



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ**

Fernando Gomes de Souza Junior

**Os meteoritos como metalotectos de metais nobres: tipologia,
estimativa de recursos, meios de alcance e exploração**

ARAXÁ/MG

2018

Fernando Gomes de Souza Junior

**Os meteoritos como metalotectos de metais nobres: tipologia,
estimativa de recursos, meios de alcance e exploração**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Antônio Carneiro

ARAXÁ/MG

2018

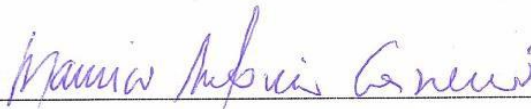
FOLHA DE APROVAÇÃO

Fernando Gomes de Souza Junior

**Os meteoritos como metalotectos de metais nobres:
tipologia, estimativa de recursos, meios de alcance e
exploração**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Araxá, 30 de novembro de 2018



Presidente e Orientador: Prof. Dr. Mauricio Antônio Carneiro
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG –
Unidade Araxá



Membro Titular: Prof. Me. Allan Erlichman Medeiros Santos

CEFET/MG



Membro Titular: Prof. Dr. André Simpício Carvalho

CEFET/MG

DEDICATÓRIA

DEDICO ESTE TRABALHO

Aos meus pais e a toda minha família que acreditaram no meu potencial, e sempre batalharam ao máximo para que eu pudesse realizar todos os meus maiores sonhos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me dar saúde e força de vontade para correr atrás dos meus objetivos e pôr em prática todos os ensinamentos obtidos durante minha jornada.

Agradeço também ao meu pai Fernando e minha mãe Maria Antônia que nunca mediram esforços e sempre correram atrás dentro de suas limitações para proporcionar a mim tudo que vivi até hoje, e com palavras de motivação sempre me deram forças pra seguir em frente. Um reconhecimento em especial também aos meus irmãos que sempre me auxiliaram neste percurso e cada dia tenho mais vontade de ser exemplo a eles, e todos os meus familiares que foram e estão presentes no meu dia a dia, ressaltando meus primos Thales e Gabriel que são praticamente irmãos pra mim.

Aos meus professores que durante todo meu caminho me transmitiram seus conhecimentos e me possibilitaram buscar sempre inovação e que a cada dia me ensinam a ser uma pessoa melhor. Um agradecimento em destaque ao meu professor Dr. Maurício Carneiro pela oportunidade de tê-lo tido como orientador, e com toda boa vontade do mundo comprou minha ideia e me ofereceu seu conhecimento, possibilitando assim que esse trabalho pudesse ser realizado da melhor forma possível.

Não posso me esquecer de todos meus amigos, que sem vocês eu nunca teria conseguido chegar até aqui. Em especial ao Lucas, Bigode, Iury, Panda e Pablo e todos os moradores da República Nostravamus, vocês estarão no meu coração pra sempre e ao meu amigo Pedro e minha namorada Gabriela que sempre estiveram ao meu lado nos momentos de maior necessidade. E as minhas amigas Fabiana, Fernanda e Jéssica que com grande disposição e presteza me auxiliaram da melhor forma possível na elaboração desse trabalho.

Para finalizar, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma me ajudaram neste longo caminho e que me fizeram ser quem sou hoje.

EPÍGRAFE

“Lembre-se de olhar para o alto, para as estrelas, e não para
baixo, para os seus pés.”

Stephen Hawking

RESUMO

A demanda humana por recursos minerais terá duas fronteiras no futuro. A primeira é a crosta oceânica, onde existem bilhões e/ou trilhões de toneladas de metais, haja visto o que se minera nos ofiolitos das margens continentais ativas. No, entanto, existem impedimentos técnicos/biológicos para minerar o fundo oceânico e não há perspectivas, a médio prazo, para romper essa fronteira.

A outra fronteira seria minerar os corpos metálicos do sistema solar, como é o caso dos asteroides. Esses corpos são portadores de grande quantidade de recursos minerais e já existem empresas formais interessadas nessa vertente da economia mineral.

O estudo desses corpos ora se procede de forma indireta, utilizando-se das propriedades físicas da matéria, através de radares e radiotelescópios espaciais ou de forma direta, a partir do estudo dos meteoritos recuperados após o seu choque com a superfície terrestre.

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é investigar o banco de dados existente e disponível pela NASA para analisar e identificar as classes e tipos de meteoritos que possam gerar um impacto econômico no futuro da mineração, e assim relatar a mineralogia, classificação e composição (em termos de elementos metálicos) de cada tipo.

Adicionalmente, tentar-se-á recuperar fragmentos de um meteorito que caiu na região de Conquista em Minas Gerais, no local 19° 51'S, 47° 33'W, para um estudo de caso, no qual seria confeccionado lâminas delgadas e análises químicas para determinação precisa e acurada da sua composição. Caso seja encontrado esses fragmentos, após o seu estudo, eles seriam adicionados à coleção de rochas do CEFET/ARAXÁ.

Palavras-chave: Futuro; mineração; meteoritos.

ABSTRACT

Human demand for mineral resources will have two frontiers in the future. The first is the oceanic crust, where there are billions and/or trillions tons of metals, considering what has been mined in the ophiolites of the active continental margins. However, there are technical/biological impediments to mine the seafloor and there is no prospect in the medium term to break this boundary.

The other border would be mine the metallic bodies of the solar system, as is the case of asteroids. These bodies contain large amounts of mineral resources and there are already formal companies interested in this aspect of the mineral economy.

The study of these bodies is done indirectly, using the physical properties of the matter, through radars and radio telescopes, or directly, through the study of meteorites recovered after their collision with the earth's surface.

In this sense, the objective of this work is to investigate the existent database available by NASA in order to analyze and identify the classes and types of meteorites that can generate an economic impact in the future of the mining, and to report the mineralogy, classification and composition (in terms of metallic elements) of each type.

In addition, attempts will be made to recover fragments of a meteorite that fell in the region of Conquista in Minas Gerais, at the site 19 ° 51'S, 47 ° 33'W, for a case study, in which thin slides and chemical analyzes would be made for precise and accurate determination of its composition. If these fragments were found, after their study, they would be added to the CEFET / ARAXÁ rock collection.

Keywords: Future; mining; meteorites.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização dos principais tipos de asteroides. Fonte: NASA	10
Figura 2 - Meteorito condrito NWA 2892. Fonte: Meteoritos Brasil	13
Figura 3 - Siderólito - mesosiderito Fonte: D. Ball	18
Figura 4 – Siderito (Octahedrito) Fonte: University of Washington <i>apud</i> Meteoritos Brasil.	20
Figura 5 - Densidade de rochas terrestres e meteoritos Fonte: Norton & Chitwood - 2008 <i>apud</i> meteoritos brasileiros	21
Figura 6 - Meteorito de Conquista Fonte: The Meteoritical Society	22

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Tipo de meteorito relacionado com a densidade (Fonte: Meteoritos Brasil).	21
Tabela 2 - Meteoritos acondritos e suas respectivas densidades - g/cm ³ (Fonte: Meteorites Australia).	22

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	4
1.1 Apresentação	4
1.2 Objetivos	5
1.2.1 Objetivos específicos.....	5
1.3 Metodologia.....	5
2. O Universo, asteroides e meteoritos	7
2.1 Origem do universo	7
2.1.1 Fundamentos do modelo do Big Bang.....	7
2.1.2 Teoria da Relatividade geral	7
2.1.3 O Princípio Cosmológico	7
2.2 Asteroides	8
2.2.1 Formação dos asteroides	9
2.2.2 Classificação de asteroides	9
2.3 Classificação por composição de asteroides	11
2.4 Meteoritos.....	11
3 Meteoritos: características gerais.....	12
3.1 Condritos.....	12
3.1.1 Côndrulos.....	13
3.2 Acondritos	14
3.3 Meteoritos marcianos (SNC).....	15
3.3.1 Shergotitos	16
3.3.2 Nakhlitos.....	16
3.3.3 Chassignitos.....	16
3.4 Meteoritos lunares.....	16
3.4.1 Basálticos	17
3.4.2 Brechas regolíticas	17
3.5 Siderólitos.....	17
3.6 Sideritos	19
3.7 Densidade dos meteoritos	20
3.8 Meteorito de Conquista.....	22
4. Geologia econômica dos asteroides, com base nos meteoritos	23
4.1 Diamante	23
4.2 Ouro, platina e cobalto.....	24
4.3 Liga ferro-níquel	24
4.4 Terras raras.....	24

5 Mineração espacial.....	25
5.1 Introdução	25
5.2 Alguns conceitos	25
5.3 Metalotectos	25
5.4 Empresas de mineração espacial	26
5.4.1 Planetary Resoucers	26
5.4.2 Deep Space Industries	26
5.5 Asteroides mais promissores para exploração mineral espacial	27
5.5.1 Asteroide 162385 (2000 BM19)	27
5.5.2 Asteroide 4034 Vishnu.....	27
5.5.3 Asteroide 65679 (1989 UQ)	27
5.6 Meios de exploração.....	27
6. Discussão e considerações finais	29
Referências bibliográficas.....	31
Anexo 1 – Meteorito de Conquista	34

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Apresenta-se neste TCC o resultado de uma pesquisa bibliográfica acerca de corpos celestes do sistema solar, representados por asteroides e meteoritos e, também, o relato de uma visita de campo, realizada na região rural de Conquista, Minas Gerais. Nessa região, em 1965, caiu um meteorito do tipo rochoso, cuja queda foi observada por um fazendeiro local. Ao final deste trabalho temos a transcrição de uma entrevista realizada com a testemunha dessa queda, o Senhor Waldemar Zago.

O interesse desse estudo está ligado à mineração espacial, que ainda não passa de uma promessa, porém, pode se tornar realidade em breve. Corpos espaciais vêm sendo estudados há anos com o intuito de ampliar o domínio e conhecimento de tudo ao redor do ser humano. Desde então, possibilitou-se a exploração de novos lugares e surgiu assim o desejo de se conhecer mais a fundo o universo, além de oferecer a promessa de recursos para apoiar a prosperidade em longo prazo da humanidade na Terra e nosso movimento para o espaço e o sistema solar.

Dentre os corpos espaciais, destaca-se os asteroides que são agrupados em diversas classes e tipos, alguns apresentando um poderio econômico muito forte, como no caso dos condritos LL comuns e os asteroides metálicos (sideritos) que possuem grandes porcentagens dos metais Fe-Ni e metais preciosos (Kargel & Jeffrey 1994). Esta pode ser também a chave que possa suprir a necessidade de recursos não renováveis que estão em escassez (Kargel & Jeffrey 1994), já que à medida que a demanda mundial por esses recursos está aumentando, e quantidades cada vez maiores de minérios são mineradas, um ambiente em deterioração está aumentando a pressão para limitar a colheita de recursos residenciais.

Este trabalho vem fazer uso de dados de domínio público para contribuir com o conhecimento geológico dos asteroides a partir de estudos em meteoritos, trazendo à tona a viabilidade econômica, estimativa dos recursos e os meios de alcance e exploração dos mesmos.

1.2 Objetivos

O objetivo principal desse trabalho é compilar as principais informações disponíveis na literatura acerca de asteroides e meteoritos, assim como as suas composições minerais, classifica-los de forma qualitativa e quantitativa, em termos de elementos químicos maiores e, também, avaliar como a mineração espacial em corpos metálicos do sistema solar poderia interferir na economia global.

1.2.1 *Objetivos específicos*

- Reunir dados históricos e realizar um levantamento de dados acerca da tipologia, classificação e composição dos meteoritos;
- Trabalhar sobre os dados obtidos por meio de radares e radiotelescópios espaciais (espectroscopia), que levam a propriedades físicas da matéria;
- Mostrar a inter-relação entre os recursos minerais presentes nos asteroides a com economia global;
- Elaborar propostas de ação que auxiliem no trabalho sobre esses corpos celestes.

1.3 Metodologia

A metodologia utilizada na realização desse trabalho consistiu no levantamento da bibliografia técnica e histórica, de uma visita à cidade de Conquista, Minas Gerais, onde caiu o meteorito Conquista em 1965, e do depoimento de uma testemunha ocular do fenômeno.

A fonte principal de consulta para esse assunto foi o banco de dados da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), do qual foram tiradas informações de eventos relativos à queda de meteoritos no planeta Terra. O banco de dados do museu de história nacional foi de grande valia para incrementar o trabalho.

Esse banco de dados também disponibiliza informações dos estudos químicos realizados nesses objetos celestes que aportam ao planeta, os quais permitem estabelecer as diferentes classes e tipos de asteroides indicando, inclusive, aqueles que possuem maiores atrativos econômicos relativos à sua composição mineral/química.

Essas informações, conjuntamente aos estudos espectrométricos, realizados de

forma remota nos asteroides, podem indicar, de acordo com a mineralogia, classificação e composição, quais seriam economicamente viáveis para exploração mineral espacial no futuro.

A viagem para a cidade de Conquista, município localizado na microrregião de Uberaba, distando-se 110 km de Araxá, teve como intuito principal a localização exata do ponto da queda e, eventualmente, recuperar algum fragmento do meteorito.

Caso isso fosse possível, seriam confeccionadas lâminas delgadas para descrição mineralógica do asteroide e a realização de análises químicas para complementar a descrição original do asteroide em Estudos dos Meteoritos Brasileiros XIV, uma vez que o fragmento original do meteorito se encontra desaparecido.

A recuperação de fragmentos do Meteorito de Conquista no campo, no entanto, não foi possível, mas, quando da localização exata do seu ponto de queda $19^{\circ} 49' 39.4''$ S $47^{\circ} 31' 58.2''$ W, recolheu-se o depoimento de uma testemunha ocular do fenômeno, cujo relato se encontra no Anexo 1.

2. O UNIVERSO, ASTEROIDES E METEORITOS

2.1 Origem do universo

O princípio do *Big Bang* é a teoria científica mais aceita para a origem e evolução do nosso universo. Ele postula que entre 12 e 14 bilhões de anos atrás, a porção do universo que podemos ver hoje tinha apenas alguns milímetros de diâmetro. Desde então, expandiu-se do estado quente e denso para o vasto e muito mais frio cosmo que atualmente habitamos. Pode-se ver vestígios dessa matéria densa e quente como a radiação de fundo de micro-ondas cósmica, agora muito fria, que ainda permeia o universo e é visível para os detectores de micro-ondas como um brilho uniforme em todo o céu (Wollack 2011).

2.1.1 Fundamentos do modelo do Big Bang

O modelo cosmológico do *Big Bang* se baseia em dois conceitos e levam a previsões muito específicas para as propriedades observáveis do universo.

2.1.2 Teoria da Relatividade geral

O primeiro conceito se trata da Teoria Geral da Relatividade desenvolvida por Albert Einstein em 1916, que propôs como uma nova teoria da gravidade. Sua hipótese generaliza a teoria original da gravidade de Isaac Newton, em que é suposto ser válido para corpos em movimento, bem como corpos em repouso. A gravidade de Newton só é válida para corpos em repouso ou que se movam muito lentamente em comparação com a velocidade da luz. Um conceito-chave da Relatividade Geral é que a gravidade não é mais descrita por um "campo" gravitacional, mas supostamente é uma distorção do espaço e do próprio tempo. O físico J. Wheller disse "*A matéria diz ao espaço como se curvar e o espaço diz à matéria como se mover*". Originalmente, a teoria foi capaz de explicar as peculiaridades da órbita de Mercúrio e a curvatura da luz pelo Sol, ambas inexplicadas na teoria da gravidade de Isaac Newton (Wollack 2011).

2.1.3 O Princípio Cosmológico

Após a introdução da Relatividade Geral, vários cientistas, incluindo Einstein, tentaram aplicar a nova dinâmica gravitacional ao universo como um todo. Na época, isso exigia uma suposição sobre como a matéria no universo era distribuída. A suposição mais simples de se fazer foi que, se você visse o conteúdo do universo com uma visão suficientemente pobre, pareceria aproximadamente o mesmo em todos os lugares e em todas as direções. Ou seja, a matéria no universo é homogênea e isotrópica quando

calculada em escalas muito grandes. Isso é chamado de Princípio Cosmológico. Essa suposição está sendo testada continuamente à medida que se observa a distribuição de galáxias em escalas cada vez maiores (Wollack 2011).

2.2 Asteroides

De acordo com a NASA, asteroides são fragmentos rochosos e sem atmosfera que orbitam o Sol porém, são pequenos demais para serem considerados planetas. São remanescentes da formação do sistema solar, variando em tamanho, do comprimento de um carro até a largura de uma grande cidade. Asteroides são diversos em composição: alguns são metálicos, enquanto outros são ricos em carbono, dando-lhes uma cor preta como carvão. Eles podem estar presentes em aglomerações frouxamente mantidas juntas pela sua própria gravidade, ou podem ser rochas sólidas isoladas.

A maioria dos asteroides no nosso sistema solar reside em uma região chamada de cinturão de asteroides. Este vasto cinturão em forma de anel entre as órbitas de Marte e Júpiter contém centenas de milhares de asteroides, talvez milhões, onde a gravidade de Júpiter os impede de virar um planeta. Mas, apesar do que você vê nos filmes, ainda há muito espaço entre cada asteroide (Darling 2018).

Os asteroides desempenham o papel de cápsulas do tempo no início do sistema solar, tendo sido preservados no vácuo do espaço por bilhões de anos. Além disso, o principal cinturão de asteroides pode ter sido uma fonte de água e compostos orgânicos essenciais à vida para os planetas internos, como a Terra (Darling 2018).

2.2.1 Formação dos asteroides

Assim como a origem do universo, a formação dos asteroides ainda é uma incógnita pra humanidade, mas isso é munição para criar diversas novas hipóteses. A teoria científica mais aceita atualmente é a de que os asteroides são partes da formação do nosso sistema solar, há 4,6 bilhões de anos. Segundo a NASA, a princípio, o surgimento de Júpiter impediu qualquer corpo planetário de se formar no espaço entre Marte e o maior planeta do sistema solar, fazendo com que os pequenos objetos que estavam ali colidissem uns com os outros, e se fragmentassem nos asteroides que são conhecidos atualmente.

2.2.2 Classificação de asteroides

Ainda de acordo com definições da NASA os asteroides são classificados em 3

tipos principais, citados a seguir:

2.2.2.1 Cinturão de Asteroides (Main Asteroid Belt)

A maioria dos asteroides conhecidos orbita dentro do cinturão entre Marte e Júpiter, geralmente com órbitas não muito alongadas. Estima-se que o cinturão contenha entre 1,1 e 1,9 milhão de asteroides com mais de 1 quilômetro de diâmetro e milhões de menores. No início da história do sistema solar, a gravidade do recém-formado Júpiter trouxe um fim à formação de corpos planetários nesta região e fez com que os pequenos corpos colidissem uns com os outros, fragmentando-os nos asteroides que observamos hoje.

2.2.2.2 Troianos (Trojan Asteroids)

Os asteroides troianos compartilham uma órbita com um planeta maior, mas não colidem com ele porque se reúnem em torno de dois locais especiais na órbita (chamados de pontos lagrangeanos L4 e L5). Lá, a atração gravitacional do sol e do planeta é equilibrada pela tendência de um troiano de sair voando da órbita. Os troianos de Júpiter formam a população mais significativa de asteroides desse tipo, acredita-se que sejam tão numerosos quanto os asteroides no cinturão. Existem troianos de Marte e Netuno, e a NASA anunciou a descoberta de um troiano da Terra em 2011 (Darling 2018).

2.2.2.3 Asteroides próximos da Terra

Esses objetos têm órbitas próximas à da Terra. Os asteroides que realmente cruzam o caminho junto a órbita terrestre. De acordo com a NASA até 19 de junho de 2013, 10.003 asteroides próximos da Terra eram conhecidos e acredita-se que o número com mais de 1 km de diâmetro seja próximo a 860.

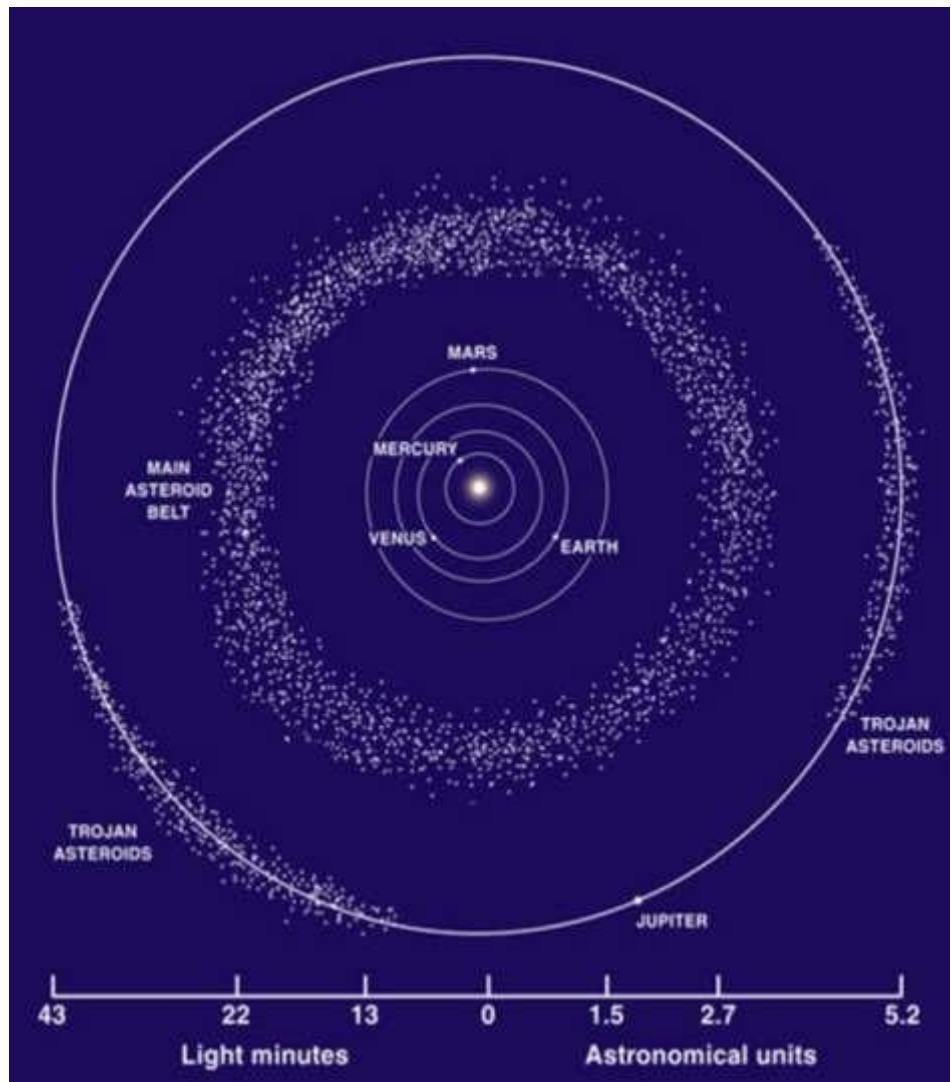


Figura 1- Localização dos principais tipos de asteroides. Fonte: NASA

2.3 Classificação por composição de asteroides

Os asteroides podem ser identificados também a partir da classificação espectral, essa divisão é feita em tipo A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V e X. Desses tipos citados anteriormente três classes são mais amplas e estão agrupados com outros tipos menos numerosos que são os tipos C, S e M. Há uma grande probabilidade dos asteroides possuírem grande quantidade de água congelada em seu núcleo de acordo com Oliveira (2015).

De acordo com Oliveira (2015):

Os asteroides do tipo C (condritos) são mais comuns, e provavelmente consistem de rochas de argila e silicatos e são escuros na aparência. Eles estão entre os objetos mais antigos do sistema solar. São agrupados com os tipos B, F e G.

- Os tipos S (rochosos) são feitos de materiais de silicato e níquel-ferro. Um tipo de asteroide moderadamente brilhante, ligeiramente avermelhado, que se acredita ser composto em grande parte por minerais de sílica (o "S" significa "silicático"), como olivina e piroxênio. Os asteroides classe S são bastante comuns na parte interna do cinturão principal, diminuindo sua proporção a distâncias maiores do sol (Darling 2018).
- Os tipos M são metálicos (níquel-ferro). As diferenças composicionais dos asteroides estão relacionadas com a distância do sol que eles foram formados. Alguns foram submetidos a altas temperaturas depois que se formaram e foram em parte derretidos, com o ferro afundando no centro e forçando a lava basáltica (vulcânica) para a superfície.

2.4 Meteoritos

Fragmentos de matérias provenientes do espaço que resistem a entrada na atmosfera terrestre e chegam até a superfície, podendo vagar pelo espaço por até bilhões de anos até entrar em contato com a atmosfera terrestre. Por possuírem composições diversas e, obviamente, muitas variedades, os meteoritos serão tratados em detalhe no próximo capítulo deste trabalho.

3 METEORITOS: CARACTERÍSTICAS GERAIS

Os meteoritos podem ser classificados nos seguintes tipos condritos, acondritos, sideritos e siderólitos.

3.1 Condritos

Segundo Wason (1962) os condritos são meteoritos rochosos que não se fundiram desde a sua agregação no início da história do Sistema Solar. Possuem composições elementares não fracionadas que (além dos elementos mais voláteis, como hidrogênio e hélio) aproximam-se da composição do Sol e, portanto, do material original a partir do qual o Sistema Solar se formou.

Os condritos, são os meteoritos mais significativos para a compreensão da cronologia inicial do sistema solar, uma vez que são os mais primitivos de todos os meteoritos, tendo sofrido apenas um leve metamorfismo térmico ou hidrotermal.

Quase todos os condritos contêm côndrulos, esféricos a conjuntos sub-esféricos de olivina, piroxênio e feldspato, com até 1 mm de diâmetro, que foram parcialmente ou totalmente fundidos antes da acreção do corpo parental.

Segundo Wason (1962) muitos condritos também contêm CAIs (inclusões ricas em cálcio e alumínio): inclusões refratárias de formato irregular (até aprox. 1 cm de tamanho) dos minerais óxido e silicato espinélio, hibonita, melilita, entre outros. CAIs frequentemente exibem zoneamento mineralógico complexo, tanto em suas bordas quanto em seus núcleos.

Condritos, são compostos de componentes de alta temperatura (CAIs, côndrulos) fixados em uma matriz de côndrulos fragmentados misturados com sulfetos, metais e minerais formados a temperaturas mais baixas (argilas, carbonatos, sulfatos, matéria orgânica).

Os CAIs e os côndrulos são sólidos primários, geralmente presumidos de terem se formado na nebulosa antes da agregação nos corpos-mãe, embora seus processos de formação precisos não sejam completamente compreendidos. Os componentes de baixa temperatura, filossilicatos, carbonatos, sulfatos, entre outros, são produtos secundários da atividade fluida dentro dos corpos-mãe.

Os condritos são subdivididos com base na química, matriz, conteúdo de metais

e propriedades (tamanho, tipo, etc.). As diferenças entre as classes são primárias, ou seja, foram estabelecidas como os corpos dos formadores foram adicionados em diferentes regiões da nebulosa solar. Os subgrupos também são distinguidos em termos da composição isotópica de oxigênio de seus principais minerais de silicato, novamente considerados um reflexo da heterogeneidade da nebulosa primordial, mas possivelmente modificados como resultado de processos de troca fluido-sólidos generalizados.

As três principais classes são condritos carbonáceos (C), condritos ordinário (OC) e enstatita condritos (E). Há dois agrupamentos menores, os rumurutitos (R) e o Kakangaritos (K). Os condritos C, O e E são todos subdivididos, com base na composição química, com destaque para os Enstatita condrito que são separados pelo alto teor de ferro, sendo assim, é muito visado economicamente e condritos carbonáceos os mais primitivos, portanto tem um valor extremamente significativo para estudos sobre a existência do universo (Oliveira 2015).

3.1.1 Côndrulos

De acordo com a CPRM (2018), côndrulos são pequenos glóbulos esféricos ou elipsoidais, com diâmetro de 0,5 a 1 mm, geralmente, constituídos de minerais silicáticos, sobretudo olivinas, piroxênios e plagioclásios. Eles muito provavelmente formaram-se pela cristalização de pequenas gotas muito quentes (2.000°C) que vagavam no espaço em grande quantidade, ao longo das órbitas dos planetas, em ambientes praticamente sem gravidade.



Figura 2 - Meteorito condrito NWA 2892. Fonte: Meteoritos Brasil

3.2 Acondritos

De um modo geral, um acondrito é um meteorito rochoso que se formou a partir de uma fusão no corpo de seus antecessores. Assim, os acondritos possuem composições diferenciadas, tendo perdido uma grande fração de seu conteúdo primordial de metal e, geralmente, não contêm cóndrulos (Wason 1962).

Existem muitos grupos diferentes de acondritos, alguns dos quais podem ser interligados para formar associações aliadas a antecessores específicos. As associações separadas têm pouca ou nenhuma relação genética entre si.

Inicialmente foram classificados de acordo com a quantidade de cálcio (Ca), sendo então divididos em dois grupos: ricos e pobres em cálcio. Os ricos, apresentam de 5% a 25% de cálcio ou mais, os pobres, menos de 3% desse elemento (Oliveira 2018).

Segundo Oliveira (2018) estão divididos também em:

METEORITOS (HED - Howarditos, eucritos e diogenitos) - Meteoritos oriundos do grande asteroide Vesta, que possui cerca de 530 quilômetros de diâmetro. A origem dos meteoritos HED, como sendo provenientes de um mesmo corpo parental, foi confirmada pela missão Dawn da NASA.

- Howarditos (HOW) - Possuem camada de rochas e pó fragmentado bem semelhantes aos solos regolíticos da Lua, e por conta da grande quantidade de cálcio contam com uma crosta de fusão bem escura e brilhante.
- Eucritos (EUC) - Possuem crosta de fusão bem brilhante, se destacando do interior cinza claro. Trata-se do tipo mais comum de meteorito acondrito.
- Diogenitos (DIO) - De acordo com Darling (2018) são provenientes do asteroide 2 Vesta e tem origem em regiões mais profundas, abaixo da crosta. Consistem principalmente de ortopiroxênio rico em magnésio, com quantidades menores de olivina e plagioclásio.
- Angritos (ANG) - De acordo com Oliveira (2015) esta classe é nomeada segundo o meteorito brasileiro Angra dos Reis, que foi por mais de um século o único meteorito do tipo. Consta no Meteoritical Bulletin (até

13/11/2018) apenas 29 meteoritos angritos em todo o mundo.

- Aubritos (AUB) - Segundo *Darling* (2018) os aubritos têm crostas de fusão de cor pálida distintas e interiores brancos e desmoronam fácil. Assim como grandes cristais brancos de enstatita, eles contêm quantidades variadas de olivina, liga ferro-níquel, troilita (sulfeto de ferro) e uma variedade de minerais acessórios incomuns, que sugerem que eles se resfriaram no subsolo do corpo de seus antecedentes sob condições altamente redutoras (livres de oxigênio).
- Ureilitos (URE) - Um ureilito típico contém cristais de olivina e piroxênio (pigeonita, augita ou ortopiroxênio), com vários milímetros de diâmetro, embutidos em uma matriz escura de grafite rica em carbono e minúsculos diamantes, metal de ferro com baixo teor de níquel, troilita (sulfeto de ferro) e carboneto de ferro. A formação desses meteoritos acontece no interior de um corpo parental com cristais acumulados que formaram camadas (Wason 1962).
- Brachinitos (BRA) - Este tipo de meteorito é uma rocha ígnea de granulação fina, não chocada, composta principalmente de pequenos grãos de olivina equigranulares intercalados com pequenas inclusões de fusão. Contém cerca de 80% de olivina, 5,5% de clinopiroxênio, 10% de plagioclásio, 0,5% de cromita, 0,5% de clorapatita, 3% de sulfeto de ferro, 0,3% de pentlandita traços de metal rico em níquel, vidro rico em ortopiroxênio e ortoclásio são encontrados nas inclusões do material fundido (Nehru 1983).

3.3 Meteoritos marcianos (SNC)

Os meteoritos marcianos são derivados de fragmentos ejetados da superfície de Marte ocasionado por impactos com outros corpos.

Logo no início da formação sistema solar as colisões entre corpos celestes foram muito mais frequentes e envolveram massas com tamanhos colossais, por isso não é difícil de imaginar que alguns corpos, razoavelmente grandes, foram destruídos e fragmentados. Atualmente, as colisões possuem uma quantidade de energia associada bem menor, mas ainda podem ejetar pequenos pedaços de um grande corpo atingido por um objeto menor, basta que os fragmentos sejam ejetados a uma velocidade que

exceda a velocidade de escape de tal corpo.

Os meteoritos marcianos com datação mais nova, mostram evidências de que o vulcanismo ocorreu em Marte até 180 milhões de anos atrás. Alguns meteoritos mostram também evidências de interação com água algo muito importante para estudos que estão relacionados a ocupação do planeta vermelho. Na década de 1970, a sonda Viking analisou também rochas do solo marciano, mas não encontrou indícios de vida. Em 1996, uma equipe de cientistas anunciou a possível descoberta de vida microbiana no meteorito marciano ALH84001 (Oliveira 2015).

Das evidências analisadas estavam: a comprovação da existência de água, minerais formados em baixas temperaturas que continham pequenas quantidades de compostos orgânicos e minúsculas estruturas que se parecem fósseis de bactérias.

Existem 208 meteoritos marcianos catalogados oficialmente no mundo todo. No Brasil, apenas um meteorito do tipo foi catalogado até o momento (Oliveira 2018).

3.3.1 *Shergotitos*

É o tipo meteorito marciano que possuem maior quantidade de exemplares. Segundo Oliveira (2015) são bem antigos, e possuem aproximadamente 4,5 bilhões de anos. São derivados de rochas vulcânicas ricas em basalto e rochas ferruginosas.

3.3.2 *Nakhlitos*

O primeiro exemplar caiu em Nakhla, no Egito, em 1911. Possuem tonalidade esverdeada devido aos cristais olivina e diopsídio. Provavelmente são formados por processos ígneos intrusivos (Oliveira 2015).

3.3.3 *Chassignitos*

De acordo com Oliveira (2015) o primeiro meteorito do grupo caiu em Chassigny, em 1815, na França. São, provavelmente, formados no interior de Marte e são semelhantes aos Nakhlitos quanto à composição, no entanto possuem maiores quantidades de feldspatos.

3.4 **Meteoritos lunares**

Esse tipo de meteorito é estruturado de fragmentos ejetados da superfície lunar ocasionado por impactos com outros corpos. Posteriormente foram capturados pelo

campo gravitacional da Terra e chegaram até a superfície.

De acordo com Oliveira (2015), a composição química, radioisótopos, mineralogia e textura dos meteoritos lunares são idênticos aos de amostras coletadas na Lua durante as missões Apollo. Tomados em conjunto, estas características são diferentes das de qualquer tipo de rocha terrestre (mesmo os meteoritos lunares apresentando algumas semelhanças com algumas rochas da Terra) ou de qualquer outro tipo de meteorito.

Estão catalogados 341 meteoritos lunares em todo o mundo, no geral foram encontrados na Antártica ou em desertos. Não há registros de meteoritos lunares que tiveram sua queda observada, uma vez que devem ter caído na Terra há milhares de anos atrás (Oliveira 2018).

3.4.1 Basálticos

Meteoritos de origem vulcânica, proveniente dos mares lunares - planícies basálticas, vastas e escuras (Oliveira 2015).

3.4.2 Brechas regolíticas

De acordo com Oliveira (2015), tratam-se das rochas mais antigas, quando houve a formação da Lua, de onde vem sua origem. Por uma camada de rochas e pó fragmentado chamado de regolito lunar, decorrentes aos diversos impactos que aconteceram na Lua. Grande parte das rochas lunares são brechas.

3.5 Siderólitos

Os siderólitos (mistos) são o tipo mais raro de meteoritos, correspondem a aproximadamente 1% do total. Dos mais de 59.000 meteoritos catalogados no mundo todo, apenas cerca de 350 são siderólitos. São provenientes do manto do corpo parental e possuem composição dividida similarmente entre ferro e silicatos (Oliveira 2015).



Figura 3 - Siderólito - mesosiderito Fonte: D. Ball

São divididos em dois grupos: palasitos e mesosideritos.

3.5.1 *Palasitos*

Os palasitos são de natureza ígnea e caracterizados por cristais de olivina , muitas vezes peridotitos (cristais de olivina claros, de qualidade de gemas), embutidos em uma matriz de ferro-níquel . Uma mistura aproximadamente igual de ferro-níquel metálico e silicatos. Presume-se que eles representam material do limite do manto central de seus corpos-mãe. De acordo com Oliveira (2015), os palasitos são divididos em três grupos:

- Grupo principal - Possui olivinas ricas em magnésio; A composição é semelhante aos sideritos por causa da liga de ferro-níquel.
- Grupo Eagle Station - Possui teor de níquel mais elevado do que no grupo principal; a olivina é rica em ferro. Composição isotrópica parecida com meteoritos metálicos.
- Palasitos piroxênios - Na sua composição há a presença em pequena quantidade, de clinopiroxênio.

3.5.2 Mesosideritos

Apesar de serem constituídos aproximadamente pela mesma quantidade de ferro e silicatos, se diferenciam dos palasitos por serem compostos por uma mistura de fragmentos de diferentes corpos parentais. Acredita-se que podem ser originados a partir de choques de diferentes tipos de corpos, como rochosos e metálicos. Os mesosideritos são mais comuns do que os palasitos, sendo que 239 mesosideritos já foram catalogados em todo o mundo, o que corresponde a cerca de 68% dos siderólitos catalogados. (Oliveira 2018).

3.6 Sideritos

Os meteoritos sideritos (metálicos) são os que despertam maior interesse econômico já que são constituídos basicamente por uma liga de ferro-níquel, apresentando pequenas quantidades de minerais.

De acordo com Oliveira (2015), perfazem cerca de 6% dos meteoritos. Uma das principais características deste tipo de meteorito, o que permite que sejam diferenciados das demais rochas terrestres, é o seu elevado peso. A densidade de um siderito é de cerca de 7g/cm^3 a 8g/cm^3 , para fins de comparação, a água possui densidade de 1g/cm^3 e um meteorito condrito, cerca de $3,21\text{ g/cm}^3$ a $3,4\text{ g/cm}^3$.

São também mais resistentes, do que qualquer outro tipo de meteorito, ao processo de intemperismo (conjunto de processos mecânicos, químicos e biológicos que ocasionam a desintegração e a decomposição das rochas), portanto depois da queda são preservados por muito mais tempo, o que permite sua descoberta depois de muitos anos. A grande maioria dos sideritos catalogados não teve queda observada (Graham 1947).

De acordo com Graham (1947), os sideritos são classificados de duas maneiras, classificação estrutural e química. A classificação estrutural é feita de acordo com a estrutura apresenta pelo meteorito quando atacado com ácido nítrico, podendo ser ela linhas entrelaçadas, linhas paralelas ou nenhuma estrutura evidente a olho nu, cada estrutura está relacionada a quantidade de níquel e camacita presentes no meteorito.

Classificação estrutural:

- Octahedritos - Os octaedritos é o tipo mais comum de meteorito metálico. Octahedritos são compostos formados principalmente de liga ferro-níquel

e os minerais taenita e camacita. Ao atacar esse tipo de siderito com ácido a estrutura mais comum a ser observada são lamelas entrelaçadas, seguindo uma orientação octaédrica. É o chamado “padrão de Widmanstätten” (Darling 2018).

- Hexaedritos - Segundo Darling (2018) os hexaedritos têm um teor de níquel de cerca de 6% e possuem em torno de 92% de camacita na sua composição. É denominado dessa forma devido a clivagem cúbica (hexaédrica) dos seus cristais. Apresentam linhas paralelas conhecidas como linhas de *Neumann*.
- Ataxitos - Ataxito é uma rara variedade de meteorito de ferro feito quase inteiramente de taenita, uma solução sólida de ferro e alto teor de níquel entre 27% a 65% de o nome em grego significa "sem estrutura", devido ao fato, que estes meteoritos quando atacados com ácido não exibem nenhuma estrutura evidente a olho nu (Oliveira 2015).



Figura 4 – Siderito (Octahedrito) Fonte: University of Washington *apud* Meteoritos Brasil.

3.7 Densidade dos meteoritos

A densidade é uma propriedade física da matéria que é dada pela razão entre a massa e o volume de uma parcela da substância. Os meteoritos geralmente possuem densidade mais alta do que as rochas terrestres.

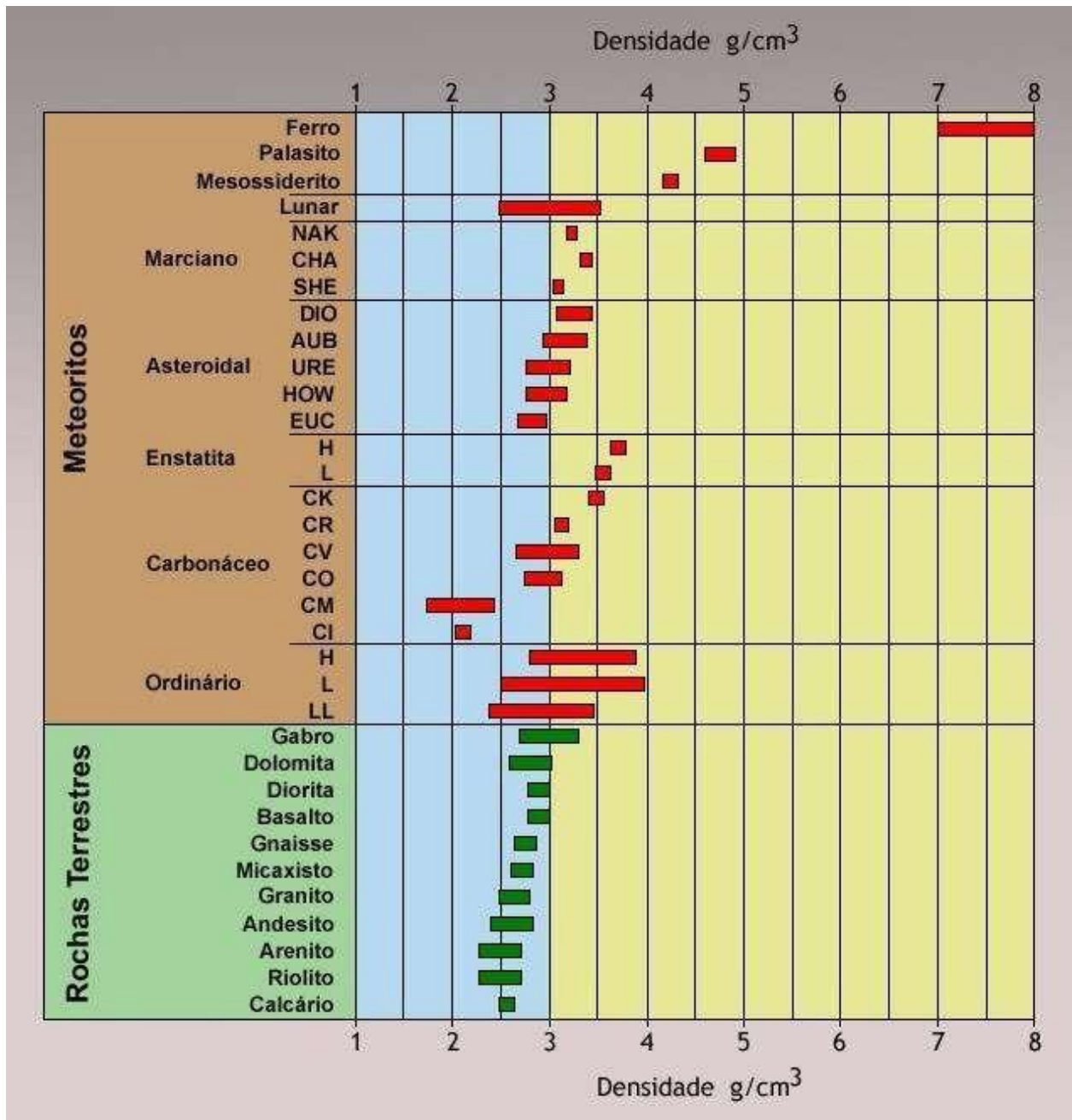


Figura 5 - Densidade de rochas terrestres e meteoritos Fonte: Norton & Chitwood - 2008 *apud* meteoritos brasileiros

Quadro 1 - Tipo de meteorito relacionado com a densidade (Fonte: Meteoritos Brasil).

Tipo de Meteorito	Densidade
Condrito ordinário	3,21 g/cm ³ a 3,4 g/cm ³
Enstatita condrito	3,55 g/cm ³ a 3,72 g/cm ³
Condritos carbonáceos	2,11 g/cm ³ a 3,47 g/cm ³
Acondritos	2,86 g/cm ³ a 3,26 g/cm ³
Siderólitos	4,25 g/cm ³ a 4,76 g/cm ³
Sideritos	7 a 8 g/cm ³

Quadro 2 - Meteoritos acondritos e suas respectivas densidades - g/cm³ (Fonte: Meteorites Australia).

Aubrites	3,12 (± 0,15)
Diogenitos	3,26 (± 0,17)
Eucrites	2,86 (± 0,07)
Howardites	3,02 (± 0,19)
Ureilites	3,05 (± 0,22)
Shergottites	3,10 (± 0,04)
Chassignite	3,32
Nakhlites	3,15 (± 0,07)

3.8 Meteorito de Conquista

A queda do meteorito ocorreu no ano de 1965 no início do mês de dezembro, na cidade de Conquista por volta das 6 horas, a queda do corpo celeste foi observada e descrita pelo senhor Waldemar Zago.

A localização exata da queda do meteorito de acordo com a leitura do GPS ocorreu na coordenada 19° 49' 39.4" S 47° 31' 58.2"W, e segundo o espectador a queda gerou uma cratera de cerca de 2 metros de diâmetro.

De acordo com Keil *et al.* (1978), conseguiu-se uma amostra de 20,35 kg e a partir dela foram feitas algumas análises, das quais foi possível concluir que esse objeto é um meteorito condrito, ou seja, rochoso do tipo ordinário e possui na sua composição uma grande quantidade de olivina e cerca de 25,83% de Ferro.



Figura 6 - Meteorito de Conquista Fonte: The Meteoritical Society

4. GEOLOGIA ECONÔMICA DOS ASTEROIDES, COM BASE NOS METEORITOS

A mineração movimenta de forma bem assídua a economia mundial, alguns minerais e rochas são considerados valiosos por terem algum tipo de utilidade econômica o que faz com que eles tenham maior valor no mercado despertando assim um maior interesse. A análise mineralógica dos meteoritos acusou a presença de diversos desses minerais, o que é extremamente atrativo em termos econômicos.

4.1 Diamante

Constatou-se a presença de diamante em vários meteoritos. Sugere-se que os diamantes foram derivados de choque durante o impacto, ou que eles foram originalmente formados por pressões gravitacionais em planetoides no início do sistema solar que mais tarde foram destruídas durante colisões interestelares (Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2002)

Diamantes foram mencionados em um meteorito rochoso de Novo-Urei, Rússia, em 1886, que ficou conhecido como ureilita - um acondrito de olivina-pigeonita acondrito - (Yerofeyev & Lachinov 1888).

Mais ou menos na mesma época, os diamantes também foram identificados como Magura, Tchecoslováquia (Wenschenk 1889) e o Canyon Diablo, Arizona, meteoritos metálicos. Os diamantes Canyon Diablo foram encontrados em associação com troilita (FeS), schreibersita (Fe,Ni)₃P e matéria carbonosa.

Desde a virada do século passado, numerosos diamantes foram encontrados e relatados tanto em meteoritos rochosos e metálicos (Urey *et al.* 1956)

Alguns meteoritos se destacaram por conter até 1% de diamante em relação ao peso. A maioria dos diamantes são muito pequenos. Diamantes relativamente maiores foram encontrados em alguns meteoritos, como no caso do meteorito de Dyalpur (Índia), que continha alguns fragmentos desse mineral maiores que 300 angstroms. Estes diamantes exibem tipicamente formato octaédrico. Alguns meteoritos também contêm grafita e cliftonita, que é reconhecida como um paramorfo de diamante (Mason 1962).

Urey *et al.* (1956) propôs que os diamantes fossem produzidos na transição grafite-diamante a uma pressão de pelo menos 16.000 atm. e uma temperatura de 298° C. Os estudos citados acima sugerem que estes diamantes meteoríticos acima, foram

originados por choques pré-terrestres por colisões passadas no espaço, já que a maioria desses meteoritos tem uma massa muito pequena e chegam a superfície terrestre a uma velocidade bem menor que a necessária para a formação desses diamantes.

4.2 Ouro, platina e cobalto

De acordo com Mason (1962) metais preciosos como é o caso do ouro e da platina, estão geralmente associados em maiores quantidades nos meteoritos metálicos. Um grande exemplo de asteroide que pode possuir uma grande quantidade desses metais é o Psyche que segundo a empresa Astand é o maior asteroide da classe metálico,

Além de possuir uma grande quantidade de liga ferro-níquel ele dispõe provavelmente de uma grande quantidade desses metais preciosos, e será estudado profundamente no ano de 2023 quando a NASA fará uma expedição ao asteroide com o intuito de se obter descobertas científicas inovadoras acerca do corpo celeste.

Mas é muito difícil estimar a quantidade desses metais nos asteroides devido a grande diferença dos componentes de cada grupo e também a dificuldade em se ter acesso a esses corpos.

4.3 Liga ferro-níquel

É constatado através de estudos que os meteoritos metálicos são majoritariamente formados por ligas de Fe e Ni, camacita e tenita, as características mais relevantes dessas ligas presentes nos corpos extraterrestres é a grande resistência ao intemperismo e também a alta densidade, estes atributos despertam interesse em diversas áreas para a utilização dessa liga. Esta combinação apresenta geralmente entre 5% e 25% de níquel (Mason 1962). E relacionando com o teor de níquel presente nas minas em operação no Brasil que gira em torno de 1,5% o teor presente nessas ligas tem valor extremamente relevante.

4.4 Terras raras

As análises feitas sobre os meteoritos, até o presente momento, acusam a presença de elementos de terras raras (ETRs), estes componentes estão sempre associados ao desenvolvimento de diversas áreas que geram progresso na tecnologia, sendo assim, despertam sempre um grande interesse (Fonseca 2018).

5 MINERAÇÃO ESPACIAL

5.1 Introdução

O que para grande parte da população mundial parece ser algo bem distante da realidade, ou até mesmo algo utópico para grandes economistas e investidores já é realidade. Os investimentos na área de exploração espacial estão cada vez mais altos e atraindo um maior número de interessados no assunto.

Diversos países também investem uma parte da sua economia com essa finalidade, um exemplo é Luxemburgo que de acordo com Schneider (2016), que é primeiro ministro do país, é o país da União Europeia que investe primeiro em programas de exploração de minerais em asteroides.

5.2 Alguns conceitos

Antes de definir como será a extração de um bem mineral deve-se fazer um estudo de viabilidade. O principal objetivo de um planejamento mineiro é determinar metodologias de extrair as reservas de forma rentável e segura.

No caso da exploração em corpos metálicos do sistema solar isso não é diferente, tudo depende de um planejamento demorado e competente.

Existem diversas empresas formais interessadas nessa área, e que estão investindo pesado para que essa extração vire realidade em um futuro bem próximo.

5.3 Metalotectos

De acordo com a CPRM (2018) metalotecto é a caracterização de processos geológicos (petrológicos, estratigráficos, estruturais, geoquímicos, paleontológicos, etc.) envolvidos na "construção" de determinados tipos de depósitos ou concentrações minerais bem como de feições típicas que lhes são inerentes como definidos a partir de áreas mineralizadas típicas.

Assim, os metalotectos permitem avaliar, se há possibilidade de existirem concentrações minerais e de que tipo em uma área, muitas vezes encaminhando a metodologia a ser seguida para encontrar as jazidas aí existentes, a menores custos e tempo.

5.4 Empresas de mineração espacial

Dentre tantas empresas privadas nessa área duas se destacam por estudos mais avançados, conforme veremos mais adiante nesse capítulo.

5.4.1 *Planetary Resources*

Entre seus investidores estão Eric Schmidt e Larry Page, respectivamente presidente e CEO do Google e Charles Simonyi, programador húngaro-americano que fez fortuna na Microsoft.

Segundo o site da *Planetary Resources*, a empresa pretende ser o fornecedor líder de recursos para pessoas e produtos no espaço. O seu objetivo é identificar, extrair e refinar recursos de asteroides próximos da Terra.

O primeiro satélite de demonstração tecnológica da empresa, o Arkyd-3, foi lançado a partir do Cabo Canaveral em 2015 e implantado a partir da Estação Espacial Internacional. Além disso, a empresa pressionou com sucesso a aprovação da Lei de Competitividade do Lançamento Comercial Espacial dos EUA (HR 2262), que reconhece o direito dos cidadãos norte-americanos de possuir recursos de asteroides e estimula a exploração e utilização comercial de recursos provenientes desses corpos celestes. Em 2016, a empresa anunciou uma parceria com o Governo do Luxemburgo para o avanço da indústria de recursos espaciais e em 2017, a Câmara dos Deputados do Luxemburgo aprovou uma lei que reconhece o direito a recursos baseados no espaço. Em 2018, a empresa lançou o Arkyd-6 contendo uma demonstração de tecnologia projetada para detectar recursos hídricos no espaço.

5.4.2 *Deep Space Industries*

Segundo o site da *Deep Space Industries*, por quase 60 anos, a NASA dominou o espaço e inspirou gerações, mas quando eles abandonaram a órbita baixa da Terra para empresas privadas como *SpaceX* e *Planet Labs*, uma revolução começou. Startups em rápida evolução aumentaram a inovação e reduziram os custos de maneiras sem precedentes. Mas nenhuma empresa privada se aventurou por conta própria no maior mercado potencial, o espaço profundo.

Na *Deep Space Industries*, está construindo um novo tipo de espaçonave que reduz o custo de acesso ao espaço até 50 vezes menor do que as soluções atuais. A espaçonave dá a empresas privadas e agências governamentais acesso de baixo custo

a órbitas terrestres altas, órbitas lunares, perto de asteroides da Terra, Vênus e até Marte, ajudando a liberar oportunidades comerciais no maior segmento do mercado espacial.

Ao empurrar os limites da tecnologia para novas fronteiras, pretende ajudar a desvendar percepções sobre bacias hidrográficas e novos recursos em todo o sistema solar interior. O foco inicial será alimentar missões científicas, exploratórias, comerciais e governamentais usando nossa espaçonave *Xplorer*.

À medida que as atividades espaciais comerciais proliferam, será empregada a tecnologia para conduzir ciência e exploração de asteroides, apoiar atividades como a fabricação no espaço e entrar em outros mercados verticais lucrativos.

5.5 Asteroides mais promissores para exploração mineral espacial

As empresas pioneiras nessa vertente listaram os asteroides mais cobiçados inicialmente. De acordo com o site da empresa Asterank, uma das principais empresas no ramo de estudos em economia espacial, esses asteroides mais desejados possuem as seguintes características:

5.5.1 Asteroide 162385 (2000 BM19)

Asteroide possui um valor estimado em US\$ 914,79 bilhões. O asteroide é composto majoritariamente por liga ferro-níquel e platina. Está a uma distância de Eixo semi-maior 0,7405178548963313 UA (unidade astronômica) da Terra.

5.5.2 Asteroide 4034 Vishnu

Estima-se sobre esse asteroide um valor de US\$ 242,46 bilhões de dólares e é composto por platina e liga ferro-níquel. Possui diâmetro de aproximadamente 0,42 km.

5.5.3 Asteroide 65679 (1989 UQ)

A composição deste asteroide contém principalmente ferro, hidrogênio, amônia e nitrogênio. Estima-se um valor de US\$ 600,73 bilhões e é do tipo B que está agrupado aos asteroides do tipo C.

5.6 Meios de exploração

De acordo com a empresa *Planetary Resources* a mineração em asteroides poderá ocorrer de diversas formas, uma dessas se trata do envio de seres humanos em

uma espaçonave a um asteroide para explorá-lo e minerá-lo.

Outro cenário possível poderia envolver o lançamento de uma espaçonave robótica para minerar o asteroide diretamente ou até mesmo transportá-lo para mais perto da Terra. Transportado para mais perto do Planeta a ideia é colocá-lo em órbita com a Lua ou até mesmo com a Terra, mantendo assim a estabilidade e garantindo a possibilidade de explorar os recursos minerais presentes no corpo celeste de forma segura e sem oferecer perigo para a vida terrestre.

6. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O intuito principal desse trabalho foi demonstrar que uma evolução espacial na mineração já é realidade, e o ser humano tem mesmo que buscar inovações para que seja possível sempre desenvolver e garantir um planeta mais sustentável para as gerações futuras.

Por toda a história da humanidade, os seres humanos buscaram teorias que pudessem explicar a origem do Universo e da vida, e um estudo mais aprofundado sobre os asteroides, tem-se a expectativa de, além de uma movimentação econômica; e trazer conhecimento necessário para comprovar algumas das teorias, ou até mesmo mostrar que o caminho é um pouco diferente do que já foi estudado, e assim possam surgir novas especulações e estabeleça novas teorias.

A mineração espacial poderia produzir uma grande quantidade de água que está congelada no interior dos asteroides, substância essencial para a vida humana e permitiria a sustentação de estações espaciais, e através da hidrólise separar o oxigênio que é combustível para espaçonaves e permitindo assim a exploração de outras regiões mais longínquas, agregando maiores conhecimentos sobre nosso universo.

Os obstáculos para essa missão sempre foram o custo, o conhecimento científico necessário e os impedimentos devido à incapacitação técnica necessária para este desenvolvimento. Porém os estudos através da associação entre composição dos meteoritos e as análises espectroscópicas garantem uma confiança muito maior para o investimento, permitindo assim que essa vertente esteja cada vez mais propícia a acontecer.

A busca por conhecimento e novas tecnologias está cada vez maior e a sociedade tem se adaptado a isso. Consequentemente criou-se uma demanda técnica através de altos investimentos para diversas áreas e o ideal da mineração espacial vem crescendo cada vez com maior força no presente momento. É necessário estar sempre aberto a mudanças para que a evolução aconteça e isso é imprescindível pra humanidade.

Essa ideia de mineração espacial pode parecer muito complexa e distante da realidade para muitos, mas isso é um somente um passo pro futuro e está mais perto e evoluído do que se possa imaginar. É um empreendimento meio complexo, mas com o passar do tempo, em um futuro bem próximo, com novas tecnologias e maiores conhecimentos possibilitarão uma ação mais difundida sobre esses corpos celestes e o que é mais importante, poderá trazer grandes novidades aumentando assim a bagagem de conhecimento e oferecendo essas novas ideias para as gerações futuras.

A mineração é de fundamental importância na economia mundial e com a ideia de explorar corpos do espaço, essa perspectiva toma um poderio inimaginável. O estudo bem detalhado sobre os meteoritos é de enorme importância, visto que somente esses objetos são resquícios de corpos parentais e é a única forma, até então, para estudos de forma direta. Com tais estudos foi constatado que há estimativas de recursos minerais maiores que o lavrado no planeta Terra, anualmente, em um único asteroide e isso impulsionaria a economia mundial de uma forma gigantesca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asterank, 2018. Disponível em: < <http://www.asterank.com/>>. Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Beatty, J. K. & A. Chaikin. The New Solar System. Massachusetts: Sky Publishing, 3rd Edition, 1990.
- Clube de astronomia. Disponível em: <<http://www.clubedeastronomia.com.br/asteroi.php>>. Acesso em: 22 de outubro de 2018.
- Cordani, U. O planeta Terra e suas origens. In: TEIXEIRA, Wilson et al. org. *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 568p. il. p. 13-17 il.
- CPRM, 2018. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Meteoritos-1090.html>> Acesso em: 30 de outubro de 2018
- CPRM, 2018. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Meteoritos-1090.html?tpl=printerview>>. Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Darling, D. 2018. Index of encyclopedia. Disponível em: <<http://www.daviddarling.info/encyclopedia/>> Acesso em: 30 de outubro de 2018.
- Deep Space Industries, 2016. Disponível em: < <http://deepspaceindustries.com/company/>>. Acesso em: 30 de outubro de 2018.
- Silva, D.N. Densidade relativa. 2018. Disponível em: < <https://meteoritosbrasileiros.webs.com/identif2.html>> Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Dunbar, B. NASA's Dawn Mission to Asteroid Belt Comes to End. 2018. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/press-release/nasa-s-dawn-mission-to-asteroid-belt-comes-to-end/>>. Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Dvorsky, G. Cientistas acabaram de descobrir a mais antiga família de asteroides. 2017. Disponível em: < <https://gizmodo.uol.com.br/descoberta-familia-mais-antiga-asteroides/>> Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Earth Impact Database. Disponível em: <<http://www.passc.net/EarthImpactDatabase/>> Acesso em: 2 de agosto de 2018.
- Fonseca, A. C. 2018. GEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS (ETR). Disponível em: <<http://www.geobrasil.net/geoinfo/docs/geoquimica.pdf>> Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Gomes, C. and Keil, K. (1980), Brazilian Stone Meteorites, Albuquerque: University of New Mexico Press.
- Hiesinger, H., Head, J. W., Wolf, U., Jaumanm, R., Neukum, G. (2003). «Ages and stratigraphy of mare basalts in Oceanus Procellarum, Mare Nubium, Mare Cognitum, and Mare Insularum». J. Geophys.
- K. Keil, E. Kirchner, C. B. Gomes, E. Jarosewich e R. L. L. Murta, 1978. Estudos dos Meteoritos Brasileiros XIV. Mineralogia, Petrologia e Química da Conquista, Minas Gerais, Chondrite. Meteoritics 13, 177.
- Lipshutz, M. E. & E. Andrews. 1961. The record of meteorites IV. Origin of diamonds in iron meteorites. Geochimica et Cosmochimica Acta 1:24:83-85.
- Luxemburgo cria fundo para mineração espacial. 2016. Disponível em: <<https://p.dw.com/p/1JOLr>> Acesso em: 30 de outubro de 2018

- Maran, Stephen P. The Astronomy and Astrophysics Encyclopedia. New York: Van Nostrand Reinhold, pp. 430-445, 1992
- Mason, B. 1962. Meteorites. New York John Wiley.
- MetBase, 2018. Disponível em: < <http://www.metbase.org/>> Acesso em: 30 de julho de 2018
- Meteorite porosities and densities: a review of trends in the data. Disponível em:<<http://www.meteorites.com.au/odds&ends/METEORITE%20POROSITIES%20AND%20DENSITIES.pdf>> Acesso em: 30 de outubro de 2018.
- Meteorites Australia, 2018. Disponível em: < <http://www.meteorites.com.au/odds&ends/density.html>> Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Meteoritos Brasil, 2015. Disponível em: < https://meteoritosbrasil.weebly.com/uploads/1/9/0/9/19098069/densidade_dos_meteoritos.pdf> Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Meteoritos Brasil, identificação de meteoritos. Disponível em <<http://meteoritosbrasil.weebly.com/identificaccedilatildeo.html>> Acesso em: 18 de agosto de 2018.
- Mourão, Ronaldo Rogério de Freitas (2000). O Livro de Ouro do Universo. [S.I.]: Ediouro. 512 páginas.
- Moutinho, A. 2015. Meteoritos. Disponível em: < <http://www.meteorito.com.br/meteoritos.php>> Acesso em: 30 de outubro de 2018.
- Moutinho, A. Meteorito, 2013. Disponível em: <<http://www.meteorito.com.br/meteoritos.php?action=view&pg=34&ct=&idT=2>> Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Moutinho, A., 2018. Disponível em: < <http://www.geologo.com.br/reconhecermeteorito.asp>> Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Museu Nacional/UFRJ. 2018. Disponível em: < <http://www.museunacional.ufrj.br/guiaMN/Guia/paginas/1/meteorito.htm>> Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Museu Nacional/UFRJ. 2018. Disponível em: <<http://www.museunacional.ufrj.br/dir/exposicoes/geologia/geo017.html>> Acesso em: 30 de outubro de 2018
- NASA, Asteroids: overview. Disponível em: <<http://solarsystem.nasa.gov/planets/profile.cfm?Object=Asteroids>> Acesso em: 18 de agosto de 2018.
- NASA, Meteors and meteorites overview. Disponível em: <<https://solarsystem.nasa.gov/planets/profile.cfm?Object=Meteors>> Acesso em: 30 de julho de 2018.
- NASA. 2018. Disponível em: < <https://www.nasa.gov/>> Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Nehru, C. E., Prinz, M., Delaney, J.S., Dreibus, G., Palme, H., Spettel, B. e Wänke, H. (1983). " Brachina: A new type of meteorite, not a chassignite." Journal of Geophysical Research , volume 88, edição B2, p. B237-B244Oliveira, H. M. 2015. Meteoritos. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/324950965_Meteoritos> Acesso em: 30 de outubro de 2018.

- Peebles, P. J. E., Schramm, D. N., Turner, E. L., R. G. Kron 1994. 'The Evolution of the Universe', Scientific American, 271, 29 - 33.
- Peebles, P. J. E., Schramm, D. N., Turner, E. L., R. G. Kron 1991. The Case for the Relativistic Hot Big Bang Cosmology. Nature, 352, 769 - 776.
- Principais características de um meteorito. 2018. Disponível em: < https://meteoritosbrasil.weebly.com/uploads/1/9/0/9/19098069/7217311_orig.jpg > Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Planetary Resources. 2016. Disponível em: < <https://www.planetaryresources.com/company/timeline/>> Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Seeds, Michael A. Horizons. Belmont, California: Wadsworth, 1995.
- Small, J. P. Invasores do espaço. 2015. Disponível em: < <http://minestories.com/pt-br/invasores-do-espaco/>>. Acesso em: 30 de outubro de 2018
- The Meteoritical Society. 2018. Disponível em: <<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?sea=&sfor=names&ants=&nwas=&falls=&valids=&stype=contains&lrec=50&map=ge&browse=&country=Brazil&sort=name&categ=All&mblis=All&rect=&phot=&snew=0&pnt=Normal%20table&code=5418>> Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Urey, H. C. 1956. Diamonds, meteorites, and the origin of solar system. Astrophysical Journal 124:623-637.
- Wasson, J. T. 1974. Meteorites, Classification and Properties. Springer-Verlag 1974.
- Wilson, W. E. The Mineralogical Record Online Museum of Mineral and Mining Art. 2018. Disponível em: < <https://mineralogicalrecord.com/museumintro.asp>> Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Wollack, E. J. Big Bang Cosmology. 2011. Disponível em: < http://web.archive.org/web/20110514230720/http://map.gsfc.nasa.gov/universe/b_b_theory.html>. Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Wollack, E. J. Foundations of Big Bang Cosmology. 2011 Disponível em: < http://web.archive.org/web/20110514230541/http://map.gsfc.nasa.gov/universe/b_b_concepts.html>. Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Wollack, Edward J. 2011. Cosmology: The Study of the Universe». Universe 101: Big Bang Theory. NASA.
- Zaponni, C. Bolides – The-Project. 2018. Disponível em: < http://googleweblight.com/?lite_url=http://bolid.es/&ei=nklGJTlg&lc=pt-BR&s=1&m=582&host=www.google.com.br&ts=1502376162&sig=ALNZjWnuNhgYli-YUTyaA2c_o09BGRgi4w>. Acesso em: 30 de julho de 2018
- Zucolotto, M. E. Principais características de um meteorito. 2018. Disponível em: <<https://meteoritosbrasil.weebly.com/identificaccedilatildeo.html>> Acesso em: 30 de outubro de 2018
- Zucolotto, M. E., Brasil desconhece seus meteoritos. Disponível em: < http://meteoritos.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=48:brasil-desconhece-seus-meteoritos&catid=35:meteoritos-brasileiros&Itemid=54> Acesso em: 2 de agosto de 2018.
- Zucolotto, M. E. Breve histórico dos meteoritos brasileiros. Disponível em: < http://site.mast.br/pdf_volume_1/breve_historico_meteoritos_brasileiros.pdf>. Acesso em: 30 de outubro de 2018

ANEXO 1 – METEORITO DE CONQUISTA

Foi realizado um trabalho de campo juntamente com o professor orientador doutor Maurício Antônio Carneiro na zona rural da cidade de Conquista, na qual no ano de 1965 foi avistado pelo Senhor Waldemar Zago a queda de um meteorito, nomeado de Conquista.

A finalidade dessa viagem era além de saber do espectador como tinha ocorrido o fato, determinar a localização exata da queda do astro, obter alguma amostra do meteorito com o intuito de fazer análises químicas para determinar de forma precisa a composição do corpo celeste e também doar fragmentos encontrados para a coleção de rochas do laboratório de petrografia.

Dos objetivos da viagem foi possível apanhar o depoimento do espectador do fato e foi possível também constatar que a localização exata da queda está descrita de forma errônea no artigo sobre o meteorito (Keil *et al.* 1978) com uma discrepância notável, mas infelizmente não foi possível capturar fragmentos.

Outra investida para se obter amostras do material foi executada, na qual entrou-se em contato com o museu de história natural da Universidade Federal do Rio de Janeiro e com o museu de geologia da Universidade Federal de Ouro Preto aos quais foram destinados fragmentos desse meteorito. Mas não se obteve sucesso novamente, portanto não foi possível executar a análise química do material rochoso.

Entretanto pela amizade de longa data do professor Dr. Maurício A. Carneiro com o professor Dr. Celso de Barros Gomes, um dos autores do artigo sobre o meteorito de Conquista foi possível ter acesso ao documento original e foi utilizado como referência para diversas passagens descritas durante este trabalho.