarmos as definições básicas a seguir:

- **meteoróide:** fragmento de matéria que vaga pelo espaço;
- **meteoro:** fenômeno luminoso observado quando da passagem de um fragmento diminuto de matéria pela atmosfera terrestre;
- **bólide:** fenômeno luminoso observado quando da passagem de um grande fragmento de matéria pela atmosfera terrestre;
- **meteorito:** fragmento de rocha ou de ferro de origem espacial (meteoróide) que atinge a superfície da Terra;
- **queda:** define um meteorito recuperado após manifestações de luz e de som testemunhadas;
- **achado:** define um meteorito recuperado sem que haja documentação ou relatos de sua entrada na atmosfera terrestre;

A Meteoritical Society (METSOC) é uma sociedade que reúne pessoas interessadas no estudo dos meteoritos, contando com cerca de 950 cientistas, colecionadores e curadores de museus de 33 países. A METSOCa edita um boletim trimestral, disponível na Internet (<http://www.meteoriticalsociety.org>) com os nomes e resumos das análises classificatórias de

novos meteoritos. Em 28/06/2007, havia 32.732 meteoritos registrados no banco de dados dessa organização.

A nomenclatura dos meteoritos recomenda a utilização do nome da cidade, vila, povoado ou acidente geográfico mais próximo do local da queda ou do achado, por exemplo, o Meteorito Bendegó chama-se assim porque foi achado às margens do riacho de mesmo nome. Quando a área do achado ou queda não oferece essa distinção, tais como os desertos da África e geleiras da Antártica, adota-se uma sigla e um número seqüencial para denominar os meteoritos. Por exemplo, os meteoritos coletados no continente antártico tem o seguinte padrão ALH8401, onde as três primeiras letras referem-se à região (Alan Hills, nesse caso) e os algarismos registram o ano e a ordem em que o meteorito foi descoberto (Ano 1984, primeiro meteorito coletado nessa expedição). Para os meteoritos achados nos desertos ou outros locais desprovidos de acidentes geográficos marcantes ou aglomerações urbanas, o Comitê de Nomenclatura da Meteoritical Society oferece uma relação de abreviaturas que deve ser seguida de um número seqüencial para caracterizar o achado ou queda. Exemplo Acfer 001, primeiro meteorito achado na área denominada Acfer, Algéria.

Amostras extraterrestres

Os meteoritos são amostras geológicas não rotuladas de astros do sistema solar formados juntamente com a Terra há 4,5 b.a. Eles representam regiões da superfície e interior de corpos celestes, proporcionando aos cientistas, através dos resultados de análises químicas e isotópicas, informações para construção de modelos que propõem hipóteses sobre os processos de diferenciação da Terra e constituição de sua crosta, manto e núcleo.

Teoricamente todos os astros do sistema solar são potencialmente fontes de meteoritos, entretanto fatores como velocidade de escape, densidade da atmosfera e órbitas estáveis, combinados ou isoladamente, atuam como elementos restritivos para ejeção de material sólido no espaço e sua posterior colisão com a Terra.

Os meteoritos analisados até o presente têm como origem os asteróides, a Lua e Marte. É provável que os núcleos de cometas sejam também fontes de meteoritos, entretanto a carência de informações sobre a composição desses astros não permitiu ainda identificar material cometário nos fragmentos de rocha e de ferro espaciais recuperados até o momento.

Além dos meteoritos os cientistas dispõem de outras amostras de material extra-terrestres, a saber:

- rochas lunares coletadas pelos astronautas do Projeto Apolo (Estados Unidos) e pelas naves não tripuladas do Projeto Luna (Rússia) na década de 1970;
- partículas de poeira interplanetária (IDP) , coletadas na estratosfera por aviões tipo U2;
- partículas do Cometa Wild2, coletadas pelo Projeto Poeira das Estrelas (Stardust) e trazidas à Terra em 2006;
- nanodiamantes e SiC (Carboneto de Silício), considerados de origem estelar, extraídos de meteoritos carbonáceos
- Inclusões de Cálcio e Alumínio (CAI), material refratário encontrado nos meteoritos condritos e considerado com um dos primeiros sólidos resultantes da condensação da nebulosa solar.

Adicionalmente a essas amostras sólidas, os meteoritos trazem em seu interior trilhas de fissão nuclear resultantes do bombardeamento de raios cósmicos durante sua estadia no espaço, além de isótopos gerados pelos efeitos do vento solar em suas superfícies. Essas características são utilizadas para datação das idades terrestres e de exposição dos meteoritos, respectivamente o tempo de residência em nosso planeta e o tempo que passou vagando no espaço sideral após ser ejetado do astro de origem.

Composição química

A maioria dos minerais que compõem os meteoritos são comuns às rochas terrestres. Aproximadamente 300 minerais já foram identificados nessas amostras espaciais, sendo 40 deles exclusivos. Os minerais mais comumente encontrados são as olivinas, os piroxênios e os feldspatos. Óxidos, fosfatos, sulfetos e carbonatos também ocorrem com frequência, embora em pequenas concentrações. Elementos nativos como o Carbono já foram isolados sob a forma de grafite e diamantes. O Ferro e o Níquel metálicos, formando uma liga de Taenita $\alpha(\text{Ni,Fe})$ e Kamacita $\gamma(\text{Ni,Fe})$, estão presentes em quase todos os meteoritos, sendo a marca

registrada dessas rochas, uma vez que sua ocorrência na crosta terrestre sob a forma metálica é muito rara. A tabela seguinte sumariza os minerais mais comuns encontrados em meteoritos.

Mineral	Descrição	Fórmula Geral
Níquel-Ferro	Liga de Fe, Ni e Co	(Ni, Fe, Co)
Troilita	Principal sulfeto em meteoritos	FeS
Piroxênios	Enstatita, Bronzita, Hiperstênio, Diopsídio, Augita.	(Fe, Mg, Ca) SiO ₃
Olivinas	Comuns em meteoritos pétreos e mistos. Raras em meteoritos férreos	(Fe, Mg) ₂ SiO ₄
Feldspatos/Plagioclásios	Albita, Anortita, Ortoclásio	(K,Na,Ca)(Si,Al) ₄ O ₈

Dentre os minerais exclusivos, os principais são a Schreibersita (Fe,Ni)₃P, a Osbornita (TiN) e a Oldhamita (CaS) identificados no final do século XIX.

A proporção em peso desses minerais na constituição dos meteoritos e as concentrações de elementos-traço e elementos maiores como o Fe e Ni fundamentam os sistemas de classificação atualmente vigente, sem desbancar, entretanto, a classificação estrutural adotada há 200 anos que subdivide os meteoritos em três tipos básicos: pétreos, férreos e mistos.

Classificação

A primeira classificação dos meteoritos diferenciando os férreos dos pétreos foi proposta em 1807. Em 1863 foi introduzida nessa classificação o grupo de meteoritos mistos, compostos de silicatos embutidos em uma matriz de Ferro-Níquel. Baseada na composição mineralógica e características estruturais, surgiu em 1904 uma classificação abrangente com 76 tipos de meteoritos. Essa classificação é denominada sistema Rose-Tschermak-Brezina em homenagem aos três cientistas que a desenvolveram, adotando as seguintes classes: acondritos, condritos, enstatita-anortita-condritos, siderólitos, litosiderólitos, octahedritos, hexaedritos e ataxitos.

A multiplicidade de classes e suas subdivisões baseadas principalmente na mineralogia e em propriedades físicas tais como cor e veios na estrutura interna das rochas foram os principais pontos críticos da classificação Rose-Tschermak-Brezina, conforme revisão feita por Prior em 1920 propondo uma versão mais simplificada com apenas quatro classes e 19 grupos.

Classificação de Prior – 1920

1) Condritos – subdivididos em cinco grupos de acordo o conteúdo de Fe oxidado versus Fe livre.

- a) enstatito
- b) olivina-bronzito
- c) olivina-hiperstênio
- d) olivina-pigeonito
- e) carbonáceo

2) Acondritos – subdivididos em duas categorias: ricos em cálcio e pobre em cálcio.

Pobres em cálcio

- a) enstatito ou aubrito
- b) hiperstênio ou diogenito
- c) olivina ou chassignito
- d) olivina-pigeonito

Ricos em cálcio

- a) augita ou angrito
- b) diopsídio-olivina ou nakhalito
- c) piroxênio-plagioclásio ou eucrito, howardito, shergortito

3) Mistos (stony-irons) – classificados conforme a natureza de seus minerais.

- a) olivina ou palasito
- b) bronzita-tridimita ou siderófilo
- c) bronzita-olivina ou lodranito
- d) piroxênio-plagioclásio ou mesossiderito

4) Férreos – divididos conforme o conteúdo de Ni e largura das lamelas de Kamacita.

- a) hexahedrito – Ni entre 4-6%
- b) octahedrito – Ni entre 6-14%
- c) ataxito – Ni maior que 14%

Classificação moderna – 2005

A análise dos meteoritos evoluiu muito nos últimos 80 anos, construindo-se sistemas de classificação mais detalhados que levam em conta as semelhanças dos meteoritos em termos de sua mineralogia, petrografia, geoquímica e isótopos de oxigênio.

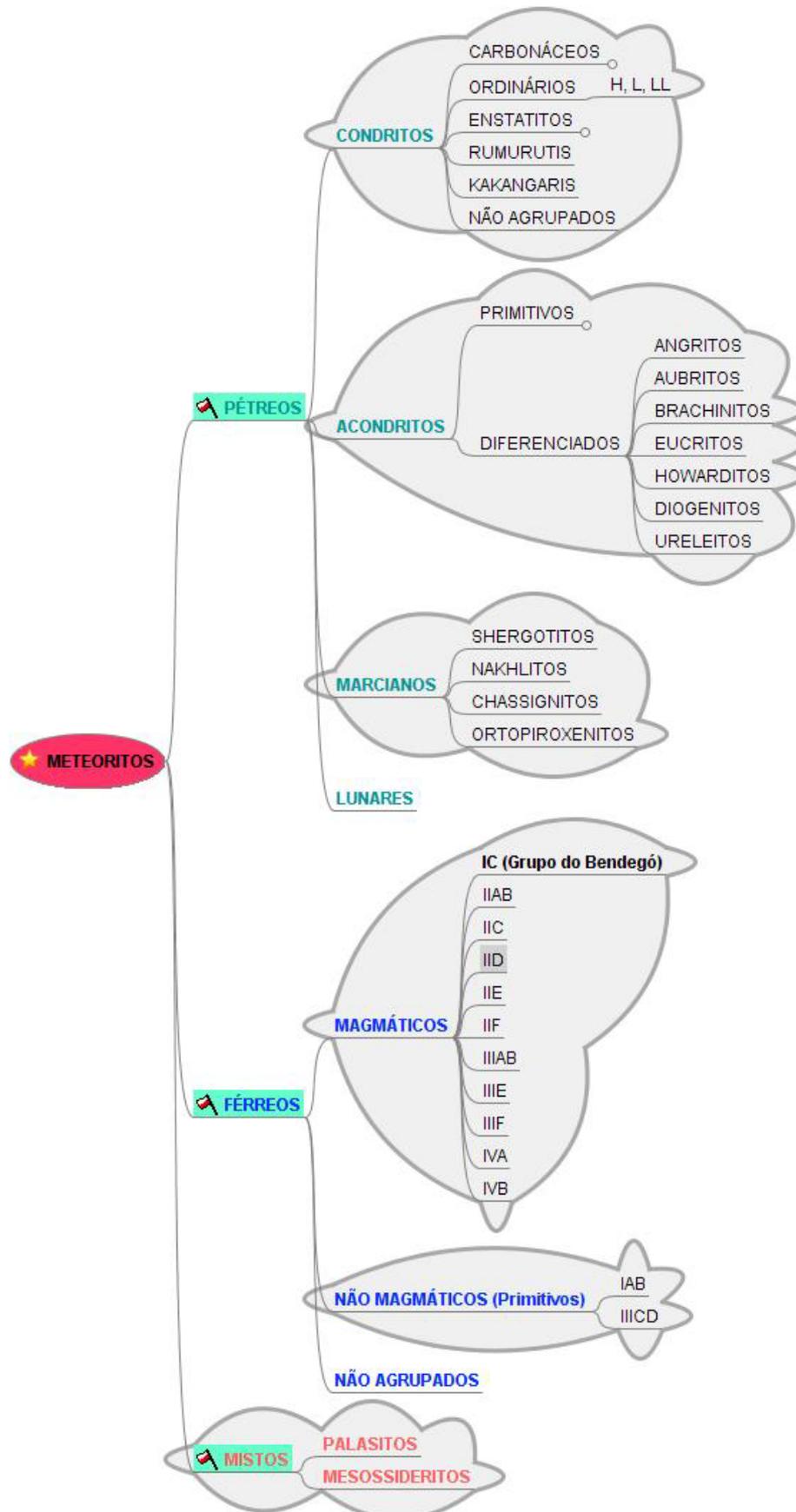
A classificação moderna dos meteoritos tem como objetivo reunir em grupos distintos meteoritos de origem similar histórico de formação parecidos de forma a revelar prováveis relacionamentos genéticos que apontam para um determinado tipo de astro (planeta ou asteróide) como possível fonte primária.

Nessa classificação os meteoritos são agrupados em duas classes principais: condritos e não condritos. O primeiro grupo subdivide-se em carbonáceos, ordinários, enstatitos, similares ao Rumurati, similar ao Kakangari e não agrupados.

O grupo dos não condritos tem dois subgrupos: primitivos e diferenciados. Os primitivos subdividem-se em acapulcoitos, lodranitos e winonaitos. Os diferenciados são os acondritos, mistos (pétreos-férreos), férreos, marcianos, lunares e não agrupados.

O diagrama seguinte apresenta a classificação atualmente vigente, traduzida e adaptada do artigo Classification of Meteorites, de Krot, Keil, Goodrich, Scott e Weisberg .

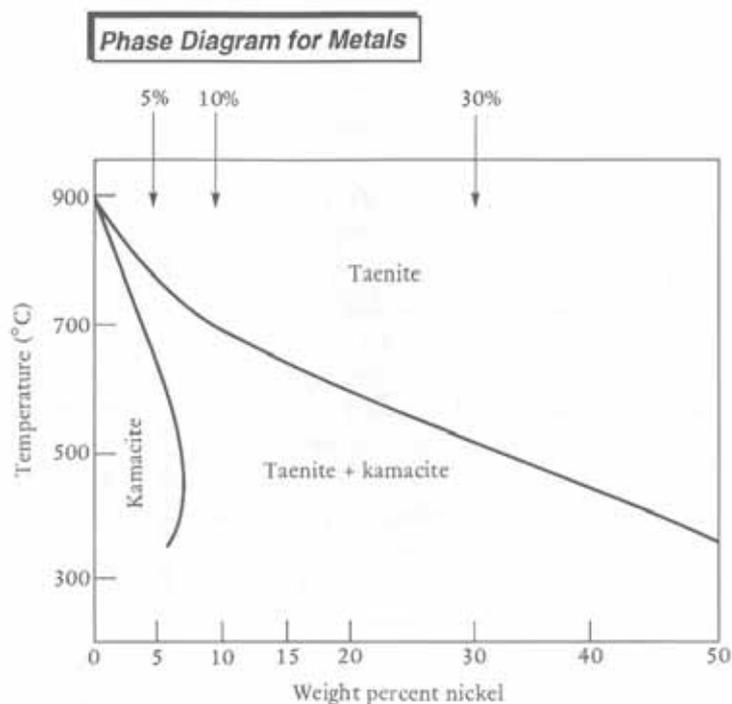
Classificação Moderna dos Meteoritos



Meteoritos férreos

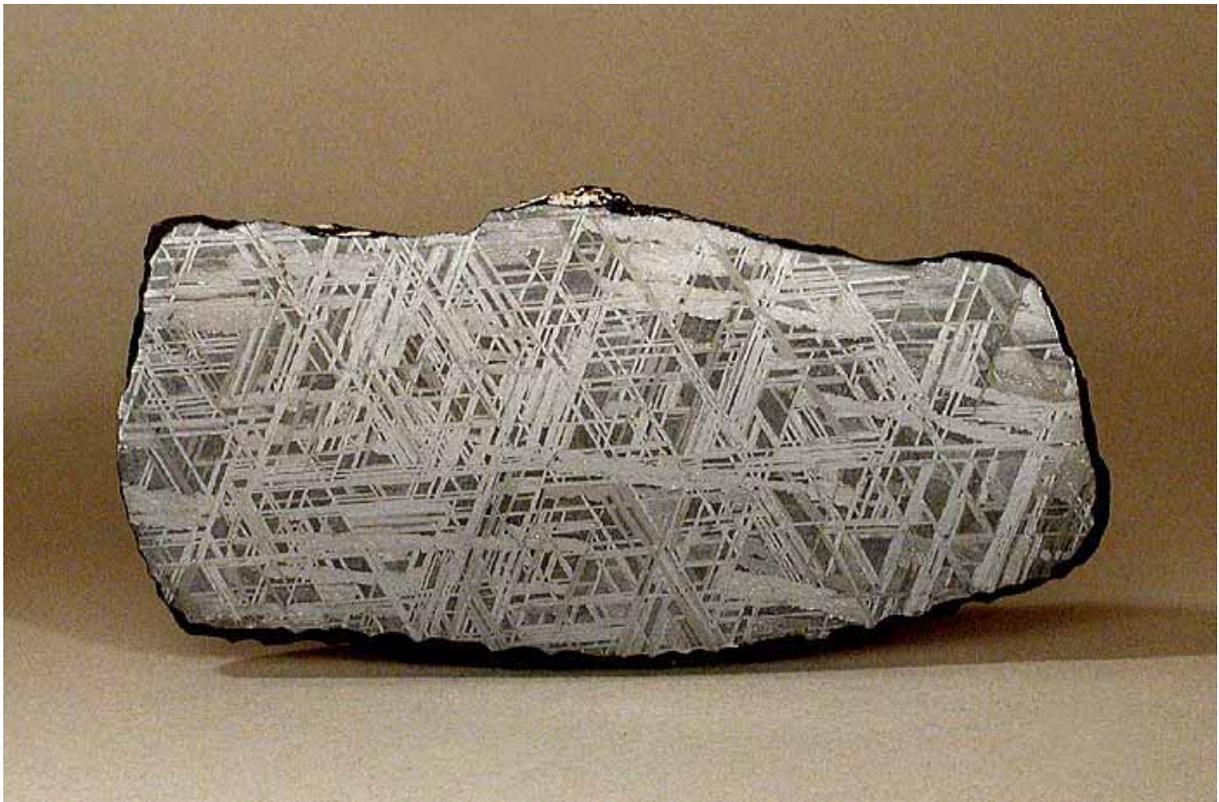
Entre os meteoritos férreos do Brasil, destaca-se o Bendegó achado em 1784 e transportado da Bahia para o Rio de Janeiro em 1888, conforme vimos na Introdução. A geoquímica e geocronologia desse meteorito é o objeto da proposta de dissertação integrante do curso de Mestrado em Geologia, iniciado pelo autor neste semestre. Por essa razão, estamos enfatizando essa classe de meteoritos neste Seminário de Petrologia, Metalogênese e Exploração Mineral, em detrimento de um maior aprofundamento das características dos meteoritos pétreos e mistos.

A hipótese mais consistente com a formação da maioria dos meteoritos férreos tem como base de sustentação processos de diferenciação química de um líquido de natureza condritica. Aproximadamente aos 900° C o metal existente nesse líquido primitivo formou uma solução sólida de Taenita [$\alpha(\text{Ni,Fe})$] e Kamacita [$\gamma(\text{Ni,Fe})$]. A composição química final do meteorito depende do conteúdo original de Ni uma vez que a solução sólida exsolve-se por difusão de átomos desse elemento, sendo mais vigorosa a temperaturas elevadas e cessando por volta dos 500° C conforme diagrama abaixo:



O crescimento dos cristais de Kamacita e Taenita é uma função da taxa de resfriamento da liga Fe-Ni e a largura das lamelas do primeiro mineral é utilizado em modelos para cálculo do tempo que a solução sólida dispendeu resfriando-se até os 400° C, permitindo por esse método inferir a profundidade e tamanho do astro que abrigava a massa metálica.

As lamelas de Kamacita crescem em áreas específicas dos cristais da Taenita, truncando a matriz cúbica cristalina em ângulos de 45° nos oitos pontos de junção das arestas. Quando uma área do meteorito metálico é polida e atacada por um ácido forte aparecem linhas claras e escuras formando um arranjo geométrico denominado Padrão de Windmanstatten



Há dois sistemas de classificação dos meteoritos férreos: estrutural e químico. O primeiro é baseado no conteúdo de Ni e na largura das lamelas de Kamacita que variam de 0,2 a mais de 50 mm. Essa classificação estrutural é conhecida desde o final do Século XIX sendo formada por três grandes grupos: hexahedrito, octahedrito e ataxito. O grupo octahedrito, por sua vez, é subdividido em seis subgrupos conforme a largura da lamela de Kamacita em muito grosso, grosso, médio, fino, muito fino e plessítico.

Classificação Estrutural dos Meteoritos Férreos

Grupo	Sigla	Largura da Lamela (mm)	% Ni
Hexahedrito	H	>50,0	4,5 – 6,5
Octahedrito	O		
Muito grosso	Ogg	3,3 – 50,0	6,5 – 7,2
Grosso	Og	1,3 - 3,3	6,5 – 7,2
Médio	Om	0,5 - 1,3	7,4 – 10,3
Fino	Of	0,2 - 0,5	7,8 – 12,7
Muito fino	Off	<0,2	7,8 – 12,7
Plessítico	Opl	<0,2	Kamacita fusiforme
Ataxito	D	Sem estrutura	>16,0

Fonte: Norton (2002), The Cambridge Encyclopedia of Meteorites

A classificação química dos meteoritos férreos foi desenvolvida entre os anos de 1967 e 1977 por John Wasson e seus colegas da Universidade da Califórnia, Los Angeles, através de uma série de oito artigos que estabeleceram treze grupos cogenéticos. Essa classificação tem por base o conteúdo de Ni e a concentração dos elementos-traço Ge, Ga e Ir em relação a esse metal. Além desses elementos utiliza-se adicionalmente a concentração do Au, As, P e Ir para resolver casos em que ocorre sobreposição de áreas nos gráficos. Foram analisados mais de 600 meteoritos, usando-se a técnica de Ativação por Irradiação de Nêutrons e análises através de micro-sonda da largura das lamelas do componente Kamacita da liga Fe-Ni, registrando-se cerca de 100 meteoritos que não puderam ser enquadrados em nenhum dos treze grupos cogenéticos, sendo classificados como anômalos.

A primeira distinção dessa classificação é a subdivisão dos meteoritos férreos em magmáticos ou diferenciados e não magmáticos ou primitivos. Norton (2002) define meteoritos magmáticos como “*aqueles cuja inclinação das linhas de tendência de seus elementos em relação ao Ni são consistentes com a possibilidade de terem sido formados por cristalização fracionada.*” Dodd (1986), esclarece que os meteoritos férreos magmáticos são aqueles formados através da cristalização fracionada de magmas lentamente resfriados, enquanto os não magmáticos foram formados através da segregação de cristais em líquidos rapidamente resfriados e contêm abundância de inclusões silicáticas.

Os treze grupos cogenéticos de meteoritos férreos obedecem a uma nomenclatura representada por algarismos romanos de I a IV, que identificam quatro grandes classes criadas por John Lovering (1957) após analisar as concentrações de Ga, Ge e Ni em 88 meteoritos. Os estudos de John Wasson (1967-1977) e seus colegas da UCLA mantiveram as quatro classes originalmente propostas por Lovering, acrescentando letras maiúsculas para diferenciar os treze grupos genéticos encontrados.

Classificação Química dos Meteoritos Férreos

Grupo Químico	Quant. (2002)	Frequência %
IAB	139	19,69
IC	11	1,56
IIAB	109	15,44
IIC	8	1,13
IID	17	2,41
IIE	18	2,54
IIF	5	0,71
IIIAB	258	36,54
IIICD	42	5,95
IIIE	13	1,84
IIIF	8	1,13
IVA	65	9,21
IVB	13	1,85
Total	706	100,00

Fonte: Catalogue of Meteorites (2002)

O grupo mais numeroso é o IIIAB com 258 espécimes, seguido pelos grupos IAB com 139 exemplares e IIAB com 109. Esse três grupos representam mais de 2/3 (71%) de todos os meteoritos férreos catalogados até 2002.

Segundo Wasson e Kallemeyn (2001) os grupos IIAB, IIIAB e IVA foram formados por processos de cristalização fracionada de um magma que se resfriou muito lentamente. Meteoritos gerados por esse processo são definidos como magmáticos. A origem dos meteoritos do grupo IAB, considerados como não magmáticos, ainda é assunto em discussão,

admitindo-se que tenham sido formados a partir de líquidos gerados por impactos, haja vista não apresentarem significativos efeitos dos processos de partição sólido/líquido.

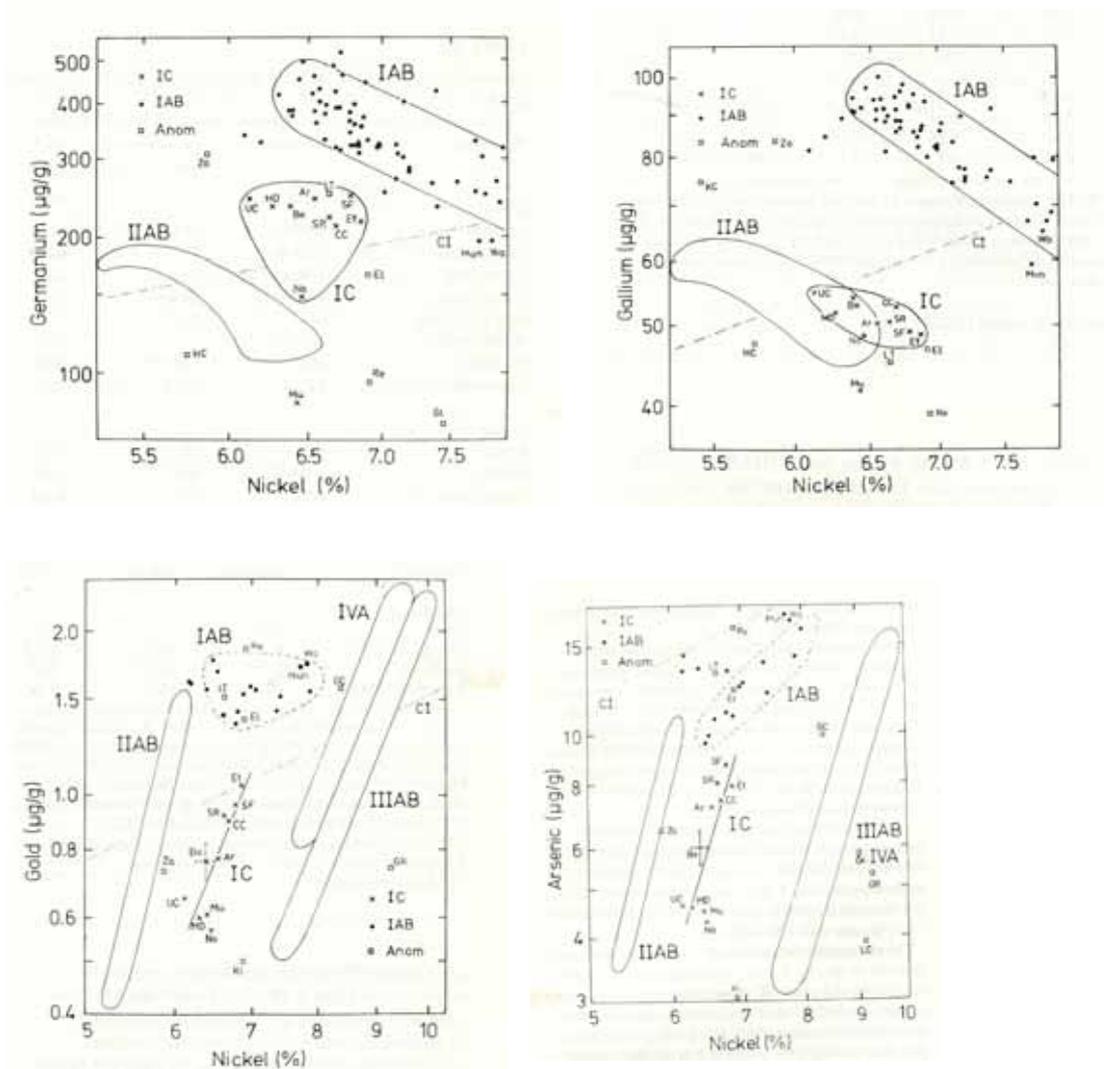
Grupo IC

O grupo IC inclui o meteorito Bendegó e mais dez espécimes conforme a seguinte tabela:

Meteoritos do Grupo Químico IC

Meteorito	País	Peso (kg)	Ni % Wt	Ga ppm	Ge ppm	Ir ppm
Arispe	México	307	6,54	50,30	243,0	9,70
Benedegó	Brasil	5.360	6,39	54,00	234,0	0,20
Chihuahua	México	54	6,68	52,70	212,0	0,11
Etosha	Namíbia	110	6,85	48,90	217,0	0,10
Mount Booling	Austrália	733	6,26	52,00	234,0	1,20
Murnpeowie	Austrália	1.143	6,42	41,80	85,0	1,80
Nocoleche	Austrália	20	6,45	48,60	148,0	7,30
Santa Rosa	Colômbia	820	6,63	50,60	222,0	0,07
St. François County	Estados Unidos	7	6,77	49,20	247,0	0,11
Union County	Estados Unidos	3	6,12	54,80	245,0	2,10
Winburg	África do Sul	50	6,98	51,80	180,0	0,89

Os gráficos referentes à concentração de Ga e Ge em relação ao Ni mostram claramente que o grupo IC situa-se entre o IA e IIAB, constituindo uma classe à parte. Nota-se no gráfico de dispersão do Ga em relação ao Ni que há uma superposição dos campos referentes aos meteoritos do Grupo IC e IIAB. As linhas de tendência encontradas para as concentrações de outros elementos-traço (Au, Ir, As, P) demonstram uma boa correlação, resolvendo aquele conflito da superposição e corroborando a proposta de Wasson e Scott para criação de um novo grupo com meteoritos anteriormente considerados anômalos, conforme gráficos abaixo, emprestados da monografia *Composition, Mineralogy and Origin of Group IC Iron Meteorites* (1977, de E. R. D. Scott).



Em termos de mineralogia, Scott reporta abundância de Coenita (Fe_3C) com inclusões de Kamacita e Taenita. A presença do carboneto Hexonita ($\text{Fe}_{2,3}\text{C}_6$) no meteorito Bendegó foi assinalada por Buchwald, em seu Handbook of Iron Meteorites (1975).

Inclusões de Troilita (FeS) são comuns nos meteoritos desse grupo, assim como foram encontradas diminutas quantidades de nitrato de Cromo, Carlsbergite (CrN).

Por seu turno, a textura mineral dos espécimes do grupo IC é muito variada, dificultando a utilização de modelos para cálculo da taxa de resfriamento baseados na largura das lamelas de Kamacita e conteúdo de Ni. Para os meteoritos Arispe e Bendegó o método Goldstein-Short forneceu uma taxa de resfriamento de 3° e $9^\circ \text{ C m.a.}^{-1}$ respectivamente. O método de Wood aplicado ao meteorito Arispe resultou em uma taxa de resfriamento de $8^\circ \text{ C m.a.}^{-1}$. Esses resultados são coerentes com os limites de taxas de resfriamento para meteoritos do tipo

octahedritos, entretanto outros exemplares desse grupo, como o Santa Rosa, apresentaram taxas de resfriamento da ordem de 10^{30} C m.a.⁻¹. As taxas de resfriamento a partir dos 900° C encontradas por Scott (1977) nos dez meteoritos do grupo analisados por ele variam de 1° a 10^{40} C m.a.⁻¹. Segundo esse autor, essa variação não se correlaciona com o fracionamento químico do Ni, Ga, Ge, Au, As, Ir e W, sugerindo que as massas que deram origem a esse meteorito resfriaram-se a profundidades diferentes em um mesmo astro, requerendo assim a atuação de algum mecanismo para redistribuí-las. Essa redistribuição pode ter sido causada por um grande impacto que fragmentou o astro-pai e dispersou em diferentes profundidades fragmentos de seu núcleo ainda quente.

Conclusões

Os meteoritos férreos são amostras do núcleo de asteróides formados há 4,5 b.a. e sua disponibilidade em nossos laboratórios proporciona aos cientistas o único meio de tocar, ver e analisar com instrumentos sofisticados material similar ao que se encontra no centro da Terra, numa região entre 2.900 e 6.400 km de profundidade.

Os modelos criados para simular a diferenciação química dos astros do sistema solar têm como premissa que os mesmos foram formados por acreção de material condrítico, posteriormente aquecidos ao ponto de fusão.

Uma vez no estado líquido esse material sofreu diferenciação química e separação mecânica por gravidade, vindo a constituir nos asteróides e planetas três partes distintas: núcleo, manto e crosta.

Esse modelo explica de forma satisfatória a formação da maioria dos meteoritos férreos, entretanto ele não explica a grande variação das taxas de resfriamento calculadas para os membros do grupo IC e o fato de que a inclinação das linhas de tendência dos elementos dos grupos IAB e IIIC em relação ao Ni não são consistentes com a possibilidade de terem sido formados por cristalização fracionada.

Referências

- Alvarez, L. W., Alvarez, W., Asaro, F., and Michel, H., 1980, Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction: *Science*, Vol. 208, pp. 1095- 1108.
- Dodd, R. T. (1986) *Thunderstones and Shooting Stars - The Meaning of Meteorites*. Harvard University Press. 196 pp.
- Grady, M. M. (2006) *Types of Extraterrestrial Material Available for Study in Meteorites and the Early Solar System II*. The University of Arizona Press, pp 3-17
- Krot A. N., Keil K, Goodrich C.A., Scott E. R. D. e Weisberg M. K. (2005) *Classification of Meteorites in Meteorites, Comets, and Planets, Treatise of Geochemistry Vol. I* pp 83-127.
- Mason, B. (1962) *Meteorites*. John Wiley & Sons, Inc. 274 pp.
- McSween Jr., Harry Y. (2000) *Meteorites and Their Parent Planets*. 2^a edition. Cambridge University Press. 310 pp.
- Norton, O. R. (2002) *The Cambridge Encyclopedia of Meteorites*. Cambridge University Press. 354 p.
- Scott, E. R. D. *Composition, Mineralogy and Origin of Group IC Iron Meteorites*. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 37, pp. 273-284, 1977.
- Scott, E. R. D. e Wasson, J. T. *Chemical classification of iron meteorites - VIII. Groups IC, IIE, IIIF and 97 other irons*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 40, pp. 103-115, 1976.
- Wasson, J. T. (1974) *Meteorites - Classification and Properties*. Springer 316 p.
- Wasson, J. T. e Kallemeyn, G. W. *The IAB iron-meteorite complex: A group, five subgroups, numerous grouplets, closely related, mainly formed by crystal segregation in rapidly cooling melts*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 66, Nº 13pp. 2445-2473, 2002.
- Wasson, J. T., Choi, B-G, Jerde, E. A. e Ulf-Moller, F. *Chemical classification of iron meteorites - XII. New members of the magmatic groups*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 62, pp. 715-724, 1998.
- Wasson, J. T., Huber, H. Malvin, D. *Formation of IIAB iron meteorites*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 71, pp. 760-781, 2007.

Dois novos meteoritos baianos aumentam a coleção brasileira para 57 exemplares

Wilton **CARVALHO**¹, Elizabeth **ZUCOLOTTO**²

1. Associação dos Astrônomos Amadores da Bahia - AAAB
2. Universidade Federal do Rio de Janeiro - Museu Nacional

Introdução

Desde 1887 sabia-se da existência de um meteorito férreo achado na Serra de Monte Alto, no sudoeste da Bahia. O achado foi comunicado por carta assinada pelo padre José Dorme ao diretor do Museu Nacional. Durante 120 anos, isto é de 1887 a 2007, esse meteorito manteve-se desconhecido para a ciência.

Em 2007 o professor de paleontologia Douglas Riff, da Universidade Estadual do Sudoeste Baiano - UESB teve sua atenção despertada, enquanto em missão de campo, por relatos da existência de uma massa de ferro guardada na Escola Marcelino Neves, no município de Palmas de Monte Alto.

Apesar de não ser especialista em meteorítica, o Prof. Douglas notou muitas semelhanças entre a massa de ferro que lhe foi apresentada e o meteorito Bendegó, exposto no Museu Nacional, no Rio de Janeiro, decidindo comunicar o fato à Dra. Elisabeth Zucolotto, curadora daquela instituição, que de imediato se prontificou a viajar à Bahia para juntamente Wilton Carvalho ir até a cidade de Palmas de Monte Alto a fim de coletar amostra e levantar informações sobre o achado o que foi feito na semana de 30/06 a 02/04/2008, coletando-se uma amostra de 100g para análises.

Outra ocorrência de meteorito relacionada à UESB – Universidade Estadual do Sudoeste Baiano refere-se ao achado de uma pequena massa de ferro de 10,5 kg entre amostras de minérios e outras substâncias geológicas guardadas no laboratório de química analítica. O fragmento de ferro chamou a atenção pela densidade e características físicas externas. Infelizmente não havia etiqueta junto a essa amostra com informações sobre local e data do achado original, nem quem encaminhou o fragmento à universidade. Na mesma viagem que a Dra. Elisabeth Zucolotto e Wilton Carvalho fizeram a Palmas de Monte Alto, houve oportunidade para se dialogar com os professores Andréia Sanches, Eduardo Bernardes e

Douglas Riff sobre o achado de Vitória da Conquista, ensejando posteriormente a retirada de uma amostra que foi enviada ao Museu Nacional para análise.

As análises químicas e estruturais das amostras coletadas confirmaram a natureza meteorítica das duas massas, aumentando-se a coleção brasileira para 57 exemplares e contemplando a Bahia com mais duas ocorrências, perfazendo um total de cinco meteoritos encontrados no Estado.

Meteorito Serra de Monte Alto

Histórico

Francisco da Cruz, lavrador, estava no alto da Serra de Monte Alto coletando seiva de mangabeira quando sua atenção foi despertada por uma “pedra” de formato irregular, parecida com uma máquina de costurar modelo antigo, segundo suas palavras. “Seu” Francisco bateu na “pedra” com a ferramenta que usava para sangrar a mangabeira, produzindo um som metálico característico de golpes de ferro contra ferro. Tentou mover a “pedra” mas não conseguiu devido ao seu avantajado peso. Isso aconteceu quando ele era rapazinho, antes de se casar. Com base na Certidão de Casamento de “seu” Francisco ele nasceu em 1924 e se casou em 1955, assim o ano do achado foi antes de 1955 e, se considerarmos “rapazinho” como alguém de 20 anos de idade, o período ficaria entre 1944 e 1954. A probabilidade do achado ter ocorrido na década de 40 é reforçada por outros comentários de moradores antigos da cidade de Palmas de Monte Alto que estimam em 60 anos o tempo em que a “pedra” chegou ao município.

Para remover a massa de ferro cujo peso é de 150 kg “seu” Francisco foi buscar ajuda, retornando com dois companheiros e um cobertor forte com o qual armou uma espécie de rede onde o meteorito foi depositado e posteriormente transportado sobre os ombros de dois homens. O meteorito mede 60x40x20 cm.

Em 2008 o meteorito foi removido da Escola Marcelino Neves para a Prefeitura onde se encontra sob a guarda da Secretaria da Educação.



Figura 1 - Meteorito Serra de Monte Alto



Figura 2 - Francisco Cruz, o descobridor

Nome

A denominação de um meteorito obedece normas de nomenclatura emitidas pela Meteoritical Society, uma organização internacional formada por cientistas de renome. A regra mais comumente aplicada estabelece que o nome do meteorito deve se referir ao aspecto geográfico mais próximo e de maior conhecimento da população, geralmente a denominação do município onde foi achada a massa. No presente caso, será proposto à Meteoritical Society a denominação Serra de Monte Alto, haja vista o registro histórico que existe nos arquivos do Museu Nacional dando conta da existência dessa massa de ferro desde 1887.

Características Estruturais

Uma seção polida do meteorito foi tratada com uma solução de ácido nítrico (2%) e álcool absoluto (98%) revelando um padrão Windmasttaten bem definido, com lamelas de kamacita medindo $0,90 \pm 0,10$ mm de largura e uma relação comprimento versus largura da ordem de 15 vezes. Essa estrutura permite classificar o meteorito como um siderito do tipo octaedrito médio.

Exames microscópicos da seção polida revelaram também inclusões de cromita e de troilita, além de três variedades de kamacita: (1) decoradas com subgrãos de fosfetos, (2) com lamelas crosshatched e (3) com estrutura ϵ . Esse último tipo evidencia efeitos de choques de alta intensidade.

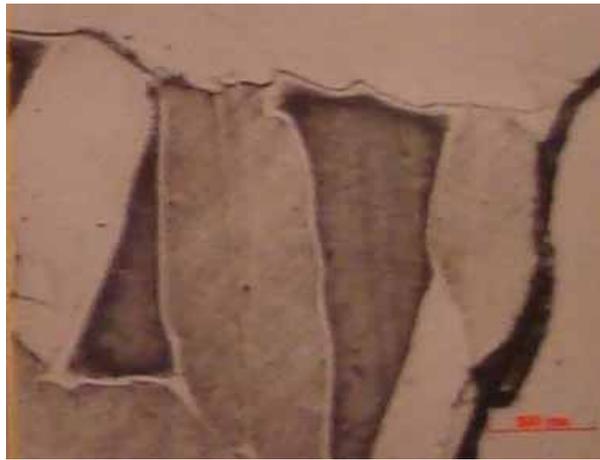


Figura 3 – Seção Polida do Meteorito Palmas de Monte Alto

Características químicas

Os meteoritos férreos são classificados em 13 grupos genéticos conforme a relação existente entre as concentrações de Níquel e alguns elementos-traço, principalmente Irídio, Gálio, Germânio, Ouro e Arsênio. Uma amostra do meteorito Monte Alto foi analisada pelo Dr. John Wasson, da Universidade da Califórnia, em Los Angeles, através da técnica de irradiação por nêutrons, (Instrumental Neutron Activation Analysis -INAA). Os diagramas binários desses elementos com o Níquel enquadram o meteorito Serra de Monte Alto no grupo IIIA (três A).

Meteorito Vitória da Conquista

Histórico

Uma massa de ferro pesando 10,5 kg e medindo 25x14x13 cm foi encontrada em 2007, pelos professores Eduardo Bernardes e Andréia Sanches entre amostras de mão de minerais do laboratório de geologia da Universidade Estadual do Sudoeste Baiano – UESB. Não foi localizada na universidade etiqueta ou informações que permitissem o identificar a origem, pessoa ou instituição que doou a amostra à UESB.

Uma amostra dessa massa de ferro foi encaminhada ao Museu Nacional onde se processou análises estruturais e químicas permitindo classificar esse meteorito como 57° da coleção brasileiro e o quinto achado ou caído em território baiano.



Figura 4 – Meteorito Vitória da Conquista

Nome

Considerando a ausência de informações sobre a origem e a data do achado ou da queda dessa massa de ferro e levando-se em conta que ele foi de fato encontrado na cidade de Vitória da Conquista, Dra. Elisabeth Zucolotto está propondo à Meteoritical Society denominar esse meteorito com o nome do município: Vitória da Conquista.

Características Estruturais

Uma seção polida desse meteorito foi submetida ao ataque de uma solução de ácido nítrico (2%) e álcool absoluto (98%), conhecida como Nital, revelando um padrão Windmasttaten definido, com lamelas de kamacita com largura de $0,35 \pm 0,05$ mm, apresentando uma relação entre o comprimento a largura da ordem de 20-100 vezes. Essa característica permitiu classificar o meteorito Vitória da Conquista como um octaedrito fino.



Figura 5 – Seção polida do meteorito Vitória da Conquista

Exames microscópicos de uma seção polida revelaram lamelas de kamacita hachuriadas, tipo crosshatched, indicativas de efeitos de choques da ordem de 130 kbar sofridos pela massa. Foram observadas também linhas de Neumann em diversas direções que sinalizam efeitos de choques menores que 130 kbar. Foram observados também campos de plessita com zona transicional da borda para interior e campos desse mesmo mineral com sinais de alteração, possivelmente por aquecimento. Foram identificados também inclusões do mineral Schreibersita, um fosfeto de ferro, níquel $(\text{Fe,Ni})_3\text{P}$.

Características químicas

A análise química do meteorito Vitória da Conquista foi realizada pelo Dr. John Wasson, na Universidade da Califórnia, em Los Angeles, usando a técnica de irradiação por nêutrons (Instrumental Neutron Activation Analysis -INAA). Os resultados preliminares dessa análise sugerem que se classifique esse meteorito como um membro do Grupo IVA (quatro A) de acordo com os gráficos binários do Níquel em relação ao Germânio, Gálio e Iridio.

Conclusões

A coleção de meteoritos brasileiros com apenas 57 exemplares é muito pouco expressiva para as dimensões continentais do país. Fatos como os dois achados relatados neste trabalho demonstram total desconhecimento por parte da população e até mesmo dos meios acadêmicos sobre a importância de se obter amostras e informações sobre massas de ferro e rochas provenientes do espaço e que jazem em gavetas de laboratórios de universidades e colégios ou são utilizados como peso para segurar portas ou papéis.

No Brasil há duas instituições que se dedicam ao estudo dos meteoritos de forma regular: o Museu Nacional, ligado à Universidade Federal do Rio de Janeiro e o Instituto de Geociências, da Universidade Federal da Bahia, através do Grupo de Pesquisa Aplicada em Petrologia – GPA.

Os dois meteoritos baianos ora em fase de registro oficial demonstram que temos a capacidade e expertise técnica para identificar e classificar esses fragmentos de rochas e de ferro espaciais, em que pesem as limitações dos equipamentos atualmente disponíveis nas universidades brasileiras.

Embora modesto, em termos de recursos financeiros, está sendo iniciado na UFBA, a partir de novembro de 2008, um programa para recuperação de meteoritos que conta com o apoio da

FAPESB – Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Bahia. O programa tem duração de dois anos e se propõe primeiramente a divulgar a importância científica dos meteoritos a fim de sensibilizar estudantes, agentes de saúde, professores, acadêmicos, jornalistas, políticos e a população em geral para comunicarem ocorrências de bólidos e de rochas com características estranhas encontradas nos municípios da Bahia.

Referências Bibliográficas

Grady, M. M. (2006) Types of Extraterrestrial Material Available for Study in Meteorites and the Early Solar System II. The University of Arizona Press, pp 3-17

Norton, O. R. (2002) The Cambridge Encyclopedia of Meteorites. Cambridge University Press. 354 p

Scott, E. R. D. e Wasson, J. T. Chemical classification of iron meteorites - VIII. Groups IC, IIE, IIIF and 97 other irons. . Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 40, pp. 103-115, 1976

Wasson, J. T. (1974) Meteorites - Classification and Properties. Springer 316 p.

Avanços na avaliação geoquímica do meteorito Bendegó

Os meteoritos são amostras de material extraterrestre que trazem informações sobre a origem do sistema solar. São fragmentos do núcleo, manto e crosta de asteróides que passaram por processos de diferenciação similares aos que ocorreram na Terra há 4,5 Ga. Sua classificação química objetiva reunir em grupos distintos espécimes de origem similar e com históricos de formação parecidos.

O meteorito Bendegó é o maior espécime da coleção de 55 exemplares brasileiros. Ele integra o Grupo IC dos meteoritos férreos, caracterizado pelo baixo teor de Ni (6,1 a 6,8%) e com apenas 12 espécimes catalogados, dentre as 984 massas classificadas até 2008. Achado no Município de Uauá, Bahia, em 1784, o Bendegó representou papel relevante para o reconhecimento da meteorítica como ciência. Em 2008 comemoram-se 120 anos desde que o Bendegó foi transferido para o Museu Nacional, no Rio de Janeiro, onde se encontra até hoje. No final do século XIX era o maior meteorito exposto em um museu. Amostras de sua massa foram distribuídas para as principais instituições científicas do mundo.

Os estudos petrográficos realizados nesse meteorito permitem classificá-lo estruturalmente como octaedrito grosso, com lamelas da liga Fe-Ni medindo em média 1,8 mm de largura. Seu padrão Widmanstaetten é bem delineado e suas inclusões de troilita (FeS) são visíveis em amostras de mão. O mineral Schreibersita $[(\text{Fe},\text{Ni})_3\text{P}]$, de ocorrência exclusiva em meteoritos, também está presente.

A bibliografia para análises geoquímicas em meteoritos do grupo IC é muito escassa. Os dados disponíveis para o Bendegó são os de Scott e Wasson (1976) e Scott (1977) que reportam oito elementos analisados por INAA. Novas análises foram realizadas (2008) em amostras cedidas pelo Museu Nacional, utilizando-se um ICP-MS do Laboratório do Departamento de Ciências da Terra da

Universidade de Pisa. Duas alíquotas de 245,44 e 201,54 mg foram analisadas. Os resultados incluem 16 elementos, com as seguintes concentrações: Ni 68,6 mg/g, Co 5,1 mg/g, Cu 144 µg/g, Ga µg/g, Ge 235 µg/g, Mo 7,0 µg/g, Ru 9,3 µg/g, Rh 2,17 µg/g, Pd 2,87 µg/g, Sn 0,53 µg/g, Sb 0,08 µg/g, W 2,31 µg/g, Re 0,01 µg/g, Ir 0,22 µg/g, Pt 12,6 µg/g, Au 0,80 µg/g.

Os meteoritos são amostras geológicas que permitem a criação de modelos que buscam explicar a formação do sistema solar há 4,6 Ga. Os férreos, autênticos fragmentos de núcleos de astros, contêm registros valiosos sobre como e quando os planetas se diferenciaram. O Bendegó é peça importante para o avanço dos conhecimentos sobre os meteoritos férreos em geral e em particular sobre o grupo IC. Estes novos resultados analíticos de alta precisão permitem melhor compreender os processos envolvidos na formação do Bendegó e devem ser somados aos resultados de outros meteoritos do mesmo grupo para geração de um modelo de formação para os corpos tipo IC.

Referências

D'Orazio, M. et Folco, L., 2003, *Geostandards Newsletter*, 27, 3, 215-225

Scott, R. D. et Wasson, J. T., 1976, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 40, 103-115.

Scott, R. D., 1977, *Earth and Planetary Science Letters*, 37, 273-284.

A HISTÓRIA DA METEORÍTICA

Wilton Pinto de Carvalho^{1,2}, Débora Correia Rios^{1,2}, Ivanara Pereira Lopes dos Santos^{1,2}

1) Instituto de Geociências, Laboratório de Petrografia Aplicada, Universidade Federal da Bahia.

2) Associação de Astrônomos Amadores da Bahia - AAAB

INTRODUÇÃO

Os meteoritos são amostras geológicas de outros astros formados juntamente com a Terra há mais de 4,5 Ga. Eles proporcionam informações petrográficas, geoquímicas e geocronológicas de grande importância para ampliação do conhecimento científico sobre as condições físico-químicas que vigoraram durante a formação do sistema solar e permitem, de forma indireta, estudar regiões inacessíveis aos métodos atuais de coleta de amostras na Terra e no espaço. Acredita-se que os meteoritos férreos representam com fidelidade porções do núcleo da Terra, situado a 6.480 km da superfície e que os acondritos são fragmentos oriundos do manto de astros que se fragmentaram.

A idade de formação da maioria dos meteoritos supera a idade das rochas terrestres mais antigas. Por exemplo, uma rocha que caiu em Angra dos Reis, Rio de Janeiro, em 1869, tem uma idade de formação calculada em 5,56 Ga pelo método U-Pb (Amelin, 2007), superando o gneiss de Acasta - Canadá (4,2 Ga) em 1,53 Ga (Iizuka e al., 2006) e os zircões de Yilgarn Craton - Austrália (4,40 Ga) em 1,16 Ga (Wilde e al., 2001). Essa antiguidade torna os meteoritos fontes exclusivas de informações sobre os processos de acreção ocorridos na nebulosa primordial que originou o sistema solar, assim como e quando ocorreu a diferenciação dos seus astros e respectivos processos de partição dos elementos, principalmente aqueles que têm afinidade com as fases metálicas de ferro (siderófilos), sulfetadas (calcófilos) e silicáticas (litófilos), respectivamente abundantes no núcleo, manto e crosta dos planetas.

Apesar da importância dos meteoritos para os estudos geológicos e cosmológicos atuais, seu reconhecimento científico demandou a quebra de paradigmas vigentes nos séculos XVII e XVIII, haja vista o conceito newtoniano de que o espaço interplanetário deveria ser necessariamente vazio. As teorias então em voga preferiam atribuir uma origem vulcânica ou atmosférica para explicar a formação e queda de rochas e fragmentos de ferro de texturas e densidades diferentes dos espécimes geológicos terrestres comuns nas áreas dos achados. Os relatos de quedas e achados dessas rochas, geralmente feitos por camponeses sem instrução, simplesmente eram considerados invencionices quando chegavam ao conhecimento dos sábios da época.

Somente em 1794, Ernst Chladni (1756-1827), um membro da comunidade científica europeia, corajosamente publicou um livreto de 63 páginas, denominado “Sobre a Origem do Ferro Pallas e Outros Similares a ele e sobre Alguns Fenômenos Naturais Associados” relacionando achados de massas de ferro nativo e de algumas rochas à passagem de bólidos, ousando sugerir uma origem espacial para as mesmas (Chladni, 1794). Após a publicação desse livro, considerado sem valor científico pelos grandes nomes da ciência contemporâneos de Chladni, ocorreram nada menos do que seis bem documentadas quedas de meteoritos entre 1794 e 1803, na Europa e na Índia. Amostras das rochas coletadas após essas quedas foram analisadas química e petrograficamente, revelando semelhanças inexplicáveis se lhes fossem atribuída origem terrestre, haja vista sua composição aliada à diversidade das formações

geológicas e distâncias dos locais onde foram encontradas: Itália, Portugal, Inglaterra, Irlanda, França e Índia.

A queda de milhares de fragmentos de rocha que literalmente despencaram do céu sobre a província de L'Aigle, França, em 26 de abril de 1803, mereceu tratamento científico adequado conforme estudo feito por Jean Baptiste Biot para a Academia Francesa de Ciências, a partir do qual a origem extraterrestre dos meteoritos passou a ser aceita pelos sábios do início do século XIX, nascendo assim a Meteorítica, um novo ramo da ciência dedicada ao estudo desses fragmentos espaciais.

Desde então, o estudo dos meteoritos evoluiu para se constituir uma ciência multidisciplinar, presente em centenas de universidades. Foi constituída uma organização denominada The Meteoritical Society (Sociedade Meteorítica) que reúne uma vez por ano cientistas e escolares de todo o mundo para discutir as mais recentes descobertas e estudos de meteoritos. Essa sociedade também é o órgão normativo para nomenclatura e registro dessas amostras geológicas espaciais. Em 2 de setembro de 2009 o banco de dados mantido pela Meteoritical Society contava com 36.603 registros de quedas e achados de meteoritos.

DEFINIÇÕES E CONCEITOS

A União Astronômica Internacional – IAU define o termo meteoróide como “um objeto sólido movendo-se no espaço interplanetário, de tamanho consideravelmente menor que um asteroide e consideravelmente maior que um átomo ou molécula”. Essa definição, assim como os conceitos para os termos meteoro, bólido e meteorito foram estabelecidos há mais de 40 anos, pela Comissão 22 da IAU, em sua XI Assembléia Geral realizada em 1961. A discussão levada a efeito na assembléia de 2006 sobre o reconhecimento de Plutão como planeta culminou com a emissão da Resolução B5 sobre a classificação dos astros do sistema solar em três categorias: (a) planeta, (b) planeta anão e (c) pequenos corpos do sistema solar.

Para ser classificado como planeta o astro precisa preencher três requisitos: (1) estar em órbita em volta do Sol, (2) ter massa suficiente para sua própria gravidade superar as forças de um corpo rígido de forma que ele assume uma forma de equilíbrio hidrostático (quase redondo), e (3) ter limpado a vizinhança de sua órbita. Por sua vez, um planeta anão é um corpo celeste que preenche as duas primeiras condições estabelecidas para o astro ser considerado um planeta, mas que não conseguiu limpar sua órbita, nem é um satélite. Plutão foi rebaixado à condição de planeta anão porque sua órbita atravessa regiões povoadas por objetos do Cinturão de Kuiper. Finalmente, todos os outros objetos celestes que orbitam o Sol que não são classificados como planeta, planeta anão ou satélite integram uma categoria denominada “pequenos objetos do sistema solar”. Em nota de rodapé, a IAU esclarece na Resolução 5B que nessa última categoria está incluída a maioria dos asteroides e dos objetos transnetunianos, cometas e outros objetos pequenos, abstando-se de emitir informações sobre o tamanho e constituição desses corpos.

Meteoróide

Neste artigo, são adotados conceitos e definições sugeridos por Martin Beech e Duncan Steel para asteroide, meteoróide e partícula de poeira. Esses autores sugerem um limite superior e outro inferior expresso em metros para distinguir através do diâmetro se um corpo celeste é um asteroide, um meteoróide ou uma partícula de poeira. O limite superior adotado corresponde a 10 m de diâmetro, estabelecido com base no

tamanho mínimo de astros detectáveis pelos telescópios do projeto *Spacewatch*. Por sua vez, o limite inferior sugerido é da ordem de 100 μm (1 mm), estabelecido com base no fato de que objetos menores não produzem o fenômeno luminoso denominado meteoro. Assim, asteróides são os objetos com mais de 10 metros de diâmetro, enquanto os meteoróides têm entre 10 m e 100 μm . (1 mm) de diâmetro. Abaixo desse limite, segundo os autores citados, o objeto é considerado como uma partícula de poeira (Beech e Steel, 1995).

Meteoro e Bólido

O termo meteoro é definido pela Organização Internacional de Meteoros - IMO como o “fenômeno luminoso que resulta da entrada de uma partícula sólida proveniente do espaço na atmosfera da Terra.”. Essa mesma definição é adotada pela União Astronômica Internacional (IAU). No mesmo glossário a IMO define bólido “como um brilhante meteoro com uma magnitude visual de -4.” A definição da IAU para o mesmo fenômeno é mais vaga: “brilhante meteoro com luminosidade igual ou superior a dos planetas mais brilhantes”. Esses dois termos, meteoro e bólido, relacionam-se à definição de meteoróide sugerida por Beech e Ducan, adotada neste trabalho. Por ser mais precisa, esse estudo acolhe a definição proposta pela IMO para o termo bólido.

Meteorito

As definições para o termo meteorito têm como ponto em comum o fato de uma massa sólida de origem espacial atingir a superfície da Terra. Segundo a IAU “meteorito é qualquer objeto definido como B (meteoróide) que alcançou a superfície da Terra sem haver se vaporizado completamente.”. A IMO vai mais longe um pouco definindo meteorito como “um objeto natural de origem extraterrestre (meteoróide) que sobrevive à passagem através da atmosfera e atinge a superfície.”

Combinando essas duas definições com aspectos mais específicos relacionados à composição química propomos neste trabalho a seguinte definição para meteoritos: são exemplares ou fragmentos de rochas e/ou de ferro, que originalmente orbitavam o Sol sob a denominação de meteoróides e que sobreviveram à passagem pela atmosfera da Terra, logrando atingir sua superfície.

Além dos termos meteoróide, meteoro e meteorito destacam-se outros dois conceitos largamente utilizados no estudo dos meteoritos:

- a) **queda** – refere-se a um meteorito cuja entrada e trajetória na atmosfera terrestre foi testemunhada por pessoas ou equipamentos, sendo posteriormente recuperado.
- b) **achado** – refere-se a um meteorito encontrado na Terra sem que tenha sido localizado registros confiáveis de observações de sua entrada e trajetória na atmosfera.

METEORITOS NA ANTIGUIDADE

Meteoritos chocam-se com a Terra desde os primórdios do sistema solar. Os registros mais antigos de quedas de meteoritos estão localizados em depósitos de calcário explorados no Sudeste da Suécia, de onde foram extraídos mais de 40 meteoritos fósseis intrudidos em sedimentos do período Ordoviciano, entre 450 e 480 Ma (Matthew, 2002). Quedas mais antigas ocorreram como demonstram estruturas típicas de grandes impactos identificadas nos quatro continentes e catalogadas em banco de dados mantido pela University of New Brunswick, Canadá. Conforme essa fonte, a estrutura mais antiga, denominada Suavjarvi, está situada na Rússia e apresenta uma

idade de 2,4 Ga (Mashchak et al, 1996). Outras dez estruturas dentre as 175 catalogadas revelaram idade superior a 1,0 Ga.

Meteoritos também foram venerados como deuses na Grécia e na Itália. O fato melhor documentado refere-se a uma rocha de forma triangular adorada como deus (El-Gabal) na cidade de Emessa, Síria, onde o imperador romano Heliogabalus nasceu. Ao se tornar imperador Heliogabalus mandou transportar o meteorito para Roma onde foi construído um grande templo para abrigar a rocha sagrada que passou a ser a divindade mais importante do Império Romano entre 218 e 222 EC. Outra rocha famosa, possivelmente de origem meteorítica, está preservada em Meca, na Arábia Saudita, cidade natal de Maomé (570-632 EC). Um santuário de forma cúbica abriga essa relíquia sagrada que recebe anualmente a visita de milhões de peregrinos de todas as partes do mundo em cumprimento a preceito religioso que os obrigam a ir àquele local pelo menos uma vez na vida, se tiverem recursos para custear a viagem.

Na antiguidade e até o final do século XVIII os meteoritos eram associados a erupções vulcânicas, relâmpagos e trovões, haja vista o descrédito total que os estudiosos dedicavam a uma possível origem espacial para algumas rochas cujas quedas foram testemunhadas ou fragmentos de ferro metálico que foram achados longe de qualquer ocorrência de depósitos de minério

METEORITOS HISTÓRICOS

QUEDAS

Nogata, Japão, 861

A mais antiga queda de um meteorito cuja rocha está preservada até o presente ocorreu em 19 de maio de 861. Trata-se de uma rocha condrítica com 472 g denominada Nogata. Essa preciosidade está guardada há 1.167 anos em uma pequena caixa de madeira, no Santuário Suga, distrito de Fukuoka, Japão.

Ensisheim, França, 1492

A segunda queda mais antiga cujos registros e o meteorito estão conservados ocorreu em 7 de novembro de 1492, cinco dias antes de Cristóvão Colombo chegar às praias do Caribe e mais de 600 anos depois da queda da rocha de Nogata. O meteorito Ensisheim é também uma rocha condrítica com peso original de 127 kg. Fato curioso é que o imperador austríaco Maximiliano visitou o local 15 dias depois da queda, determinando que o meteorito fosse guardado na igreja. Ele considerou a queda do meteorito um bom augúrio às guerras que movia contra os franceses e os turcos, porém a cidade de Ensisheim que no tempo de Maximiliano integrava o império austríaco, hoje é território francês.

Hraschina, Croácia, 1751

Uma massa de ferro com aproximadamente 34 kg foi vista caindo às 6 horas da manhã de 26 de maio de 1751 conforme relatório escrito pelo bispo da vila de Agram. Esse relatório foi enviado a Viana, sendo acompanhado de uma amostra da massa e do depoimento juramentado de sete testemunhas oculares residentes em diferentes localidades. Em 1790, isto é, 49 anos depois da queda, esse meteorito foi estudado pelo abade Andréas Xaver Stütz (1747-1806) comparando-o com o achado de Krasnojarsk (Meteorito Pallas). Em seu livro Stütz descarta qualquer possibilidade sobre a origem espacial dos meteoritos, afirmando que os relatos de quedas de rochas e fragmentos de ferro não passavam de contos de fadas.

Albareto, Itália, 1766

Essa queda ocorreu no Norte da Itália por volta das cinco horas da manhã no verão de 1766. Esse evento motivou o jesuíta Domenico Troilli (1722-1792) a escrever um livro de 120 páginas sobre os relatos de testemunhas oculares e análises preliminares realizadas em uma amostra da rocha desenterrada por moradores logo após sua queda. Troilli apresentou também uma teoria sobre a origem terrestre da rocha, reconhecendo que ela havia de fato caído do céu, porém enfatizando que a rocha havia sido transportada para as nuvens por uma explosão subterrânea.

Lucé, França, 1768

Trovões em um céu claro seguidos por um chiado alto e prolongado antecederam a queda de uma rocha, imediatamente desenterrada por moradores locais que disseram ter de esperar um pouco para que a mesma esfriasse a fim de ser manuseada. Um amostra foi entregue ao abade Charles Bacheley (1716-1795) que a enviou para a Academia de Ciências de Paris, da qual era membro-correspondente. Essa rocha foi estudada por três químicos da época, entre eles o jovem Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) que apresentou em 1769 os resultados da primeira análise química processada cientificamente em uma rocha meteorítica, concluindo que era um fragmento de arenito rico em piritita que havia sido atingido por um raio.

Pettiswood, Irlanda, 1779

Após um prolongado som semelhante a um trovão, uma rocha de peso e tamanho não mencionados bateu na parte de madeira dos arreios de um cavalo, derrubando o assustado animal. Logo após a queda da rocha as pessoas de toda a vizinhança sentiram um forte cheiro de enxofre. Essa história levou sete anos para ser contada e publicada, haja vista o receio que as testemunhas tinham de serem ridicularizadas.

Siena, Itália, 1794

Um bólido foi visto em Siena, Itália por volta das 19 horas de 16 de junho, ainda dia claro naquele verão europeu. Sons semelhantes a tiros de canhão foram seguidos pela queda de rochas, prontamente recolhidas ainda quentes por muitas pessoas. Coincidentemente o vulcão Vesúvio havia entrado em erupção no dia anterior e apesar do Frade Ambrogio Soldani (1736-1808) ter escrito uma dissertação demonstrando que as rochas que caíram em Siena não podiam ser vulcânicas, a dúvida persistiu.

Wold Cottage, Inglaterra, 1795

A queda seguinte aconteceu na Inglaterra na tarde de 13 de dezembro de 1795. Edward Topham (1751-1820), um respeitado juiz que morava próximo e proprietário das terras onde ocorreu o impacto investigou o fenômeno com seriedade, entrevistando testemunhas e presenciando a extração de uma rocha de 25 kg encravada em uma camada de calcário, a cerca de 33 cm da superfície. Topham tomou o depoimento, sob juramento, de duas testemunhas que estavam muito próximas do ponto onde o meteorito chocou-se com o solo: um pastor de ovelhas e um trabalhador rural, ambos empregados do magistrado. Os dois viram quando a rocha impactou o chão fazendo um buraco de aproximadamente 1 m de diâmetro. Segundo escreveu o Juiz Topham, o trabalhador rural John Shipley estava a menos de 10 metros do local do impacto e foi atingido pelo solo levantado pelo choque. Embora muito próximas do local do impacto e tenha sido investigado por um magistrado inglês, ainda não foi dessa vez que todos os cientistas mudaram de opinião quanto a origem dessas rochas, haja vista que uma grande tempestade com relâmpagos e trovões foi registrada

naquele mesma tarde pelos habitantes da vila de Wold Newton, a cerca de 16 km do local da queda.

Évora Monte, Portugal, 1796

O laureado poeta inglês Robert Southey (1774-1843) enquanto residia em Portugal teve a oportunidade de descrever a queda desse meteorito através de testemunhos juramentados que ouviram duas explosões muito altas e presenciaram no início da tarde de 19 de fevereiro de 1796 a queda de uma rocha.

Benares, Índia, 1798

Um detalhado relato foi enviado por John Lloyd Williams (1765-1838) ao presidente da Real Sociedade de Londres, registrando a ocorrência de um bólido muito intenso que projetava sombras no solo durante sua passagem na noite de 10 de dezembro de 1798. Após uma grande explosão, dezenas de rochas de vários tamanhos caíram na província de Krakhut, cerca de 14 km distante de Benares, Índia. Amostras dessa queda foram encaminhadas ao químico inglês Edward Howard (1774-1816) para análise.

L'Aigle, França, 1803

A evidência mais marcante sobre a origem espacial dos meteoritos surgiu na tarde de 26 de abril de 1803, nos arredores de L'Aigle, Normandia, França. Uma “chuva de pedras” com mais de 3.000 espécimes foi testemunhada por centenas de pessoas. A Academia de Ciências da França designou um jovem físico chamado Jean Baptiste Biot (1774-1862) para investigar a ocorrência. Cético em princípio, embora levasse consigo amostras de meteoritos anteriormente coletados cuja estrutura e composição eram diferentes de qualquer rocha terrestre, Biot rendeu-se ao fato de que as rochas de L'Aigle eram de origem espacial haja vista três incontestáveis evidências: (1) estrutura similar às amostras coletadas em lugares e épocas muito distantes da ocorrência investigada; (2) surgimento repentino de uma grande quantidade dessas rochas e (3) o grande número de pessoas de diferentes profissões e interesses que presenciaram a queda.

ACHADOS

Campo del Cielo, Argentina, 1576

Quando os espanhóis começaram a colonizar o noroeste da Argentina notaram que algumas tribos indígenas usavam pontas de ferro em suas flechas e lanças. Em 1576 o governador de Tucuman solicitou ao capitão Hernán de Miraval que investigasse a fonte desse metal. Em 1584 Miraval escreveu um relatório sobre sua expedição informando que havia localizado uma grande massa de ferro, porém sua descoberta caiu no esquecimento, sepultada entre os milhares de documentos dos arquivos reais de Sevilha, mas a tradição oral continuou viva em Santiago del Estero, levando Bartolomé de Maguna a reiniciar as buscas em 1774. Esse explorador encontrou uma grande massa de metal que passou a ser conhecida como “El Mesón de Fierro” (A Mesa de Ferro) da qual foram extraídas amostras e enviadas à Espanha, onde uma errônea análise química estimava seu conteúdo em 80% de ferro e 20% de prata. A suposta presença desse precioso metal motivou outras expedições em 1799 e 1783 para investigar possíveis minas de ferro e de prata onde a Mesa de Ferro foi achada, todavia em 1799 o químico francês Josef-Louis Proust (1754-1826) analisando uma amostra desse meteorito verificou que não havia prata alguma e que sua composição mais provável era 90% de ferro e 10% de níquel. Essa foi a primeira análise química cientificamente levada a efeito em um meteorito de ferro. Infelizmente a “Mesa de

Ferro” nunca mais foi encontrada, apesar de possuir uma massa estimada em 15 t pelo tenente Rubin de Celis que visitou o local do achado em 1883 e dela extraiu mais de 15 kg de amostras. Em compensação, já foram desenterrados do solo argentino mais de 44 toneladas desse meteorito, hoje presente em quase todas as coleções institucionais e particulares.

Krasnojarsk, Sibéria, Rússia, 1772

Esse meteorito também denominado Pallas em homenagem a Peter Simon Pallas (1741-1811) que o apresentou ao mundo científico em 1772, tem seu lugar na história da meteorítica por três motivos: (a) foi o tema principal do primeiro livro publicado sobre a possível origem dos meteoritos e fenômenos associados à passagem de bólidos, queda e recuperação de massas de ferro e de rochas que as pessoas afirmavam terem caído do céu (Chladni, 1794); (b) foi o primeiro meteorito de composição mista (matriz de ferro-níquel com incrustações de cristais de olivina) descoberto, constituindo o grupo dos palasitos (outra homenagem a Peter Pallas) na classificação proposta por Gustav Rose (1798-1873) em 1825; (3) é o único meteorito em todo o mundo cujo lugar de seu achado está atualmente assinalado por um monumento, construído em 1980.

Bendegó, Brasil, 1784

Quando foi achado em 1784 na caatinga do interior da Bahia por um jovem chamado Domingos da Mota Botelho esse meteorito despertou a cobiça dos colonizadores na suposição de que continha prata ou era indício de grandes depósitos de ferro. As primeiras notícias levadas ao governador da Bahia por Bernardino da Mota Botelho (provavelmente o pai do descobridor) descreviam o achado como uma massa de ferro muito grande, em tudo estranha às características mineralógicas locais: “um aborto da natureza” como a descreveu o Capitão-Mor Bernardo Carvalho da Cunha, incumbido de transportar a peça para Salvador. No final do século XVIII, pelo menos duas tentativas de remoção e transporte do meteorito não lograram êxito, haja vista o peso (5.360 kg) e o tamanho (2,20x0,90x0,57m) avantajados da massa, incompatíveis com os meios de transporte e estradas da época. Felizmente para o Brasil esses fatores impediram a remessa do meteorito para Lisboa, como pretendia o governador D. Rodrigo José de Menezes, representante na Bahia de D. Maria I, a Louca. As primeiras amostras desse siderito foram enviadas a Lisboa, ainda no ano de sua descoberta, entretanto não há registro de terem sido estudadas pelos químicos da época. Em 1811 o inglês Aristides Franklin Mornay (1779-1855) esteve no local do achado, comprovando que a massa de ferro era meteorítica. Mornay escreveu uma carta, sob o formato de relatório, para o Secretário Geral da Real Sociedade de Londres, William Hyde Wollaston (1766–1828) que recebeu amostras do siderito para análise. Em 1816, o relato de Mornay foi publicado no periódico *Philosophical Transactions* acompanhado de uma nota de Wollaston reconhecendo cientificamente a origem meteorítica do Bendegó (Mornay, 1816).

O traslado do meteorito Bendegó da Bahia para o Rio de Janeiro foi pessoalmente ordenada pelo Imperador D. Pedro II e tornou-se um marco na história da meteorítica pelo inusitado esforço dispendido para fazer essa massa de ferro chegar até um centro de estudos. Até 1928 o meteorito Bendegó era a maior massa de ferro de origem espacial exposta em um museu. O local de seu achado e do embarque ferroviário que o conduziu do interior da Bahia para Salvador foram assinalados por marcos comemorativos, sendo portanto o único meteorito no mundo até 1980 a merecer essa distinção. Infelizmente o marco contruído no local do achado em 1787 foi demolido pelos superciosos moradores locais, todavia permanece de pé o marco edificado em

maio e 1888, na estação ferroviária do Jacurici, no município de Itiúba onde o meteorito foi embarcado no trem que o conduziu a Salvador.

NASCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA METEORÍTICA

Teorias Vigentes até 1803

Como vimos nos parágrafos anteriores, apenas em 1803 a comunidade científica acatou evidências físicas e testemunhos de centenas de pessoas sob o avistamento de bólidos cruzando o céu, seguidos de quedas de rochas e fragmentos de ferro. A “chuva de pedras” de L’Aigle que ocorreu nos arredores da vila francesa de mesmo nome não deixou qualquer dúvida de que milhares de fragmentos de rochas caíram do céu. O relatório de Jean Baptiste Biot, encarregado pela Academia de Ciências da França para investigar o fenômeno, convenceu os cientistas sobre a origem extraterrestres dos meteoritos.

Pioneiramente o livro de Ernst Chladni publicado em 1794 propunha essa idéia e por isso ele foi ridicularizado pelos sábios de seu tempo. O conhecimento científico dividia-se entre teorias que tentavam explicar a formação de rochas e ferro nativo nas altas camadas da atmosfera ou defendia a idéia de que os objetos que caíam do céu eram de origem terrestre e foram lançados para alto por erupções vulcânicas e explosões de grande magnitude. Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) foi um dos eminentes sábios do século XVIII que defendia a formação de objetos sólidos na atmosfera a partir de gases emanados da superfície que eram incendiados a grande altitude produzindo metais e rochas consolidados. Domenico Troilli (1722-1792) escreveu em 1766 que a origem do meteorito Albareto devia-se a uma explosão subterrânea que havia transportado a rocha para o céu. Franz Güssmann escrevendo sobre o ferro-nativo achado em Krasnojarsk, Sibéria em 1772 (Meteorito Pallas) teorizava que o metal constituinte do meteorito havia sido fundido na superfície da Terra pela queda de raios, sendo em seguida transportado para a atmosfera por forças físicas produzidos pela descarga elétrica. William Hamilton (1730-1803) analisando os fatos relacionados à queda de Siena em 1794, propôs uma origem vulcânica para aquela rocha em um artigo publicado em 1795 no respeitado periódico *Philosophical Transactions of the Royal Society*. Em 1787, o eminente astrônomo William Herschel (1738-1822) divulgou que havia observado três erupções na Lua. Sete anos depois, o físico Guglielmo Thomson (1761-1806) em carta dirigida a Domenico Troilli diz que um amigo havia sugerido uma origem lunar para as rochas que caíram em Siena. Thomson não identifica o amigo, provavelmente por medo de ser ridicularizado.

Desenvolvimento e Consolidação da Meteorítica como Ciência

A meteorítica deu seus primeiros passos no decorrer do século XIX. Químicos ilustres de Paris, Viena e Londres dedicaram algum tempo ao estudo das rochas e fragmentos de ferro caídos do céu. No final do século anterior, Lavoisier, Fougeroux e Proust realizaram análises químicas em meteoritos pétreos e férreos, estabelecendo uma composição genérica onde foi constatada a presença de Ferro, Níquel e silicatos.

Em 1801 o astrônomo Giuseppi Piazzi (1746-1826) descobriu o primeiro asteróide, denominado posteriormente Ceres cuja órbita situa-se entre os planetas Marte e Júpiter. Em 1802 foi a vez da descoberta do asteróide Pallas ser observado. Dessa forma, constatou-se que havia corpos de pequenas dimensões orbitando o sol, além

dos planetas, satélites e cometas. Não demorou muito para surgirem hipóteses ligando os asteróides à origem dos meteoritos.

O primeiro cientista a dedicar-se integralmente ao estudo dos meteoritos foi o francês Gabriel-Auguste Daubrée (1814-1896), geólogo e mineralogista e diretor do Museu de História Natural da França. Daubrée ampliou consideravelmente a coleção de meteoritos desse museu, adicionando 439 novos exemplares de quedas e achados. Ele desenvolveu métodos experimentais para testar a formação dos meteoritos, fundindo espécimes e deixando-os resfriar para observar a cristalização dos minerais e a formação da crosta em comparação com rochas terrestres submetidas ao mesmo processo. Os processos químicos, físicos e petrográficos utilizados por Daubrée permitiram-lhe em 1867 publicar uma classificação para os meteoritos baseada na presença ou não de côndrulos e no conteúdo de Ferro. Os termos siderito, assideritos, holossideritos e outros com o sufixo siderito (de ferro) são originários dessa classificação pioneira.

Em Viena, Londres e Berlim as coleções de meteoritos dos museus de história natural receberam igual tratamento científico, destacando-se os trabalhos de Carl von Schreibers (1775-1852), Paul Maria Partsch (1791-1856), Moriz Hörnes (1815-1868) e Wilhem Haidinger (1795-1871), Gustav Tschermak (1836-1927) e Aristides Brezina (1848-1909) em Viena. O Museu de História Natural de Berlim também engajou-se em uma jornada para ampliar sua coleção de meteoritos incorporando acervos de ilustres cientistas da época como Alexander von Humbolt (1769-1859) e Ernst Chladni (1756-1827). Simultaneamente, no decorrer do século XIX, o Museu de História Natural de Londres destacava-se pelo tamanho e qualidade de sua coleção de meteoritos, mais de 200 exemplares em 1850. Nevil Story-Maskelyne (1823-1911) foi o principal responsável por esse incremento, inaugurando a estratégia de obter meteoritos através de compra, troca e incentivos à busca em território britânico e suas possessões. Atualmente o Museu de História Natural de Londres é detentor da maior coleção de meteoritos do mundo, com cerca de 1.900 exemplares (Grady, 2006) originários de 90 países diferentes. Além dessas coleções guardadas em museus europeus, destaca-se a coleção Smithsonianem Washington –DC e o acervo do Museu de História Natural de New York, ambas nos Estados Unidos.

A Meteorítica no Século XX

Em que pesem os esforços dos cientistas do século XIX para elevar a meteorítica à categoria de ciência, até 1920 os estudos sobre meteoritos ainda eram escassos e não despertavam muito interesse na comunidade científica. Foi na década de 1950 com o advento dos programas de conquista do espaço russo e americano que os meteoritos passaram a ser considerados fontes de informações sobre a origem e evolução do sistema solar, sendo então elevados à categoria de amostras de corpos planetários detentores de preciosos registros das condições reinantes no espaço sideral.

A utilização de equipamentos cada vez mais sofisticados para análise química e petrológica das rochas terrestre e, a exemplo da Ativação por Irradiação de Nêutrons (INAA), Espectroscopia de Massa por Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS) e microsondas eletrônicas permitiram deduções cada vez mais detalhadas sobre os corpos planetários que deram origem aos meteoritos, sua formação e taxas de resfriamento. Assim, a classificação moderna dos meteoritos abrange pelo menos 27 grupos diferentes de rochas e fragmentos de ferro espaciais. Entre esses grupos há espécimes que provavelmente vieram da Lua, do planeta Marte e do asteróide Vesta.

Enquanto em 1972 apenas cerca de 2.100 meteoritos estavam registrados na Sociedade Meteorítica, em setembro de 2009 esse número é da ordem de 36.400 exemplares. Esse aumento substancial na quantidade de meteoritos e correspondentemente o incremento de artigos e reportagens abordando essa temática deve-se principalmente aos programas institucionais desenvolvidos por universidades para recuperação de meteoritos, destacando-se os projetos de busca de meteoritos na Antártica e nos desertos da África e do Oriente Médio.

Lado a lado com o interesse científico pelos meteoritos, nos últimos 30 anos desenvolveu-se uma longa cadeia de colecionadores que mantêm acervos particulares e patrocinam expedições para recuperação de meteoritos, tornando cada vez mais acessível o conhecimento dessas amostras geológicas espaciais.

CONCLUSÕES

Como todas as ciências, a meteorítica enfrentou descrédito e desconfiança por parte da maioria dos sábios dos séculos XVIII e XIX que não atribuíam qualquer importância ao testemunho de centenas de pessoas, em sua grande parte camponeses analfabetos, sobre rochas que caíam do céu.

O livro de Ernst Chladni publicado em 1794 que sugeria uma origem espacial para os meteoritos foi duramente criticado, mas por volta de 1803 foi acatado por muitos cientistas que estudaram essas misteriosas rochas e fragmentos de ferro. Vigorava na época teorias que incluíam vulcanismo lunar, vulcanismo terrestre, formação de sólidos na atmosfera por ação da eletricidade e fusão de rochas terrestres por raios para explicar o inegável fato de que pedras caíam do céu.

Apesar do descrédito, os museus de história natural da França, Viena, Londres, Moscou e Berlim mantinham cuidadosamente coleções dessas rochas e fragmentos de ferro que lhes chegavam por doação ou aquisição de coleções de minerais. A partir de 1803 quando foi publicado o relatório Biot sobre a queda das rochas de L'Aigle, Normandia, aumentou muito o interesse científico pelos meteoritos. Durante o século XIX foram aperfeiçoados métodos de análises químicas e de ensaios físicos que desvendaram a composição e as propriedades físicas das rochas e fragmentos de ferro que tombaram do céu. Em 1888 quando o Bendegó chegou ao Rio de Janeiro o estudo dos meteoritos já estavam bem desenvolvido e os museus de todo o mundo buscavam aumentar suas coleções e expor grandes massas de ferro meteorítico como atração principal de suas seções mineralógicas.

Os programas espaciais americano e russo que começaram a tomar impulso na década de 1950 promoveram sobremaneira a investigação das condições vigentes no espaço sideral e despertaram a necessidade de se entender melhor a formação dos astros do sistema solar. Os meteoritos eram as únicas amostras geológicas de outros astros disponíveis para estudo, antes do primeiro pouso do homem na Lua, em 1969.

Atualmente, a meteorítica é considerada uma ciência multidisciplinar com um amplo corpo de cientistas trabalhando nas principais universidades do mundo. O interesse governamental pela recuperação de meteoritos no continente Antártico e a busca de novos exemplares nos desertos da África e do Oriente Médio por parte de colecionadores incrementa a cada ano a quantidade e variedade dessas amostras geológicas de outros mundos, cujo estudo é objeto de aguerrida concorrência entre os cientistas que se dedicam à meteorítica.

REFERÊNCIAS

- Amelin Y., 2007. U-Pb ages of angrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. V. 72 - 221-232
- Beech, M. e Steel, D. 1995. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*. V.36. 281-281.
- Chladni, E. F. F. 1794. Über den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer ihr ähnlicher Eisenmassen, und über einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen. Riga and Leipzig: J.F.Hartknoch, 63 pp. (Reprint edition, 1974, UCLA)
- Iizuka T. e al., 2006, 4.2 Ga zircon xenocryst in an Acasta gneiss from northwestern Canada: Evidence for early continental crust. *Geology*. V. 34. 45-248
- Mashchak M. S. e al., 1996. The Suavjarvi Structure: an Early Proterozoic Impact Site on the Fennoscandian Shield. *Lunar and Planetary Science*. V. 27. 825-825.
- Matthew G., 2002. Hidden treasures: The hunt for meteorites is focusing on railway stations. *The Guardian*, January 24 2002. <http://www.guardian.co.uk/science/2002/jan/24/physicalsciences.research>
- Mornay, A. F. 1816. An Account of the Discovery of a Mass of Native Iron in Brazil (Bendego). *Philosophical Transactions* 106:270-280.
- Wilde S. A. e al., 2001. Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago." in *Nature*, V. 409. 175-178.

Nota do Autor:

*Além das referências acima citadas, o autor utilizou extensivamente o livro *The History of Meteoritics and Key Meteorite Collections: Fireballs, Falls and Finds (A História da Meteorítica e Principais Coleções de Meteoritos, organizado por G. J. H. McCall, A. J. Bowden e R. J. Howarth, Publicado pela Sociedade Geológica de Londres, em 2006, registrando-se aqui o devido crédito a essa fonte.**



11 a 15 de Novembro - Fortaleza - CE

SIMPÓSIO MICHEL HENRI ARTHAUD
- IN MEMORIAM -



Universidade Federal da Bahia
Instituto de Geociências - Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia
Laboratório de Petrologia Aplicada à Pesquisa Mineral - GPA



METEORITO BENDEGÓ: Patrimônio Geológico da Bahia e do Brasil

Wilton P. CARVALHO^{1,2}; Débora C. RIOS^{1,3}; Ivanara P. L. SANTOS¹

1. Laboratório de Petrologia Aplicada à Pesquisa Mineral (GPA), Instituto de Geociências - UFBA, Rua Barão de Geremoabo s/n, Ondina, 41170-115, Salvador - Ba.
2. Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração do Estado da Bahia (SICM) 3. Bolsista de Produtividade em Pesquisa 2 CNPq
E-mail: wilton@atarde.com.br, dcrios@ufba.br, ivanarapereira@yahoo.com.br

1 BREVE HISTÓRICO

Há 122 mil anos, um fragmento do núcleo de um asteroide caiu no interior da Bahia, permanecendo incógnito até 1784. No final do século XVIII, ao menos duas tentativas de remoção e transporte do meteorito tinham fracassado, haja visto o peso (5.360 kg) e o tamanho (2,20 x 0,90 x 0,57 m) avantajados da massa, incompatíveis com os meios de transporte e estradas da época. Em 1888, o meteorito chegou ao Rio de Janeiro, passando a integrar o acervo do Museu Nacional. Estudos recentes (Rios e Carvalho 2009) levaram a popularização da meteorítica, transformando o Bendegó em personagem de quadrinhos para contar a sua história.



Figura 1 - Local do achado



Figura 2 - Transporte do Meteorito



Figura 4 - Bendegó, o Personagem de quadrinhos

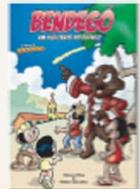
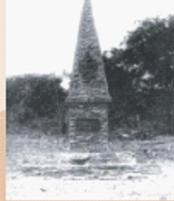


Figura 3 - Meteorito Bendegó

2 POTENCIAL GEOTURÍSTICO

No local do achado do meteorito foi erguido em 1887 um marco comemorativo (*). Na época, este marco era o único do gênero em todo o mundo! Lendas sertanejas, que associavam a retirada do Bendegó a uma prolongada seca na região, e a ausência de medidas de conservação, levaram à derrubada do marco.



Distando apenas 35 km do entroncamento da BR116 com a BR235, este ponto é o sítio ideal para a instalação de um museu regional dotado de réplica, exposta ao ar livre, e situada no local exato onde o meteorito foi encontrado.

Existem, em um raio de 50 km do ponto de impacto, inúmeras outras ocorrências de interesse geoturístico:

1. Museu no Parque Estadual de Canudos, cenário da histórica guerra do beato Antônio Conselheiro.
2. Sítios paleontológicos com (A) fósseis do Pleistoceno e (B) madeira petrificada do Triássico.
3. Jazidas de minério de cromo e pedreiras de rochas ornamentais (Granito Maracanã, Calcita Laranja, Mármore Pérola Bahia, Quartzito Rosa)
4. Pinturas rupestres e sítios arqueológicos.



3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região Canudos/Bendegó abriga uma população carente que pode ser beneficiada por ações que visem a exploração turística dos aspectos geológicos, arqueológicos, botânicos e históricos, devidamente inventariados e transformados em atrações científicas e culturais, aproveitando o fato de que o local do achado do meteorito Bendegó e o sítio onde foi travada a Guerra de Canudos são nacionalmente conhecidos através de importantes reportagens veiculadas pela imprensa brasileira e estrangeira.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carvalho, W. P., 1995. Os meteoritos e a História do Bendegó. I. A. Comunicação Brasil, 100 p.
Derby, D. A. 1896. Estudo sobre o Meteorito Bendegó. Arquivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro, 289-184.
Rios D. C. & Carvalho W. P., 2009. Bendegó: um visitante do espaço. Cartilha educativa sobre meteoritos, em quadrinhos. Editora Cedra. Salvador: 16p.

Agradecimentos



METEORITO BENDEGÓ, PATRIMÔNIO GEOLÓGICO DA BAHIA E DO BRASIL

Wilton Pinto de Carvalho¹; Débora Correia Rios^{1,2}; Ivanara Pereira Lopes dos Santos¹

¹Laboratório de Petrologia Aplicada à Pesquisa Mineral (GPA), Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Rua Caetano Moura 123, 40.210-340, Salvador-BA, Brazil. wilton@atarde.com.br

²Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Bolsista de Produtividade em Pesquisa.

Meteoritos são amostras geológicas extraterrestres objeto de estudos profundos que proporcionam meios para se compreender como nosso planeta formou-se e evoluiu. Há 122 mil anos um fragmento do núcleo de um asteroide caiu no interior da Bahia, permanecendo incógnito até 1784 quando foi achado por um jovem sertanejo chamado Domingos da Mota Botelho, enquanto procurava uma vaca desgarrada na caatinga sertaneja. As primeiras notícias levadas ao governador da Bahia por Bernardino da Mota Botelho descreviam o achado como uma massa de ferro muito grande, em tudo estranha às características mineralógicas locais: “um aborto da natureza” como a descreveu o Capitão-Mor Bernardo Carvalho da Cunha, incumbido de transportar a peça para Salvador. No final do século XVIII, pelo menos duas tentativas de remoção e transporte do meteorito não lograram êxito, haja vista o peso (5.360 kg) e o tamanho (2,20x0,90x0,57m) avantajados da massa, incompatíveis com os meios de transporte e estradas da época. Felizmente para o Brasil esses fatores impediram a remessa do meteorito para Lisboa, como pretendia o governador D. Rodrigo José de Menezes, representante na Bahia de D. Maria I, a Louca. Finalmente, 104 anos após sua descoberta o Bendegó chegou em 1888 a um centro de estudos, graças à determinação de D. Pedro II que pessoalmente ordenou o traslado do siderito para o Museu Nacional, Rio de Janeiro. Classificado quimicamente como pertencente ao grupo genético IC, dentre as treze classes de meteoritos férreos propostas por John Wesson, da Universidade da Califórnia, Los Angeles, o Bendegó vem sendo estudado desde 1816 tendo contribuído significativamente para o estabelecimento da meteorítica como uma ciência. A região onde esse meteorito foi achado é muita rica em aspectos geológicos, arqueológicos, botânicos e históricos credenciando-a como potencialmente capaz de abrigar um parque geoturístico. Destacando-se inicialmente o próprio local do achado do meteorito Bendegó a 180 metros da margem esquerda do riacho homônimo, onde existem enormes afloramentos de gneiss em meio a uma vegetação xerófila. Nesse local foi erguido em 1887 um marco comemorativo, o único do gênero em todo o mundo, para assinalar o exato ponto onde o meteorito foi achado. Distanto apenas 35 km do entroncamento da BR116 com a BR235 o local do achado do Bendegó é o sítio ideal para instalação de um museu regional dotado de réplica de ferro desse visitante espacial, fotos históricas, estudos e relatos sobre a importância desse meteorito para maior entendimento sobre a formação do sistema solar há 4,5 b.a. Em uma área com 50 km de raio desde o ponto do impacto do meteorito há muitas ocorrências de interesse geoturístico, destacando-se: a) pinturas rupestres, sítios arqueológicos, b) cavernas; c) sítios paleontológicos com fósseis do pleistoceno e madeira petrificada do triássico; d) jazidas de minério de cromo; e) jazidas de rochas ornamentais, principalmente granito, mármore, quartzo rosa e calcário; f) Parque Estadual de Canudos, cenário da histórica guerra travada na última década do século XIX entre jagunços, liderados pelo místico Antonio Conselheiro e forças do Exército Brasileiro. Devidamente inventariadas essas ocorrências poderão revelar todo seu potencial de atração para a implantação do turismo científico nessa carente região da Bahia.

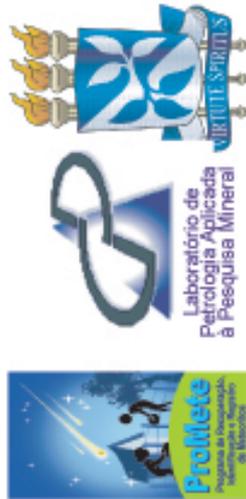
Meteoritos

Meteoritos são fragmentos de rocha ou de ferro de origem espacial que atingiram a superfície da Terra. São provenientes do cinturão de asteróides, do planeta Marte e da Lua, não se descartando a possibilidade de haver meteoritos, ainda não reconhecidos como tal, oriundos de cometas e de outros astros do sistema solar.

Existem três tipos básicos de meteoritos: pétreos, férreos e mistos.

Os meteoritos são importantes porque trazem informações sobre a origem do sistema solar e o processo de diferenciação dos planetas. Meteoritos, rochas lunares, partículas interplanetárias e poeira do cometa Wild2 são amostras valiosas de material extraterrestre disponível para estudo.

No Brasil há 57 meteoritos reconhecidos oficialmente.



A importância científica dos meteoritos

Wilton
Carvalho

ProMeta

Programa de Pós-graduação
Identificação e Registro
de Meteoritos

