

Caio Vidaurre Nassif Villaça

**Classificação e interpretação de meteoritos condritos
ordinários e o eucrito Serra Pelada**

Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia)

UFRJ

Rio de Janeiro

2018



UFRJ

Caio Vidaurre Nassif Villaça

**Classificação e Interpretação de meteoritos condritos ordinários e o eucrito
Serra Pelada**

Trabalho de conclusão de curso submetido ao programa de graduação em geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Orientadores:

Julio Cezar Mendes - IGEO/ UFRJ

Maria Elizabeth Zucolotto- Museu Nacional/ UFRJ

Rio de Janeiro

2018

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus familiares e amigos que me apoiam a continuar estudando o que tanto amo. Também agradeço a Beth Zucolotto, Julio Mendes e Amanda Tosi por toda a ajuda e companheirismo durante esses dois anos em que trabalhamos e aprendemos juntos.

Resumo

O setor de meteorítica do Museu Nacional (MN/UFRJ) junto com o LabSonda (IGEO/UFRJ) realiza estudos relacionados a classificação e interpretação de meteoritos. Neste contexto, com o objetivo de fornecer novas informações a cerca desses corpos extraterrestres, o presente trabalho tem como objetivo classificar cinco meteoritos (Ca3, Ca8, Parauapebas, Três Irmãos e Serra Pelada), além de organizar um método sistemático de análise e classificação que servirá como guia para outros laboratórios brasileiros e futuras pesquisas. Como metodologia empregada, foram preparadas lâminas para análises preliminares em microscópio petrográfico, onde podemos observar importantes aspectos como o estágio de metamorfismo, grau de choque, proporção de metais, presença e tamanho de cóndrulos e posteriormente, a utilização de microsonda eletrônica (ME) para análises químicas dos minerais. As cinco amostras representam meteoritos rochosos, porém de classificações variadas, o que possibilita a observação e o estudo de diferentes características específicas de cada classe e grupo. Dentre as amostras observamos condritos primitivos (material quase inalterado desde a formação do sistema solar) e condritos metamorfizados, nos quais é possível observar diferentes intensidades de metamorfismo, indicando variados níveis dos protoplanetas. Também serão apresentados meteoritos acondritos (basalto do asteroide 4 Vesta). A diversidade de amostras possibilitou a realização de um trabalho didático ao estudar amostras que representam diferentes estágios da formação de um planeta além de fornecer dados para a elaboração do método sistemático desenvolvido. Os meteoritos Ca8 e Três Irmãos foram classificados como condritos ordinários L de tipo petrológico 6. Já o meteorito Parauapebas foi classificado como uma brecha genômica composta por clastos de condritos ordinários H e diferentes tipos petrológicos (4 e 5). Por fim, o meteorito Serra Pelada foi classificado como um eucrito (basalto proveniente do asteroide 4 Vesta) devido, principalmente, a composição química dos seus piroxênios e plagioclásios.

Lista de Figuras

- Figura 1. Abundância relativa dos corpos parentais de cada meteorito em relação distância do Sol. Fonte: Alterado de <https://www.lpi.usra.edu/science/Xenoliths/> <Acessado em 30/05/2018>.....15
- Figura 2. Crosta de fusão do meteorito Três irmãos medindo entre 0,5 e 0,8 mm de espessura.....16
- Figura 3. Tipos de meteoritos e a interpretação de seus corpos parentais. Fonte: Alterado de Smithsonian National Museum of Natural History <www.mnh.si.edu/earth/text/5_1_4_0.html>.....18
- Figura 4. Divisão dos diferentes tipos de meteorito. Fonte: Modificado de Sneling (2014).....20
- Figura 5. Relação Wt% Fe-metal + FeS com Wt% FeO para os diferentes condritos. H, L e LL são os diferentes tipos químicos dos meteoritos condritos ordinários. Condrito C e condritos E são condritos carbonáceos e enstatitas respectivamente. Fonte: Modificado de Sneling (2014)21
- Figura 6. A) Lâmina petrográfica do Meteorito Serra Pelada composto por diversos clastos de texturas diferentes numerados de 1 a 7. B) Foto da lâmina petrográfica com luz polarizada do meteorito Três Irmãos. O veio (escuro) corta um côndrulo, evidenciando que o meteorito não é composto por clastos diferentes.....23
- Figura 7. As oito texturas principais de côndrulos segundo Gooding & Keil (1981). Fonte da imagem: Antonio Ciccolella (2016)24

Figura 8. Corpos que foram acrecionados rapidamente formarão finas crostas do tipo petrológico 3. Já os que acrecionaram de forma lenta, terão uma maior quantidade de material do tipo petrológico 3. Vernazza (2014)	26
Figura 9. A) Foto de um veio em lâmina petrográfica com luz transmitida do meteorito San Carlos. B) Mesmo veio que a foto A, porém em luz refletida, mostrando o metal sendo cortado pelo veio em movimento cisalhante (As setas brancas apontam o sentido do movimento).....	29
Figura 10. Os 3 grupos químicos (LL, L e H) de meteoritos condritos ordinários, agrupados conforme proposição de Keil e Fradkison (1964).....	32
Figura 11. Relação da composição química dos piroxênios de basaltos de diversos corpos planetários em relação ao Fe e Mn. Os valores de Y representam a inclinação do <i>trend</i> das retas de cada corpo. Fonte: Modificado de Papike (2013).....	33
Figura 12. Comparação da composição química de olivinas (Ol), piroxênios (Pyx) e anortita (An) de basaltos provenientes de diversos corpos. X= razão entre Fe e Mn em afu; sd =desvio padrão; N = número de análises. Fonte: Modificado de Papike (2003).....	34
Figura 13. Razão isotópica das rochas provenientes de Vesta, Terra e Marte. Fonte: Modificado de Scott (2001).....	34
Figura 14. Razões Fe/Mn e Fe/Mg de diferentes eucritos e diogenitos. Fonte: Modificado de Barret et. al. (2015).....	35
Figura 15. Diagrama TiO ₂ x FeO/MgO para eucritos acumulados e não acumulados proposto por Barret (2000).....	35

Figura 16. Lâmina petrográfica do meteorito Ca3 em luz transmitida e nicóis descruzados.....	37
Figura 17. A) Côndrulo com textura de olivina barrada no meteorito Ca3. B) Textura de olivina porfirítica. C) Piroxênio radial. D) Piroxênio Poiclítico (Ol = Olivina; Px = Piroxênio).....	37
Figura 18: A) Olivinas presentes no meteorito Ca3 com fraturas irregulares. B) Olivinas quase sem fraturas.....	38
Figura 19. A) Metais muito oxidados beirando côndrulos no meteorito Ca3. B) Aproximação da parte marcada na figura A. Ox = metal oxidado; FeNi = metal livre...	39
Figura 20: Lâmina do Parauapebas em luz transmitida descruzada.....	40
Figura 21: Côndrulos do clasto superior do meteorito Parauapebas.....	40
Figura 22. Plagioclásio maior que 12 micrômetros presente no clasto inferior do meteorito Parauapebas.....	41
Figura 23. Metais não oxidados do meteorito Parauapebas em luz refletida.....	42
Figura 24. Tipo químico (H) do meteorito Parauapebas plotado no gráfico de Fredinkson e Keil (1964).....	43
Figura 25. Amostra de mão do meteorito Três Irmãos. O círculo vermelho está marcando o material fundido presente na região com alta concentração de veios de fusão do meteorito.....	44
Figura 26. Lâmina petrográfica do meteorito Três Irmãos em luz transmitida não polarizada.....	44

Figura 27. Feldspato com aproximadamente 90 micrômetros no meteorito Três Irmãos (PI = Plagioclásio).....	45
Figura 28. Olivina do meteorito Três Irmãos apresentando um conjunto (set) de fraturas planares.....	45
Figura 29. Metais não oxidados do meteorito Três Irmãos em luz refletida.....	46
Figura 30. Histograma da composição das olivonas presentes no meteorito Três Irmãos. O eixo Y representa o número de pontos analisados e o eixo X a composição em porcentagem de faialita.....	46
Figura 31. Tipo químico (L) do meteorito Três Irmãos. Composição da ferrossilita (eixo Y) e faialita (eixo x) do meteorito Três Irmãos no diagrama modificado de Fredinkson e Keil (1964).....	47
Figura 32. Lâmina petrográfica do meteorito Ca8 em luz transmitida e polarizada.....	47
Figura 33. A) Imagem EDS de parte da lâmina do meteorito Ca8. Os círculos vermelhos apontam a textura de olivina barrada. Também é possível identificar côndrulos com outras texturas (Cond.) e plagioclásios em cinza escuro na imagem (Pl.). B) Imagem em luz transmitida não polarizada. Os círculos vermelhos mostram as mesmas relíquias de côndrulos com textura de olivina barrada mostrados na imagem A.....	48
Figura 34. A) Lâmina em luz polarizada. As setas mostram maskelinitas (pretas) presentes na amostra próximas de um metal opaco. B) Lâmina em luz não polarizada. As setas mostram as maskelinitas (brancas). O piroxênio (Px) de cor marrom é abundante na amostra.....	49

Figura 35. A) A-B) Metais totalmente ou parcialmente oxidados no meteorito Ca8. C) Mosaico da lâmina petrográfica em luz refletida mostrando pouca presença de metais na amostra.....	49
Figura 36: Lâmina petrográfica do meteorito Serra Pelada em luz não polarizada. As regiões texturalmente diferenciadas são separadas pela linha tracejada e identificados por letras conforme o texto.....	51
Figura 37. Fotos realizada em microscópio com luz transmitida não polarizada. A) Textura MM – Matriz média. B) Textura FM – Matriz fina. C) Textura CX – Clasto com granulometria grossa. D) Textura MX – Clasto com granulometria média. E-F) Textura RX – Clasto fundido.....	51
Figura 38: Proporção de Mn e Fe nos piroxênios no meteorito Serra Pelada. Y = Inclinação do <i>trend</i> linear.....	52
Figura 39: Diagrama TiO ₂ x FeO/MgO para o eucrito Serra Pelada e seus diferentes clastos comparado com o resultado proposto por Barret (2000) (gráfico pequeno) para eucritos acumulados e não acumulados.....	53
Figura 40: Razões Fe/Mn e Fe/Mg de piroxênios para o eucrito Serra Pelada.....	54

Lista de tabelas

Tabela 1. Classificação de brechas meteoríticas. Modificado de Bishoff (2006).....	22
Tabela 2. Tipos petrológicos em ordem crescente de metamorfismo térmico. Modificado de Van Schmus e Wood (1967), Sears and Dodd (1988), Brearley and Jones (1998) e Norton (2002).....	25

Tabela 3. Tabela com as características principais de cada estágio de choque. Modificado de Stoffler (1991).....	28
Tabela 4. Níveis de intemperismo estabelecidos por Wolzka (1993).....	30
Tabela 5. Relação da heterogeneidade do piroxênio de baixo Ca com o tipo petrológico. (Modificado de Grossman (2011)).....	32
Tabela 6: Relação do diâmetro do cõndrulo com o tipo químico do condrito ordinário, segundo Scott e Krot (2007).....	32
Tabela 7: Composição química de piroxênios e plagioclásio de diferentes corpos planetários. Px= piroxênio; x = valor da análise; dp= desvio padrão; N= número de amostras. Fonte: Dados do Serra Pelada retirados de Zucolotto (2018); Dados dos demais corpos retirados de Papike (2013).....	59

Lista de Abreviações:

µm: Micrômetro

afu: Unidade de fórmula atômica

EDS: Energy Dispersive Spectroscopy (Espectroscopia de Dispersão de Energia)

Fa: Faialita

Fo: Forsterita

Fs: Ferrosilita

HED: grupo Hawardito, Eucrito e Diogenito

KeV: Quilo Elétron-Volt

ME: Microsonda Eletrônica

mm: Milímetro

MN: Museu Nacional

PMD: Percent Mean Deviation (Porcentagem da Média de Desvio Padrão)

UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro

WDS: Wavelength Dispersive Spectroscopy (Espectroscopia Dispersiva de Comprimento de Onda)

Wt%: *Weight percent* (Porcentagem em peso)

Sumário

Capítulo 1	14
1.1 Introdução.....	14
1.2 Objetivo.....	15
Capítulo 2	19
2.1 Metodologia.....	19
2.2 Classificação dos meteoritos	29
2.3 Classificação dos condritos ordinários	21
2.3.1 Descrição petrográfica	21
2.3.1.1 Textura brechada.....	21
2.3.1.2 Textura de côneulos	24
2.3.1.3 Metamorfismo.....	25
2.3.1.4 Estágio de choque	26
2.3.1.5 Intemperismo	29
2.3.1.6 Análise química	30
2.4 Classificação do clã HED	32
2.4.1 Origem do basalto	33
2.4.2 Caracterização textural e química.....	34
Capítulo 3	36
3.1 Resultados	36
3.1.1 Classificação do meteorito Ca3	36
3.1.2 Classificação do meteorito Parauapebas.....	39
3.1.3 Classificação do meteorito Três Irmãos	43
3.1.4 Classificação do meteorito Ca8	47
3.1.5 Classificação do meteorito Serra Pelada	50
Capítulo 4	55
4.1 Discussões e conclusões	55
Referências	56
Apêndice A	59
Apêndice B.....	60

Apêndice C	60
Apêndice D.....	60
Apêndice E	62
Apêndice F.....	63
Apêndice G.....	64
Apêndice H	65
Apêndice I.....	66
Apêndice J.....	66
ApêndiceK.....	67

Capítulo 1

1.1 Introdução

Meteoritos são objetos de interesse da humanidade já desde muitos séculos. Papiros egípcios de mais de 4 mil anos assim como escritos gregos de 3 mil anos mencionam riscos e queda de objetos feitos de ferro do céu. Porém, os meteoritos só foram aceitos como de origem extraterrestre pela comunidade científica no início do século 19, quando o físico Ernst Chladni publicou o seu trabalho sobre a origem dos meteoritos (Marvin, 1996).

Atualmente os meteoritos são considerados objetos de grande importância para o entendimento da evolução físico-química do Sistema Solar, assim como de outros sistemas planetários, por meio de grãos pré-solares (mais antigos que o Sol) muitas vezes encontrados nos meteoritos.

São diversas as contribuições dos meteoritos para as ciências planetárias. Claire Paterson no artigo “Age of Meteorites and The Earth”, em 1956, utiliza os meteoritos como ferramentas significativas para a obtenção da idade da Terra e do Sistema Solar. Também, ao estudar meteoritos, podemos entender melhor as dinâmicas de acreção de corpos. A maioria dos meteoritos mais primitivos são compostos por rochas e metal que após acrecionarem e acumularem energia suficiente para fundir o seu material interno, irão evoluir de corpos não diferenciados para corpos diferenciados.

Em 1796 o matemático Pierre Simon Laplace desenvolveu a hipótese nebular, na qual uma estrela se forma a partir do colapso de uma região da nuvem de gás e poeira. Durante a sua formação, a estrela gira criando um disco protoplanetário com o material remanescente da nebulosa. Pequenas partículas presentes no disco protoplanetário começam a colidir entre si e acumular massa, processo chamado de

acrecção. É importante ter em mente que o disco protoplanetário não possui composição homogênea, sendo as regiões mais próximas do Sol as que possuem caráter mais redutor e são depletadas em elementos voláteis, já as regiões mais afastadas são ricas em voláteis e possuem caráter oxidante. Essas diferenças na composição do disco protoplanetário refletirá na composição dos materiais formados pela acreção em diferentes regiões. Os enstatita condritos (meteoritos com muito ferro livre) foram formados mais próximo do Sol, enquanto os condritos carbonáceos são formados em regiões mais afastadas do cinturão de asteróides e possuem grande quantidade de voláteis (figura 1).

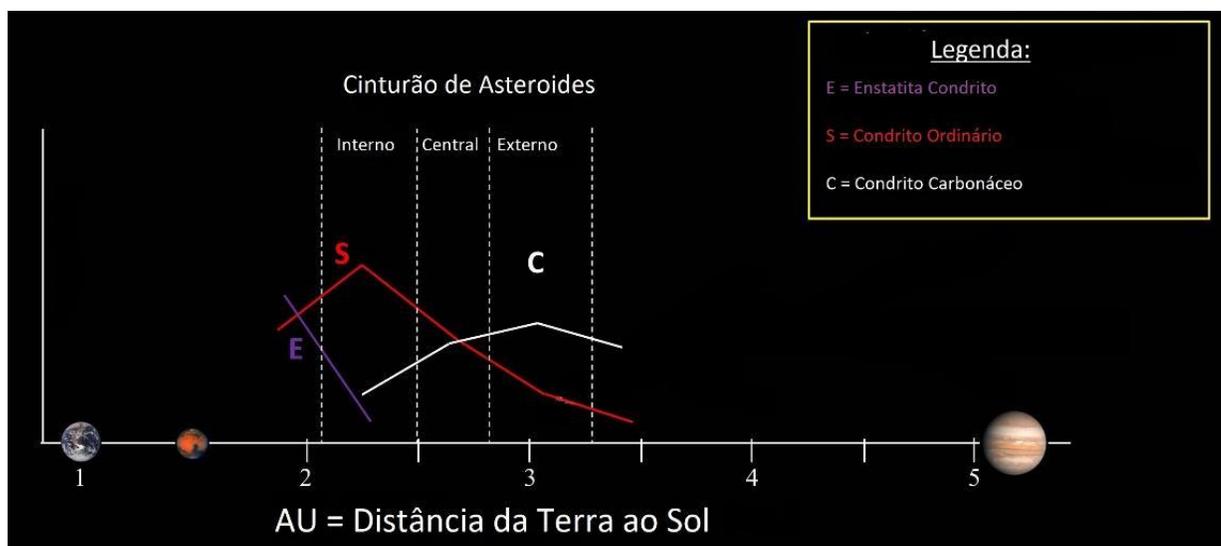


Figura 1: Abundância relativa dos corpos parentais de cada meteorito em relação distância do Sol. AU= unidade astronômica. Fonte: Alterado de <https://www.lpi.usra.edu/science/Xenoliths/> <Acessado em 30/05/2018>

Com a contínua acumulação de material, corpos quilométricos começam a se formar e, segundo Hess (2006), começam a sofrer metamorfismo térmico. A energia necessária para causar o metamorfismo e posteriormente fusão no interior desses corpos podem ter diversas origens segundo este autor, como: energia gerada pela colisão entre corpos, decaimento radioativo (^{26}Al e ^{60}Fe), indução eletromagnética, e *FU-Orionis-type event* (objetos que ainda não atingiram a sequência principal geram explosões periódicas de energia). Segundo o autor, essas fontes de energia também

podem ter sido as responsáveis por fundir alguns asteroides e gerar material diferenciado (núcleo de ferro níquel e crosta de silicatos).

Durante toda a história do Sistema Solar um dos processos mais fundamentais é a colisão entre corpos celestes. Vestígios dessas colisões são encontrados em todos os corpos rochosos em forma de crateras de impacto. Os frequentes impactos geram a fragmentação de materiais que podem se reagrupar gerando regolitos e porventura rochas brechadas, ou então, serão ejetados de seus corpos parentais e poderão ser capturados por outros corpos do Sistema Solar. Quando um desses fragmentos é capturado pela gravidade da Terra ele passa por um processo de queima durante a entrada na atmosfera, gerando finas crostas de fusão (Figura 2). Em geral, os corpos acima de 100 toneladas não são freados totalmente pela atmosfera e geram crateras de impacto ao colidir com a superfície terrestre. Já os corpos com menos de 10 toneladas, geralmente, são totalmente freados e fragmentados no ponto de retardamento, onde estes fragmentos passam a cair em queda livre, espalhando-se por uma área elíptica, chamada de campo de dispersão. Estes materiais extraterrestres que sobreviveram à entrada na atmosfera e colidiram com a superfície terrestre são chamados de meteoritos.

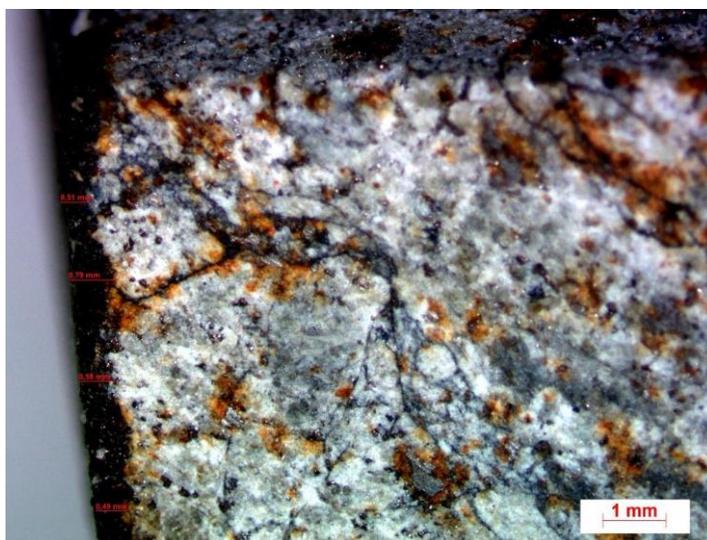


Figura 2. Crosta de fusão do meteorito Três irmãos medindo entre 0,5 e 0,8 mm de espessura (Faixa escura no canto esquerdo da imagem).

Podemos dividir os meteoritos entre diferenciados e não diferenciados:

→ Não diferenciados:

Os meteoritos não diferenciados abrangem os condritos e acondritos primitivos.

Os condritos são rochas que possuem similaridades química com a composição solar. Os elementos principais dos condritos são: côndrulos - estruturas esféricas submilimétricas compostas principalmente por olivina, piroxênio e plagioclásio, que podem representar um dos primeiros resultados da acreção de material e condensação dos gases do disco protoplanetário. Algumas hipóteses de sua origem ainda controversa foram descritas por Taylor (2017), sendo elas o aquecimento pela energia solar, impacto entre planetesimais e ondas de choque causadas pelo movimento de planetesimais no disco protoplanetário; matriz primitiva ou recristalizada - segundo Huss (1981) a matriz primitiva é composta por metal FeNi e silicatos de tamanho submicrométrico junto com material amorfo e que, devido ao tamanho extremamente pequeno de seus componentes, é opaca em microscópio óptico. Já a matriz recristalizada possui minerais máficos e plagioclásio maiores, deixando-a translúcida ao ser observada em microscópio óptico; minerais opacos (grãos de FeNi e sulfetos).

Já os acondritos primitivos são rochas que não possuem côndrulos, porém possuem composição química intermediária entre uma rocha não diferenciada e diferenciada.

→ Diferenciados:

Os meteoritos diferenciados abrangem os metálicos, mistos (rocha e metal) e os acondritos (rochosos). A diferenciação planetária ocorre quando um corpo acumula energia o suficiente para fundir o material do seu interior possibilitando a segregação dos componentes de acordo com as suas diferentes densidades. Cada tipo de

meteorito diferenciado é interpretado como uma parte do seu corpo parental (Figura 3). Os meteoritos metálicos são considerados fragmentos do núcleo de um corpo diferenciado. Já os mistos são interpretados como sendo uma transição entre o núcleo e o manto. Os meteoritos diferenciados rochosos (acondritos) são partes da crosta de seus corpos parentais.

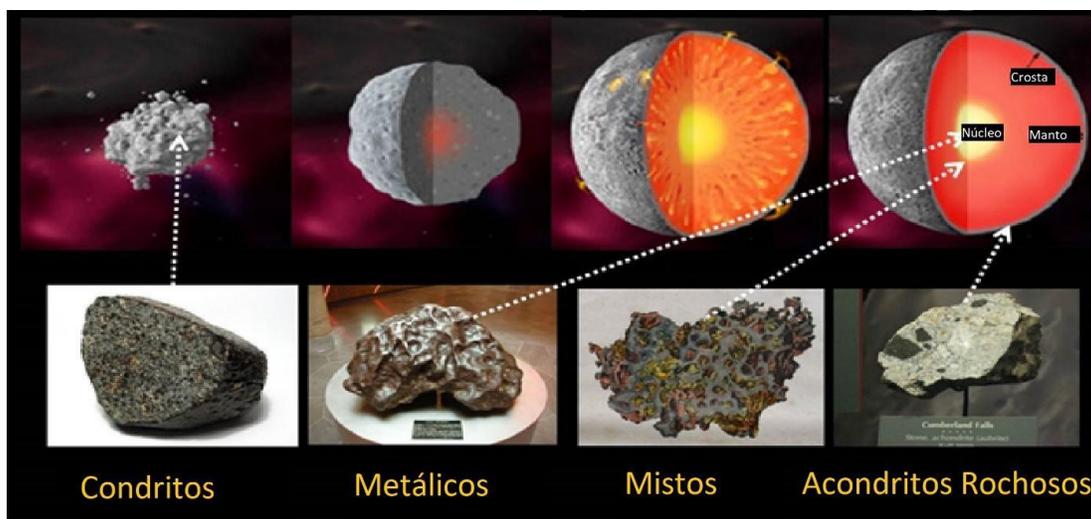


Figura 3. Tipos de meteoritos e a interpretação de seus corpos parentais. Fonte: Adaptado de Smithsonian National Museum of Natural History <www.mnh.si.edu/earth/text/5_1_4_0.html>

1.2 Objetivo

O escopo deste trabalho é apresentar os resultados da classificação e interpretação das características química e mineralógica de cinco meteoritos, sendo quatro condritos ordinários e um eucrito (ver capítulo 2). As cinco amostras apresentam diferentes aspectos das diversas etapas na formação de corpos rochosos durante a evolução do Sistema Solar, possibilitando a realização de um trabalho didático. Além disso, com os dados obtidos e com a reunião de informações retiradas de referências bibliográficas, foi organizado um guia prático para classificação de meteoritos do tipo condrito ordinário e acondritos do grupo HED (grupo de meteoritos acondritos provenientes do asteroide 4 Vesta), com o intuito de colaborar com a pesquisa de meteoritos no Brasil.

Capítulo 2

2.1 Metodologia

Sempre que possível observamos a amostra de mão a fim de termos uma visão geral das características de cada meteorito, porém, em alguns casos, só temos acesso às lâminas petrográficas. As amostras foram laminadas, polidas e observadas em microscópio óptico da marca Zeiss Axioplan em luz transmitida e refletida. Para as análises químicas utilizamos a microsonda JEOL modelo JXA8230 do LABSONDA-UFRJ. Análises quantitativas das fases analisadas foram realizadas pelo método *Wavelength Dispersive Spectrometry* (WDS). As características do feixe incluem uma tensão de aceleração de 15KeV e uma corrente de 20 nA, com diâmetro de 1 µm, para silicatos e 20 KeV para minerais opacos. Também foram realizadas análises por *Energy Dispersive Spectrometer* (EDS) durante os estudos. Este trabalho não irá aprofundar sobre aspectos técnicos da microsonda eletrônica, descritos em Gomes (2015).

2.2 Classificação dos meteoritos

A classificação usada atualmente entre os pesquisadores é a primeira etapa de qualquer pesquisa relacionada a meteoritos. Os dados coletados com a classificação são utilizados para estudos posteriores mais aprofundados. Após a sua classificação, os meteoritos são submetidos ao banco de dados do *Meteoritical Bulletin*¹.

Os meteoritos são divididos em três classes de condritos (ordinário, enstatita e carbonáceos) além dos grupos dos Rumurutitos e Kakangaritos; três clãs de acondritos (Lua, Marte e Vesta), além dos grupos dos Aubritos, Angritos, mistos e metálicos; 2 clãs de acondritos primitivos além dos grupos dos Ureilitos e Brachinitos (Figura 4).

¹ <https://www.lpi.usra.edu/meteor/>

Os meteoritos condritos carbonáceos são conhecidos por possuírem filossilicatos e quase nenhum Fe livre (muito oxidado), são os materiais com a composição mais próxima a do Sol e são os meteoritos com a maior quantidade de voláteis. Já os condritos ordinários e enstatita condritos são meteoritos com composição próxima ao Sol porém depletados em voláteis, sendo o enstatita condrito a rocha que apresenta a maior quantidade de Fe livre (Figura 5).

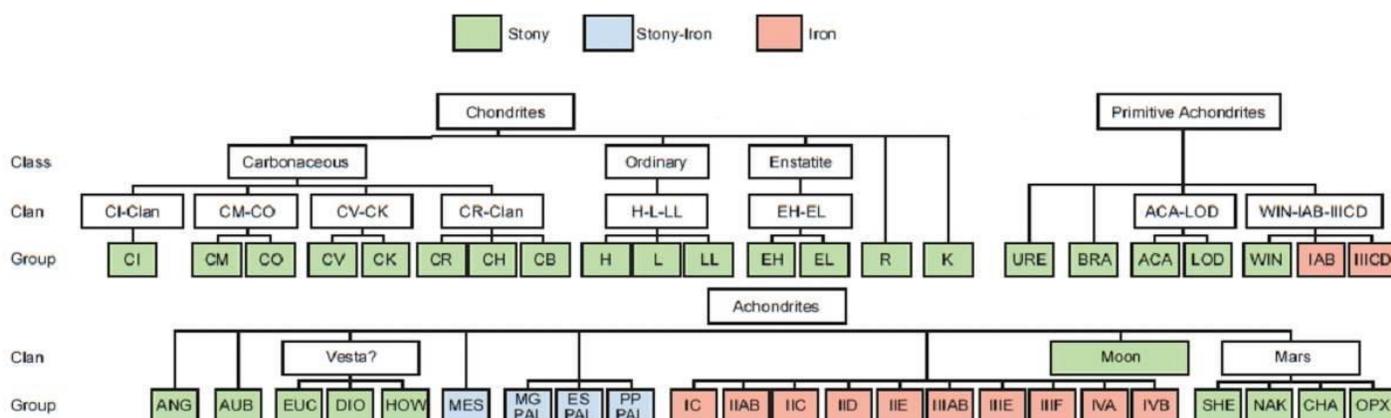


Figura 4. Divisão dos diferentes tipos de meteorito. Fonte: Modificado de Sneling (2014)

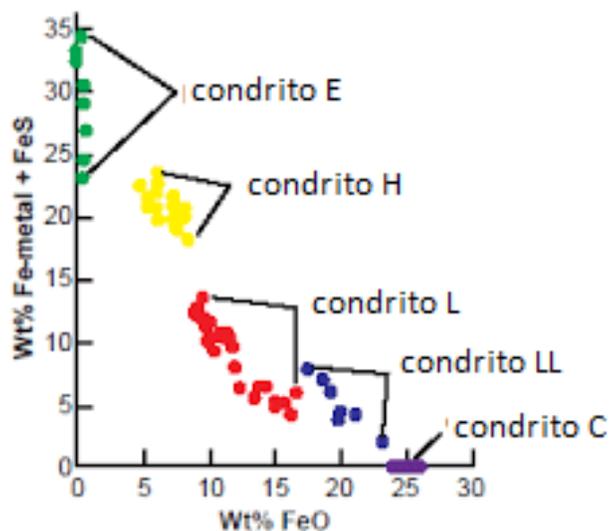


Figura 5. Relação Wt% Fe-metal + FeS com Wt% FeO para os diferentes condritos. H, L e LL são os diferentes tipos químicos dos meteoritos condritos ordinários. Condrito C e condritos E são condritos carbonáceos e enstatitas respectivamente. Fonte: Modificado de Sneling (2014)

2.3 Classificação dos condritos ordinários

Nesta seção do trabalho será feita uma síntese dos pontos principais, julgados por este autor, para determinar a classificação de meteoritos ordinários. Dividiremos a seção em: Descrição petrográfica e Análise química.

2.3.1 Descrição petrográfica:

Serão descritos aqui os principais aspectos da análise de lâmina petrográfica de meteoritos condrito ordinário em microscópio óptico. A análise deve levar em conta os seguintes pontos: textura brechada, textura de côndrulos, grau de metamorfismo, estágio de choque e intensidade do intemperismo.

2.3.1.1 Textura brechada:

Primeiramente deve-se observar a amostra de mão e a lâmina com lente de pouco aumento a fim de ter uma visão geral das características do meteorito. Para a análise geral da lâmina petrográfica costuma-se fazer um mosaico (conjunto de imagens) da amostra fotografada em microscópio óptico.

É muito comum a presença de textura brechada nos meteoritos, nestes casos deve-se obter o grupo químico (ver seção 2.3.2) e observar o tipo petrológico (ver seção 2.3.1.3) de cada clasto separadamente a fim de identificar o tipo de brecha seguindo a classificação de Bishoff (2006). Os tipos de brechas meteoríticas proposto por Bishoff (2006) que podemos identificar com os métodos utilizados neste trabalho são: brecha genomítica, polimítica, monomítica, dimítica e brecha de fusão por impacto (Tabela 1). As brechas monomíticas são aquelas formadas por clastos de mesma classificação química e petrológica. Já as brechas polimíticas são compostas por diversos tipos de litologias distintas, enquanto as brechas dimíticas possuem apenas

clastos com dois tipos litológicos diferentes. Brechas genômicas são compostas por clastos do mesmo grupo químico, porém com tipos petrológicos distintos. As brechas geradas por fusão de impacto são compostas por clastos líticos não fundidos embebidos em uma matriz de material fundido.

É importante frisar que a presença de veios de fusão (ver seção 2.3.1.4) pode ser confundida com a textura de brecha, portanto é importante procurar evidências de que a rocha é realmente composta por clastos. As Figuras 6a e 6b exemplificam situações em que a presença de clastos é evidente e aquelas em que a presença de veios escuros pode criar uma impressão de textura brechada, respectivamente.

Tabela 1. Classificação de brechas meteoríticas. Modificado de Bishoff (2006)

Tipo de brecha	Características	Exemplos
Brecha monomítica	Composta por clastos de mesmo tipo químico e petrológico	Bloomington (LL6)
Brecha dimítica	Composta por clastos de duas litologias distintas	Cumberland Falls(acondrito-Ureilito)
Brecha polimítica	Composta por clastos de mais de duas litologias distintas	Hawarditos
Brecha Genômica	Composta por clastos de mesmo tipo químico e diferentes tipos petrológicos	Allende(CV3) Leoville(CV3) Sharps(H3)
Brecha por fusão de impacto	composta por clastos não fundidos embebidos em uma matriz fundida	Shaw(L6) Chico(L6)

→ Importância do estudo de brechas:

Impacto e fragmentação de corpos rochosos é um dos processos fundamentais do Sistema Solar. Todos os objetos com superfície rochosa ou gelada no Sistema Solar possuem vestígios de crateramento. Por isso, o estudo de brechas meteoríticas proporciona importantes informações para o nosso entendimento das dinâmicas envolvidas durante a evolução de pequenos corpos, como o processo de acreção, metamorfismo e fusão por impacto, recreação pós impacto, mistura de material e litificação (Bishoff 2006).

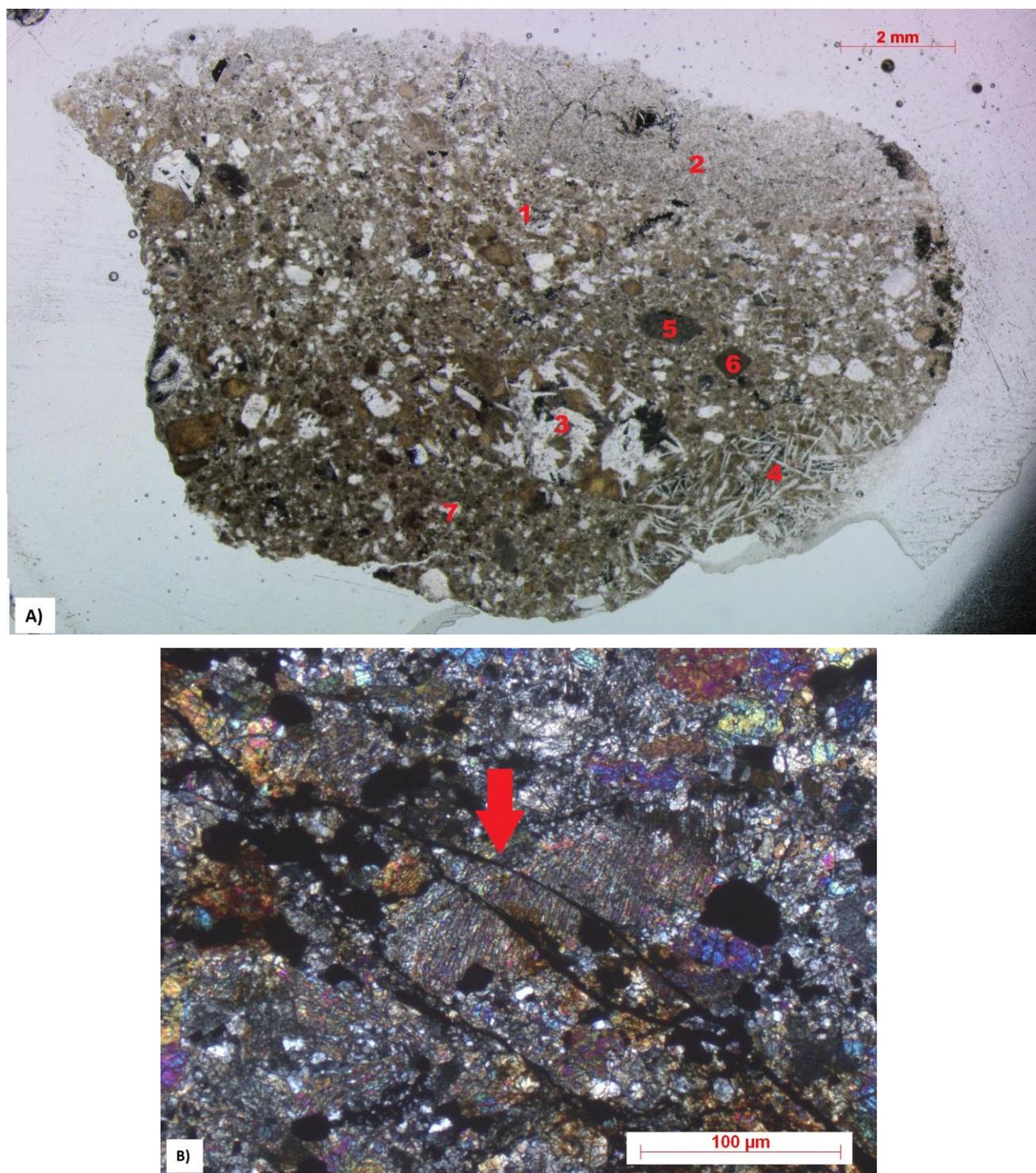


Figura 6. A) Lâmina petrográfica do Meteorito Serra Pelada composto por diversos clastos de texturas diferentes numerados de 1 a 7. B) Foto da lâmina petrográfica com luz polarizada do meteorito Três Irmãos. O veio (indicado pela seta) corta um côndrulo, evidenciando que o meteorito não é composto por clastos diferentes.

2.3.1.2 Textura de Côndrulos:

Gooding & Keil (1981) definiram oito tipos principais de textura de cône drulos, sendo elas: olivina barrada, olivina porfirítica, olivina e piroxênio porfiríticos, olivina e piroxênio granulares, piroxênio radial, piroxênio porfirítico, criptocristalino e piroxênio porfirítico poiclítico (figura 7). É interessante que, durante a descrição de um meteorito, o pesquisador catalogue e indique as texturas mais comuns da amostra estudada.



Figura 7. As oito texturas principais de cône drulos segundo Gooding & Keil (1981). Fonte da imagem: Antonio Ciccolella (2016) <
commons.wikimedia.org/wiki/File:Chondrule_Textures.jpg?uselang=fr> acessado em
 20/05/2018

O estudo de cône drulos não é um dado fundamental para a classificação dos meteoritos, porém o estudo de texturas é de grande importância para o entendimento das condições físico-químicas dos primórdios do Sistema Solar. Gooding & Keil (1981) e Taylor (1998), concluíram que os cône drulos porfiríticos foram submetidos a temperaturas elevadas por mais tempo que cône drulos não porfiríticos e os cône drulos com textura de olivina barrada foram formados em temperaturas mais elevadas que cône drulos com textura porfirítica.

2.3.1.3 Metamorfismo:

Com os dados de Van Schmus e Wood (1967), e posteriormente modificados por Sears and Dodd (1988), Brearley and Jones (1998) e Norton (2002), foi criado um método de análise petrográfica para determinar o grau de metamorfismo térmico de meteoritos. Foram determinandos 6 tipos petrológicos, utilizando dados experimentais relacionando-os com suas respectivas temperaturas. Os tipos petrológicos 1 e 2 representam diferentes níveis de alteração aquosa, sendo que estes só são presentes em meteoritos carbonáceos. Já os tipos 3 a 6 representam uma ordem crescente de aumento no metamorfismo térmico da rocha.

A tabela 2 mostra as principais características a serem observadas para a classificação do tipo petrológico de um meteorito condrito ordinário.

Tabela 2. Tipos petrológicos em ordem crescente de metamorfismo térmico. Adaptado de Van Schmus e Wood (1967), Sears and Dodd (1988), Brearley and Jones (1998) e Norton (2002).

	Tipo Petrológico			
	3	4	5	6
Feldspato	x	<2 μm	< 50 μm	> 50 μm
Matriz	Opaca	Recristalizada (granulometria aumenta de 4 para 6)		
Côndrulo	Muito bem definido	Bem definido	Rapidamente identificado	Difícil identificação
	400 °C	600 °C	700 °C	750 °C 950°C

→ Importância do estudo do grau metamórfico:

Ao estudar o grau de metamorfismo de cada tipo de meteorito e relacioná-lo a possíveis temperaturas que a amostra foi submetida em seu corpo parental, podemos entender e aprimorar os nossos conhecimentos sobre a termodinâmica e os modelos de formação de diferentes corpos do Sistema Solar. Vernazza (2014) discute sobre o modelo de casca de cebola para os corpos parentais de condritos ordinários. A figura 8 compara as diferenças das dimensões de cada região que contém um tipo petrológico

distinto, causadas pela troca e acúmulo de calor, em um corpo que foi acrecionado rapidamente com um outro que foi acrecionado de forma lenta.

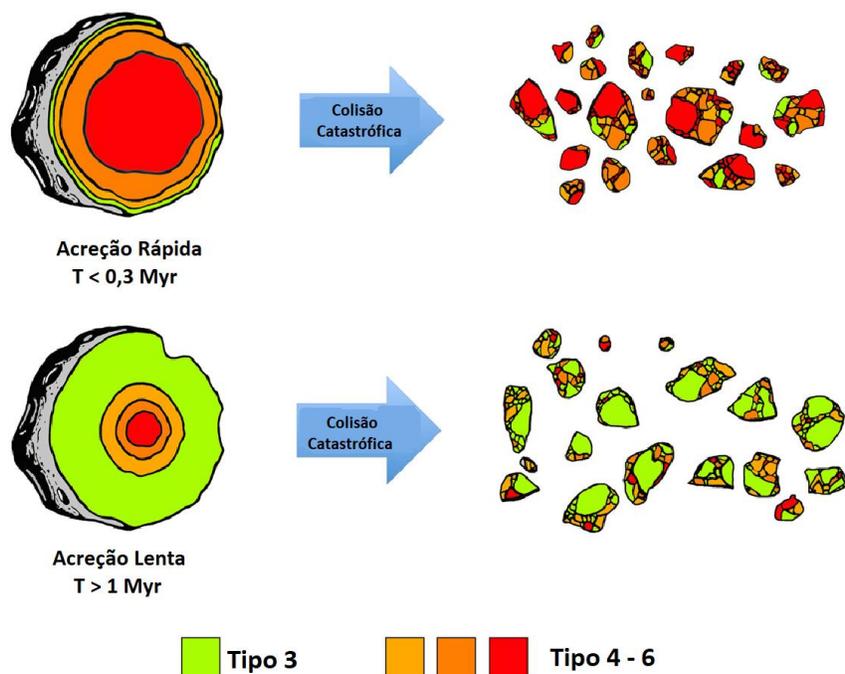


Figura 8. Corpos que foram acrecionados rapidamente formarão finas crostas do tipo petrológico 3. Já os que acrecionaram de forma lenta, terão uma maior quantidade de material do tipo petrológico 3. Vernazza (2014)

2.3.1.4 Estágio de choque:

Os frequentes impactos entre corpos celestes deixam marcas nos minerais que compõem os meteorito. Stoffler (1991) fez uma revisão bibliográfica da classificação dos estágios progressivos de choque em condritos ordinários, definindo seis estágios de choque (S1 a S6) com as respectivas pressões que os meteoritos podem ter sido submetidos, propostos a partir de experimentos realizados em laboratório. A tabela 3 sintetiza as características determinantes de cada estágio de choque, sendo que as características sublinhadas são as mais significativas e importantes para cada estágio.

O estágio S1 não apresenta sinais de deformação por choque. A partir do estágio S2 a extinção ondulante já começa a ser presente em cristais de olivinas. Para classificar um meteorito com estágio S3 de choque, os cristais de olivina devem apresentar pelo menos uma configuração (*set*) de fraturas planares (conjunto de pelo menos 3 fraturas planares em uma direção). A característica principal do estágio S4 é a presença de mosaicismos em olivina. Já no estágio de choque S5 a presença de maskelinita (polimorfo isotrópico do plagioclásio) é determinante para a identificação de um estágio de choque de alta pressão. No estágio S6 as características são encontradas pontualmente na amostra em regiões próximas as áreas já fundidas.

Para a análise do estágio de choque, deve-se observar em média 20 cristais aleatórios e suas características, a fim de determinar um estágio médio de choque do meteorito, lembrando que algumas regiões, como veios de fusão ou clastos recristalizados, podem conter um estágio mais elevado comparado com a média do meteorito.

As características mais importantes ao analisar o estágio de choque são:

→ Veios de fusão: Segundo Stoffler (1991), os veios de fusão são estruturas opacas compostas por metais, silicatos e vidro que se formam a partir do choque entre dois corpos, criando fraturas no meteorito que, com o movimento cisalhante, geram regiões de alta temperatura e pressão, fundindo as proximidades da fratura (figura 9a e 9b). Para a análise de veios deve-se observar a densidade em cada região, se os mesmos se conectam ou se formam concentrações de material fundido. Os veios são importantes para a análise de choque, pois segundo Stoffler (1991) a presença de veio já indicaria, no mínimo, um estágio de choque S3. Além disso, os veios guardam os efeitos dos picos de pressão e temperatura resultantes de um choque entre corpos celestes. Neles podemos encontrar minerais de alta

pressão como a ringwoodita. Normalmente, a maskelinita (feldspato isotrópico) é encontrada próxima aos veios.

- Extinção ondulante: Com o choque, a estrutura cristalina do mineral é deformada gerando uma extinção ondulante.
- Mosaicismo: É a evolução da extinção ondulante perante um choque mais intenso. Com um choque ainda mais forte, a estrutura do mineral é deformada ainda mais, sobrando somente algumas pequenas áreas no mineral que diferem entre suas posições de extinção, dando um efeito de mosaico ao girar a platina do microscópio.
- Fratura planar: Fraturas lineares paralelas entre sí.
- Maskelinita: Plagioclásio transformado em vidro diaplético por alta pressão em estado sólido. Ainda pode reter parte da estrutura cristalina

Tabela 3. Tabela com as características principais de cada estágio de choque.
Modificado de Stoffler (1991).

Estágio de choque	Olivina	Plagioclásio	Pressão (Gpa)
S1	<u>Extinção óptica normal</u> ; Fraturas irregulares		<4-5
S2	<u>Extinção ondulante</u> ; Fraturas irregulares		5 – 10
S3	<u>Fraturas planares</u> e irregulares; Extinção ondulante	Extinção ondulante	15 – 20
S4	<u>Mosaicismo fraco</u> ; fraturas planares	Extinção ondulante; Parcialmente Isotrópico e PDF	30 – 35
S5	Mosaicismo forte; Fraturas planares e PDF	<u>Maskelinita</u>	45 – 55
S6	<u>Recristalização em estado sólido</u> ; Ringwoodita	Vidro	75 – 90
Rocha fundida	x	x	

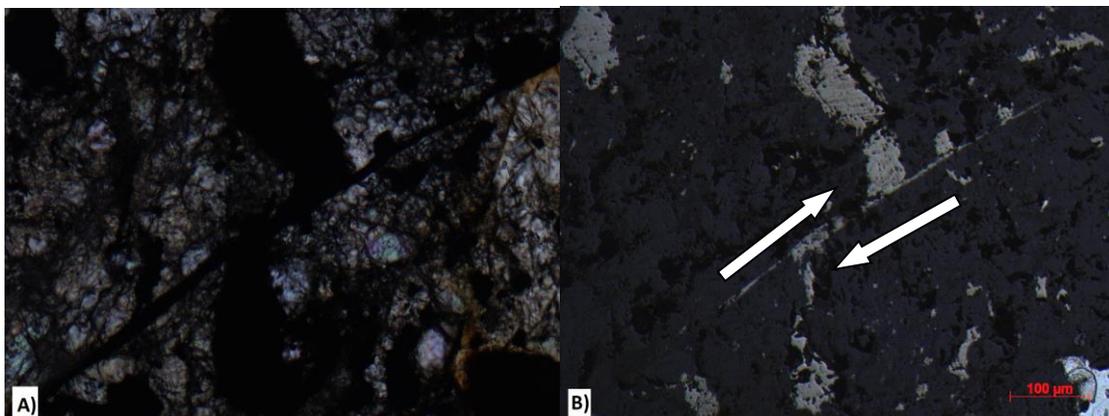


Figura 9. A) Foto de um veio em lâmina petrográfica com luz transmitida do meteorito San Carlos. B) Mesmo veio da foto A, porém em luz refletida, mostrando o metal sendo cortado pelo veio em movimento cisalhante (As setas brancas apontam o sentido do movimento)

→ Importância do estudo dos estágios de choque:

Como já foi explicitado na seção 2.3.1.1, as colisões entre corpos é um processo fundamental para a evolução do Sistema Solar. Com as informações adquiridas com o estudo do estágio de choque nos meteoritos, podemos obter dados suficientes para entender em que velocidade as colisões ocorreram, quanta energia é liberada nesse processo, com qual razão frequência/intensidade as colisões ocorrem e entender a história dos corpos parentais de cada meteorito.

2.3.1.5 Intemperismo:

Wolzka (1993) atualizou os dados de Jull et. al (1990) e criou uma escala para os diferentes níveis de intemperismo dos meteoritos. A escala abrange os níveis de W1 a W6 (tabela 4) de acordo com a intensidade da oxidação e alteração de metais e silicatos. Wolzka (1993) relacionou os níveis de oxidação com o tempo que o meteorito esteve submetido ao intemperismo terrestre, porém o estudo deste autor só leva em consideração meteoritos encontrados no deserto quente do Novo México, sendo necessários novos estudos com meteoritos encontrados em outras regiões para que esta relação possa ser amplamente aplicada. Todos os meteoritos registrados

como quedas (foram vistos caindo) são classificados como W1, devido ao pouco tempo que este esteve submetido à atmosfera terrestre. Segundo Wolzka (1993), um meteorito que caiu em um ambiente similar ao deserto de Novo México leva 5000, 15000, 2000, 30000 e 45000 anos na atmosfera terrestre para alcançar os níveis W2, W3, W4 e W6 respectivamente.

Tabela 4. Níveis de intemperismo estabelecidos por Wolzka (1993).

Nível de oxidação	Características	Tempo (anos)
W0	Sem oxidação visível dos metais	-
W1	Bordas dos metais minimamente oxidadas	<5000
W2	20-60% do metal é afetados pela oxidação	5000 - 15000
W3	60-95% do metal oxidado	15000 - 20000
W4	> 95% dos metais oxidados	20000 - 30000
W5	Alteração dos silicatos máficos	30000 - 45000
W6	Grande substituição de silicatos por argilominerais e óxidos	>45000

→ Importância do estudo de intemperismo nos meteoritos:

Ao entrar na atmosfera, os componentes de um meteorito estão suscetíveis ao intemperismo terrestre, que altera os componentes originais em fases estáveis na Terra. Uma escala para quantificar o intemperismo terrestre pode ajudar os pesquisadores a estimarem o tempo que um meteorito está na Terra.

2.3.2 Análise química:

Os condritos ordinários são separados em três grupos químicos (LL, L e H) de acordo com a abundância de Fe livre, sendo que o grupo H representa os meteoritos condrito ordinários com aproximadamente 25-30% do peso de Fe metal, já o grupo L e LL possuem entre 20-23% e 19-22% de peso em Fe metal, respectivamente.

Keil e Fradkison (1964) observaram que a abundância de ferro nos grupos LL, L e H refletia na composição de olivinas (% de faialita (Fa)) e piroxênios (% de ferrosilita (Fs)), podendo assim utilizar a composição desses minerais para definir os grupos químicos dos condritos ordinários. Para isso, deve-se analisar a composição de Fa em

olivinas e Fs em piroxênios com baixo teor de cálcio (Ca). É recomendável obter por volta de 20 análises de composições de olivina e piroxênios a fim de ter um dado estatístico de suas composições. A fim de classificar o tipo químico do meteorito (LL, L ou H), os dados deverão ser plotados no gráfico da figura 10 e comparados com a compilação de dados feitos por Keil e Fradkison (1964).

A análise química também pode ser utilizada para determinar o tipo petrológico do meteorito, tendo em vista que o metamorfismo térmico homogeniza a composição química dos minerais. Portanto um meteorito de tipo petrológico 3 deve ter composições com grande heterogeneidade, enquanto o tipo 6 terá pouca ou nenhuma variação de composição química. Grossman (2011) compara os dados de seu trabalho com o de Dodd (1967) para quantificar a heterogeneidade dos condritos ordinários baseados na variação da composição de olivinas e piroxênios (Tabela 5), sendo PMD a porcentagem do desvio padrão. No caso dos meteoritos brechados, o procedimento deve ser repetido para cada clasto.

Os meteoritos não equilibrados (tipo petrológico 3 ou transição de 3 para 4), com composição muito heterogênea, não são passíveis de tais análises para ter o seu grupo químico determinado, portanto, deve-se utilizar os trabalhos de Scott e Krot (2007), que apresentam dados relacionando o tamanho de cêndrulos com o tipo químico (Tabela 6). É válido informar que não consideramos a análise de tamanho de cêndrulo como confiáveis para determinar com precisão o tipo químico de um meteorito não equilibrado.

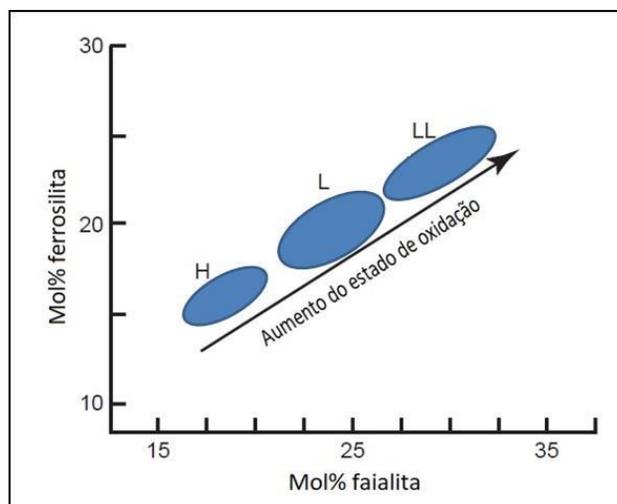


Figura 10. Os 3 grupos químicos (LL, L e H) de meteoritos condritos ordinários, agrupados conforme proposição de Keil e Fradkison (1964).

Tabela 5. Relação da heterogeneidade do piroxênio de baixo Ca com o tipo petrológico. PMD = Porcentagem do Desvio Padrão. (Alterado de Grossman (2011)).

Tipo petrológico	PMD - Piroxênio de baixo Ca
3	>30
4	5 – 20
5	<5
6	

Tabela 6: Relação do diâmetro do côndrulo com o tipo químico do condrito ordinário, segundo Scott e Krot (2007).

	H	L	LL
Volume de metais (%)	8.4	4.1	2
Diâmetro médio dos côndrulos (mm)	0.3	0.7	0.9

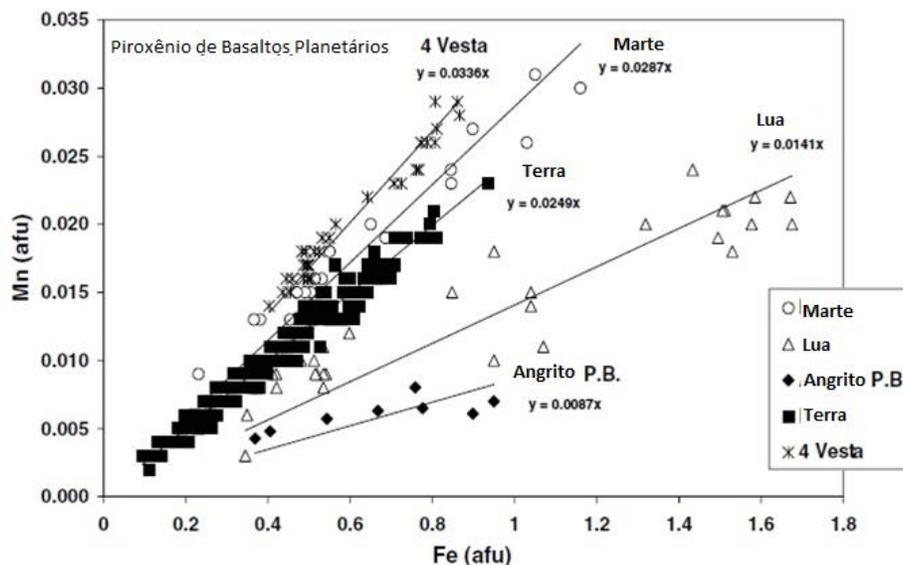
2.4 Classificação do clã HED:

O clã Hawardito, Eucrito e Diogenito (HED) corresponde a meteoritos diferenciados com proveniência amplamente aceita do asteroide 4 Vesta ou de

asteroides vestenianos. Os eucritos são rochas de composição basáltica que podem ser caracterizados como acumulado ou não acumulado de acordo com sua química e textura. Os diogenitos são piroxenitos e os Hawarditos são regolitos composto por clastos de eucritos e diogenitos.

2.4.1 Origem do basalto:

Este trabalho utilizou como ferramenta para identificação do corpo parental do basalto meteorítico as relações de manganês (Mn) e ferro (Fe) dos piroxênios e porcentagem de anortita (%An) dos plagioclásios. Papike (2003) apresentou uma síntese das diferentes composições dos piroxênios e plagioclásios de basaltos de diversos corpos (Figura 11 e 12) como uma alternativa à análise de isótopo de oxigênio (figura 13) para identificação do corpo parental do meteorito (Scott (2001)).



Papike et al., 2003

Figura 11. Relação da composição química dos piroxênios de basaltos de diversos corpos planetários em relação ao Fe e Mn. Os valores de y representam a inclinação das tendências (*trend*) das retas de cada corpo. Fonte: Modificado de Papike (2003).

Terra			Lua		
Pyx Fe/Mn	OI Fe/Mn	An%	Pyx Fe/Mn	OI Fe/Mn	An%
x = 40	x = 75	x = 69	x = 62	x = 103	x = 89
sd = 11	sd = 11	sd = 12	sd = 18	sd = 20	sd = 3
N = 513	N = 708	N = 474	N = 37	N = 427	N = 243
Marte			4Vesta		
x = 32	x = 47	x = 49	x = 30		x = 87
sd = 6	sd = 3	sd = 5	sd = 2		sd = 2
N = 33	N = 66	N = 39	N = 38		N = 35

Figura 12. Comparação da composição química de olivinas (OI), piroxênios (Pyx) e anortita (An) de basaltos provenientes de diversos corpos. X= razão entre Fe e Mn em afu; sd = desvio padrão; N = número de análises. Fonte: Modificado de Papike (2003)

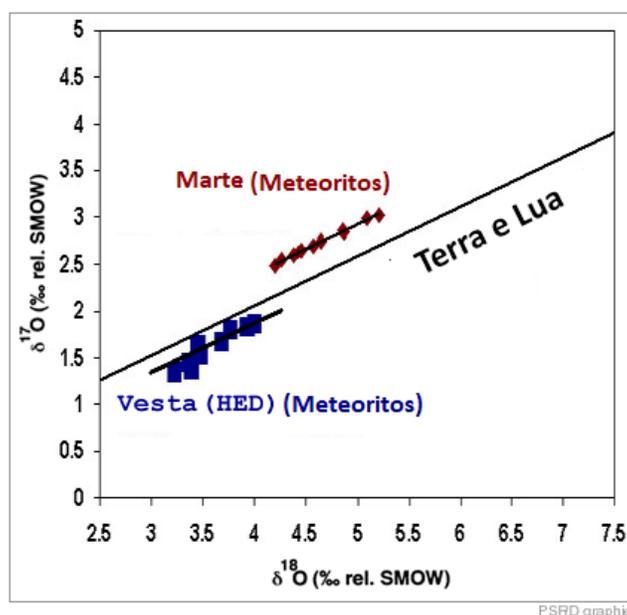


Figura 13. Razão isotópica das rochas provenientes de Vesta, Terra e Marte.

Fonte: Modificado de Scott (2001)

2.4.2 Caracterização textural e química:

Barret et. al. (2015) resumiram os resultados das razões Fe/Mn e Fe/Mg de diferentes eucritos e diogenitos, tornando possível a diferenciação de eucrito basáltico, acumulado e diogenitos por este método (Figura 14). Já Barret (2000) reuniu os resultados de Ti e FeO/MgO e separou as razões de eucritos acumulados e não acumulados (figura 15).

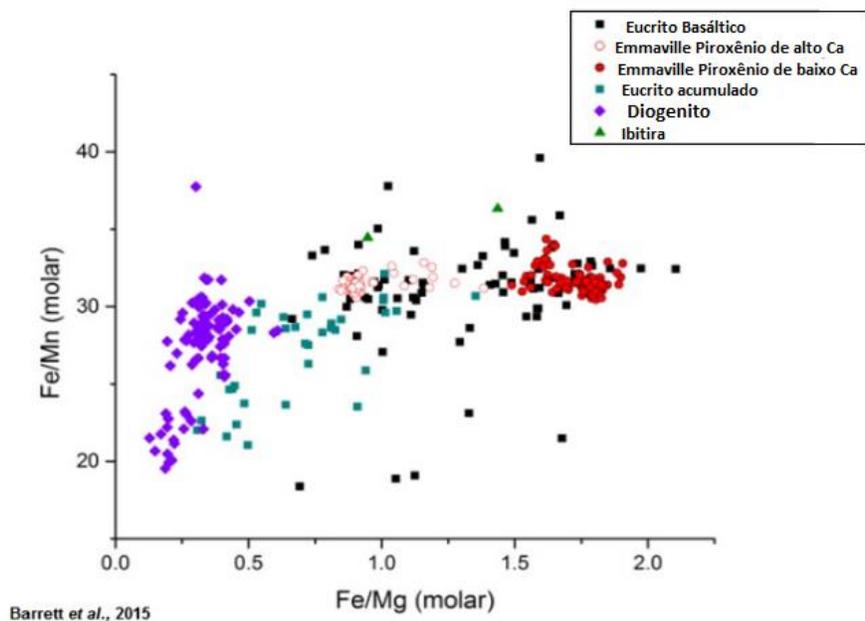


Figura 14. Razões Fe/Mn e Fe/Mg de diferentes eucritos e diogenitos. Fonte: Modificado de Barret et. al. (2015)

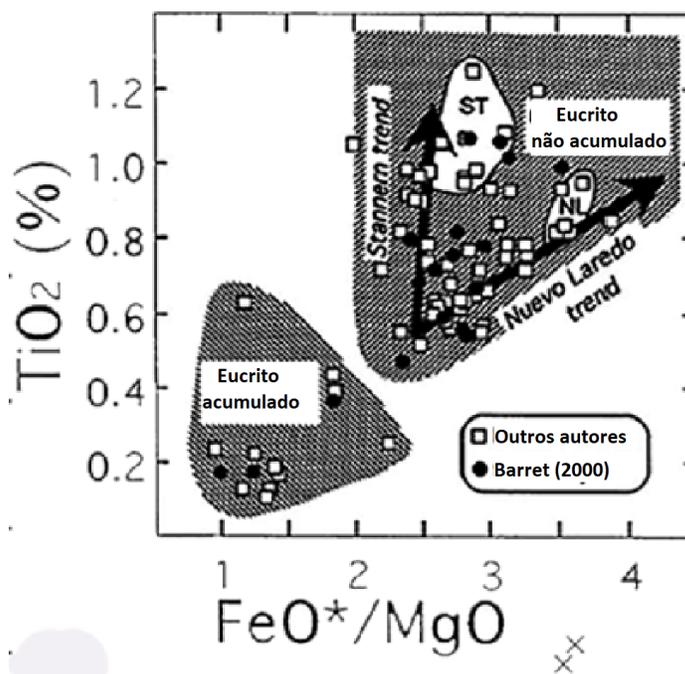


Figura 15. Diagrama TiO₂ x FeO/MgO para eucritos acumulados e não acumulados proposto por Barret (2000).

Capítulo 3

3.1 Resultados:

Neste capítulo serão apresentados os resultados das análises feitas em cinco meteoritos (4 condritos ordinários e 1 eucrito). Os resultados serão apresentados em ordem crescente de grau de metamorfismo térmico, com o intuito de demonstrar didaticamente a evolução desde um meteorito primitivo até uma rocha diferenciada. Os meteoritos utilizados nesses trabalhos são listados a seguir, tendo em vista que alguns ainda não possuem nomes oficiais do *Meteoritical Bulletin*.

- Ca3 e Ca8: São os nomes não oficiais de meteoritos cedidos por colecionadores canadenses à pesquisadora Maria Elizabeth Zucolloto em 2016.
- Parauapebas: Nome não oficial. O meteorito está em processo de submissão no *Meteoritical bulletin*. Meteorito registrado como queda e encontrado na cidade de Parauapeba, PA em 2017.
- Três Irmãos: Meteorito catalogado no *Meteoritical bulletin*. Meteorito registrado como queda em 26 de maio de 2017 na área rural de Palmas de Monte Alto, BA.
- Serra Pelada: Meteorito catalogado no *Meteoritical Bulletin*. Meteorito registrado como queda em 29 de Junho de 2017 na vila de Serra Pelada, PA.

3.1.1 Classificação do meteorito Ca3:

O meteorito Ca3 é composto majoritariamente por côndrulos com diferentes texturas e tamanhos que variam paroximadamente de 0,1 a 1 mm em uma matriz opaca (Figura

16). As texturas de côndrulos presentes na amostra são: olivina barrada, olivina porfírica, piroxênio radial e piroxênio poiclítico (figura 17).



Figura 16. Lâmina petrográfica do meteorito Ca3 em luz transmitida e nicóis descruzados.

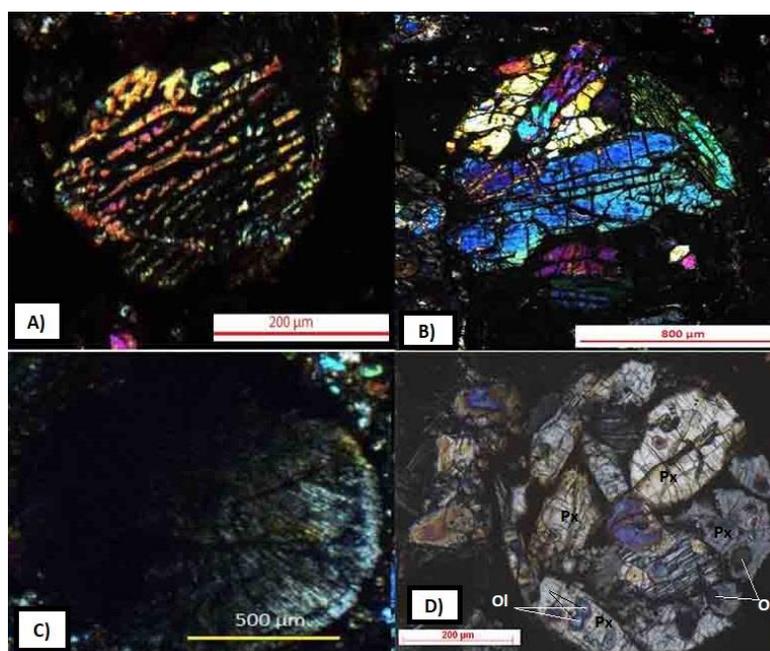


Figura 17. A) Côndrulo com textura de olivina barrada no meteorito Ca3. B) Textura de olivina porfírica. C) Piroxênio radial. D) Piroxênio Poiclítico (Ol = Olivina; Px = Piroxênio).

O meteorito não apresenta sinais de metamorfismo térmico elevado. A matriz opaca, os côndrulos bem definidos e a falta de feldspato secundário apontam para a classificação em tipo 3 segundo a classificação proposta por Van Schmus e Wood (1966) (Tabela 2).

A falta de cristais com tamanho adequado na matriz, devido ao baixo metamorfismo térmico, dificulta a identificação por microscópio óptico das características representativas de estágio de choque da amostra. Tendo isso em mente, o estágio de choque do meteorito, com os poucos dados disponíveis, pode ser inferido como S1 devido à predominância de extinção óptica normal e fraturas irregulares dos cristais presentes em côndrulos (Figura 18 (A e B) e Tabela 3). Porém, alguns côndrulos apresentam extinção ondulante.

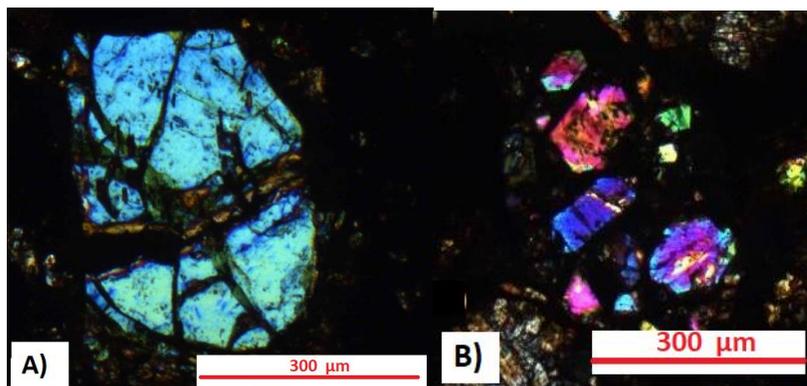


Figura 18. A) Olivinas presentes no meteorito Ca3 com fraturas irregulares. B) Olivinas quase sem fraturas.

O alto grau de intemperismo da amostra pode ser visto na figura 19. Quase todos os metais estão oxidados restando aproximadamente 30% de FeNi livre no meteorito. Segundo Woltzka (1993) o grau de intemperismo dessa amostra pode ser classificado como W3 (Tabela 4).

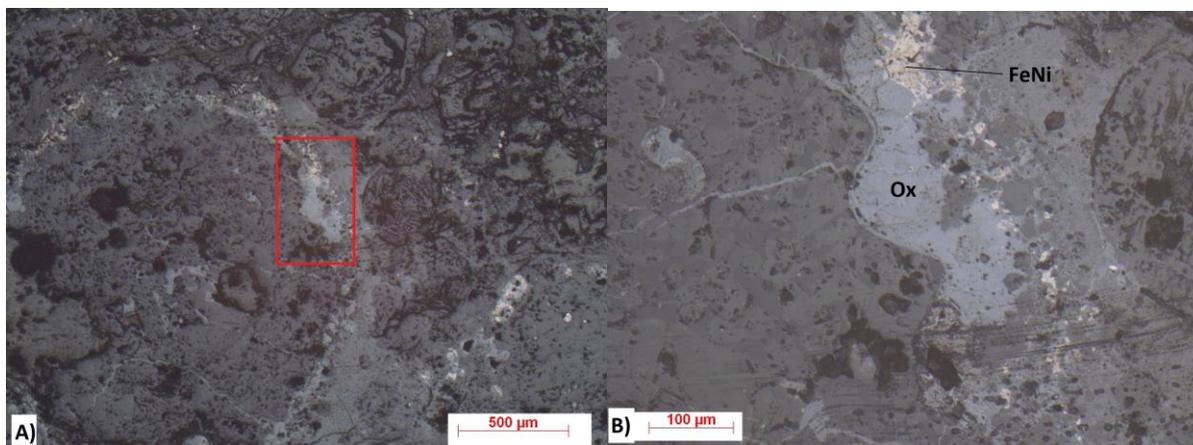


Figura 19. A) Metais muito oxidados nas bordas de côneulos no meteorito Ca3. B) Aproximação da parte marcada na figura A. Ox = metal oxidado; FeNi = metal livre.

A porcentagem da Faialita obtida variou entre aproximadamente 7 e 38% (Apêndice A). A grande heterogeneidade de suas composições corroboram com a afirmação de que este meteorito é do tipo petrológico 3. Análises isotópicas de oxigênio seriam necessárias para avaliar o grupo químico (LL, L ou H) com precisão.

3.1.2 Classificação do meteorito Parauapebas:

A lâmina analisada do meteorito Parauapebas apresenta uma textura brechada, onde um veio de material fundido corta aproximadamente o meio da lâmina dividindo a amostra em dois clastos principais (Figura 20). O clasto superior apresenta uma maior concentração de côneulos bem delineados com textura de olivina barrada, piroxênio radial e olivina porfirítica com tamanhos que variam entre 0,4 a 1mm (Figuras 21).

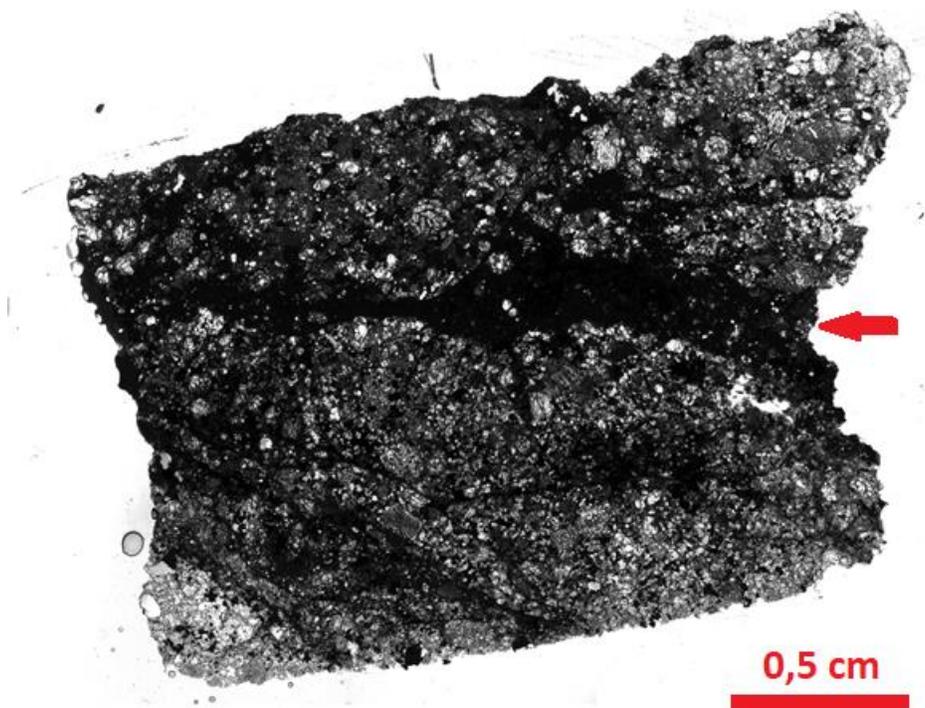


Figura 20: Lâmina do Parauapebas em luz transmitida descruzada. A seta indica o veio que corta a lâmina

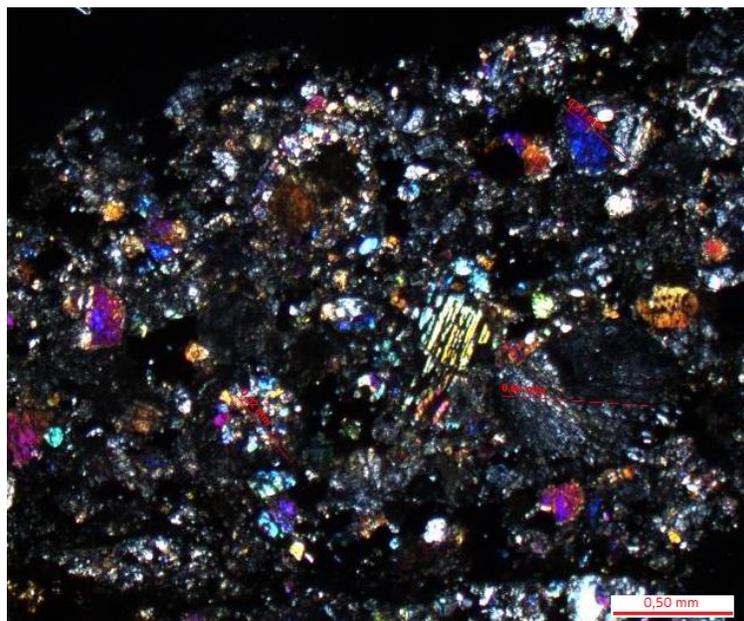


Figura 21. Côndrulos do clasto superior do meteorito Parauapebas.

O meteorito apresenta uma matriz recristalizada em ambos os clastos. O clasto superior apresenta um maior número de côndrulos facilmente distinguíveis, além disso, nenhum feldspato secundário foi encontrado neste clasto, determinando tipo petrológico 4 segundo Schmus & Wood (1967). Já o clasto inferior apresenta côndrulos mal definidos, e cristais de feldspato com aproximadamente 20 micrômetros, permitindo a classificação de tipo petrológico 5 (Tabela 2 e Figura 22).

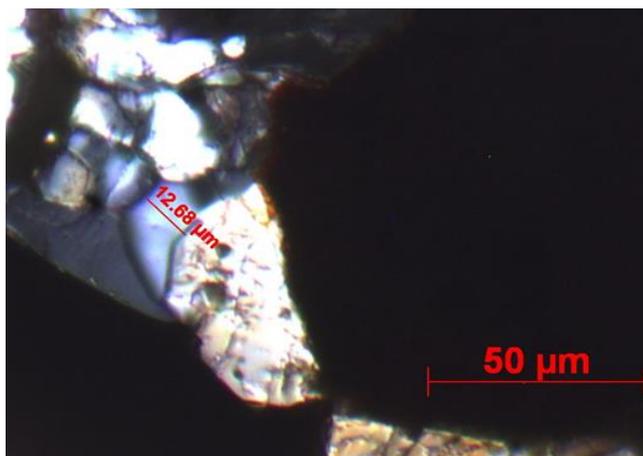


Figura 22. Plagioclásio maior que 12 micrômetros presente no clasto inferior do meteorito Parauapebas.

O estágio de choque da brecha foi determinado como S3 devido à presença de extinção ondulante e fraturas paralelas em olivina (Tabela 3). Mosaicismo em olivina é visto raramente na lâmina.

O meteorito Parauapeba não apresenta sinais de oxidação, como mostra a figura 23. A intensidade de intemperismo na escala W1 de Waltzoka é compatível com um meteorito que entrou recentemente na atmosfera (Tabela 4).

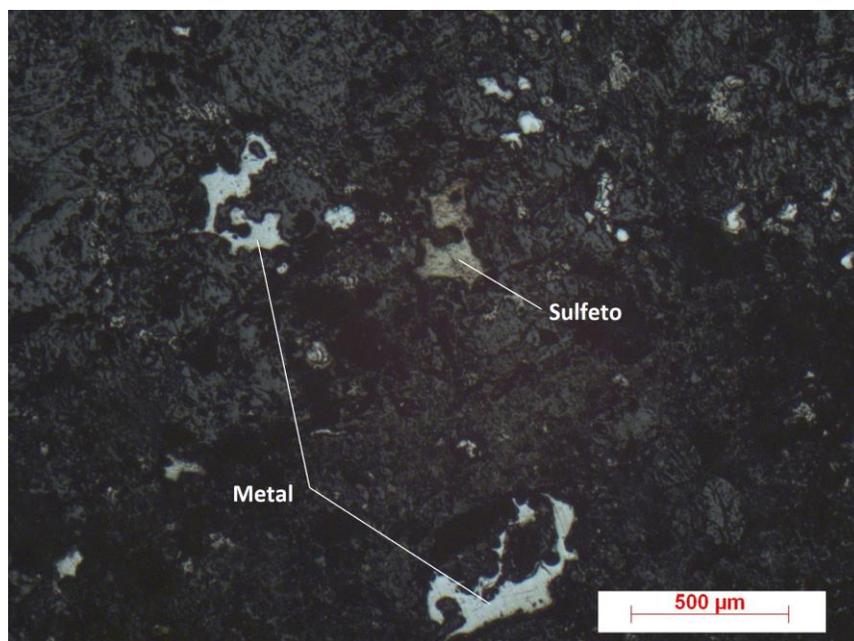


Figura 23. Metais não oxidados do meteorito Parauapebas em luz refletida.

Os resultados da composição química de olivina e piroxênio a seguir foram calculados a partir dos dados presentes nos apêndices C, D, E e F.

Clasto superior: Olivinas ($Fa_{19,3} \pm 0,4$; $PMD = 2,22$; $n = 30$); Piroxênio com baixo Ca ($Fs_{17,3} \pm 0,5$; $PMD = 9,16$; $n = 23$); Piroxênio com alto Ca ($Fs_{10,4}Wo_{28,3}$; $PMD = 29,2$; $n = 12$).

Clasto inferior: Olivinas ($Fa_{18,9} \pm 0,4$; $PMD = 1,96$; $n = 45$); Piroxênio com baixo Ca ($Fs_{16,9} \pm 0,5$; $PMD = 5,44$; $n = 19$); Piroxênio com alto Ca ($Fs_{15,1}Wo_{16,0}$; $PMD = 22,7$; $n = 7$).

Ao plotar o dados de Fa e Fs no gráfico de Fredinkson e Keil (1964) (Figura 24), observa-se que ambos os clastos se encaixam no grupo químico H. Porém, os resultados e PMD para calcular a homogeneidade da composição de olivinas e piroxênios se mostrou diferente. Seguindo os dados apresentados por Grossman (2011), analisamos o PMD do clasto superior e inferior, que apresentou os resultados de 9% e 5% respectivamente (Tabela 5). Assim, foi possível diferenciar o clasto

superior como tipo petrológico 4 devido à heterogeneidade de piroxênios, e o clasto inferior como tipo petrológico 5.

Com os resultados das análises petrológicas e químicas de cada clasto individualmente, o meteorito Parauapebas pode ser classificado como uma brecha genômica.

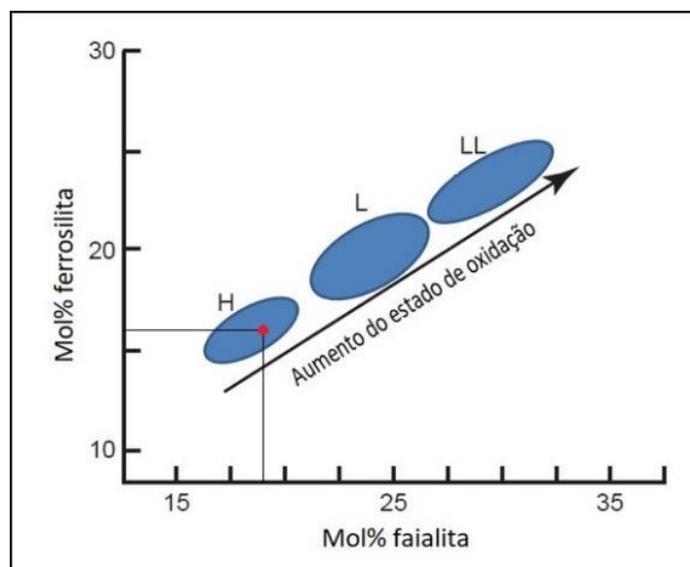


Figura 24. Tipo químico (H) do meteorito Parauapebas plotado no gráfico de Fredinkson e Keil (1964)

3.1.3 Classificação do meteorito Três irmãos:

A análise da amostra de mão (Figura 25) do meteorito Três Irmãos mostra que o meteorito apresenta regiões com alta concentração de veios e material fundido (esquerda da imagem) e regiões quase desprovidas de veios de fusão (direita da imagem).



Figura 25. Amostra de mão do meteorito Três Irmãos. O círculo vermelho está marcando o material fundido presente na região com alta concentração de veios de fusão do meteorito.

A lâmina, quando observada em objetiva de baixo aumento em microscópio, apresenta muitos veios interconectados que dão à rocha uma aparência de textura brechada (Figura 26), porém, com uma análise mais detalhada, percebe-se que os veios cortam côndrulos que possuem continuidade (Figura 6) evidenciando que a rocha não é composta por diferentes clastos. Somente algumas relíquias de côndrulos com textura de olivina barrada são distinguíveis.

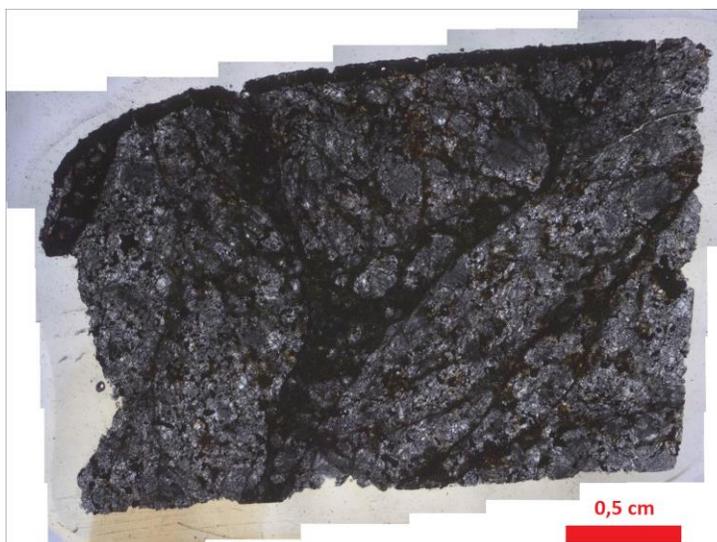


Figura 26. Lâmina petrográfica do meteorito Três Irmãos em luz transmitida não polarizada.

Os côndrulos são mal definidos e cristais de plagioclásio maiores que 50 micrômetros (Figura 27) são abundantes na amostra. A matriz totalmente recristalizada é composta por olivina, piroxênio e plagioclásio. Todos os aspectos observados permitem a classificação desse meteorito como tipo petrológico 6 (tabela 2).

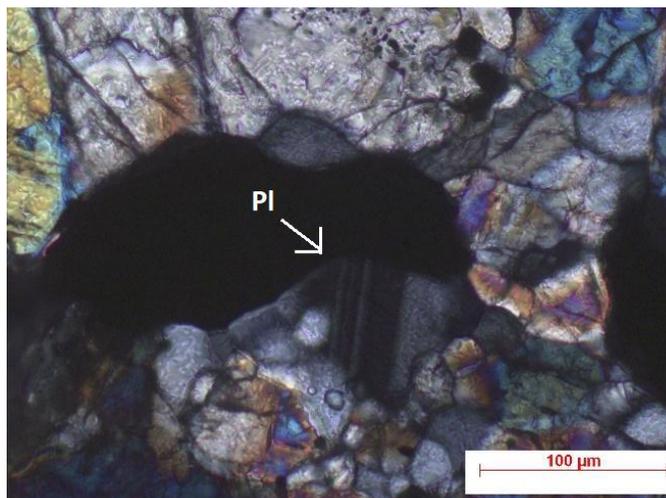


Figura 27. Feldspato com aproximadamente 90 micrômetros no meteorito Três Irmãos (PI = Plagioclásio).

A presença de mosaicismos, extinção ondulante e fraturas paralelas (Figura 28) em grande parte das olivinas presentes na matriz deste meteorito, classificam o estágio de choque, segundo Stoffler (1991), como S4 (Tabela 3).

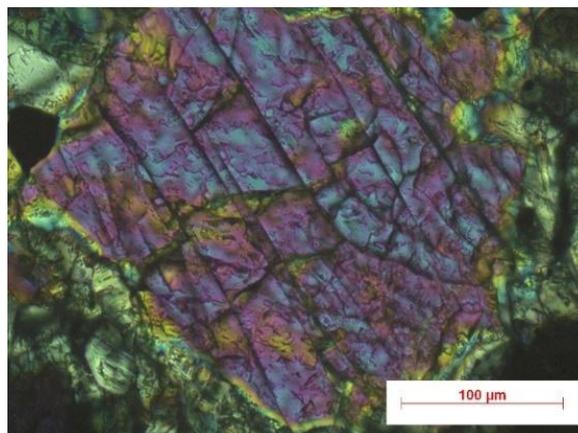


Figura 28. Olivina do meteorito Três Irmãos apresentando um conjunto (set) de fraturas planares.

A figura 29 mostra os metais presentes na amostra sem nenhum grau de oxidação, possibilitando a classificação do grau do nível de intemperismo como W1 (Tabela 4).

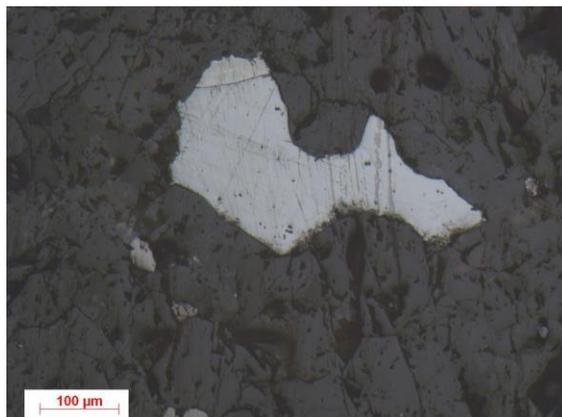


Figura 29. Metais não oxidados do meteorito Três Irmãos em luz refletida.

As análises químicas de olivinas plotadas no histograma (Figura 30) representam uma média de Fa 25,9%, que, juntamente com a composição do piroxênio (Fs 20%), encaixa o Três Irmãos no grupo químico L (Figura 31) (Dados no apêndice G e H). A homogeneidade das composições de piroxênio com baixo cálcio e olivina colaboram com a classificação do tipo petrológico 6 do meteorito.

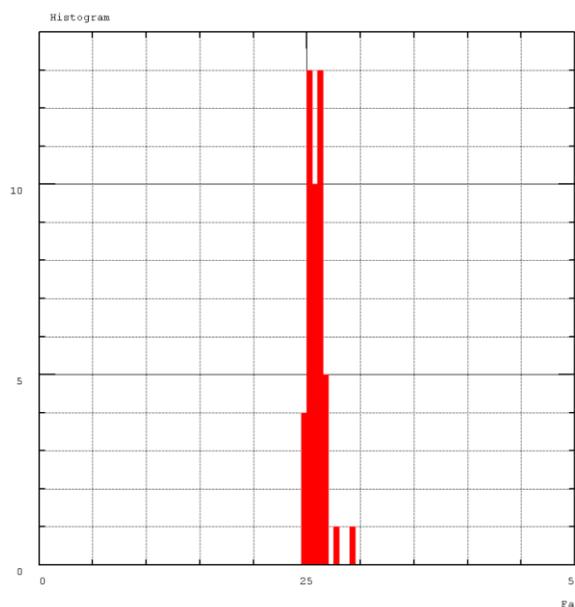


Figura 30. Histograma da composição das olivinas presentes no meteorito Três Irmãos. O eixo Y representa o número de pontos analisados e o eixo X a composição em porcentagem de faialita.

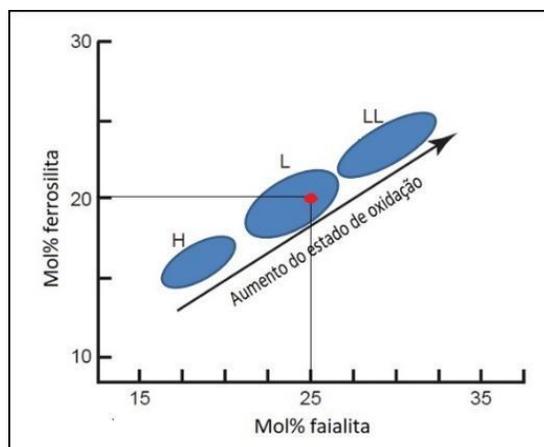


Figura 31. Tipo químico (L) do meteorito Três Irmãos. Composição da ferrossilita (eixo Y) e faialita (eixo x) do meteorito Três Irmãos no diagrama modificado de Fredinkson e Keil (1964).

3.1.4 Classificação de meteorito Ca8:

Ao analisar a figura 32, fica evidente o alto estágio de oxidação do meteorito, o que dificulta a identificação das características mineralógicas da amostra. Côndrulos são dificilmente identificados na lâmina analisada, sendo somente possível identificar relíquias de côndrulos com textura de olivina barrada (Figura 33a e 33b).

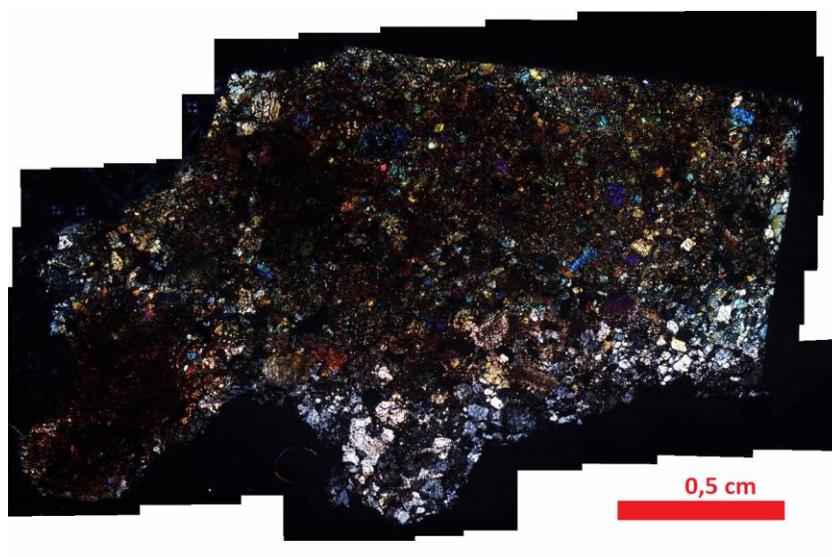


Figura 32. Lâmina petrográfica do meteorito Ca8 em luz transmitida e polarizada.

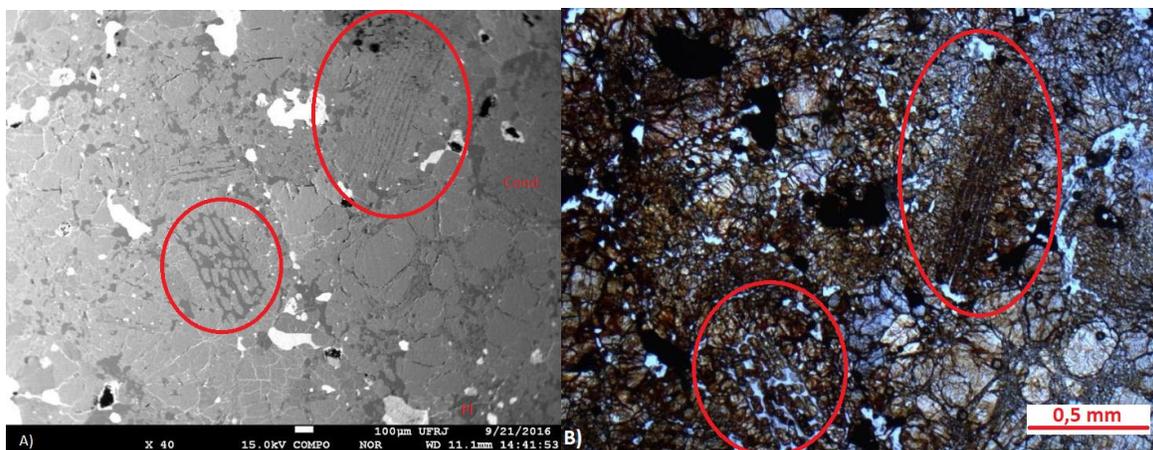


Figura 33. A) Imagem EDS de parte da lâmina do meteorito Ca8. Os círculos vermelhos apontam a textura de olivina barrada. Também é possível identificar côneos com outras texturas (Cond.) e plagioclásios em cinza escuro na imagem (Pl.). B) Imagem em luz transmitida não polarizada. Os círculos vermelhos mostram as mesmas relíquias de côneos com textura de olivina barrada mostrados na imagem A.

A matriz do meteorito está totalmente recristalizada. Côneos são mal definidos e cristais de plagioclásio possuem tamanho superior a 50 micrômetros. Todas as características indicam tipo petrológico 6 para o meteorito Ca8 (Tabela 2).

O alto grau de oxidação da amostra dificulta a análise de fraturas e mosaicismos em cristais suficientes para uma amostragem estatística, porém, a presença de maskelinita (Figura 34A e 34B) por toda a lâmina já possibilita a classificação de S5 para o meteorito Ca8 (Tabela 3).

O meteorito mostra um alto grau de intemperismo. Quase todo o FeNi está oxidado (Figura 35), permitindo classificar a intensidade de intemperismo no meteorito como W3 segundo Wolkzka (Tabela 4).

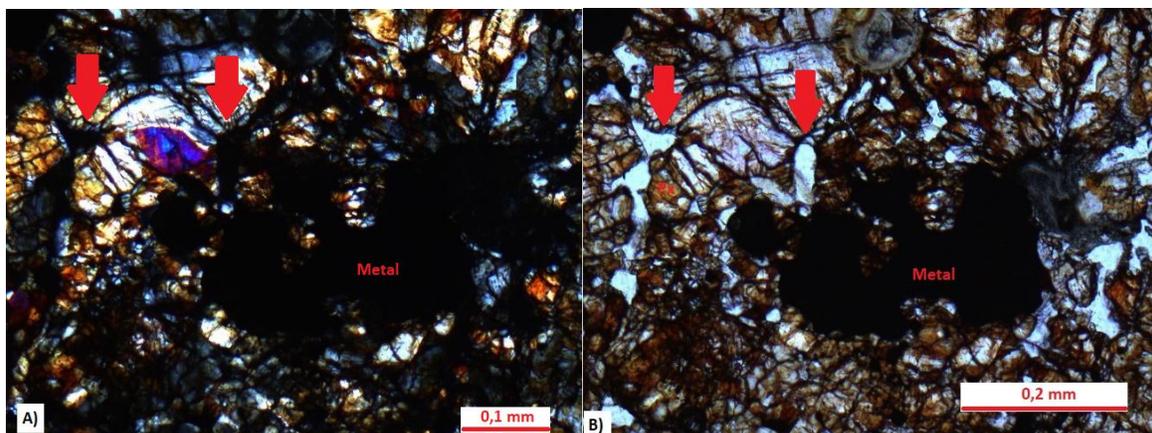


Figura 34. A) Lâmina em luz polarizada. As setas mostram maskelinitas (pretas) presentes na amostra próximas de um metal opaco. B) Lâmina em luz não polarizada. As setas mostram as maskelinitas (brancas). O piroxênio (Px) de cor marrom é abundante na amostra.

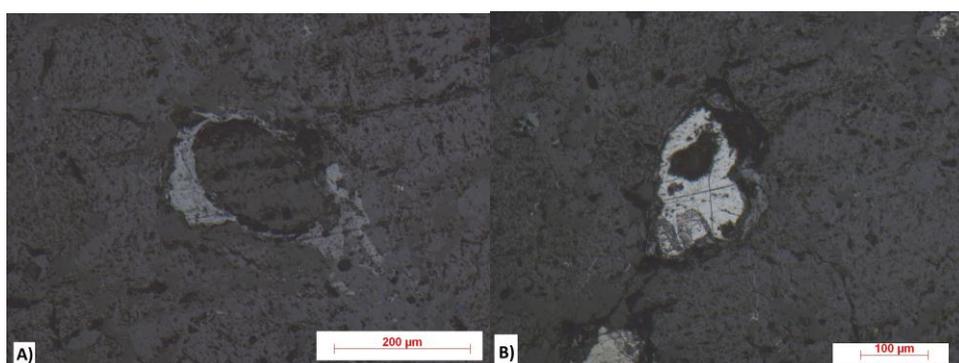


Figura 35. A-B) Metais totalmente ou parcialmente oxidados no meteorito Ca8. C) Mosaico da lâmina petrográfica em luz refletida mostrando pouca presença de metais na amostra.

As análises feitas em olivinas tiveram como resultado uma composição homogênea com média de Fa 25% e PMD < 5 (dados no Apêndice I), que, somadas com os resultados da análise petrográfica, são suficientes para confirmar o tipo petrológico 6 e grupo químico L do meteorito.

3.1.5 Classificação do meteorito Serra Pelada:

Com a análise da lâmina petrográfica (Figura 36) do meteorito Serra Pelada, a textura brechada fica evidente com a presença de diversos clastos com texturas variadas, que foram separados seguindo a seguinte nomenclatura (Figura 36 e 37): MM – matriz com granulometria média a fina (0,05 a 0,1mm) rica em clastos líticos e fragmentos de minerais variando entre 0,05 a 0,8mm. A matriz apresenta um aspecto fragmentado e é difícil a identificação das bordas de cada clasto; FM – clasto equigranular muito fino com texturas ofíticas e subofíticas compostas por piroxênio (<0,07mm) e plagioclásio do mesmo tamanho. Veios de fusão por impacto também estão presentes neste clasto; CX – clasto com granulometria grossa e textura gabroica. Piroxênios fraturados (0,6 a 1 mm) apresentam mosaicismo, enquanto plagioclásio (0,25 a 0,8 mm) apresenta extinção ondulante; MX – Clasto de granulometria média com textura subofítica. Piroxênios fraturados (0,2 a 0,5mm) apresentam mosaicismo. Ripas de plagioclásio medem entre 0,2 e 0,8 mm e apresentam extinção ondulante; RX – clasto composto por vidro de impacto.

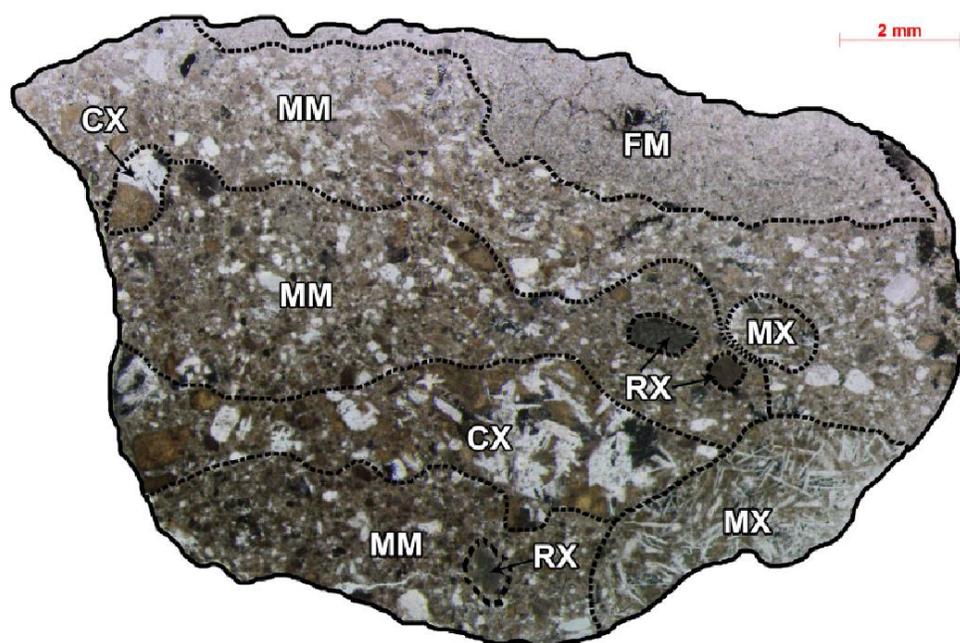


Figura 36. Lâmina petrográfica do meteorito Serra Pelada em luz não polarizada. As regiões texturalmente diferenciadas são separadas pela linha tracejada e identificados por letras conforme o texto.

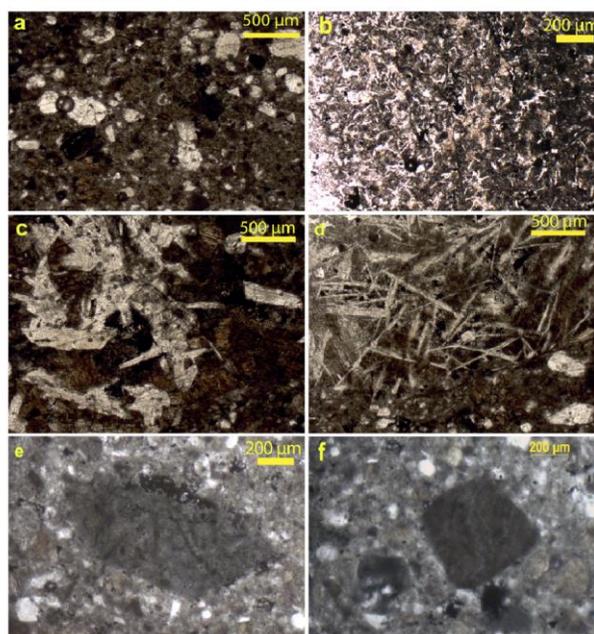


Figura 37. Fotos realizadas em microscópio com luz transmitida não polarizada. A) Textura MM – Matriz média. B) Textura FM – Matriz fina. C) Textura CX – Clasto com granulometria grossa. D) Textura MX – Clasto com granulometria média. E-F) Textura RX – Clasto fundido.

A partir dos dados de análise química dos minerais presentes no apêndice K, podemos retirar os seguintes resultados: o piroxênio é predominantemente pigeonita (MM: En26-29 Wo4-29 Fs34-61; FX: En25-33 Wo8-20 Fs40-60; MX: En33-39Wo7-14 Fs53-63; CX: En29-39 Wo7-37 Fs33-56), feldspato cálcico ocorre em todos os clastos e varia em composição de An81 a An93.

Primeiramente, para descobrir o corpo de origem do meteorito utilizamos os dados de Papike (2013), que relaciona as proporções de Mn e Fe de piroxênios de basaltos de diferentes origens planetárias (Figura 11), para comparar com os resultados que obtivemos do Serra Pelada. Além disso, a inclinação das retas encontrado para o Serra Pelada de 0,0316 na Figura 38 é muito próximo do encontrado por Papike (2013) para Vesta, de 0,0336 (Figura 11). Também, ao comparar a química dos piroxênios e plagioclásio de outros corpos, percebemos a afinidade química do meteorito Serra Pelada com o asteroide 4 Vesta (Tabela 7).

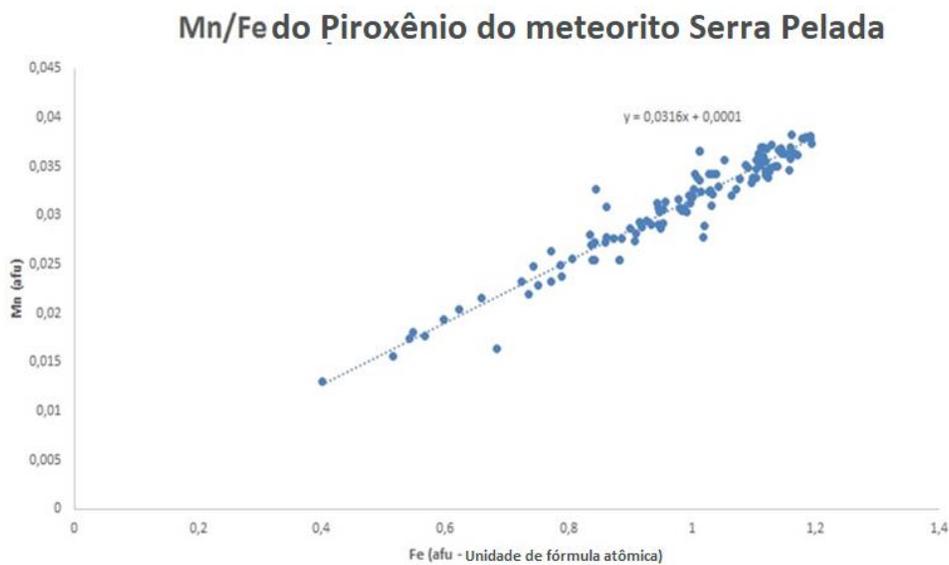


Figura 38. Proporção de Mn e Fe nos piroxênios no meteorito Serra Pelada. Y = Inclinação da reta

Tabela 7. Composição química de piroxênios e plagioclásio de diferentes corpos planetários. Px= piroxênio; x = valor da análise; dp= desvio padrão; N= número de amostras. Fonte: Dados do Serra Pelada retirados de Zucolotto (2018); Dados dos demais corpos retirados de Papike (2003).

Terra			Lua			Marte			4-Vesta			Serra Pelada		
Px	Fe/Mn	An %	Px	Fe/Mn	An %	Px	Fe/Mn	An %	Px	Fe/Mn	An %	Px	Fe/Mn	An %
x = 40		x = 69	x = 62		x = 89	x = 32		x = 49	x = 30		x = 87	x = 32		x = 89
dp = 11		dp = 12	dp = 18		dp = 3	dp = 6		dp = 5	dp = 2		dp = 2	dp = 2		dp = 5
N = 513		N = 474	N = 37		N = 243	N = 33		N = 39	N = 38		N = 35	N = 65		N = 62

Ao plotar os dados no diagrama de Barret (2000) (figura 39) observa-se que os pontos correspondem a eucritos não acumulados, porém, com teor de TiO_2 inferior ao reportado pelo autor. Assim como, utilizando o gráfico da figura 40 e comparando com os dados obtidos por Barret (2015) (Figura 14), pode-se classificar o eucrito como basáltico de baixo cálcio.

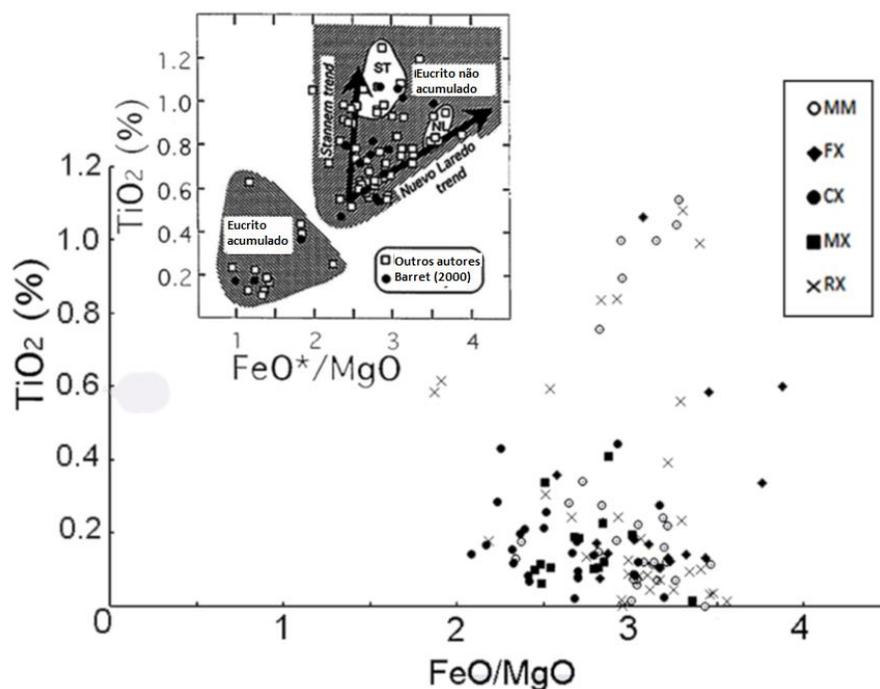


Figura 39. Diagrama TiO_2 x FeO/MgO para o eucrito Serra Pelada e seus diferentes clastos comparado com o resultado proposto por Barret (2000) (gráfico pequeno) para eucritos acumulados e não acumulados.

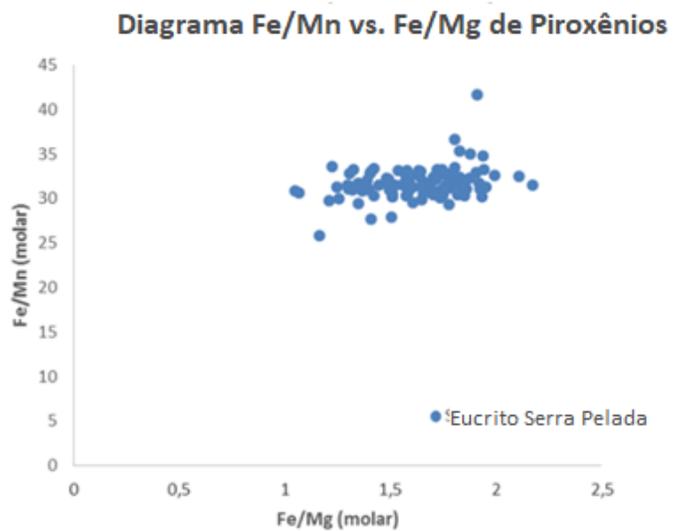


Figura 40. Razões Fe/Mn e Fe/Mg de piroxênios para o eucrito Serra Pelada.

Capítulo 4

4.1 Discussões e conclusões:

No capítulo 2 deste trabalho, foram descritas as técnicas analíticas que este autor considera mais relevantes para a classificação primária de um meteorito. Já no capítulo 3 tais técnicas foram utilizadas na prática para identificar e classificar química e petrologicamente cinco meteoritos, sendo quatro condritos ordinários e um eucrito. Os meteoritos condríticos foram apresentados em ordem crescente de metamorfismo, de forma que possam servir de analogia para a evolução de um corpo rochoso no Sistema Solar, que evolui de uma rocha primitiva não diferenciada até uma rocha diferenciada (vale ressaltar que os meteoritos deste trabalho são provenientes de corpos parentais distintos). Sendo assim, tomando como certeza que todos os corpos rochosos evoluíram de forma parecida, podemos criar uma história cronológica da evolução desses corpos, que será descrita a seguir:

- 1) O meteorito Ca 3 representa a amostra mais primitiva deste trabalho, ou seja, as suas características primordiais da sua formação são as mais preservadas. A partir de sua análise podemos entender que os corpos formados nas órbitas internas do Sistema Solar são aglomerações de grãos de metais FeNi e côndrulos (estruturas mais antigas que o próprio meteorito) imersos em uma matriz opaca. As diferentes texturas dos côndrulos indicam que estes foram formados em condições físicas e químicas diferentes, portanto, em regiões diferentes do disco protoplanetário e posteriormente foram agrupados.
- 2) Utilizamos os meteoritos Parauapebas, Três Irmãos e Ca8 para representar não só a evolução do metamorfismo térmico, mas também as dinâmicas de impacto e fragmentação que estão presentes desde o início da formação do disco protoplanetário. O meteorito Parauapebas é uma brecha genômica composta por dois clastos principais com química semelhante, porém com

tipo petrológico distintos. Com isso pode-se sugerir que diversos impactos escavaram o corpo parental até atingir os níveis onde se encontram as rochas metamorfizadas do tipo 4 e 5. Os impactos subsequentes continuaram a ejetar esses materiais que reacrecionaram no corpo, litificaram e formaram uma só rocha, que foi ejetada do corpo parental por um último impacto. Já os meteoritos Três Irmãos e Ca8 são do tipo petrológico 6. Mesmo sendo do mesmo tipo petrológico e, provavelmente, submetidos a temperaturas semelhantes nos seus corpos parentais, estes meteoritos possuem histórias diferentes em relação ao evento que os ejetou de seus corpos parentais, já que o meteorito Ca8 possui um estágio de choque maior que o Três Irmãos. Os meteoritos Três Irmãos e Ca8, diferente do Parauapebas, não são brechas, e por serem meteoritos de alto grau metamórfico, o impacto que os ejetou pode ter sido um impacto catastrófico, que fragmentou todo o corpo parental não permitindo que os fragmentos se reacrecionassem.

- 3) Com o meteorito Serra Pelada damos um salto na história, saindo de condritos ordinários com alto grau metamórfico para uma rocha totalmente diferenciada, proveniente de um corpo parental que conseguiu acumular energia o suficiente para fundir o material no seu interior, que com o tempo foi segregado pelas diferentes densidades e formaram um núcleo composto por FeNi envolto de rocha. No caso do meteorito Serra Pelada, a sua química e textura são compatíveis com eucritos não acumulados, ou seja, a rocha se formou em processos extrusivos na forma de derrames de lava na crosta do asteroide Vesta.

Referências:

BISCHOFF, Addi et al. Nature and origins of meteoritic breccias. **Meteorites and the early solar system II**, p. 679-712, 2006.

Brearley, AJ, [Jones, RH](#) & Papike, JJ (ed.) 1998, [Chondritic meteorites](#). in **Planetary Materials**. vol. 36, Reviews in Mineralogy, pp. C1.

Gomes C.B. A MICROSSONDA ELETRONICA NA GEOLOGIA. 2015

DODD JR, R. T.; VAN SCHMUS, W. R.; KOFFMAN, D. M. A survey of the unequilibrated ordinary chondrites. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 31, n. 6, p. 921-951, 1967.

GOODING, James L.; KEIL, Klaus. Relative abundances of chondrule primary textural types in ordinary chondrites and their bearing on conditions of chondrule formation. **Meteoritics**, v. 16, p. 17-43, 1981.

Grossman, Jeff. Classification of Ordinary Chondrites Based on Mean and Standard Deviation of Fa and Fs contents of Mafic Silicates. Unpublished whitepaper report. <[.ipi.usra.edu/meteor/docs/whitepaper-suppl.pdf](http://ipi.usra.edu/meteor/docs/whitepaper-suppl.pdf)> 2011

HUSS, Gary R.; KEIL, Klaus; TAYLOR, G. J. The matrices of unequilibrated ordinary chondrites: Implications for the origin and history of chondrites. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 45, n. 1, p. 33-51, 1981.

HUSS, Gary R.; RUBIN, Alan E.; GROSSMAN, Jeffrey N. Thermal metamorphism in chondrites. **Meteorites and the early solar system II**, v. 943, p. 567-586, 2006.

JULL, A. J. T. et al. Distribution of terrestrial age and petrologic type of meteorites from western Libya. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 54, n. 10, p. 2895-2898, 1990.

KEIL, Klaus; FREDRIKSSON, Kurt. The iron, magnesium, and calcium distribution in coexisting olivines and rhombic pyroxenes of chondrites. *Journal of Geophysical Research*, v. 69, n. 16, p. 3487-3515, 1964.

MARVIN, Ursula B. Ernst Florens Friedrich Chladni (1756–1827) and the origins of modern meteorite research. **Meteoritics & Planetary Science**, v. 31, n. 5, p. 545-588, 1996.

NORTON, O. Richard. **The Cambridge encyclopedia of meteorites**. 2002. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.

PAPIKE, James J. Comparative planetary mineralogy: Chemistry of melt-derived pyroxene, feldspar, and olivine. In: **Lunar and Planetary Science Conference**. 1998.

PAPIKE, J. J.; KARNER, J. M.; SHEARER, C. K. Determination of planetary basalt parentage: A simple technique using the electron microprobe. **American Mineralogist**, v. 88, n. 2-3, p. 469-472, 2003.

PATTERSON, Claire. Age of meteorites and the earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 10, n. 4, p. 230-237, 1956.

RUBIN, Alan E. Kamacite and olivine in ordinary chondrites: Intergroup and intragroup relationships. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 54, n. 5, p. 1217-1232, 1990.

SEARS, Derek WG; DODD, Robert T. Overview and classification of meteorites. **Meteorites and the early solar system**, p. 3-31, 1988.

SCOTT, Edward RD. Oxygen isotopes give clues to the formation of planets, moons, and asteroids. **Planetary Science Research Discoveries**, 2001.

SCOTT, E. R. D.; KROT, A. N. Chondrites and their components. **Treatise on geochemistry**, v. 1, p. 711, 2003.

Snelling, A. Radioisotope Dating of Meteorites II: The Ordinary and Enstatite Chondrites. **Answers Research Journal**, v.07, p.239-296, 2014.

STOEFFLER, Dieter; KEIL, Klaus. Shock metamorphism of ordinary chondrites. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 55, n. 12, p. 3845-3867, 1991.

TAYLOR, G. Jeffrey. Dry Droplets of Fiery Rain. **Planetary Science Research Discoveries Report**, 1998.

TAYLOR, G. Jeffrey. Chondrules: Important, but Possibly Unfathomable. **Planetary Science Research Discoveries Report**, 2017.

VAN SCHMUS, W. R.; WOOD, John A. A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 31, n. 5, p. 747-765, 1967.

VERNAZZA, P. et al. Multiple and fast: The accretion of ordinary chondrite parent bodies. **The Astrophysical Journal**, v. 791, n. 2, p. 120, 2014.

WLOTZKA, F. A weathering scale for the ordinary chondrites. **Meteoritics**, v. 28, 1993.

ZUCOLOTTO, Maria Elizabeth et al. Serra Pelada: the first Amazonian Meteorite fall is a Eucrite (basalt) from Asteroid 4-Vesta. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, n. AHEAD, p. 0-0, 2018.

Apêndice:

Apêndice A: Olivina Ca3

Al ₂ O ₃ wt %	SiO ₂ wt %	MgO wt %	FeO wt %	CaO wt %	TiO ₂ wt %	Cr ₂ O ₃ wt %	MnO wt %	Total wt %	Faialita (Fa)
0.03	49.893	0	40.979	8.738	0.128	0.089	0.085	99.942	8.945
0.054	51.416	0.028	41.782	7.394	0.159	0.059	0.066	100.958	7.464
0.003	42.446	0	38.97	17.537	0.021	0.348	0.05	99.375	18.818
0.029	40.647	0.048	39.582	18.952	0.07	0.283	0.072	99.683	20.734
0.013	38.647	0.002	38.113	22.44	0.112	0.346	0.045	99.718	24.57
0.14	54.511	0.013	41.688	2.28	0.333	0.055	0.165	99.185	2.294
0.022	30.398	0.04	35.349	34.322	0.008	0.534	0.084	100.757	38.78

0	29.919	0	35.916	32.818	0.029	0.512	0.057	99.251	38.095
0.006	32.195	0.015	36.216	30.275	0.02	0.417	0.057	99.201	34.535
0.023	30.199	0.072	36.059	31.374	0.009	0.461	0.038	98.235	36.822
0	41.46	0.003	39.018	19.406	0.099	0.36	0.002	100.348	20.798
0.035	41.839	0.012	38.825	18.968	0.035	0.285	0.044	100.043	20.277

Apêndice B : Piroxênio Ca3

Al2O3 wt %	SiO2 wt %	MgO wt %	FeO wt %	CaO wt %	TiO2 wt %	Cr2O3 wt %	MnO wt %	Total wt %
0.152	38.253	0.028	57.708	4.133	0.205	0.265	0.483	101.227
0.417	33.407	0.024	56.073	6.751	0.152	0.218	0.775	97.817
2.837	24.621	0.329	52.892	7.998	6.426	0.706	1.11	96.919

Apêndice C: Olivina clasto superior (Parauapebas)

Al2O3 wt %	SiO2 wt %	MgO wt %	FeO wt %	CaO wt %	TiO2 wt %	Cr2O3 wt %	MnO wt %	Total wt %	Faialita (Fa)
0.013	39.331	40.654	17.482	0.026	0.023	0.017	0.468	98.014	19.4363
0	39.293	40.847	17.793	0.026	0.019	0.017	0.441	98.436	19.6377
0.05	39.549	41.565	17.299	0	0.013	0.008	0.471	98.955	18.9301
0	40.56	40.428	17.216	0.055	0	0.03	0.519	98.808	19.2826
0	39.315	41.683	17.592	0	0.035	0.036	0.463	99.124	19.1449
0.073	38.522	41.764	18.267	0	0.058	0.022	0.486	99.192	19.7044
0.078	39.426	40.757	18.172	0.02	0.205	0.405	0.525	99.588	20.0096
0.008	39.361	41.633	17.249	0	0.053	0.018	0.481	98.803	18.8605
0	39.236	41.523	18.19	0.01	0.123	0.022	0.495	99.599	19.7292
0.025	39.198	41.924	17.468	0.013	0	0.009	0.498	99.135	18.9466
0	39.167	41.638	17.835	0.029	0	0.023	0.494	99.186	19.374
0.006	39.299	42.157	17.656	0.211	0.041	0.03	0.468	99.868	19.0253
0.006	38.908	41.475	16.87	0	0.032	0	0.488	97.779	18.5803
0.015	39.005	42.187	17.666	0	0.037	0.021	0.534	99.465	19.0237
0	41.463	40.282	17.573	0	0.009	0.039	0.505	99.871	19.6614

Apêndice D: Clasto inferior Olivina (Parauapebas)

Al2O3 wt %	SiO2 wt %	MgO wt %	FeO wt %	CaO wt %	TiO2 wt %	Cr2O3 wt %	MnO wt %	Total wt %	Faialita (Fa)
0	39.167	41.638	17.835	0.029	0	0.023	0.494	99.186	19.374
0.006	39.299	42.157	17.656	0.211	0.041	0.03	0.468	99.868	19.0253
0.006	38.908	41.475	16.87	0	0.032	0	0.488	97.779	18.5803
0.015	39.005	42.187	17.666	0	0.037	0.021	0.534	99.465	19.0237
0	41.463	40.282	17.573	0	0.009	0.039	0.505	99.871	19.6614

0.004	38.995	42.124	17.682	0	0.07	0.016	0.421	99.312	19.0626
0.012	39.143	42.877	17.839	0	0	0.01	0.479	100.36	18.9234
0.004	39.227	42.161	17.39	0	0.014	0.031	0.475	99.302	18.7936
0.012	39.222	42.564	17.741	0	0.019	0.012	0.457	100.027	18.9527
0.004	39.239	42.128	17.38	0.006	0.027	0.045	0.445	99.274	18.7955
0.045	38.622	41.778	17.688	0	0	0.716	0.443	99.292	19.1923
0.01	39.076	42.607	17.629	0.022	0.007	0	0.452	99.803	18.8396
0.003	39.239	42.121	17.133	0	0.01	0	0.461	98.967	18.5806
0.016	39.85	41.025	17.604	0.019	0.025	0.009	0.493	99.041	19.4021
0.013	39.948	42.561	17.722	0	0.06	0.008	0.472	100.784	18.9369
0	39.191	41.941	17.767	0	0.113	0.001	0.488	99.501	19.2019
0.084	39.487	41.174	18.038	0.011	0	0	0.486	99.28	19.73
0.013	39.182	42.772	17.492	0	0.007	0.035	0.448	99.949	18.661
0.115	37.618	41.364	17.488	0	0.065	1.506	0.48	98.636	19.1729
0.01	39.046	40.612	17.71	0	0.076	0.007	0.439	97.9	19.6554
0.006	39.327	42.043	17.296	0	0.01	0	0.475	99.157	18.7532
0.107	39.556	39.156	17.634	0.227	0.07	0.616	0.476	97.842	20.1684
0	39.176	42.326	17.894	0	0.052	0	0.476	99.924	19.1712
0	39.484	41.861	17.334	0.001	0.035	0.024	0.47	99.209	18.8506
0.003	39.752	41.669	17.918	0.002	0	0	0.44	99.784	19.4346
0.097	39.266	41.922	17.536	0.032	0	0.042	0.472	99.367	19.0071
0.022	39.197	42.858	17.567	0	0.024	0.008	0.494	100.17	18.6974
0.016	39.407	41.97	16.786	0.003	0.01	0.018	0.47	98.68	18.328
0	39.759	41.637	17.623	0.013	0	0	0.448	99.48	19.19
0.027	38.984	42.135	16.719	0.055	0.023	0.084	0.47	98.497	18.2091
0	39.785	41.412	16.864	0.007	0.022	0.021	0.459	98.57	18.5963
0.007	39.521	41.431	17.23	0.015	0.003	0	0.438	98.645	18.9179
0.003	39.418	41.97	17.137	0	0.002	0	0.45	98.98	18.6377
0.009	39.449	42.304	17.114	0	0.012	0	0.457	99.345	18.4966
0.026	39.473	42.42	17.382	0.003	0.006	0.011	0.489	99.81	18.6908
0	38.554	42.62	17.296	0.011	0	0.002	0.449	98.932	18.5446
0.021	39.396	41.498	17.394	0.005	0	0.036	0.432	98.782	19.0399
1.57	39.638	39.13	16.578	0.107	0	0.065	0.411	97.499	19.2031
0.019	39.136	42.327	17.256	0.007	0.003	0.002	0.475	99.225	18.6161
0	39.05	42.415	17.299	0.01	0	0.05	0.479	99.303	18.6216
0	39.273	42.012	16.838	0.079	0.02	0.076	0.451	98.749	18.3585
0	39.965	40.766	17.078	0.005	0	0.011	0.472	98.297	19.0317
0.039	39.209	41.677	17.749	0.012	0.025	0.02	0.449	99.18	19.2863
0.026	40.962	41.05	17.26	0.025	0.003	0	0.489	99.815	19.0861
0.025	39.303	41.895	17.08	0.021	0.01	0.017	0.478	98.829	18.6142
0.014	38.288	42.696	17.067	0.005	0.021	0.001	0.454	98.546	18.3177
0.013	38.362	41.209	17.646	0	0.018	0.028	0.499	97.775	19.3717
0.009	39.505	42.171	17.787	0	0.012	0.004	0.481	99.969	19.1352
0.001	38.419	40.891	17.554	0.033	0	0	0.47	97.368	19.4083

Apêndice E : Piroxênio clasto superior (Parauapebas)

Al ₂ O ₃ wt %	SiO ₂ wt %	MgO wt %	FeO wt %	CaO wt %	TiO ₂ wt %	Cr ₂ O ₃ wt %	MnO wt %	Total wt %	Ferrossilita (Fs)
3.24	55.507	14.866	3.863	19.785	0.184	0.512	0.199	98.156	6.9328
4.374	56.446	13.743	2.932	19.42	0.192	0.463	0.202	97.772	5.6077
1.092	50.359	24.224	7.725	15.154	0.198	0.36	0.275	99.387	10.9873
2.942	54.417	18.03	5.122	17.311	0.269	0.447	0.236	98.774	8.618
4.814	54.797	19.449	6.465	10.088	0.147	0.271	0.267	96.298	11.9593
2.047	52.902	20.255	6.342	16.061	0.221	0.367	0.285	98.48	10.0645
0.178	56.276	30.324	11.403	0.506	0.206	0.369	0.513	99.775	17.2504
0.091	51.732	33.564	12.862	0.423	0.124	0.057	0.5	99.353	17.5654
0.224	56.077	29.64	12.158	0.463	0.118	0.226	0.534	99.44	18.5375
0.069	56.064	30.292	10.469	0.97	0.136	0.051	0.547	98.598	15.9324
0.094	56.55	30.869	11.03	0.342	0.119	0.094	0.499	99.597	16.5896
0.057	57.045	30.854	10.78	0.449	0.093	0.078	0.519	99.875	16.2497
0.05	56.609	30.657	11.212	0.459	0.054	0.072	0.493	99.606	16.8742
0.073	56.424	30.67	11.215	0.483	0.082	0.113	0.485	99.545	16.8653
3.07	56.588	20.272	5.931	11.845	0.208	0.336	0.336	98.586	10.3609
1.393	55.967	26.624	9.245	4.35	0.097	0.157	0.401	98.234	14.8435
0.265	55.241	24.175	7.064	11.022	0.121	0.284	0.379	98.551	10.9896
1.968	55.473	20.177	5.545	14.322	0.168	0.388	0.29	98.331	9.2647
2.246	56.648	21.459	6.531	10.952	0.17	0.287	0.324	98.617	11.1067
0.374	56.02	26.549	8.833	6.502	0.258	0.326	0.423	99.285	13.6976
0.127	47.197	34.242	14.677	0.217	0.156	0.096	0.467	97.179	19.3157
0.072	56.625	29.947	10.918	0.5	0.071	0.102	0.469	98.704	16.813
0.52	56.22	28.979	11.552	0.506	0.15	0.096	0.499	98.522	18.0906
0.168	55.894	29.06	11.301	0.482	0.167	0.065	0.478	97.615	17.736
0.146	57.271	29.509	11.215	0.48	0.059	0.069	0.502	99.251	17.4093
0.164	55.743	30.2	11.634	0.458	0.192	0.424	0.506	99.321	17.6133

Apêndice F: piroxenio clasto inferior (Parauapebas)

Al ₂ O ₃ wt %	SiO ₂ wt %	MgO wt %	FeO wt %	CaO wt %	TiO ₂ wt %	Cr ₂ O ₃ wt %	MnO wt %	Total wt %	Ferrossilita (Fs)
0.329	54.845	22.005	6.421	14.657	0.297	0.424	0.31	99.288	9.9693
2.58	56.438	25.485	10.067	2.183	0.172	0.121	0.447	97.493	17.2737
5.045	53.706	14.706	8.939	14.645	0.234	0.444	0.232	97.951	16.5776
1.18	54.722	26.525	10.957	3.755	0.175	0.194	0.479	97.987	17.3784
0.211	56.645	28.316	10.111	3.927	0.22	0.178	0.46	100.068	15.4107
0.115	56.326	30.561	11.135	0.567	0.173	0.078	0.479	99.434	16.7844
0.229	55.777	29.95	10.853	1.395	0.273	0.542	0.507	99.526	16.4376
0.913	56.72	28.848	10.017	1.409	0.185	0.158	0.466	98.716	15.8404
0.318	56.844	29.132	10.644	0.892	0.181	0.097	0.523	98.631	16.7044
0.336	56.637	29.278	10.918	1.756	0.181	0.103	0.451	99.66	16.7062
2.187	57.1	27.658	10.052	1.788	0.155	0.117	0.461	99.518	16.3049
0.164	50.548	31.902	11.933	5.429	0.136	0.165	0.443	100.72	15.7537
0.137	56.209	30.03	10.771	1.739	0.193	0.084	0.519	99.682	17.4436
0.123	56.638	30.451	11.672	0.75	0.185	0.087	0.547	100.453	18.9359
0.155	55.752	30.223	12.746	0.54	0.19	0.107	0.481	100.194	16.4111
0.122	56.789	30.868	10.935	0.529	0.139	0.109	0.536	100.027	17.1679
0.084	55.916	29.917	11.204	0.57	0.107	0.097	0.455	98.35	16.728
0.171	56.184	30.096	10.985	0.805	0.17	0.128	0.489	99.028	13.8805
4.645	58.364	20.441	7.338	7.093	0.232	0.33	0.376	98.819	16.5288
0.178	52.169	32.862	12.685	0.32	0.131	0.072	0.519	98.936	16.6802
0.743	56.847	30.136	10.772	0.531	0.076	0.056	0.521	99.682	16.4043
0.159	56.664	30.901	11.18	0.594	0.134	0.125	0.521	100.278	16.7821
0.084	51.291	31.675	12.01	3.701	0.156	0.163	0.48	99.56	17.0506
0.129	55.938	30.165	11.027	0.705	0.193	0.115	0.508	98.78	17.2709
0.141	56.823	30.085	11.219	0.753	0.182	0.126	0.524	99.853	17.0537
0.063	56.897	30.754	11.583	0.522	0.072	0.113	0.485	100.489	17.3241
0.127	55.703	30.476	11.29	0.47	0.128	0.098	0.503	98.795	17.0077

Apêndice G: Olivina Três Irmaos

Al2O3 wt %	SiO2 wt %	MgO wt %	FeO wt %	CaO wt %	TiO2 wt %	Cr2O3 wt %	MnO wt %	Total wt %	Faialita (Fa)
0.009	37.69	37.206	24.078	0	0	0.014	0.238	99.235	26.636
0.006	37.215	36.48	23.619	0.005	0.031	0.021	0.204	97.581	26.6461
0.24	38.229	34.273	23.82	0.032	0.007	0.048	0.188	96.837	28.0538
0.087	38.613	34.248	23.732	0.016	0	0.02	0.203	96.919	27.995
0.014	39.121	34.405	23.938	0.002	0	0.014	0.214	97.708	28.0753
0.043	38.634	36.204	23.91	0.012	0	0	0.195	98.998	27.0353
0.042	37.913	34.673	23.702	0	0.026	0	0.223	96.579	27.72
0.07	37.704	35.356	24.3	0.016	0	0	0.244	97.69	27.8268
0.009	38.496	36.336	23.54	0	0.004	0	0.222	98.607	26.6576
0.033	38.367	34.538	23.134	0.002	0	0.002	0.234	96.31	27.3148
0.034	37.352	35.43	23.447	0	0.009	0	0.199	96.471	27.0763
0.025	37.903	36.259	23.66	0	0	0	0.208	98.055	26.7979
0.071	38.048	35.976	24.565	0	0	0	0.238	98.898	27.6979
0.038	37.605	35.081	23.873	0	0	0	0.202	96.799	27.6292
0.023	36.785	36.399	23.809	0	0.008	0	0.217	97.241	26.8462
0	37.441	36.578	24.219	0	0.007	0.015	0.213	98.473	27.086
0.017	35.585	37.556	23.879	0	0	0	0.204	97.241	26.2923
0.067	38.02	36.647	23.807	0	0	0	0.224	98.765	26.7105
0.043	38.276	34.795	24.15	0	0.029	0	0.241	97.534	28.0252
0.006	37.139	36.455	23.744	0	0	0.022	0.195	97.561	26.7624
0.001	38.277	35.848	23.668	0	0.022	0	0.187	98.003	27.0301
0.094	38.541	34.175	23.438	0	0	0.038	0.221	96.507	27.7846
0	37.239	34.783	23.927	0.01	0	0	0.182	96.141	27.8457
0	39.093	36.768	23.517	0	0.017	0.032	0.226	99.653	26.4082
0.028	38.015	36.771	23.918	0	0.034	0.029	0.225	99.02	26.7351
0	38.017	35.156	23.973	0	0.003	0	0.227	97.376	27.6695
0.017	39.489	35.619	24.012	0	0	0	0.233	99.37	27.4415
0.027	36.994	36.342	24.771	0	0	0.003	0.207	98.344	27.6613
0.019	38.874	35.48	23.912	0	0	0	0.165	98.45	27.4354
0	38.674	34.601	24.077	0	0.002	0	0.165	97.519	28.0766
0.023	38.087	36.362	23.46	0.034	0	0.001	0.25	98.217	26.5769
0.011	36.63	37.329	23.906	0	0.024	0.015	0.209	98.124	26.4329
0.049	37.82	36.128	23.083	0	0.003	0.004	0.181	97.268	26.3871
0.004	39.504	34.85	23.822	0	0	0.039	0.184	98.403	27.7206
0	39.234	34.424	23.787	0	0.005	0.013	0.2	97.663	27.936

0.297	38.771	34.303	22.876	0.028	0.009	0	0.233	96.517	27.2272
0.013	37.795	35.87	23.158	0	0	0	0.175	97.011	26.5896
0.004	38.311	35.256	23.924	0	0	0.001	0.183	97.679	27.5727
0	38.165	34.04	23.724	0	0.001	0.003	0.2	96.133	28.111
0	35.437	38.509	23.815	0	0	0	0.215	97.976	25.7588
0.036	38.682	35.432	23.162	0	0	0.01	0.197	97.519	26.8338
0.017	38.862	35.479	23.793	0	0	0	0.252	98.403	27.3386
0.014	39.001	33.898	23.546	0	0.005	0.018	0.217	96.699	28.0434
0.006	38.017	35.184	24.661	0.285	0.017	0	0.192	98.362	28.2239
0.066	35.771	38.53	24.685	0	0	0	0.249	99.301	26.4411
0.035	37.903	36.105	23.752	0.008	0	0.035	0.251	98.089	26.957
0.008	38.262	36.459	23.784	0.051	0.009	0.007	0.243	98.823	26.7939
0.052	37.365	36.044	24.511	0	0	0.005	0.238	98.215	27.6149
0.03	38.074	35.246	23.518	0.026	0.004	0	0.223	97.121	27.2384
0.018	39.019	35.178	24.076	0	0	0.018	0.205	98.514	27.7435
0.045	37.16	33.964	25.239	0.002	0.019	0	0.203	96.632	29.4224
0.106	38.905	34.398	23.366	0.039	0	0	0.218	97.032	27.5948

Apêndice H: Piroxênio Tres Irmaos

Al2O3 wt %	SiO2 wt %	MgO wt %	FeO wt %	CaO wt %	TiO2 wt %	Cr2O3 wt %	MnO wt %	Total wt %	Ferrossilita (Fs)
0.082	57.543	23.105	14.655	0.971	0	0	0.21	96.566	25.6707
0.126	56.635	25.732	14.281	1.554	0	0	0.205	98.533	22.9813
0.092	53.559	26.503	15.15	0.523	0	0	0.277	96.104	24.0251
0.305	54.114	15.7	5.562	20.865	0	0	0.111	96.657	9.2254
0.104	55.492	26.461	14.53	0.497	0	0	0.226	97.31	23.3117
0.137	56.12	25.904	14.325	0.554	0	0	0.246	97.286	23.4032
0.108	54.556	27.247	15.785	0.395	0	0	0.192	98.283	24.3372
0.131	54.499	26.506	14.231	1.059	0	0	0.235	96.661	22.6509
0.072	54.531	27.69	15.198	0.381	0	0	0.18	98.052	23.3633
0.074	55.962	25.17	14.109	0.353	0	0	0.251	95.919	23.7412
0.142	55.421	26.331	14.578	0.399	0	0	0.235	97.106	23.5032
0.087	54.113	26.373	14.487	0.383	0	0	0.22	95.663	23.3717
0.11	54.151	27.403	14.419	0.475	0	0	0.22	96.778	22.5774
0.114	56.48	27.333	14.517	0.51	0	0	0.237	99.191	22.7199
0.075	49.19	30.168	18.26	0.195	0	0	0.207	98.095	25.2621
0.092	56.349	26.882	14.627	0.871	0	0	0.231	99.052	22.9788
0.102	56.443	27.112	14.304	0.489	0	0	0.246	98.696	22.6114
0.077	54.123	27.77	14.378	0.346	0	0.003	0.207	96.904	22.3541
0.09	55.436	26.202	15.968	1.315	0	0	0.25	99.261	24.8109
0.063	56.845	27.2	14.526	0.491	0	0	0.243	99.368	22.8268
5.839	57.636	20.597	11.857	0.949	0	0	0.177	97.055	23.8175
0.092	56.413	26.701	14.284	0.967	0	0	0.229	98.686	22.6327

0.098	52.512	28.808	16.117	0.369	0	0	0.21	98.114	23.7225
0.092	57.085	27.205	14.846	0.395	0	0	0.177	99.8	23.2563
0.102	56.319	27.012	14.843	0.579	0	0.01	0.219	99.084	23.289
0.088	55.487	27.707	14.526	0.464	0	0	0.295	98.567	22.5202
0.092	56.25	24.863	14.448	0.811	0	0	0.221	96.685	24.1574
0.083	55.629	26.76	14.542	0.995	0.002	0	0.22	98.231	22.8952
0.091	55.516	26.936	14.317	0.382	0.011	0	0.253	97.506	22.7921
0.088	55.531	26.091	14.853	0.566	0	0	0.242	97.371	23.9251
0.082	55.64	26.552	15.932	0.87	0	0	0.253	99.329	24.7477
0.113	53.934	25.267	16.811	0.859	0	0	0.244	97.228	26.7054
0.177	55.806	24.766	15.506	0.477	0	0	0.195	96.927	25.7281
0.205	55.39	26.346	14.355	0.522	0	0.002	0.242	97.062	23.1584

Apêndice I: Olivina Ca8

Al2O3 wt %	SiO2 wt %	MgO wt %	FeO wt %	CaO wt %	TiO2 wt %	Cr2O3 wt %	MnO wt %	Total wt %	Faialita (Fa)
0.056	39.423	0.038	37.953	23.622	0.046	0.42	0	101.558	25.159
0.088	35.711	0.025	39.677	22.627	0.018	0.434	0.004	98.584	26.225
0.044	35.998	0	37.56	24.563	0.078	0.441	0.028	98.712	27.694
0.08	36.97	0.026	38.465	23.083	0.015	0.453	0.004	99.096	25.943
0.06	34.22	0.025	40.48	24.39	0.014	0.432	0.001	99.622	0
0.086	39.226	0.071	37.452	22.893	0.05	0.444	0	100.222	24.667
0	38.587	0	37.757	24.259	0.038	0.428	0.021	101.09	26.073
0.026	38.319	0.044	38.773	22.823	0.019	0.432	0	100.436	25.047

Apêndice J: Piroxênio Ca8

Al2O3 wt %	SiO2 wt %	MgO wt %	FeO wt %	CaO wt %	TiO2 wt %	Cr2O3 wt %	MnO wt %	Total wt %	Ferrossilita (Fs)
0.143	29.252	0	55.413	14.016	0.805	0.444	0.117	100.19	20.862
0.165	28.049	0.07	53.671	15.126	0.814	0.456	0.125	98.476	22.86

Apêndice K: Serra Pelada

	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaO	FeO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Cr ₂ O ₃	Total
	wt %	wt %	wt %	wt %	wt %	wt %	wt %	wt %	wt %	wt %	wt %
MM fine to medium grained matrix	0.537	36.256	44.002	0.043	18.772	0.354	0.063	0.000	0.000	0.000	100.027
	0.853	35.018	45.495	0.001	17.913	0.277	0.091	0.000	0.000	0.010	99.658
	0.782	35.372	45.533	0.022	17.799	0.248	0.053	0.000	0.000	0.014	99.823
	2.874	31.056	51.160	0.068	13.957	0.292	0.575	0.022	0.000	0.000	100.004
	0.746	35.949	44.734	0.009	18.346	0.233	0.054	0.007	0.000	0.004	100.082
	0.575	36.336	44.281	0.032	18.708	0.153	0.072	0.020	0.049	0.000	100.226
	0.816	35.573	45.553	0.018	17.899	0.151	0.099	0.011	0.000	0.011	100.131
	0.771	35.283	45.584	0.129	17.847	0.480	0.082	0.000	0.032	0.002	100.210
	1.945	33.495	47.150	0.264	16.610	0.857	0.164	0.054	0.042	0.017	100.598
	1.201	34.641	46.980	0.016	16.750	0.367	0.180	0.038	0.018	0.005	100.196
FX very fine grained clast	1.195	33.570	47.835	0.088	16.363	0.584	0.160	0.000	0.000	0.019	99.814
	1.071	34.198	46.858	0.057	16.706	0.418	0.142	0.011	0.000	0.036	99.497
	1.869	33.548	46.954	0.145	15.988	0.988	0.200	0.000	0.000	0.016	99.708
	1.789	34.077	47.419	0.059	16.498	0.351	0.147	0.042	0.048	0.000	100.430
	0.928	31.495	50.456	0.036	15.745	0.287	0.096	0.035	0.000	0.000	99.078
	0.975	35.125	46.282	0.033	17.432	0.337	0.065	0.003	0.011	0.019	100.282
	0.900	34.386	45.765	0.315	17.037	1.627	0.041	0.073	0.062	0.026	100.232
	0.864	34.586	46.358	0.096	17.370	0.597	0.122	0.000	0.004	0.006	100.003
	0.044	0.691	97.472	0.020	0.250	0.222	0.027	0.091	0.004	0.003	98.824
	0.907	34.638	46.260	0.119	17.446	0.366	0.109	0.050	0.029	0.000	99.924

	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaO	FeO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Cr ₂ O ₃	Total
	wt %	wt %	wt %	wt %	wt %	wt %	wt %	wt %	wt %	wt %	wt %
MX medium grained clasts	1.390	33.224	47.740	0.278	16.024	0.801	0.208	0.023	0.020	0.000	99.708
	2.045	34.001	47.409	0.090	16.299	0.629	0.193	0.000	0.002	0.014	100.682
	1.832	34.265	47.041	0.157	16.662	0.657	0.142	0.000	0.000	0.000	100.756
	1.182	34.312	47.137	0.049	16.818	0.409	0.160	0.002	0.077	0.000	100.146
	0.962	34.971	46.015	0.035	17.169	0.248	0.088	0.000	0.066	0.000	99.554
	0.608	35.928	44.611	0.101	17.999	0.555	0.101	0.000	0.032	0.000	99.935
	1.194	33.533	47.054	0.219	16.422	1.018	0.204	0.004	0.003	0.025	99.676
	1.082	35.015	46.434	0.022	17.152	0.312	0.134	0.019	0.000	0.009	100.179
	2.354	33.835	47.801	0.104	15.766	0.664	0.250	0.014	0.031	0.000	100.819
	1.177	34.362	46.802	0.085	16.467	0.466	0.196	0.001	0.019	0.019	99.594
CX coarse grained clasts	0.817	35.385	45.087	0.013	17.707	0.223	0.079	0.000	0.006	0.000	99.317
	1.157	34.381	46.767	0.100	16.847	0.243	0.177	0.003	0.000	0.000	99.675
	0.732	35.943	44.557	0.037	18.064	0.179	0.057	0.006	0.004	0.024	99.603
	2.031	34.177	47.224	0.104	16.403	0.431	0.190	0.017	0.000	0.000	100.577
	0.812	35.704	45.736	0.022	17.724	0.124	0.122	0.022	0.000	0.020	100.286
	0.846	35.823	44.982	0.000	17.960	0.203	0.070	0.015	0.000	0.009	99.908
	0.945	35.606	45.651	0.011	17.436	0.208	0.127	0.000	0.037	0.000	100.021
	1.079	34.492	46.201	0.206	16.932	1.095	0.118	0.000	0.064	0.010	100.197
0.759	35.992	44.958	0.027	18.022	0.196	0.083	0.022	0.000	0.000	100.059	
1.871	34.350	47.319	0.025	16.558	0.250	0.184	0.011	0.001	0.000	100.569	
RX recrystallized impact melts	0.984	34.893	46.716	0.048	16.433	0.751	0.145	0.013	0.017	0.004	100.004
	0.647	31.417	50.526	0.010	15.762	1.299	0.077	0.105	0.039	0.000	99.882
	0.531	24.776	60.393	0.005	12.280	2.714	0.073	0.141	0.000	0.007	100.920
	1.404	29.591	50.363	0.650	13.824	2.986	0.329	0.015	0.079	0.000	99.241
	2.087	30.185	50.990	0.459	14.281	2.174	0.360	0.009	0.000	0.016	100.561
	2.164	33.428	47.333	0.225	15.602	1.199	0.318	0.038	0.000	0.001	100.308
	1.132	31.397	49.133	0.184	15.518	1.405	0.211	0.059	0.112	0.020	99.171
	0.515	18.274	66.710	0.413	9.326	3.376	0.101	0.189	0.070	0.027	99.001
	1.292	31.458	49.068	0.289	14.998	1.862	0.267	0.027	0.088	0.038	99.387
2.501	31.211	51.415	0.029	14.334	0.734	0.477	0.033	0.032	0.001	100.767	