

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Análise química e petrográfica de meteorito condrítico NWA: uma brecha genômica
LL 3.5-6**

Milena Ellen da Silva

MONOGRAFIA DO TRABALHO DE FORMATURA
(TF-23/51)

Orientador: Prof. Dr. Gaston Eduardo Enrich Rojas

Coorientador: Dr. Gabriel Gonçalves Silva

SÃO PAULO

2023

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Análise química e petrográfica de meteorito condrítico NWA: uma brecha genômica
LL 3.5-6**

Milena Ellen da Silva

MONOGRAFIA DO TRABALHO DE FORMATURA
(TF-23/51)

Monografia apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Gaston Eduardo Enrich Rojas – GMG – Mineralogia e Geotectônica – Instituto de Geociências – USP.

Coorientador: Dr. Gabriel Gonçalves Silva – Instituto de Química – USP

SÃO PAULO
2023



Esta obra está licenciada com uma [Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial - Compartilhaqual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

RESUMO

A investigação e classificação de meteoritos desempenham um papel crucial na compreensão da história do Sistema Solar, fornecendo informações fundamentais sobre a formação e evolução de corpos celestes. Nesse contexto, o objetivo deste estudo é analisar quimicamente e petrograficamente o meteorito condrítico NWA (Northwest Africa), provisoriamente denominado Takeda2, com a finalidade de classificá-lo de acordo com os parâmetros atuais e relacioná-lo com a dinâmica de formação dos meteoritos do Sistema Solar. Para isso, foram aplicados métodos analíticos como microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microanálises por microsonda eletrônica (EPMA) por EDS e WDS. Os resultados indicam que a amostra se trata de uma brecha genômica condrítica LL3.5-6, com estágio de choque S2-S4 e uma grande diversidade textural. O grau de intemperismo da rocha foi estabelecido como tipo A em amostra de mão e tipo W1 sob microscopia óptica. A maioria dos clastos apresenta texturas tipo POP (olivina-piroxênio porfíricos), PP (piroxênio porfírico) e PO (olivina porfírica), apesar de também ocorrerem texturas tipo BO (olivina barrada), C (criptocristalina), GOP (olivina-piroxênio granular) e mescla de texturas. As composições de olivina e piroxênio de baixo cálcio agrupadas por tipo petrológico são respectivamente: tipo 3, $Fa_{12,9-42,1}$; tipo 4, $Fa_{27,3-28,2}$ e $Fs_{21,9-31,8}$; tipo 4 ou 5, $Fa_{25,7-27,5}$ e $Fs_{18,6-23,4}$; tipo 5 $Fa_{25,8-32,0}$ e $Fs_{23,8-26,6}$; tipo 6 $Fa_{30,0-30,2}$ e $Fs_{15,3-24,8}$. Já os feldspatos apresentam composição $Or_{0,3-51,5}$, $An_{9,4-81,8}$ e $Ab_{17,8-88,5}$.

Palavras chaves: Classificação de Meteoritos, Condritos, Brechas, NWA (Northwest Africa).

ABSTRACT

The investigation and classification of meteorites play a crucial role in comprehending the history of the Solar System, providing fundamental insights into the formation and evolution of celestial bodies. In this context, the aim of this study is to analyze chemically and petrographically the chondritic meteorite NWA (Northwest Africa), provisionally named Takeda2, for the purpose of classifying it according to current parameters and understanding its relation to the dynamics of Solar System meteorite formation. To achieve this, analytical methods such as optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM), and microanalyses by an electron probe microanalyzer (EPMA) using EDS and WDS were employed. The results indicate that the sample is a LL 3.5-6 chondritic genomic breccia, with S2-S4 shock stages and a wide textural diversity. The degree of weathering of the rock was established as type A in hand specimen and type W1 under optical microscopy. Most clasts exhibit textures such as POP (olivine-pyroxene porphyritic), PP (pyroxene porphyritic), and PO (olivine porphyritic), although textures like BO (barred olivine), C (cryptocrystalline), GOP (granular olivine-pyroxene), and a mix of textures also occur. The compositions of olivine and low-calcium pyroxene grouped by petrological type are respectively: type 3, $Fa_{12,9-42,1}$; type 4, $Fa_{27,3-28,2}$ and $Fs_{21,9-31,8}$; type 4 or 5, $Fa_{25,7-27,5}$ and $Fs_{18,6-23,4}$; type 5 $Fa_{25,8-32,0}$ and $Fs_{23,8-26,6}$; type 6 $Fa_{30,0-30,2}$ and $Fs_{15,3-24,8}$. Whereas, feldspars exhibit compositions of $Or_{0,3-51,5}$, $An_{9,4-81,8}$ e $Ab_{17,8-88,5}$.

Keywords: Meteorite Classification, Chondrites, Breccias, NWA (Northwest Africa).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVOS	6
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	7
3.1. Taxonomia e classificação de meteoritos condríticos.....	7
3.2. Componentes dos meteoritos condríticos e sua mineralogia.....	8
3.3. Parâmetros de classificação.....	9
3.3.1. Classificação de condritos ordinários (OC).....	9
3.3.2. Classificação de tipos petrológicos.....	10
3.3.3. Classificação do metamorfismo de choque	13
3.3.4. Classificação de intemperismo.....	13
3.3.5. Classificação de brechas meteoríticas.....	14
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
4.1. Petrografia por microscópio óptico, luz transmitida.....	15
4.2. Microscopia Eletrônica De Varredura (MEV) e Microanálises por Microsonda Eletrônica (EPMA)	16
4.3. Tratamento de dados	18
5. RESULTADOS OBTIDOS.....	19
5.1. Petrografia.....	19
5.2. Análises químicas: EDS e WDS.....	22
5.2.1. Olivina.....	22
5.2.2. Piroxênio	24
5.2.3. Feldspato	25
5.3. Classificação do estágio de choque	26
6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	28
6.1. Classificação de clastos	28
6.1.1. Tipo petrológico 3	28
6.1.2. Tipo petrológico 4	29
6.1.3. Tipo petrológico 4-5	30
6.1.4. Tipo petrológico 5	30
6.1.5. Tipo petrológico 6	31
6.1.6. Clastos não agrupados	33
6.2. Análises químicas segundo classificação de clastos.....	34
6.3. Origem e desenvolvimento dos principais componentes do meteorito LL3.5-6	36
7. CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

1. INTRODUÇÃO

A análise mineralógica e petrográfica de meteoritos compreende um dos principais conjuntos de evidências da história do Sistema Solar. O estudo desses materiais é de fundamental importância para a formulação de hipóteses associadas à ciência planetária, principalmente porque grande parte das informações geológicas e geoquímicas relativas ao Sistema Solar advém do exame direto desses fragmentos rochosos (Zucolotto et al., 2013; Day, 2015).

Por definição, os meteoritos são corpos sólidos extraterrestres que penetram a atmosfera da Terra e atingem sua superfície (Krot et al., 2007, 2014; Rubin & Ma, 2021). Cada meteorito carrega um registro singular de sua própria gênese e evolução, podendo derivar das mais diversas fontes (Rubin & Ma, 2021). A grande maioria se origina no cinturão principal de asteroides entre as órbitas de Marte e Júpiter, mas também podem derivar de cometas, ou serem fragmentos arrancados da Lua ou de Marte. Eles se formam sob uma variedade de condições e processos que deixam marcas nas composições de seus minerais e em suas relações texturais. Isso os torna bons medidores de eventos astronômicos importantes, tais como a formação da nebulosa solar, do disco protoplanetário, de processos acrecionários e da diferenciação de núcleos de planetesimais e asteroides. Além dessas contribuições, também trazem informações a respeito da formação de brechas e da dinâmica ígnea registrada em corpos planetários e subplanetários (Day, 2015, Rubin & Ma, 2021).

Diversos sistemas de classificação de meteoritos já foram propostos. O primeiro passo significativo nesse campo foi dado em 1802 pelo químico britânico Edward Howard, que constatou a forte presença de Ni em uma série de amostras de meteoritos. Em 1862, Gustave Rose do Museu Mineralógico da Universidade de Berlim criou um sistema de classificação detalhado, distinguindo principalmente meteoritos metálicos dos rochosos, dos quais muitos sistemas de classificações foram subsequentemente derivados (Zucolotto et al., 2013; Rubin & Ma, 2021; Nobre et al., 2021). Nobre et al. (2021) também ressaltam que a evolução do conhecimento na ciência meteorítica se deve principalmente às inovações tecnológicas adotadas no século XIX e XX, onde três grupos de inovações se destacam: (i) a microscopia óptica; (ii) a microscopia eletrônica junto às microanálises; e (iii) a geoquímica isotópica somada a datação radiométrica. O que se observa é que o desenvolvimento dessas técnicas analíticas propiciou uma coleta de dados mais ampla e acurada, abrindo espaço para modelos mais detalhados sobre a origem do sistema solar e de novos sistemas de classificação de meteoritos.

O sistema atual de classificação de meteoritos (Krot et al., 2014; Rubin & Ma, 2021) é baseado principalmente nas características químicas, isotópicas, mineralógicas e petrográficas dessas rochas. Levando em conta a configuração química e textural, os meteoritos podem ser divididos em duas grandes categorias: os condritos e os acondritos. O

primeiro é caracterizado pela presença de côndrulos, que são partículas ígneas compostas principalmente por olivina e piroxênio, enquanto o segundo é definido pela ausência de côndrulos. Os acondritos são subdivididos em meteoritos metálicos, metálico-rochosos, acondritos primitivos e acondritos diferenciados (Stöffler et al., 1991; Krot, 2007; Scott & Krot, 2014; Rubin & Ma, 2021). É importante destacar que atualmente a Meteoritical Society cataloga todos os meteoritos conhecidos e disponibiliza as informações básicas de cada um deles no Meteoritical Bulletin Database via link de acesso <https://www.lpi.usra.edu/meteor/>. Até o presente momento 100 meteoritos brasileiros foram catalogados e disponibilizados nessa plataforma.

Os condritos e seus côndrulos são objetos de investigação de diversos trabalhos acadêmicos (e.g. Scott 2007; Scott & Krot, 2014), são rochas de composição ultramáfica constituídas principalmente por ferro, magnésio, silício e oxigênio. Essa classe é caracterizada por quatro componentes principais: côndrulos, ligas de Fe-Ni, inclusões refratárias e uma matriz de granulação fina. É geralmente aceito (e.g. Scott 2007; Scott & Krot, 2014) que os três primeiros componentes são formados na nebulosa solar em altas temperaturas, envolvendo processos de condensação e evaporação, enquanto a matriz seria o registro do material da nebulosa com alteração de baixa temperatura e/ou aquosa.

Como mencionado, os meteoritos são uma fonte fundamental de dados do Sistema Solar, pois se tratam de materiais acessíveis que registram a história de formação de corpos celestes. Isto porque a grande maioria dos meteoritos permaneceram inalterados desde sua formação, a cerca de 4,56 Ga (Connelly et al., 2012). No caso dos meteoritos condriticos esses registros compreendem o desenvolvimento do Sistema Solar primitivo e dos planetas telúricos, marcando um padrão composicional que se aproxima da abundância de elementos presentes no Sistema Solar. Portanto, analisar a petrografia e a mineralogia de meteoritos condriticos nos permite decifrar o registro único da origem e evolução de cada exemplar, corroborando para uma compreensão cada vez mais sólida do Sistema Solar e de seus modelos evolutivos.

2. OBJETIVOS

Esse projeto teve por finalidade a análise química e petrográfica de um meteorito condritico NWA (Northwest Africa) encontrado no deserto do Saara e que ainda não havia sido classificado, de 17,3g, doado pelo colecionador Alessandro Takeda, e preliminarmente denominado "Takeda2". O objetivo esteve centrado na realização de descrições petrográficas, mineralógicas e químicas, de forma a classificar o meteorito conforme os parâmetros atuais, e compreender os principais eventos de sua história, relacionando-o à dinâmica de formação dos meteoritos no Sistema Solar primitivo e comparando-o com meteoritos já conhecidos. Com o término da pesquisa, um dos fragmentos do meteorito será depositado no Museu de Geociências do IGC-USP e em breve a classificação resultante será submetida ao banco de

dados da Meteoritical Society, recebendo assim um nome definitivo, geralmente um número sequencial para os meteoritos NWA (por exemplo, NWA11273). Para realizar essa classificação, foram conduzidas análises com o uso de microscópio óptico, microscópio eletrônico e microsonda eletrônica.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Taxonomia e classificação de meteoritos condriticos

De acordo com o sistema de classificação atual de meteoritos (Krot et al., 2007, 2014, Rubin & Ma, 2021) os condritos podem ser divididos hierarquicamente em classes, clãs e grupos (Figura 1). Por convenção, para que condritos similares sejam reunidos em um grupo, é preciso que existam no mínimo cinco meteoritos que não sejam pareados, ou seja, que não sejam partes de um mesmo meteorito que se fragmentou na queda, mas que tenham mineralogia, características petrográficas, propriedades isotópicas e composições químicas semelhantes — em termos de elementos não voláteis. Até o presente momento, 15 grupos de condritos são reconhecidos, sendo que 13 fazem parte das seguintes classes principais: os carbonáceos (C), os ordinários (O) e os enstatita (E). Essas classes representam respectivamente 4,67%, 93,83% e 1,03% dos condritos já documentados até o momento, enquanto os 0,47% restantes correspondem aos condritos Rumuruti (R) e Kakangari (K) que não fazem parte de nenhuma das três classes por conta de suas características únicas (Meteoritical Bulletin Database, 2023). Diversos condritos são mineralogicamente ou quimicamente únicos e não cumprem com os requisitos para constituir um grupo, esses são chamados de condritos não agrupados (Krot et al., 2007, 2014; Rubin & Ma, 2021).

Existem oito grupos bem definidos de condritos carbonáceos e as letras que designam cada grupo se referem geralmente a um condrito típico do conjunto (Figura 1): CI (Ivuna), CM (Mighei), CO (Ornans), CR (Renazzo), CH (ALH 85085), CB (Bencubbin), CV (Vigarano) e CK (Karoonda); a exceção a esta regra é o grupo CH, no qual o 'H' se refere à alta abundância de metais e alta concentração de ferro (Bischoff et al., 1993; Scott & Krot, 2014). Os condritos ordinários são divididos em três grupos, sendo que cada grupo pode derivar de diferentes famílias de asteroides: H, L e LL; onde cada uma das letras designam os teores de ferro presentes na rocha: H para alto teor de ferro total; L para baixo teor de ferro total; e LL para baixo teor de ferro total, além de baixo teor de ferro metálico (Krot et al., 2014). Os condritos enstatíticos compreendem dois grupos com diferentes teores de ferro metálico, EH para alto teor de ferro total e EL para baixo teor de ferro total; e um condrito E não agrupado, LEW 87223 (Grossman et al., 1993; Krot et al., 2014).

Os clãs são uma ordem de classificação mais alta que os grupos, em termos gerais eles definem conjuntos de grupos que possuem composições semelhantes e que provavelmente se formaram aproximadamente ao mesmo tempo. Existem quatro clãs de condritos carbonáceos reconhecidos: o clã CR, que inclui CR, CH, CB e um único condrito

LEW 85332; o clã CM–CO; o clã CV–CK; e o clã CI (Kallemeyn, 1996; Krot et al., 2002; Scott & Krot, 2014). E três clãs constituindo os condritos não carbonáceos: O-R, E e K (Scott & Krot, 2014).

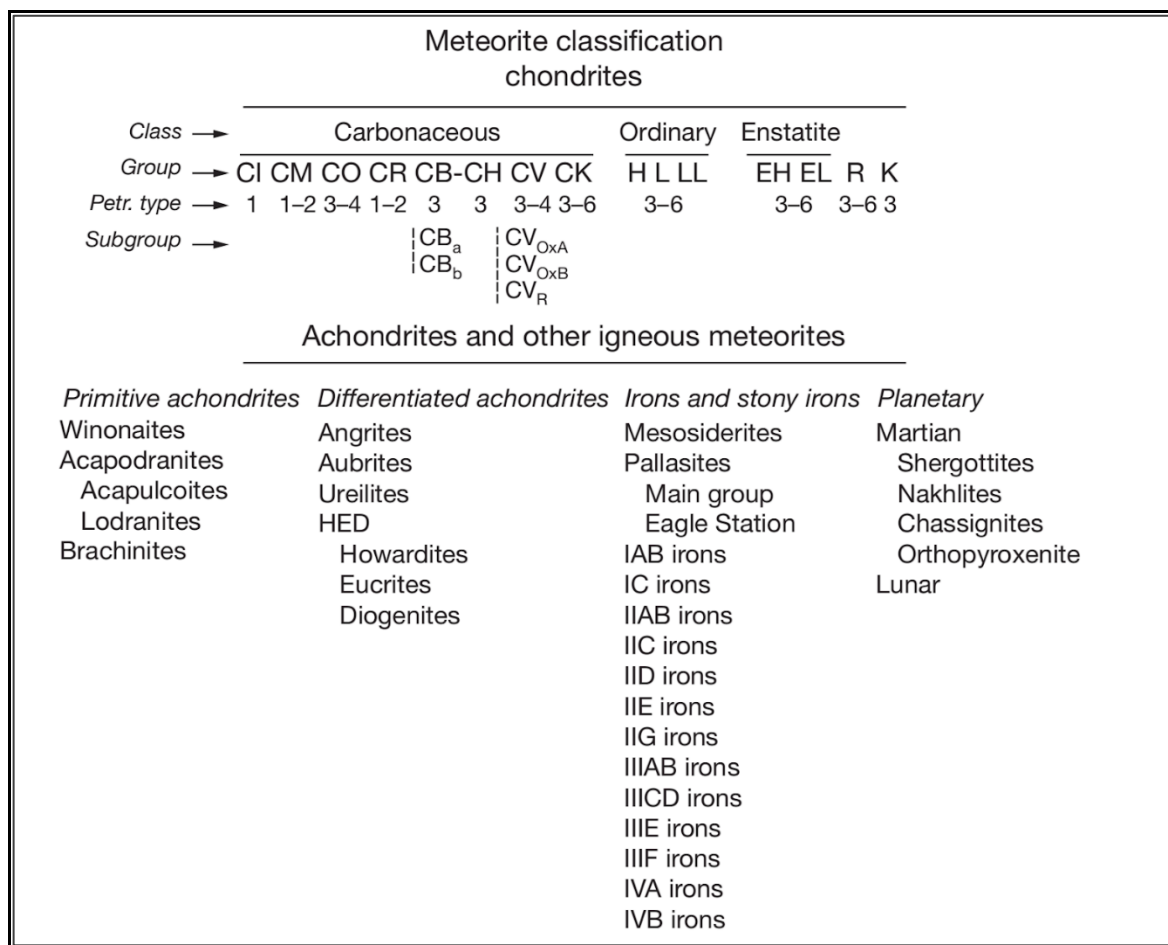


Figura 1: classificação de meteoritos retirada de Krot et al. (2014), com exceção dos meteoritos não agrupados.

3.2. Componentes dos meteoritos condríticos e sua mineralogia

A classe dos meteoritos condríticos é caracterizada por quatro componentes principais: côndrulos, ligas de Fe-Ni, inclusões refratárias e uma matriz de granulação fina. Os trabalhos de Scott & Krot (2014) e Rubin & Ma (2021) descrevem bem cada um desses componentes.

Os côndrulos são partículas de texturas ígneas compostos principalmente por cristais de olivina (Ol) e piroxênio (Px) com baixo teor de cálcio, geralmente dispostos em uma matriz vítrea ou microcristalina. Já a matriz da região intercôndrulo, conhecida por mesóstase, corresponde ao material intersticial finamente granuloso ou vítreo que é formado por último dentro das partículas ígneas. Além disso, os metais e sulfetos mais comuns costumam ser kamacita (Ka), taenita (Tae) e troilita (Tro). Ademais, Scott & Krot (2014) e Rubin & Ma (2021) estruturam de maneira bem abrangente a diversificação textural dos côndrulos e de seus componentes. Dentre as texturas mais observadas estão: olivina barrada (BO); olivina porfírica (PO); olivina-piroxênio porfíricos (POP); piroxênio porfírico (PP); piroxênio radial (RP); côndrulos criptocristalinos (CC); e olivina-piroxênio granular (GOP).

Os côndrulos também podem ser divididos em dois tipos principais: os porfiríticos, que possuem núcleos bem desenvolvidos de olivina e/ou piroxênio em uma matriz de granulação fina ou vítrea, compreendendo as texturas PO, PP e POP; e os não porfiríticos, que abrangem as texturas BO, RP, CC e GOP. Os côndrulos porfiríticos são classificados em tipo I, que seriam aqueles pobres em FeO que não passaram por metamorfismo, e tipo II, que são aqueles ricos em FeO. Os tipos I e II são subdivididos em subtipos A (ricos em olivina, >90 por cento modal de olivina) e B (ricos em piroxênios, >90 por cento modal de piroxênio), ou AB (Scott & Krot, 2014).

As inclusões refratárias podem ser ricas em cálcio e alumínio (CAIs) ou agregados ameboides de olivina (AOAs), e são produtos de processos de altas temperaturas, descritos como os primeiros materiais precipitados durante o processo de condensação da nuvem de gás e poeira durante do Sistema Solar primitivo. Essas inclusões variam de micrômetros a centímetros. Os CAIs são compostos de minerais quase restritos a eles, como espinélio, melilita, hibonita, coríndon, grossita, perovskita e diopsídio rico em Al e Ti, podendo existir raros grãos isolados de coríndon, espinélio e hibonita nas porções da matriz. Os AOAs consistem de finos grãos de forsterita, ± piroxênio de baixo teor de Ca, Fe-Ni metálico e um componente refratário que envolve Al-diopsídio, anortita, espinélio e raramente melilita. Grãos metálicos de Fe-Ni podem surgir no interior ou no exterior de côndrulos. O material da matriz é rico em voláteis e costuma apresentar granulação fina (10 nm–5 mm), bordejando os outros componentes condriticos e preenchendo os interstícios. As matrizes de condritos podem ser compostas por diversos minerais: a maioria são misturas em desequilíbrio de silicatos hidratados e anidros, óxidos, Fe-Ni metálico, sulfetos e hidrocarbonetos de origem inorgânica, além de raros grãos pré-solares, sendo os dois últimos de ocorrência quase exclusiva nos meteoritos carbonáceos (Scott & Krot, 2014).

3.3. Parâmetros de classificação

3.3.1. Classificação de condritos ordinários (OC)

Como mencionado, os condritos ordinários são divididos em três grupos: H, L e LL; onde cada letra designa os teores de ferro presente na rocha. Os condritos ordinários podem ser subdivididos em grupos a partir da proporção de seus componentes médios (tabela 1) e a partir da relação Fa (mol %) e Fs (mol %) (tabela 2).

Características	H	L	LL
CAI+AOA (vol%)	<0,1	<0,1	<0,1
Côndrulos (Vol%)	60-80	60-80	60-80
Matriz (Vol%)	10-15	10-15	10-15
Metal (Vol%)	8,4	4,1	2,0
Diâmetro médio de côndrulos (mm)	0,3	0,7	0,9

Tabela 1: componentes dos grupos dos meteoritos ordinários. Retirado de Krot et al. (2014).

Além dessas relações, os condritos H, L e LL também podem ser categorizados a partir de gráficos de covariância Fa (mol %) Vs Fs (mol %). Grady et al. (2014) apresentam diagramas com campos obtidos a partir de nuvens de dados correspondentes a meteoritos ordinários já classificados. Os autores também trazem diagramas ternários voltados para composição dos piroxênios, categorizando campos de maior ou menor homogeneidade química, isto é, de menor ou maior equilíbrio químico.

Tipo petrológico	4-6	4-6	3-6
Fase mineral	Fa (mol %) da olivina	Fs (mol %) do piroxênio de baixo Ca	Ka/Tae (modal)
H	18,8	17,2	5
L	24,7	21,3	1
LL	29,4	24,1	0,4

Tabela 2: variação sistemática em termos de média das fases minerais de olivina e piroxênio baixo Ca, e razão modal Kamacita/Taenita. Dados obtidos por Rubin (1990) e Afiattalab & Wasson (1980), tabela retirada de Rubin & Ma (2021).

3.3.2. Classificação de tipos petrológicos

Todos os condritos já foram modificados de alguma forma por processos geológicos em asteroides. Em termos de metamorfismo, três processos principais podem ser citados: alterações aquosas e hidrotermais de baixa temperatura, metamorfismo térmico e metamorfismo por impacto. A fonte de calor mais importante para a alteração e metamorfismo dos condritos foi o calor do decaimento do ^{26}Al ; impactos também fornecem energia cinética e podem promover calor suficiente para gerar metamorfismo, mas essa possibilidade depende da proporção do tamanho de cada asteroide. As alterações aquosas e hidrotermais costumam afetar os meteoritos carbonáceos, já o metamorfismo termal costuma operar em condritos enstatíticos e ordinários (Scott & Krot, 2014).

Krot et al. (2014) menciona que Van Schmus & Wood (1967) introduziu o sistema de classificação que leva em conta o grau de alteração termal e aquosa de meteoritos. Nesse sistema os condritos são divididos em 6 tipos petrológicos (ou petrográficos), formulados em uma sequência que vai do tipo 3 ao tipo 6. Essa sequência representa o avanço do equilíbrio químico e de texturas de recristalização, indo dos “não equilibrados”, com texturas ígneas, indicados pelo tipo 3 aos completamente “equilibrados”, com texturas metamórficas, indicados pelo tipo 6. Por outro lado, os tipos 1 e 2 representam alterações aquosas de baixa temperatura, com o tipo 1 tendo um grau maior de alteração aquosa em comparação com o tipo 2, a julgar principalmente pela abundância de silicatos hidratados. Krot et al. (2014) também cita que Sears & Dodd (1988) propuseram mudanças a esse sistema e que Rubin et al. (2007) associa o tipo 1 àqueles meteoritos cujos côneculos foram totalmente alterados. Os parâmetros de classificação mais atuais se encontram na tabela 3, retirada de Rubin & Ma (2021).

Categoria	Parâmetros	Tipo Petrográfico																			
		3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4	5	6							
Textura	Integração textural de cóndrulos	Nenhuma										Incipiente	Discernível	Menor	Moderada	Extensiva					
	Aparência do cóndrulo	Muito bem definida												Bem definida	Facilmente delineável	Pobremente delineável					
Material feldspático	Textura da mesóstase do cóndrulo	Aumento da densidade de cristallitos												Cada vez mais recristalizado							
	Vidro isotrópico	Comum		Menos comum		Raro							Ausente								
	Mesóstase de cóndrulos Tipo I	Albita modal incomum										Albita modal presente			Mesóstase ausente						
	Mesóstase de cóndrulos Tipo II	Albita rara										Aumento da albita modal		Albita modal presente					Mesóstase ausente		
	Feldspato secundário (µm)	Tamanho submicrométrico										2			2-25		50-150				
	PMD de FeO	>33										15-33		5-15			<5				
Olivina	Cóndrulo tipo I	FeO<2 wt% CaO>0.3 wt% comum		Aumento de FeO para valor de equilíbrio CaO diminui para valor de equilíbrio							FeO próximo do equilíbrio CaO próximo do equilíbrio			FeO uniforme CaO uniforme							
	Cóndrulo tipo II	FeO converge para valor de equilíbrio										FeO próximo do equilíbrio			FeO uniforme						
Piroxênio	PMD de FeO piroxênio de baixo Ca	Cr2O3 >0.3 wt%		Cr2O3 heterogên eo		Cr2O3<0.1 wt%					>30		20-30		5-20		<5				
	Estrutura de piroxênio de baixo Ca	Principalmente monoclínica										Mista			Ortorrômbica						

Tabela 3: classificação petrológica de meteoritos extraída de Rubin & Ma (2021). Dados obtidos segundo os trabalhos de Van Schmus & Wood (1967), atualizada por Sears & Dodd (1988) e por Rubin & Ma (2021). PMD = percent mean deviation, modificado de Dodd et al. (1967) por Rubin & Ma (2021).

Tamanho de grãos de piroxênio de Ca (µm)	Principalmente grãos submicrométricos na mesóstase do côndrulo				<1	2-5	5-30
Fosfatos	Alguns ricos em Na e Fe	Ricos em Ca, aumento da abundância modal e tamanho de grão		Ricos em Ca, grãos grandes			
Cromita	Grãos minúsculos na mesóstase do côndrulo e dentro de fenocristais de olivina		Grãos de tamanho moderado	Grãos grosseiros			
Composição de kamacita	Alta heterogeneidade de Co	Moderada heterogeneidade de Co	Baixa heterogeneidade de Co				
P-, Cr-, Si portadora							
P-, Cr-, Si-livre							
Tamanho médio do grão de kamacita (µm)	~20-80		~50-100	~100-300	~100-300	~100-300	~100-300
Tamanho médio do grão de troilita (µm)	~20-80		~20-100	~20-150	~20-150	~20-150	~20-150
Taenita	Sem zonamento		Zonada				
carboneto e magnetita	Comum	Presente	Raro a ausente				

Tabela 3 (continuação): classificação petrológica de meteoritos extraída de Rubin & Ma (2021). Dados obtidos segundo os trabalhos de Van Schmus & Wood (1967), atualizada por Sears & Dodd (1988) e por Rubin & Ma (2021). PMD = *percent mean deviation*, modificado de Dodd et al. (1967) por Rubin & Ma (2021).

3.3.3. Classificação do metamorfismo de choque

O grau de metamorfismo de choque registrado em um condrito é determinado a partir de uma variedade de parâmetros mineralógicos e texturais (Scott et al., 1992; Stöffler et al., 1991; Krot et al., 2014). Segundo Krot et al. (2014) o esquema de classificação de Stöffler et al. (1991) baseia-se nos efeitos de choque observados em olivinas e plagioclásios; como a olivina é rara em condritos enstatíticos, Rubin & Scott (1997) adicionaram o ortopiroxênio a esse sistema de classificação. Os estágios de choque se encontram na (Tabela 4).

Estágios de choque	Descrição	Efeito resultante a partir do pico de equilíbrio da pressão de choque			Pressão de choque (GPa)
		Olivina	Plagioclásio	Ortopiroxênio	
S1	Sem choque	Extinção reta, fraturas irregulares	Extinção reta, fraturas irregulares	Extinção reta, fraturas irregulares	<4-5
S2	Choque muito fraco	Extinção ondulante, fraturas irregulares	Extinção ondulante, fraturas irregulares	Extinção ondulante, fraturas irregulares e algumas planares.	5-10
S3	Choque fraco	Extinção ondulante, fraturas irregulares, fraturas planares	Extinção ondulante	Lamelas de clinostatita em (100), extinção ondulante, fraturas planares e irregulares.	10-20
S4	Choque moderado	Fraco mosaicismo, fraturas planares	Extinção ondulante, parcialmente isotrópica	Fraco mosaicismo, fraturas planares, lamelas de clinostatita em (100),	20-35
S5	Choque intenso	Forte mosaicismo, fraturas planares,	Formação de masquelinita	Forte mosaicismo, fraturas planares	35-60
S6	Choque muito intenso	Recristalização em estado sólido, presença de ringwoodita, fusão	Fusão por choque (vidro comum)	Majorita, fundido	>45
S7	Fusão gerada por choque	Rocha inteiramente fundida (rochas fundidas por impacto e brechas fundidas)			

Tabela 4: classificação dos meteoritos segundo o grau de choque, retirada de Krot et al. (2014) e Rubin & Ma (2021), baseada em Stöffler et al. (1991, 2018), Rubin (2015), Rubin et al. (1997) e Izawa et al. (2011).

Para os meteoritos de baixo estágio de choque a classificação do metamorfismo se baseia principalmente na temperatura de equilíbrio dos minerais (McSween & Patchen, 1989; Scott & Krot, 2014). Mas para os meteoritos de alto estágio de choque Scott & Krot (2014) argumentam que é preciso estruturar a análise com base nas principais revisões voltadas para esses materiais. Assim, o autor indica as revisões de Stöffler et al. (1991) para meteoritos ordinários, as revisões de Scott et al. (1992) para condritos carbonáceos e as revisões de Rubin & Scott (1997) para os condritos enstatíticos,

3.3.4. Classificação de intemperismo

A classificação do grau de Intemperismo terrestre é muito utilizada para descrever achados, isto é, quedas cujas trajetórias não foram observadas e que estiveram sujeitas às condições intempéricas da Terra. Para descrever o intemperismo desses materiais são usados dois esquemas de classificação: um para amostras de mão (baseado em meteoritos

antárticos) e outro para seções polidas. As categorias de intemperismo para amostras de mão são: A- oxidação leve; B oxidação moderada; C oxidação intensa; e E minerais evaporíticos visíveis a olho nu (e.g., Grossman, 1994; Krot et al., 2014). Wlotzka (1993) sugeriu os seguintes estágios de alteração progressiva para meteoritos em seções polidas: W0 sem oxidação visível de metal ou sulfetos; W1 pequenos veios e anéis de óxidos bordejando metais e troilita; W2 oxidação moderada substituindo 20-60% dos metais; W3 oxidação intensa de metais e troilita, com 60-95% de substituição; W4 oxidação completa dos metais e troilita, mas sem oxidação de silicatos; W5 início da alteração de silicatos máficos, principalmente ao longo de fissuras; e W6 substituição maciça de silicatos por argilominerais e óxidos (Krot et al., 2014).

3.3.5. Classificação de brechas meteoríticas

As brechas meteoríticas são resultado de impactos entre corpos do Sistema Solar, formando agregados cimentados por fragmentos que derivam de várias gerações de rochas. Existem então as brechas ditas genômicas constituídas por clastos oriundos do mesmo grupo de meteoritos e as brechas polimíticas constituídas por clastos e/ou a matriz pertencentes a diferentes grupos de meteoritos (Tabela 5) (Krot et al., 2014). Os trabalhos de Bischoff et al. (2006) e Bischoff et al. (2018) resumizam e discutem de forma detalhada os diferentes tipos de brechas, explorando a origem de cada exemplar e a evolução de seus corpos parentais. Quando o meteorito se trata de uma brecha é preciso classificar cada fragmento ou grupo de fragmentos de modo separado, isto é, grau de metamorfismo, tipo petrológico, assembleias minerais, e assim por diante.

Brechas	Descrição/constituintes	Exemplos de meteoritos
Primitiva, brechas acrecionárias	Constituintes (incluindo clastos) unidos durante a acreção.	Allende (CV3), leoville (CV3), Sharps (H3)
Brechas genômicas	Matriz e clastos de mesmo grupo composicional, mas de diferentes tipos metamórficos ou histórias de alteração.	Millbillie (euc.), Noblesville (H4-6)
Brechas regolíticas	Componentes líticos oriundos da superfície de corpos parentais (contém gases de ventos solares, rastros de "solar-flares", etc)	Adzhi-Bogdo (LL3-6), Kapoeta (how.), Murchison (CM2), Nogoya (CM2); Rumuruti (R3-6)
Brechas clásticas	Fragmentos detríticos sem propriedades regolíticas (gases solares, rastros)	Norton Country (aub.), Dhurmsala (LL6), Siena (LL5)
Brechas fundidas por impacto	Rochas fundidas por choque com clastos não fundidos.	Shaw (L6), Chico (L6), NWA 1498 (H4), Abee (EH4), Dag 896 (ungr. Achon.)
Brechas granulíticas	Brechas de alto grau metamórfico	Camel Donga (euc.), Asuka 881388 (euc.), Cabezo de mayo (L/LL6)
Brechas polimíticas	Fragmentos líticos de vários tipos; clastos e/ou matriz possuem composições diferentes.	Howarditos, eucritos polimíticos (e.g. Petersburg)
Brechas monomíticas	Matriz e clastos de mesma classe e tipo	Norton Country (aub.), Bloomington (LL6), Stannern (euc.)

Tabela 5: classificação de brechas meteoríticas, retirada de Krot et al. (2014).

Brechas dimíticas	Composto por duas litologias	Cumberland Falls (aub), FRO 93008 (ure.)
<i>Componentes</i>		
Fragmentos de xenólitos	Clastos geneticamente não relacionados a rocha mãe	Clastos CM em hawarditos (e.g., Kapoeta, LEW 85300)
Clastos de mesma origem	Clastos líticos relacionados a rocha mãe	Clastos de outros tipos petrológicos.
Clastos de brechas fundidas por impacto	Clastos fundidos por impacto com detritos não fundidos	
Clastos fundidos por impacto	Somente fragmentos fundidos por impacto	
Inclusões escuras (fragmentos)	Fragmentos opticamente escuros sem significado genético (brechas clásticas de granulação fina, fragmentos de classe-C em brechas meteoríticas, etc)	Clastos tipo C em HEDs

Tabela 5 (continuação): classificação de brechas meteoríticas, retirada de Krot et al. (2014).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O objeto de pesquisa é o meteorito de nome provisório NWA Takeda2 (Figura 2). Este foi encontrado no deserto do Saara, comprado pelo colecionador Alessandro Takeda e que teve recentemente uma alíquota doada pelo seu dono para pesquisa no IGc-USP. Originalmente a amostra pesava 17,5g e após ser seccionada em 3 partes passou a pesar 16,3g (10.705g, 3.256 g e 2.296g). A maior parte do exemplar retornou ao colecionador, a parte intermediária foi destinada ao acervo do Museu de Geociências e a menor foi utilizada para confecção da lâmina delgada utilizada neste estudo.



Figura 2: fotografias de alta resolução do meteorito condritico NWA Takeda2 (frente e verso).

4.1. Petrografia por microscópio óptico, luz transmitida

As descrições petrográficas por microscopia óptica foram realizadas no Laboratório Didático de Microscopia Petrográfica (LDMP) do IGc-USP, que comporta microscópios petrográficos binoculares modelo Olympus BXP-40, equipados com objetivas Pol de 4X, 10X

e 40X/50X. A princípio, foi feita uma descrição macroscópica da amostra de mão, buscando traçar as características visíveis a olho nu. Em seguida, buscou-se realizar uma análise petrográfica detalhada através de microscopia óptica e uma seleção de possíveis alvos para a etapa de microscopia eletrônica (Figura 3). Com as primeiras descrições concluídas foram salvas fotomicrografias das feições de interesse.

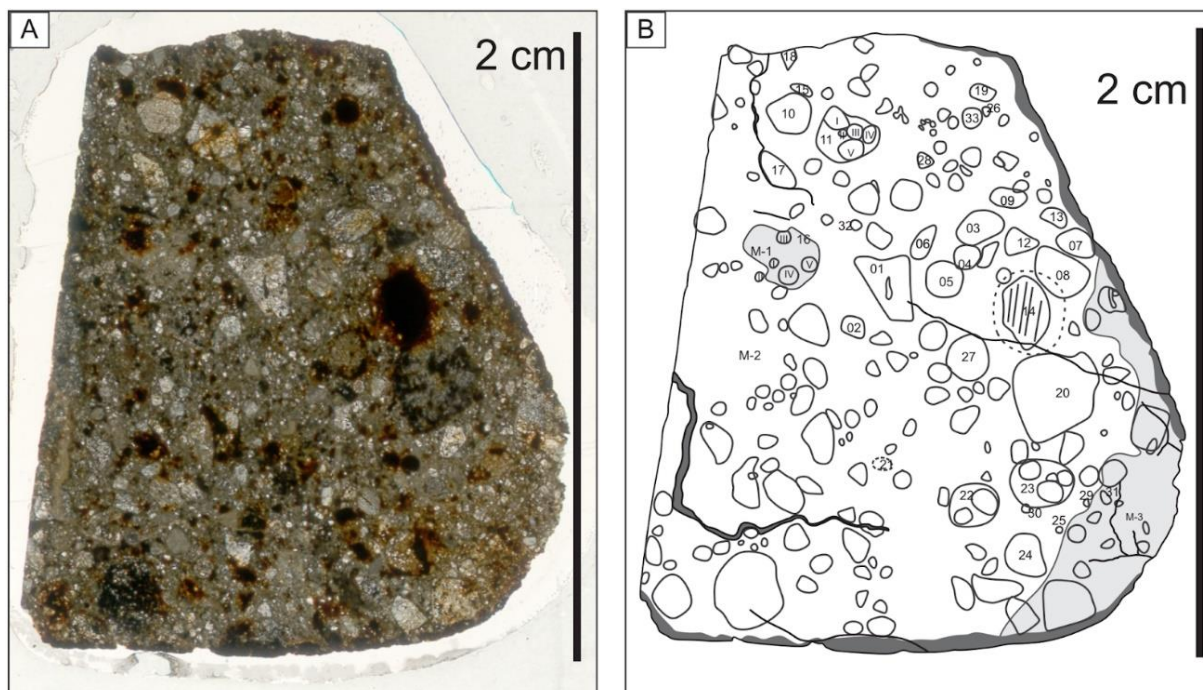


Figura 3: (A) imagem escaneada em luz transmitida. (B) croqui da lâmina delgada com os alvos selecionados.

4.2. Microscopia Eletrônica De Varredura (MEV) e Microanálises por Microsonda Eletrônica (EPMA)

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica da Central Multiusuário Geoanalítica do IGc-USP, onde está instalado o modelo de microsonda eletrônica JEOL JXA-8230 field-emission equipado com cinco espectrômetros WDS. O equipamento fornece microanálises in situ de materiais sólidos, como minerais, ligas, cerâmicas, vidros, e etc. Essas análises podem ser qualitativas/semiquantitativas e quantitativas. A técnica consiste na incidência de um feixe de elétrons acelerados que atinge a superfície de uma amostra polida e a partir dessa interação são gerados diversos tipos de radiação, que permitem a geração de imagens de elétrons secundários (SE) ou retroespalhados (BSE). Para as imagens BSE, cada pixel representa a intensidade dos elétrons retroespalhados, quanto maior o número atômico do elemento maior será a intensidade representada nos pixels (Gomes, 2015; JEOL, 2019).

Já nas microanálises quantitativas por dispersão de comprimento de onda (WDS) é medida a intensidade da radiação emitida pela amostra e comparada com aquelas geradas a partir de um padrão de composição química conhecida. A microsonda eletrônica JEOL JXA-8230 possui cinco espectrômetros WDS, e cada espectrômetro está acoplado a cristais

analisadores que difratam os raios X formando um certo ângulo de desvio entre o feixe de radiação incidente e o detector (Gomes, 2015; JEOL, 2019). Para as análises foram estabelecidos os seguintes parâmetros: corrente de aceleração do feixe de 20,00 nA e potencial de aceleração do feixe de 15,0 kV, a exceção dos mapas composicionais de EDS que utilizaram 100 nA de corrente. Para as análises WDS foi fixado o diâmetro do feixe em 3-5µm, utilizado as correções de matriz segundo o método CITZAF de Armstrong (Armstrong, 1995) e utilizado padrões de minerais naturais, óxidos ou elementos puros, disponíveis no laboratório.

Além das análises pontuais, foram selecionadas duas áreas de interesse para a produção de mapas composicionais EDS (Figura 4 e 5). Os mapas realçam o padrão de distribuição dos elementos e por consequência também realçam os padrões texturais e minerais. O mapa 01 foi gerado a partir da área 01 (canto superior da Figura 3A) e possui 705x626 pixels, cada pixel possui um tamanho de 13,00 µm; o mapa 02 foi gerado a partir da área 02 (canto inferior direito da Figura 3A) e possui 489x721 pixels, cada pixel possui um tamanho de 10,00 µm. Ambos foram calibrados com uma corrente de aceleração de feixe = 100,00 nA e 5 varreduras acumuladas com 20 ms em cada uma delas. Os mapas composicionais e os produtos associados (como imagens RGB:Mg/Ca/Al, RGB:Fe/Ni/S e de contagens) foram anexados ao documento.

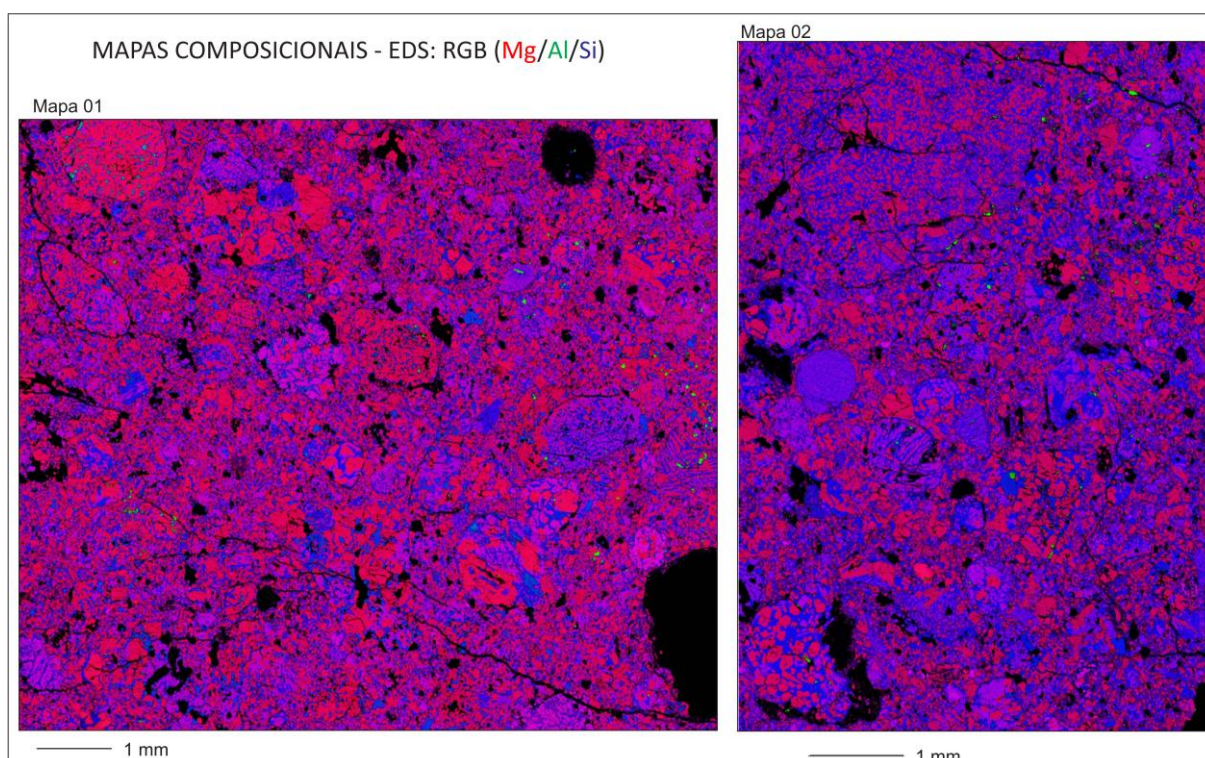


Figura 4: mapas composicionais – EDS: (RGB)(Mg/Al/Si).

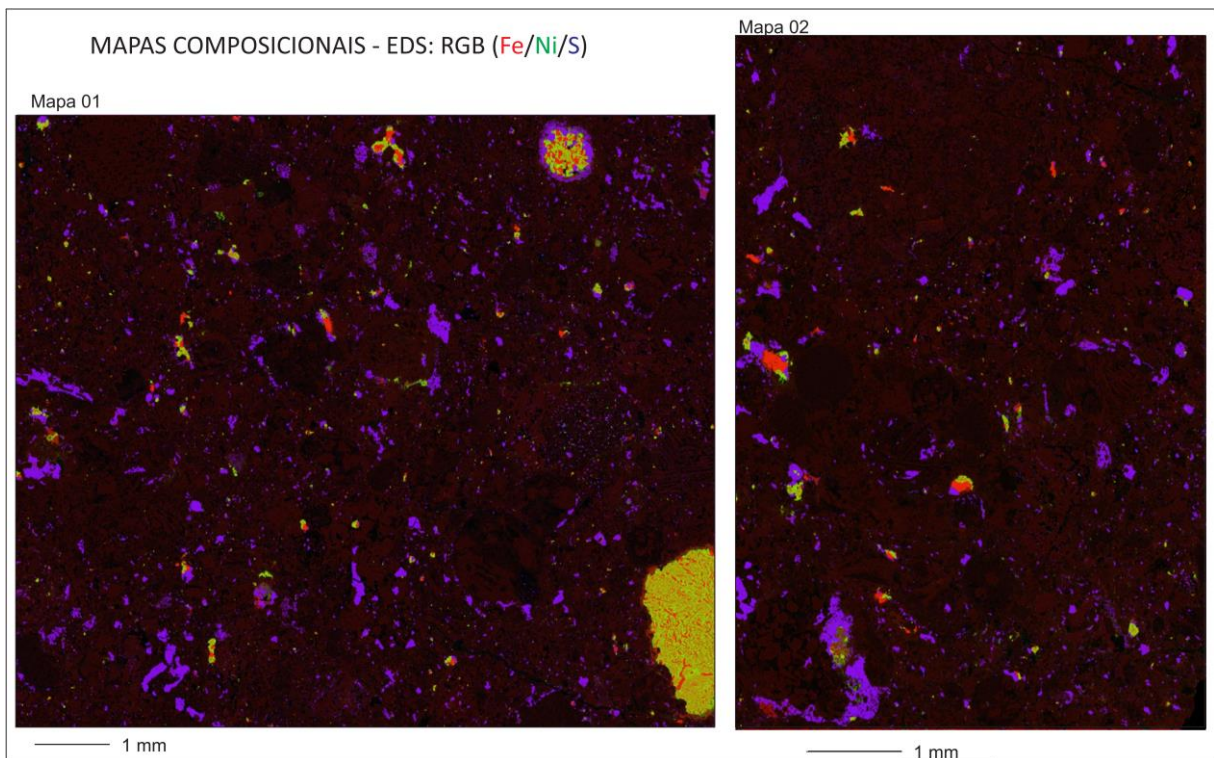


Figura 5: mapa composicional EDS (RGB)(Fe/Ni/S).

4.3. Tratamento de dados

As fórmulas estruturais dos grupos minerais, como olivina, piroxênio, feldspato e espinélio, foram calculadas usando o software MINPLOT (Walters, 2022). Os membros finais de cada componente mineral, determinados por análises *in situ*, estão disponíveis no Anexo 2. Além disso, as abreviaturas de nomes dos minerais mencionados ao longo do texto seguem os símbolos de minerais aprovados pelo IMA (Warr, 2021), exceto pelas seguintes abreviaturas: mesóstase (Me), piroxênio cálcico (Ca-Px) e kamacita (Ka).

Além das fórmulas estruturais, outro parâmetro relevante para a química mineral e a classificação petrográfica é o *percent mean deviation* (PMD). O PMD se refere ao desvio padrão médio em porcentagem do FeO nas olivinas e piroxênios. A abordagem adotada aqui segue o método proposto por Dodd et al. (1967) e modificado por Rubin & Ma (2021). De acordo com esses autores, o PMD é determinado da seguinte maneira:

$$\text{PMD} = \frac{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|\right)}{\bar{x}} \times 100$$

Onde n é o número de análises, x_i o teor de FeO (wt%) de cada análise e \bar{x} a média de FeO (wt%) em relação a todas as análises.

Os gráficos e as análises estatísticas foram gerados utilizando a plataforma Google Colab. Os scripts não são de autoria exclusiva deste trabalho, são uma compilação de códigos originais e adaptados provenientes de diversas plataformas e de fóruns de programação.

Todo o processamento de dados pode ser consultado via link de acesso: <https://tinyurl.com/ColabTakeda2>.

Para análise estatística da proporção de componentes principais dos mapas composicionais foi utilizado o software ENVI 5.3, onde é possível gerar mapas de agrupamento e contagem por pixel.

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1. Petrografia

O meteorito, provisoriamente denominado NWA Takeda2, corresponde a uma brecha condrítica composta por diversos tipos de clastos. Esses clastos abrangem côneulos bem arredondados, côneulos com bordas rompidas, pequenos fragmentos de côneulos, clastos líticos angulosos e fragmentos de minerais (Figuras 3, 4 e 5). Os clastos apresentam limites que variam de bem definidos a moderadamente bem definidos (2,60-0,20 mm), associados a uma matriz clástica seriada fina a muito fina (0,2-0,001 mm). Os contornos de cada um desses componentes são facilmente distinguíveis pelo microscópio petrográfico, pelo microscópio eletrônico de varredura (MEV) e pelos mapas composicionais EDS. Adicionalmente, fraturas, fases opacas e diferentes tipos de texturas também se mostram nítidas. Porém, devido a espessura da seção delgada (50- 70 μ m) os cristais de olivina e piroxênio apresentam cores de interferência muito próximas, portanto as descrições realizadas através do microscópio petrográfico foram revisadas junto aos resultados obtidos pela microscopia eletrônica.

Em uma estimativa visual, o condrito possui cerca de 55% em volume de matriz clástica, 35% em volume de côneulos clásticos, 2,27% em volume de ligas Fe-Ni e 6,13% em volume de Fe-S, além de minerais acessórios como <1% cromita, <1% merrillita e <1% apatita. A maioria dos côneulos apresentam texturas tipo POP (olivina-piroxênio porfíricos), PP (piroxênio porfírico) e PO (olivina porfírica), apesar de também ocorrerem texturas tipo BO (olivina barrada), C (criptocristalina) e GOP (olivina-piroxênio granular) (Tabela 6; Figuras 6 e 7). Ocasionalmente foram identificados côneulos com texturas pouco correntes, tais como BOP (olivina-piroxênio barrados), GP (piroxênio granular) e outras texturas distintas das que foram encontradas na literatura, apresentando proporções minerais diferentes das usuais e/ou características de desequilíbrio mineral. Além disso, também foram identificados veios de choque preenchidos por calcita, constituindo uma malha contínua de fraturas que permeia quase toda a rocha (Figura 11F).

Quanto ao grau de intemperismo, em amostra de mão pode ser classificado como tipo A (oxidação leve) e através da microscopia óptica como tipo W1, caracterizada por pequenos veios e anéis de óxidos bordejando metais e troilita (e.g., Wlotzka, 1993, Grossman, 1994; Krot et al., 2014).

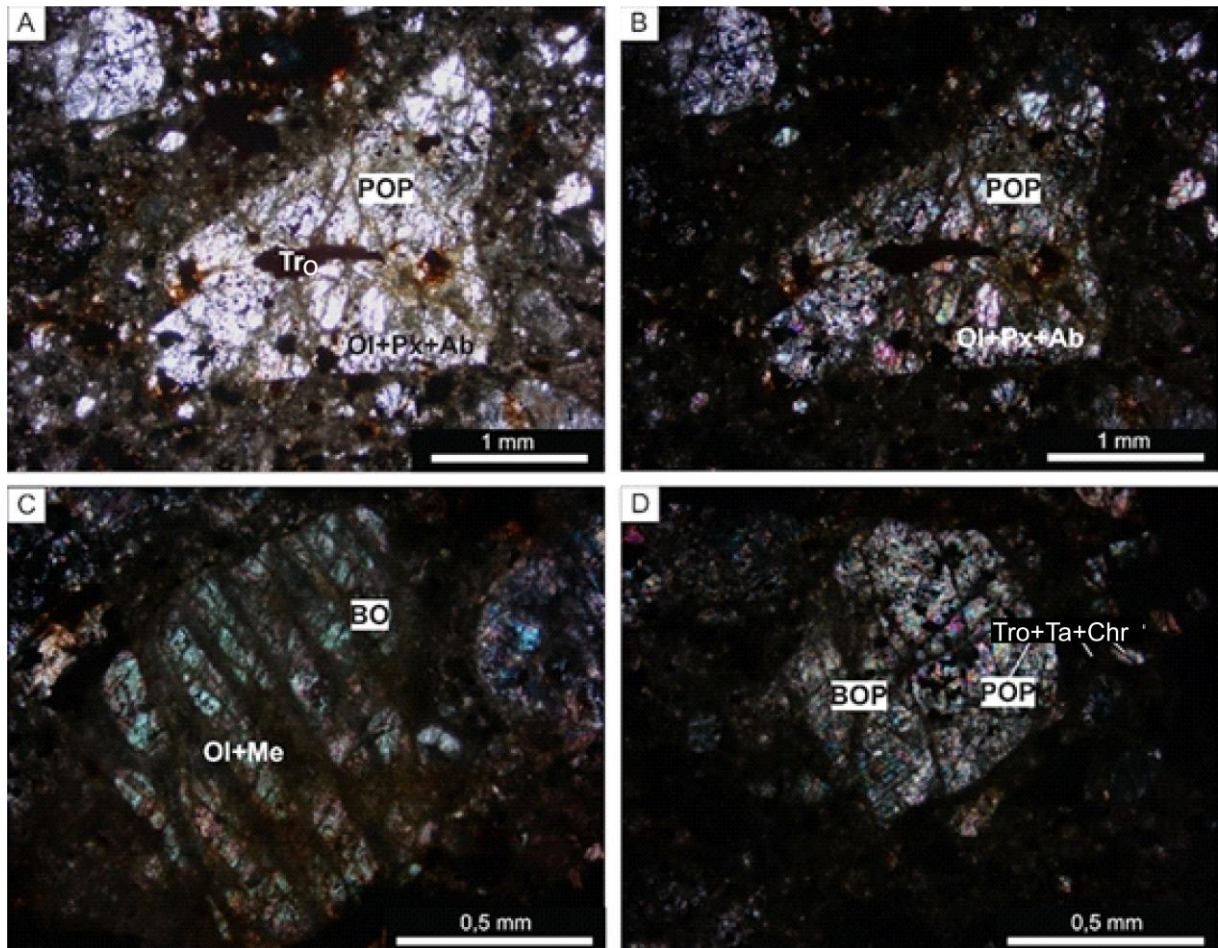


Figura 6: Fotomicrografias do meteorito condrítico NWA "Takeda2". (A) (luz polarizada) e (B) (polarizadores cruzados) alvo 01, clasto anguloso com textura POP em matriz clástica fina a muito fina, com diâmetro máximo de 2,6 mm e inclusões metálicas de troilita. (C) (polarizadores cruzados) alvo 07, côneulo com textura BO (1,08 mm) sem inclusões metálicas. (D) (polarizadores cruzados) alvo 02, côneulo apresentando duas texturas (0,75 mm), onde o lado esquerdo é definido pela textura BOP e o lado direito pela textura POP.

Todos os côneulos e clastos porfiríticos observados são do tipo II, isto é, $Fa > 10\%$ (Scott & Krot, 2014); a maioria pode ser classificada como tipo IIAB (Ol+Px) e IIA (Ol > 90%) (Tabela 6). Quanto aos côneulos não porfiríticos, foi constatada a presença de um côneulo tipo GP (piroxênio granular) no qual a orientação dos grãos se assemelha a textura RP (piroxênio radial) (Figura 7); também foi localizado apenas um côneulo bem desenvolvido tipo C (criptocristalino) e um fragmento anguloso localizado tipo C apresentando zonamento químico, ambos com lamelas nanométricas de composição distinta. Côneulos tipo BO (olivina barrada) e BOP (olivina-piroxênio barrados) não são frequentes, com apenas 5 ocorrências observadas. A Tabela 6 relaciona os tipos de côneulos e suas texturas em relação a cada alvo.

Como esperado para condritos ordinários (Tabela 1), não foram localizadas inclusões tipo CAIs (inclusões refratárias ricas em cálcio e alumínio) ou AOAs (agregados amebóides de olivina), apenas um único cristal euédrico bem desenvolvido de espinélio (Figura 22).

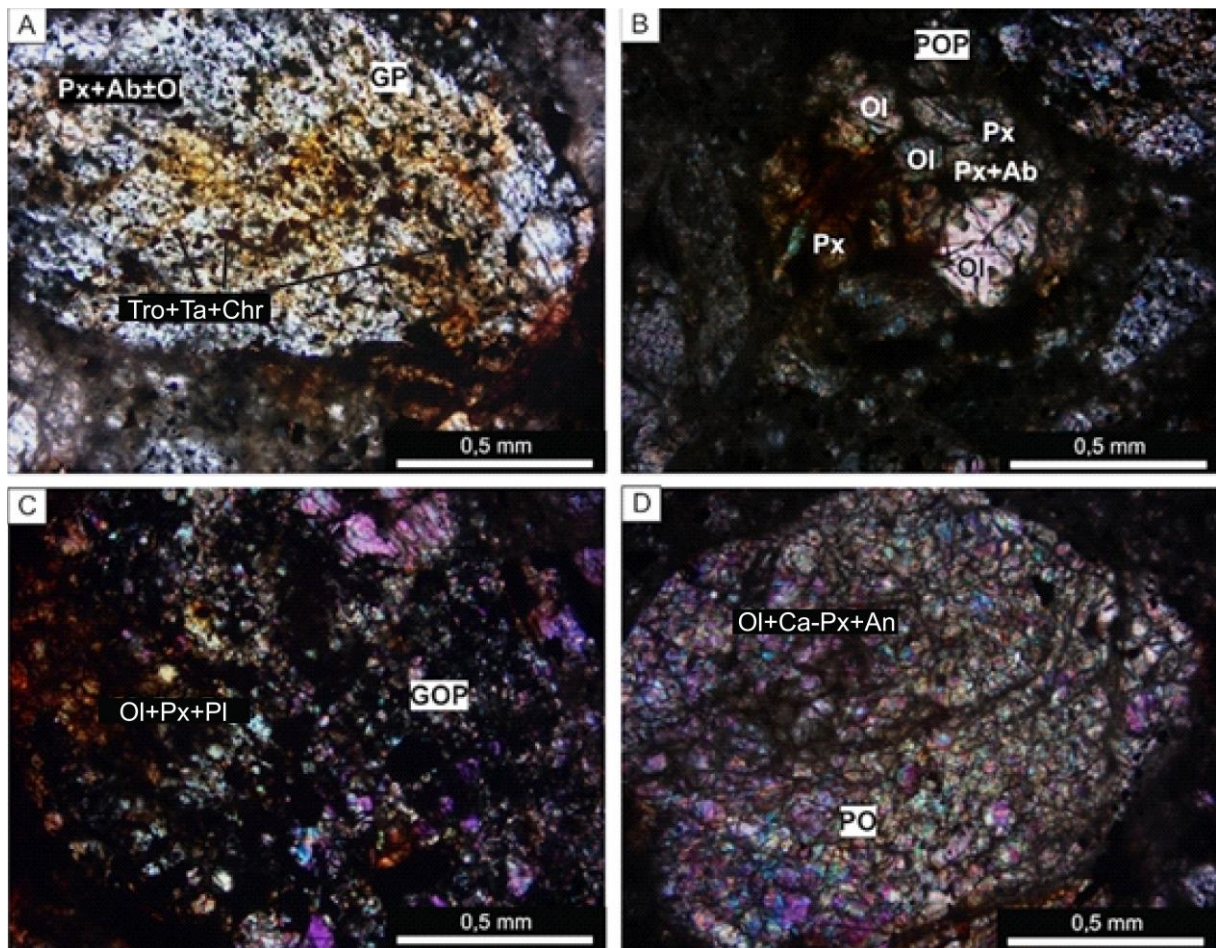


Figura 7: Fotomicrografias do meteorito condritico NWA "Takeda2". (A) (luz polarizada) alvo 03, côndrulo com textura GP (1,47 mm) rico em inclusões metálicas de troilita, taenita e cromita; embora sua textura seja granular, o côndrulo preserva feições de piroxênio radial (RP). (B) (polarizadores cruzados) alvo 04, côndrulo com textura POP (0,88 mm). (C) (polarizadores cruzados) alvo 08, côndrulo com textura GOP (1,50 mm). (D) (polarizadores cruzados) alvo 10, côndrulo PO (1,43 mm) com piroxênio alto Ca e plagioclásio nos interstícios.

Existem indicativos de desequilíbrio químico em alguns clastos da amostra, tais como zonamento químico de cristais, côndrulos com mais de uma textura e texturas sobrepostas. Contudo, a maioria dos côndrulos e fragmentos apresentam certa textura de estabilidade química. Além desse contraste, o grau de metamorfismo também varia bastante de clasto para clasto, isso pode ser observado a partir dos diferentes níveis de recristalização das mesóstases.

No que diz respeito às ligas metálicas (Fe-Ni) e aos sulfetos (Fe-S), eles não ultrapassam 10% em volume. Uma contagem em termos de área realizada a partir dos mapas composicionais Fe-Ni-S (Figura 5) registrou um total variando entre 6,68-10,18% em volume, com kamacita variando de 0,57-0,82% em volume, taenita 0,45-2,74% em volume e troilita 5,40- 6,87% em volume, cada volume foi estimado em termos de área total das imagens. Os mapas composicionais seguem nas figuras 4 e 5 e no Anexo 1.

Com a proporção volumétrica entre taenita e kamacita é possível calcular a razão modal Ka/Tae , que por sua vez corresponde a 0,436, um valor compatível com o esperado (Tabela 2) (Afiattalab & Wasson, 1980; Rubin & Ma, 2021). Além das ligas descritas, também

foi localizada uma única ocorrência de ilmenita com cerca de 0,02 mm. Foram observadas poucas evidências de oxidação do ferro por intemperismo, sendo constatados apenas alguns anéis de óxidos bordejando metais e troilita (Figura 8).

As ligas e os sulfetos se apresentam de diversas maneiras na amostra analisada (Figura 8). Como gotículas de troilita de cerca de 5 µm dispersos dentro de côndrulos; grãos irregulares de Ka-Tae-Tro com cerca de 200 µm presentes principalmente nos côndrulos equilibrados; veios de choque de ~2 a 10 µm de espessura contendo principalmente troilita; e veios de choque consistindo principalmente de pequenas gotículas de troilita que formam trilhas curvilíneas dentro de grãos silicatados. A exsolução da kamacita e taenita foi frequentemente localizada, sendo comum a ocorrência de nódulos com núcleos de kamacita e taenita cercados por bordas de troilita. Na Matriz se destacam principalmente dois grandes nódulos metálicos de 2,40 mm e 0,75 mm.

Já em relação aos fosfatos foi constatada a presença de apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH},\text{F},\text{Cl})$) e merrilita ($\text{Ca}_{18}\text{Na}_2\text{Mg}_2(\text{PO}_4)_{14}$), ambos se encontram tanto na matriz quanto inclusos em côndrulos. Os fosfatos totalizam <0,1% em volume em relação ao meteorito, uma proporção comum para os condritos ordinários.

5.2. Análises químicas: EDS e WDS

No total foram realizadas 168 análises pontuais por EDS e 161 análises por WDS. Desses dados, foram filtradas as análises com misturas de minerais e aquelas que apresentaram erros analíticos acima do tolerado. Após a filtragem, as análises por EDS somaram 143 dados e as análises por WDS contabilizaram 125 dados (Anexo 2). Os dados obtidos foram tabelados e associados a cada alvo. As análises por EDS foram usadas principalmente como suporte na interpretação das imagens texturais de microscopia eletrônica e para melhor aproveitamento em relação a seleção de pontos para as análises por WDS. Para quantificação e o cálculo das fórmulas estruturais foram usados os dados de WDS.

5.2.1. Olivina

Os dados químicos de olivina totalizam 39 análises. De maneira geral a composição de Fa das olivinas varia de 12,90 a 42,07 mol% com média de 28,77 mol%, onde a maioria dos dados se enquadram no intervalo Fa_{25-33} (Figura 9). Grande parte das olivinas apresenta uma certa homogeneidade química, o que está diretamente relacionado aos côndrulos mais equilibrados. Em relação a esses côndrulos os teores de Cr_2O_3 (wt%) variam entre 0,00 e 0,17 e os teores de NiO (wt%) variam de 0,00 a 0,06, exceto por uma única análise referente ao alvo 27 onde o teor de Cr_2O_3 (wt%) é de 0,64 e o teor de NiO (wt%) é de 0,27. Os dados situados fora do intervalo Fa_{25-33} dizem respeito aos côndrulos não equilibrados, isso inclui os alvos 25 e 26, apresentando olivinas com composição $\text{Fa}_{12,90-42,07}$. Por fim, a partir dos

resultados de WDS a fórmula estrutural resultante pode ser escrita como $(\text{Ti}_{0,99}\text{Al}_{0,01}\text{Cr}_{0,01}\text{Ni}_{0,01}\text{Fe}^{2+}_{0,26-0,83}\text{Mn}_{0,02}\text{Mg}_{1,10-1,73}\text{Ca}_{0,03})_{1,72-2,04}(\text{Si}_{0,99-1}\text{Al})_{0,99}\text{O}_4$ ou $\text{Fo}_{57,92-87,10}\text{Fa}_{12,90-42,07}$.

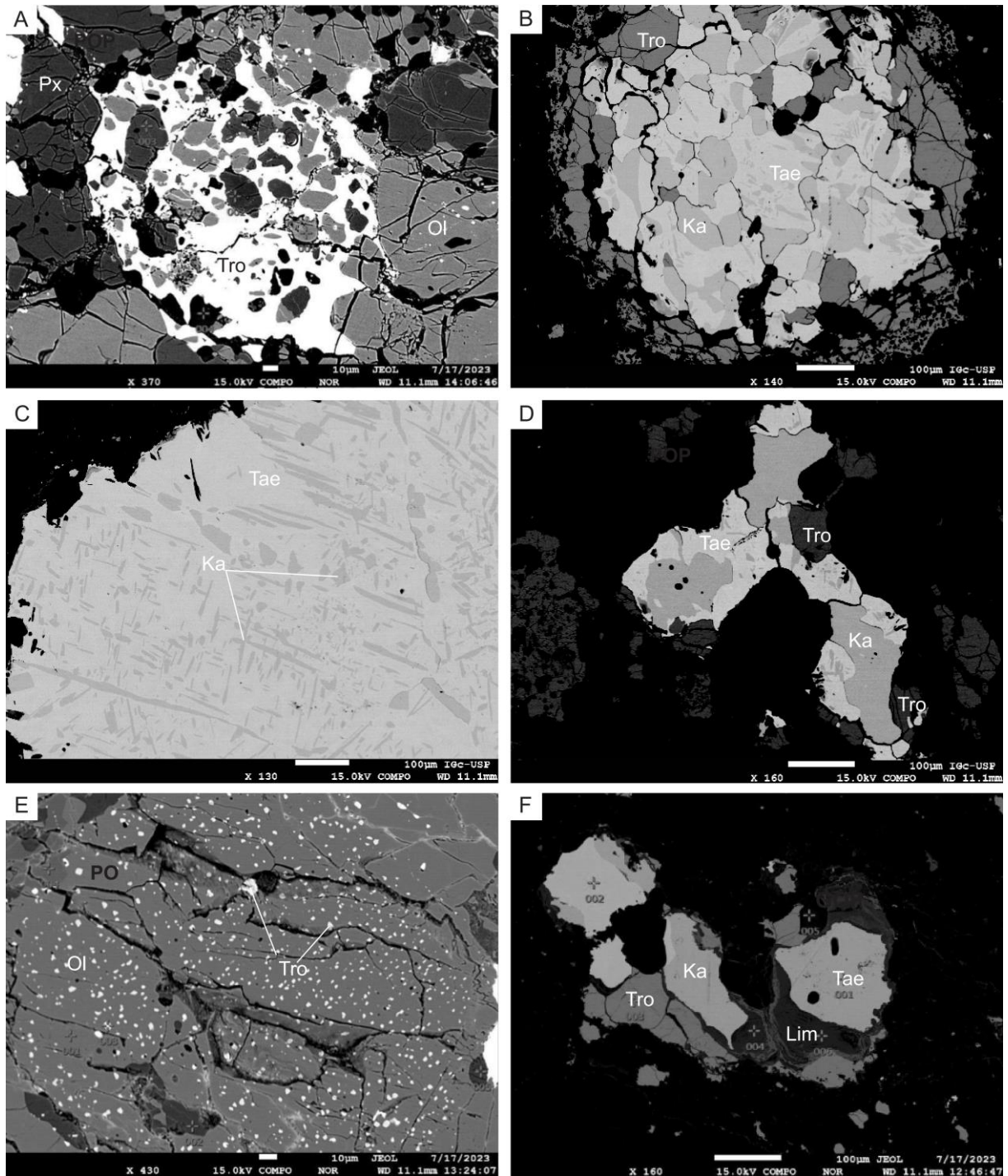


Figura 8: imagens de elétrons retroespalhados (BSE) do meteorito condritico NWA "Takeda2". (A) alvo 11 VI, nódulo metálico (0,22 mm) de troilita poiquilítica envolvendo dos cõndrulos circundantes. (B) nódulo metálico (0,75mm) de taenita-kamacita com corona de troilita. (C) porção superior do alvo 14, nódulo metálico (2,40 mm) de taenita e kamacita em exsolução. (D) alvo 36, liga metálica composta por kamacita e taenita localizada na matriz clástica. (E) alvo 11 II, textura PO (0,30 mm) com inclusões nanométricas de troilita. (F) alvo 15, ligas Fe-Ni com anéis de limonita (0,45 mm). Ol: olivina; Px: piroxênio; Tr: troilita; Tae: taenita; Lim: limonita; POP: olivina-piroxênio porfirítico; GOP: olivina-piroxênio granular; PO: olivina porfirítica; GP: piroxênio porfirítico.

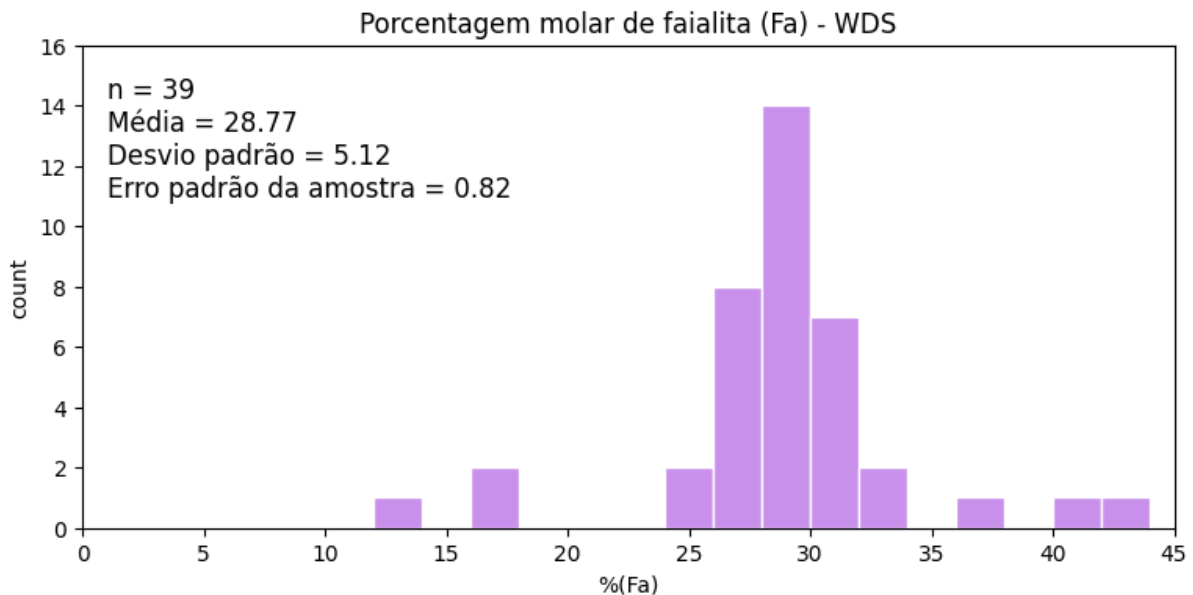


Figura 9: histograma das proporções molares de faialita das olivinas.

5.2.2. Piroxênio

As análises químicas do piroxênio totalizam 45 dados, onde 24 análises se referem aos piroxênios de baixo cálcio (Figura 10). De modo geral a composição de Fs dos piroxênios varia de 0,00 a 31,85 mol% com média de 17,60 mol%, onde a maioria dos dados se enquadram no intervalo Fa_{07-26} (Figura 11). De um ponto de vista mais amplo os piroxênios apresentam certa heterogeneidade química em termos de Fs, mas quando isolamos as composições químicas dos piroxênios de baixo cálcio é possível observar uma certa homogeneidade nos valores de Fs, onde a maioria dos valores se encaixam no intervalo Fs_{18-26} (Figura 13). A composição dos piroxênios gira em torno de $Wo_{0,41-45,25}Fs_{0-31,85}En_{45,55-99,14}$ e a dos piroxênios de baixo cálcio em torno de $Wo_{0,41-5,48}Fs_{0-31,85}En_{63,72-99,12}$. A fórmula estrutural resultante pode ser escrita como $(Mg_{0,06-0,97}Fe^{2+}_{0-0,30}Ca_{0,01-0,79}Na_{0-0,23}K_{0-0,02})_{0,92-1,00}(Al_{0-0,29}Ti_{0,01}Cr_{0-0,07}Fe^{3+}_{0-0,21}Mn_{0-0,03}Mg_{0,55-0,99}Fe^{2+}_{0-0,31})_{1,00}(Si_{1,64-2,00}Al_{0-0,06}Fe^{3+}_{0-0,35})_{2,00}O_6$.

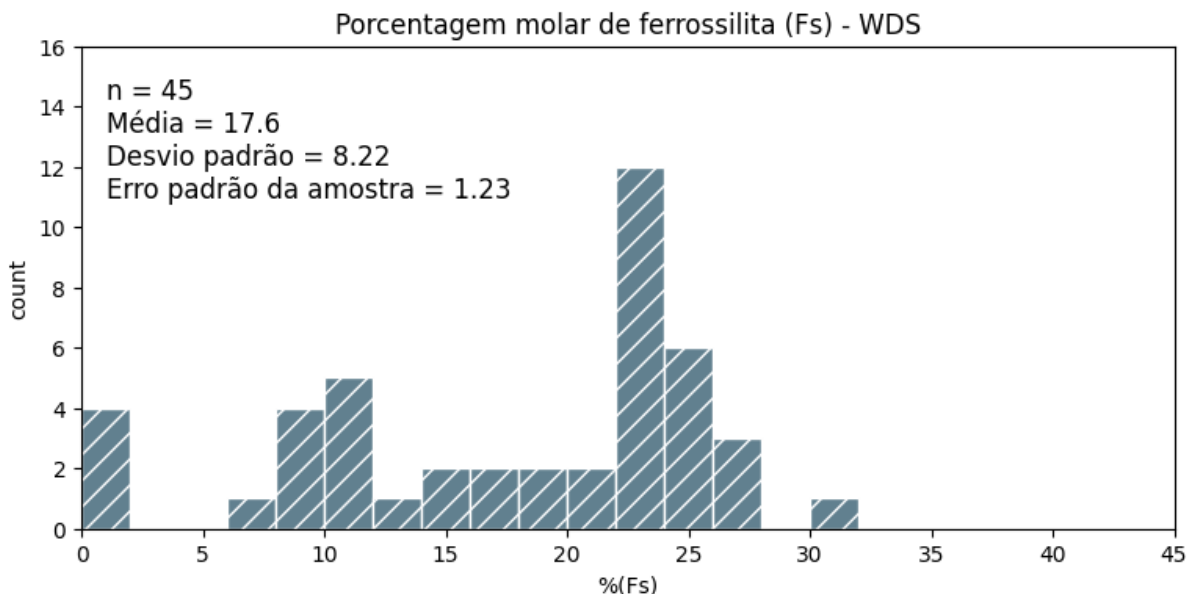


Figura 10: histograma das proporções molares de ferrossilita dos piroxênios.

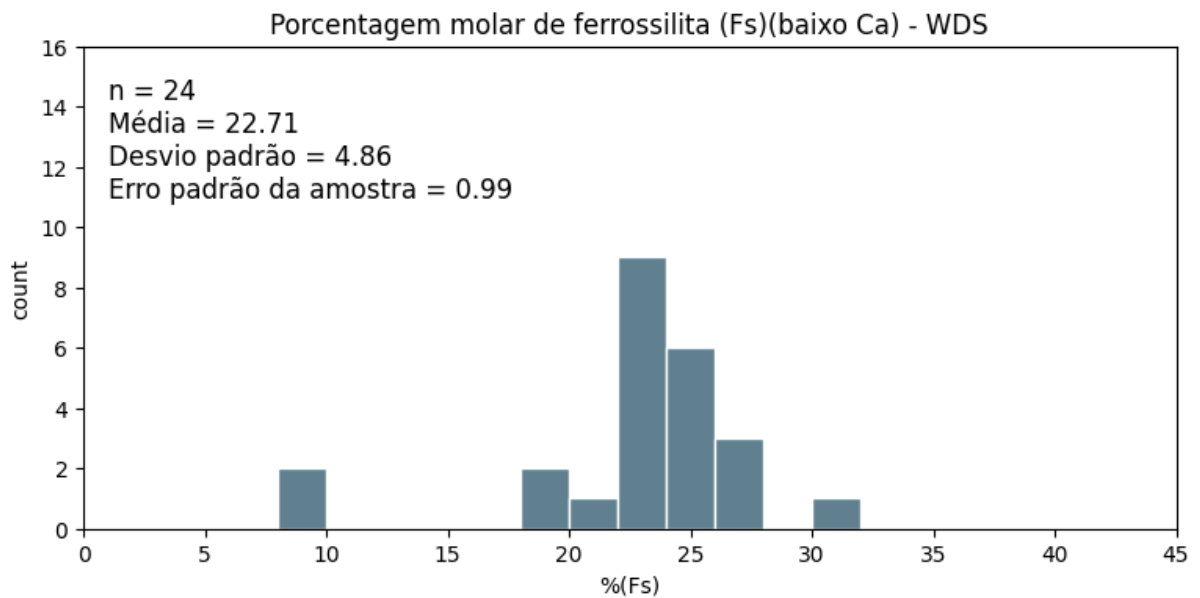


Figura 11: histograma das proporções molares de ferrossilita dos piroxênios de baixo Ca.

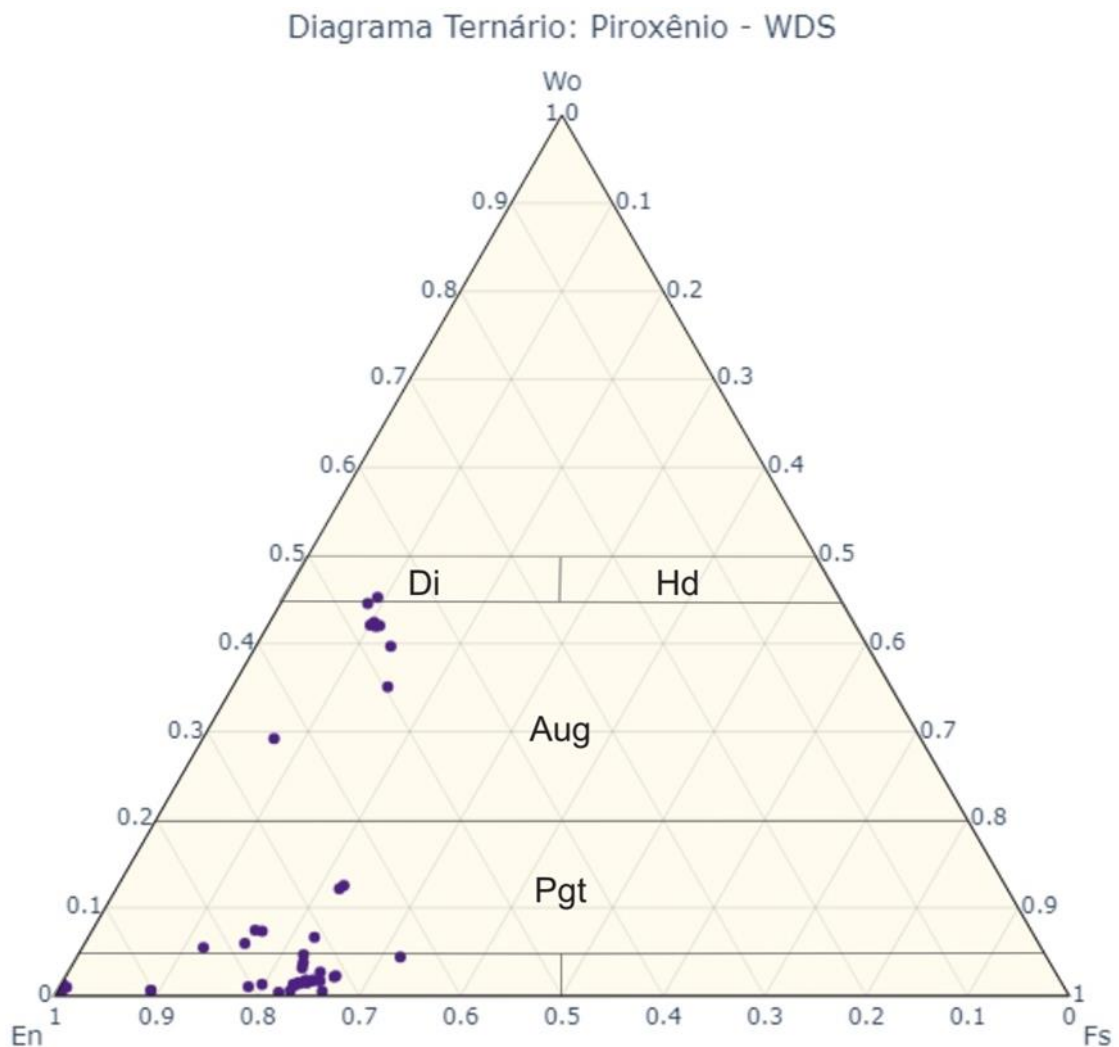


Figura 13: diagrama ternário das composições de piroxênio.

5.2.3. Feldspato

Foram realizadas 28 análises em relação aos feldspatos, o resultado dessas análises corresponde às proporções dos membros finais $Or_{0,30-51,46}$, $An_{9,44-81,85}$ e $Ab_{17,85-88,48}$ (Figura 14).

A maioria dos dados coletados estão associados a feldspatos de baixas temperaturas e de composição próxima a Ab_{87-88} . O alvo 10 é o único que apresenta feldspatos de composição anortítica ($An_{75,05-81,85}$), enquanto os alvos 24, 27 e 32 apresentam composições alcalinas ($Or_{17,60-51,46}$) relacionadas a feldspatos de alta temperatura (Elkins & Grove, 1990; Klein & Dutrow, 2011). A partir dos resultados de WDS a fórmula estrutural resultante do feldspato pode ser escrita como $(K_{0-0,44}Na_{0,18-0,88}Ca_{0,09-0,82}Mg_{0-0,28}Mn_0Fe^{2+}_{0,01-0,12})_{0,99-1,30}(Si_{2,12-3,02}Al_{0,81-1,87})_{3,75-4,00}O_8$.

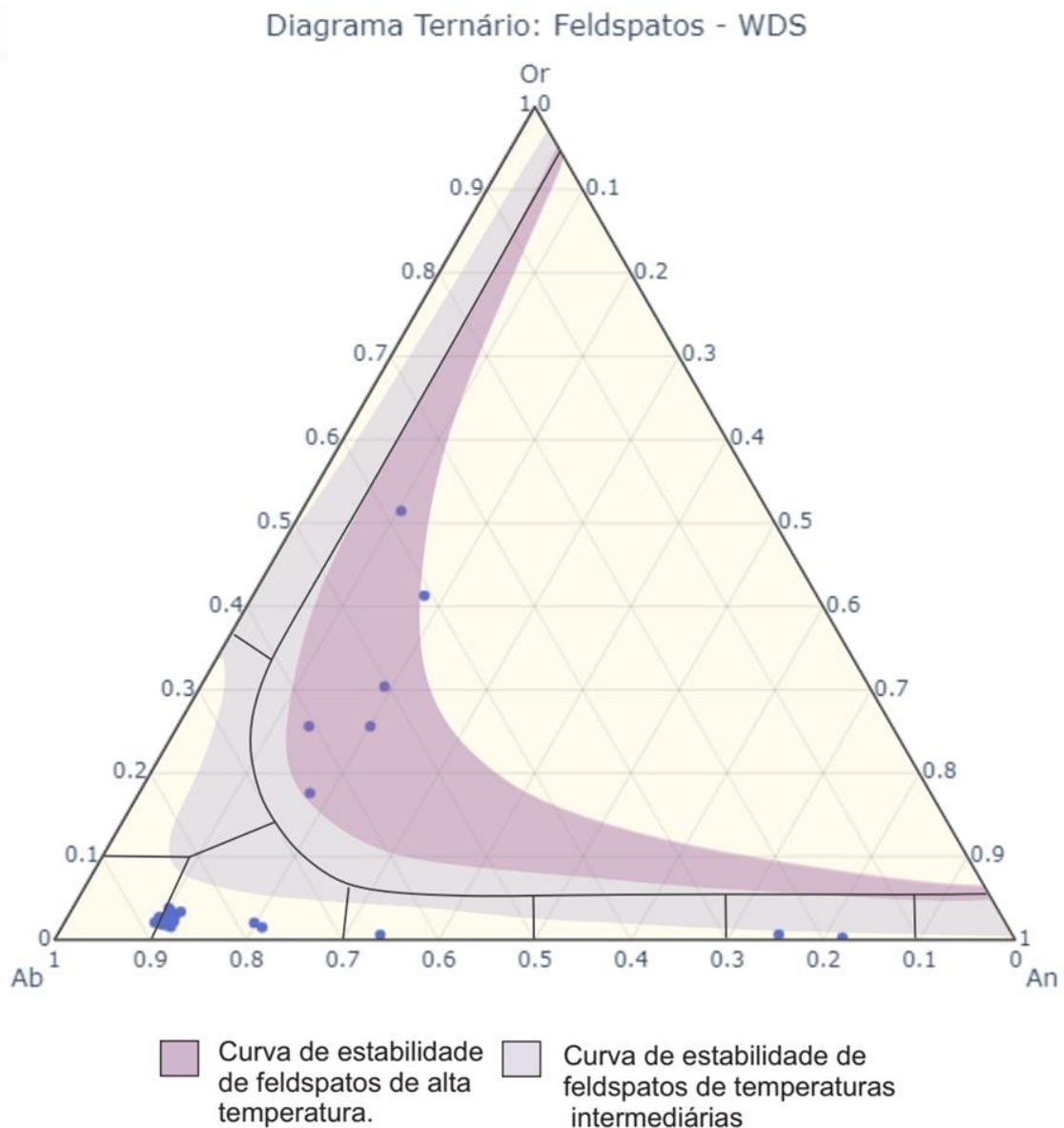


Figura 14: diagrama ternário das composições dos feldspatos. As curvas de alta T° e baixa T° foram retiradas dos diagramas de Elkins & Grove (1990) e Klein & Dutrow (2011).

5.3. Classificação do estágio de choque

A classificação de estágio de choque da amostra varia de S2 a S4 (Scott et al., 1992; Stöffler et al., 1991; Krot et al., 2014, Rubin & Ma, 2021). Ou seja, os clastos vão desde choque muito fraco a choque moderado, com uma pressão de choque correspondente aos intervalos: 5–10 GPa para os clastos S2, 10–20 GPa para os clastos S3 e 20–35 GPa para os clastos S4. A tabela 6 apresenta a sumarização dessa classificação.

Alvos	D (mm)	Textura	Porfírico/ não porfírico (p/np)	Tipo	Subtipo	Grau de Choque
1	2,60	POP	p	II	AB	S4
2	0,75	POP/BOP	p/np	II	AB	S4
3	1,47	RP/GP	np			S2
4	0,88	POP	p	II	AB	S2
5	1,13	POP	p	-	AB	S4
7	1,08	BO	np	-		S3
8	1,41	GOP	p	-	AB	S3
10	1,43	PO	p	II	A	S3
11	1,85	BOP/PO/PP	p/np	II	A/B	S3-S4
11 cond I	0,77	BOP	np	-		S4
11 cond II	0,30	PO	p	-	AB	S4
11 cond III	0,48	PP	p	II	B	S3
11 cond IV	0,71	PO	p	II	A	S4
11 cond V	0,90	PO	p	II	A	S4
12	0,96	BOP	np	-		S3
13	0,85	PO/BOP	p/np	II	A	S2
16	-	POP/PO	p	II	A/AB	S3-S4
16 cond II	0,51	POP	p	II	AB	S3
16 cond III	0,52	POP	p	II	AB	S4
16 cond IV	0,58	PO	p	-	A	S4
16 cond V	0,51	PO	p	II	A	S4
17	0,63	POP	p	II	AB	S3
18	0,64	BO	np	-		S2
19	0,51	POP	p	-	AB	S3
20	3,20	PO	p	II	A	S3
21	0,40	Macrocrístais de enstatita	-	-		S2
22 cond I	0,92	RP	np	-		S2
22 cond II	0,46	POP/BOP	p/np	II	AB	S2
23	-	BOP/C	np			S2
23 cond I	0,74	PP/BO	p/np	II	B	S2
23 cond II		PO	P			S2
23 cond III	0,50	C	np			S2
24	1,22	PO	p	II	A	S2
25	0,15	fragmento de olivina	-	-		S2
26	0,20	PO	p	II	A	S3
27	1,32	BO/PP	np/p	-		S2
34	1,00	PO	p	II	A	S3
35	0,30	C	np	-		S2

Tabela 6: classificação de texturas e grau de choque dos clastos presentes na amostra.

6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1. Classificação de clastos

O grau de metamorfismo de cada fragmento da amostra varia bastante e esse é um fator determinante para classificação do condrito. Isso porque para classificar o tipo de brecha é preciso identificar os diferentes grupos de fragmentos presentes no meteorito. Como o grau de metamorfismo varia, o meteorito apresenta diferentes tipos petrológicos e conseqüentemente diferentes relações texturais. Para identificar os tipos petrológicos foi tomado como base o grau de recristalização das mesóstases de cada clasto. Os parâmetros de classificação seguidos foram os de Rubin & Ma (2021) que podem ser revisitados na tabela 3.

Seguindo essa premissa foram realizados 5 agrupamentos: i) tipo petrológico 3, contendo clastos com mesóstase vítrea preservada ou forte zonamento químico; ii) tipo petrológico 4, contendo clastos com os primeiros sinais de recristalização da mesóstase, apresentando feldspatos ou piroxênios secundários de baixa granulometria ($\sim < 2\mu\text{m}$); iii) tipo 4 ou 5, com clastos apresentando devitrificação da mesóstase, além de feldspatos e piroxênio cálcico secundários de granulometria mais grossa, sendo compatíveis tanto com as características do tipo 4 quanto do 5; iv) tipo petrológico 5, envolvendo clastos com mesóstase totalmente recristalizada, de granulometria mais grossa e de composição química mais equilibrada; iv) tipo petrológico 6, envolvendo apenas um clasto localizado em que a textura condritica foi apagada, possivelmente devido ao alto grau de metamorfismo.

6.1.1. Tipo petrológico 3

Dos clastos analisados poucos exibem forte desequilíbrio químico, dentre eles estão os alvos 35, 26, 25 e 16 II (Figura 15). O alvo 26 apresenta mesóstase vítrea, forte zonamento químico com teores de Fa entre 16,48 e 42,07 mol %, PMD da olivina = 19,60 e Cr_2O_3 (wt%) $< 0,1$, o que o enquadra no tipo petrológico 3.5. Ao plotar os dois extremos composicionais da olivina (Fa_{16-42}) no diagrama de fases (Klein & Dutrow, 2011) é possível observar que a variação química resultante é compatível com uma cristalização fracionada em sistema fechado (Figura 16). Já o alvo 25 se trata de um fragmento localizado de olivina que também exhibe zonamento químico, com $\text{Fa}_{12,90-29,15}$, PMD da olivina = 28,48 e Cr_2O_3 (wt%) $< 0,1$; como se refere a apenas um fragmento isolado não é possível inferir o caráter da mesóstase, portanto o grão pode estar entre os tipos 3.5 e 3.7. O alvo 35 se trata de um fragmento de côndrulo criptocristalino (C), composto apenas por pigeonita, $\text{Wo}_{5,95-7,46}$ e $\text{Fs}_{15,76-22,27}$, o que o desqualifica para o cálculo do PMD do piroxênio; o clasto também não se encaixa em nenhum dos parâmetros de classificação para tipos petrológicos, no entanto como o grão preserva os domínios particionados de piroxênio cálcico em escala submicrométrica, isto é, já que não houve aumento da granulometria esperada para um condrito C, aqui se propõe que seu tipo petrológico seja < 4 . O alvo 16 II corresponde a textura POP, apresentando tanto olivinas

zonadas que gradualmente enriquecem em Fe quanto piroxênios zonados enriquecidos em Ca, PMD da olivina = 16,73, apresentando apenas um pequeno domínio com mesóstase preservada contendo cristaltos submicrométricos; isso enquadraria o clasto nos tipos 3.6 ou 3.7.

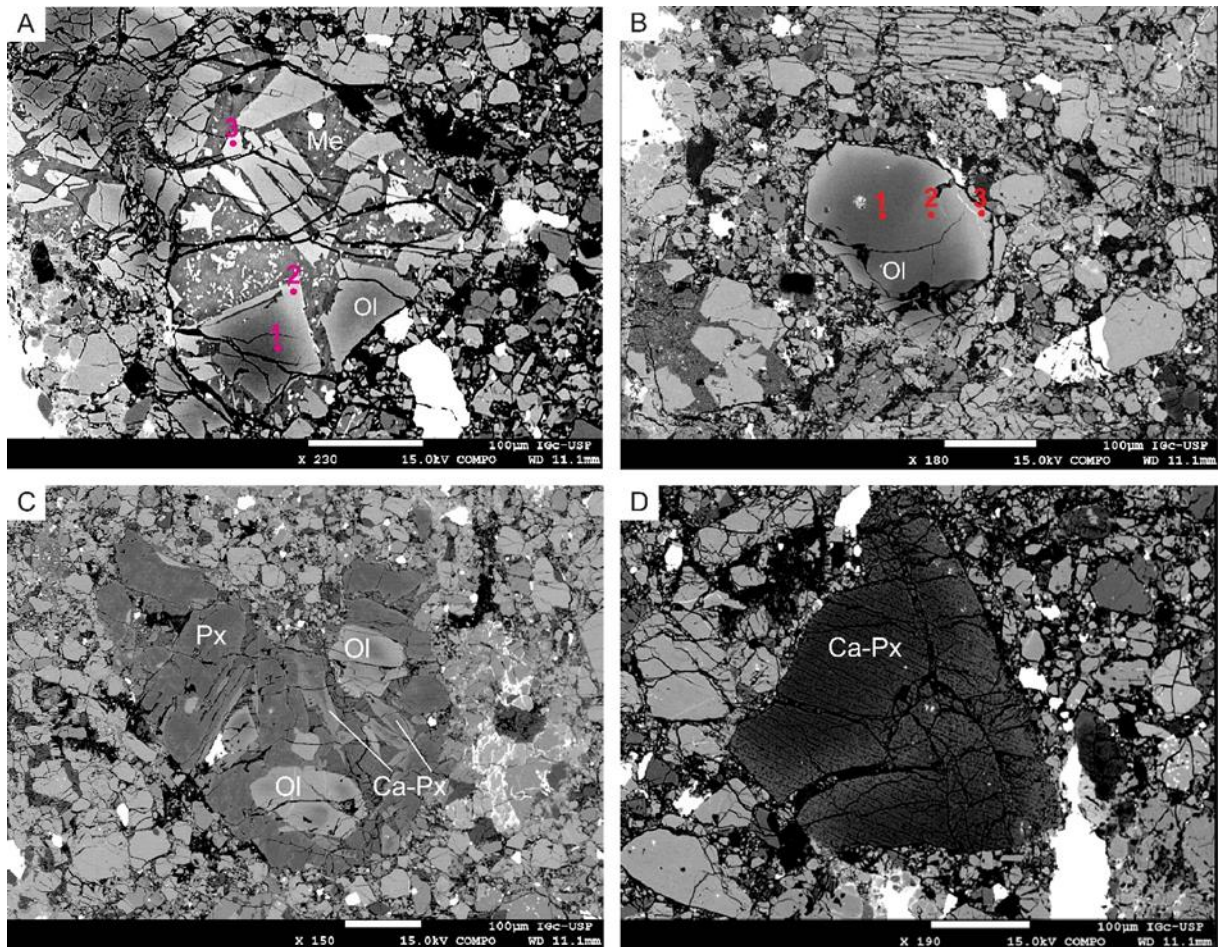


Figura 15: imagens de elétrons retroespalhados (BSE) do meteorito condrítico NWA "Takeda2". Clastos de tipo petrológico <4. (A) alvo 26, clasto anguloso (0,2 mm) com fenocristais de olivina zonada em matriz vítrea rica em K, Ca, Fe e Al (mesóstase), além de inclusões metálicas; as análises pontuais estão demonstradas na imagem. (B) alvo 25, fragmento de olivina zonada rica em Mg (0,15 mm); as análises pontuais estão demonstradas na imagem. (C) alvo 16 II (0,58 mm) de textura POP com núcleos zonados de Ol e ripas zonadas de piroxênio cálcico em uma matriz de piroxênio baixo Ca. (D) alvo 35, clasto anguloso de textura C de piroxênio zonado de alto Ca com lamelas nanométricas de composição distinta (0,30 mm).

6.1.2. Tipo petrológico 4

No contexto petrológico do tipo 4, observamos os primeiros indícios de recristalização, indicando alterações na estrutura da mesóstase inicial. Uma característica determinante observada foi a presença de feldspato secundário com tamanho de grão inferior a 2 μm , que sugere um processo de fina recristalização. Esse grupo abrange os alvos 23 I, 23 III, 22 e 13 (Figura 17). Quanto as olivinas a proporção molar de Fa variou entre 27,33 e 28,17 com PMD = 1,48 e média 27,85. Os piroxênios de baixo Ca apresentaram proporção molar de Fs entre 21,86 e 31,85, PMD = 10,44 e média 25,69. Tanto o PMD da olivina quanto do piroxênio corresponde ao tipo petrológico 4.

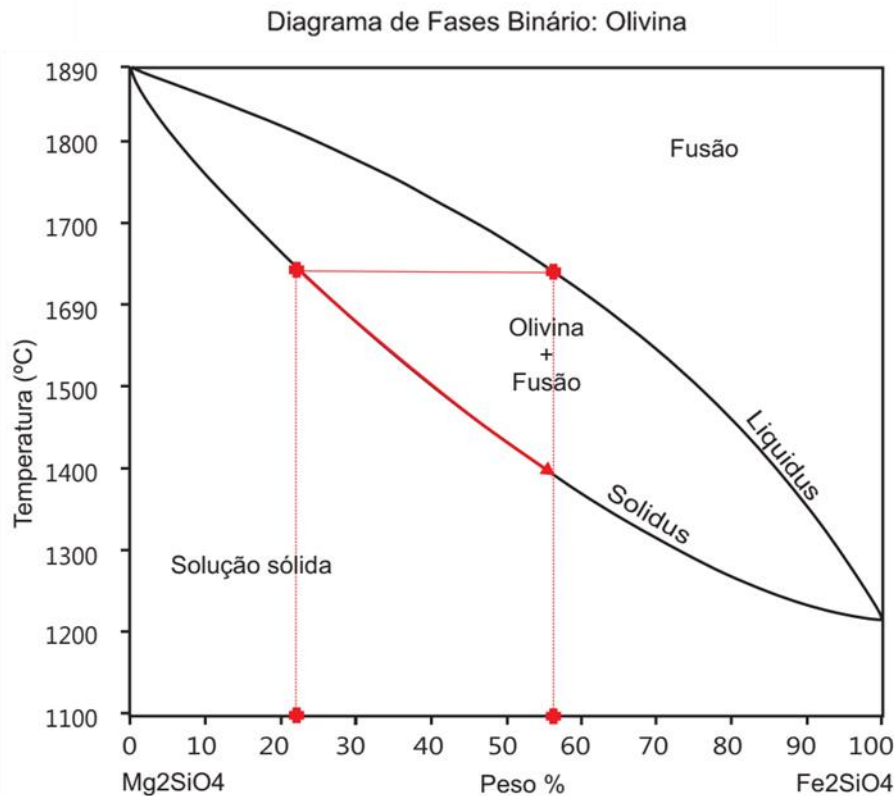


Figura 16: diagrama de fases binário da olivina ($P=1\text{atm}$) com as composições extremas mais e menos magnesianas do alvo 26 em wt%, sugerindo que podem representar a composição das fases cristalizadas (seta vermelha) a partir de um sistema em equilíbrio. Diagrama extraído de Klein & Dutrow (2011).

6.1.3. Tipo petrológico 4-5

Para caracterizar os clastos de tipo petrológico 4-5, foram selecionados os alvos que passaram por processo de recristalização mais avançado, onde os cristais de feldspato e piroxênio cálcico apresentam dimensões maiores em relação aos alvos citados anteriormente, com feldspatos entre 2 e 10 μm e cristais de piroxênio Ca secundários bem desenvolvidos. Este cenário petrológico envolve diretamente os alvos 04, 07, 10, 12, 16 III, 16 IV, 16 V e 24 (Figura 18 e 19). As olivinas possuem composição de $\text{Fa}_{25,69-27,48}$, com $\text{PMD}=1,73$, média 26,83 e Cr_2O_3 (wt%) $<0,1$; os piroxênios de baixo Ca correspondem a $\text{Fs}_{18,58-23,44}$, $\text{PMD}= 6,05$ e média 21,97. Os valores de PMD correspondem tanto ao tipo petrológico 4 quanto ao 5.

6.1.4. Tipo petrológico 5

Os clastos do tipo petrológico 5 possuem maior recristalização da mesóstase, apresentando uma transformação significativa na textura da amostra. Ainda é possível identificar os limites das texturas condriticas, com feldspatos secundários em torno de 25 μm . Os cristais de olivina e piroxênio já se mostram bem equilibrados sem zoneamentos químicos. Correspondem a essas características os alvos 1, 2, 5, 11, 17, 03, 08, 19, 22II e 34 (Figura 20). Os piroxênios de baixo Ca são caracterizados por $\text{Fs}_{23,84-26,58}$, com $\text{PMD} = 3,29$ e média 24,82; já as olivinas apresentam composição de $\text{Fa}_{25,77-32,04}$, com $\text{PMD} = 3,68$, média 29,46 e Cr_2O_3 (wt%) $<0,1$. Todos os parâmetros são compatíveis com o tipo petrológico 5 (Rubin & Ma, 2021).

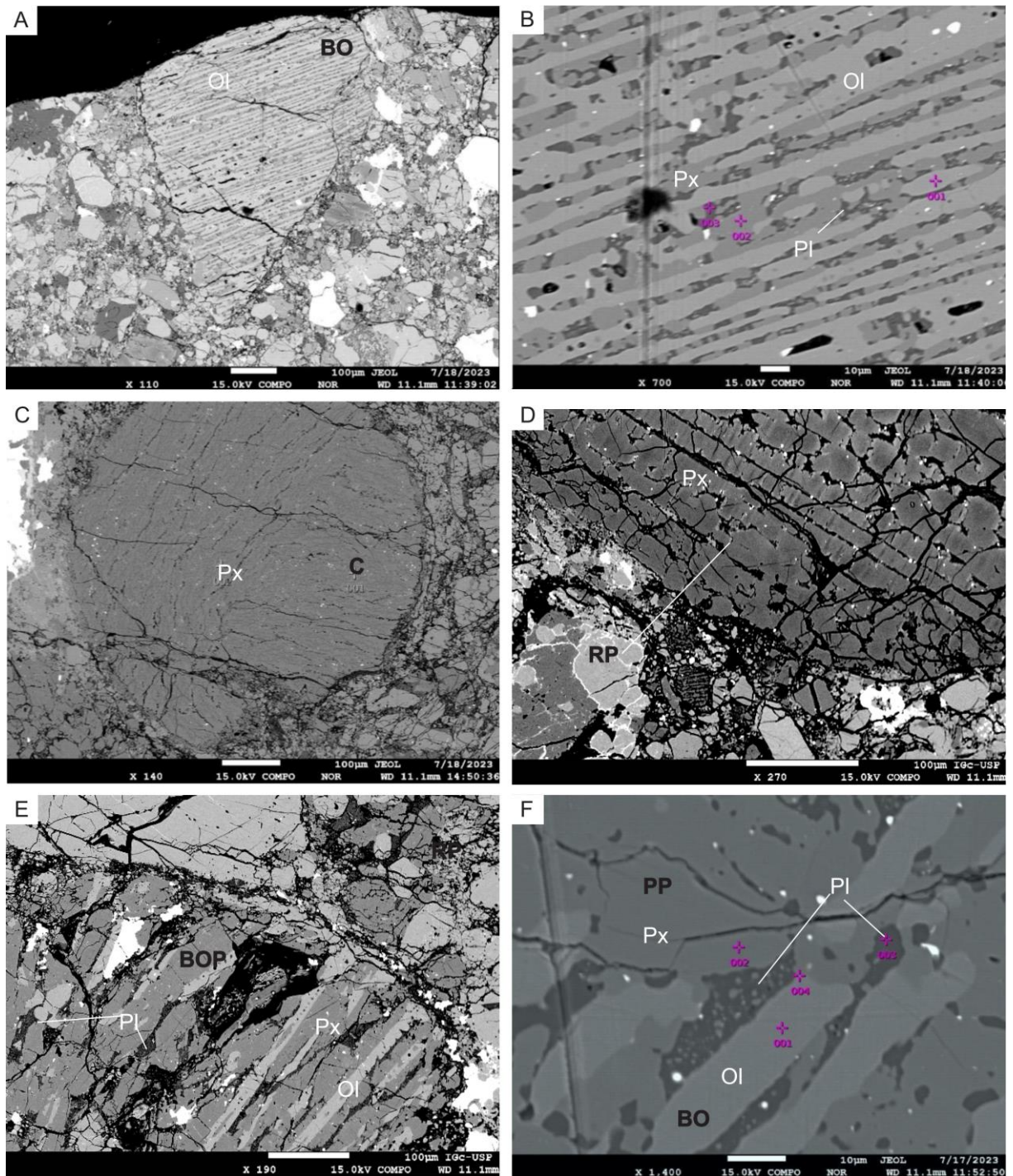


Figura 17: imagens de elétrons retroespalhados (BSE) do meteorito condritico NWA "Takeda2". Clastos de tipo petrológico 4. (A) alvo 18, clasto anguloso fraturado tipo BO (0,64 mm) localizado na borda do meteorito, composto por barras de Ol e mesóstase de Px+Pl. (B) alvo 18 em detalhe. (C) alvo 23 III, côndrulo C (0,50 mm) com lamelas nanométricas de composição distinta. (D) alvo 22 I, textura RP (0,92 mm). (E) alvo 23 I, côndrulo BO/PP (0,74 mm). (F) alvo 13, côndrulo POP (0,85 mm).

6.1.5. Tipo petrológico 6

Aqui foram agrupadas as análises de um único clasto em que a textura condritica foi apagada, possivelmente devido ao alto grau de metamorfismo. O clasto é composto majoritariamente por núcleos de olivinas equilibradas, com cristais anédricos de piroxênio e albita nos interstícios. O diâmetro máximo do clasto é de aproximadamente 3,20 mm enquanto o

diâmetro médio dos cristais de olivina está em torno de 0,5-0,01 mm (Figura 21). Com olivinas variando em Fa (30,17-29,99) e piroxênios em Fs (15,29-24,82) e Wo (2,70-35,08).

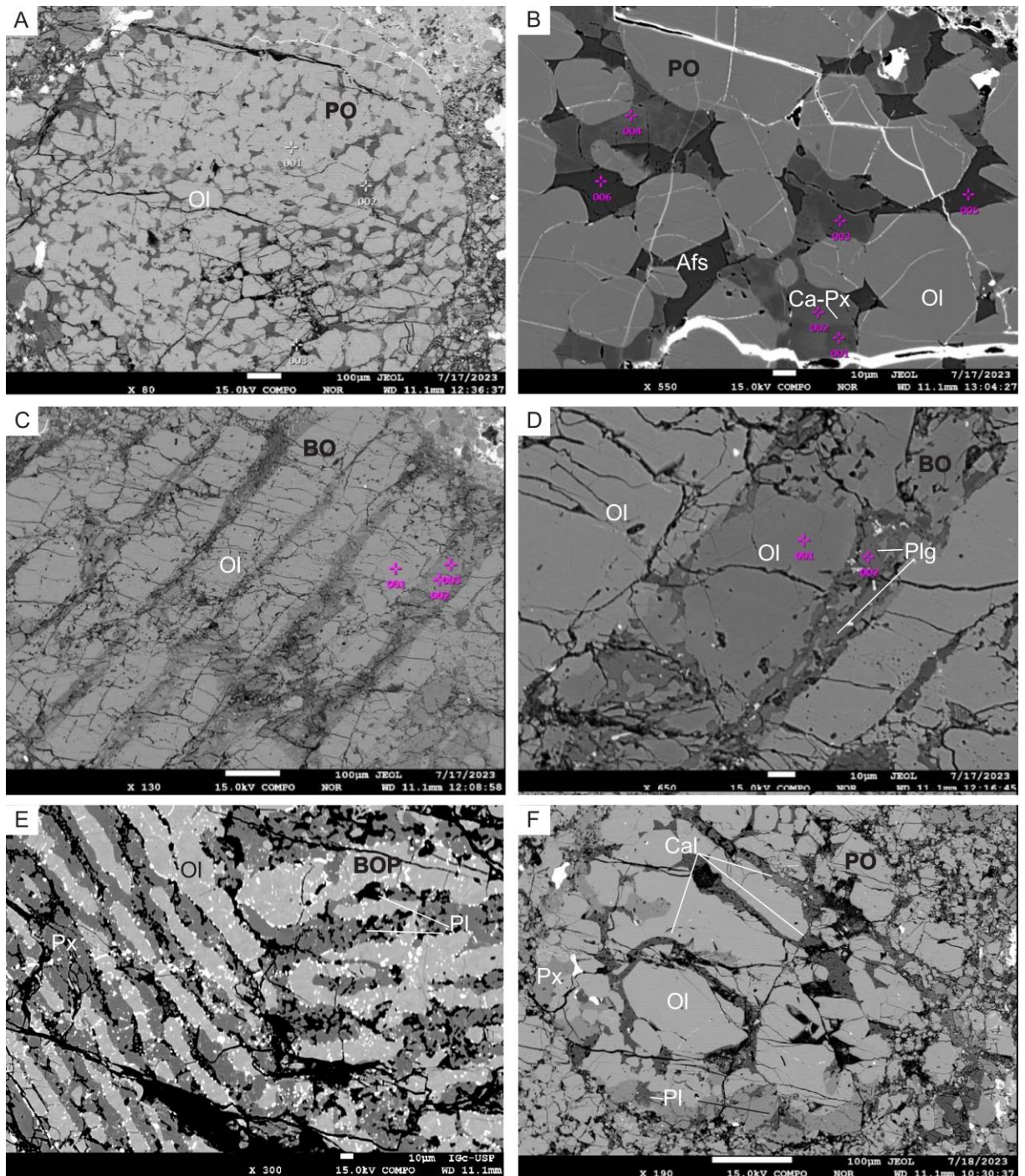


Figura 18: imagens de elétrons retroespalhados (BSE) do meteorito condritico NWA "Takeda2". Clastos de tipo petrológico 4-5. (A) alvo 10, textura PO (1,43 mm) com piroxênio alto Ca e k-feldspato nos interstícios. (B) alvo 10 em detalhe. (C) alvo 07, côndrulo BO (1,08 mm) em detalhe, sem inclusões metálicas. (D) alvo 07 em detalhe. (E). alvo 12, clasto subanguloso tipo BOP (0,96 mm) com intercalações de Plg e inclusões metálicas nanométricas. (F) alvo 16 V, textura PO (diâmetro 0,51mm) com fraturas preenchidas por carbonato.

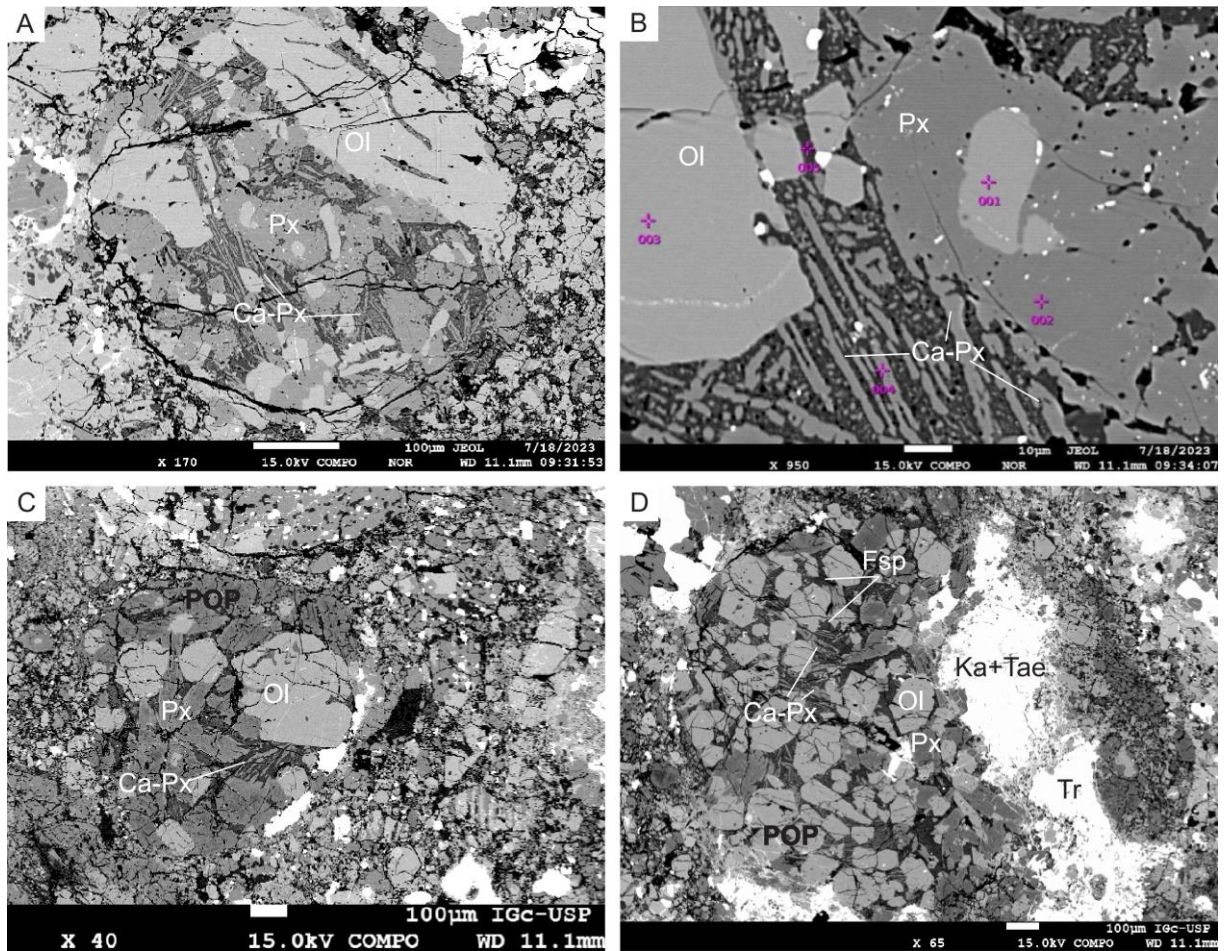


Figura 19: imagens de elétrons retroespalhados (BSE) do meteorito condrítico NWA "Takeda2". Clastos de tipo petrológico 4-5. (A) alvo 16 III, côndrulo com textura POP (0,52 mm), clasto composto por Ol e Px apresentando ripas de piroxênio cálcico associadas a Plg, textura de disequilíbrio. (B) alvo 16 III em detalhe. (C) alvo 04, textura POP (0,88m) apresentando ripas de piroxênio cálcico associadas a Plg, além de fases metálicas restritas a borda direita do grão. (D) alvo 24, côndrulo fragmentado com textura POP (1,22 mm), com ripas de piroxênio cálcico associados a feldspato.

6.1.6 Clastos não agrupados

Os clastos não agrupados se tratam de fragmentos isolados encontrados na matriz que não configuram um tipo de côndrulo por si só (Figura 22). O alvo 27 (Figura 23) é exceção pois apresenta uma sobreposição de texturas (BO e PP) contendo porções que ainda preservam mesóstase vítrea, mas que não se enquadram nos parâmetros de classificação ponderados para os clastos anteriores. Esse alvo possui teor de Cr_2O_3 (wt%) da olivina de 0,641 e Fa_{30} que poderia indicar tipo petrológico 3.1. Entretanto, o PMD do piroxênio de baixo Ca resultou em 4,3 que corresponde a tipos petrológicos acima de 5, além disso a mescla dessas duas texturas pode estar relacionada à episódios de reaquecimento. Portanto, para determinar com segurança o tipo petrológico do clasto condrítico seria preciso uma análise mais detalhada. Dentre os fragmentos encontrados na matriz estão: os alvos 28, 29 e 32, que se tratam de fragmentos de plagioclásio $\sim 100\text{-}300\mu\text{m}$ na matriz; e o alvo 21, que envolve clastos isolados de enstatita de composição pura, Fs_{0-1} .

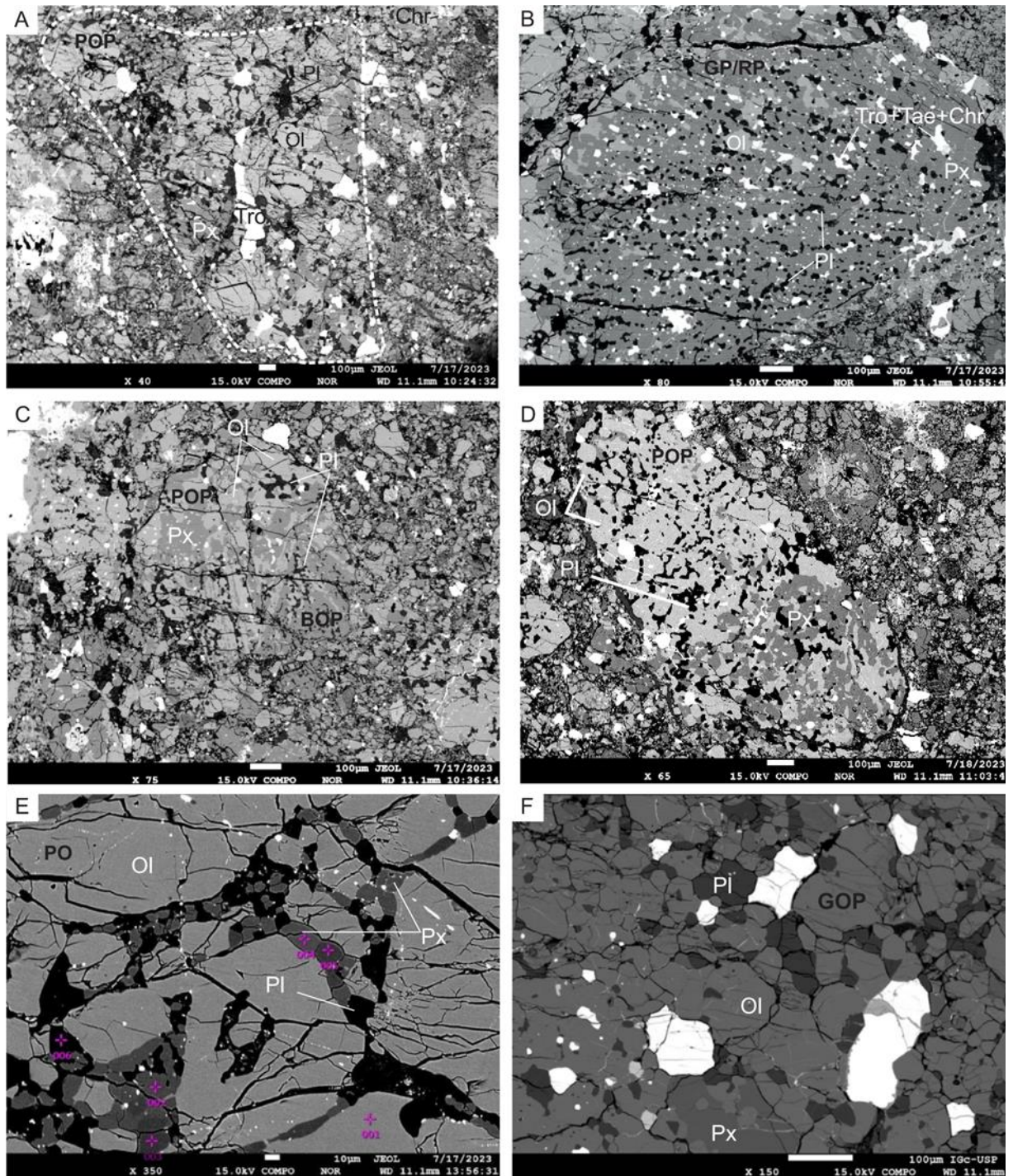


Figura 20: imagens de elétrons retroespalhados (BSE) do meteorito condritico NWA "Takeda2". Clastos de tipo petrológico 5. (A) alvo 01, clasto anguloso tipo POP (2,6 mm) composto por Ol+Px+Plg e inclusões metálicas de Ta+Km+Tro, permeado por fraturas irregulares, algumas preenchidas por carbonato de cálcio. (B) alvo 03, côneulo GP (1,47 mm), rico em inclusões metálicas de Tr, Ta e Chr; como mencionado, embora sua textura seja granular, o direcionamento dos grãos preserva feições de piroxênios radiais. (C) alvo 02, texturas POP + BOP (0,75 mm), onde a parte superior é composta por olivina e piroxênio porfiríticos e a parte inferior por barras de olivina e piroxênio intercalados por albita; também são observadas inclusões metálicas de Tr e Ka. (D) alvo 17, côneulo de textura GOP (1,49 mm) composto por Ol+Px+Ca-Px+Pl envolto por fraturas preenchidas por carbonato de cálcio; ao lado do alvo 17 se observa um côneulo tipo POP, com núcleo de Ol e corona de Px. (E) alvo 11 V, textura POP (0,90 mm), com piroxênio e albita nos interstícios apresentando contatos poligonizados. (F) alvo 08, textura GOP (1,41 mm) com cristais de Plg apresentando contatos poligonizados.

6.2. Análises químicas segundo classificação de clastos

Como a amostra é decorrente de um meteorito brechado com clastos e côneulos de diferentes tipos, é preciso tratar a geoquímica de seus minerais separadamente. Desse modo,

a partir da classificação de clastos foram calculadas as médias de Fa (mol %) e Fs (mol %) para cada agrupamento, os resultados foram dispostos na tabela 7. De acordo com a classificação por clastos a média de Fa (mol %) varia entre 26,83 e 30,08 para os tipos petrológicos 4 a 6, evidenciando uma composição próxima a de condritos equilibrados; para

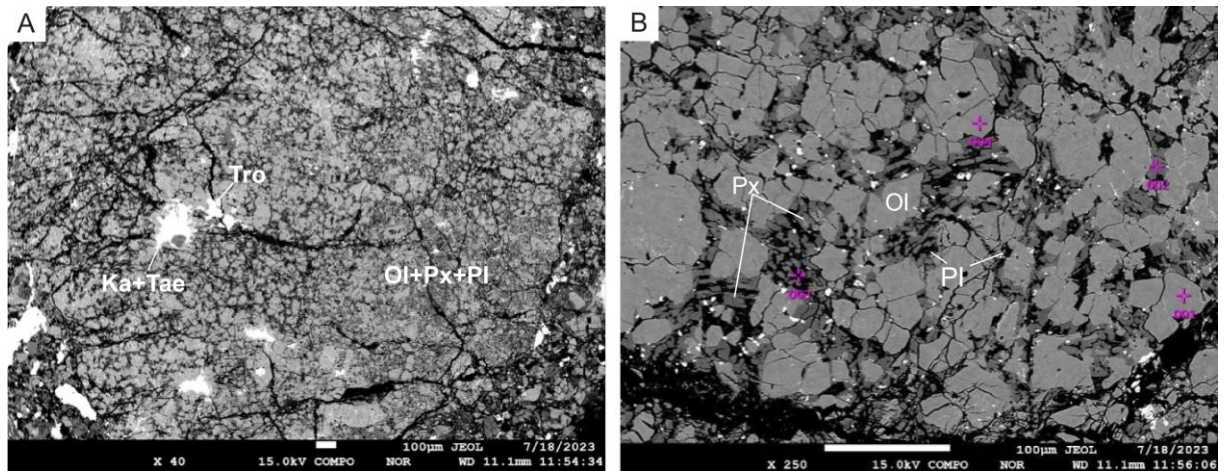


Figura 21: imagens de elétrons retroespalhados (BSE) do meteorito condrito NWA "Takeda2". Clastos de tipo petrológico 6. (A) alvo 20, clasto (3,20 mm) com diversos núcleos granulares de Ol (0,5-0,01 mm) e cristais anédricos de Px+Plg nos interstícios, não apresenta textura condritica. (B) alvo 20 em detalhe.

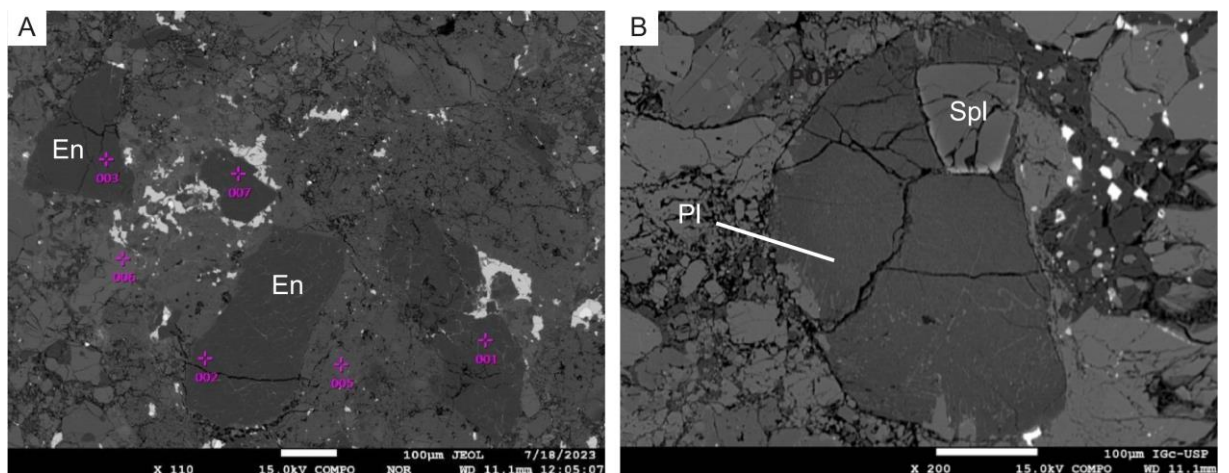


Figura 22: imagens de elétrons retroespalhados (BSE) do meteorito condrito NWA "Takeda2". Clastos não agrupados aos tipos petrológicos. (A) alvo 21, fragmentos locais de macrocristais de enstatita (diâmetro máximo de 0,40 mm) em matriz clástica fina composta por Ol+Px+Plg e nódulos metálicos de taenita e troilita. (B) alvo 31, clasto de plagioclásio (0,40 mm) com inclusão de espinélio euédrico (0,12 mm).

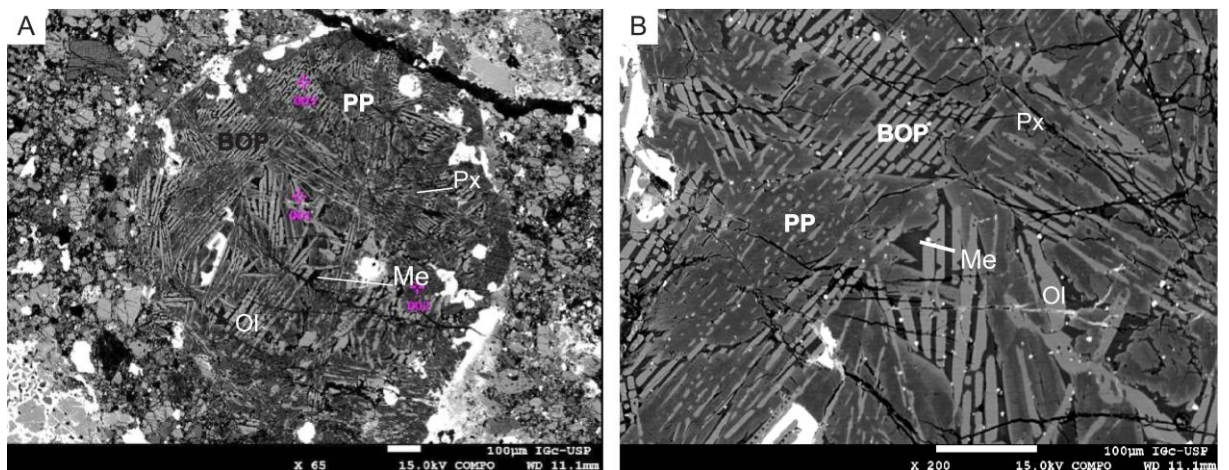


Figura 23: imagens de elétrons retroespalhados (BSE) do meteorito condrito NWA "Takeda2". Clastos não agrupados aos tipos petrológicos. (A) alvo 27, textura de desequilíbrio, côndrulo com núcleos PP sobrepostos por Ol barrada multidirecional, o côndrulo é composto então por Px+Ol+An.

os alvos do tipo petrológico 3 a composição da olivina varia de 12,90 a 42,07, realçando o desequilíbrio químico dessas amostras. Já as análises químicas do piroxênio de baixo cálcio, apontam para composição de Fs (mol %) entre 21,97 e 25,69. Os intervalos Fa (mol %) e Fs (mol %) são compatíveis com a média esperada para condritos ordinários LL de tipo 4 a 6 (Tabela 2) (Rubin & Ma, 2021).

Tipo Petrológico	Fa (Mol. %)	PMD (Fa)	Fs (Mol. %)	PMD (Fs)
3	28,51	16,73 - 28,48	*	*
4	27,85	01,48	25,69	10,44
4-5	26,83	01,73	21,97	06,05
5	29,46	03,68	24,82	03,29
6	30,08	**	24,82	**

Tabela 7: resultado das médias de Fa (mol %) e Fs (mol %) seguindo o agrupamento por tipo petrológico. *A média resultante iria corresponder apenas ao alvo 16 II, $F_{59,16}$, portanto não pode ser caracterizada como representativa para todos os clastos de tipo 3. ** Dados insuficientes para o cálculo do PMD.

Quando se analisam os dados de piroxênio em diagramas ternários (En-Fs-Wo) separados por categoria de clasto é possível notar os diferentes padrões de distribuição conforme o metamorfismo térmico avança. Comparando os diagramas obtidos (Figura 24) aos diagramas apresentados no trabalho de Grady et al. (2014) (Figura 25), que categorizam nuvens de dados para meteoritos equilibrados e não equilibrados, se observa um forte grau de compatibilidade em entre os agrupamentos de dados obtidos e aqueles esperados para meteoritos equilibrados tipo LL; com exceção das amostras de tipo petrológico 3, que possuem uma dispersão característica de meteoritos LL desequilibrados. Além disso, associando às análises obtidas a um gráfico de covariância de Fa (mol %) Vs Fs (mol %) se observa que o meteorito é compatível com condritos ordinários LL já documentados (Figura 26).

Quanto aos feldspatos (Figura 27), o alvo 10 é o único que apresenta feldspatos de composição anortítica ($An_{75,05-81,85}$) pertencendo aos clastos de tipo 4 ou 5, enquanto os alvos 24, 27 e 32 apresentam composições mais alcalinas ($Or_{17,60-51,46}$) relacionadas a feldspatos de alta temperatura (Elkins & Grove, 1990; Klein & Dutrow, 2011). O clasto 24 também pertence ao tipo petrológico 4 ou 5, enquanto os alvos 32 e 27 correspondem aos clastos não agrupados.

6.3. Origem e desenvolvimento dos principais componentes do meteorito LL3.5-6

Para descrever a história de formação do meteorito “Takeda 2” é preciso discorrer sobre os eventos iniciais que levaram à formação desse exemplar. No caso dos condritos esse registro compreende o desenvolvimento do Sistema Solar primitivo, onde cada componente é marcado por padrões composicionais que se aproximam da abundância de

elementos do Sistema Solar (Day, 2015). De acordo com Scott & Krot (2014) a origem

Diagramas Ternários: Piroxênio
Classificação Por clastos

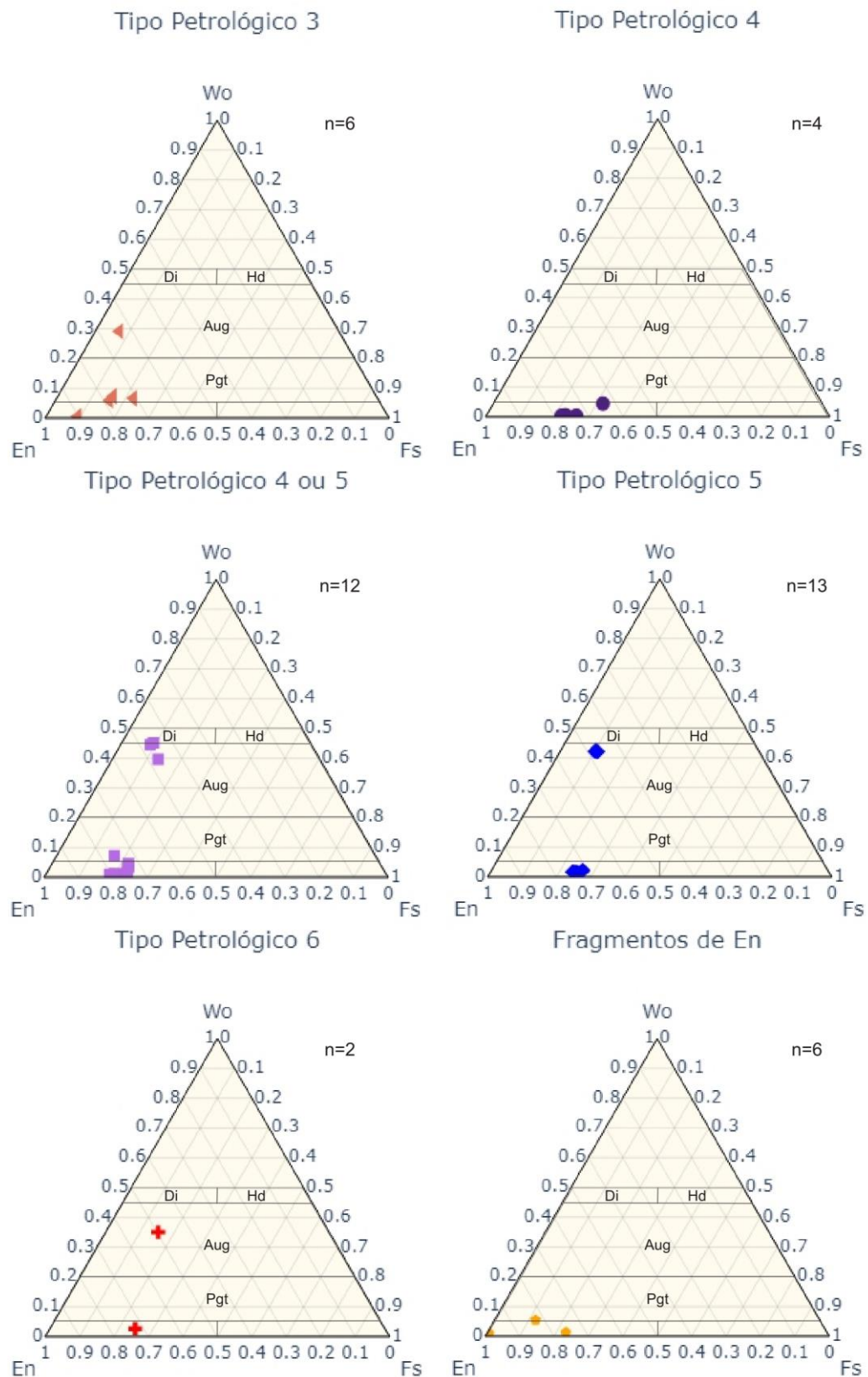


Figura 24: diagramas ternários das composições de piroxênio segundo classificação de clastos.

Diagrama Ternário: Condritos Equilibrados e Não Equilibrados

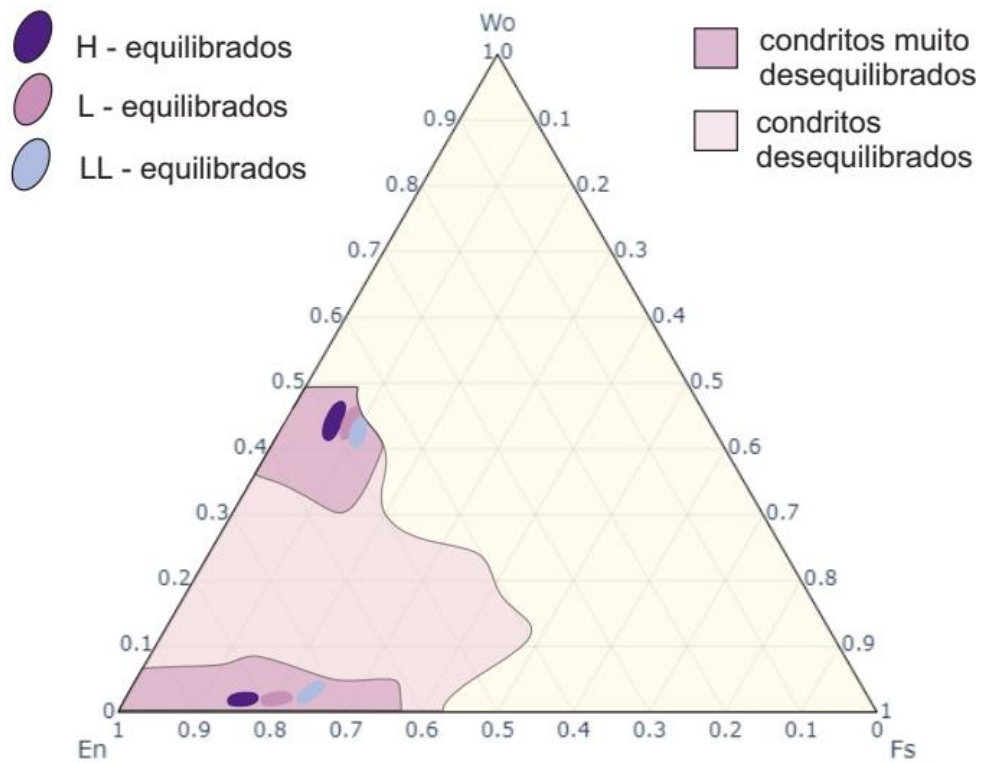


Figura 25: diagrama de Grady et al. (2014) que categoriza nuvens de dados para meteoritos equilibrados e não equilibrados.

Gráfico de Covariância Entre Olivina e Piroxênio

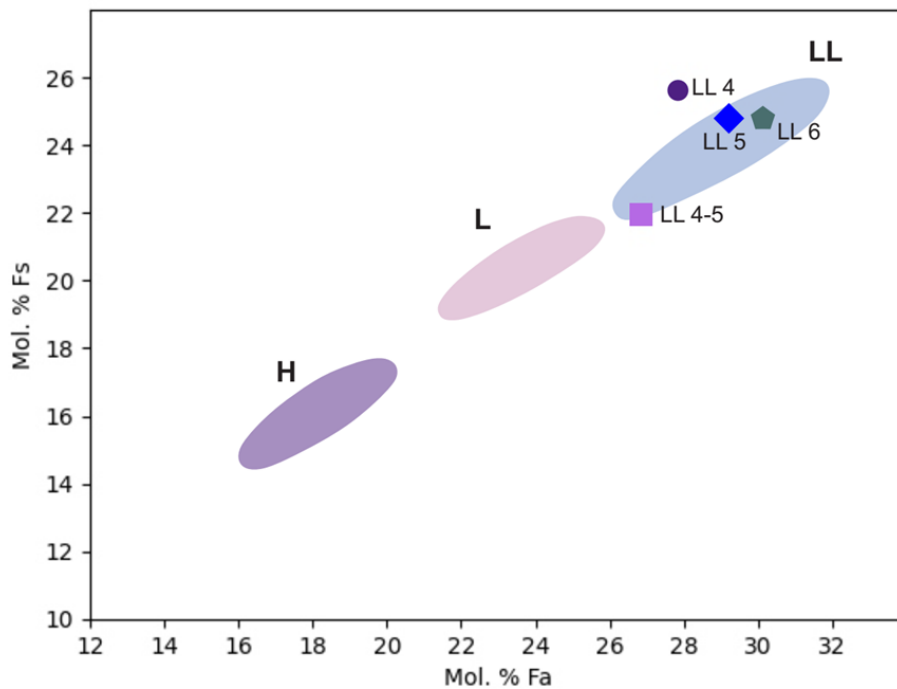


Figura 26: gráfico de covariância de Fa (mol %) Vs Fs (mol %) retirado de Grady et al. (2014) junto aos resultados obtidos pela classificação de clastos.

Diagrama Ternário: Feldspatos - WDS
Classificação Por Clastos

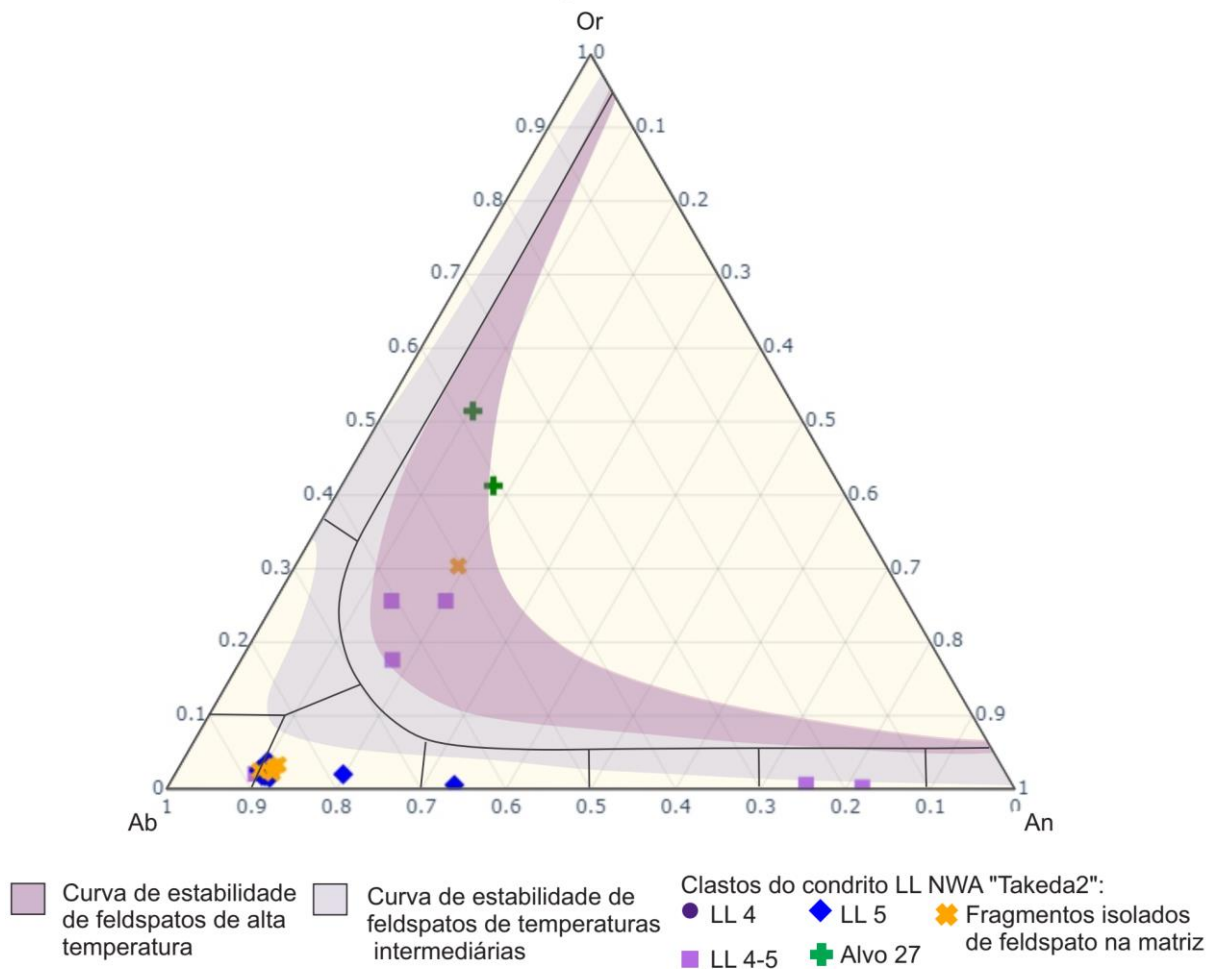


Figura 27: diagrama ternário de composição dos feldspatos segundo classificação de clastos. As curvas de alta T° e baixa T° foram retiradas dos diagramas de Klein & Dutrow (2011) e Elkins & Grove (1990).

desses componentes é interpretada como resultado da condensação do material presente na nebulosa, ou como resultado de processos de equilíbrio entre o material precipitado e a própria nebulosa. Nesse contexto, as inclusões refratárias são descritas na literatura como os primeiros materiais a serem precipitados, isso porque todos os elementos encontrados nas inclusões condensam em temperaturas acima de 1450 K (Scott & Krot, 2014). Como esperado para condritos ordinários (Rubin & Ma, 2021), não foram localizadas inclusões refratárias (CAIs ou AOAs), apenas um único cristal bem desenvolvido de espinélio. Essa depleção em elementos refratários indica que o meteorito se formou a partir de um condensado pobre em CAIs e AOAs (Scott & Krot, 2014). Ainda segundo Scott & Krot (2014), após os elementos refratários inicia-se a condensação os silicatos magnesianos, como forsterita e enstatita, e das ligas de Fe-Ni. Tanto os silicatos magnesianos quanto as ligas de Fe-Ni precipitam na faixa de 1450 e 1350 K, sendo que a cristalização de enstatita é resultado de reações entre forsterita e SiO gasoso. Os condritos LL apresentam depleções em ligas Fe-Ni (Scott & Krot, 2014; Rubin & Ma, 2021), no caso do meteorito "Takeda 2" a proporção dessas ligas em

volume é bem baixa (~2,29%), sugerindo que o material se formou a partir de uma nuvem pobre em ferro metálico.

Sobre os diferentes tipos de texturas Scott & Krot (2014) argumentam que experimentos de laboratório foram realizados para testar as condições iniciais necessárias para cada tipo de textura, embora existam muitas variáveis. Os resultados apresentados indicam que a formação dos côndrulos porfiríticos (como POP, PO e PP) está associada à cristalização a partir de líquidos que possuem uma multiplicidade de núcleos, resultado em uma fusão incompleta dos materiais precursores e no desenvolvimento desses cristais. Segundo os autores, as texturas porfiríticas podem ser replicadas ao aquecer materiais de granulação fina a aproximadamente 100°C acima das temperaturas de fusão, geralmente entre 1350°C e 1800°C, por 5 minutos, ou ligeiramente abaixo da temperatura de fusão ao longo de várias horas (Hewins and Connolly, 1996; Lofgren, 1996; Scott & Krot, 2014). Já os côndrulos não porfiríticos se formariam a partir de líquidos que foram superaquecidos acima de seu ponto de fusão por tempo suficiente para eliminar todos os cristais que poderiam servir como núcleos. Também se sugere que a nucleação de texturas como BO e RP provavelmente derivam de colisões entre grãos sólidos (Connolly e Hewins, 1995, Scott & Krot, 2014). Côndrulos com textura RP teriam resfriamento a uma taxa de 5 a 3000 graus Celsius por hora, enquanto os côndrulos BO teriam resfriado uma taxa de 500-3000 graus Celsius por hora, já os côndrulos porfiríticos a uma taxa de 5-100 graus Celsius por hora (Desch e Connolly, 2002; Scott & Krot, 2014).

Outra etapa de grande importância para a gênese do meteorito “Takeda 2” diz respeito aos processos metamórficos e aos impactos experienciados pelo seu asteroide de origem. A partir da classificação dos clastos por tipo petrológico foi constatado que todos os clastos são compatíveis com meteoritos LL, tanto em termos dos valores médios de Fa e Fs (Rubin & Ma, 2021) quanto do gráfico de covariância entre as duas fases minerais (Grady et al., 2014). Portanto, a partir dos resultados obtidos o condrito pode ser classificado como uma brecha genômica, onde a matriz e os clastos são de mesmo grupo composicional, mas de diferentes tipos metamórficos (Krot et al., 2014). É válido ressaltar que cerca de 80% dos condritos LL são brechados, uma característica notável quando comparada aos condritos H e L, os quais alcançam apenas 25% das brechas documentadas (Schleiting & Bischoff 2017; Bischoff et al. 2018).

De acordo com Bischoff et al. (2006) diferentes profundidades de um asteroide geram diferentes graus de metamorfismo, e para haver uma mistura clastos com diferentes tipos petrológicos é preciso ocorrer grandes impactos, ou impactos “catastróficos”. Assim o meteorito “Takeda 2” seria uma mistura mecânica de diferentes níveis de profundidade de um asteroide, uma brecha gerada a partir de um ou de múltiplos grandes impactos. Os autores também distinguem dois tipos de clastos: os cognatos, que possuem relação genética com a

brecha; e os clastos xenolíticos (ou xenólitos), clastos que não possuem relação genética com a rocha, podendo se tratar de projéteis acomodados na matriz. Isso explicaria a existência de clastos localizados de enstatita presentes na matriz do condrito, uma vez que enstatita pura é típica de outra classe de meteoritos, os enstatita condritos. Uma estimativa das pressões experienciadas pelo condrito pode ser realizada junto a classificação de estágios de choque, indo do estágio S2 ao S4 (Scott et al., 1992; Stöffler et al., 1991; Krot et al., 2014, Rubin & Ma, 2021). Os clastos vão desde choque muito fraco a choque moderado, correspondentes às seguintes pressões: 5–10 GPa para os clastos S2, 10–20 GPa para os clastos S3 e 20–35 GPa para os clastos S4 (Rubin & Ma, 2021).

Considerando o contexto de origem dos meteoritos LL é possível traçar uma relação genética com dois asteroides. O primeiro é o asteroide Eros, um asteroide com assinatura espectral S. Sua mineralogia é associada a condritos ordinários devido à presença dominante de olivina, ortopiroxênio e plagioclásio, com menores quantidades de piroxênio cálcico, Fe-Ni metálico e Fe-S (McCoy et al., 2001; Rubin & Ma, 2021). O segundo é o asteroide Itokawa, também de assinatura espectral S. Nakamura et al. (2011), trabalhando com as amostras coletadas no asteroide Itokawa e trazidas para a Terra pela sonda espacial Hayabusa, reportou que as fases minerais encontradas no asteroide incluem olivina ($Fa_{28.6}$), ortopiroxênio ($Fs_{23.1}Wo_{1.8}$), uma menor quantidade de clinopiroxênio de baixo Ca ($Fs_{11.3}Wo_{0.5}$; $Fs_{20.4}Wo_{0.6}$), piroxênio de alto Ca ($Fs_{8.9}Wo_{43.5}$), plagioclásio ($Ab_{83.9}Or_{5.5}$), feldspato potássico, troilita, cromita, fosfato de cálcio (clorapatita e merrillita), kamacita (com 3.8–4.2% de Ni e 9.4–9.9% de Co) e taenita (com 42–52% de Ni e 2.0–2.5% de Co). Os autores concluem que a mineralogia coincide com a dos condritos ordinários, e a química mineral é típica de condritos LL equilibrados com um componente menor de material LL3 não equilibrado. Dada a similaridade com a amostra Takeda2, existe a possibilidade do exemplar estudado ser originário do asteroide Itokawa, ou serem ambos oriundos de um mesmo corpo parental.

Por fim, existem alguns exemplos de meteoritos brasileiros análogos à amostra estudada: o Parambu, uma brecha condrítica LL5 com composição de olivina Fa_{27-28} (Barreto et al., 1973); o Buritizal, uma brecha genômica LL3.2, com composição de olivina $Fa_{29.8 \pm 13.6}$ e piroxênio de baixo cálcio $Fs_{25.3 \pm 16.7}Wo_{1.5 \pm 1.1}$ (Salaverry & Zucolotto, 2016); e o Vicência, um condrito ordinário LL3.2. com Fa variando de 0.4 a 58.9 e Fs de 0.4 a 29.8 (Meteoritical Bulletin Database). Outros meteoritos condríticos genômicos brasileiros incluem: o meteorito Parauapebas (H4-5), com composições de $Fa_{19.6 \pm 1.1}$, $Fs_{16.6 \pm 0.7}Wo_{0.0 \pm 0.0}$ e $Ab_{83.0 \pm 2.0}An_{12.2 \pm 1.3}Or_{4.8 \pm 0.8}$ (Atêncio et al., 2020); e o Santa Filomena (H5-6), com composição de olivina variando de $Fa_{18.8.5 \pm 0.4}$ a $Fa_{19.6 \pm 0.5}$ e composição de piroxênio baixo cálcio variando de $Fs_{17.1 \pm 0.4}$ a $Fs_{17.3 \pm 0.6}$ (Tosi et al., 2023).

7. CONCLUSÃO

O meteorito condrítico NWA (Northwest Africa) de nome provisório "Takeda2" corresponde a uma brecha genômica condrítica LL3.5-6, com estágio de choque S2-S4 e uma grande diversidade textural. A amostra é constituída por diversos tipos de clastos, abrangendo côneulos bem arredondados, côneulos com bordas rompidas, pequenos fragmentos de côneulos, clastos angulosos e fragmentos de minerais. Os clastos apresentam limites que variam de bem definidos a moderadamente bem definidos (2,60-0,20 mm), associados a uma matriz clástica seriada fina a muito fina (0,2-0,001 mm). A maioria dos clastos apresentam texturas tipo POP (olivina-piroxênio porfiríticos), PP (piroxênio porfirítico) e PO (olivina porfirítica), apesar de também ocorrerem texturas tipo BO (olivina barrada), C (criptocristalina), GOP (olivina-piroxênio granular) e mescla de texturas. Como esperado para condritos ordinários, não foram localizadas inclusões tipo CAIs ou AOAs, apenas um único cristal euédrico bem desenvolvido de espinélio. O grau de intemperismo da rocha foi estabelecido como tipo A em amostra de mão e tipo W1 sob microscopia óptica, isto é, leve oxidação e presença de pequenos veios e anéis de óxidos bordejando metais e troilita.

Para identificar os tipos petrológicos foi tomado como base o grau de devitrificação e recristalização de cada mesóstase presente na rocha, indo desde clastos com mesóstases vítreas preservadas (baixo grau petrológico) a clastos com mesóstases totalmente recristalizadas (alto grau petrológico). A partir da classificação de clastos, foi constatado que a assinatura química da olivina e do piroxênio na rocha vai desde clastos desequilibrados apresentando forte zonamento químico (tipo petrológico 3.5) a clastos equilibrados com pouco ou nenhum zonamento químico (tipo petrológico 4-6), predominando clastos do tipo 4 e 5. As composições de olivina e piroxênio baixo cálcio por tipo petrológico são respectivamente Fa_{12,9-42,1}; tipo 4, Fa_{27,3-28,2} e Fs_{21,9-31,8}; tipo 4 ou 5, Fa_{25,7-27,5} e Fs_{18,6-23,4}; tipo 5 Fa_{25,8-32,0} e Fs_{23,8-26,6}; tipo 6 Fa_{30,0-30,2} e Fs_{15,3-24,8}. Já os feldspatos apresentam composição Or_{0,3-51,5}, An_{9,4-81,8} e Ab_{17,8-88,5}. Ademais, o exemplar estudado possui características químicas próximas do asteroide Itokawa, havendo a possibilidade do exemplar ser originário desse asteroide ou de um mesmo corpo parental.

Posteriormente, a classificação resultante brecha genômica LL 3.5-6 será submetida ao banco de dados da Meteoritical Society, recebendo assim um nome definitivo, geralmente definido por um número sequencial para os meteoritos NWA (por exemplo, NWA11273).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afiattalab, F. & Wasson, J. T., 1980, Composition of the metal phases in ordinary chondrites: Implications regarding classification and metamorphism, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 44, p. 431–446.

- Armstrong, J. T., 1995, Citzaf-a package of correction programs for the quantitative Electron Microbeam X-Ray-Analysis of thick polished materials, thin-films and particles, *Microbeam Analysis*, v. 4, n. 3, p. 177-200.
- Atêncio, D., Cunha, D., Moutinho, A. L. R., Zucolotto, M. E., Tosi, A. A., Villaça, C. V. N., 2020, Parauapebas meteorite from Pará, Brazil, a “hammer” breccia chondrite, *Brazilian Journal of Geology*, 50(3), e20190085, <https://doi.org/10.1590/2317>.
- Barreto, A., Fonseca de Mello, Z., Levi-Donati, G. R., Sighinolfi, G. P., 1973, The meteoritic shower of Parambú, Ceará State, Brazil: mineralogy and petrology, *Meteoritics*, v. 8, p. 324-324.
- Bischoff, A., Palme, H., Schultz, L., Weber, D., Weber, H.W., e Spettel, B., 1993, Acfer 182 and paired samples, an iron-rich carbonaceous chondrite: Similarities with ALH85085 and relationship to CR chondrites, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 57, p. 2631-2648.
- Bischoff, A., Scott, E. R., Metzler, K., & Goodrich, C. A., 2006, Nature and origins of meteoritic breccias, *Meteorites and the early solar system II*, p. 679-712.
- Bischoff, A., Schleiting, M., Wieler, R., & Patzek, M., 2018, Brecciation among 2280 ordinary chondrites—Constraints on the evolution of their parent bodies, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 238, p. 516-541.
- Connelly, J.N., Bizzarro, M., Krot, A.N., Nordlund, Å., Wielandt, D., Ivanova, M.A., 2012, The absolute chronology and thermal processing of solids in the solar protoplanetary disk, *Science* (80-338, 651–655), doi:10.1126/science.1226919.
- Connolly, H.C. Jr., & Hewins, R.H., 1995, Chondrules as products of dust collisions with totally molten droplets within a dust-rich nebular environment: An experimental investigation, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 59, p. 3131–3246.
- Day, J.M.D., 2015, Planet formation processes revealed by meteorites: *Geology Today*, v. 31, p. 12-20, doi:10.1111/gto.12082.
- Desch, S.J., & Connolly, H.C. Jr., 2002, A model of the thermal processing of particles in solar nebula shocks: Application to the cooling rates of chondrules, *Meteoritics and Planetary Science*, v. 37, p. 183–207.
- Dodd, R. T., Van Schmus, W. R., and Koffman, D. M., 1967, A survey of the unequilibrated ordinary chondrites, *Geochimica et Cosmochimica, Acta*, v. 31, p. 921–951.
- Elkins, L.T., Grove, T.L., 1990, Ternary Feldspar Experiments and Thermodynamic Models, *American Mineralogist*, v. 75(5-6), p. 544–559
- Grady, M., Pratesi, G., & Moggi Cecchi, V., 2014, *Atlas of Meteorites*.

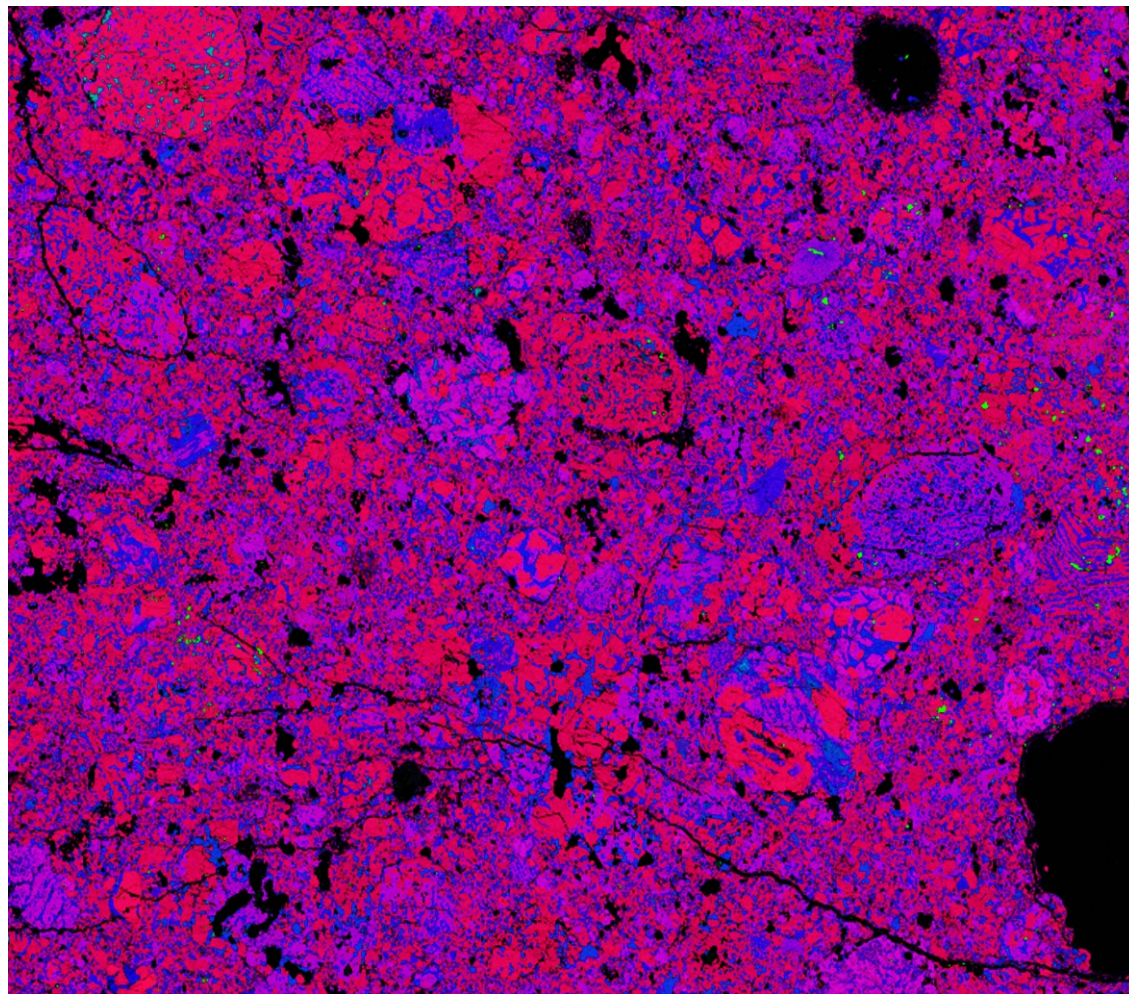
- Gomes, C. B., 2015, A microssonda eletrônica na geologia, Edusp.
- Grossman, J. N., MacPherson, G. J., Crozaz, G., 1993, LEW 87223: A unique E chondrite with possible links to H chondrites, *Meteoritics*, v. 28, no. 3, p. 358.
- Grossman, J.N., 1994, The Meteoritical Bulletin, No. 76: The US Antarctic Meteorite Collection, *Meteoritics*, v.29, p.100-143, doi:10.1111/j.1945-5100.1994.tb00661.x.
- Hewins, R.H., & Connolly, H.C. Jr., 1996, Peak temperatures of flash-melted chondrules, In: Hewins RH, Jones RH, and Scott ERD (eds.), *Chondrules and the Protoplanetary Disk*, Cambridge: Cambridge University Press, p. 197–204.
- Izawa, M. R. M., Flemming, R. L., Banerjee, N. R., and McCausland, P. J. A., 2011, Micro-Xray diffraction assessment of shock stage in enstatite chondrites, *Meteoritics & Planetary Science*, v. 46, p. 638–651.
- JEOL JXA-8230 User Manual, 2019: <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/erdw/geopetro/highpressure-dam/documents/EPMA_manual_v1.0.pdf>, (acessado em 14/08/2023).
- Kallemeyn, G. W., 1996, The classificational wanderings of the Ningqiang chondrite: Lunar and Planetary Science Conference, v. 27, p. 635-636.
- Klein, C., Dutrow, B., 2012, Manual de ciência dos minerais, ed. 23, Porto Alegre, Artmed Editora S.A.
- Krot, A.N., Meibom, A., Weisberg, M.K., Keil, K., 2002, The CR chondrite clan: Implications for early solar system processes, *Meteoritics and Planetary Science*, v. 37, p. 1451-1490.
- Krot, A.N., Keil, K., Scott, E.R.D., Goodrich, C.A., Weisberg, M.K., 2007, Classification of Meteorites, *Treatise on Geochemistry*, v. 1, p. 1-52, doi: 10.1016/B0-08-043751-6/01062-8.
- Krot, A.N, Keil, K., Scott, E.R.D., Goodrich, C.A., Weisberg, M.K., 2014, Classification of Meteorites and Their Genetic Relationships, *Treatise on Geochemistry*, v. 1, ed. 2, p. 1-63.
- Lofgren, G., 1996, A dynamic crystallization model for chondrules melts, In: Hewins RH, Jones RH, and Scott ERD (eds.), *Chondrules and the Protoplanetary Disk*, Cambridge: Cambridge University Press, p. 1887–1896.
- McCoy, T. J., Burbine, T. H., McFadden, L. A., Starr, R. D., Gaffey, M. J., Nittler, L. R., Evans, L. G., Izenberg, N., Lucey, P. G., Trombka, J. I., Bell, J. F., Clark, B. E., Clark, P. E., Squyres, S. W., Chapman, C. R., Boynton, W. V., Veverka, J., 2001, The composition of 433 Eros: A mineralogical-chemical synthesis, *Meteoritics & Planetary Science*, v. 36, p. 1661–1672.

- McSween, H.Y. Jr., & Patchen, A.D., 1989, Pyroxene thermobarometry in LL chondrites and implications for parent body metamorphism, *Meteoritics*, v. 24, p. 219–226.
- Meteoritical Society, Meteoritical Bulletin Database: <https://www.lpi.usra.edu/meteor/> (acessado em agosto de 2023).
- Nakamura, T., Noguchi, T., Tanaka, M., Zolensky, M. E., Kimura, M., Tsuchiyama, A., Nakato, A., Ogami, T., Ishida, H., Uesugi, M., Yada, T., Shirai, K., Fujimura, A., Okazaki, R., Sandford, S. A., Ishibashi, Y., Abe, M., Okada, T., Ueno, M., Mukai, T., Yoshikawa, M., Kawaguchi, J., 2011, Itokawa dust particles: A direct link between S-Type asteroids and ordinary chondrites, *Science*, v. 333, p. 1113–1116.
- Nobre, A.G., Rojas, G.E.E., Fonseca, A.L.P.R., Florêncio, O., 2021, História e desenvolvimento da ciência meteorítica: *Terræ Didatica*, v. 17, p. 1-12, doi: 10.20396/td.v17i00.8667026.
- Rubin, A. E., Breen, J. P., Isa, J., Tutorow, S., 2017, NWA 10214 – An LL3 chondrite breccia with an assortment of metamorphosed, shocked, and unique chondrite clasts, *Meteoritics & Planetary Science*, v. 52, p. 372–390.
- Rubin, A.E., & Scott, E.R.D., 1997, Abee and related EH chondrite impact-melt breccias: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 61, p. 425-435, doi: 10.1016/S0016-7037(96)00335-3.
- Rubin, A. E., 1990, Kamacite and olivine in ordinary chondrites: Intergroup and intragroup relationships, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 54, p. 1217–1232.
- Rubin, A.E., Trigo-Rodriguez, J.M., Huber, H., Wasson, J.T., 2007, Progressive aqueous alteration of CM carbonaceous chondrites: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 71, p.2361-2382.
- Rubin, A. E., 2015, Impact features of enstatite-rich meteorites, *Chemie der Erde – Geochemistry*, v. 75, p. 1–28.
- Rubin, A.E., & Ma, C., 2021, *Meteorite Mineralogy*: Cambridge, Cambridge University Press, Cambridge Planetary Science, doi: 10.1017/9781108613767.
- Salaverry, R. N., Zucolotto, M. E., 2016, Classificação do Meteorito Buritizal - Saulo Gomes, In: XL Reunião Anual da SAB, Ribeirão Preto, Boletim do XL Reunião Anual 2016, v. 34, p. 97-97.
- Schleiting, M., & Bischoff A., 2017, Brecciation of ordinary chondrites—Survey of 2248 meteorites (abstract #6085), *Meteoritics & Planetary Science*, 52:A306.

- Scott, E. R. D., 2007, Chondrites and the Protoplanetary Disk, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 35, n. 1, p. 577–620.
- Scott, E.R.D., Keil, K., Stöffler, D., 1992, Shock metamorphism of carbonaceous chondrites: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 56, p. 4281–4293
- Scott, E.R.D., & Krot, A.N., 2014, Chondrites and Their Components: Treatise on Geochemistry, ed. 2., p. 65-138.
- Sears, D.W.G., & Dodd, R.T., 1988, Overview and classification of meteorites, em: Kerridge JF and Matthews MS (eds.), *Meteorites and the Early Solar System*, Tucson, University of Arizona Press, p. 3–31.
- Stöffler, D., Keil, K., Scott, E.R.D., 1991, Shock metamorphism in ordinary chondrites: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 55, p. 3845-3867.
- Stöffler, D., Hamann, C., & Metzler, K., 2018, Shock metamorphism of planetary silicate rocks and sediments: Proposal for an updated classification system, *Meteoritics & Planetary Science*, v. 53, p. 5–49.
- Tosi, A., Zucolotto, M. E., Andrade, D. P., Winter, O. C., Mourão, D. C., Sfair, R., Wolff, W., 2023, The Santa Filomena meteorite shower: Trajectory, classification, and opaque phases as indicators of metamorphic conditions, *Meteoritics & Planetary Science*.
- Van Schmus, W.R., & Wood, J.A., 1967, A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 31, p. 747-765.
- Walters, J. B., 2022, MinPlot: A mineral formula recalculation and plotting program for electron probe microanalysis, *Mineralogia*, v. 53(1), p. 51-66.
- Warr, L. N., 2021, IMA–CNMNC approved mineral symbols, *Mineralogical Magazine*, v. 85(3), p.291-320.
- Wlotzka, F., 1993, A weathering scale for the ordinary chondrites, *Meteoritics*, v. 28, p.460.
- Zucolotto, M. E., Fonseca, A. D. C., Antonello, L. L., 2013, *Decifrando os meteoritos*, Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Museu Nacional.

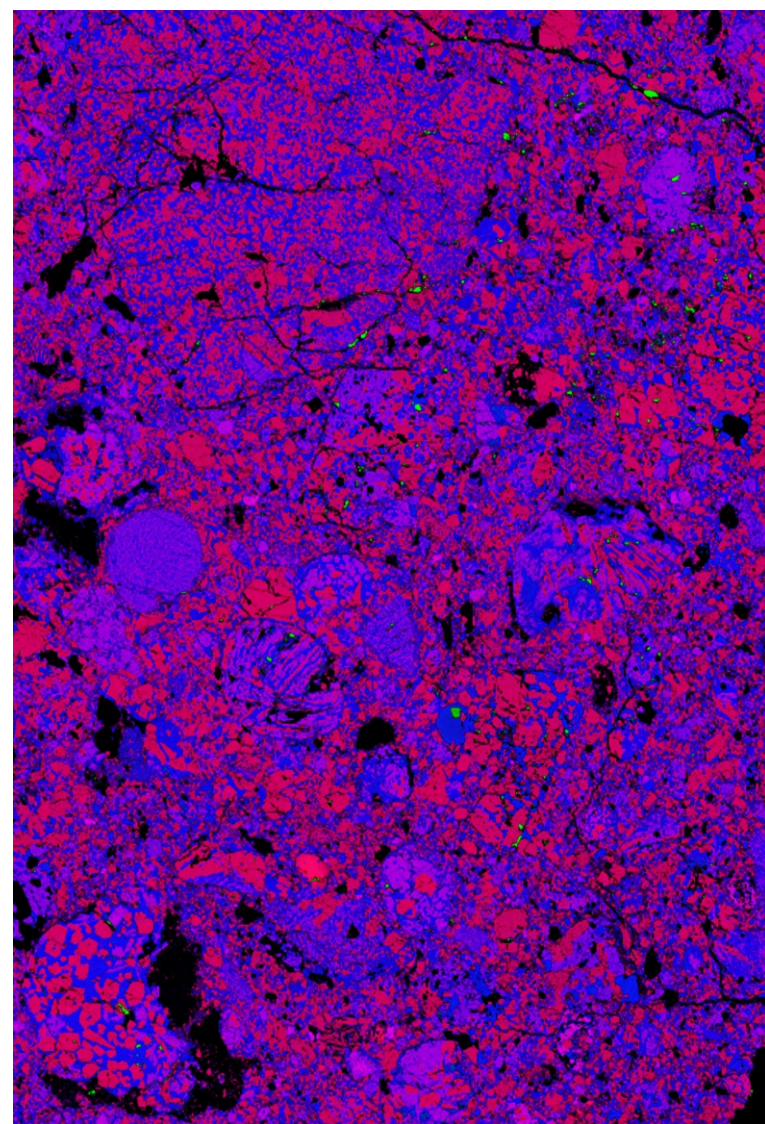
MAPAS COMPOSICIONAIS - EDS: RGB (Mg/Al/Si)

Mapa 01



1 mm

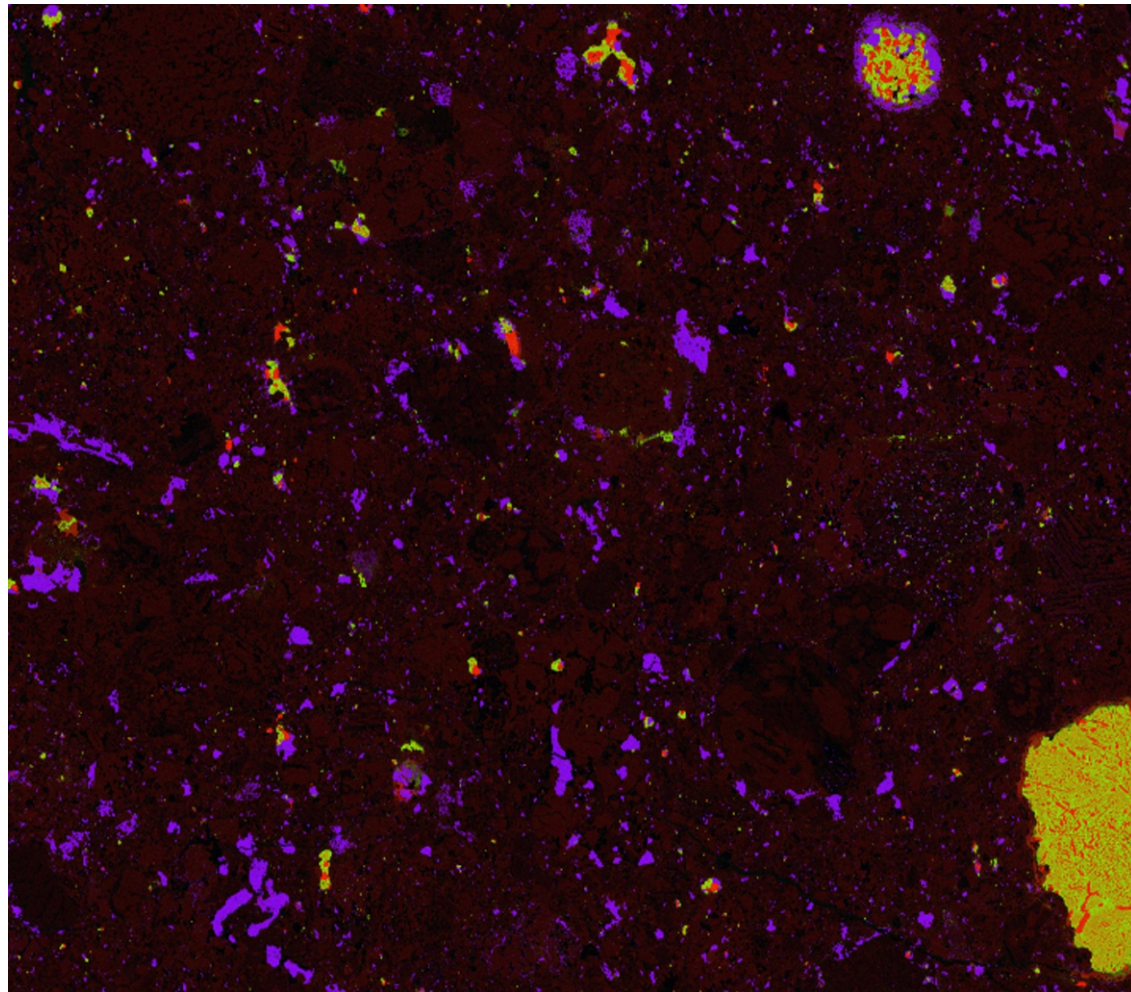
Mapa 02



1 mm

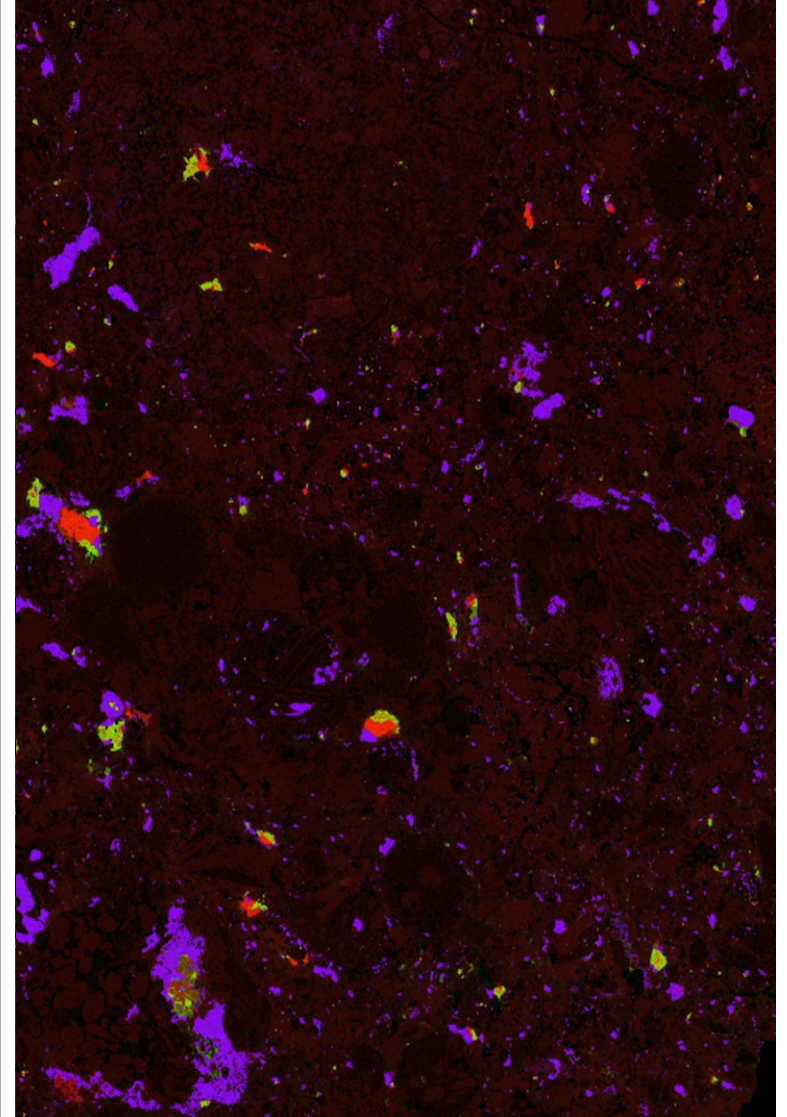
MAPAS COMPOSICIONAIS - EDS: RGB (Fe/Ni/S)

Mapa 01



1 mm

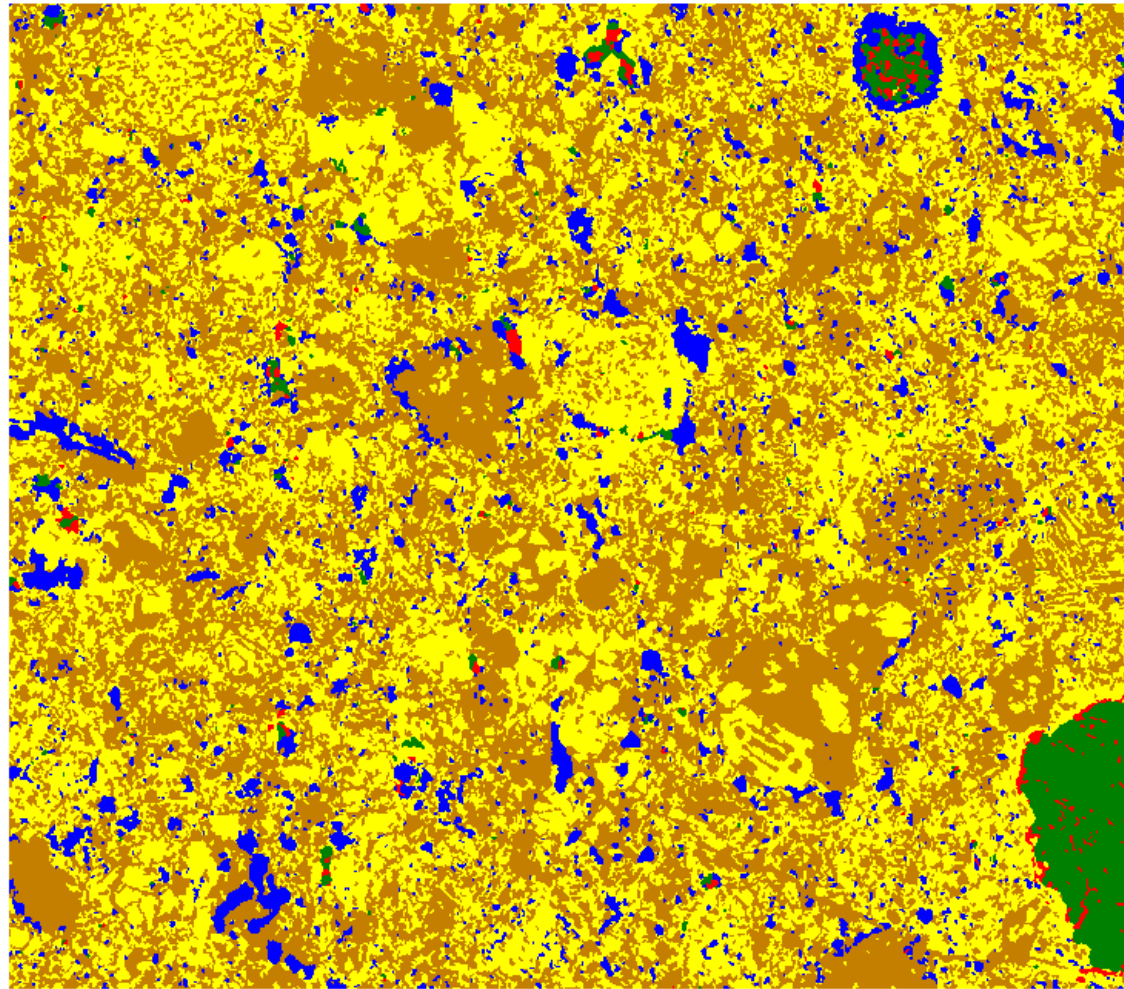
Mapa 02



1 mm

MAPAS DE CONTAGENS

Mapa 01



1 mm

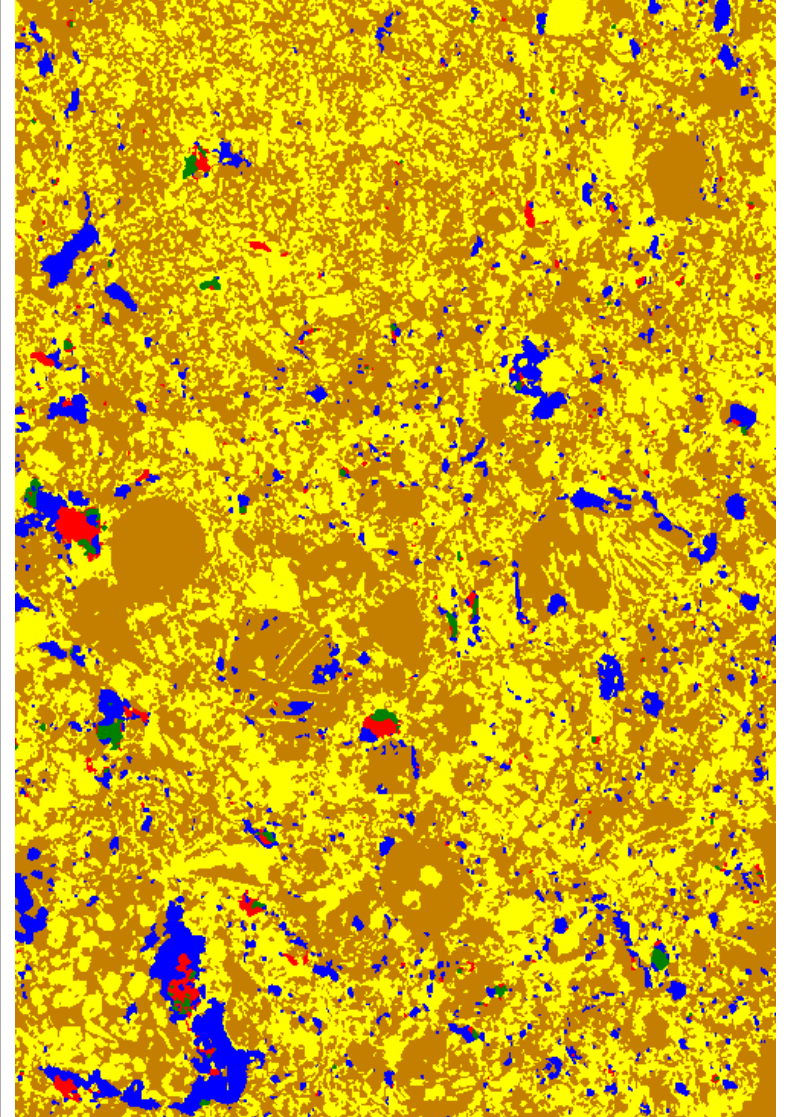
Mapa 01: total de ligas 3,31%

Class Summary	Pixel Count	Percent
Fe	10221	0.570891
Fe-Ni	49133	2.744308
Fe-S	122968	6.868339
Ol	781803	43.667363
Px+Fd	826235	46.149099

Mapa 02: total de ligas 1,27%

Class Summary	Pixel Count	Percent
Fe	11625	0.824307
Fe-Ni	6403	0.454025
Fe-S	76169	5.401000
Ol	596093	42.267826
Px+Fd	719986	51.052844

Mapa 02



1 mm

Condições de Análise - WDS

Piroxênio							
Tensão utilizada: 15kV			Corrente do Feixe: 20nA				
Elemento analisado	linha espectral	Cristal analisador	Tempo de Contagem de Pico (s)	Tempo de Contagem de Background (s)	Elemento analisado	Nome do padrão	Massa (%)
Si	Ka	TAP	30	15	SiO2	diopside	55,8100
Al	Ka	TAP	30	15	Al2O3	anorthite	36,0300
Fe	Ka	LIFL	30	15	FeO	fayalite	67,5500
Mn	Ka	LIFL	60	30	MnO	fayalite	2,1400
Ca	Ka	PETJ	30	15	CaO	Wollastonite	47,8400
K	Ka	PETJ	60	15	K2O	microcline	15,1400
Ti	Ka	LIFL	60	30	TiO2	Rutile	99,9800
Cr	Ka	LIFL	60	30	Cr2O3	chromite	60,5000
Na	Ka	TAPH	20	10	Na2O	Albite	11,7900
Mg	Ka	TAPH	30	15	MgO	diopside	17,7900

Tabela 1: condições de análise do piroxênio (WDS).

Olivina							
Tensão utilizada: 15kV			Corrente do Feixe: 20nA				
Elemento analisado	linha espectral	Cristal analisador	Tempo de Contagem de Pico (s)	Tempo de Contagem de Background (s)	Elemento analisado	Nome do padrão	Massa (%)
Si	Ka	TAP	30	15	SiO2	olivine_basalt	40,8100
Al	Ka	TAP	30	15	Al2O3	anorthite	36,0300
Fe	Ka	LIFL	10	5	FeO	fayalite	67,5500
Mn	Ka	LIFL	40	20	MnO	fayalite	2,1400
Ca	Ka	PETJ	60	30	CaO	Wollastonite	47,8400
P	Ka	PETJ	60	30	P2O5	fluorapatite	40,7800
Cr	Ka	LIFL	60	30	Cr2O3	chromite	60,5000

Tabela 2: condições de análise da olivina (WDS).

Elemento analisado	linha espectral	Cristal analisador	Tempo de Contagem de Pico (s)	Tempo de Contagem de Background (s)	Elemento analisado	Nome do padrão	Massa (%)
Ni	Ka	LIFL	60	30	NiO	glass_rhyolitic_#37	0,7300
Mg	Ka	TAPH	30	15	MgO	olivine_basalt	49,4200
Na	Ka	TAPH	30	15	Na2O	Albite	11,7900

Tabela 2 (continuação): condições de análise da olivina (WDS).

Feldspato							
Tensão utilizada:		15kV		Corrente do Feixe: 20nA			
Elemento analisado	linha espectral	Cristal analisador	Tempo de Contagem de Pico (s)	Tempo de Contagem de Background (s)	Elemento analisado	Nome do padrão	Massa (%)
Si	Ka	TAP	20	10	SiO2	anorthite	44,0000
Al	Ka	TAP	20	10	Al2O3	anorthite	36,0300
Fe	Ka	LIFL	30	15	Fe2O3	fayalite	75,0712
Mn	Ka	LIFL	40	20	MnO	fayalite	2,1400
Ca	Ka	PETJ	15	7,5	CaO	Wollastonite	47,8400
K	Ka	PETJ	20	10	K2O	microcline	15,1400
Sr	La	PETJ	30	15	SrO	strontianite	67,6700
Ti	Ka	LIFL	30	15	TiO2	Rutile	99,9800
Na	Ka	TAPH	10	5	Na2O	Albite	11,7900
Mg	Ka	TAPH	15	7,5	MgO	diopside	17,7900

Tabela 3: condições de análise do feldspato (WDS).

Espinélio							
Tensão utilizada:		15kV		Corrente do Feixe: 20nA			
Elemento analisado	linha espectral	Cristal analisador	Tempo de Contagem de Pico (s)	Tempo de Contagem de Background (s)	Elemento analisado	Nome do padrão	Massa (%)
Al	Ka	TAP	30	15	Al2O3	Spinel	63,9500
Si	Ka	TAP	30	15	SiO2	diopside	55,8100

Tabela 4: condições de análise do espinélio (WDS).

Elemento analisado	linha espectral	Cristal analisador	Tempo de Contagem de Pico (s)	Tempo de Contagem de Background (s)	Elemento analisado	Nome do padrão	Massa (%)
Fe	Ka	LIFL	10	5	Fe2O3	magnetite_Fe2_Fe3	67,5000
Ni	Ka	LIFL	30	15	NiO	Ni	127,2526
Mn	Ka	LIFL	40	20	MnO	fayalite	2,1400
Ca	Ka	PETJ	20	10	CaO	Wollastonite	47,8400
Nb	La	PETJ	40	20	Nb2O5	ilmenite	0,9200
Ti	Ka	LIFL	30	15	TiO2	Rutile	99,9800
Cr	Ka	LIFL	30	15	Cr2O3	chromite	60,5000
Zn	Ka	LIFL	40	20	ZnO	Willemite	66,3000
Mg	Ka	TAPH	20	10	MgO	diopside	17,7900
Na	Ka	TAPH	30	15	Na2O	Albite	11,7900

Tabela 4 (continuação): condições de análise do espinélio (WDS).

Ligas Fe-Ni							
Tensão utilizada:		15kV		Corrente do Feixe: 20nA			
Elemento analisado	linha espectral	Cristal analisador	Tempo de Contagem de Pico (s)	Tempo de Contagem de Background (s)	Elemento analisado	Nome do padrão	Massa (%)
Al	Ka	TAP	20.0	10	Al	Spinel	33,8441
Si	Ka	TAP	20.0	10	Si	diopside	26,0892
Ni	Ka	LIFL	40.0	20	Ni	Ni	100,0000
Fe	Ka	LIFL	20.0	10	Fe	magnetite_%el	70,6800
P	Ka	PETJ	40.0	20	P	fluorapatite	17,7956
S	Ka	PETJ	40.0	20	S	FeS2	53,4500
Cr	Ka	LIFL	40.0	20	Cr	chromite	41,3947
Co	Ka	LIFL	40.0	20	Co	CoO_graos_maiores	78,6500
Mg	Ka	TAPH	20.0	10	Mg	diopside	10,7287
Na	Ka	TAPH	10.0	5	Na	Albite	8,7964

Tabela 5: condições de análise das ligas Fe-Ni (WDS).

Piroxênio - WDS																	
No.	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SiO2 (Wt %)	55,83	56,38	55,18	55,06	55,18	55,91	55,01	56,14	56,09	55,22	56,11	56,39	54,75	58,82	58,79	56,52	57,23
Al2O3 (Wt %)	0,18	0,18	0,48	0,51	0,51	0,18	2,34	0,22	0,17	0,49	0,17	0,15	2,51	0,28	0,29	0,13	6,82
FeOT (Wt %)	16,05	16,06	6,18	6,46	6,63	16,46	10,66	15,7	15,75	5,99	15,56	15,59	4,13	6,23	6,23	15,28	4,11
MnO (Wt %)	0,45	0,43	0,22	0,23	0,23	0,41	0,29	0,46	0,46	0,21	0,44	0,43	1,11	0,41	0,46	0,42	0,15
CaO (Wt %)	0,9	0,88	19,88	19,74	19,76	0,84	3,63	0,78	0,78	19,58	0,89	0,91	13,42	0,32	0,33	0,76	15,77
K2O (Wt %)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,18
TiO2 (Wt %)	0,19	0,17	0,4	0,44	0,41	0,19	0,46	0,2	0,2	0,41	0,18	0,19	0,36	0,03	0,03	0,14	0,52
Cr2O3 (Wt %)	0,23	0,17	0,79	0,79	0,8	0,15	0,94	0,17	0,13	0,8	0,16	0,12	2,52	0,58	0,56	0,15	0,78
Na2O (Wt %)	<0,01	0,03	0,52	0,49	0,56	0,04	<0,01	0,03	0,02	0,53	0,02	0,03	0,31	0,04	0,03	0,02	3,32
MgO (Wt %)	27,07	26,95	15,95	16,03	15,86	26,63	27,05	27,1	27,35	15,99	27,25	27,23	21,07	34,46	34,36	27,69	11,41
Total (Wt %)	100,93	101,25	99,62	99,75	99,94	100,81	100,39	100,82	100,95	99,22	100,79	101,05	100,18	101,19	101,09	101,11	100,29
Alvos	11	1	1	1	17	17	10	11, cônd. I	11, cônd. I	11, cônd. III	11, cônd. III	11, cônd. III	16, cônd. II	16, cônd. II	16, cônd. II	16, cônd. III	16, cônd. III
Fórmula Estrutural (O6)																	
Si_T	2	2	2	2	2	2	1,96	2	2	2	2	2	1,98	2	2	2	2
Al_T	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0
Fe3_T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TΣ	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Al_M1	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,06	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,08	0,01	0,01	0,01	0,29
Ti_M1	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0,01
Cr_M1	0,01	0	0,02	0,02	0,02	0	0,03	0	0	0,02	0	0	0,07	0,02	0,02	0	0,02
Fe3_M1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn_M1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0
Mg_M1	0,73	0,73	0,77	0,76	0,76	0,72	0,73	0,73	0,73	0,77	0,73	0,74	0,72	0,87	0,87	0,74	0,56
Fe2_M1	0,24	0,24	0,17	0,17	0,18	0,25	0,16	0,24	0,24	0,16	0,24	0,24	0,08	0,09	0,09	0,23	0,11
M1Σ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mg_M2	0,72	0,71	0,11	0,12	0,11	0,71	0,7	0,72	0,73	0,11	0,72	0,72	0,41	0,88	0,88	0,73	0,06
Fe2_M2	0,24	0,24	0,02	0,03	0,03	0,25	0,16	0,23	0,23	0,02	0,23	0,23	0,05	0,09	0,09	0,23	0,01
Ca_M2	0,03	0,03	0,79	0,78	0,78	0,03	0,14	0,03	0,03	0,78	0,03	0,03	0,52	0,01	0,01	0,03	0,61
Na_M2	0	0	0,04	0,04	0,04	0	0	0	0	0,04	0	0	0,02	0	0	0	0,23
K_M2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01
M2Σ	1	0,98	0,96	0,96	0,96	0,99	1	0,99	0,99	0,95	0,99	0,98	1	0,99	0,99	0,98	0,93
Total Σ	4	3,98	3,96	3,96	3,96	3,99	4	3,99	3,99	3,95	3,99	3,98	4	3,99	3,99	3,98	3,93
Xwo	0,02	0,02	0,4	0,4	0,4	0,02	0,06	0,02	0,02	0,4	0,02	0,02	0,24	0,01	0,01	0,01	0,31
Xfs	0,24	0,24	0,1	0,1	0,1	0,25	0,15	0,24	0,24	0,1	0,24	0,24	0,06	0,09	0,09	0,23	0,06
Xen	0,73	0,73	0,45	0,45	0,45	0,72	0,67	0,73	0,74	0,46	0,74	0,74	0,53	0,88	0,88	0,74	0,31
Xjd	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,09	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,1	0,01	0,01	0,01	0,29
Xaeg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Xkos	0,01	0	0,02	0,02	0,02	0	0,02	0	0	0,02	0	0	0,07	0,02	0,02	0	0,02
XQuad	0,99	0,99	0,95	0,95	0,95	0,99	0,88	0,99	0,99	0,95	0,99	0,99	0,83	0,97	0,97	0,99	0,68
%Wo	1,77	1,73	42,39	41,92	42,04	1,66	7,32	1,54	1,52	42,1	1,75	1,79	29,2	0,6	0,62	1,49	45,25
%Fs	24,52	24,62	10,29	10,71	11,01	25,32	16,78	24,15	24,05	10,05	23,84	23,88	7,01	9,15	9,18	23,29	9,2
%En	73,72	73,65	47,32	47,37	46,95	73,02	75,9	74,31	74,43	47,84	74,41	74,34	63,79	90,24	90,21	75,22	45,55
Observações													px zonado (borda)	px zonado (núcleo)			

Tabela 6: análises químicas do piroxênio (WDS).

Piroxênio - WDS																	
No.	19	20	22	23	24	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
SiO2 (Wt %)	56,29	56,05	60,99	60,67	60,87	46,48	56,7	53,52	55,7	55,55	56,36	54,48	54,89	54,2	55,33	55,88	54
Al2O3 (Wt %)	0,24	0,18	0,13	0,38	0,07	0,24	0,24	1,48	0,21	0,19	1,03	0,99	0,51	0,57	0,16	0,08	0,31
FeOT (Wt %)	10,85	15,37	0,47	0,32	0,32	19,06	15,03	12,08	17,32	17,17	9,69	8,06	13,59	13,73	14,7	17	19,64
MnO (Wt %)	0,36	0,45	0,04	0,06	0,04	0,37	0,43	0,38	0,4	0,42	0,26	0,2	0,65	0,67	0,5	0,58	1,01
CaO (Wt %)	9,7	0,73	0,55	0,23	0,51	0,67	0,66	2,63	1,15	1,08	12,9	18,77	5,86	6,04	0,21	0,24	2,13
K2O (Wt %)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	0,39	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
TiO2 (Wt %)	0,21	0,14	0,02	<0,02	<0,02	0,03	0,1	0,13	0,19	0,2	0,26	0,27	0,09	0,12	<0,02	0,02	0,07
Cr2O3 (Wt %)	0,39	0,08	<0,01	0,01	0,02	0,39	0,25	0,39	0,18	0,19	0,4	0,55	1,26	1,55	0,45	0,35	1,03
Na2O (Wt %)	0,22	<0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,05	0,24	0,06	0,03	0,59	0,62	0,38	0,37	0,08	0,07	0,25
MgO (Wt %)	22,52	27,63	39,12	39,46	39,29	33,21	27,98	28,48	26,01	25,98	19,62	16	22,85	22,6	28,47	26,79	22,04
Total (Wt %)	100,78	100,64	101,34	101,17	101,14	100,5	101,48	99,7	101,23	100,81	101,12	99,96	100,1	99,86	99,91	101,02	100,48
Alvos	16	16	21	21	21	21	21	21	3	3	12	12	24	24	22, cônd. I	22, cônd. I	22, cônd. I
Fórmula Estrutural (O6)																	
Si_T	2	2	2	2	2	1,64	2	1,91	2	2	2	2	2	1,99	1,99	2	2
Al_T	0	0	0	0	0	0,01	0	0,06	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0
Fe3_T	0	0	0	0	0	0,35	0	0,03	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0
TΣ	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Al_M1	0,01	0,01	0	0,02	0	0	0,01	0	0,01	0,01	0,04	0,04	0,02	0,01	0	0	0,01
Ti_M1	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0
Cr_M1	0,01	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04	0,01	0,01	0,03
Fe3_M1	0	0	0	0	0	0,21	0	0,11	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0
Mn_M1	0,01	0,01	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
Mg_M1	0,76	0,74	0,99	0,98	0,99	0,77	0,74	0,76	0,71	0,71	0,73	0,72	0,69	0,69	0,75	0,71	0,62
Fe2_M1	0,2	0,23	0,01	0	0	0	0,22	0,11	0,26	0,26	0,2	0,2	0,23	0,23	0,21	0,25	0,31
M1Σ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mg_M2	0,45	0,73	0,95	0,97	0,95	0,97	0,74	0,76	0,69	0,69	0,33	0,16	0,55	0,55	0,77	0,72	0,6
Fe2_M2	0,12	0,23	0,01	0	0	0	0,22	0,11	0,26	0,26	0,09	0,04	0,18	0,19	0,22	0,26	0,3
Ca_M2	0,38	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,1	0,04	0,04	0,5	0,74	0,23	0,24	0,01	0,01	0,08
Na_M2	0,02	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0,04	0,04	0,03	0,03	0,01	0	0,02
K_M2	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M2Σ	0,97	0,99	0,98	0,99	0,98	1	0,99	1	1	0,99	0,96	0,99	1	1	1	0,99	1
Total Σ	3,97	3,99	3,98	3,99	3,98	4	3,99	4	4	3,99	3,96	3,99	4	4	4	3,99	4
Xwo	0,19	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02	0,02	0,25	0,37	0,11	0,12	0	0	0,04
Xfs	0,17	0,23	0,01	0	0	0	0,22	0,1	0,26	0,26	0,15	0,13	0,21	0,21	0,21	0,26	0,3
Xen	0,62	0,74	0,98	0,98	0,98	0,59	0,75	0,67	0,7	0,7	0,54	0,44	0,62	0,61	0,75	0,72	0,61
Xjd	0,01	0,01	0	0,02	0	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,04	0,04	0,02	0,02	0,01	0	0,01
Xaeg	0	0	0	0	0	0,38	0	0,13	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0
Xkos	0,01	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04	0,01	0,01	0,03
XQuad	0,98	0,99	0,99	0,98	1	0,6	0,98	0,81	0,99	0,99	0,94	0,94	0,94	0,93	0,97	0,99	0,96
%Wo	19,6	1,43	0,99	0,41	0,92	1,43	1,29	5,48	2,26	2,14	27,01	39,66	12,14	12,53	0,41	0,47	4,43
%Fs	17,11	23,44	0,66	0,45	0,45	0	22,86	11,91	26,58	26,47	15,84	13,29	21,98	22,23	21,86	26,13	31,85
%En	63,3	75,13	98,35	99,14	98,63	98,57	75,85	82,61	71,16	71,39	57,16	47,04	65,88	65,24	77,73	73,4	63,72
Observações	matriz	matriz				matriz, px zonado (núcleo)	matriz	matriz, px zonado (borda)					px zonado (borda)	ripas de px	px zonado (núcleo)	px zonado (borda)	px zonado (núcleo)

Tabela 6 (continuação): análises químicas do piroxênio (WDS).

Piroxênio - WDS												
No.	38	39	40	41	46	47	48	49	50	55	56	57
SiO2 (Wt %)	56,99	57,63	54,16	54,94	55,75	54,07	55,56	55,93	55,82	56,35	56,17	57,18
Al2O3 (Wt %)	0,27	2,95	3,06	2,24	0,27	1,02	0,17	0,28	0,13	3,71	0,2	0,18
FeOT (Wt %)	15,01	8,65	8,69	12,37	16,26	9,19	14,58	14,74	14,94	4,62	13,04	12,3
MnO (Wt %)	0,44	0,52	0,52	0,38	0,43	0,33	0,43	0,42	0,42	0,18	0,46	0,39
CaO (Wt %)	0,28	2,55	3,16	2,89	1,38	16,46	2,4	1,92	1,62	18,71	0,67	0,52
K2O (Wt %)	<0,02	0,24	0,29	0,07	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	<0,02	<0,02
TiO2 (Wt %)	<0,02	0,14	0,09	0,08	0,19	0,29	0,19	0,17	0,13	0,52	0,03	0,03
Cr2O3 (Wt %)	0,44	0,71	0,62	0,57	0,3	1,17	0,2	0,21	0,13	1,02	0,35	0,41
Na2O (Wt %)	0,06	1,33	1,27	1,25	0,03	0,56	0,06	0,12	0,04	1,94	0,03	0,04
MgO (Wt %)	28,12	24,11	23,28	22,15	26,64	16,74	26,97	26,94	27,21	14,15	29,2	29,87
Total (Wt %)	101,62	98,84	95,14	96,95	101,26	99,85	100,56	100,74	100,44	101,24	100,15	100,93
Alvos	22, cônd. I	35	35	35	20	20	22, cônd. II	22, cônd. II	22, cônd. II	16, cônd. III	24	24
Fórmula Estrutural (O6)												
Si_T	2	2	2	2	2	2	1,99	2	2	2	2	2
Al_T	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0
Fe3_T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TΣ	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Al_M1	0,01	0,13	0,13	0,1	0,01	0,04	0	0,01	0,01	0,16	0,01	0,01
Ti_M1	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0	0	0,01	0	0
Cr_M1	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0	0,03	0,01	0,01
Fe3_M1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn_M1	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg_M1	0,74	0,69	0,68	0,66	0,72	0,69	0,75	0,74	0,74	0,67	0,77	0,79
Fe2_M1	0,22	0,14	0,14	0,21	0,25	0,21	0,23	0,23	0,23	0,12	0,19	0,18
M1Σ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mg_M2	0,74	0,6	0,61	0,57	0,7	0,23	0,69	0,7	0,71	0,09	0,78	0,78
Fe2_M2	0,22	0,12	0,13	0,18	0,24	0,07	0,21	0,21	0,22	0,02	0,19	0,18
Ca_M2	0,01	0,1	0,13	0,12	0,05	0,65	0,09	0,07	0,06	0,72	0,03	0,02
Na_M2	0	0,09	0,09	0,09	0	0,04	0	0,01	0	0,14	0	0
K_M2	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M2Σ	0,98	0,92	0,97	0,95	1	1	1	1	1	0,97	1	0,99
Total Σ	3,98	3,92	3,97	3,95	4	4	4	4	4	3,97	4	3,99
Xwo	0,01	0,05	0,06	0,06	0,03	0,32	0,05	0,04	0,03	0,36	0,01	0,01
Xfs	0,22	0,13	0,14	0,2	0,24	0,14	0,22	0,22	0,23	0,07	0,19	0,18
Xen	0,75	0,67	0,65	0,63	0,71	0,46	0,72	0,72	0,73	0,38	0,77	0,79
Xjd	0,01	0,13	0,13	0,1	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,16	0,01	0,01
Xaeg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Xkos	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0	0,03	0,01	0,01
XQuad	0,98	0,85	0,85	0,88	0,98	0,92	0,99	0,98	0,99	0,81	0,98	0,98
%Wo	0,55	5,95	7,46	6,66	2,7	35,08	4,68	3,77	3,17	44,54	1,31	1,01
%Fs	22,92	15,76	16,02	22,27	24,82	15,29	22,18	22,6	22,8	8,59	19,77	18,58
%En	76,53	78,29	76,51	71,07	72,48	49,64	73,14	73,63	74,03	46,87	78,92	80,42
Observações	px zonado (borda)						px zonado (núcleo)					

Tabela 6 (continuação): análises químicas do piroxênio (WDS).

Piroxênio – WDS (calculado a partir do padrão de análise do feldspato)				
No.	1	2	3	4
SiO2 (Wt %)	56,86	57,05	57,1	55,91
Al2O3 (Wt %)	0,32	0,36	0,28	0,58
Fe2O3T (Wt %)	11,71	11,97	11,76	13,21
MnO (Wt %)	0,46	0,48	0,56	0,75
CaO (Wt %)	0,42	0,58	0,66	3,48
K2O (Wt %)	0,02	0,02	<0,02	0,02
SrO (Wt %)	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
TiO2 (Wt %)	0,64	0,58	0,74	1,07
Na2O (Wt %)	0,12	0,11	0,02	0,17
MgO (Wt %)	29,9	29,73	29,97	25,67
Total (Wt %)	100,5	100,93	101,12	100,97
Alvos	27	27	27	27
Observações				

Tabela 7: análises químicas do piroxênio (WDS), usando o padrão de análise do feldspato.

Mesóstase- WDS (calculado a partir do padrão de análise do piroxênio)				
No.	42	43	44	45
SiO2 (Wt %)	61,57	63,64	59,7	60,55
Al2O3 (Wt %)	8,18	8,6	8,02	8,04
FeOT (Wt %)	10,33	8,95	14,98	15,17
MnO (Wt %)	0,25	0,19	0,31	0,32
CaO (Wt %)	8,9	6,76	8,99	9,11
K2O (Wt %)	3,17	3,57	3,18	2,22
TiO2 (Wt %)	0,39	0,37	0,39	0,42
Cr2O3 (Wt %)	0,17	0,26	0,14	0,16
Na2O (Wt %)	1,55	1,7	1,83	0,75
MgO (Wt %)	4,98	5,53	3,62	3,67
Total (Wt %)	99,49	99,57	101,16	100,41
Alvos	26	26	26	26
Observações	Mesóstase vítrea, px+fd, zoneamento (núcleo)	Mesóstase vítrea, px+fd, zoneamento (borda)	Mesóstase vítrea, px+fd	Mesóstase vítrea, px+fd

Tabela 8: análises químicas da mesóstase (WDS), usando o padrão de análise do piroxênio.

Olivina - WDS																		
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18	19	
SiO2 (Wt %)	37,88	37,68	37,91	37,28	37,29	37,3	38,4	38,2	38,18	38,29	37,82	37,61	38,07	37,56	37,6	37,93	38,19	
Al2O3 (Wt %)	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,04	0,02	0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,01	0,03	<0,01	
FeOT (Wt %)	26,42	26,61	26,61	28,25	28,43	28,07	23,45	23,4	24,87	24,86	25,69	25,82	24,35	27,29	27,04	25,5	26,78	
MnO (Wt %)	0,48	0,44	0,44	0,45	0,43	0,43	0,44	0,46	0,45	0,44	0,42	0,44	0,45	0,45	0,46	0,44	0,44	
CaO (Wt %)	0,07	0,07	<0,01	0,04	0,03	0,11	<0,01	0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,04	0,04	0,08	0,07	<0,01	0,04	
Cr2O3 (Wt %)	0,03	0,03	<0,01	0,03	0,06	0,02	<0,01	0,02	<0,01	0,02	<0,01	0,01	0,05	0,02	0,02	<0,01	0,03	
NiO (Wt %)	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	
Na2O (Wt %)	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0,009	<0,008	0,016	<0,008	<0,008	0,01	<0,008	<0,008	
MgO (Wt %)	35,2	35,41	35,34	33,97	33,83	33,81	37,89	37,98	37,03	36,81	36,08	36,17	37,55	34,88	34,81	36,25	35,17	
P2O5 (Wt %)	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	
Total (Wt %)	100,22	100,36	100,43	100,18	100,23	99,83	100,24	100,13	100,65	100,49	100,09	100,18	100,66	100,29	100,12	100,29	100,78	
Alvos	1	1	1	2	2	3	3	4	7	7	11, cond. IV	11, cond. V	10	17	17	16, cond. V	16	
Observações																		matriz
borda do cond.																		
matriz																		
Fórmula Estrutural (O4)																		
Si_T	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,99	1	1	1	1	1	
Al_T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TΣ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Ti_M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Al_M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cr_M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ni_M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fe2_M	0,59	0,59	0,59	0,63	0,64	0,63	0,51	0,51	0,54	0,54	0,57	0,57	0,53	0,61	0,6	0,56	0,59	
Mn_M	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Mg_M	1,39	1,4	1,39	1,36	1,35	1,35	1,47	1,48	1,44	1,44	1,42	1,43	1,46	1,38	1,38	1,43	1,38	
Ca_M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MΣ	1,99	2	1,99	2	2	2	2	2	2	1,99	2	2,01	2,01	2	2	2	1,99	
XFo	0,7	0,7	0,7	0,68	0,68	0,68	0,74	0,74	0,72	0,72	0,71	0,71	0,73	0,69	0,69	0,71	0,7	
XFa	0,29	0,29	0,3	0,32	0,32	0,32	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,27	0,3	0,3	0,28	0,3	
XTep	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0	
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18	19	
XLrn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
% Fo	70,37	70,34	70,3	68,19	67,96	68,22	74,23	74,31	72,63	72,52	71,46	71,4	73,33	69,5	69,65	71,7	70,07	
% Fa	29,63	29,66	29,7	31,81	32,04	31,78	25,77	25,69	27,37	27,48	28,54	28,6	26,67	30,5	30,35	28,3	29,93	

Tabela 9: análises químicas da olivina (WDS).

Olivina - WDS																	
No.	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
SiO2 (Wt %)	38,24	38,05	38,68	38,04	38,52	38,51	40,61	39,45	37,08	38,4	37,54	38,69	38,38	38,19	39,95	37,23	36,89
Al2O3 (Wt %)	0,03	<0,01	0,1	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	<0,01	0,01	0,02	0,03
FeOT (Wt %)	25,88	25,33	24,59	25,52	24,81	24,25	12,42	16,98	26,68	27,26	27,16	23,98	26,47	25,45	15,72	28,73	32,29
MnO (Wt %)	0,46	0,43	0,45	0,48	0,47	0,44	0,33	0,37	0,46	0,42	0,45	0,4	0,45	0,43	0,25	0,53	0,55
CaO (Wt %)	0,06	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03	0	0,1	0,05	0,07	0,12	0,14	<0,01	0,08	0,06	0,08
Cr2O3 (Wt %)	0,03	0,16	0,06	0,02	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,04	0,13	0,09	0,13	<0,01	0,1	0,11	0,13
NiO (Wt %)	0,03	0,02	0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,02	<0,01	0,05	0,03	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Na2O (Wt %)	<0,008	0,011	0,053	<0,008	<0,008	0,011	0,01	<0,008	<0,008	0,009	<0,008	0,008	0,012	<0,008	0,017	<0,008	0,012
MgO (Wt %)	35,97	36,24	36,67	36,74	37,42	37,41	47,05	43,4	36,37	34,96	35,28	37,76	35,23	37,02	44,69	33,69	30,81
P2O5 (Wt %)	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	0,25	0,32
Total (Wt %)	100,69	100,39	100,81	100,84	101,43	100,86	100,52	100,41	100,79	101,39	100,68	101,18	100,99	101,14	100,87	100,62	101,11
Alvos	16	18	23, cond. I	23, cond. II	24	24	25	25	25	34	34	34	34	34	26	26	26
Observações	matriz						clasto, ol zonada (núcleo)	clasto, ol zonada (núcleo)	clasto, ol zonada (borda)	clasto, ol zonada (transição núcleo- borda)	clasto, ol zonada (transição núcleo- borda)	clasto, ol zonada (núcleo)	clasto,ol zonada (núcleo)	clasto,ol zonada (transição núcleo- borda)	ol zonada (núcleo)	ol zonada (borda)	ol zonada (borda)
Fórmula Estrutural (O4)																	
Si_T	1	1	1	1	1	1	1	1	0,98	1	0,99	1	1	1	1	1	1
Al_T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TΣ	1	1	1	1	1	1	1	1	0,98	1	0,99	1	1	1	1	1	1
Ti_M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al_M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr_M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ni_M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2_M	0,57	0,56	0,54	0,56	0,54	0,53	0,26	0,36	0,59	0,6	0,6	0,52	0,58	0,56	0,33	0,64	0,73
Mn_M	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg_M	1,41	1,42	1,43	1,43	1,45	1,45	1,73	1,64	1,43	1,37	1,39	1,46	1,38	1,44	1,66	1,34	1,25
Ca_M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MΣ	1,99	1,99	1,98	2,01	2	1,99	2	2	2,04	1,98	2,01	1,99	1,98	2,01	2	2	2
XFo	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72	0,73	0,87	0,82	0,7	0,69	0,69	0,73	0,7	0,72	0,83	0,67	0,63
XFa	0,29	0,28	0,27	0,28	0,27	0,27	0,13	0,18	0,29	0,3	0,3	0,26	0,29	0,28	0,16	0,32	0,37
XTep	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0,01	0	0	0	0,01	0	0	0,01	0,01
No.	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
XLrn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% Fo	71,24	71,83	72,66	71,96	72,89	73,33	87,1	82	70,85	69,57	69,84	73,73	70,35	72,17	83,52	67,64	62,97
% Fa	28,76	28,17	27,34	28,04	27,11	26,67	12,9	18	29,15	30,43	30,16	26,27	29,65	27,83	16,48	32,36	37,03

Tabela 9 (continuação): análises químicas da olivina (WDS).

Olivina - WDS					
No.	37	38	39	40	41
SiO ₂ (Wt %)	35,98	36,23	37,64	37,93	42,18
Al ₂ O ₃ (Wt %)	0,03	0,02	<0,01	<0,01	3,03
FeOT (Wt %)	34,42	36,02	27,09	26,98	20,95
MnO (Wt %)	0,67	0,64	0,47	0,46	0,36
CaO (Wt %)	0,05	0,07	0,05	0,07	1,21
Cr ₂ O ₃ (Wt %)	0,07	0,11	0,17	0,02	0,64
NiO (Wt %)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,27
Na ₂ O (Wt %)	0,021	<0,008	<0,008	<0,008	0,298
MgO (Wt %)	28,81	27,82	35,17	35,33	28,07
P ₂ O ₅ (Wt %)	0,46	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18
Total (Wt %)	100,51	100,99	100,61	100,82	97,18
Alvos	26	26	20	20	27
Observações					
Fórmula Estrutural (O4)					
Si_T	1	1	1	1	1
Al_T	0	0	0	0	0
TΣ	1	1	1	1	1
Ti_M	0	0	0	0	0
Al_M	0	0	0	0	0,09
Cr_M	0	0	0	0	0,01
Ni_M	0	0	0	0	0,01
Fe ₂ _M	0,8	0,83	0,6	0,6	0,46
Mn_M	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg_M	1,19	1,15	1,39	1,39	1,1
Ca_M	0	0	0	0	0,03
MΣ	2,01	2	2	2	1,72
X _{Fo}	0,59	0,57	0,69	0,7	0,69
X _{Fa}	0,4	0,42	0,3	0,3	0,29
X _{Tep}	0,01	0,01	0,01	0,01	0
No.	37	38	39	40	41
X _{Lrn}	0	0	0	0	0,02
% Fo	59,87	57,93	69,83	70,01	70,49
% Fa	40,13	42,07	30,17	29,99	29,51

Tabela 9 (continuação): análises químicas da olivina (WDS).

Espinélio - WDS			
No.	1	2	3
Al ₂ O ₃ (Wt %)	64,53	64,59	30,34
SiO ₂ (Wt %)	0,02	0,04	0,94
Fe ₂ O ₃ (Wt %)	18,78	18,77	27,67
NiO (Wt %)	0,04	<0,02	0,08
MnO (Wt %)	0,13	0,14	<0,02
CaO (Wt %)	0,04	<0,02	0,45
Nb ₂ O ₅ (Wt %)	<0,2	<0,2	0,22
TiO ₂ (Wt %)	0,06	0,08	0,59
Cr ₂ O ₃ (Wt %)	1,91	1,91	34,17
ZnO (Wt %)	1,17	1,02	0,39
MgO (Wt %)	15,18	15,02	4,57
Na ₂ O (Wt %)	0,02	0,01	0,16
Total (Wt %)	101,88	101,61	99,56
Alvos	31	31	31
Fórmula Estrutural (O4)			
No.	1	2	3
Ti_B	0	0	0,01
Al_B	1,98	1,98	1,18
Cr_B	0,04	0,04	0,89
Fe ₃ _B	0	0	0
BΣ	2,02	2,03	2,08
Ni_A	0	0	0
Zn_A	0,02	0,02	0,01
Fe ₂ _A	0,37	0,37	0,69
Mn_A	0	0	0
Mg_A	0,59	0,58	0,22
AΣ	0,98	0,97	0,92
Total	3	3	3

Tabela 10: análises químicas do espinélio (WDS).

Feldspatos- WDS																		
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	14	16	17	18	19	20	
SiO2 (Wt %)	63,89	65,48	65,53	61,27	63,63	56,42	65,32	65,4	65,52	61,6	63,95	61,94	65,45	64,39	65,69	65,14	65,18	
Al2O3 (Wt %)	21,41	21,65	21,79	20,42	20,8	24,92	22,09	22,01	15,25	16,96	14,86	19,96	21,76	21,21	21,89	21,78	21,55	
Fe2O3T (Wt %)	0,45	0,41	0,63	0,73	0,28	1,34	0,29	0,44	3,26	3,13	2,41	2,15	0,56	1,12	0,69	1,11	1,16	
MnO (Wt %)	<0,01	<0,01	0,02	0,02	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,06	0,07	0,11	0,04	<0,01	0,03	0,03	<0,01	<0,01	
CaO (Wt %)	2,31	2,01	2,11	4,41	2,31	6,57	2,36	2,43	2,57	3,22	3,9	4,16	2,01	2,14	2,05	2,19	2,17	
K2O (Wt %)	0,38	0,45	0,67	0,38	0,27	0,1	0,54	0,6	4,03	2,67	4,17	0,26	0,48	0,62	0,46	0,37	0,57	
SrO (Wt %)	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,4	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,3	<0,3	
TiO2 (Wt %)	0,06	0,03	0,03	0,03	0,09	1,18	0,04	0,05	0,42	0,39	0,5	0,31	0,05	0,07	0,04	0,02	0,03	
Na2O (Wt %)	9,7	10,09	9,99	9,62	9,77	7,1	10,03	9,94	6,28	6,45	5,82	8,54	10,12	9,85	10,24	9,92	9,9	
MgO (Wt %)	<0,02	<0,02	0,03	0,08	0,03	0,16	<0,02	<0,02	4,19	3,44	3,42	2,41	0,04	0,19	0,03	0,03	0,02	
Total (Wt %)	98,21	100,13	100,88	96,96	97,18	98,17	100,91	100,88	101,58	97,93	99,14	99,88	100,46	99,91	101,12	100,87	100,59	
Alvos	28	28	1	1	5	5	29	29	24	24	24	30	3	3	3	17	17	
Fórmula Estrutural (AT4O8)(O8)																		
Si_T	2,87	2,88	2,87	2,82	2,89	2,62	2,86	2,86	2,94	2,86	2,95	2,79	2,88	2,87	2,87	2,87	2,87	
Al_T	1,13	1,12	1,13	1,11	1,11	1,36	1,14	1,14	0,81	0,93	0,81	1,06	1,13	1,11	1,13	1,13	1,12	
TΣ	4	4	4	3,93	4	3,99	4	4	3,75	3,79	3,75	3,86	4	3,98	4	3,99	3,99	
Fe2_M1	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,05	0,01	0,01	0,11	0,11	0,08	0,07	0,02	0,04	0,02	0,04	0,04	
Mn_M1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Mg_M1	0	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0,28	0,24	0,23	0,16	0	0,01	0	0	0	
Ca_M1	0,11	0,09	0,1	0,22	0,11	0,33	0,11	0,11	0,12	0,16	0,19	0,2	0,09	0,1	0,1	0,1	0,1	
Na_M1	0,84	0,86	0,85	0,86	0,86	0,64	0,85	0,84	0,55	0,58	0,52	0,75	0,86	0,85	0,87	0,85	0,85	
K_M1	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,23	0,16	0,25	0,01	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	
MΣ	0,99	1	1,01	1,13	1	1,03	1	1,01	1,29	1,25	1,28	1,2	1	1,04	1,01	1,01	1,02	
Total	5	5	5,01	5,06	5	5,02	5,01	5,01	5,04	5,04	5,03	5,06	5,01	5,02	5,01	5	5,01	
%An	11,37	9,66	10,06	19,8	11,37	33,63	11,15	11,5	13,72	17,82	20,11	20,89	9,62	10,34	9,71	10,64	10,45	
%Ab	86,39	87,77	86,16	78,15	87,05	65,77	85,78	85,14	60,67	64,59	54,3	77,58	87,66	86,1	87,73	87,21	86,27	
%Or	2,24	2,56	3,79	2,05	1,57	0,59	3,07	3,36	25,62	17,59	25,6	1,53	2,72	3,56	2,56	2,15	3,28	

Tabela 11: análises químicas do feldspato (WDS).

Feldspatos- WDS											
No.	21	22	23	24	25	27	28	29	30	31	32
SiO2 (Wt %)	46,3	46,41	64,77	65,45	65,38	64,64	65,72	65,84	65,65	64,45	65,4
Al2O3 (Wt %)	34,6	30,6	21,19	21,76	21,11	15,68	21,69	21,59	21,78	15,55	14,95
Fe2O3T (Wt %)	0,68	3,45	0,92	0,8	0,48	2,01	0,55	0,9	0,96	2,46	2,51
MnO (Wt %)	0,01	0,05	<0,01	0,02	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	0,01
CaO (Wt %)	16,68	13,25	2,01	2,16	1,98	3,96	2,09	2,26	2,16	3,43	1,79
K2O (Wt %)	0,05	0,1	0,45	0,32	0,37	5,26	0,48	0,31	0,34	6,66	7,46
SrO (Wt %)	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
TiO2 (Wt %)	0,03	0,05	0,03	0,05	0,06	0,33	0,04	0,03	0,04	0,48	0,44
Na2O (Wt %)	2,01	2,37	10,15	10,12	10,26	5,75	10,12	10,16	10,2	4,33	3,64
MgO (Wt %)	<0,02	3,23	0,23	0,03	0,06	3,33	0,02	0,03	0,06	2,03	2,78
Total (Wt %)	100,54	99,5	99,78	100,95	99,93	101,03	100,72	101,12	101,19	99,52	98,99
Alvos	10	10	11, cond. V	11, cond. V	16, cond. IV	32	8	8	8	27	27
Fórmula Estrutural (AT4O8)(O8)											
Si_T	2,13	2,17	2,87	2,87	2,89	2,93	2,88	2,88	2,87	2,97	3,02
Al_T	1,87	1,69	1,11	1,13	1,1	0,84	1,12	1,11	1,12	0,85	0,81
TΣ	4	3,86	3,98	4	3,99	3,76	4	3,99	3,99	3,82	3,83
Fe2_M1	0,02	0,12	0,03	0,03	0,02	0,07	0,02	0,03	0,03	0,09	0,09
Mn_M1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg_M1	0	0,23	0,02	0	0	0,22	0	0	0	0,14	0,19
Ca_M1	0,82	0,66	0,1	0,1	0,09	0,19	0,1	0,11	0,1	0,17	0,09
Na_M1	0,18	0,22	0,87	0,86	0,88	0,5	0,86	0,86	0,86	0,39	0,33
K_M1	0	0,01	0,03	0,02	0,02	0,3	0,03	0,02	0,02	0,39	0,44
MΣ	1,03	1,23	1,04	1,01	1,01	1,3	1	1,02	1,02	1,18	1,13
Total	5,03	5,09	5,02	5,01	5,01	5,06	5	5,01	5,01	4,99	4,96
%An	81,85	75,05	9,61	10,36	9,44	19,2	9,97	10,75	10,28	17,87	10,37
%Ab	17,85	24,29	87,84	87,82	88,48	50,44	87,34	87,48	87,82	40,82	38,16
%Or	0,3	0,65	2,55	1,83	2,09	30,36	2,7	1,77	1,9	41,31	51,46

Tabela 11 (continuação): análises químicas do feldspato (WDS).

Ligas - Fe-Ni - WDS																	
No.	1	2	3	4	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17	18	19	21
Al (Wt %)	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
Si (Wt %)	0,01	0,01	<0,01	0,02	0,02	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,02	0,01	0,01	<0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
Fe (Wt %)	64,31	56,57	92,22	92,64	64,14	56,61	65	65,28	93,11	93,19	67,72	61,86	92,81	94,39	60,81	93,53	93,02
Ni (Wt %)	35,28	43,88	5,45	5,41	35,71	44,01	34,36	33,69	5,32	4,78	32,05	38,48	5,38	4,32	40,52	5,22	5,82
Cr (Wt %)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Mg (Wt %)	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Na (Wt %)	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Co (Wt %)	0,64	0,45	2,83	2,83	0,61	0,49	1,43	1,41	2,97	2,81	1,4	1	3,15	2,5	0,57	3,09	2,79
P (Wt %)	<0,005	<0,005	0,102	<0,005	<0,005	0,041	0,07	0,037	0,045	<0,005	0,049	0,02	<0,005	<0,005	<0,005	0,041	0,016
S (Wt %)	0,028	<0,008	<0,008	0,077	0,065	0,057	0,025	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0,028	<0,008	<0,008	0,039	0,018	<0,008
Total	100,29	100,95	100,61	100,99	100,56	101,21	100,9	100,42	101,47	100,8	101,27	101,41	101,37	101,23	101,97	101,95	101,67
Alvo	33	33	33	33	33	33	14	14	14	14	14	14	14	36	36	10	23
Fase	Tae	Tae	Ka	Ka	Tae	Tae	Tae	Tae	Ka	Ka	Tae	Tae	Ka	Ka	Tae	Ka	Ka

Tabela 12: análises químicas das ligas Fe-Ni (WDS).

Ligas - Fe-Ni - WDS				
No.	22	23	25	26
Al (Wt %)	<0,01	<0,01	0,04	0,09
Si (Wt %)	0,02	0,02	0,63	0,02
Fe (Wt %)	59,82	92,52	49,56	58,32
Ni (Wt %)	41,36	5,4	41,96	42,78
Cr (Wt %)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Mg (Wt %)	<0,04	<0,04	0,06	<0,04
Na (Wt %)	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Co (Wt %)	0,57	2,9	0,5	0,59
P (Wt %)	0,034	<0,005	0,031	0,09
S (Wt %)	0,023	<0,008	<0,008	0,061
Total	101,84	100,87	92,79	101,97
Alvo	23	20	24	24
Fase	Tae	Ka	Tae	Tae

Tabela 12 (continuação): análises químicas das ligas Fe-Ni (WDS).

Análises EDS

Piroxênio - EDS																	
No. Análise	1	2	3	4	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Min	En	En	En	En	En	Pgt	Pgt	En	En	Pgt	En	Pgt	En	En	En	En	En
MgO (Wt %)	28,27	28,01	27,88	27,47	28,14	17,05	17,49	28,71	28,74	17,28	28,94	17,27	28,72	29,49	27,96	26,35	28,86
SiO2 (Wt %)	54,88	54,58	54,49	54,49	55,77	53,8	53,63	54,98	55,02	54,13	55,18	53,88	54,85	54,94	54,76	54,51	54,75
CaO (Wt %)	1,11	0,94	0,98	1,33	0,98	22,01	21,9	1,14	0,84	21,9	0,74	21,45	0,91	0,64	0,74	4,44	1,15
FeO (Wt %)	15,74	16,47	16,65	16,71	15,11	6,75	5,74	15,17	15,39	5,92	15,14	6,34	15,52	14,93	16,54	14,7	15,23
Cr2O3 (Wt %)	-	-	-	-	-	-	1,24	-	-	0,78	-	1,06	-	-	-	-	-
MnO (Wt %)	-	-	-	-	-	0,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (Wt %)	100	100	100	100	100	99,99	100	100	99,99	100,01	100	100	100	100	100	100	99,99
Alvo	1	2	2	3	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	13

Tabela 13: análises químicas do piroxênio (EDS).

Piroxênio - EDS																	
No. Análise	23	24	26	27	29	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Min	En	En	En	En	En	En	En	Pgt	En	En	Pgt	En	En	En	En	En	En
MgO (Wt %)	29,14	29,51	37,26	35,93	29,17	28,25	29,44	17,21	28,91	27,49	20,2	40,33	40,46	39,98	29,08	28,06	29,59
SiO2 (Wt %)	54,81	54,94	57,17	57,13	55,02	54,83	55,19	53,6	54,57	55,37	54,18	58,2	58,95	59,31	54,64	55,33	55,25
CaO (Wt %)	0,66	0,68	0	0,39	0,85	2,95	0,58	21,52	0,6	1,2	15,14	0,54	0,59	0,71	0,7	0	0,33
FeO (Wt %)	15,39	14,87	5,04	5,99	14,96	13,97	14,79	6,74	15,92	15,93	9,45	0,93	0	0	14,92	16,61	14,83
Cr2O3 (Wt %)	-	-	0,52	0,57	-	-	-	0,94	-	-	1,03	-	-	-	-	-	-
MnO (Wt %)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (Wt %)	100	100	99,99	100,01	100	100	100	100,01	100	99,99	100	100	100	100	99,34	100	100
Alvo	1	16	16	16	16	1	16	17	18	19	20	21	21	21	21	22	22

Tabela 13 (continuação): análises químicas do piroxênio (EDS).

Piroxênio - EDS				
No. Análise	44	45	48	49
Min	En	En	En	En
MgO (Wt %)	30,1	22,85	29,76	30,45
SiO2 (Wt %)	55,9	52,98	55,27	51,59
CaO (Wt %)	0	2,58	0,46	0
FeO (Wt %)	14	19,49	14,51	17,96
Cr2O3 (Wt %)	-	0,77	-	-
MnO (Wt %)	-	1,32	-	-
Total (Wt %)	100	99,99	100	100
Alvo	22	22	23	27

Tabela 13 (continuação): análises químicas do piroxênio (EDS).

Olivina - EDS																	
No. Análise	1	2	3	4	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
MgO (Wt %)	36,95	35,21	35,99	33,21	25,32	24,98	37,29	37,35	37,15	36,95	37,33	35,73	37,38	37,61	37,53	37,53	40
SiO2 (Wt %)	37,25	36,91	37,19	36,62	37,46	37,46	37,15	37,57	37,36	37,49	37,07	36,73	37,89	37,7	36,81	36,81	38,03
FeO (Wt %)	25,8	27,88	26,82	30,17	37,55	37,55	25,56	25,08	25,49	25,56	25,6	27,54	24,73	24,69	25,66	25,66	21,98
Cr2O3 (Wt %)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CaO (Wt %)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (Wt %)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Alvo	1	2	3	3	7	7	11	11	11	11	11	12	13	1	16	16	16

Tabela 14: análises químicas da olivina (EDS).

Olivina - EDS											
No. Análise	20	21	22	23	24	25	27	28	29	30	31
MgO (Wt %)	45,1	37,77	38,09	37,69	36,31	37,19	36,88	36	36,05	38,24	36,43
SiO2 (Wt %)	39,22	37,9	37,44	37,52	37,23	37,54	37,41	36,98	37,47	38,07	40,36
FeO (Wt %)	15,68	24,33	24,47	24,79	26,46	25,27	25,7	27,02	26,49	23,69	22,5
Cr2O3 (Wt %)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CaO (Wt %)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7
Total (Wt %)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Alvo	16	16	16	17	18	19	20	20	21	23	27

Tabela 14 (continuação): análises químicas da olivina (EDS).

Feldspato - EDS																	
No. Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Na2O	10,91	10,99	2,21	2,37	2,51	2,49	10,82	11,07	11,18	10,9	10,4	10,95	11,02	10,5	10,35	11,11	10,97
Al2O3 (Wt %)	21,32	21,33	33,39	33,92	33,8	33,63	21,47	21,57	21,27	21,17	21,23	21,74	21,31	21,46	19,56	21,12	21,12
SiO2 (Wt %)	64,29	64,89	45,8	46,59	46,49	45,78	64,64	64,02	63,87	65,32	65,77	64,07	64,47	64,31	64,15	64,5	64,85
K2O (Wt %)	0,6	-	-	-	-	-	0,45	-	0,29	0,33	-	0,44	0,33	0,46	0,4	-	0,3
CaO (Wt %)	2,22	2,19	15,87	16,31	16,32	17,28	2,01	2,21	2,23	2,28	2,59	2,23	2,26	2,22	4,65	2,36	1,85
FeO (Wt %)	0,65	0,6	1,35	0,81	0,89	0,83	0,61	1,13	1,17	-	-	0,58	0,6	1,04	0,88	0,91	0,9
Cr2O3 (Wt %)	-	-	1,39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (Wt %)	99,99	100	100,01	100	100,01	100,01	100	100	100,01	100	99,99	100,01	99,99	99,99	99,99	100	99,99
Alvo	1	2	7	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	12	13	15	1

Tabela 15: análises químicas do feldspato (EDS).

Feldspato - EDS				
No. Análise	18	19	21	23
Na2O	10,76	11,29	10,72	11,19
Al2O3 (Wt %)	21,69	20,8	21,16	21,3
SiO2 (Wt %)	64,03	64,91	64,57	64,35
K2O (Wt %)	0,34	-	0,47	-
CaO (Wt %)	2,37	1,69	2,27	2,34
FeO (Wt %)	0,81	1,31	0,81	0,82
Cr2O3 (Wt %)	-	-	-	-
Total (Wt %)	100	100	100	100
Alvo	1	16	17	19

Tabela 15 (continuação): análises químicas do feldspato (EDS).

Ligas Fe-Ni e sulfetos Fe-S - EDS																	
No. Análises	1	2	3	4	5	6	8	9	10	13	14	16	17	18	19	20	21
Fase	Ta	Tr	Km	Tr	Tr	Tr	Tr	Ta	Tr	Tr	Ta	Ta	Km	Ta	Km	Ta	Km
Fe (Wt %)	51,78	63,68	94,77	63,62	63,28	63,13	63,15	49	63,27	63,49	50,13	68,16	95,5	67,79	95,2	64,85	94,71
Ni (Wt %)	48,22	-	5,23	-	-	-	-	51	-	-	49,87	31,84	4,5	32,21	4,8	35,15	5,29
S (Wt %)	-	36,32	-	36,38	36,72	36,87	36,85	-	36,73	36,51	-	-	-	-	-	-	-
Total (Wt %)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Alvo	1	1	1	1	2	2	3	3	11	11	11	14	14	14	14	14	15

Tabela 16: análises químicas das ligas Fe-Ni e sulfetos (EDS)

Ligas Fe-Ni e sulfetos Fe-S - EDS																
No. Análises	22	23	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	38	39	40	41
Fase	Ta	Tr	Tr	Tr	Ta	Tr	Tr	Ta	Tr	Tr	Ta	Km	Tr	Ta	Tr	Ta
Fe (Wt %)	59,2	63,63	63,22	63,19	54,99	63,28	63,09	48,58	63,4	63,23	62,27	95,12	63,63	79,12	63,6	80,18
Ni (Wt %)	40,8	-	-	-	45,01	-	-	51,42	-	-	37,73	4,88	-	20,88	-	19,82
S (Wt %)	-	36,37	36,78	36,81	-	36,72	36,91	-	36,6	36,77	-	-	36,37	-	36,4	-
Total (Wt %)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Alvo	15	15	16	16	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22

Tabela 16 (continuação): análises químicas das ligas Fe-Ni e sulfetos (EDS)

Ligas Fe-Ni e sulfetos Fe-S - EDS			
No. Análises	42	43	45
Fase	Km	Tr	Ta
Fe (Wt %)	95,13	63,46	63,26
Ni (Wt %)	4,87	-	-
S (Wt %)	-	36,54	36,74
Total (Wt %)	100	100	100
Alvo	22	22	22

Tabela 16 (continuação): análises químicas das ligas Fe-Ni e sulfetos (EDS)

Ilmenita - EDS	
No. Análises	1
Fase	Fe-Ti
MgO (Wt %)	2,32
TiO ₂ (Wt %)	53,57
FeO (Wt %)	44,11
Total	100

Tabela 17: análises químicas da titanita (EDS).

Fosfatos - EDS											
No. Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Min	Apt	Apt	Apt	Apt	Apt	Mrr	Mrr	Apt	Apt	Mrr	Mrr
Na ₂ O (Wt %)	0,31	0,41	-	-	-	2,94	2,88	-	-	2,83	2,83
P ₂ O ₅ (Wt %)	43,33	43,66	43,32	43,54	43,58	49,1	48,9	43,81	43,83	48,99	47,36
Cl (Wt %)	5,65	5,21	4,5	5,06	5,25	-	-	5,26	5,54	-	-
CaO (Wt %)	50,71	50,72	49,91	51,4	51,18	44,27	43,73	50,93	50,64	43,62	43,68
FeO (Wt %)	-	-	2,26	-	-	-	0,74	-	-	0,97	2,69
MgO (Wt %)	-	-	-	-	-	3,68	3,76	-	-	3,59	3,43
Total (Wt %)	100	100	99,99	100	100,01	99,99	100,01	100	100,01	100	99,99
Alvo	Fosfato 1	Fosfato 1	Fosfato 2	Fosfato 2	Fosfato 2	Fosfato 3	Fosfato 3	Fosfato 4	Fosfato 4	Fosfato 5	Fosfato 5

Tabela 18: análises químicas dos fosfatos (EDS).

Cromita - EDS					
No. Análise	1	2	3	4	5
Min	Chr	Chr	Chr	Chr	Chr
MgO (Wt %)	1,71	2,26	1,76	2,72	2,45
Al ₂ O ₃ (Wt %)	5,85	5,28	5,2	5,46	5,5
TiO ₂ (Wt %)	3,85	4,5	4,55	3,97	3,61
Cr ₂ O ₃ (Wt %)	55,12	54,43	54,24	56,48	57,25
FeO (Wt %)	33,46	33,53	34,24	31,38	31,19
Total (Wt %)	99,99	100	99,99	100,01	100
Alvo	1	2	3	13	16

Tabela 19: análises químicas da cromita (EDS).

Calcita - EDS			
No. Análise	1	2	3
C (Wt %)	14,83	14,43	14,84
O (Wt %)	43,7	43,84	43,68
Mg (Wt %)	0,55	0,72	0,54
Ca (Wt %)	40,92	41,01	40,94
Total (Wt %)	100	100	100
Alvo	17	17	17

Tabela 17: análises químicas da calcita.