

DOI: 10.33947/1981-741X-v20n1-4672

**METEORITOS CONDRITOS: ROCHAS EXTRATERRESTRES PRIMITIVAS DO SISTEMA SOLAR****CHONDRITIC METEORITES: PRIMITIVE EXTRATERRESTRIAL ROCKS IN THE SOLAR SYSTEM****METEORITOS CONDRÍTICOS: ROCAS EXTRATERRESTRES PRIMITIVAS EN EL SISTEMA SOLAR**Bruno Leonardo Nascimento-Dias<sup>1</sup>

Submetido em: 04/03/2021

Aprovado em: 09/11/2021

**RESUMO .**

Os condritos são considerados os meteoritos mais primitivos do sistema solar e possuem essa denominação por conta dos côndrulos em sua matriz. Esses materiais possuem informações preciosas sobre o início do Sistema Solar, pois não experimentaram fusão e diferenciação ígnea. Atualmente, a comunidade científica segue a classificação que reúne os meteoritos em clãs, grupos e classes. Isto é importante, pois a partir das propriedades diferentes encontradas entre os condritos, é possível saber o ambiente no qual eles foram formados, seria como localização do “afloramento” e seu “contexto regional” para a geologia. Dessa forma, o objetivo principal aqui é desenvolver uma revisão ampla e sintetizada sobre os meteoritos condritos. Em geral, os condritos são agrupados em clãs menores e divididos em Carbonáceos (C), Ordinários (CO), Enstatita (E), Rumirutitos (R) e Kakangaritos (K). É importante mencionar que existem 3 processos que podem alterar as suas características primordiais dos condritos, que são 1) A alteração aquosa, 2) O metamorfismo termal, 3) Impacto ou metamorfismo de choque, além do próprio intemperismo terrestre. Por fim, espera-se que este artigo possa contribuir como referencial teórico para alunos de graduação e pós-graduação, pois existem pouquíssimos artigos e literatura na língua portuguesa sobre meteorítica e este trabalho buscou fazer um apanhado geral sobre meteoritos condritos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Meteoritos condritos. Carbonáceos. Enstatita. Ordinários Rumirutitos. Kakangaritos.**ABSTRACT.**

*Chondrites are considered the most primitive meteorites in the solar system and have this name because of the chondrules in their matrix. These materials have precious information about the beginning of the Solar System, as they did not experience fusion and igneous differentiation. Currently, the scientific community follows the classification that brings together meteorites in clans, groups and classes. This is important, because from the different properties found among the chondrites, it is possible to know the environment in which they were formed, it would be like the location of the “outcrop” and its “regional context” for geology. Thus, the main objective here is to develop a broad and synthesized review of chondrite meteorites. In general, chondrites are grouped into smaller clans and divided into Carbonaceous (C), Ordinary (CO), Enstatite (E), Rumirutitos (R) and Kakangaritos (K). It is important to mention that there are 3 processes that can alter its primordial characteristics of the chondrites, which are 1) The aqueous alteration, 2) The thermal metamorphism, 3) Impact or shock metamorphism, in addition to the terrestrial weathering itself. Finally, it is hoped that this article can contribute as a theoretical framework for undergraduate and graduate students, as there are very few articles and literature in Portuguese on meteorology and this work sought to provide a general overview of chondrite meteorites.*

**KEYWORDS:** Chondritic Meteorites. Carbonaceous. Enstatite. Ordinary. Rumirutites. Kakangaritos.

---

<sup>1</sup> Mestrado em Análise Geambiental. Universidade Guarulhos.

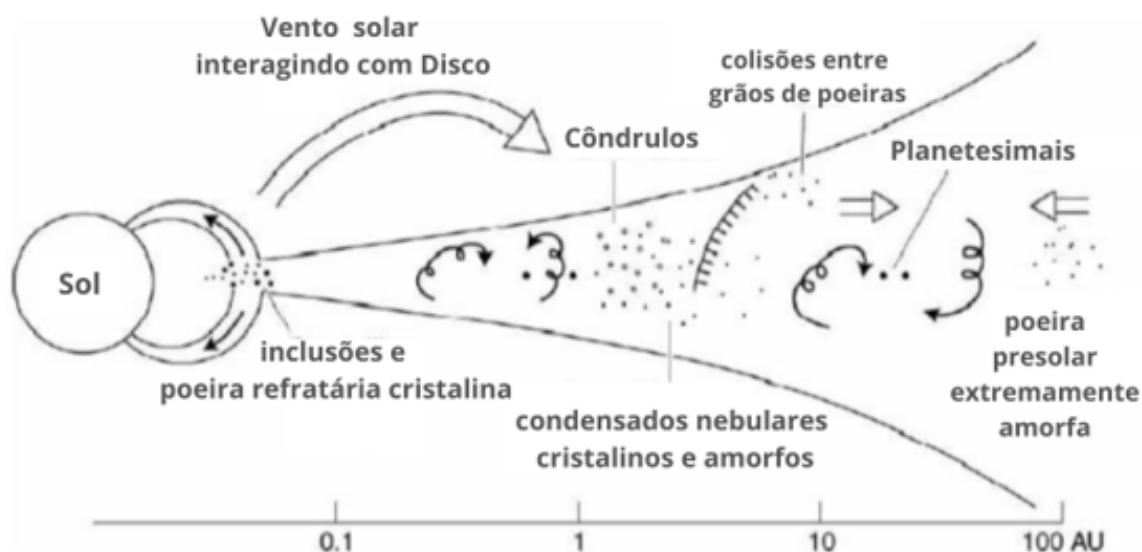
**RESUMEN**

*Las condritas se consideran los meteoritos más primitivos del sistema solar y tienen este nombre debido a las condulas en su matriz. Estos materiales tienen información valiosa sobre el comienzo del Sistema Solar, ya que no experimentaron fusión ni diferenciación ígnea. Actualmente, la comunidad científica sigue la clasificación que agrupa a los meteoritos en clanes, grupos y clases. Esto es importante, porque a partir de las diferentes propiedades que se encuentran entre las condritas, es posible conocer el ambiente en el que se formaron, sería como la ubicación del “afloramiento” y su “contexto regional” para la geología. Por lo tanto, el objetivo principal aquí es desarrollar una revisión amplia y sintetizada de meteoritos condriticos. En general, las condritas se agrupan en clanes más pequeños y se dividen en Carbonáceas (C), Ordinarias (CO), Enstatitas (E), Rumirutitos (R) y Kakangaritos (K). Es importante mencionar que existen 3 procesos que pueden alterar sus características primordiales de las condritas, que son 1) La alteración acuosa, 2) El metamorfismo térmico, 3) El metamorfismo de impacto o choque, además de la propia meteorización terrestre. Finalmente, se espera que este artículo pueda contribuir como marco teórico para estudiantes de pregrado y posgrado, ya que hay muy pocos artículos y literatura en portugués sobre meteorología y este trabajo buscó proporcionar una visión general de los meteoritos condriticos.*

**PALABRAS CLAVE:** Meteoritos Condriticos. Carbonáceo. Enstatita. Ordinario. Rumirutitas. Kakangaritos.

## INTRODUÇÃO

Os condritos são uma classe de meteoritos que se caracterizam por apresentarem côndrulos na sua matriz, ou seja, estruturas esferoidais que possuem tamanhos variados entre 0.01 mm até 4 mm. Os meteoritos condritos são em grande parte formados por grãos pré-planetários e poeira, que por conta da ação gravitacional se aglutinaram formando materiais rochosos durante os primórdios do Sistema Solar (Figura 1). Todos os seus componentes como os côndrulos, os grãos metálicos, as inclusões refratárias e os materiais matriciais foram forjados durante a nébula solar (ZUCOLOTTO, et al., 2013). Por conta disso, os condritos fornecem ótimas estimativas de abundância química de elementos condensados no sistema solar, tal como processos físicos, químicos e evoluções geológicas que se desenvolveram ao longo de sua história (NASCIMENTO-DIAS, 2018; 2021).



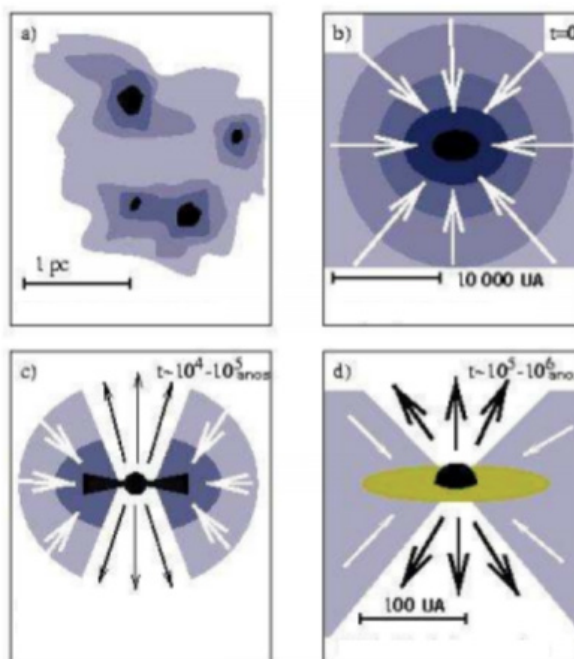
**Figura 1** - Ilustração da poeira presolar e o processo térmico no disco.

Fonte: adaptada de SCOTT; KROT (2005).

De acordo com Bischoff (1998) e Sears (2004), os côndrulos teriam se originado a partir de processos que envolveriam altíssimas temperaturas, mas de curta duração, promovendo um esfriamento rápido e quase abrupto. Conforme Scott e Krot (2005), outras estruturas como as inclusões ricas em cálcio e alumínio (CAI), os agregados amebóides de olivina (AOA) e os grãos de Fe-Ni também se forjariam durante esse momento rápido de esfriamento.

A formação das inclusões refratárias e os grãos de Fe-Ni, segundo Scott e Krot (2005), seriam os primeiros sólidos a serem formados no disco protoestelar, provavelmente em um período menor que 0.3My. Ainda não é muito precisa a época, porém, de acordo com Bischoff (1998), os CAI teriam se originado durante o processo de formação e evolução do Sol, quando ainda era uma protoestrela.

Inicialmente, a nuvem molecular na Figura 2.a condensaria gás e poeira, apresentando regiões (núcleos) mais densas. Posteriormente, devido a alguma perturbação gravitacional, as moléculas internamente se agitariam e a nuvem começaria a colapsar (Figura 2.b), formando o protosol em seu centro (classe 0). Neste momento, as estruturas ricas em cálcio e alumínio entrariam em seu processo inicial de formação. Em seguida, na Figura 2.c a protoestrela (classe I) começaria a gerar energia suficiente para ejetar parte desse disco. Segundo Bischoff (1998), os CAIs finalizariam seu processo de formação durante a época em que o Sol se encontraria na chamada fase de estrela T Tauri clássica (classe II) e seria opticamente visível como mostra a Figura 2.d.



**Figura 2:** Evolução de objetos estelares jovens, onde são ilustradas as estruturas do sistema em torno do objeto estelar em cada fase evolutiva, bem como a evolução do disco de acreção.

Fonte: adaptada de HOGERHEIJDE (1998).

Diante de todo esse cenário apresentado, os agregados amebóides de olivina (AOA) seriam as últimas estruturas sólidas a se formarem em regiões ricas em O16. Conforme Scott e Krot (2005), o rápido esfriamento não teria permitido que se realizassem reações entre os sólidos refratários e o gás. Estes materiais refratários teriam se formado próximo a estrela e sido empurrado pelos ventos solares em algum momento da fase de estrela T Tauri do Sol.

Por fim, vale salientar que os condritos são classificados de maneira geral como indiferenciados, pois representam o material primário que nunca foi derretido como um todo e sua constituição, essencialmente, é composta por minerais de olivina, piroxênio e uma quantidade substancial de plagioclásio. No capítulo seguinte serão apresentadas as classificações dos meteoritos condritos (Classe, Clã e Grupos) e suas respectivas descrições.

## CLASSIFICAÇÃO DE CONDITOS

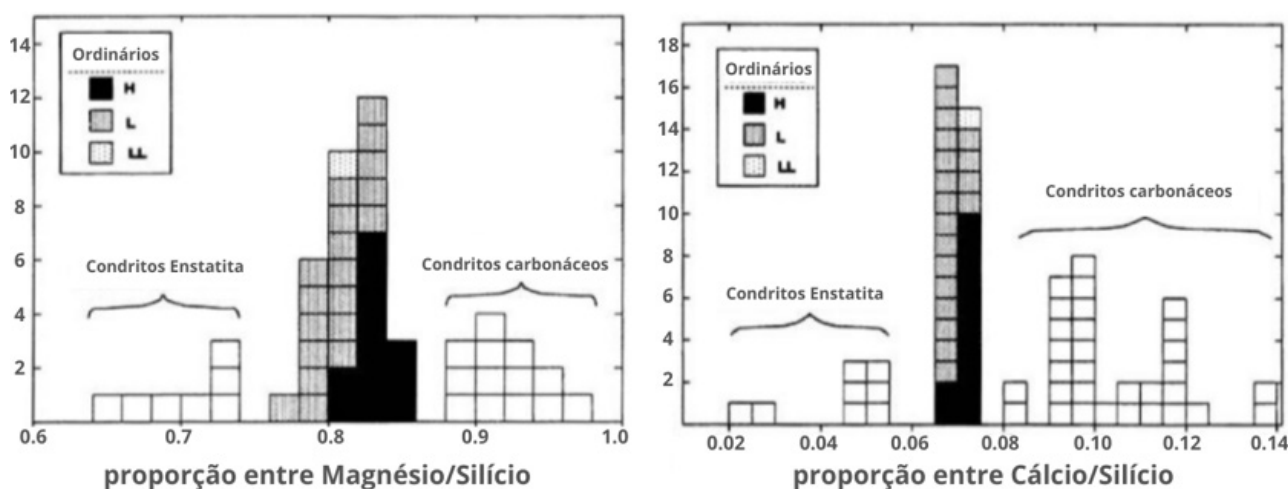
A classificação dos meteoritos é a estrutura básica a partir da qual os pesquisadores trabalham e se comunicam. O principal objetivo da classificação é agrupar os meteoritos semelhantes de maneira a se compreender melhor sua origem e relações (WEISBERG, et al., 2006; ZUCOLOTTI, et al., 2013). Os critérios adotados para a classificação de meteoritos são baseados em sua entrada na atmosfera, gênese, origem, composição, textura e seus processos (NORTON; CHITWOOD, 2008).

Todos os meteoritos recebem uma classificação primária de acordo com o registro da sua queda na superfície terrestre. Quando o meteorito é encontrado por meio de uma queda observada, é classificado como meteorito de queda. No entanto, quando é encontrado sem que seja possível determinar o momento em que caiu, é classificado como meteorito achado. Esta é uma distinção importante, pois, dependendo do tempo que passaram na Terra, os achados estão mais propensos à ação do intemperismo terrestre. Portanto, as tendências químicas que eles registram precisam ser cuidadosamente consideradas (WEISBERG, et al., 2006).

Outra forma de classificação primária é baseada na composição básica dos meteoritos, considerando a concentração de ferro e de silicatos (SEARS, 1997). De acordo com essa condição, os meteoritos podem ser divididos em três tipos:

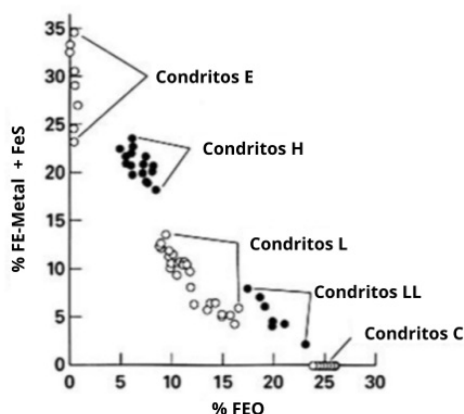
- Rochosos (ou aerólitos), compostos predominantemente por silicatos;
- Metálicos (ou sideritos), compostos basicamente por liga de ferro-níquel;
- Mistos (ou siderólitos), compostos por silicatos e liga de ferro-níquel em proporções equivalentes.

Cada um destes tipos é ainda subdividido em classes e algumas classes são subdivididas em grupos menores, com propriedades distintas (ZUCOLOTTI, et al., 2013). Os condritos estão inseridos na classe de meteoritos rochosos. Entretanto, entre eles ainda é possível serem observadas diferenças nas taxas de óxido de magnésio e óxido de cálcio com o silício. Neste sentido, de acordo com Sears (1997), os condritos são divididos em 3 clãs diferentes: condritos enstatita, que possuem baixa quantidade de óxido de magnésio ou cálcio em relação ao silício; os condritos ordinários, que possuem uma quantidade de óxido de magnésio ou cálcio intermediária entre os condritos enstatita e os condritos carbonáceos, sendo esse último o que apresenta as maiores quantidades de óxido de magnésio ou cálcio em relação ao silício, tal como mostra a Figuras 3a e 3b:



**Figura 3** - Histogramas mostrando (a) a composição Mg/Si e (b) a composição Ca/Si.  
Fonte: SEARS (1997).

No entanto, segundo Mason (1962) e Norton (2002), desenvolveram uma outra maneira de distinguir os meteoritos condritos e classificá-los através do ferro metálico presente nesses meteoritos. Para Norton (2002), existe uma correlação de linearidade para meteoritos condritos que tenham sofrido nenhuma ou tenham passado por pouca alteração de intemperismo da atmosfera terrestre. Na Figura 4 é apresentado um gráfico construído a partir desses conceitos e uma divisão entre os condritos aparece de forma clara.



**Figura 4** - Gráfico da porcentagem de óxido de ferro como função da porcentagem de metais ferrosos mais o sulfuro de ferro mostrando as principais classes de condritos.  
Fonte: NORTON (2002).

Atualmente, entretanto, a comunidade científica segue a classificação proposta por Krot et al., (2005), que reúne os meteoritos em grupos de origem similar e com histórico de formação parecido, na tentativa de relacioná-los a possíveis corpos parentais. Gaffey (2011), argumenta que, ao realizar a identificação de um provável corpo parental, os processos registrados nas amostras de meteoritos podem ser associados a um local específico da formação inicial do sistema solar. Em termos geológicos, isso se mostra equivalente à localização do “afloramento” do meteorito, de modo que ele possa ser colocado em um “contexto geológico regional”.

Os critérios adotados por Krot et al., (2005) para a classificação dos meteoritos são baseados na composição básica, origem primitiva ou diferenciada desses corpos. Seguindo esses critérios é possível classificá-los em condritos (meteoritos primitivos) e os não condritos (meteoritos diferenciados).

Os condritos são considerados os meteoritos mais primitivos do sistema solar. São chamados assim devido à presença de glóbulos esféricos ou elipsoidais de minerais denominados de côndrulos (KROT, 2014). Por não terem experimentado fusão e diferenciação ígnea, eles preservam amplamente os registros dos processos físicos e químicos da nebulosa solar. Os condritos podem se subdividir em clãs menores, tais como Carbonáceos, Ordinários, Enstatita, Rumurutitos e Kakangaritos.

- Carbonáceos: apresentam oito grupos CI, CM, CO, CV, CK, CR, CB e CH, sendo a primeira letra (C) referente a carbonáceo e a segunda representa o nome do meteorito típico que dá nome ao grupo. (I) Ivuna; (M) Mighei; (O) Ornans; (V) Vigarano; (K) Karoonda; (R) Renazzo; (B) Bencubbin e (H) ALH85005.

- Ordinários: o conteúdo de ferro total nesses meteoritos é usado como critério para sua subdivisão em três grupos: H (High), de 25% a 30%; L (Low), de 20% a 25%; e LL (Low-Low) de 19% a 20% de ferro em massa do total da massa da amostra do meteorito analisado.

- Enstatitas: como os ordinários, os enstatitas são subdivididos segundo o teor de ferro. O EH (High), com aproximadamente 30% de ferro e o EL (Low) com 25% ou menos.

- Os semelhantes ao meteorito Rumuruti.

- Os semelhantes ao meteorito Kakangari.

Na figura 5 a seguir, é apresentado um esquema de classificação dos meteoritos primitivos, contendo as principais subdivisões deste grupo de meteoritos.

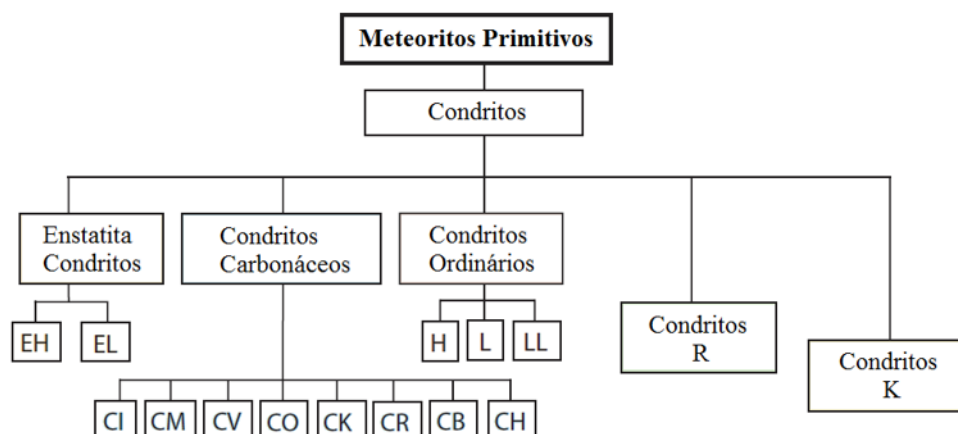


Figura 5: classificação dos meteoritos primitivos do grupo dos condritos

Fonte: adaptado de NORTON; CHITWOOD (2008).

## PROPRIEDADES DOS METEORITOS CONDRITOS

Os meteoritos, de forma geral, são rochas extraterrestres sujeitas a muitos processos diferentes ao longo da história do Sistema Solar. Todavia, antes de mencionar as propriedades de cada grupo de condrito, é necessário mencionar que no decorrer da história de formação destes meteoritos existem 3 processos que podem alterar as suas características primordiais, que são 1) A alteração aquosa, 2) O metamorfismo termal, 3) Impacto ou metamorfismo de choque (OSTROWSKI; BRYSON, 2019).



Dentre os processos mencionados, o metamorfismo de choque é o que mais contribui para mudanças das características primitivas dos condritos ordinários. A maioria dos condritos mostram evidências de impacto com algumas características visíveis a olho nu como a brecciação (fragmentos sedimentares angulares) e a presença de veios de choque. Vale salientar ainda, que alguns grupos (e.g. H, L, LL, EH, EL) não são hidratados e apresentam metamorfismo térmico, enquanto outros grupos (e.g. CI, CM, CR) são hidratados, porém não aparentam ter metamorfismo térmico (HUTCHISON, 2006).

Com base nos componentes apresentados sobre os condritos, é possível descrever as propriedades de cada clã e seus respectivos grupos de meteoritos, levando em conta as similaridades químicas, mineralógicas e isotópicas e a localização deles na nebulosa solar num intervalo estreito de distâncias heliocêntricas.

### **Clã dos Condritos Enstatita (E)**

Como já mencionado os condritos enstatita (E) possuem baixa razão de óxido de magnésio ou cálcio com o silício e são relativamente raros, pois se comparados aos outros representam apenas cerca de 2% dos meteoritos rochosos. Os Condritos (E) possuem silicatos pobres em ferro e são constituídos por elementos litófilos. Neste clã a composição dos côndrulos é majoritariamente feita de minerais de piroxênio, principalmente enstatita ( $\text{MgSiO}_3$ ).

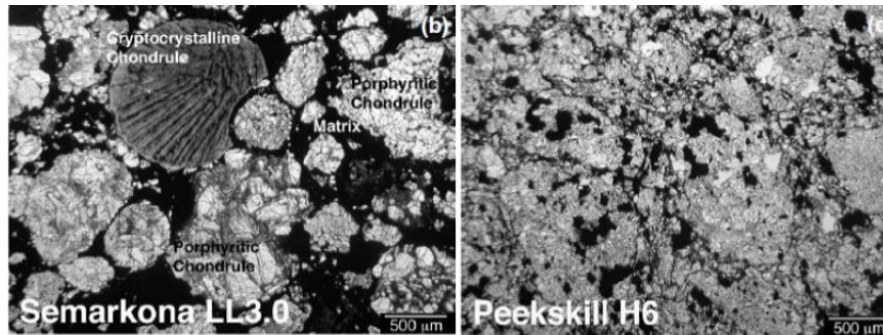
Os meteoritos enstatitas são os únicos condritos com composição isotópica similar à Terra e à Lua. Eles contêm sulfatos, metais e nitratos que são ausentes em outros grupos condriticos, como: oldhamita ( $\text{CaS}$ ), niningerita ( $\text{Mg,Fe,MnS}$ ), alabandita ( $\text{Mn, FeS}$ ), Osbornita ( $\text{TiN}$ ), sinoita ( $\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}$ ).

Por fim, o clã dos meteoritos enstatita também estão subdivididos em dois grupos: condritos de alta metalicidade (EH, sigla em inglês para Enstatita High Iron) e baixo quantidade de Ferro (EL, EH, sigla em inglês para Enstatita Low Iron), conforme Hutchison (2006). De acordo com Zucolotto et al.; (2013), a maneira mais fácil de distingui-los é pela Microscopia Óptica, em seção fina polida, examinando o tamanho dos côndrulos. Nos EL3 os côndrulos são bem definidos, com um tamanho de cerca 500  $\mu\text{m}$  de diâmetro. Nos EH3 os côndrulos são menores e não são bem definidos. Os côndrulos com olivinas são muito raros nos tipos petrológicos EH3 e EL3 e quase ausentes em tipos petrológicos maiores.

### **Clã dos Condritos Ordinários (OC)**

Este clã representa os tipos de meteoritos mais comuns e abundantes. Os condritos ordinários constituem cerca de 85 a 93,5% dos meteoritos com queda observada (ZUCOLOTTO, et al., 2013). Eles se caracterizam por ter uma alta abundância de côndrulos com tamanhos na ordem de milímetros, com várias texturas e composições mineralógicas distintas (HUTCHISON, 2006).

Para este clã em particular o Fe (elementar e combinado) é usado para classificar os condritos (OC), que se dividem em três grupos químicos distintos: H, L, e LL. Em geral, os condritos H, L e LL possuem características petrológicas e isotópicas que se sobrepõem entre si com apenas pequenas nuances. Todavia, observações mais sistemáticas, mostram diferenças no tamanho entre os côndrulos (Figura 6). Além disso, as abundâncias químicas em siderófilos podem ser usadas também para distinguir os grupos H, L, LL (Tabela 1).



**Figura 6:** Imagem comparativa entre os côneulos de OC (LL3) e OC (H6).

Legenda: Fotomicrografia de uma seção plana com luz polarizada e luz refletida mostra à esquerda o condrito ordinário LL3.0 Semarkona e um de seus côneulos criptocristalinos (formação com cristais muito pequenos) e esquelético (formação com cristais que se desenvolveram em condições de rápido crescimento e alto grau de supersaturação de tal modo que os íons são adicionados mais rapidamente as bordas e esquinas), côneulos porfíricos e a matriz. À direita tem o condrito ordinário H6 Peekskill mostrando recristalização, em que a estrutura primária foi destruída e os limites dos côneulos não são claros.

Fonte: adaptado de WEISBERG et al. (2006).

**Tabela 1** - Classificação de condritos ordinários através da proporção de Ferro

Classe	Grupo	Densidade	Fe Metal (% peso)	Fe Total (% peso)	Fa (% mol)	Fs (% mol)	Tam Cond (mm)	% Vol. Cond.
OC	H	3,40	10	25 – 30	16 – 20	14 – 20	0,3	60-80
	L	3,35	<5	20 – 23	21 – 25	20 – 30	0,7	60-80
	LL	3,21	2	19 - 22	26 – 32	32 – 40	0,9	60-80

Fonte: adaptada de ZUCOLOTTO et al. (2013).

Clã dos Condritos Carbonáceos (C)

Os grupos de condritos carbonáceos eram divididos anteriormente em três classificações distintas, conhecidas como C1, C2 e C3 (HUTCHISON, 2006). No entanto, essas classificações foram substituídas e renomeadas de acordo com um exemplar modelo para cada grupo. O tipo C1 são os meteoritos com estruturas semelhantes a um pedaço de carvão, possuem grãos finos e não há presença de côneulos. Entretanto, esses carbonáceos são ricos em água (cerca de 18-22%) na forma de minerais hidratados como enxofre, carbono e em sua composição estrutural possui uma grande quantidade de carbono (cerca de 3-5% em peso de carbono) e componentes orgânicos (ZUCOLOTTO, et al., 2013; KROT, et al., 2001).

Atualmente esse grupo foi substituído pela classificação CI, de forma que I simboliza Ivuna, nome do meteorito modelo, que todos que possuem similaridades químicas e mineralógicas são agrupados. Os meteoritos deste grupo (CI) possuem cerca de 99% de uma mistura de grãos finos com presença de filossilicatos hidratados, e o restante de grãos de pirrotita, magnetita e ocasionalmente cristais maiores de olivina e piroxênio. Podem ser encontrados também na matriz, minerais como a bauxita, dolomita, sulfato de sódio, magnésio, cálcio e níquel em grãos isolados que passam por veios ou cortam através da matriz. De acordo com Zucolotto et al., (2013), os condritos CI (Ivuna) são os objetos mais primitivos do Sistema Solar, possuindo uma composição bastante similar a da fotosfera solar.

Por fim, geologicamente falando os CI são considerados brechas cujos clastos milimétricos e submilimétricos diferem na textura, mineralogia e composição química dando um aspecto manchado. Os meteoritos deste grupo não sofreram o efeito de altas temperaturas e são os únicos condritos que não possuem côneulos (SEARS, 2004; KROT et al., 2001).

O grupo antigamente conhecido como C2 foi substituído pela classificação CM, em que o M representa



o meteorito Mighei. Os meteoritos CM possuem granulometria semelhante aos CI, ou seja, grãos finos (ROWE et al., 1994). Neste grupo de meteoritos as olivinas são abundantes, tanto em grãos, quanto nos côndrulos pequenos. A matriz é formada basicamente de filossilicatos hidratados semelhantes às argilas terrestres. Os CM mostram um grau moderado de alteração (reação química pela água) e possuem de 3 a 11% em peso de água (HOWARD, et al., 2015). Dentre os meteoritos que fazem parte dos grupos CM, o Murchison chama atenção por já ter sido encontrado mais de 60 tipos de aminoácidos, sendo alguns deles encontrados em seres vivos (APONTE, et al., 2020; GLAVIN, et al., 2020; PIZZARELLO, et al., 2020; LAWLESS, 1973; ORÓ, et al., 1971). Por fim, os CM têm presente em sua matriz CAI's, cristais inteiros e fragmentados e xenólitos.

O grupo C3 atualmente foi separado em dois grupos: CO (Ornans) e CV (Vigarano),. Embora ambos os meteoritos possuam o mesmo tipo petrológico e, por isso, haviam sido associados ao antigo grupo C3, possuem composição química diferenciada entre si. Segundo Zucolotto et al., (2013), todos os CO são do tipo 3 e teriam sofrido aquecimentos de até 500°C e alteração aquosa mínima.

No entanto, somente os meteoritos (CO) possuem silicatos hidratados em suas matrizes, com pequenos côndrulos de cerca de 0,2-0,3 mm densamente empacotados em uma matriz rica em olivina (ricas em ferro e sulfetos de ferro), além de baixa composição de carbono, cerca de apenas 1%. Possui abundância de estruturas pequenas de CAI's (15% em vol) em sua matriz.

Os meteoritos CV contêm inclusões refratárias semelhantes aos CO, em que apresentam a presença de estruturas ricas de cálcio e alumínio (CHRISTOPHE-MICHEL-LEVY; NELEN, 1970). Além disso, possuem minerais não encontrados em outros condritos como: melilita, fassita, sódio livre em anortita, espinélio livre de Fe, hibonita, perovskita, metal rico em platina e irídio (GATTACCECA, et al., 2020). Esses minerais mencionados são geralmente formados em alta temperatura, de modo segundo Krot et al., (2001) e Zucolotto et al., (2013), provavelmente seriam formados a partir da nebulosa, em que os primeiros produtos de condensação se criariam a partir da energia da protoestrela (HAN, et al., 2020; LOSS, et al., 1994).

Por fim, além desses grupos antigos mencionados no início, a partir da nova classificação, surgiram outros grupos relacionados aos meteoritos CK (Karoonda), meteoritos CR (Renazzo), Meteoritos CH (Allan Hills 85085) e os meteoritos CB (Bencubin). Os meteoritos CK, em sua maioria são do tipo petrológico entre 4-6. Conforme Kallemeyn et al., (1991), esse grupo CK contém alta abundância matricial, com côndrulos grandes entre 700 µm-1000µm a maioria dos quais tem textura porfiritica, os côndrulos quase não apresentam estrutura vítrea, nem criptocristalina, nem textura de olivina barrada, são altamente oxidados.

De acordo com Weisberg et al. (1993), a maioria dos condritos CR (Tipo Renazzo) são de tipo petrológico 2, se caracterizam por ter côndrulos tipo I, ricos em estatita e forsterita porfírico, ricos em metais de Fe-Ni, alguns dos quais são de multicamadas com bordas de metal e silicatos (Olivina, piroxênio, vidro mesostático). Os condritos CH (Allan Hills 85085), segundo Zucolotto et al., (2013), é um grupo raro de condritos carbonáceos muito próximos ao CR e CB. A letra H indica alto teor de metal, já que o CH contém até 20% de ferro-níquel metálico e até 60-70% de ferro. Nesse grupo de meteoritos CH, conforme Krot et al., (2014), as abundâncias de elementos litofílos refratários são muito similares às encontradas nos condritos CI. Os meteoritos CB (Bencubin), citado anteriormente, é um grupo novo, que de acordo com Zucolotto et al., (2013) e Krot et al., (2014) podem possuir até mais de 50% de ferro níquelífero metálico em sua composição estrutural. Texturalmente possuem côndrulos de tamanhos centimétricos com nódulos metálicos de 1,5-8 mm em diâmetro e agregados de piroxênio. Os nódulos metálicos contêm troilita criptocristalina, silicatos esferoidais e raras olivinas ricas em ferro (CAMPBELL, et al., 2002).

### **Clã dos Condritos Rumurutitos (R)**

O grupo R dos condritos Rumurutitos é raro e não deve ser confundido com os CR (Renazo). Segundo Krot et al., (2014) trata-se de um meteorito descoberto em 1977 por Carlisle Lakes. Os Rumurutitos eram considerados um grupo anômalo, sendo que este e outros meteoritos semelhantes, só foram aceitos como um grupo distinto quando um meteorito caído em 1934, próximo de Rumuruti, no sudoeste do Quênia, foi

estudado em 1993 (ZUCOLOTTO, et al., 2013). O principal impedimento para aceitação era o alto grau de intemperismo terrestres que estes meteoritos apresentavam.

Os condritos R têm abundâncias em elementos litófilos refratários e composições isotópicas similares às encontradas nos condritos ordinários. Conforme Zucolotto et al., (2013), essas rochas são brechas de material clástico claro embebidas em uma matriz escura. Os clastos claros mostram um tipo petrológico 5-6, enquanto a matriz apresenta um tipo 3-4 de metamorfismo. Possuem poucos côndrulos comparados aos condritos ordinários H ou L e o ferro metálico livre é praticamente ausente, mas segundo Krot et al. (2014), a diferença dos condritos R em relação aos CO é que eles são altamente oxidados, com abundâncias leves em metais de Fe-Ni. Além disso, tem uma alta abundância matricial (50%) similar aos condritos carbonáceos.

### **Clã dos Condritos Kakangaris (K)**

Conforme Grady et al., (2014) o meteorito Kakangari caiu em 1890 e foi classificado inicialmente como provável condrito carbonáceo. Contudo, ele apresentava característica que o diferenciava muito deste grupo. Segundo Zucolotto et al., (2013), posteriormente foram achados outros dois meteoritos que possuíam características semelhantes ao Kakangaris. São semelhantes aos Enstatita em relação ao estado de oxidação e razão isotópica de seus côndrulos.

Pode-se concluir a partir das informações sobre classificação e propriedades que os condritos Enstatitas são os mais ricos em ferro e menos em oxigênio, por isso atribui-se terem sido formados em regiões mais internas do Sistema Solar. No caso dos condritos ordinários, que possuem tanto elementos voláteis quanto oxidados, o cinturão de asteroides é apontado como a região de origem desse grupo de meteoritos. Por fim, em regiões de grandes distâncias do Sol poderiam ter viabilizado a condensação de grandes quantidades de elementos voláteis e oxigênios, ambas taxas equivalentes encontradas nos condritos carbonáceos. Tudo que foi mencionado destaca-se de forma significativa, pois outros meteoritos não só sofreram processos de aquecimento ou hidratação (DO NASCIMENTO-DIAS, 2019) gerados por formação de gelos na sua estrutura, como também passaram por metamorfismo de choque (NASCIMENTO-DIAS, et al., 2021; DO NASCIMENTO-DIAS, 2020; NASCIMENTO-DIAS, et al., 2019) por conta das colisões com outros planetesimais (NASCIMENTO-DIAS, et al., 2018).

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em geral, áreas como a Geologia, Ciências Planetárias, Meteorítica e Astrobiologia, por vezes, precisam e utilizam informações de rochas extraterrestres. Embora o conhecimento científico esteja aumentando por conta dos diversos avanços tecnológicos e científicos, o gap entre o que se conhece e o desconhecido ainda é muito grande na área de meteorítica. No Brasil a área de meteorítica para geólogos é pouco difundida e poucos são os geólogos que trabalham no desenvolvimento de pesquisas relacionadas à meteoritos, sendo este o principal motivo para a elaboração deste material.

Ao longo deste trabalho foram apresentadas as principais classificações de meteoritos com ênfase nos meteoritos condritos. Foi possível observar que algumas classes apresentam similaridades químicas e mineralógicas, de forma que estes meteoritos devido a esses aspectos são agrupados em clãs. Com base nessas constatações obtidas no decorrer do texto, também foi possível ver que cada clã pode ter uma origem de formação associada com uma faixa de distância heliocêntrica no disco protoestelar, no decorrer do estágio evolutivo do Sol. Por fim, para leitores que tenham maior interesse sobre o assunto e queiram obter informações mais aprofundadas, é possível realizar estudos e pesquisas sobre temperaturas, pressões e outras características físicas após a formação dos planetesimais.

### **REFERÊNCIAS**

APONTE, J. C.; MCLAIN, H. L.; SIMKUS, D. N.; ELSILA, J. E.; GLAVIN, D. P.; PARKER, E. T.; LAURETTA,

D.S. Extraterrestrial organic compounds and cyanide in the CM2 carbonaceous chondrites Aguas Zarcas and Murchison. **Meteoritics & Planetary Science**, v. 55, n. 7, p. 1509-1524, 2020.

BISCHOFF, A. Aqueous alteration of carbonaceous chondrites: Evidence for preaccretionary alteration—A review. **Meteoritics & Planetary Science**, v. 33, n. 5, p. 1113-1122, 1998.

CHRISTOPHE-MICHEL-LEVY, M.; CAYE, R.; NELEN, J. A new mineral in the Vigarano meteorite. **Meteoritics & Planetary Science**, v. 5, n. 211, 1970.

DO NASCIMENTO-DIAS, B. L.; DE OLIVEIRA, D. F.; MACHADO, A. S.; ARAÚJO, O. M.; LOPES, R. T.; DOS ANJOS, M. J. Utilization of nondestructive techniques for analysis of the Martian meteorite NWA 6963 and its implications for astrobiology. **X-Ray Spectrometry**, v. 47, n. 1, p. 86-91, 2018.

DO NASCIMENTO-DIAS, B. L. Combination between Ca, P and Y in the Martian Meteorite NWA 6963 could be used as a strategy to indicate liquid water reservoirs on ancient Mars?. **International Journal of Astrobiology**, v. 18, n. 2, p. 151-156, 2019.

DO NASCIMENTO-DIAS, B. L.; ZUCOLOTTI, M. E.; BELGO, H. C.; DA SILVA, T. V. F.; DOS ANJOS, V. D. C. Detection of organic or inorganic material in Martian meteorite Zagami by vibrational spectroscopy?. **International Journal of Astrobiology**, v. 19, n. 6, p. 438-445, 2020.

GAFFEY, M. J. Mineralogy of asteroids. In: AIP Conference Proceedings. **American Institute of Physics**, v. 1386, n. 1, p. 129-169, 2011.

GATTACCECA, J.; BONAL, L.; SONZOGNI, C.; LONGEREY, J. CV chondrites: More than one parent body. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 547, p. 116467, 2020.

GRADY, M.; PRATESI, G.; MOGGI CECCHI, V. **Atlas of meteorites**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

GLAVIN, D. P.; ELSILA, J. E.; MCLAIN, H. L.; APONTE, J. C.; PARKER, E. T.; DWORKIN, J. P.; LAURETTA, D. S. Extraterrestrial amino acids and L-enantiomeric excesses in the CM 2 carbonaceous chondrites Aguas Zarcas and Murchison. **Meteoritics & Planetary Science**, 2020

HAN, J.; KELLER, L. P.; LIU, M. C.; NEEDHAM, A. W.; HERTWIG, A. T.; MESSENGER, S.; SIMON, J. I. A coordinated microstructural and isotopic study of a Wark-Lovering rim on a Vigarano CAI. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 269, p. 639-660, 2020.

HOGERHEIJDE, M. **The Molecular Environment of Low-Mass Protostars**. Thesis (Ph. D) - Leiden University. Leiden, 1998.

HOWARD, K. T.; ALEXANDER, C. O. D.; SCHRADER, D. L.; DYLL, K. A. Classification of hydrous meteorites (CR, CM and C2 ungrouped) by phyllosilicate fraction: PSD-XRD modal mineralogy and planetesimal environments. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 149, p. 206-222, 2015.

HUTCHISON, R. **Meteorites: a petrologic, chemical and isotopic synthesis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. Vol. 2.

KROT, A. N.; KEIL, K.; SCOTT, E. R. D.; GOODRICH, C. A.; WEISBERG, M. K. **Classification of meteorites and their genetic relationships**. São Paulo: Elsevier, 2014. v. 1. p. 1-63.

KROT, A. N. **Classification of meteorites. Meteorites, comets, and planets**. São Paulo: Elsevier, 2005. p. 83-142.

KROT, A. N.; MEIBOM, A.; RUSSELL, S. S.; ALEXANDER, C. M. D.; JEFFRIES, T. E.; KEIL, K. A new astrophysical setting for chondrule formation. **Science**, v. 291, n. 5509, p. 1776-1779, 2001.

LOSS, R. D.; LUGMAIR, G. W.; DAVIS, A. M.; MACPHERSON, G. J. Isotopically distinct reservoirs in the solar nebula: Isotope anomalies in Vigarano meteorite inclusions. **The Astrophysical Journal**, v. 436, L193-L196, 1994.

MASON, B. H. The classification of chondritic meteorites. **American Museum novitates**, n. 2085, 1962.

NASCIMENTO-DIAS, B. L. Non-destructive determination of 15 major and minor elements in Murchison and Allende meteorites using  $\mu$ XRF. **Revista Brasileira de Física tecnológica Aplicada**, v. 5, p. 27/1-41, 2018.

NASCIMENTO-DIAS, B. L.; ARAUJO, O. M. O.; MACHADO, A. S.; OLIVEIRA, D. F.; ANJOS, M. J.; LOPES, R. T.; ASSIS, J. T. Analysis of two meteorite fragments (lunar and martian) using X-Ray microfluorescence and X-Ray computed microtomography techniques. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 152, p. 156-161, 2019.

NASCIMENTO-DIAS, B.; ROQUE, C.; MAYATO, B.; D'OLIVEIRA, K. A.; BELGO, H. C.; ZUCOLOTTI, M. E.; DOS ANJOS, V. D. C. Mineralogical characterization of an eucrite Serra Pelada by Raman and XRD. **Vibrational Spectroscopy**, v. 115, 103259, 2021.

NASCIMENTO-DIAS, B. L. Meteoritos Marcianos Realmente Vieram De Marte?. **Geosciences= Geociências**, v. 40, n. 03, p. 771-780, 2021.

NORTON, O. R.; CHITWOOD, L. **Field guide to meteors and meteorites**. Berlin: Springer Science & Business Media, 2008.

NORTON, O. R. **The Cambridge encyclopedia of meteorites**. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. p.374.

ORÓ, J.; GIBERT, J.; LICHTENSTEIN, H.; WIKSTROM, S.; FLORY, D. A. Amino-acids, aliphatic and aromatic hydrocarbons in the Murchison meteorite. **Nature**, v. 230, n. 5289, p.105-106, 1971.

OSTROWSKI, D.; BRYSON, K. The physical properties of meteorites. **Planetary and Space Science**, v. 165, p. 148-178, 2019.

PIZZARELLO, S.; YARNES, C. T.; COOPER, G. The Aguas Zarcas (CM2) meteorite: New insights into early solar system organic chemistry. **Meteoritics & Planetary Science**, v. 55, n. 7, p. 1525-1538. 2020.

ROWE, M. W.; CLAYTON, R. N.; MAYEDA, T. K. Oxygen isotopes in separated components of CI and CM meteorites. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 58, n. 23, p. 5341-5347, 1994.

SCOTT, E. R.; KROT, A. N. Chondritic meteorites and the high-temperature nebular origins of their components. **Chondrites and the protoplanetary disk**, v. 341, p. 15, 2005.

SEARS, D. W. The case for chondrules and CAI being rare in the early solar system-Some implications for astrophysical models. **Lunar and Planetary Science Conference**, v. 28, p. 273, 1997.

SEARS, D. W. **The origin of chondrules and chondrites**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. Vol. 3.

WEISBERG, M. K.; MCCOY, T. J.; KROT, A. N. Systematics and evaluation of meteorite classification. **Meteorites and the early solar system II**, 2006.

WEISBERG, M. K.; PRINZ, M.; CLAYTON, R. N.; MAYEDA, T. K. The CR (Renazzo-type) carbonaceous chondrite group and its implications. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 57, n. 7, p. 1567-1586, 1993.

ZUCOLOTTO, M. E. et al. **Decifrando os meteoritos**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; Museu Nacional, 2013.