

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Jacqueline Silva Silles

**CARACTERIZAÇÃO POR MEIO DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX),
MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA (MEV) E MICROSCÓPIO
PETROGRÁFICO DE MINERAIS DE ROCHAS DO GRUPO SERRA DO
ITABERABA, SP**

**São Paulo
2014**

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Jacqueline Silva Silles

**CARACTERIZAÇÃO POR MEIO DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX),
MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA (MEV) E MICROSCÓPIO
PETROGRÁFICO DE MINERAIS DE ROCHAS DO GRUPO SERRA DO
ITABERABA, SP**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Faculdade de Tecnologia de São
Paulo como parte dos requisitos para obtenção o
Título de Tecnólogo em Materiais, ênfase em
materiais poliméricos.

Orientadora:
Dra. Annabel Pérez-Aguilar

**São Paulo
2014**

Aos meus pais, Edson e Eliana, responsáveis pela força que carrego e toda a confiança, e por serem meus maiores heróis. Ao meu irmão Felipe, pela eterna confiança e companheirismo.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus por não ter me desamparado em momentos difíceis, renovando a cada dia as minhas forças, e também por estar presente nos momentos de muita alegria e comemoração. Sempre iluminando meu caminho e dando forças para segui-lo.

À Minha família que sempre me apoiou nos estudos e nas escolhas tomadas. Ensinarão-me que a felicidade está nas pessoas que amamos e, que quando estamos unidos, independente das dificuldades que surjam pela vida, tudo fica mais fácil. Toda a minha força é devido à presença deles. Sou grata por me darem seu eterno amor, e por me ensinarem o respeito ao próximo, independente do patamar em que estamos.

À Orientadora e pesquisadora Dra. Annabel Pérez-Aguilar por toda a orientação e ajuda na elaboração deste trabalho, por sua paciência, compreensão e conhecimento transmitido durante esses anos, e acima de tudo, agradeço por corrigir meus erros nos momentos exatos e também pelos momentos de descontração.

Ao Dr. Flávio M. S. Carvalho responsável pelo Laboratório de DRX do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, por nos disponibilizar o laboratório para as devidas análises realizadas, sempre nos auxiliando em tais experimentos e também nas interpretações dos resultados obtidos.

À Erica M. Tonetto, responsável pelo Laboratório de Microscopia do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas por nos disponibilizar o laboratório para realização de análises de microscopia eletrônica de varredura, sempre nos auxiliando em tais experimentos.

Silles, Jacqueline Silva, **Caracterização por meio de Difração de Raios-X (DRX), Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e Microscópio Petrográfico de minerais de rochas do Grupo Serra do Itaberaba, SP**, 37 páginas. Trabalho de conclusão de curso da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Resumo

Este trabalho consistiu na caracterização de minerais de rochas ricas em alumina e litotipos associados pertencentes ao Grupo Serra do Itaberaba, representado por uma sequência meta-vulcanossedimentar do Mesoproterozóico que aflora no estado de São Paulo.

Minerais foram caracterizados por meio de difração de raios-X (DRX), microscópio eletrônico de varredura (MEV) com EDS acoplado para a realização de análises semi-quantitativas, e microscópio petrográfico. Para a DRX foram separados minerais de rochas utilizando-se os métodos de raspagem, peneiramento e limpeza das fases em lupa petrográfica e, para o MEV e o microscópio petrográfico foram confeccionadas seções delgadas de amostras ricas em alumina e de rochas associadas.

As análises de DRX foram realizadas no Laboratório de DRX do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, as semi-quantitativas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas e, as petrográficas, no Laboratório de Microscopia do Instituto Geológico.

Por DRX foram analisados dez minerais, caracterizando-se dez micas (filossilicatos), um topázio (silicato) e um coríndon (óxido de alumínio). Contudo, este método não permitiu diferenciar o tipo de mica analisado.

Por MEV foram analisadas três amostras, nas quais foram obtidas setenta e quatro análises semi-quantitativas, tendo sido caracterizado nessas amostras a presença de: topázio e zircão (silicatos); paragonita e muscovita (filossilicatos); coríndon, rutilo, óxidos de Cu e Zn (óxidos); monazita e fosfatos diversos havendo predomínio daqueles ricos em Nd, Ce, Th e La. Pontualmente foi constatada a presença de prata no zircão e na monazita.

Com o microscópio petrográfico foi reconhecida a presença de coríndon, topázio e margarita nas rochas ricas em alumina e a presença de muscovita em litotipos associadas.

Palavras-chave: Difração de raios-X, Microscopia Eletrônica de Varredura, Microscópio Petrográfico.

Silles, Jacqueline Silva, **Characterization of minerals by x-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and petrographic microscope from rocks of the Serra do Itaberaba Group, São Paulo State**, 37 pages. Course conclusion work from the Technology College of São Paulo, São Paulo, Brazil.

Abstract

This work consisted on the characterization of minerals from rich-alumina rocks and associated lithotypes of the Serra do Itaberaba Group, which is represented by a metamorphosed Mesoproterozoic volcano-sedimentary sequence that outcrops in São Paulo State.

Minerals were characterized by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM) coupled with EDS to perform semi-quantitative analysis, and petrographic microscope. Minerals were separated for XRD by using the methods of scraping rocks, sieving obtained material, and by cleaning separated phases by using a magnifying glass. For SEM and the petrographic microscope thin sections of samples rich in alumina and associated rocks were made.

XRD analysis were performed at the XRD Laboratory of the Instituto de Geociências from the Universidad de São Paulo, the semi-quantitative analysis at the Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura of the Instituto de Geociências from the Universidade Estadual de Campinas and, those petrographic ones, at the Laboratório de Microscopia from the Instituto Geológico.

Ten minerals were analyzed by XRD, having been characterized ten micas (phyllosilicate), one topaz (silicate), and one corundum (aluminum oxide). However, this method did not allow characterizing the type of analyzed mica.

Three samples were analysed by SEM, obtaining seventy-four semi-quantitative analysis, which characterized the following minerals: topaz and zircon (silicates); paragonita and muscovite (phyllosilicates); corundum, rutile, copper and zircon oxides (oxides); monazite and several types of phosphates, predominating those Nd, Ce, La and Th rich. Silver was locally present associated with zircon and monazite.

Corundum, topaz, and margarite were recognized in alumina-rich rocks with the aid of the petrographic microscope, whereas the presence of muscovite was characterized in associated lithotypes.

Keywords: X-ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy, Petrographic Microscope

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1 OBJETIVOS	04
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	04
2.1. CONCEITOS BÁSICO SOBRE MINERAIS.....	04
2.1.1 CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA DOS MINERAIS	04
2.1.2 ESTRUTURA CRISTALINA.....	05
2.1.3 SISTEMAS CRISTALINOS.....	05
2.2 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MINERAIS	07
2.2.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X.....	07
2.2.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	09
2.2.3 MICROSCOPIA PETROGRÁFICA.....	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
3.1 TRABALHOS LABORATORIAIS	13
3.1.1 SEPARAÇÃO DE FASES MINERAIS PARA DRX.....	13
3.1.2 CONFECÇÃO E PREPARAÇÃO DE SEÇÕES DELGADAS PARA MEV	14
3.1.3 CONFECÇÃO DE SEÇÕES DELGADAS PARA MICROSCÓPIO PETROGRÁFICO.....	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	15
4.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X.....	15
4.1.1 MICAS	17
4.1.2 TOPÁZIO.....	17
4.1.3 CORÍNDON	17
4.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	20
4.3 MICROSCOPIA PETROGRÁFICA	30
4.4 ESTRUTURA CRISTALINA DOS MINERAIS OBTIDOS POR DRX.....	32
4.4.1 MICAS	32
4.4.2 TOPÁZIO.....	33
4.4.3 CORÍNDON	33
5. CONCLUSÕES	34
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Contexto geológico regional do segmento central da Faixa Ribeira onde aflora a sequência meta-vulcanossedimentar do Grupo Serra do Itaberaba.....	01
Figura 2: Esquema mostrando as zonas de alteração cloríticas (ZC1 e ZC2) e argílicas associadas aos paleo-sistemas hidrotermais que atuaram afetando rochas do Grupo Serra do Itaberaba durante o Mesoproterozóico.....	02
Figura 3: Eixos Cristalográficos X, Y e Z, parâmetros e cela unitária.....	05
Figura 4: Estrutura Cristalina do NaCl, mostrando arranjo regular dos íons Na ⁺ e Cl ⁻ . Abaixo, cristais de NaCl, cuja morfologia externa está relacionada ao arranjo da estrutura cristalina.....	07
Figura 5: Geometria que descreve o fenômeno de difração – Lei de Bragg.....	08
Figura 6: Ilustração de um Microscópio Eletrônico de Varredura acoplado a um EDS.....	09
Figura 7: Diagrama esquemático da variação da intensidade do (a) Espectro Contínuo e do (b) Espectro Característico com a energia.....	11
Figura 8: Representação esquemática da ionização de uma camada interna e subsequente desexcitação por transições dos elétrons.....	11
Figura 9: Diagramas esquemáticos de sistemas óticos de luz (A) refletida e (B) transmitida. No primeiro caso, o mineral deverá ser opaco e ter boa superfície refletora, enquanto que no segundo, ser transparente.....	13
Figura 10: Representação esquemática de uma montagem em lâmina de uma amostra de rocha....	15
Figura 11: Microscópio Petrográfico Olympus BX-51P.....	16
Figura 12: Difratoograma referente à amostra GMA 14c, mostrando que se trata de um mineral do grupo das micas. Na parte superior direita da figura, observa-se a amostra macroscópica de onde foi raspado o mineral analisado; moeda colocada como escala.....	18
Figura 13: Difratoograma referente à amostra AMA 12a, mostrando que se trata de um mineral do grupo das micas. Na parte superior direita da figura, observa-se a amostra macroscópica de onde foi raspado o mineral analisado; moeda colocada como escala.....	18
Figura 14: Difratoograma referente à amostra AMA 46d, mostrando que se trata de um topázio. Na parte superior direita da figura, observa-se a amostra macroscópica de onde foi raspado o mineral analisado; moeda colocada como escala.....	19
Figura 15: Difratoograma referente à amostra AMA 46w, mostrando que se trata de um coríndon. Na parte superior direita da figura, observa-se a amostra macroscópica de onde foi raspado o mineral analisado; moeda colocada como escala.....	19
Figura 16: Imagens de MEV da Amostra AMA 46L, (A) (Parte 1) e (B) (Parte 2). Na parte superior direita da figura observa-se a amostra macroscópica analisada; moeda colocada como escala	21
Figura 17: Imagens de MEV da Amostra AMA 46p1b, (A) (Parte 1) e (B) (Parte 2). Na parte	

superior direita da figura observa-se a amostra macroscópica analisada; moeda colocada como escala.....	24
Figura 18: Imagens de MEV da Amostra AMA 94a, (A) (Parte 1) e (B) (Parte 2). Na parte superior direita da figura observa-se a amostra macroscópica analisada; moeda colocada como escala.....	27
Figura 19: Micrografia da amostra AMA 46L, representando os minerais muscovita e opaco, com sua foto macro acoplada. (A) Sem nicol cruzado e (B) Com nicol cruzado. Moeda colocada como escala.....	30
Figura 20: Micrografia da amostra CB1a, representando o mineral topázio, com sua foto macro acoplada. (A) Sem nicol cruzado e (B) com nicol cruzado. Moeda colocada como escala.....	31
Figura 21: Micrografia da amostra GMA 14b, representando o mineral margarita, com sua foto macro acoplada. (A) Sem nicol cruzado e (B) com nicol cruzado. Moeda colocada como escala....	31
Figura 22: Micrografia da amostra CB1b, representando o mineral coríndon, com sua foto macro acoplada. (A) Sem nicol cruzado e (B) com nicol cruzado. Moeda colocada como escala.....	31
Figura 23: Estrutura cristalina da margarita, com íons de cálcio unindo as folhas de tetraedros de silício e octaedros de alumínio.....	32
Figura 24: Estrutura cristalina da muscovita, com íons de potássio unindo as folhas de tetraedros silício e octaedros de alumínio.....	32
Figura 25: Estrutura cristalina do topázio ($\text{Al}_2\text{SiO}_4\text{F}_2$) representado por (a) átomos e (b) poliedros. Na Figura (a) os ânions são representados em vermelho (oxigênio) e azul claro (flúor) e os cátions são representados em cinza (alumínio) e azul escuro (silício). Na figura (b), os octaedros AlO_4F_2 estão em cinza e os tetraedros SiO_4 em azul. A orientação dos eixos cristalográficos é indicada nas figuras.....	33
Figura 26: Estrutura cristalina do coríndon mostrando a distribuição do oxigênio e do alumínio conformando octaedros preenchidos ou não por alumínio, associados aos diferentes eixos cristalográficos.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais Características dos Sete Sistemas Cristalinos.....	06
Tabela 2: Lei de Bragg.....	08
Tabela 3: Amostras Analisadas por DRX.....	16
Tabela 4: Amostra AMA 46L (Parte 1), referente às análises de MEV.....	22
Tabela 5: Amostra AMA 46L (Parte 2), referente às análises de MEV.....	23
Tabela 6: Amostra AMA 46P1B (Parte 1), referente às análises de MEV.....	25
Tabela 7: Amostra AMA 46P1B (Parte 2), referente às análises de MEV.....	26
Tabela 8: Amostra AMA 94A (Parte 1), referente às análises de MEV.....	28
Tabela 9: Amostra AMA 94A (Parte 2), referente às análises de MEV.....	29
Tabela 10: Principais minerais obtidos por MEV, correlacionando-os à sua fórmula química, classificação química e sistema cristalográfico.....	30

Lista de Abreviações e Símbolos

DRX	Difração de Raios-X
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MO	Microscopia Ótica
MET	Microscopia Eletrônica de Transmissão
n	Número Inteiro (Ordem de Difração)
d_{hkl}	Distância Interplanar para p conjunto de planos hkl (Índices de Miller) da estrutura cristalina
λ	Comprimento de onda da radiação incidente
θ	Ângulo de Incidência dos Raios-X

1. INTRODUÇÃO

No segmento central da Faixa Ribeira, no sudeste do Brasil, aflora o Grupo Serra do Itaberaba que é representado por uma sequência meta-vulcanossedimentar mesoproterozóica, o qual está parcialmente coberto pelo Grupo São Roque que corresponde a uma sequência predominantemente meta-sedimentar do Neoproterozóico (Fig. 1) (Almeida *et al.* 1973; Juliani & Beljavskis 1995; Hackspacher 2000, 2001; Juliani *et al.* 2000). Intrusões com idades variando do Neoproterozóico ao Cambriano cortam as rochas destes dois grupos, assim como diversas zonas de cisalhamento de direção predominante NE-SW (Almeida *et al.* 1981).

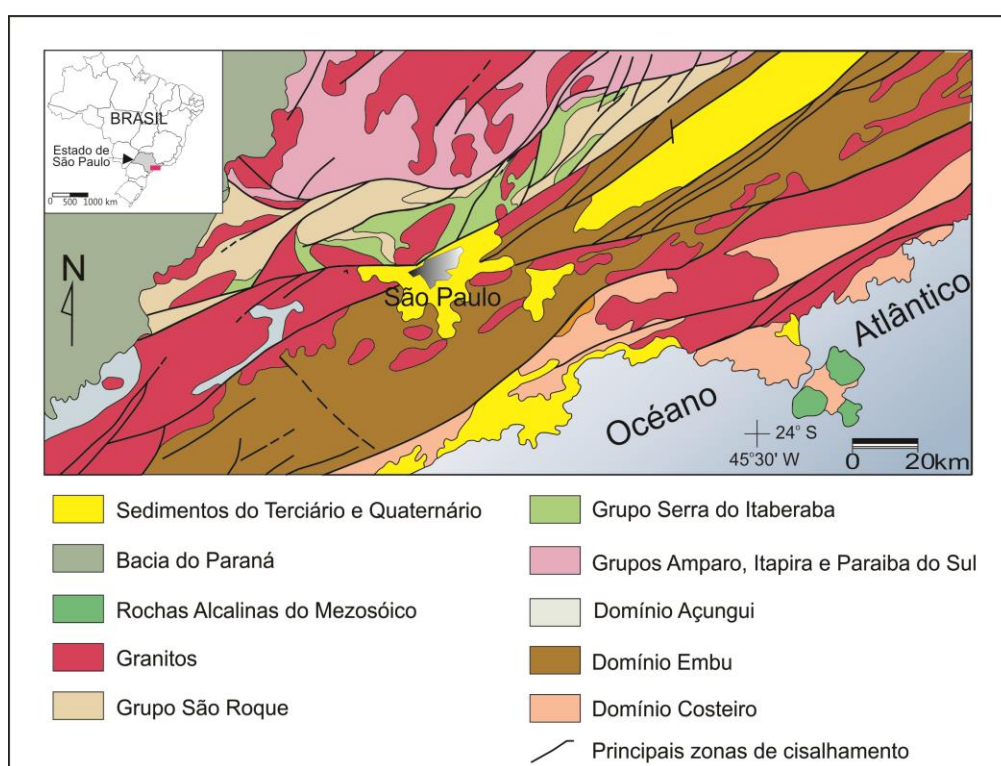


FIGURA 1 – Contexto geológico regional do segmento central da Faixa Ribeira onde aflora a sequência meta-vulcanossedimentar do Grupo Serra do Itaberaba (segundo Sachs 1999 baseado em Perrota *et al.* 2005).

O Grupo Serra do Itaberaba foi depositado inicialmente em uma bacia oceânica com presença de metabasitos de filiação N-MORB, a qual posteriormente evoluiu para uma bacia de retro-arco (Juliani 1993; Juliani & Beljavskis 1985; Juliani *et al.* 2000). Neste ambiente de retro-arco foram gerados pequenos corpos ígneos vulcânicos com composições variando de intermediária a ácida, associados aos quais se desenvolveram paleo-sistemas hidrotermais e atividade exalativa durante o Mesoproterozóico, responsáveis pela formação, pré-eventos metamórficos, de uma primeira extensa zona de alteração clorítica (ZC1), posteriormente cortada por zonas restritas de alteração

clorítica (ZC2), argílica e argílica avançada (Juliani *et al.* 1994; Pérez-Aguilar 1996, 2001; Pérez-Aguilar *et al.* 2005, 2007, 2011) (Fig. 2). As zonas de alteração clorítica são semelhantes àsquelas presentes nos depósitos de metais de base do tipo *Kuroko* (e.g. Franklin *et al.* 1981; Franklin 1993; Ohmoto 1996; Shikazono 2003), enquanto as zonas de alteração argílica são semelhantes àsquelas zonas de alteração produzidas por sistemas magmáticos-hidrotermais do tipo *high-sulfidation* que ocorrem em fundo oceânico, geneticamente associadas a processos mineralizantes em ouro (Juliani *et al.* 1994; Pérez-Aguilar *et al.* 2011).

Também geneticamente associadas aos paleo-sistemas hidrotermais do Grupo Serra do Itaberaba e localizadas estratigraficamente acima das zonas de alteração cloríticas e argílicas podem ser encontradas formações ferríferas do tipo *Algoma* (Juliani 1993; Juliani & Beljavskis 1995).

Como as rochas do Grupo Serra do Itaberaba foram afetadas por dois eventos metamórficos de grau médio e um evento retrometamórfico (Juliani 1993; Juliani *et al.* 1997), os produtos metamórficos da ZC1 são rochas que caracteristicamente possuem anfibólio(s) magnesianos(s) em diferentes proporções (rochas com cummingtonita/antofilita) e os da ZC2, rochas que possuem clorita magnesiana (clorititos) (Pérez-Aguilar 1996, 2001; Pérez-Aguilar *et al.* 2000, 2005; 2007). Por sua vez, os produtos metamórficos das zonas de alteração argílica e argílica avançada são rochas essencialmente formadas por margarita \pm coríndon \pm rutilo (margarita-coríndon xistos) ou por topázio \pm coríndon \pm rutilo (topázio xistos) (Juliani *et al.* 1994; Pérez-Aguilar *et al.* 2011), sendo que os produtos metamórficos da fácies óxido e silicato das formações ferríferas correspondem a rochas formadas essencialmente por magnetita \pm quartzo e por anfibólio \pm granada, respectivamente, tipicamente associadas a camadas de *metacherts*.

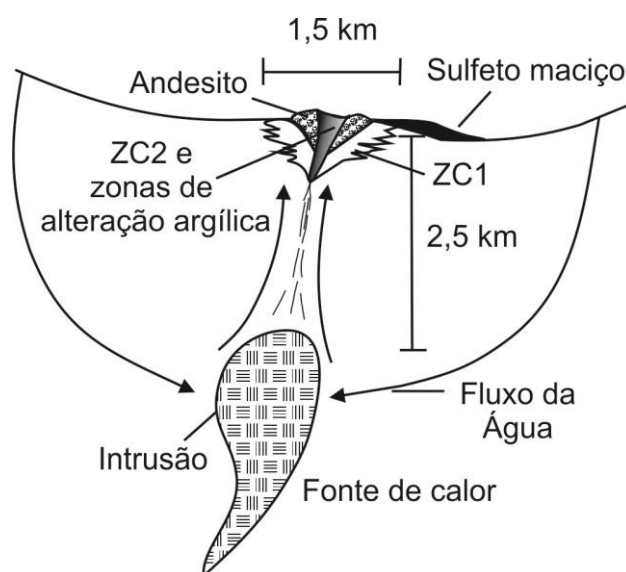


FIGURA 2 – Esquema mostrando as zonas de alteração cloríticas (ZC1 e ZC2) e argílicas associadas aos paleo-sistemas hidrotermais que atuaram afetando rochas do Grupo Serra do Itaberaba durante o Mesoproterozóico (Pérez-Aguilar *et al.* 2005).

Rochas ricas em alumina não são frequentes em sequências meta-vulcanossedimentares. Entretanto, no Grupo Serra do Itaberaba atualmente são conhecidas quatro ocorrências deste tipo de rochas (margarita-coríndon xistos e topázio xistos) (Lefevre 1958; Barbour 1987; Coutinho *et al.* 1982; Juliani *et al.* 1994; Pérez-Aguilar *et al.* 2011). Os margarita-coríndon xistos são muito semelhantes às rochas das minas de esmeril da África do Sul descritos por Hall (1920) e por ele denominadas de marunditos. Muito embora os depósitos de esmeril natural não apresentem na atualidade grande valor econômico devido aos baixos custos dos abrasivos sintéticos, rochas ricas em alumina, que podem chegar a possuir mais de 70% de Al_2O_3 em peso, têm despertado muito interesse científico pela sua raridade e pelo estudo dos processos geológicos envolvidos em sua formação.

Os margarita-coríndon xistos e os topázio xistos formam intercalações de alguns metros até cem metros no meio de rochas metabásicas, metavulcanoclásticas e metapelíticas e se encaixam na interface entre as rochas metavulcânicas básicas que se formaram em ambiente oceânico com a unidade de metapelitos sobrepostos.

As formações ferríferas foram subdivididas em duas unidades de mapeamento, denominadas de tipos simples e complexo. A primeira é formada essencialmente por camadas de fácies óxido e/ou *metachert* ferruginoso, e a segunda, por uma associação de litotipos, incluindo da fácies óxido e silicato de formações ferríferas, metavulcanoclásticas, metassedimentos manganésíferos e grafitosos e turmalinitos (Juliani 1993). Balanços de Massa sugerem que Fe lixiviado de zonas de alteração clorítica contribuíram para a gênese destes litotipos (Pérez-Aguilar 2001; Pérez-Aguilar & Juliani 2005). Também geneticamente associadas aos paleo-sistemas hidrotermais são encontrados os produtos metamórficos de zonas carbonatizadas, potassificadas e silicificadas (Juliani 1993; Pérez-Aguilar 1996, 2001; Pérez-Aguilar *et al.* 2000, 2005, 2007).

Quanto às mineralizações de ouro na região onde aflora o Grupo Serra do Itaberaba cabe destacar que a lavra de ouro na região de Guarulhos estava bem estabelecida no início do século XVII, durante o período colonial, na época em que esta região fazia parte da antiga Capitania de São Vicente (Leme 1772a, 1772b; Eschwege 1833; Oliveira 1982; Derby 1889; Calógeras 1904; Martins 1943; Neme 1959; Maffei & Nogueira 1966, Marques, 1980 entre outros). O declínio da atividade mineira se deu no início do século XIX conforme certificado por diversos autores (Mawe 1812; Eschwege 1833; Noronha 1960). Durante esta época o ouro foi essencialmente lavrado em aluviões, coluviões, eluviões, material saprolítico e veios de quartzo associado a rochas do Grupo Serra do Itaberaba (Juliani *et al.* 1995). Posteriormente as mineralizações de ouro foram estudadas por diversos autores tendo sido caracterizadas mineralizações singenéticas e epigenéticas (Beljavskis 1988; Juliani 1993; Beljavskis *et al.* 1993, 1999 2005; Garda *et al.* 2002, 2009; Pérez-Aguilar *et al.* 2011).

A caracterização de minerais formadores de rochas ricas em alumina e litotipos associados presentes no Grupo Serra do Itaberaba é de grande interesse no entendimento dos processos mineralizantes em ouro no contexto deste grupo.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivos, apresentar e discutir os dados obtidos das análises de minerais de rochas ricas em alumina e rochas associadas por meios de difração de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscopia petrográfica. Diante desses dados, realizar as classificações química, nas classes de simetria e de estrutura cristalina.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Foram realizadas pesquisas bibliográficas para entendimento dos métodos de caracterização de minerais por meio de DRX, MEV e da microscopia petrográfica, e entendimento de conceitos básicos relativos aos minerais, tais quais classificação química, estrutura cristalina e classes de simetria (Deer *et al.* 1966, 1975; Formoso 1984; Potts 1987; Klein & Dutrow 2007; Yardley *et al.* 1990; Golgstein 1992).

2.1. CONCEITOS BÁSICO SOBRE MINERAIS

Um mineral é um material sólido que ocorre naturalmente com um arranjo atômico altamente ordenado e uma composição química homogênea definida (mas não necessariamente fixa). Os minerais são normalmente formados por processos inorgânicos, eles e seus derivados químicos são encontrados por todo o universo (Klein & Dutrow 2007).

2.1.1 CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA DOS MINERAIS

A composição química tem sido a base para a classificação dos minerais, desde meados do século XIX. Segundo este esquema, os minerais são divididos em grupos de acordo com o ânion ou o grupo aniônico presente. Os principais grupos são elementos naturais; sulfetos; sulfossais; óxidos e hidróxidos; halogenetos; carbonatos; nitratos; boratos; sulfatos e cromatos; fosfatos; arsenatos e vanadatos; tungstatos e molibdatos; e silicatos (nesossilicatos, sorossilicatos, ciclossilicatos, inossilicatos, filossilicato e tectossilicatos) (Klein & Dutrow 2007).

2.1.2 ESTRUTURA CRISTALINA

Os materiais sólidos são classificados de acordo com a regularidade pela qual seus átomos ou íons estão arranjados uns em relação aos outros. Um material cristalino é um material no qual os átomos estão posicionados em um arranjo periódico ou repetitivo ao longo de grandes distâncias atômicas; isto é, existe uma ordem de longo alcance, tal que quando ocorre a solidificação, os átomos se posicionarão em um padrão tridimensional repetitivo, no qual cada átomo está ligado aos seus átomos vizinhos mais próximos (Callister *et al.* 2012).

As propriedades físicas, tais como clivagem, dureza, densidade, ponto de fusão, e as propriedades ópticas, tais como o índice de refração, estão relacionadas às estruturas cristalinas. É possível dizer que o inverso também é verdadeiro de modo que seja possível deduzir os elementos básicos da estrutura do cristal, em parte, pelas propriedades físicas observáveis, como citadas anteriormente no que diz respeito às ligações químicas dos elementos. A compreensão da estrutura cristalina, também ajuda a prever os aspectos das variações composicionais que ocorrem nos minerais (Klein & Dutrow 2007).

2.1.3 SISTEMAS CRISTALINOS

Todos os minerais (cristais) mostram pelo arranjo de suas faces uma simetria definida, o que permite agrupá-los em diferentes classes cristalográficas que, por sua vez, compõem os diferentes sistemas cristalográficos (Silva 2011).

Por existir diferentes estruturas cristalinas, algumas vezes é conveniente dividi-las em grupos, de acordo com as configurações das celas unitárias e/ou dos arranjos atômicos. Um desses enfoques está baseado na geometria da cela unitária, isto é, na forma do paralelepípedo apropriado para representar esta cela, independente das posições dos átomos nela. Neste contexto, é estabelecido um sistema de coordenadas xyz que tem sua origem localizada em um dos vértices da cela unitária; cada um dos eixos x, y e z coincide com uma das três arestas do paralelepípedo, que se estendem a partir desse vértice, como ilustrado na figura 3 (Callister *et al.* 2012).

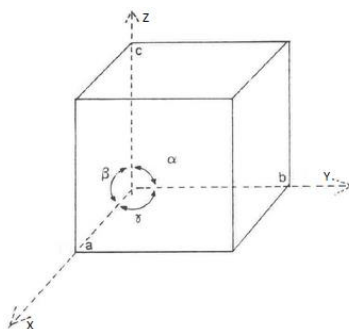









FIGURA 3 – Eixos cristalográficos X, Y e Z, parâmetros e cela unitária (Bueno 2000).

A geometria da cela unitária é completamente definida em termos de seis parâmetros: os comprimentos das três arestas a , b e c , e dos três ângulos entre os eixos α , β e γ . Esses parâmetros são algumas vezes denominados parâmetros de rede cristalina. Logo, existem sete possíveis combinações diferentes de a , b e c , e α , β e γ , cada uma das quais representa um sistema cristalino distinto. Esses sete sistemas cristalinos são os sistemas cúbico, tetragonal, hexagonal, ortorrômbico ou trigonal, monoclinico e triclínico. As relações para os parâmetros de rede e representações das celas unitárias para cada um desses sistemas estão apresentadas na Tabela 1. O sistema cúbico, para o qual $a=b=c$ e $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$, possui o maior grau de simetria. A menor simetria é exibida pelo sistema triclínico, uma vez que nele $a \neq b \neq c$ e $\alpha \neq \beta \neq \gamma$ (Callister et al. 2012).

Das classes de simetria de cristais, demonstrou-se que existem somente trinta e duas (32) combinações possíveis dos vários elementos de simetria, dando origem a trinta e duas formas de cristais. Estas classes, por possuírem características de simetria em comum com outras, estão agrupadas em sete sistemas cristalinos (Silva 2011).

TABELA 1 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SETE SISTEMAS CRISTALINOS (Bueno 2000; Callister 2012).

<i>Sistema Cristalino</i>	Parâmetros da Rede Cristalina	Geometria da Cella Unitária
<i>Isométrico ou Cúbico</i>	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
	$a = b = c$	
<i>Hexagonal</i>	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	
	$a = b \neq c$	
<i>Romboédrico ou Trigonal</i>	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	
	$a = b = c$	
<i>Tetragonal</i>	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
	$a = b \neq c$	
<i>Ortorrômbico</i>	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
	$a \neq b \neq c$	
<i>Monoclínico</i>	$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	
	$a \neq b \neq c$	
<i>Triclínico</i>	$\alpha \neq \beta \neq \gamma$	
	$a \neq b \neq c$	

2.2 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MINERAIS

2.2.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

A técnica de difração de raios-X apresenta inúmeras aplicações em diversos campos do conhecimento, sendo a identificação de fases cristalinas feita através de comparação com base de dados existentes.

Os raios-X ao atingirem um material podem ser espalhados elasticamente, sem perda de energia pelos elétrons de um átomo (dispersão ou espalhamento coerente). O fóton de raios-X após a colisão com o elétron muda sua trajetória, mantendo, porém a mesma fase e energia do fóton incidente. Se os átomos que geram este espalhamento estiverem de maneira sistemática, como em uma estrutura cristalina (figura 4), apresentando entre eles distâncias próximas ao do comprimento de onda da radiação incidente, pode-se verificar que as relações de fase entre os espalhamentos tornam-se periódicas e que efeitos de difração dos raios-X podem ser observados em vários ângulos (Kahn 2003).

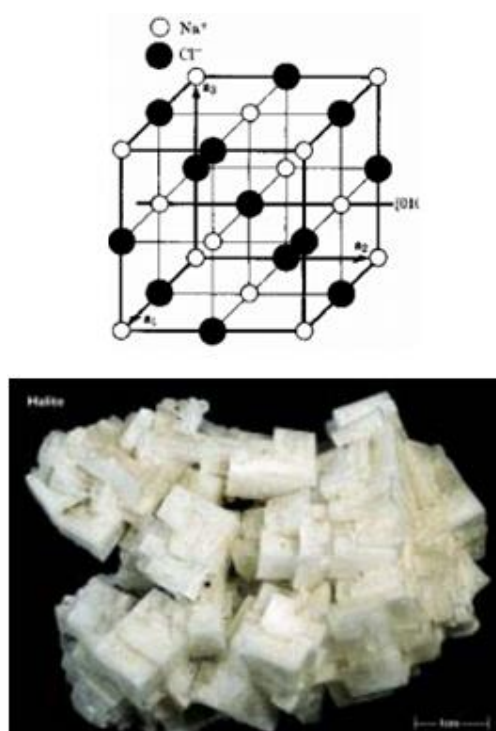


FIGURA 4 – Estrutura Cristalina do NaCl mostrando arranjo regular dos íons Na^{+1} e Cl^{-1} . Abaixo, cristais de NaCl, cuja morfologia externa está relacionada ao arranjo da estrutura cristalina (Kahn 2003).

Considerando-se dois ou mais planos de uma estrutura cristalina, as condições para que ocorra a difração de raios-X (interferência construtiva ou numa mesma fase) irão depender da diferença de caminho percorrida pelos raios-X e do comprimento de onda

da radiação incidente. Esta condição é expressa pela lei de Bragg (Figura 5 e Tabela 2; Equação 1).

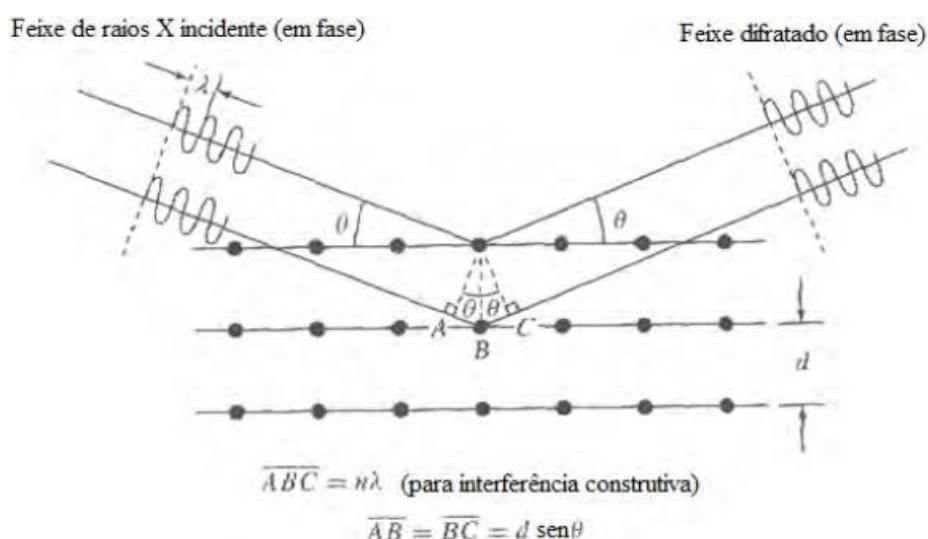


FIGURA 5 – Geometria que descreve o fenômeno de difração - Lei de Bragg (Shimizu 2012).

TABELA 2 – LEI DE BRAGG.

$n \cdot \lambda = 2 \cdot d_{hkl} \cdot \sin \theta, \text{ onde: (Equação 1)}$ <p> λ: comprimento de onda da radiação incidente, n: ordem de difração (número inteiro) d: distância interplanar para o conjunto de planos hkl (índices de Miller) da estrutura cristalina θ: ângulo de incidência dos raios-X </p>
--

A intensidade difratada, dentre outros fatores, é dependente do número de elétrons no átomo, adicionalmente, os átomos são distribuídos no espaço, de tal forma que os vários planos de uma estrutura cristalina possuem diferentes densidades de átomos ou elétrons, fazendo com que as intensidades difratadas sejam, por consequência, distintas para os diversos planos cristalinos. Cada elemento tem seu espectro de emissão característico, em função das diferentes distâncias interplanares dos minerais (Kahn 2003).

Os espectros obtidos são comparados com banco de dados que possuem difratogramas padrão dos diferentes minerais. O banco de dados utilizado pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo é o do ICC (Centro Internacional para Dados de Difração).

2.2.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

O MEV é um instrumento muito versátil e usado rotineiramente para a análise microestrutural de materiais sólidos. Apesar da complexidade dos mecanismos para a obtenção da imagem, o resultado é uma imagem de muito fácil interpretação.

Seu aumento máximo está entre o microscópio ótico (MO) e o microscópio eletrônico de transmissão (MET). Sua grande vantagem em relação ao MO é sua alta resolução, e em relação ao MET está na facilidade de preparação das amostras.

A elevada profundidade de foco (imagem com aparência tridimensional) e a possibilidade de combinar a análise microestrutural com a microanálise química são fatores que em muito contribuem para o amplo uso desta técnica.

Nesta técnica, a área a ser analisada é irradiada por um fino feixe de elétrons ao invés da radiação da luz, e este elétron do feixe eletrônico ao atingir a superfície da amostra, irá interagir com os átomos da mesma. Como consequência da presença do potencial atômico e nuclear da amostra, este elétron sofrerá modificação na sua velocidade inicial. Esta variação na velocidade pode ser somente na direção ou pode ocorrer tanto na direção quanto no módulo (magnitude). As interações nas quais ocorre a mudança na trajetória do elétron, sem que ocorra variação na sua energia cinética são ditas interações elásticas. Em consequência destas interações do feixe com a superfície da amostra, uma série de radiações é emitida, tais como: elétrons secundários, elétrons retroespalhados, Raios-X característicos, etc. Estas radiações podem, quando captadas de forma correta, fornecer informações características sobre a amostra (topografia da superfície, composição, cristalografia, etc.) (Maliska 2011).



FIGURA 6 – Ilustração de um Microscópio Eletrônico de Varredura acoplado a um EDS (Maliska 2011).

Os elétrons secundários, gerados desta interação, fornecem imagem da topografia da superfície da amostra e são os responsáveis pela obtenção das imagens de alta resolução. Já os retro espalhados fornecem imagem característica de variação de composição. Quando o EDS, que é um detector de raios-X por energia dispersiva, é acoplado ao MEV este tem seu potencial ainda mais desenvolvido, porque o EDS permite a realização de análises químicas semi-quantitativas da amostra analisada. A imagem observada ao MEV é o resultado da variação de contraste que ocorre quando um feixe de elétrons primários varre a superfície da amostra em análise ponto a ponto.

A captação pelos detectores e a análise desses raios-X característicos emitidos pela amostra, devido à interação dos elétrons primários com a superfície, nos dá informações qualitativas e quantitativas da composição da amostra na região submicrométrica de incidência do feixe de elétrons. Desta forma, é possível identificar variações de composição química dentro de um mesmo mineral. Todas estas detecções e análises são técnicas não destrutivas, podendo determinar quantidades de até 1-2% dos elementos presentes na amostra. Os raios-X apresentados podem ser gerados de duas maneiras:

- Excitação de raios-X contínuos;
- Ionização das camadas internas, dando origem à emissão dos raios-X característicos.

Estas radiações dão origem a dois diferentes componentes do espectro de raios-X: um componente característico, que identifica o átomo ou os átomos presentes no volume de interação e o componente contínuo, não específico e que forma o background contínuo. Ao ser gerado pela excitação de raios-X contínuos, elétrons com determinada energia são desacelerados pela interação com o núcleo pesado da amostra e a energia que ele perde aparece na forma de radiação como um fóton de raios-X. O elétron, quando interage com o núcleo carregado eletricamente, transfere quantidade de movimento para este e a desaceleração resultante causa a emissão do fóton (Maliska 2011).

A massa do núcleo é grande o suficiente, de modo que a energia adquirida na colisão pode ser considerada desprezível. Os elétrons do feixe incidente podem perder diferentes quantidades de energia nessas interações, e em geral, um elétron chegará ao repouso apenas depois de uma a várias colisões. Os raios-X assim produzidos pelos elétrons constituem o espectro contínuo, que se estende desde os raios-X com energia zero, até os raios-X com energia igual à energia total do elétron incidente (Figura 7). Esta energia corresponde ao feixe de elétron que perdeu toda a sua energia num único evento. A intensidade do background é função do número atômico (Z) e da corrente (i) do feixe. Seu valor é zero para a energia do elétron incidente (E_0) e aumenta à medida que a energia diminui. Devido à absorção dos raios-X de baixa energia pelo detector, o background detectado difere do background gerado.

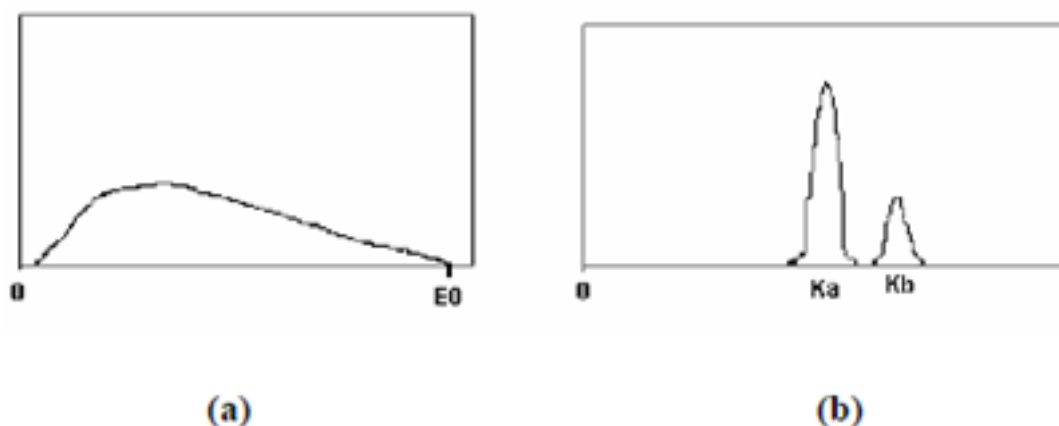


FIGURA 7 – Diagrama esquemático da variação da intensidade do (a) espectro Contínuo e do (b) espectro característico com a energia (Maliska 2011).

Já na radiação característica, o elétron do feixe incidente pode interagir com os elétrons de camadas mais internas, causando a ejeção do mesmo de modo a criar uma vacância nesta camada. O átomo fica então, num estado excitado (estado energético) e cuja tendência é voltar ao estado fundamental, em pico-segundos (10^{-12} s), através de uma série de transições permitidas dos elétrons de camadas externas para preencher o vazio da camada interna. A energia dos elétrons nas camadas externas são altamente definidas e com valores característicos para cada átomo. A diferença de energia na transição de camadas mais externas para camadas mais internas é também característica de átomo e pode ser liberada de duas maneiras, conforme representado na fig. 8.

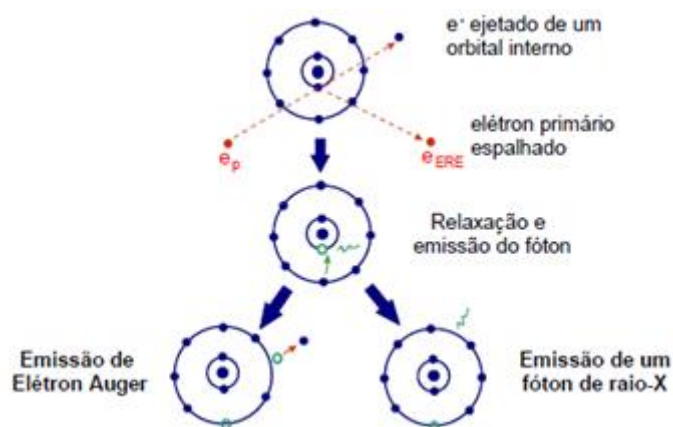


FIGURA 8 – Representação esquemática da ionização de uma camada interna e subsequente desexcitação por transições dos elétrons (Maliska 2011).

Como o espectro total de raios-X coletados é formado pela radiação característica, que é uma de suas radiações, e a radiação característica fornece as principais

informações sobre a composição da amostra, a separação da radiação contínua é um importante procedimento para a quantificação da composição da amostra. Desta forma, porcentagens elementares são fornecidas e pela relação de proporção, a conclusão sobre o tipo de mineral em análise ou o tipo de material pode ser relatada com boa precisão (Maliska 2011).

2.2.3 MICROSCOPIA PETROGRÁFICA

Um microscópio petrográfico é um instrumento utilizado na observação de rochas e minerais, possibilitando ampliações que atingem normalmente 400 vezes. Existem dois tipos principais de microscópios petrográficos, os de luz transmitida e os de luz refletida (havendo modelos, onde o mesmo aparelho permite estas duas possibilidades). Nos primeiros, a fonte de luz encontra-se na parte inferior do microscópio, sendo a luz conduzida por um sistema de lentes que, atravessando a amostra de rocha, permite que esta seja observada. A imagem resultante deste processo é ampliada por um sistema de lentes objetivas e oculares. Desta forma, são observadas as características das rochas e minerais quando estes são atravessados pela luz. As observações em luz transmitida apenas são possíveis em seções de amostras que sejam quase transparentes, ou seja, pela qual a luz possa passar. Nos microscópios de luz refletida, a fonte de luz encontra-se sobre a amostra e o que é observado é o resultado da reflexão da luz sobre a amostra. Os minerais opacos são estudados com o microscópio de luz refletida. Os microscópios de luz transmitida são os mais comumente utilizados na observação de amostras de rochas e minerais (Nardy & Machado 2013).

O microscópio petrográfico distingue-se do microscópio comumente utilizado em biologia em dois aspectos essenciais:

- possui uma platina rotativa;
- possui dois filtros polarizadores (nicóis), um situado abaixo da platina (chamado polarizador) e outro localizado acima desta (o analisador).

A existência da platina rotativa é necessária para que possam ser observadas determinadas características dos minerais quando atravessados pela luz, tais como o pleocroísmo e figuras de interferência. Isso é devido a diferentes comportamentos apresentado pelos minerais consoante à direção em que a luz os atravessa. Ao rodar a platina, variamos a direção em que a luz atravessa o mineral permitindo a observação de suas diversas propriedades. O estudo de rochas e minerais com a ajuda do microscópio petrográfico é, um procedimento obrigatório para quase todos os tipos de trabalho que o geólogo desenvolve. Com este instrumento é possível observar aspectos que, devido à sua reduzida dimensão, não podem ser observados à olho nu. Por exemplo, detectam-se minerais de pequenas dimensões, observam-se contatos entre diferentes minerais e pode estimar-se a sua percentagem numa dada rocha (Nardy & Machado 2013).

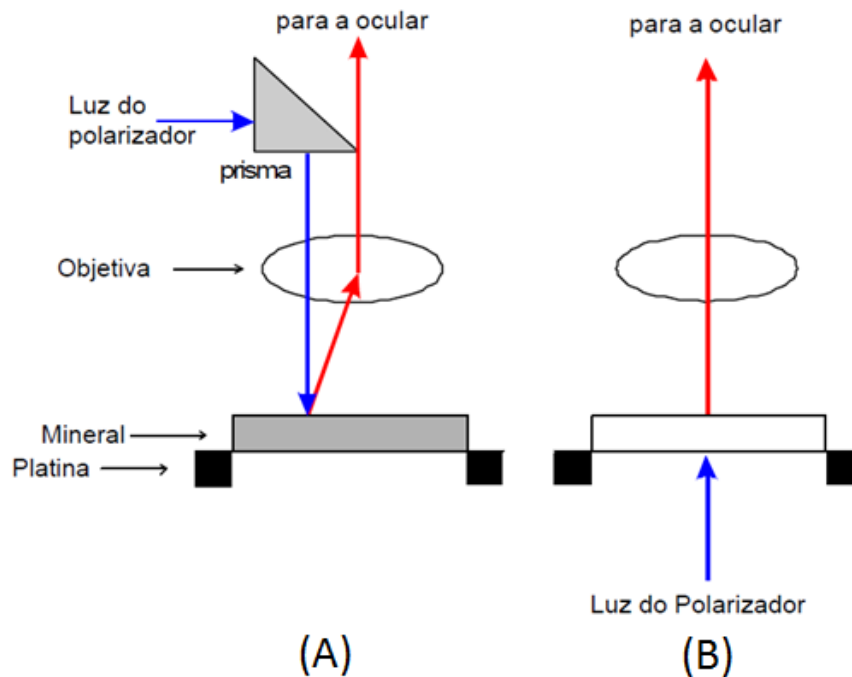


FIGURA 9 – Diagramas esquemáticos de sistemas óticos de luz (A) refletida e (B) transmitida. No primeiro caso, o mineral deverá ser opaco e ter uma boa superfície refletora, enquanto que no segundo, ser transparente (Laboratório de Caracterização Micro estrutural e Análise de Imagens - LCMAI – UFSC).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 TRABALHOS LABORATORIAIS

Aqui serão apresentados os materiais utilizados no projeto com suas principais características, bem como os equipamentos e procedimentos desenvolvidos durante o trabalho de obtenção de pó de rocha e confecção de seções delgadas.

3.1.1 SEPARAÇÃO DE FASES MINERAIS PARA DRX

Foram separadas dez fases minerais de amostras de margarita-coríndon xistos, topázio xistos e muscovita xistos. Para a separação de fases minerais foram utilizados diversos métodos em função da granulometria da amostra, das assembleias de minerais presentes nas mesmas e do grau de intercrescimento das diferentes fases minerais. Necessitou-se de cuidado ao excluir partes intemperizadas das amostras, uma vez que as mesmas não representavam mais a composição química original. Em amostras monominerálicas, ou onde os minerais que se desejou separar estavam concentrados em porções de cores e granulometrias diferentes, estes foram extraídos da amostra com a ajuda de instrumentos odontológicos próprios para escarificação e corte e pinças.

Amostras muito grande, com presença de minerais intercrescidos, foram prensadas até se obterem diversos fragmentos que aumentavam a superfície de exposição dos minerais que se desejou separar. Na maior parte dos casos a amostra foi prensada até se obter fragmentos de tamanho menores ou iguais à 0,5cm.

Posteriormente, em função das características da amostra, conforme acima exposto, os fragmentos obtidos após prensagem, foram reduzidos com o uso do morteiro e peneirados. O uso do morteiro possibilitou a liberação de fases minerais em granulometria menor quando as mesmas estavam concentradas em partes preferenciais da amostra. O uso de peneiras permitiu a separação de alíquotas da amostra de mesma granulometria para verificar em qual granulometria puderam ser realizados processos posteriores de separação de fases minerais. Para peneirar as amostras foi usado um conjunto de peneiras pequenas de oito centímetros de diâmetro com aberturas de 30/28, 60, 100 e 200 *mesh* acopladas a seus respectivos fundos e tampas.

Por fim, as fases minerais foram observadas na lupa para limpeza, visando separar impurezas que estavam presentes, no intuito de se chegar a um grau de pureza superior a 95% do volume total da amostra. Processos de separação de minerais utilizando instrumentos odontológicos e brocas foram realizados no Laboratório de Análises Geológicas do Instituto Geológico, sendo que a limpeza de fases minerais foi realizado no Laboratório de Microscopia do Instituto Geológico. Concentrações das dez fases de minerais separados foram encaminhadas ao Laboratório de DRX do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP).

3.1.2 CONFECÇÃO E PREPARAÇÃO DE SEÇÕES DELGADAS PARA MEV

A confecção das seções delgadas foi realizada no Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da USP, resultando em três seções delgadas. A preparação destas seções delgadas para o MEV foi realizado no Laboratório de Microscopia Eletrônica do Instituto de Geociências da UNICAMP (LMEV-UNICAMP). Com um papel macio embebido com um pouco de acetona, as seções delgadas foram limpas de modo a remover poeira, marca de dedos ou gordura aderida. Por se tratar de uma amostra não condutora, o processo de metalização foi necessário, para que a coleta de imagens se tornasse possível. A metalização com carbono é a mais comum na microscopia eletrônica de varredura. Por conta do baixo número atômico deste elemento, picos indesejáveis não são adicionados ao espectro apresentando, portanto, mínima influência nas intensidades dos raios-X. O processo foi realizado a vácuo, (prevenindo a formação de fuligem e a má adesão) por meio da evaporação, por condução de corrente elétrica, de uma fibra e carbono conforme o programa de funcionamento do equipamento no perfil “QT Pulse Cord evap”. As amostras foram analisadas no LMEV-UNICAMP.

O MEV utilizado foi o LEO 430i com varredura digital e, controlado por um programa de computador, fabricado pela companhia Zeiss. A este, estava acoplado um espectrômetro de energia dispersiva (EDS) da Oxford Instruments para a realização de análises semi-quantitativas. O canhão de elétrons do LEO 430i é usado para gerar um feixe fino e focalizado de elétrons sobre a superfície da amostra montada na câmara. Este canhão possui como emissor termoiônico – filamento de tungstênio como fonte de elétrons. Três lentes eletromagnéticas abaixo do canhão focalizam e dão forma ao feixe antes que ele atinja a amostra de modo varredura ou rasteirizado.

3.1.3 CONFEÇÃO DE SEÇÕES DELGADAS PARA MICROSCÓPIO PETROGRÁFICO

Em primeiro lugar, realiza-se o lixamento e colagem da amostra em uma lâmina de vidro utilizando uma resina epóxi. Posteriormente, corta-se uma fatia muito fina da rocha (30 μ m), utilizando-se como meio de imersão o Bálsamo do Canadá por possuir um índice de refração de 1,537, semelhante ao do vidro (1,523). Um esquema de uma seção delgada pode ser observada na Figura 10.



FIGURA 10 – Representação esquemática de uma montagem em lâmina de uma amostra de rocha (Nardy & Machado 2013).

As lâminas foram analisadas no Laboratório de Microscopia do Instituto Geológico. Neste laboratório, foi utilizado um Microscópio Petrográfico Olympus BX-51P (Figura 11), com possibilidade de captação de vários pontos dessa lâmina. Foram obtidas micrografias tanto com luz natural polarizada, quanto com nicol cruzado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

Foram analisados minerais das amostras GMA 14c, PBMA 5a, PBMA 14b, PBMA 14d, AMA 12a, AMA 45c, AMA 46w, AMA 12g(1), AMA 10d2 e AMA 46d.



FIGURA 11 – Microscópio Petrográfico Olympus BX-51P.

Foram analisados minerais das amostras GMA 14c, PBMA 5a, PBMA 14b, PBMA 14d, AMA 12a, AMA 45c, AMA 46w, AMA 12g(1), AMA 10d2 e AMA 46d.

TABELA 3 – AMOSTRAS ANALISADAS POR DRX

Amostra	Mineral
GMA 14c	Mica
PBMA 5a	Mica
PBMA 14b	Mica
PBMA 14d	Mica
AMA 12a	Mica
AMA 45c	Mica
AMA 12g(1)	Mica
AMA 10d2	Mica
AMA 46w	Coríndon
AMA 46d	Topázio

Do conjunto de minerais acima citados, os minerais analisados das amostras das amostras AMA 45c, AMA 12a , AMA 12g(1), AMA 10d2, GMA 14c, PBMA 5a, PBMA 14b e PBMA 14d corresponderam a micas, o mineral da amostra AMA 46d correspondeu a topázio e da amostra AMA 46w correspondeu a um coríndon. A seguir serão discutidos dois difratogramas de micas, um de topázio e outro de coríndon.

4.1.1 MICAS

Para as amostras AMA 45c, AMA 12a, AMA 12g(1), AMA 10d2, GMA 14c, PBMA 5a, PBMA 14b e PBMA 14d, preparadas durante atividades relacionadas a este trabalho, os difratogramas obtidos nos mostrou que os minerais analisados pertencem ao grupo das micas, que na classificação química dos minerais correspondem à filossilicatos. Entretanto, a diferenciação entre o tipo de mica, que é de interesse neste estudo, ou seja, margarita (fórmula química – $\text{CaAl}_2(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10})(\text{OH})_2$), ou muscovita (fórmula química – $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$), por meio de DRX não foi possível, uma vez que este método não detecta a diferença entre a presença de cálcio ou potássio na cela unitária e consequentemente apresentarão o mesmo difratograma.

No difratograma da amostra GMA 14c (Figura 12), pode-se observar que os picos da margarita (em verde) e da muscovita (em azul) coincidem como também coincidem com os do argilomineral illita. As amostras macroscópicas estão associadas a cada difratograma. A partir desses difratogramas, (Figuras 12 e 13), só é possível concluir que os minerais dessas amostras, pertencem ao grupo das micas. A margarita faz parte do grupo das micas (assim como a muscovita, a biotita, etc.). Todos esses minerais possuem um pico bem orientado na faixa que corresponde à 9,5 à 10 Å (Angstroms).

Não há como determinar qual é o mineral específico deste grupo sem outras técnicas. O melhor seria fazendo uso de uma microsonda eletrônica para determinara composição química deste mineral, ou fazer uso da técnica de difração de nêutrons, dado a maior energia do sistema (Guggenheim & Bailey 1975).

4.1.2 TOPÁZIO

Já, o difratograma da amostra AMA 46d, nos indica que o mineral analisado corresponde à um topázio, cuja fórmula química é $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F}, \text{OH})_2$ e correspondendo na classificação química dos minerais a um nesossilicato. Esta conclusão pode ser obtida a partir do difratograma obtido para este mineral (Figura 14), comparado com aqueles fornecidas pelo banco de dados do ICDD (Centro Internacional para Dados de Difração). Podemos dizer que não se trata de uma muscovita (em azul), porque as distâncias interplanares do topázio e da muscovita são diferentes. A amostra macroscópica está associada ao difratograma da figura 14.

4.1.3 CORÍNDON

Finalmente, o difratograma da amostra AMA 46w (Figura 15), nos mostra que o mineral analisado corresponde a um coríndon, cuja formula química é Al_2O_3 , correspondendo na classificação química dos minerais a um óxido de alumínio. A amostra macroscópica está associada ao difratograma da Figura 15.

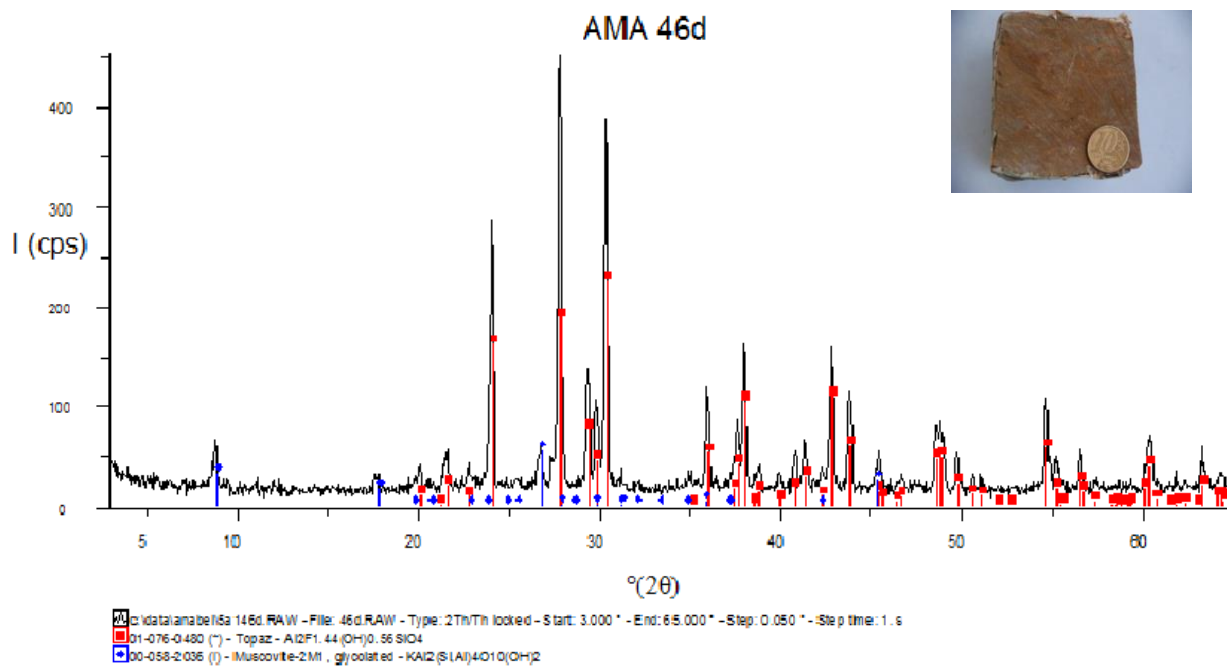


FIGURA 14– Difractograma referente à amostra AMA 46d, mostrando que se trata de um topázio. Na parte superior direita da figura observa-se a amostra macroscópica de onde foi raspado o mineral analisado; moeda colocada como escala.

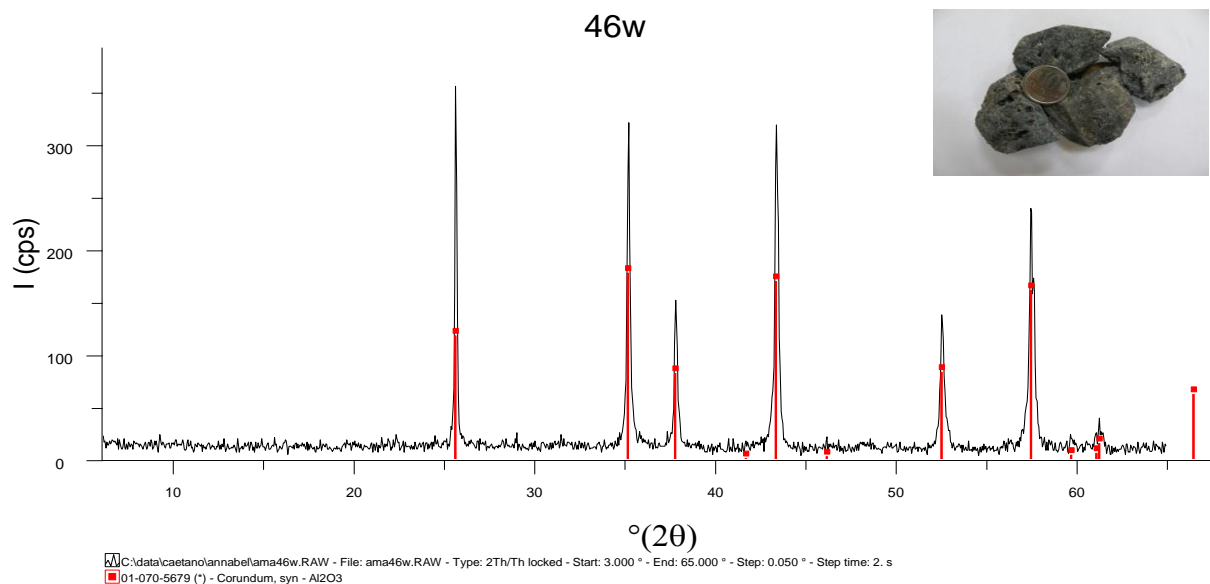


FIGURA 15 – Difractograma referente à amostra AMA 46w, mostrando que se trata de coríndon. Na parte superior direita da figura observa-se a amostra macroscópica de onde foi raspado o mineral analisado; moeda colocada como escala.

4.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Por MEV, foram analisadas três amostras obtendo-se setenta e quatro análises semi-quantitativas. Na amostra AMA 46L foram realizadas vinte e sete análises semi-quantitativas que corresponderam a fosfatos, rutilo, paragonita, coríndon, zircão e muscovita, conforme destacado na figura 16. Na amostra AMA 46p1b foram realizadas vinte e seis análises semi-quantitativas, com as quais se caracterizou a presença de fosfatos, coríndon, muscovita, rutilo e óxido com cobre e zinco, conforme destacado na figura 17. Já, na amostra AMA 94a, foram realizadas vinte e uma análises semi-quantitativas, com as quais se caracterizou a presença de coríndon, muscovita, fosfato, zircão com prata, rutilo com vanádio, monazita com prata e topázio, conforme destacado na figura 18. Nas tabelas 4, 5, 6, 7, 8 e 9, estão os resultados das análises semi-quantitativas obtidas. Na tabela 10 relaciona-se os principais minerais analisados por MEV à sua fórmula química, classificação química e sistema cristalográfico.

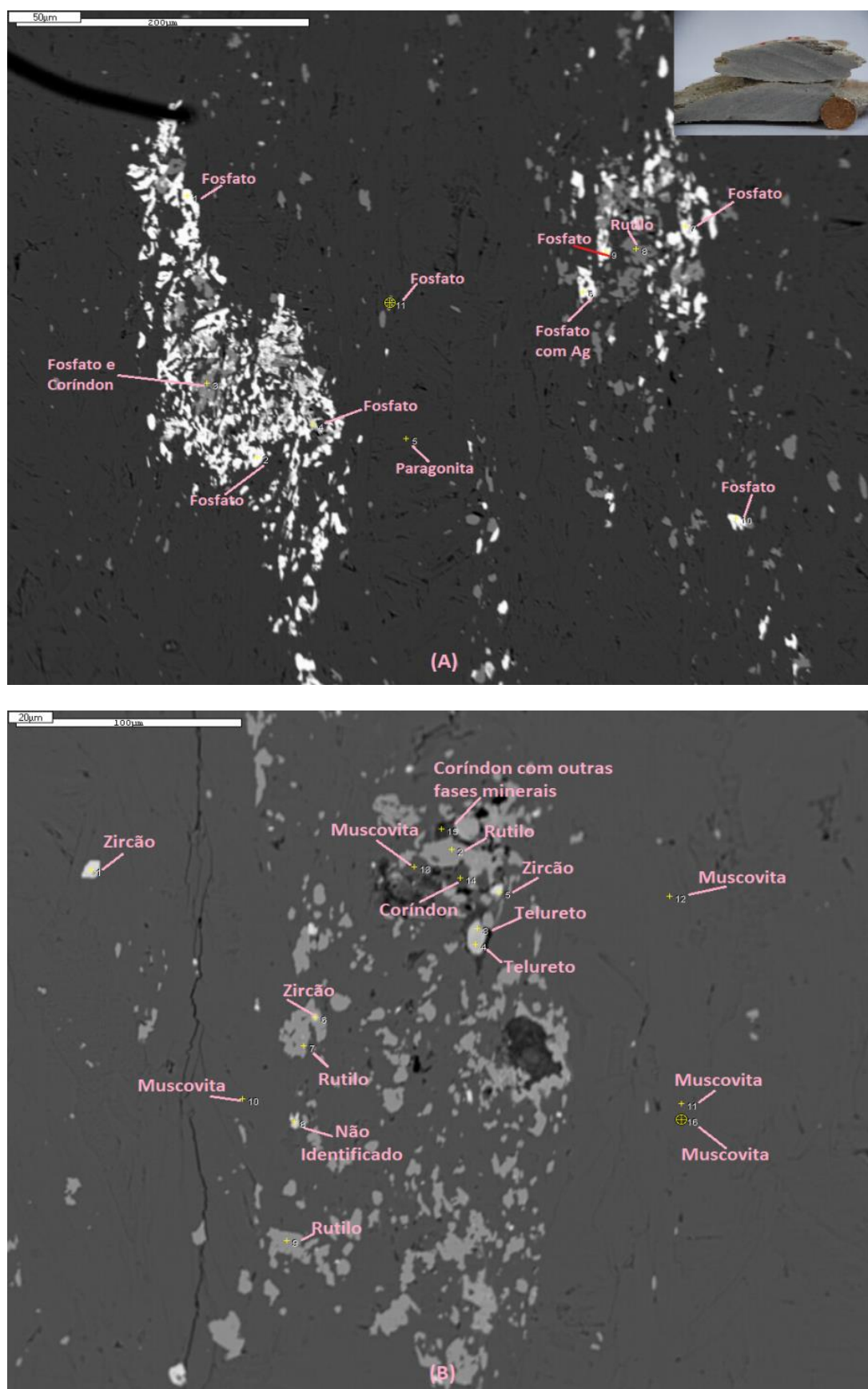


FIGURA 16 – Imagens de MEV da Amostra AMA 46L, (A) (Parte 1) e (B) (Parte 2). Na parte superior direita da figura observa-se a amostra macroscópica analisada; moeda colocada como escala.

TABELA 4 – AMOSTRA AMA 46L (PARTE 1), REFERENTE ÀS ANÁLISES DE MEV.

Data e Local da Análise: 02/07/2013 - Laboratório de Microscopia da Unicamp															
Amostra	Análise dos Pontos														
	Ponto 1			Ponto 2			Ponto 3								
Amostra AMA 46L (Parte 1)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)			
	O	K-ED	45,12	77,38	O	K-ED	45,74	77,51	O	K-ED	60,49	76,23			
	P	K-ED	17,49	15,49	P	K-ED	17,84	15,62	Na	K-ED	0,47	0,41			
	Ce	L-ED	23,44	4,59	Ce	L-ED	21,97	4,25	Al	K-ED	17,13	12,8			
	Nd	L-ED	12,32	2,34	Nd	L-ED	13,13	2,47	P	K-ED	13,55	8,82			
	Th	M-ED	1,64	0,19	Th	M-ED	1,33	0,16	K	K-ED	0,37	0,19			
	Total		100	100	Total		100	100	Ca	K-ED	1,07	0,54			
	Interpretação: Fosfato de Ce, Nd e Th			Interpretação: Fosfato de Ce, Nd e Th			Interpretação: Fosfato de Ce, Nd e Th			Ba	L-ED	6,92	1,02		
										Total		100	100		
										Interpretação: Duas fases Minerais (Fosfato e Corindon)					
Amostra AMA 46L (Parte 1)	Ponto 4			Ponto 5			Ponto 6								
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)			
	O	K-ED	52,11	77,41	O	K-ED	49,79	63,02	O	K-ED	45,55	76,91			
	Al	K-ED	1,54	1,36	Na	K-ED	0,61	0,53	P	K-ED	18,53	16,17			
	P	K-ED	21,94	16,84	Al	K-ED	23,09	17,33	Ag	L-ED	1,11	0,28			
	K	K-ED	0,84	0,51	Si	K-ED	26,52	19,12	Ce	L-ED	21,97	4,24			
	Nd	L-ED	23,57	3,88	Total		100	100	Nd	L-ED	12,84	2,41			
	Total		100	100	Interpretação: Paragonita			Interpretação: Fosfato de Ce e Nd com Ag							
	Interpretação: Fosfato de Nd														
Amostra AMA 46L (Parte 1)	Ponto 7			Ponto 8			Ponto 9								
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)			
	O	K-ED	46,03	76,62	O	K-ED	48,21	73,59	O	K-ED	45,59	77,17			
	Al	K-ED	1,89	1,87	Ti	K-ED	51,79	26,41	P	K-ED	18,07	15,8			
	P	K-ED	16,84	14,48	Total		100	100	Ca	K-ED	0,38	0,26			
	K	K-ED	0,83	0,57	Interpretação: Rutílio			Ce	L-ED	21,58	4,17				
	Ce	L-ED	21,51	4,09				Nd	L-ED	12,95	2,43				
	Nd	L-ED	12,89	2,38				Th	M-ED	1,43	0,17				
	Total		100	100				Total		100	100				
	Interpretação: Fosfato de Ce e Nd						Interpretação: Fosfato de Ce, Nd e Th								
Amostra AMA 46L (Parte 1)	Ponto 10			Ponto 11						Amostra 46L					
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)							
	O	K-ED	46,05	77,21	O	K-ED	47,18	76,81							
	P	K-ED	18,57	16,09	Al	K-ED	2,86	2,76							
	Ce	L-ED	21,96	4,20	P	K-ED	17,07	14,35							
	Nd	L-ED	13,42	2,50	Ca	K-ED	0,36	0,24							
	Total		100	100	Ce	L-ED	18,58	3,45							
	Interpretação: Fosfato de Ce e Nd						Nd	L-ED	12,09				2,18		
							Th	M-ED	1,85				0,21		
							Total		100				100		
						Interpretação: Fosfato de Ce, Nd e Th									

TABELA 5 – AMOSTRA AMA 46L (PARTE 2), REFERENTE ÀS ANÁLISES DE MEV.

Data e Local da Análise: 02/07/2013 - Laboratório de Microscopia da UNICAMP																
Análise dos Pontos																
Amostra	Ponto 1				Ponto 2				Ponto 3				Ponto 4			
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)
Amostra MA 46L (Parte 2)	O	K-ED	68.46	68.46	O	K-ED	73.95	73.95	O	K-ED	40.52	74.85	O	K-ED	41.86	75.74
	Si	K-ED	14.42	15.40	Ti	K-ED	51.33	26.05	Al	K-ED	1.37	1.50	Al	K-ED	1.35	1.35
	Zr	L-ED	49.07	16.14	Total	Total	100	100	Ti	K-ED	3.68	2.27	P	K-ED	0.66	0.61
	Total	Total	100	100					Cr	K-ED	0.87	0.49	K	K-ED	0.26	0.19
Amostra MA 46L (Parte 2)	Interpretação: Zircão				Interpretação: Rutílio				Interpretação: Telureto				Interpretação: Telureto			
	Fe	K-ED	40.29	63.8	O	K-ED	53.56	66.05	O	K-ED	50.76	64.9	O	K-ED	50.18	64.67
	Na	K-ED	0.52	0.47	Al	K-ED	46.44	33.95	Al	K-ED	41.37	31.37	Na	K-ED	0.36	0.32
	Al	K-ED	19.48	14.95	Total	Total	100	100	K	K-ED	5.11	2.68	Al	K-ED	19.41	14.83
Amostra MA 46L (Parte 2)	Si	K-ED	21.77	16.01	Interpretação: Corindon				Ti	K-ED	0.75	0.32	Si	K-ED	21.14	15.52
	K	K-ED	8.94	4.73	Interpretação: Corindon				Fe	K-ED	2.01	0.74	K	K-ED	8.53	4.50
	Total	Total	100	100	Interpretação: Corindon com outras fases Minerais				Total	Total	100	100	Ti	K-ED	0.18	0.08
	Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
Amostra MA 46L (Parte 2)	Interpretação: Zircão				Interpretação: Zircão				Interpretação: Rutílio				Interpretação: Não Identificado			
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)
	O	K-ED	47.38	72.94	O	K-ED	50.49	64.91	O	K-ED	50.26	64.66	O	K-ED	50.22	64.64
	Ti	K-ED	52.62	27.06	Na	K-ED	0.43	0.38	Na	K-ED	0.37	0.41	Na	K-ED	0.39	0.35
Amostra MA 46L (Parte 2)	Total	Total	100	100	Al	K-ED	19.49	14.86	Al	K-ED	19.47	14.85	Al	K-ED	19.43	14.83
	Interpretação: Rutílio				Si	K-ED	20.87	15.29	Si	K-ED	21.27	15.59	Si	K-ED	21.37	15.67
	K	K-ED	8.94	4.73	K	K-ED	8.51	4.48	K	K-ED	8.60	4.53	K	K-ED	8.50	4.52
	Fe	K-ED	21.77	16.01	Fe	K-ED	0.21	0.08	Total	Total	100	100	Total	Total	100	100
Amostra MA 46L (Parte 2)	Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)
	O	K-ED	40.29	63.8	O	K-ED	53.56	66.05	O	K-ED	50.76	64.9	O	K-ED	50.18	64.67
Amostra MA 46L (Parte 2)	Na	K-ED	0.52	0.47	Al	K-ED	46.44	33.95	Al	K-ED	41.37	31.37	Na	K-ED	0.36	0.32
	Al	K-ED	19.48	14.95	Total	Total	100	100	K	K-ED	5.11	2.68	Al	K-ED	19.41	14.83
	Si	K-ED	21.77	16.01	Interpretação: Corindon				Ti	K-ED	0.75	0.32	Si	K-ED	21.14	15.52
	K	K-ED	8.94	4.73	Interpretação: Corindon				Fe	K-ED	2.01	0.74	K	K-ED	8.53	4.50
Amostra MA 46L (Parte 2)	Total	Total	100	100	Interpretação: Corindon com outras fases Minerais				Total	Total	100	100	Ti	K-ED	0.18	0.08
	Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)
Amostra MA 46L (Parte 2)	O	K-ED	40.29	63.8	O	K-ED	53.56	66.05	O	K-ED	50.76	64.9	O	K-ED	50.18	64.67
	Na	K-ED	0.52	0.47	Al	K-ED	46.44	33.95	Al	K-ED	41.37	31.37	Na	K-ED	0.36	0.32
	Al	K-ED	19.48	14.95	Total	Total	100	100	K	K-ED	5.11	2.68	Al	K-ED	19.41	14.83
	Si	K-ED	21.77	16.01	Interpretação: Corindon				Ti	K-ED	0.75	0.32	Si	K-ED	21.14	15.52
Amostra MA 46L (Parte 2)	K	K-ED	8.94	4.73	Interpretação: Corindon				Fe	K-ED	2.01	0.74	K	K-ED	8.53	4.50
	Total	Total	100	100	Interpretação: Corindon com outras fases Minerais				Total	Total	100	100	Ti	K-ED	0.18	0.08
	Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)
Amostra MA 46L (Parte 2)	O	K-ED	40.29	63.8	O	K-ED	53.56	66.05	O	K-ED	50.76	64.9	O	K-ED	50.18	64.67
	Na	K-ED	0.52	0.47	Al	K-ED	46.44	33.95	Al	K-ED	41.37	31.37	Na	K-ED	0.36	0.32
	Al	K-ED	19.48	14.95	Total	Total	100	100	K	K-ED	5.11	2.68	Al	K-ED	19.41	14.83
	Si	K-ED	21.77	16.01	Interpretação: Corindon				Ti	K-ED	0.75	0.32	Si	K-ED	21.14	15.52
Amostra MA 46L (Parte 2)	K	K-ED	8.94	4.73	Interpretação: Corindon				Fe	K-ED	2.01	0.74	K	K-ED	8.53	4.50
	Total	Total	100	100	Interpretação: Corindon com outras fases Minerais				Total	Total	100	100	Ti	K-ED	0.18	0.08
	Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)
Amostra MA 46L (Parte 2)	O	K-ED	40.29	63.8	O	K-ED	53.56	66.05	O	K-ED	50.76	64.9	O	K-ED	50.18	64.67
	Na	K-ED	0.52	0.47	Al	K-ED	46.44	33.95	Al	K-ED	41.37	31.37	Na	K-ED	0.36	0.32
	Al	K-ED	19.48	14.95	Total	Total	100	100	K	K-ED	5.11	2.68	Al	K-ED	19.41	14.83
	Si	K-ED	21.77	16.01	Interpretação: Corindon				Ti	K-ED	0.75	0.32	Si	K-ED	21.14	15.52
Amostra MA 46L (Parte 2)	K	K-ED	8.94	4.73	Interpretação: Corindon				Fe	K-ED	2.01	0.74	K	K-ED	8.53	4.50
	Total	Total	100	100	Interpretação: Corindon com outras fases Minerais				Total	Total	100	100	Ti	K-ED	0.18	0.08
	Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)
Amostra MA 46L (Parte 2)	O	K-ED	40.29	63.8	O	K-ED	53.56	66.05	O	K-ED	50.76	64.9	O	K-ED	50.18	64.67
	Na	K-ED	0.52	0.47	Al	K-ED	46.44	33.95	Al	K-ED	41.37	31.37	Na	K-ED	0.36	0.32
	Al	K-ED	19.48	14.95	Total	Total	100	100	K	K-ED	5.11	2.68	Al	K-ED	19.41	14.83
	Si	K-ED	21.77	16.01	Interpretação: Corindon				Ti	K-ED	0.75	0.32	Si	K-ED	21.14	15.52
Amostra MA 46L (Parte 2)	K	K-ED	8.94	4.73	Interpretação: Corindon				Fe	K-ED	2.01	0.74	K	K-ED	8.53	4.50
	Total	Total	100	100	Interpretação: Corindon com outras fases Minerais				Total	Total	100	100	Ti	K-ED	0.18	0.08
	Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)
Amostra MA 46L (Parte 2)	O	K-ED	40.29	63.8	O	K-ED	53.56	66.05	O	K-ED	50.76	64.9	O	K-ED	50.18	64.67
	Na	K-ED	0.52	0.47	Al	K-ED	46.44	33.95	Al	K-ED	41.37	31.37	Na	K-ED	0.36	0.32
	Al	K-ED	19.48	14.95	Total	Total	100	100	K	K-ED	5.11	2.68	Al	K-ED	19.41	14.83
	Si	K-ED	21.77	16.01	Interpretação: Corindon				Ti	K-ED	0.75	0.32	Si	K-ED	21.14	15.52
Amostra MA 46L (Parte 2)	K	K-ED	8.94	4.73	Interpretação: Corindon				Fe	K-ED	2.01	0.74	K	K-ED	8.53	4.50
	Total	Total	100	100	Interpretação: Corindon com outras fases Minerais				Total	Total	100	100	Ti	K-ED	0.18	0.08
	Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)
Amostra MA 46L (Parte 2)	O	K-ED	40.29	63.8	O	K-ED	53.56	66.05	O	K-ED	50.76	64.9	O	K-ED	50.18	64.67
	Na	K-ED	0.52	0.47	Al	K-ED	46.44	33.95	Al	K-ED	41.37	31.37	Na	K-ED	0.36	0.32
	Al	K-ED	19.48	14.95	Total	Total	100	100	K	K-ED	5.11	2.68	Al	K-ED	19.41	14.83
	Si	K-ED	21.77	16.01	Interpretação: Corindon				Ti	K-ED	0.75	0.32	Si	K-ED	21.14	15.52
Amostra MA 46L (Parte 2)	K	K-ED	8.94	4.73	Interpretação: Corindon				Fe	K-ED	2.01	0.74	K	K-ED	8.53	4.50
	Total	Total	100	100	Interpretação: Corindon com outras fases Minerais				Total	Total	100	100	Ti	K-ED	0.18	0.08
	Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)
Amostra MA 46L (Parte 2)	O	K-ED	40.29	63.8	O	K-ED	53.56	66.05	O	K-ED	50.76	64.9	O	K-ED	50.18	64.67
	Na	K-ED	0.52	0.47	Al	K-ED	46.44	33.95	Al	K-ED	41.37	31.37	Na	K-ED	0.36	0.32
	Al	K-ED	19.48	14.95	Total	Total	100	100	K	K-ED	5.11	2.68	Al	K-ED	19.41	14.83
	Si	K-ED	21.77	16.01	Interpretação: Corindon				Ti	K-ED	0.75	0.32	Si	K-ED	21.14	15.52
Amostra MA 46L (Parte 2)	K	K-ED	8.94	4.73	Interpretação: Corindon				Fe	K-ED	2.01	0.74	K	K-ED	8.53	4.50
	Total	Total	100	100	Interpretação: Corindon com outras fases Minerais				Total	Total	100	100	Ti	K-ED	0.18	0.08
	Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)
Amostra MA 46L (Parte 2)	O	K-ED	40.29	63.8	O	K-ED	53.56	66.05	O	K-ED	50.76	64.9	O	K-ED	50.18	64.67
	Na	K-ED	0.52	0.47	Al	K-ED	46.44	33.95	Al	K-ED	41.37	31.37	Na	K-ED	0.36	0.32
	Al	K-ED	19.48	14.95	Total	Total	100	100	K	K-ED	5.11	2.68	Al	K-ED	19.41	14.83
	Si	K-ED	21.77	16.01	Interpretação: Corindon				Ti	K-ED	0.75	0.32	Si	K-ED	21.14	15.52
Amostra MA 46L (Parte 2)	K	K-ED	8.94	4.73	Interpretação: Corindon				Fe	K-ED	2.01	0.74	K	K-ED	8.53	4.50
	Total	Total	100	100	Interpretação: Corindon com outras fases Minerais				Total	Total	100	100	Ti	K-ED	0.18	0.08
	Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)
Amostra MA 46L (Parte 2)	O	K-ED	40.29	63.8	O	K-ED	53.56	66.05	O	K-ED	50.76	64.9	O	K-ED	50.18	64.67
	Na	K-ED	0.52	0.47	Al	K-ED	46.44	33.95	Al	K-ED	41.37	31.37	Na	K-ED	0.36	0.32
	Al	K-ED	19.48	14.95	Total	Total	100	100	K	K-ED	5.11	2.68	Al	K-ED	19.41	14.83
	Si	K-ED	21.77	16.01	Interpretação: Corindon				Ti	K-ED	0.75	0.32	Si	K-ED	21.14	15.52
Amostra MA 46L (Parte 2)	K	K-ED	8.94	4.73	Interpretação: Corindon				Fe	K-ED	2.01	0.74	K	K-ED	8.53	4.50
	Total	Total	100	100	Interpretação: Corindon com outras fases Minerais				Total	Total	100	100	Ti	K-ED	0.18	0.08

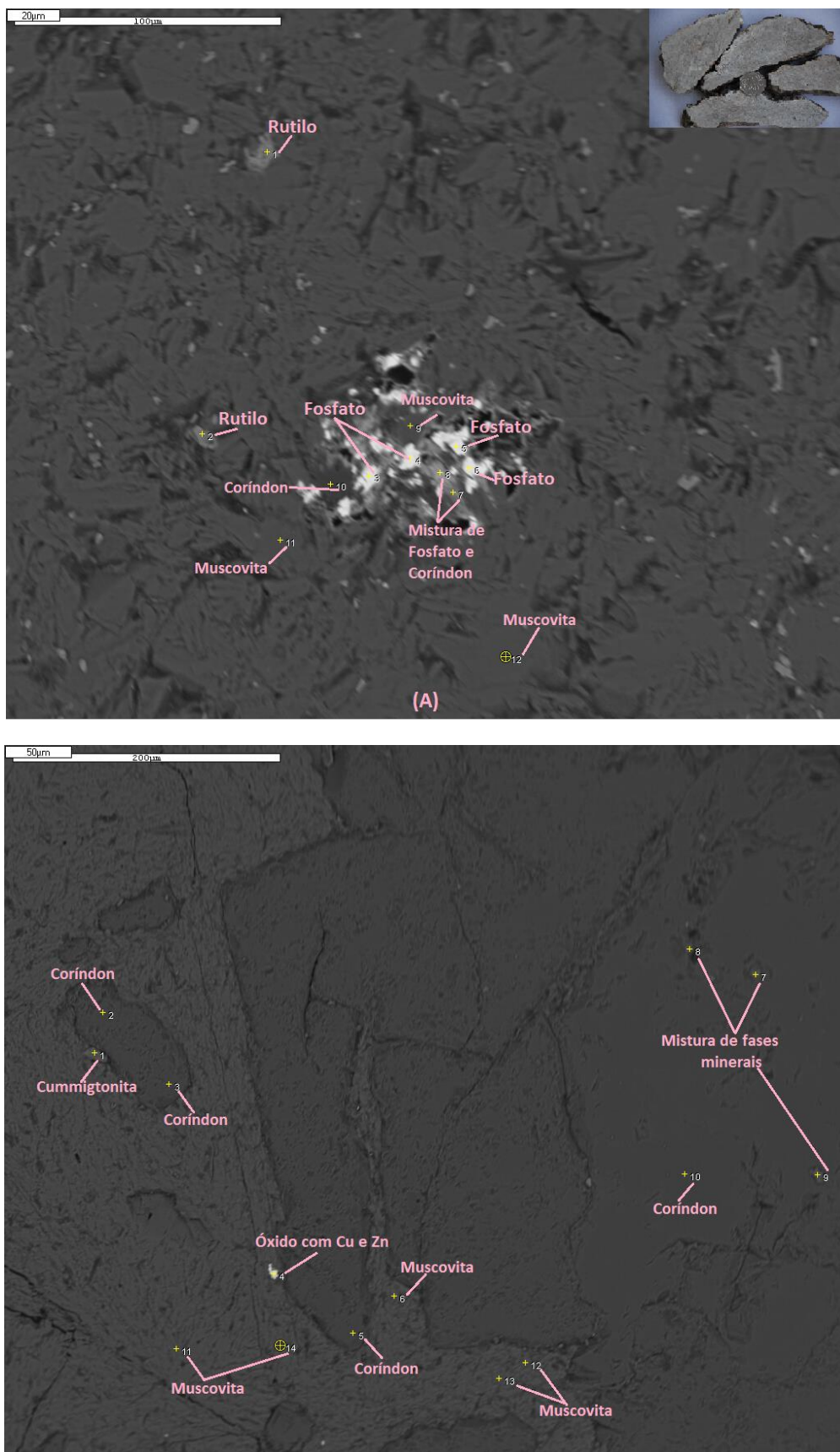


FIGURA 17 – Imagens de MEV da amostra AMA 46p1b, (A) (Parte 1) e (B) (Parte 2). Na parte superior direita da figura observa-se a amostra macroscópica analisada; moeda colocada como escala.

TABELA 6 – AMOSTRA AMA 46P1B (PARTE 1), REFERENTE ÀS ANÁLISES DE MEV.

Data e Local da Análise: 02/07/2013 - Laboratório de Microscopia da Unicamp												
Amostra	Análise dos Pontos											
	Ponto 1			Ponto 2			Ponto 3			Ponto 4		
Amostra AMA 46P1B (Parte 1)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)
	O	K-ED	51.02	75.72	O	K-ED	44.14	68.46	O	K-ED	44.66	76.62
	Ti	K-ED	48.98	24.28	Al	K-ED	3.57	3.28	Al	K-ED	0.53	0.54
	Total			0	Si	K-ED	2.86	2.53	P	K-ED	17.63	15.63
	Interpretação: Rutílio			0	K	K-ED	1.19	0.75	Ca	K-ED	0.33	0.23
				0	Al	K-ED	47.78	24.75	Ce	L-ED	22.46	4.40
				0	V	K-ED	0.47	0.23	Nd	L-ED	12.35	2.35
				0	Total			100	Th	M-ED	2.03	0.24
				0	Interpretação: Rutílio			100	Total			100
				0	Interpretação: Fosfato de Ce, Nd e Th			100	Interpretação: Fosfato de Ce, Nd e Th			100
Amostra AMA 46P1B (Parte 1)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)
	O	K-ED	42.94	76.41	O	K-ED	48.46	78.28	O	K-ED	45.09	76.68
	Al	K-ED	0.64	0.68	Al	K-ED	0.89	0.85	P	K-ED	18.61	16.35
	P	K-ED	16.31	14.99	P	K-ED	17.54	14.63	Ce	L-ED	22.88	4.44
	Ca	K-ED	0.29	0.21	Ca	K-ED	0.42	0.27	Nd	L-ED	13.41	2.53
	Ce	L-ED	21.44	4.36	Ce	L-ED	20.74	3.83	Total			100
	Nd	L-ED	14.73	2.91	Nd	L-ED	11.95	2.14	Interpretação: Fosfato de Ce e Nd			100
	Th	M-ED	3.63	0.45	Total			100	Interpretação: Fosfato de Ce e Nd			100
	Total			100	Interpretação: Fosfato de Ce e Nd			100	Interpretação: Fosfato de Ce e Nd			100
	Amostra AMA 46P1B (Parte 1)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)
O		K-ED	56.19	72.83	O	K-ED	59.76	78.36	O	K-ED	50.47	64.78
Al		K-ED	21.20	16.30	Al	K-ED	16.11	12.53	Na	K-ED	0.57	0.51
P		K-ED	10.17	6.81	P	K-ED	9.92	6.72	Al	K-ED	19.89	15.14
K		K-ED	4.10	2.17	Ca	K-ED	1.37	0.72	Si	K-ED	20.95	15.32
Ca		K-ED	1.08	0.56	Fe	K-ED	0.85	0.32	K	K-ED	8.11	4.26
Fe		K-ED	1.10	0.41	Ba	L-ED	2.88	0.44	Total			100
La		L-ED	6.16	0.92	Bi	M-ED	9.11	0.91	Interpretação: Muscovita			100
Total			100	Total			100	Interpretação: Muscovita			100	
Amostra AMA 46P1B (Parte 1)		Interpretação: Mistura de fosfato de La e Corindon										
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)
	O	K-ED	55.79	68.03	O	K-ED	50.28	64.63	O	K-ED	48.62	63.14
	Al	K-ED	44.21	31.97	Na	K-ED	0.65	0.58	Na	K-ED	0.51	0.46
	Total			100	Al	K-ED	19.79	15.08	Al	K-ED	20.41	15.72
	Interpretação: Corindon			100	Si	K-ED	20.90	15.30	Si	K-ED	21.57	15.96
				100	K	K-ED	8.38	4.41	K	K-ED	8.88	4.72
				100	Total			100	Total			100
				100	Interpretação: Muscovita			100	Interpretação: Muscovita			100
				100	Interpretação: Muscovita			100	Interpretação: Muscovita			100

TABELA 7 – AMOSTRA AMA 46P1B (PARTE 2), REFERENTE ÀS ANÁLISES DE MEV.

Data e Local da Análise: 02/07/2013 - Laboratório de Microscopia da Unicamp												
Análise dos Pontos												
Amostra	Ponto 1				Ponto 2				Ponto 3			
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atomical(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atomical(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atomical(%)
Amostra AMA 46P1b (Parte 2)	O	K-ED	47.84	64.09	O	K-ED	48.91	61.75	O	K-ED	47.93	60.82
	Mg	K-ED	10.87	9.58	Al	K-ED	31.08	38.23	Al	K-ED	32.07	39.18
	Al	K-ED	13.19	10.48	Total	Total	100	100	Total	Total	100	100
	Si	K-ED	12.90	9.83								
	K	K-ED	1.03	0.38								
	Fe	K-ED	14.15	5.43								
	Total	Total	100	100								
	Interpretação: Cummingtonita (Antifólio Magnésiano)				Interpretação: Corindon				Interpretação: Corindon			
	Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
	Interpretação: Corindon				Interpretação: Corindon				Interpretação: Muscovita			
Amostra AMA 46P1b (Parte 2)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atomical(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atomical(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atomical(%)
	O	K-ED	5.71	18.84	O	K-ED	46.71	59.45	O	K-ED	48.74	63.23
	Al	K-ED	1.85	3.62	Al	K-ED	53.49	40.55	Nb	K-ED	0.51	0.46
	Si	K-ED	1.10	2.07	Total	Total	100	100	Al	K-ED	20.43	15.72
	K	K-ED	0.57	0.77					Si	K-ED	21.58	15.95
	Cu	K-ED	57.44	47.76					K	K-ED	8.75	4.64
	Zn	K-ED	33.39	26.94					Total	Total	100.01	100
	Total	Total	100	100					Interpretação: Muscovita			
	Interpretação: Óxido com Cu e Zn				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
	Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
Amostra AMA 46P1b (Parte 2)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atomical(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atomical(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atomical(%)
	O	K-ED	32.38	45.7	O	K-ED	45.88	61.79	O	K-ED	49.28	62.83
	F	K-ED	21.67	23.75	Al	K-ED	40.18	32.09	Nb	K-ED	9.88	8.76
	Al	K-ED	9.77	8.17	K	K-ED	4.08	2.25	Si	K-ED	34.95	25.38
	Ca	K-ED	36.18	20.38	Ti	K-ED	1.06	0.48	Cl	K-ED	0.39	0.22
	Total	Total	100	100	Fe	K-ED	8.79	3.39	Ca	K-ED	5.50	2.8
	Interpretação: Mistura de Fases Minerais				Interpretação: Mistura de Fases Minerais				Interpretação: Mistura de Fases Minerais			
	Interpretação: Mistura de Fases Minerais				Interpretação: Mistura de Fases Minerais				Interpretação: Mistura de Fases Minerais			
	Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
	Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
Amostra AMA 46P1b (Parte 2)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atomical(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atomical(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atomical(%)
	O	K-ED	48.37	61.34	O	K-ED	49.73	64.10	O	K-ED	49.47	63.88
	Al	K-ED	51.63	38.76	Nb	K-ED	0.53	0.49	Nb	K-ED	0.39	0.35
	Total	Total	100	100	Al	K-ED	20.08	15.35	Al	K-ED	20.95	15.74
	Interpretação: Corindon				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
	Interpretação: Corindon				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
	Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
	Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
	Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita			
	Amostra AMA 46P1b (Parte 2)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atomical(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atomical(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)
O		K-ED	49.80	64.29	O	K-ED	48.82	63.29				
Nb		K-ED	0.54	0.48	Nb	K-ED	0.63	0.59				
Al		K-ED	19.91	15.21	Al	K-ED	20.39	15.68				
Si		K-ED	21.17	15.34	Si	K-ED	21.40	15.80				
K		K-ED	8.48	4.47	K	K-ED	8.74	4.64				
Total		Total	100	100	Total	Total	100	100	Total	Total	100	100
Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				
Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				Interpretação: Muscovita				

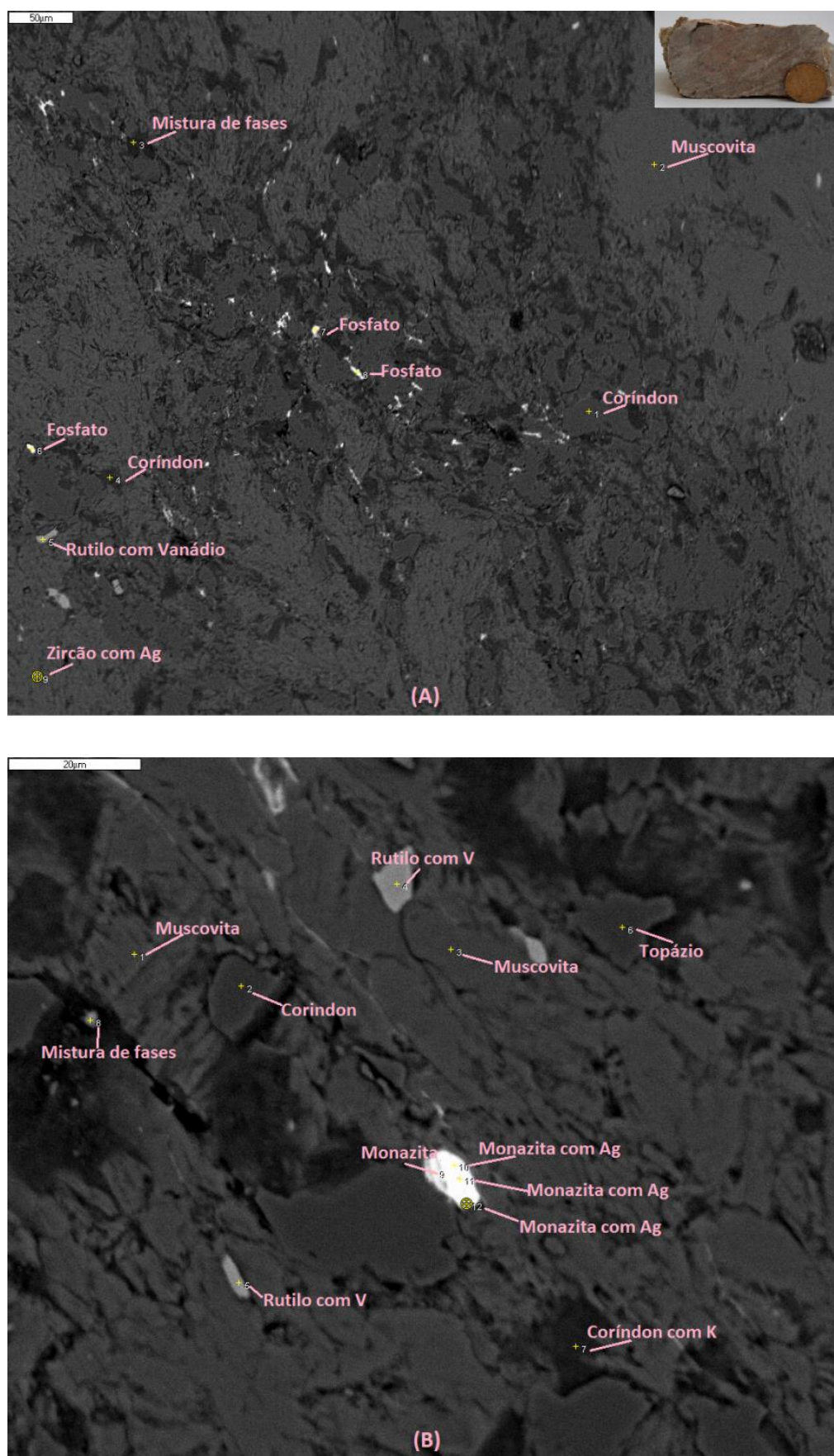


FIGURA 18 – Imagens de MEV da amostra AMA 94A , (A) (Parte 1) e (B) (Parte 2). Na parte superior direita da figura observa-se a amostra macroscópica analisada; moeda colocada como escala.

TABELA 8 – AMOSTRA AMA 94A (PARTE 1), REFERENTE ÀS ANÁLISES DE MEV.

Data e Local da Análise: 02/07/2013 - Laboratório de Microscopia da Unicamp												
Análise dos Pontos												
Amostra	Ponto 1				Ponto 2				Ponto 3			
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)
	O	K - ED	49.03	61.87	O	K - ED	50.36	64.70	O	K - ED	35.10	47.96
	Al	K - ED	50.97	38.13	Na	K - ED	0.62	0.55	Al	K - ED	62.36	50.53
	Total			100	Al	K - ED	19.85	15.12	S	K - ED	0.63	0.43
	Interpretação: Corindon			100	Si	K - ED	20.88	15.28	Cl	L - ED	0.29	0.18
					K	K - ED	8.14	4.28	K	K - ED	1.62	0.90
					Ti	K - ED	0.16	0.07	Total		100	100
					Total			100	Interpretação: Mistura de fases minerais			
	Ponto 4				Ponto 5				Ponto 6			
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)
	O	K - ED	45.64	59.02	O	K - ED	46.63	72.26	O	K - ED	40.63	70.41
	Al	K - ED	51.25	39.30	Al	K - ED	0.26	0.24	Al	K - ED	8.42	8.65
	S	K - ED	0.29	0.19	K	K - ED	0.18	0.11	Si	K - ED	1.41	1.39
	K	K - ED	2.83	1.50	Ti	K - ED	52.42	27.24	P	K - ED	13.69	12.26
Total			100	V	K - ED	0.51	0.25	Ca	K - ED	0.43	0.30	
Interpretação: Corindon			100	Total		100	Tc	L - ED	0.74	0.21		
				La	L - ED	17.38	3.47					
				Nd	L - ED	17.30	3.33					
				Total			100	Interpretação: Fosfato de La e Nd				
Ponto 7				Ponto 8				Ponto 9				
Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	
O	K - ED	37.02	67.52	O	K - ED	31.76	60.27	O	K - ED	41.16	72.66	
Al	K - ED	9.38	10.14	Al	K - ED	18.32	20.61	Si	K - ED	12.85	12.92	
P	K - ED	14.88	14.02	P	K - ED	10.71	10.49	K	K - ED	0.29	0.21	
Ca	K - ED	0.61	0.44	Ca	K - ED	0.40	0.30	Ca	K - ED	0.25	0.17	
Tc	L - ED	1.11	0.33	La	L - ED	18.99	4.15	Zr	L - ED	44.66	13.83	
La	L - ED	17.94	3.77	Nd	L - ED	19.81	4.17	Ag	L - ED	0.79	0.21	
Nd	L - ED	17.99	3.64	Total			100	Total		100	100	
Th	M - ED	1.07	0.13	Interpretação: Fosfato de La e Nd			100	Interpretação: Zircão com Ag				
Total			100									
Interpretação: Fosfato de La e Nd com Th												

TABELA 9 – AMOSTRA AMA 94A (PARTE 2), REFERENTE ÀS ANÁLISES DE MEV.

Data e Local da Análise: 02/07/2013 - Laboratório de Microscopia da Unicamp											
Análise dos Pontos											
Amostra	Ponto 1			Ponto 2			Ponto 3				
	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)	Atômico(%)	Elemento	Spectro-Tipo	Elemento(%)
Amostra AMA 94A (Parte 2)	O	K-ED	50,70	63,01	O	K-ED	54,16	66,38	O	K-ED	20,97
	Na	K-ED	0,47	0,42	Al	K-ED	43,84	33,42	Na	K-ED	0,60
	Al	K-ED	19,90	13,13	Total		100	100	Al	K-ED	19,68
	Si	K-ED	20,72	13,14					Si	K-ED	20,60
	K	K-ED	8,11	4,23					K	K-ED	8,13
	Ti	K-ED	0,11	0,02							
	Total		100	100					Total		100
				Interpretação: Coríndon							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
Amostra AMA 94A (Parte 2)				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
Amostra AMA 94A (Parte 2)				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
Amostra AMA 94A (Parte 2)				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
Amostra AMA 94A (Parte 2)				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
Amostra AMA 94A (Parte 2)				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
Amostra AMA 94A (Parte 2)				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
Amostra AMA 94A (Parte 2)				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
Amostra AMA 94A (Parte 2)				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							
				Interpretação: Muscovita							

TABELA 10 – PRINCIPAIS MINERAIS OBTIDOS POR MEV, CORRELACIONANDO-OS À SUA FÓRMULA QUÍMICA, CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA E SISTEMA CRISTALOGRÁFICO.

Mineral	Fórmula Química	Classificação Química	Sistema Cristalográfico
Margarita	$\text{CaAl}_2(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	Filossilicato	Monoclínico
Muscovita	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	Filossilicato	Monoclínico
Topázio	$\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{OH},\text{F})_2$	Nesosilicato	Ortorrômbico
Coríndon	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	Óxido	Trigonal
Cummingtonita	$(\text{Mg},\text{Fe})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Cicloanfibólio	Monoclínico
Monazita	$(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th})\text{PO}_4$	Fosfato	Monoclínico
Paragonita	$\text{Na}_2\text{Al}_4(\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20})(\text{OH})_4$	Filossilicato	Monoclínico
Rutilo	TiO_2	Óxido	Tetragonal
Zircão	ZrSiO_4	Nesosilicato	Tetragonal

4.3 MICROSCOPIA PETROGRÁFICA

Foram reconhecidos muscovita (AMA 46L), margarita (GMA 14b), minerais opacos (AMA 46L), coríndon (CB1b) e topázio (CB1a) em amostras de rochas ricas em alumina e rocha associada, podendo observar as micrografias dos mesmos nas figuras 19 à 22.

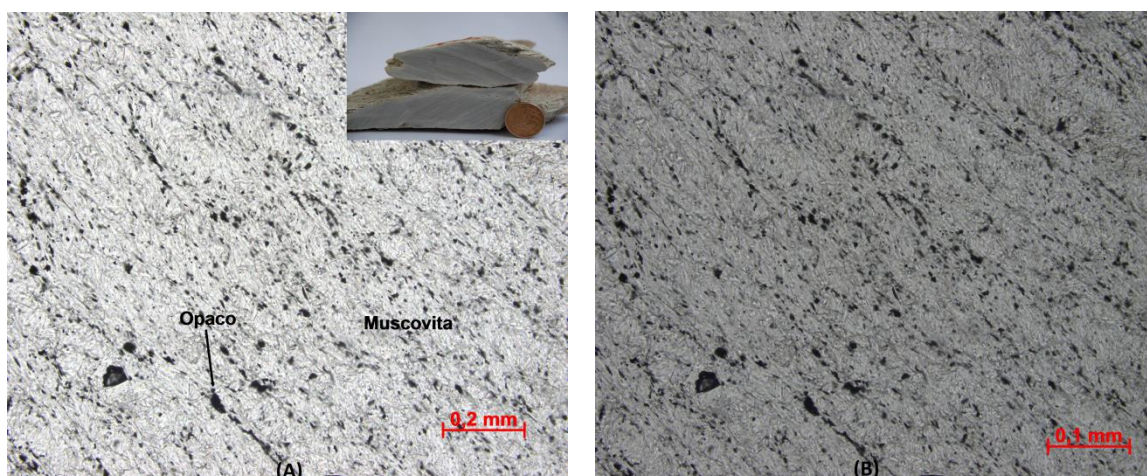


FIGURA 19 – Micrografia da amostra AMA 46L representando os minerais muscovita e opaco, com sua foto macro acoplada. (A) Sem nicol cruzado e (B) com nicol cruzado. Moeda colocada como escala.

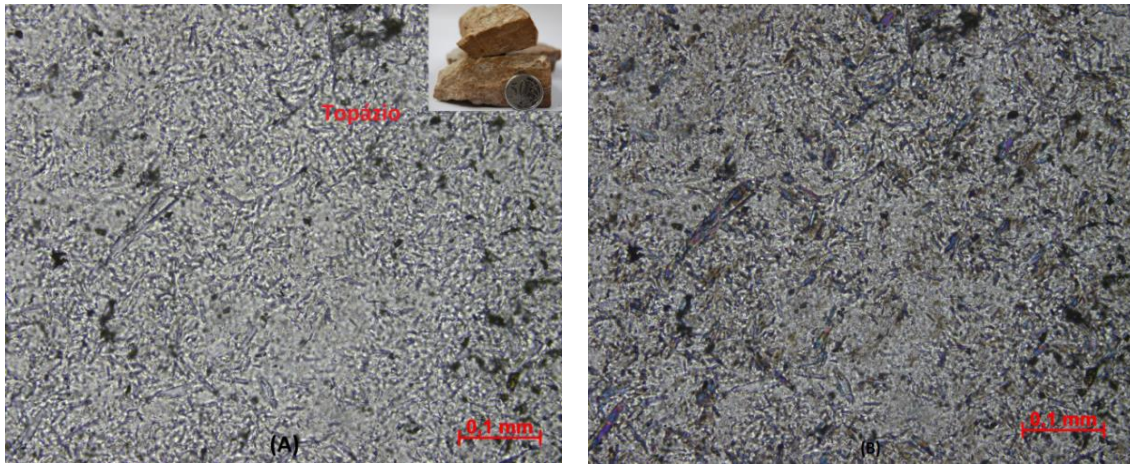


FIGURA 20 – Micrografia da amostra CB1a, representando o mineral topázio, com sua foto macro. (A) Sem nicol cruzado e (B) com nicol cruzado. Moeda colocada como escala.

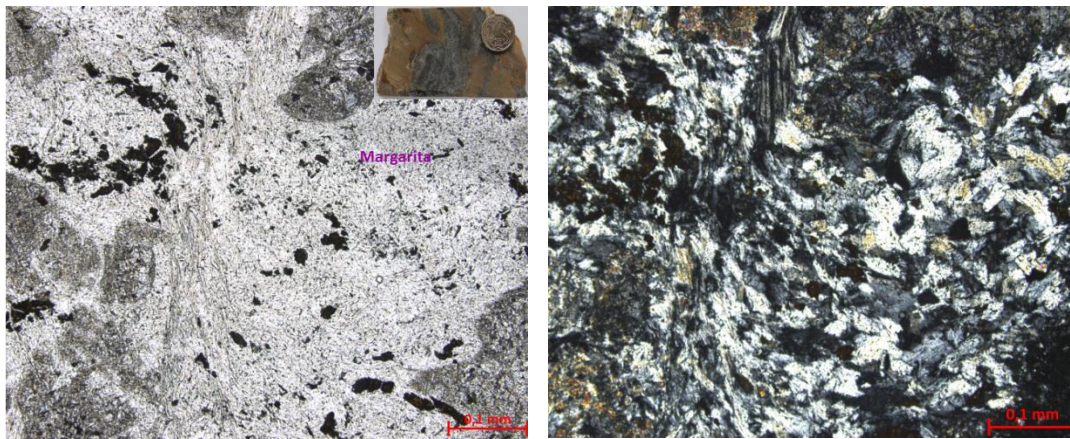


FIGURA 21 – Micrografia da amostra GMA 14b, representando o mineral margarita, com sua foto macro acoplada. (A) Sem nicol cruzado e (B) com nicol cruzado. Moeda colocada como escala.

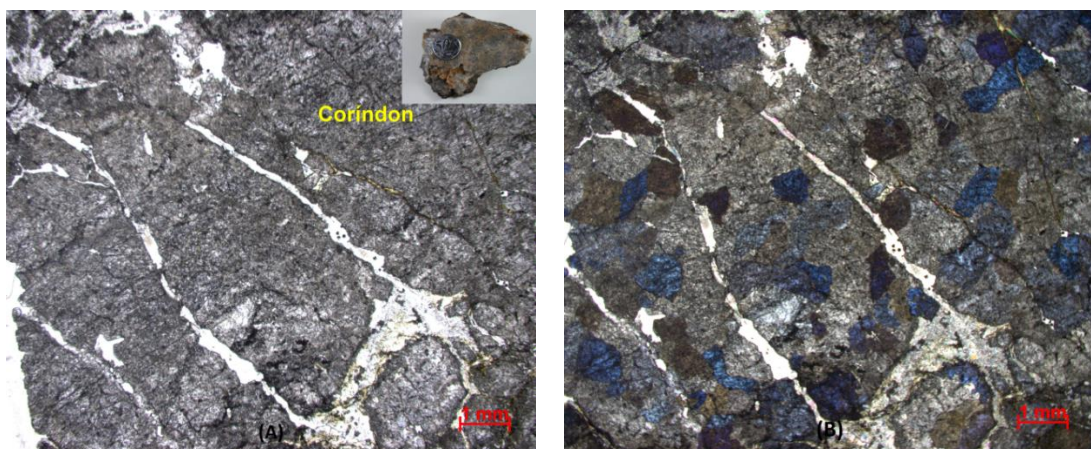


FIGURA 22 – Micrografia da amostra CB1b representando o mineral coríndon, com sua foto macro acoplada. (A) Sem nicol cruzado e (B) com nicol cruzado. Moeda colocada como escala.

4.4 ESTRUTURA CRISTALINA DOS MINERAIS OBTIDOS POR DRX

4.4.1 MICAS

4.4.1.1 MARGARITA

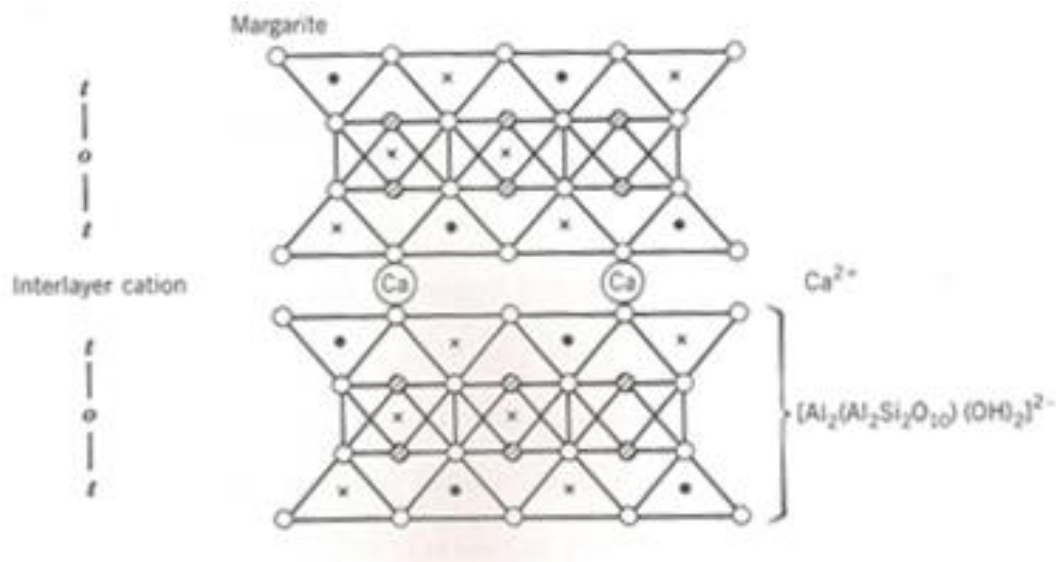


FIGURA 23 – Estrutura cristalina da margarita, com íons de cálcio unindo as folhas de tetraedros de silício e octaedros de alumínio (Klein & Dutrow 2007).

4.4.1.2 MUSCOVITA

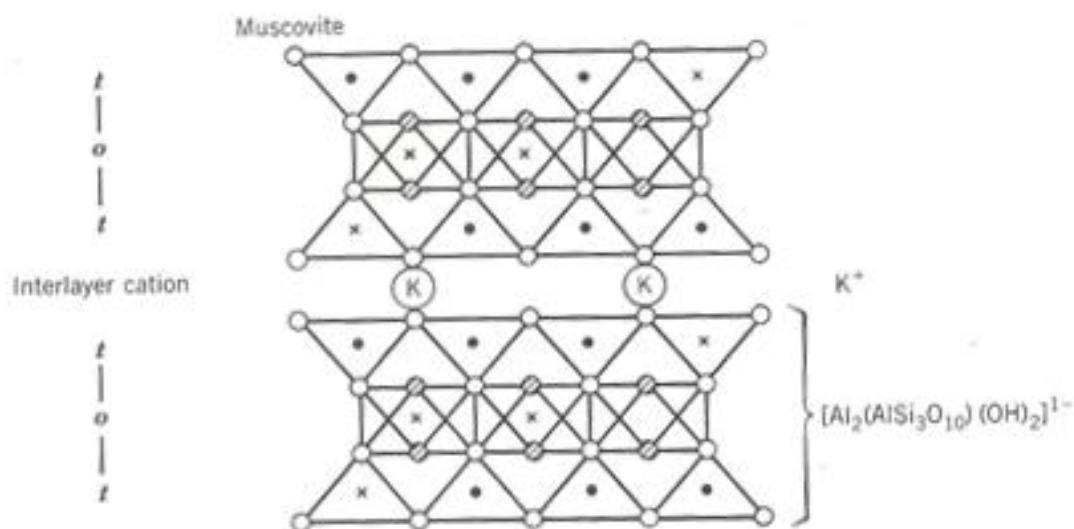


FIGURA 24 – Estrutura cristalina da muscovita, com íons de potássio unindo as folhas de tetraedros silício e octaedros de alumínio (Klein & Dutrow 2007).

4.4.2 TOPÁZIO

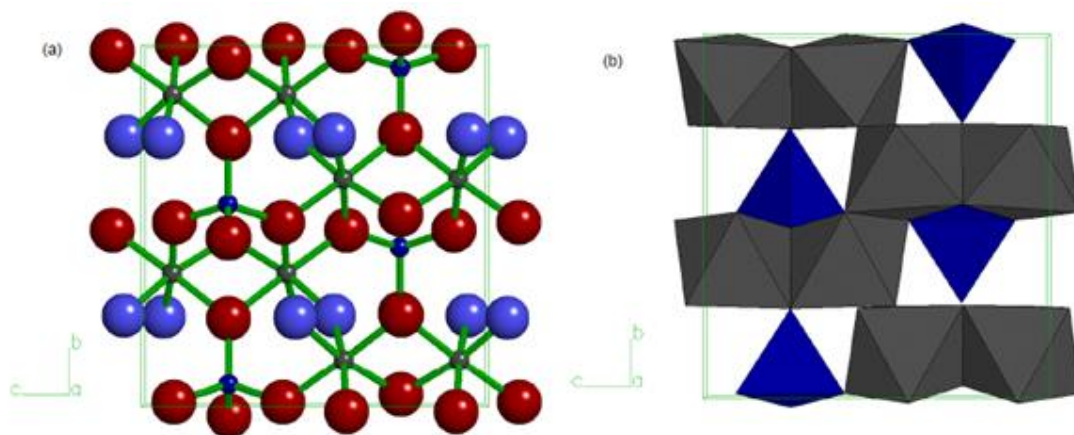


FIGURA 25 – Estrutura cristalina do Topázio ($\text{Al}_2\text{SiO}_4\text{F}_2$) representado por (a) átomos e (b) poliedros. Na Figura (a) os ânions são representados em vermelho (oxigênio) e azul claro (flúor) e os cátions são representados em cinza (alumínio) e azul escuro (silício). Na Figura (b) os octaedros AlO_4F_2 estão em cinza e os tetraedros SiO_4 em azul. A orientação dos eixos cristalográficos é indicada nas figuras (Yukihara 2001).

4.4.3 CORÍNDON

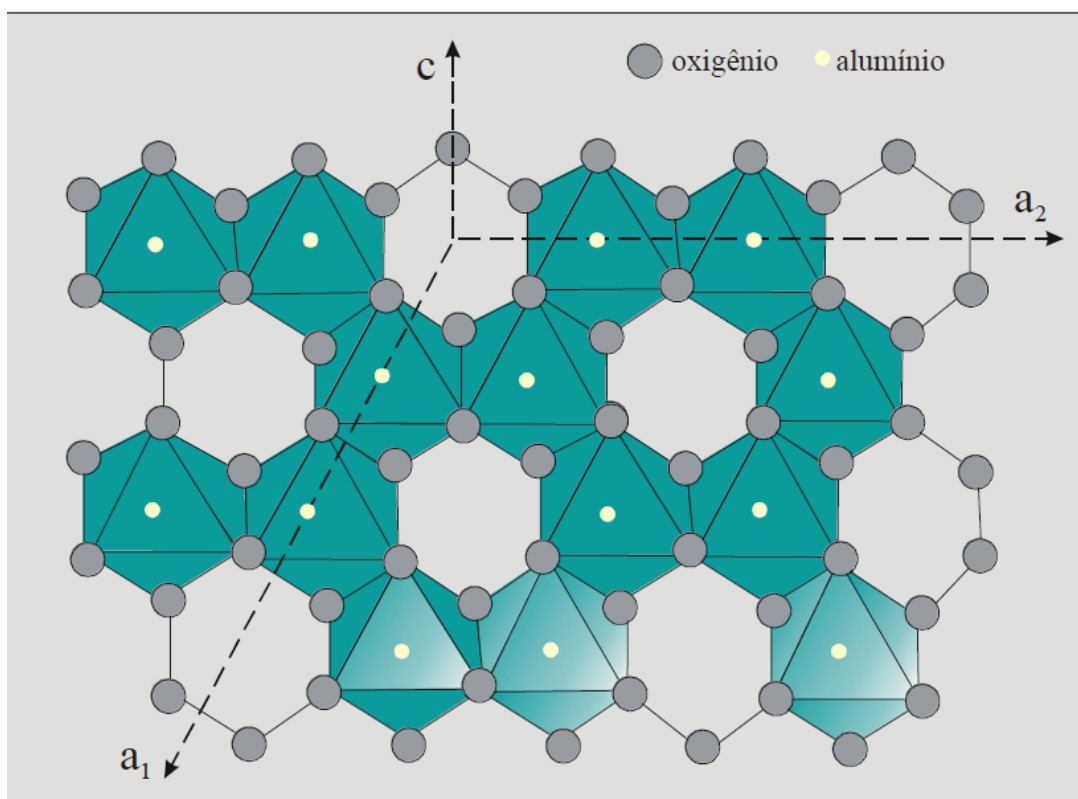


FIGURA 26 – Estrutura cristalina do coríndon mostrando a distribuição do oxigênio e do alumínio conformando octaedros preenchidos ou não pelo alumínio, associados aos diferentes eixos cristalográficos (Liccardo 2013).

5. CONCLUSÕES

Por DRX foram caracterizadas a presença de topázio, coríndon e micas nas amostras, porém não se conseguiu diferenciar o tipo de mica (margarita ou muscovita) presente. A margarita faz parte do grupo das micas (como muscovita, biotita, etc). Todos estes minerais possuem um pico bem orientado na faixa que corresponde à 9,5 a 10 Å (Angstroms). Não há como determinar qual é o mineral específico deste grupo sem outras técnicas. Está diferenciação se deu através da microscopia petrográfica devido a diferenças nas propriedades ópticas destes minerais.

Nas amostras AMA 46p1b e AMA 94A, que correspondem a rochas ricas em alumina, analisadas via MEV, foram caracterizados a presença de rutilo, fosfato, coríndon, muscovita, cummingtonita, zircão e monazita. A presença de rutilo e de coríndon nestas amostras se deve ao enriquecimento residual das mesmas em titânio e alumínio. Na amostra AMA 94A, constatou-se a presença de zircão com prata o que é condizente com sistemas mineralizantes em ouro e, subordinada prata.

Já, a amostra AMA 46L, que também foi caracterizada via MEV, constatou-se a presença de zircão, coríndon, rutilo, muscovita, telureto, fosfato e paragonita. Traços de coríndon sinalizam que estas rochas foram gerados por substituição de material rico em alumina. Esta lâmina, por análises petrográficas corresponde a um muscovita xisto.

Pelo microscópio petrográfico foi possível caracterizar coríndon, topázio e margarita nas rochas ricas em alumina e muscovita em litotipos associados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida FFM, Amaral G, Cordani UG, Kawashita K (1973) The Precambrian evolution of the South American cratonic margin south of Amazon River. In: Nairn AEM, Stehli FG (ed) The ocean basin and margins. New York, Plenum, 1, pp 411–446.
- Almeida FFM, Hasui Y, Ponçano WL, Dantas ASL, Carneiro CDR, Melo MSde, Bistrichi CA (1981) Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000 – Nota Explicativa, v.1. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo.
- Bueno CRP (2000) – Apostila de Geologia e Mineralogia. Jaboticabal, FCAV/UNESP.
- Callister WD Jr, Rethwisch DG (2012) Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução, 8ªEd. São Paulo, GEN/GRUPO EDITORIAL NACIONAL/LTC.
- Dana JD (1981). Manual de Mineralogia. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 2 vols.

- Deer WA, Howie RA, Zussman J (1966) Minerais constituintes das rochas – uma introdução. London, Longmans, Green and Co. Ltd.
- Deer WA, Howie RA, Zussman J (1975) Rock-forming minerals. Volumes 1 a 5. Longman.
- Formoso MLL (1984) Difractometria de raios X. In: Gomes, CB (coord) (1984) Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia. São Paulo, Edgard Blücher/PROMINÉRIO.
- Goldstein JI, Roming Jr AD, Newbury DE, Lyman CE, Echlin P, Fiori C, Joy DC, Lifshin E (1992) Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis. New York, Plenum Press.
- Hackspacher PC, Dantas EL, Spoladore A, Fetter AH, Oliveira MAF (2000) Evidence for neoproterozoic Backarc Basin development in the central Ribeira Belt, southeastern Brazil: New geochronological and geochemical constraints from the São Roque-Açungui groups. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1): 110-114.
- Hackspacher PC, Juliani C, Fetter A, Dantas EL (2001) Evolution of the Central Ribeira Belt, Brazil: implications for the assembly of west Gondwana. *Gondwana Research*, 4(4): 626-627.
- Juliani C (1993) Geologia, petrogênese e aspectos metalogênicos dos grupos Serra do Itaberaba e São Roque na região das serras do Itaberaba e da Pedra Branca, NE da cidade de São Paulo, SP. Teses de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Liccardo A (2013) Mineralogia de óxidos e sua aplicação na gemologia. Disponível em: <http://www.geoturismobrasil.com/Material%20didatico/04%20-%20%C3%B3xidos%20e%20gemologia.pdf>. Acessado em 03/12/2013.
- Juliani C & Beljavskis P (1995) Revisão da litoestratigrafia da faixa São Roque/Serra do Itaberaba (SP). *Revista do Instituto Geológico*, 16: 33–58.
- Juliani C, Beljavskis P, Juliani LJCO (1995) As mineralizações de ouro de Guarulhos e os métodos de sua lavra no período colonial. *Geologia Ciência – Técnica*, 13: 8-25
- Juliani C, Hackspacher PC, Dantas EL, Fetter AH (2000) The mesoproterozoic volcano-sedimentary Serra do Itaberaba Group of the Central Ribeira Belt, São Paulo, Brazil: implications for the age of overlying São Roque Group. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1): 82–86.
- Juliani C, Pérez-Aguilar A, Martin MAB (1997) Geotermobarometria e evolução metamórfica P-T-d do Grupo Serra do Itaberaba (SP). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 69: 441–442.
- Juliani C, Schorscher HD, Pérez-Aguilar A (1994) Corundum–margarite schists (“marundites”) in the Precambrian Serra do Itaberaba Group, São Paulo, Brazil:

- geological relationships and petrogenesis. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 66: 498.
- Juliani C, Beljavskis P, Juliani LJCO (1995) As mineralizações de ouro de Guarulhos e os métodos de sua lavra no período colonial. *Geologia Ciência – Técnica*, 13: 8-25
- Júnior JM (2006) Apostila de Geologia e Mineralogia. Jaboticabal, UNESP.
- Kahn H (2003). Curso de difratometria de raios X - método do pó. (Curso de curta duração ministrado/Extensão).
- Klein C & Dutrow, B (2007) The 23rd edition of the manual of mineral science (after James D. Dana). John Wiley & Sons, Inc.
- Maliska AM (2011) – Apostila de Microscopia Eletrônica de Varredura. Universidade Federal de Santa Catarina
- Nardy AJR, Machado FB (2013). Mineralogia Óptica. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/petrologia/nardy/opticat2.pdf>. Acessado em 05/12/2013
- Pérez-Aguilar A (1996) Geologia, petrografia e gênese dos granada-cordierita-cummingtonita/antofilita anfibolitos e rochas associadas do Grupo Serra do Itaberaba, SP. Dissertação Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Pérez-Aguilar A (2001) Petrologia e litoquímica de rochas de paleossistemas hidrotermais oceânicos mesoproterozóicos da sequência metavulcanossedimentar do Grupo Serra do Itaberaba, SP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Pérez-Aguilar A & Juliani C (2005) Mass balance from chloritic alteration zones associated to Mesoproterozoic Kuroko-type paleo-hydrothermal systems from the Serra do Itaberaba Group, São Paulo, Brazil. In: Congresso Brasileiro de Geoquímica, X e Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul, 2, Porto de Galinhas, Anais.
- Pérez-Aguilar A, Juliani C, Martin MAB (2000) Mesoproterozoic paleo-hydrothermal system in the Morro da Pedra Preta Formation, Serra do Itaberaba Group, São Paulo State, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30: 413–416.
- Pérez-Aguilar A, Juliani C, Monteiro LVS (2007) Petrografia de zonas de alteração hidrotermal mesoproterozóicas do tipo Kuroko no Grup Serra do Itaberaba (SP) e seu uso na exploração mineral. *Revista do Instituto Geológico*, 27-28(1/2): 31-52.
- Pérez-Aguilar A, Juliani C, Monteiro LVS, Bettencourt JS, Fallick AE, Barros EJ, Andrade MR, Oliveira AM (2011) Mineralização high-sulfidation submarina mesoproterozóica no Grupo Serra do Itaberaba, SP: implicações metalogenéticas em cinturões metamórficos. In: Franz JC, Marques JC, Jost H (eds) *Contribuições à metalogenia do Brasil*. UFRGS, Porto Alegre

- Pérez-Aguilar A, Juliani C, Monteiro LVS, Fallick AE, Bettencourt JS (2005) Stable isotopic constrains on Kuroko-type paleo-hydrothermal systems in the Mesoproterozoic Serra do Itaberaba Group, São Paulo State, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 18: 305–321
- Potts PJ (1987) *A handbook of silicate rock analysis*. London, Blackie Academic & Professional.
- Shikazono N (2003) *Geochemical and tectonic evolution of back-arc hydrothermal systems – implication for the origin of Kuroko and epithermal vein-type mineralizations and the global geochemical cycle*. New York, Elsevier.
- Shimizu VK (2012) *Classificação e Caracterização de Tipos de Minérios de Cobre da Mina do Sossego – Região de Carajá*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- Yardley BWD, MacKenzie WS, Guilford C (1990) *Atlas of metamorphic rocks and their textures*. London, Longman Scientific & Technical
- Yukihara EG (2001) *Desvendando a cor e a termoluminescência do Topázio: um estudo dos defeitos e processos termicamente e opticamente estimulados no cristal natural*. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo.