

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

Nina Torres Tiago

**Caracterização mineralógica e petrológica das ocorrências de ankaramito  
nas Bacias de Itaboraí Volta Redonda - RJ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Rio de Janeiro  
2017

**Caracterização mineralógica e petrológica das ocorrências de ankaramito nas Bacias de Itaboraí e Volta Redonda - RJ**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Geologia, IGEO, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Geólogo

Orientador: Kátia Leite Mansur

Rio de Janeiro  
2017

### CIP - Catalogação na Publicação

Tc           Tiago, Nina Torres  
              Caracterização mineralógica e petrológica das  
              ocorrências de ankaramito nas Bacias de Itaboraí  
              Volta Redonda - RJ / Nina Torres Tiago. -- Rio de  
              Janeiro, 2017.  
              76 f.

              Orientadora: Kátia Leite Mansur.  
              Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
              Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto  
              de Geociências, Bacharel em Geologia, 2017.

              1. Ankaramito. 2. Petrologia ígnea. 3. rochas  
              alcalinas. I. Leite Mansur, Kátia, orient. II.  
              Titulo.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

# **Caracterização mineralógica e petrológica das ocorrências de ankaramito nas Bacias de Itaboraí Volta Redonda - RJ**

Trabalho de conclusão de curso, submetido ao programa de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção de grau de Geólogo

Área de concentração:  
Petrologia Ígnea e Mineralogia  
Orientador:  
Kátia Leite Mansur – UFRJ

Aprovado em: 08 / 12 / 2017

Por:

---

Kátia Leite Mansur / Orientadora

---

Júlio César Mendes / Banca 1

---

Sílvia Regina de Medeiros/ Banca 2

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2017

Tudo é vário. Temporário.  
Efêmero. Nunca somos,  
sempre estamos!

Chico Buarque

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família, a minha mãe Vânia e meu pai Henrique, e meus tios Márcio e Valéria e avós Margarida e Francisco( *in memorian*) pelo apoio sempre presente, pela dedicação, carinho e educação que me proporcionaram a base de tudo que eu realizei.

A orientadora Kátia Leite Mansur, pela atenção dada, o conhecimento compartilhado, e a orientação fornecida para a realização deste trabalho.

A FAPERJ pela bolsa de iniciação científica que permitiu a elaboração deste trabalho.

Ao CETEM e Labsonda - UFRJ, pela infraestrutura, pelo apoio, equipamentos cedidos e análises realizadas, sem os quais a dissertação não teria se viabilizado.

Aos professores Renato Ramos e Elizabeth Zucolotto e aos técnicos de Laboratório Amanda A. Tosi, Roberto Gomes de Lima e Tarcísio Raymundo de Abreu, pelo empréstimo de material, preparação das lâminas e auxílio em ensaios, e no processo de obtenção de resultados.

À professora Renata Schmitt e ao laboratório Gondwana pelas análises cedidas.

As amigas de toda uma vida: Lia Maia, Tatiana Moraes, Inah Gonçalves, Alice Tavares, Ana Carolina Cabral, Michelle Bellas e Gabriela Autran, que estiveram sempre presentes, dividindo momentos bons e ruins e sendo grandes responsáveis pelo meu amadurecimento.

Aos amigos Daniela Bassi, Letícia Moura, Gabriel Cellier, Marina Meloni, Guilherme Duarte, Fernando Duarte, João Gomes, Ingrid Silveira, Verônica Dutra, Rodrigo Fernandes, Daniel West e Fernando Duarte, pela amizade e cumplicidade surgida na geologia e que será levada para a vida toda.

Aos amigos também que me ajudaram diretamente na realização do trabalho Rafael Fragoso, Victor Menezes e Felipe Alves, pelo apoio, ajuda e ainda nos debates à respeito do tema.

Aos professores do Departamento de Geologia da UFRJ e colegas de classe da turma de 2012 pelos ensinamentos diretos e indiretos na geologia e pela presença gratificante durante o curso

A todos os envolvidos direta ou indiretamente na confecção deste trabalho, e que de alguma forma forneceram conhecimento ou qualquer tipo de colaboração.

Obrigada a todos!

## Resumo

Tiago, Nina Torres. **Caracterização mineralógica e geoquímica do ankaramito presente na Bacia de Itaboraí - RJ e sua relação com algumas características do ankaramito da Bacia de Volta Redonda - RJ.** 2017. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A Bacia de Itaboraí, localizada no município de Itaboraí, é a menor Bacia do Rifte Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) com sua abertura no Paleoceno. É caracterizada como uma faixa elíptica deprimida de direção ENE, com dimensões de 1400 m de comprimento por 500 m de largura, preenchida por uma sequência de calcários clásticos e químicos. A Bacia de Volta Redonda está inserida no médio vale do rio Paraíba do Sul, e também está relacionada ao contexto de abertura inicial do RCSB. Sua sedimentação é característica de ambientes continentais, com registros de sedimentação rudácea associada a leques aluviais proximais. O presente trabalho tem como foco principal a análise, caracterização e comparação entre as rochas relativas aos dois únicos derrames ankaramíticos na porção continental no Brasil, encontrados na Bacia de Itaboraí e na Bacia de Volta Redonda, datados de  $52.6 \pm 2$  Ma e  $49.5 \pm 0,4$  Ma, respectivamente. Para comparação entre as rochas utilizaram-se os métodos Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), equipado com um espectrômetro de energia dispersada (EDS) para uma análise dos minerais primários e secundários em seção delgada; descrição petrográfica em lâminas delgadas através de microscópio de luz refletida e transmitida, além de análise mineralógica semiquantitativa de minerais pesados em lupa binocular. Para Itaboraí, também foi realizada Difração de Raios X (DRX) e; Microsonda Eletrônica para a caracterização mineralógica. Na análise petrográfica os ankaramito de Itaboraí e Volta Redonda foram descritos como sendo ultramáfico alcalino com textura inequigranular porfirítica e granulação fina a média. É composto por fenocristais de titanoaugita e olivina e matriz microcristalina formada por pequenos cristais de titanoaugita, plagioclásio, analcita, apatita e opacos. Apesar do ankaramito de Itaboraí possuir textura mais grossa, observou-se que os fenocristais de Volta Redonda são levemente mais grossos, com tamanho entre 2 e 6 mm. Também foram observadas amígdalas preenchidas, ora por zeólitas, calcedônia ou carbonato em Volta Redonda, ora por carbonatos em Itaboraí. As análises de mineralogia em grão mostraram uma maior quantidade de cromita e iddingsita e ausência de pirita no ankaramito de Volta Redonda, enquanto que em Itaboraí notou-se uma

maior proporção de fragmentos de rochas e siderita em maiores quantidades, e a presença de pirita. A caracterização mineralógica por DRX confirmou a presença de cromita no ankaramito. Enquanto que o MEV-EDS auxiliou na caracterização mineralógica das titanogaugita, olivina, cromita, ilmenita e carbonato. Por fim, os resultados da composição química das cromitas de Itaboraí feita em Microsonda Eletrônica e plotados, no gráfico de Thayer, permitiu a sua classificação como sendo do tipo cromita estratiforme, com base em sua razão de  $Fe^{2+}/Mg$ . Este resultado remete à formação do derrame a um ambiente intraplaca do tipo rifte continental. A comparação entre os derrames ankaramíticos mostrou similaridades nos aspectos químicos. A presença de cromita em ambas as áreas também auxiliou na interpretação sobre serem parte do mesmo evento, em pulsos vulcânicos separados.

**Palavras-chave:** Ankaramito; Petrologia Ígnea; Rochas Alcalinas

## Abstract

Tiago, Nina Torres **Mineralogical and geochemical characterization of the ankaramite of Itaboraí Basin - RJ and its relation with some characteristics of the ankaramite of Volta Redonda Basin – RJ.** 2017. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

Itaboraí Basin located in county of Itaboraí/RJ, is the smallest basin of the Continental Rift of southeastern Brazil (RCSB) with its opening related to the Paleocene. It constitutes a small tectonic depression about 1.5 km long and 0.5 km wide, oriented in the NE-SW direction, filled by a sequence of clastic and chemical limestones. Volta Redonda Basin is located in the middle valley of the Rio Paraíba do Sul, and also related to the initial opening phase of the RCSB. Its sedimentation characterizes continental environments, with records of rudaceous sedimentary rocks associated with alluvial proximal fans system. The purpose of this study is the analysis, comparison and characterization of rocks related to the two ankaramite lava flows of Brazil's continental portion found in the Itaboraí Basin and Volta Redonda Basin, dated as:  $52.6 \pm 2$  Ma (Riccomini & Rodrigues Francisco, 1992) and  $49.5 \pm 0.4$  Ma (Ramos et al., 2008). For the comparison were used X-ray Diffraction (XRD) analysis for mineralogical determination, Electron Probe Micro-Analysis (EPMA) allowing the analyses of major elements to be determined in terms of weight percent, SEM analysis uses back scattered electron imaging and Energy-dispersive X-ray spectroscopy(EDX) for analysis of primary and secondary minerals in thin section and semiquantitative analysis of the chemical elements present in a point section of the sample. A petrographic description of the minerals was also made, using reflected and transmitted light microscope and binocular microscope. The results of petrographic analysis of the ankaramite of Itaboraí and Volta Redonda, classified both rocks as ultramafic and alkaline with porphyritic texture and fine to medium granulation. The main phenocrystals are titanite and olivine, inside a microcrystalline matrix formed by small crystals of titanite, plagioclase, analcrite, apatite and opaque. Although Itaboraí's ankaramite has a thicker texture, it was observed that the phenocrysts of Volta Redonda are slightly thicker, with a size between 2 and 6 mm. Vesicles filled with zeolites, chalcedony, or carbonate were also observed in Volta Redonda, and sometimes carbonates in Itaboraí. The Binocular microscope analyzes showed a higher amount of

chromite and iddingsite and absence of pyrite in the ankaramite of Volta Redonda, while in Itaboraí a greater proportion of fragments of rocks, siderite, and the presence of pyrite as well. The mineralogical characterization by XRD confirmed the presence of chromite in the ankaramite. Whereas the MEV-EDS analyses assisted in the mineralogical and chemical characterization of the ankaramite being described titanomagite, olivine, chromite, ilmenite and carbonate. Ultimately the results of the chemical composition of the Itaboraí chromites made by Electron Probe Micro-Analysis (EPMA) classified Itaboraí chromites as being stratiform deposits based on their  $Fe^{2+} / Mg$ . This geological context confirms that the environment of the lava flows are formed are compatible of continental rift type. The chemical and petrological characterization between ankaramite lava flows shows similarities. Also the chemical aspects and the presence of chromite in both areas, leads to the interpretation of being part of the same event, in separate volcanic pulses.

**Key-Words:** Ankaramite; Igneous Petrology; Alkaline rocks.

## Lista de Figuras

Figura 1	Localização da Bacia de São José de Itaboraí. Em azul temos a rota traçada a partir do prédio CCMN na Cidade Universitária/UFRJ. Imagem de satélite retirada do Google Earth em 11/04/2017. ....22
Figura 2:	Localização do afloamento de ankaramito na da Bacia de Volta Redonda. Em azul temos a rota traçada a partir do prédio CCMN na Cidade Universitária/UFRJ. Imagem de satélite do Google Earth (19/08/2017). .....22
Figura 3	Contexto geológico regional do <i>Rift</i> Continental do Sudeste do Brasil. Fonte: Riccomini <i>et al</i> , (2004). ....23
Figura 4	Mapa litológico e estrutural da Bacia de Itaboraí, indicando a Falha de São José com direção SW-NE e uma falha transversal no sentido NW-SE. Modificada de Bergqvist <i>et al</i> . (2005). ....25
Figura 5	Coluna Estratigráfica da Bacia de Itaboraí. Modificada de Bergqvist <i>et al</i> . (2005). ....27
Figura 6	Localização da Bacia de Itaboraí no contexto do Rife Continental do Sudeste Brasileiro, modificado de Mohriak et al., 1995. ....28
Figura 7	Mapa geológico da Bacia de Volta Redonda (Sanson, 2006).(1) sedimentos alúvio-coluviais quaternários;(2)outras ocorrências de sedimentos paleogênicos (Melo et alii, 1983); (3) Formação Pinheiral; (4) basanita Casa de Pedra; (5) Formação Resende; (6) Formação Ribeirão dos Quatis; (7) embasamento; (8) lineamentos importantes; (9) falhas observadas em campo. ....29
Figura 8	Coluna litoestratigráfica e fases tectônicas da bacia de Volta Redonda (Sanson <i>et al</i> . 2006). ....31
Figura 9	(A) Ankaramito da Bacia de Itaboraí apresentando erosão esferoidal. 9:(B)Afloramento do ankaramito de Volta Redonda. ....32
Figura 10	Microscópio petrográfico utilizado para descrição das lâminas delgadas do de ankaramito. ....32

Figura 11	Imagem representativa do Microscópio Eletônico de Varredura (MEV) utilizado no laboratório de Cetem. ....	33
Figura 12	Separador eletromagnético Frantz. ....	34
Figura 13	Lupa Binocular Bel Photonics.....	35
Figura 14	Equipamento de difração de raios X localizado no Labsonda, UFRJ. ....	35
Figura 15	Microsonda Eletrônica utilizados na análise das cromitas de Itaboraí. ....	37
Figura 16	Grão de iddngsita na fração 0,5A de Itaboraí. ....	38
Figura 17	Grão de analcita na fração >1A Itaboraí. ....	38
Figura 18	(A) Grãos de cromita visto em Lupa Binocular. (B) Grãos de cromita com hábito octaédrico bem característico da fração 0,3A- Bacia de Itoboraí. ....	39
Figura 19	Grão de pirita na fração 1A – Itaboraí. ....	39
Figura 20	Grão de zircão na fração 0,7A - Itaboraí. ....	40
Figura 21	Grão de siderita na fração 0,5A- Itaboraí. ....	40
Figura 22	Grão de monazita na fração 0,7A – Itaboraí. ....	41
Figura 23	Grão de piroxênio preto (titanoaugita) na fração 0,7A- Itaboraí. ....	41
Figura 24	Grão de piroxênio verde(aegerina-augita) na fração 0,7A – Itaboraí. ....	42
Figura 25	A) Textura porfirítica à nicóis descruzados - lâmina ITA 52 B) Lâmina ITA 52 sob nicóis cruzados. ....	43

Figura 26	A) Cristal de piroxênio mostrando zonacção composicional à nicóis descruzados B) Cristal de piroxênio mostrando zonação à nicóis cruzados. ...43
Figura 27	A) Cristais de iddingsita à nicóis cruzados B) Cristal de iddingsita observado no MEV. ....44
Figura 28	A) Analcita à nicóis descruzados B) Analcita mostrando isotropia à nicóis cruzados. ....45
Figura 29	Espectro de EDS mostrando a presença do elemento Ca, indicativo do carbonato na rocha, observado em seção delgada. Análise de EDS realizada na pseudomatriz, da região circular amarelo. ....47
Figura 30	A) cristal de piroxênio com zonação composicional: núcleo esverdeado (aegerina-augita) e borda mais clara (titanoaugita). B) Análise de EDS realizada no cristal de piroxênio, da região circular amarelo. C) Espectro de EDS mostrando composição do piroxênio. ....48
Figura 31	A) Foto MEV dos grãos analisados com foco na cromita (setas vermelhas). B) Análise de EDS realizada no cristal de cromita, da região circular amarelo.C) Espectro de EDS mostrando a presença do elemento Cr, indicativo do mineral cromita no ankaramito. ....49
Figura 32	A) cristal central subeuédrico de magnetita cinza claro em luz refletida. B) cristal de cromita euédrico subarredondado de cor cinza C) imagem MEV de cristal de cromita no centro e nas bordas NW e SE de com um tom mais escuro estão os cristais de ilmenenita. D) cristal de cromita cinza claro dentro do círculo amarelo. ....50
Figura 33	Difratograma da cromita obtido no ensaio e dados da ficha do catálogo internacional usados pelo equipamento para comparação entre o resultado obtido e o padrão cadastrado. ....51
Figura 34	Grão de iddingsita na fração 1A- Volta Redonda. ....54

Figura 35	Grãos de siderita na fração 0,5A – Volta Redonda. ....	55
Figura 36	Grãos de cromita na fração 0,5A- Volta Redonda. ....	55
Figura 37	Grão de piroxênio na fração 0,5A – Volta Redonda. ....	56
Figura 38	A) Cristal de augita à nicóis cruzados - lâmina VR 1 B) – Cristal de augita maclada lâmina VR 1 sob nicóis cruzados. ....	57
Figura 39	A) Olivina alterada à nicóis descruzados - lâmina VR 2 B) Lâmina VR 2 sob nicóis cruzados. ....	57
Figura 40	A) Cristal de iddingsita à nicóis descruzados - lâmina VR 2 B) Lâmina VR 2, observa-se iddingsita sob nicóis descruzados. ....	58
Figura 41	A) Vesícula preenchida por calcita à nicóis cruzados - lâmina VR 2 B) Vesícula preenchida por zeólita -Lâmina VR 2 sob nicóis cruzados. ....	58
Figura 42	A) Vesícula preenchida por analcita e calcita à nicóis descruzados - lâmina VR 2 B) Lâmina VR 2 sob nicóis cruzados. ....	58
Figura 43	A) Análise de EDS realizada no cristal de olivina, da região circular amarelo. B) resultado químico semiquantitativo. C) Espectro de EDS mostrando a composição química do mineral. ....	60
Figura 44	A) Análise de EDS realizada no cristal do piroxênio titanoaugita, da região circular amarelo. B) resultado químico semiquantitativo. C) Espectro de EDS mostrando a composição química do mineral. ....	61
Figura 45	A) Análise de EDS realizada no cristal de cromita, apostadas pelas setas vermelhas. B) resultado químico semiquantitativo. C) Análise de EDS da cromita, feita na região circular amarela. D) Espectro de EDS mostrando a composição química do mineral. ....	62

Figura 46	Quadro mostrando a principais diferenças mineralógicas entre Itaboraí e Volta Redonda, usando Lupa Binocula. ....	63
Figura 47	Diagrama ternário de classificação e composição das cromitas(Steven,1944)..	67
Figura 48	Diagrama ternário de $Al_2O_3 - Cr_2O_3 - Fe_2O_3$ (Thayer,1964). ....	67

## Lista de Tabelas

Tabela 1	Tabela da porcentagem de peso dos minerais de Itaboraí separados por fração. ....	38
Tabela 2	Resultados analíticos por microsonda eletrônica de cromitas da Bacia de Itaboraí. ....	53
Tabela 3	Tabela da porcentagem de peso dos minerais de Volta Redonda separados por fração. ....	54

## Lista de Abreviaturas e Siglas

Ma	Milhões de anos
RCSB	Rift Continental do Sudeste do Brasil
SRCSB	Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste do Brasil
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

## Sumário

Agradecimentos .....	vi
Resumo.....	vii
Lista de Tabelas .....	xvi
Lista de Abreviaturas e Siglas .....	xvii
1. Introdução .....	19
1.1 Objetivo Geral .....	20
1.2 Justificativa .....	21
1.3 Área de Estudo.....	21
2. Revisão Bibliográfica .....	23
2.1 Rifte Continental do Sudeste do Brasil.....	23
2.2. Geologia da Bacia de Itaboraí.....	25
2.2.1 Embasamento.....	25
2.2.2 Estratigrafia da Bacia de Itaboraí.....	26
2.2.3 Geologia Estrutural e Evolução Tectônica da Bacia de Itaboraí .....	28
2.3. Geologia da Bacia de Volta Redonda .....	29
2.3.1 Embasamento.....	29
2.3.2 Estratigrafia da Bacia de Volta Redonda .....	29
2.3.2 Geologia Estrutural e Evolução Tectônica da Bacia de Volta Redonda .....	30
3. Material e Métodos.....	31
4. Resultados.....	38
4.1 Bacia de Itaboraí- RJ.....	38
4.2 Bacia de Volta Redonda – RJ .....	54
5. Discussões sobre o ankaramito de Itaboraí e Volta Redonda – RJ .....	63
5.1. Discussão sobre a petrografia e mineralogia das rochas: .....	63
5.1.1. Mineralogia em grãos .....	63
5.1.2. Aspectos petrográficos .....	64
5.2. Discussão sobre a química das cromitas e a sua gênese:.....	65
5.2.1. Química da cromita de Itaboraí .....	65
5.2.2. Gênese .....	68
6. Conclusão .....	70
7. Referências Bibliográficas.....	71
Apêndice I.....	76

## 1. Introdução

O ankaramito é uma rocha muito rara. É uma variedade de basanita e definida como uma rocha basáltica rica em fenocristais de olivina e augita, contendo quantidades menores de plagioclásio e acessórios como apatita, biotita e óxidos de ferro (Sorensen, 1974). No Brasil são conhecidas apenas duas ocorrências na porção continental, em Itaboraí e Volta Redonda, e duas em áreas oceânicas, localizadas no arquipélago de Fernando de Noronha e na Ilha de Trindade. Este trabalho tem como objetivo o estudo de suas ocorrências nas porções continentais.

A Bacia de Itaboraí, localizada no município de Itaboraí no Estado do Rio de Janeiro, é considerada a menor Bacia do Sistema Rift Continental do Sudeste Brasileiro (RSCB), com sua abertura referente ao Paleoceno. É caracterizada como uma faixa elíptica deprimida de direção ENE, com dimensões de 1400 m de comprimento por 500 m de largura, preenchida por uma sequência de calcários clásticos e químicos intercalados (Rodrigues Francisco & Cunha, 1978; Tibana *et al.*, 1984). Diversos trabalhos já foram realizados nessa bacia, ganhando notório conhecimento no meio científico, devido a sua abundância fossilífera ligado principalmente a ocorrência da megafauna, o que levou à produção de muitos trabalhos científicos paleontológicos (Tibana *et al.*, 1984). Foi amplamente explorada para a produção de cimento, por mais de 50 anos. Atualmente ainda é alvo de pesquisas, como aquela realizada por Adler *et al.* (2017) que apresentam descrição sistemática dos depósitos sedimentares, com a finalidade de compreender sua gênese e história diagenética (Adler, 2016). Porém, em relação aos derrames ankaramíticos da bacia, poucos trabalhos foram realizadas, foi citado primeiramente por Rodrigues Francisco *et al.* (1982), e descrito mais detalhadamente por Klein & Valença (1984), de acordo com as suas características petrográficas e químicas.

A Bacia de Volta Redonda está inserida no médio vale do rio Paraíba do Sul e também está relacionada à fase inicial de abertura do RCSB. Sua sedimentação é formada predominantemente por arenitos e argilitos, com espessura total de sedimentos, estimada em aproximadamente 100 a 200 metros e idade, em torno de 45 a 50 milhões de anos (Paleógeno) até o presente (Neógeno). Esta, junto com a bacia de Itaboraí, são as menores bacias sedimentares do RCSB. A bacia de Volta Redonda também abriga

registros geológicos singulares, como rochas ankaramíticas, que são o objeto principal deste estudo.

Também foi feita uma comparação por Klein & Valença (1894) entre as características químicas dos ankaramitos das duas Bacias, afirmando que embora as ambas as rochas tenham um caráter ultrabásico e são bem mais sódicas do que potássicas. O ankaramito de Itaboraí é um pouco mais pobre em  $\text{SiO}_2$  e  $\text{MgO}$  do que Volta Redonda e possui teor de  $\text{CaO}$  bem próximo ao outro derrame. O ankaramito de Volta Redonda apresenta os maiores teores de  $\text{Na}_2\text{O}$ . Por fim, os autores comparam os índices de diferenciação de Thornton-Tuttle das rochas e concluem que ambos os derrames são bem semelhantes entre si.

Assim, no intuito de aumentar e diversificar os estudos nessas áreas, este trabalho tem como foco principal a análise e caracterização das rochas relativas ao derrame de ankaramito encontrados entre as unidades carbonáticas, que preencheram a Bacia de Itaboraí, comparando-as com o derrame da Bacia de Volta Redonda, datados respectivamente em torno de 54 Ma e 51 Ma. Utilizou-se diversas ferramentas tanto para a análise petrológica como química da rocha, a fim de explicar melhor o contexto de ambos os derrames na evolução do Rifte Continental do Sudeste do Brasil e seus aspectos distintivos.

## **1.1 Objetivo Geral**

Objetivo Geral do trabalho é caracterizar as rochas ankaramíticas da Bacia de São José de Itaboraí, comparando-as com as da Bacia de Volta Redonda, em termos de petrografia e mineralogia, de forma a correlacionar seu modo de ocorrência e possível relação entre os eventos vulcânicos a que estão associadas.

E como objetivos específicos, procura-se:

- a) Identificar os minerais pesados constituintes das duas ocorrências;
- b) Realizar estudo petrográfico sob luz polarizada e refletida em ambas as rochas;
- c) Caracterizar minerais selecionados usando MEV-EDS e Difração de Raios X e Microsonda Eletrônica para o ankaramito de Itaboraí.
- d) Análise do mineral cromita presente na rocha estudada, pontuando sua forma de ocorrência.

## 1.2 Justificativa

De modo geral ainda são poucos os trabalhos que utilizam a petrografia e a geoquímica como ferramenta de pesquisa na Bacia de Itaboraí, e em especial com foco no derrame de ankaramito. A descoberta de cromita no solo de alteração de um afloramento de ankaramito, identificado na bacia durante o projeto de Iniciação Científica dos alunos Leonardo Guerra e Danielle Siqueira, incentivou maiores pesquisas a fim de entender sua ocorrência e gênese na rocha,. Com isto, buscou-se comparar as rochas vulcânicas de Itaboraí com os derrames de Volta Redonda. Assim como produto deste trabalho procurou-se estabelecer correlações entre os pulsos vulcânicos que afetaram estas bacias, de forma a trazer mais esclarecimentos sobre os processos que levaram à formação do RCSB.

## 1.3 Área de Estudo

A Bacia de Itaboraí está localizada no município de Itaboraí no Estado do Rio de Janeiro, e se situa a cerca de 25 Km a leste da cidade de Niterói, com coordenadas 22° 50' 26.46" S, 42° 52' 43.89" W, visto na Figura 1. Está situada na área compreendida como o Gráben da Guanabara entre o maciço de Niterói, a Sul, e a Serra dos Órgãos, a Norte. O principal acesso é através da BR-101 e posteriormente é utilizada uma estrada secundária que dá acesso a localidade de São José de Itaboraí onde se encontra a sede do Parque Paleontológico de São José de Itaboraí. O parque foi criado em 1995 com objetivos científicos e acadêmicos (Beltrão *et al.*, 2001). A Bacia de Volta Redonda está inserida no médio vale do rio Paraíba do Sul, abrange os municípios de Volta Redonda, Barra Mansa, Porto Real, Pinheiral, Piraí e Barra do Piraí e também está relacionada ao RCSB, o principal afloramento de ankaramito desta bacia localiza-se na Rodovia dos Metalúrgicos, no Jardim Tiradentes, em frente ao posto de gasolina, com coordenadas 22°32'15.61" S, 44°4'33.64" O (Figura 2).

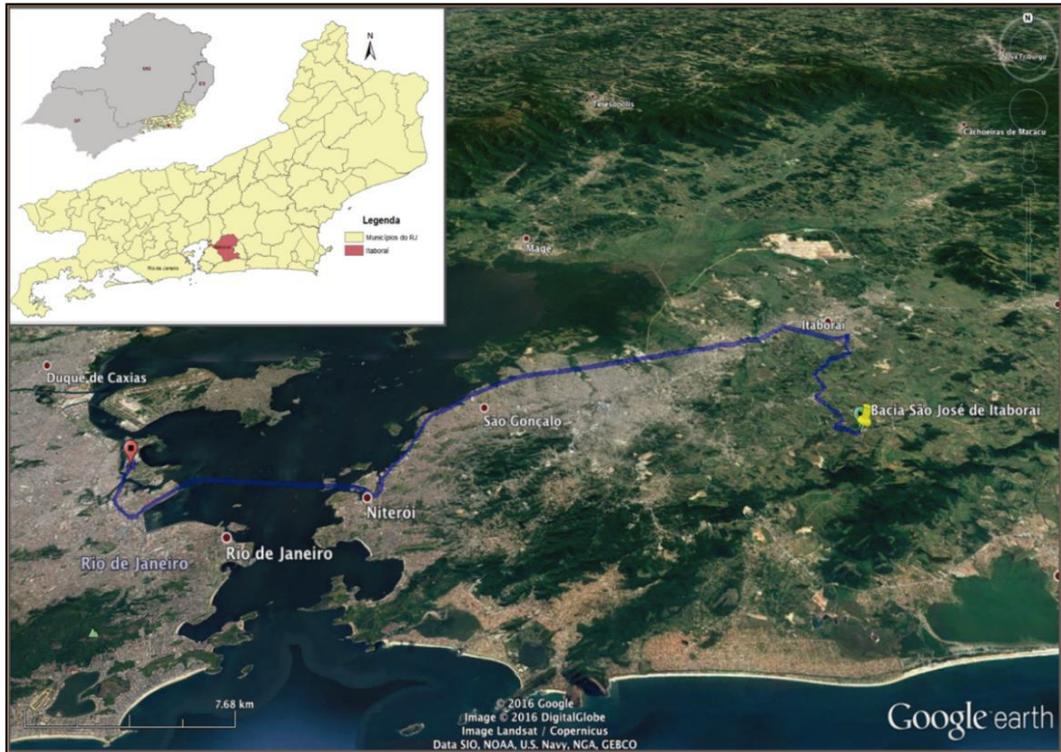


Figura 1: Localização da Bacia de São José de Itaboraí. Em azul temos a rota traçada a partir do prédio CCMN na Cidade Universitária/UFRJ. Imagem de satélite retirada do Google Earth em 11/04/2017.



Figura 2: Localização do afloamento de ankaramito na da Bacia de Volta Redonda. Em azul temos a rota traçada a partir do prédio CCMN na Cidade Universitária/UFRJ. Imagem de satélite do Google Earth (19/08/2017).

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1 Rifte Continental do Sudeste do Brasil

A Bacia de São José de Itaboraí está inserida no contexto do Rifte Continental do Sudeste do Brasil, caracterizada como uma depressão alongada de direção ENE com cerca de 900 km de comprimento cujos limites são marcados pelas cidades de Tijuca do Sul, no estado do Paraná, e a área submersa em frente a cidade de Macaé no Estado do Rio de Janeiro. O rifte (Figura 3) é caracterizado como uma série de Grábens, aonde bacias cenozoicas se desenvolveram tal como a Bacia de Itaboraí e a de Volta Redonda. Suas localizações coincidem com os limites entre regiões elevadas, como a Serra do Mar e parte da Serra da Mantiqueira, e regiões deprimidas como o Gráben do rio Paraíba do Sul, Gráben da Guanabara e a Baixada Fluminense (Riccomini *et al.*, 1989 ; Ferrari, 2001).

O RCSB foi dividido em 3 segmentos principais: ocidental, central e oriental, sendo a bacia de Itaboraí inserida no setor oriental juntamente com as bacias de Macacu e o Gráben da Barra de São João. Enquanto o segmento central engloba as Bacias de São Paulo Taubaté, Resende e Volta Redonda e o segmento ocidental é composto pelas Bacias de Curitiba, as Formações Alexandra e Pariqüera-Açu, e os Grábens de Guaraqueçaba, Cananéia e Sete Barras (Riccomini *et al.*, 2004). Segundo Riccomini (2004) os depósitos de travertino da Bacia de Itaboraí datados do Paleoceno-Eoceno, são o registro sedimentar mais antigo e contemporâneo à abertura do rifte.

A instalação do RCSB foi produto da reativação de zonas de cisalhamento dextrais subverticais e profundas, de idade neoproterozoica e direção NE a E-W. Desenvolveu-se sobre gnaisses, migmatitos e rochas metamórficas de baixo a médio grau, de idade arqueana a neoproterozoica do Cinturão Ribeira (Hassui *et al.*, 1978) e sobre diversas suítes de rochas granitoides intrusivas de idade neoproterozoica (Janasi & Ulbrich, 1991). Essa reativação deveu-se aos esforços trativos de direção NNW-SSE ocasionado pelo basculamento da Bacia de Santos durante a abertura do Oceano Atlântico (Riccomini, 1989).

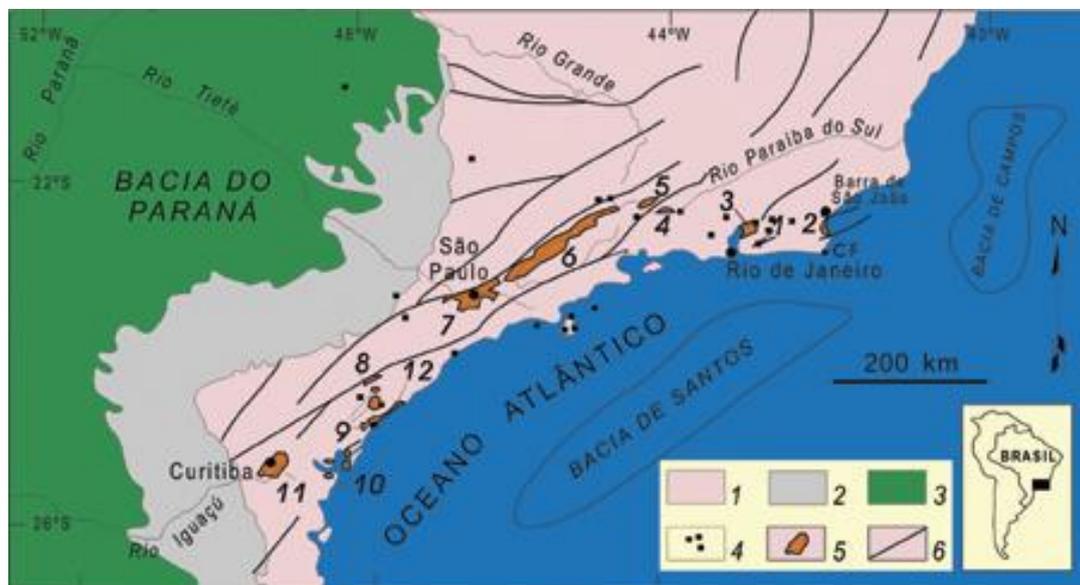


Figura 3: Contexto geológico regional do *Rift Continental do Sudeste do Brasil*, no qual a Bacia de Itaboraí se encontra inserida. - 1) embasamento pré-cambriano; 2) rochas sedimentares paleozoicas da Bacia do Paraná; 3) rochas vulcânicas toleíticas eocretáceas da Formação Serra Geral; 4) rochas relacionadas ao magmatismo alcalino mesozoico-cenozoico; 5) Bacias cenozoicas do rift (1- Bacia de Itaboraí, 2-Gráben de Barra de São João, 3- Bacia do Macacu, 4- Bacia de Volta Redonda, 5- Bacia de Resende, 6- Bacia de Taubaté, 7- Bacia de São Paulo, 8- Gráben de Sete Barras, 9- Formação Pariquera-Açu, 10- Formação Alexandra e Gráben de Guaraqueçaba, 11- Bacia de Curitiba, 12- Gráben de Cananéia); 6) zonas de cisalhamento pré-cambrianas, em parte reativadas durante o Mesozoico e Cenozoico. Fonte: Riccomini *et al.* (2004).

Para Ferrari (2001) a ocorrência de numerosos corpos de rochas magmáticas alcalinas constitui uma característica específica do setor oriental do RCSB e que nessa região o magmatismo alcalino é representado por seis *stocks* (os corpos do Tinguá, Mendanha, Tanguá, Soarinho, Rio Bonito e Morro de São João), treze *plugs*, como Monjolos e Itaboraí, e inúmeros diques. Diversos autores reportaram a presença de rochas eocretáceas a paleogênicas ao longo das bordas do rifte (Riccomini (1989), Sanson (2006). Em Volta Redonda, por exemplo, derrames de lava ultrabásica datados do Eoceno com idade de  $49.5 \pm 0,4$  Ma (Ramos *et al.*, 2008), conhecido como Basanito Casa de Pedra, ocorre intercalado as rochas sedimentares. Este mesmo tipo de derrame, compreendendo rochas ankaramíticas, pode ser observado na Bacia de Itaboraí, cortando as rochas carbonáticas. Através do método de datação K-AR foram obtidas idades de  $52.6 \pm 2.4$  Ma (Riccomini & Rodrigues Francisco, 1992) e pelo método Ar-Ar,  $50.23 \pm 3.6$  Ma (MOTA *et al.*, 2015) em Itaboraí.

Acredita-se que o ankaramito da Bacia de Itaboraí seja cronocorrelato às rochas alcalinas da região da Ilha do Cabo Frio com idade em torno de 54 Ma (Amaral *et al.*, 1967; Riccomini & Rodrigues Francisco, 1992), e ao derrame de ankaramito de Volta

Redonda, confirmando que os derrames vulcânicos são marcos importantes para o entendimento da história de sedimentação da bacia.

## 2.2. Geologia da Bacia de Itaboraí

### 2.2.1 Embasamento

A Bacia de Itaboraí desenvolveu-se sobre as rochas da Província da Mantiqueira e está inserida no embasamento cristalino do Grupo Paraíba do Sul (Pré-Cambriano), assim como todas as bacias do contexto RCSB. Conforme Klein & Bergqvist (2002) os carbonatos da bacia estão sobre gnaisses de idade meso a neoproterozoica do Complexo Paraíba do Sul, e na borda da bacia ocorrem rochas alcalinas do Cretáceo - Paleógeno, e também rochas granitóides neoproterozóicas, visto na Figura 4.

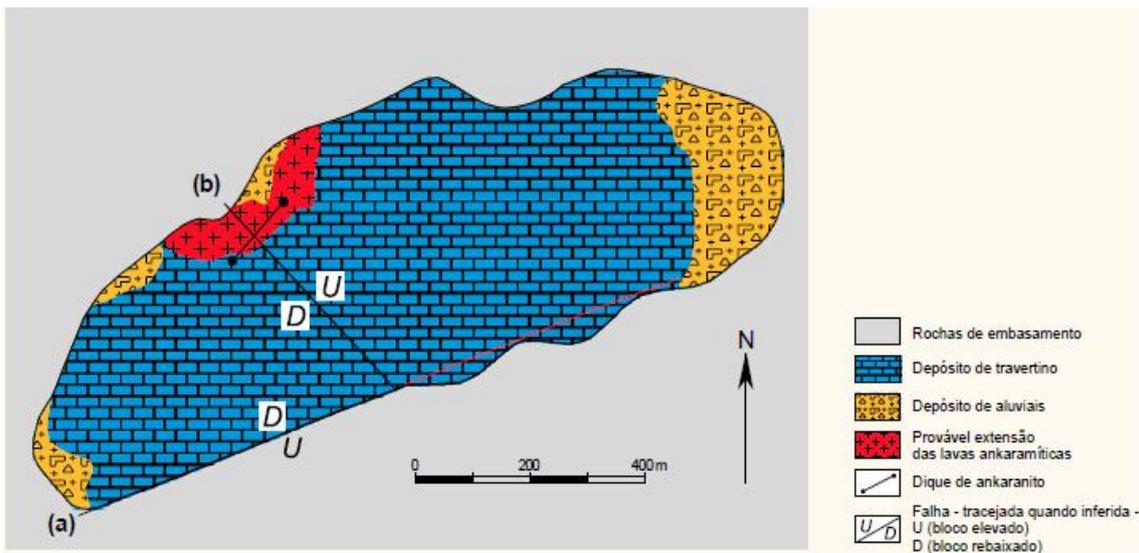


Figura 4: Mapa litológico e estrutural da Bacia de Itaboraí, indicando a Falha de São José com direção SW-NE e uma falha transversal no sentido NW-SE. Modificada de Bergqvist *et al.* (2006)

## 2.2.2 Estratigrafia da Bacia de Itaboraí

A Bacia de Itaboraí de idade paleocênica representa o estágio inicial de fissura do RCSB. Possui dimensões elípticas em torno de 1 km<sup>2</sup> na sua maior extensão na direção SW-NE. Sua maior espessura sedimentar possui cerca de 100 metros, encontrado no bordo limitante Sul onde passa a Falha de São José (Medeiros e Bergqvist, 1999). Desta forma, a coluna sedimentar da Bacia de Itaboraí é dividida em três unidades principais identificadas primeiramente por Leinz (1938) e adotada por diversos autores (Brito *et al.*, 1972; Palma & Brito, 1974; Rodrigues Francisco & Cunha, 1978; Tibana *et al.*, 1984; Brito, 1989; Rodrigues Francisco, 1989; Medeiros & Bergqvist, 1999; Sant'Anna, 1999; Klein & Bergqvist, 2002; Sant'Anna *et al.*, 2004).

Medeiros & Bergqvist (1999) agruparam 3 litofácies principais e definiram que as sequências S1 e S2 são predominantemente carbonáticas, e a sequência S3 é clástica (Figura 5).

- Sequência S1 consiste de carbonatos clásticos e químicos intercalados, depositados em cima do embasamento Pré – Cambriano. Sua constituição varia desde sedimentos terrígenos a fácies carbonáticas com travertinos (fácies A), calcários cinzentos (fácies B) e carbonatos oolíticos e pisolíticos (fácies C). Estão associados à formação em ambiente lacustre.

- Sequência S2 é formada principalmente por sedimentos carbonáticos que preencheram cavernas e fissuras de dissolução em relevo cárstico da sequência S1, sendo eles: margas e calcirruditos, com marcado conteúdo fossilífero. Representam ambientes aluviais associados a ambientes lacustres.

- Sequência S3 é definida por depósitos clásticos terrígenos, incluindo conglomerados com matriz arenosa e lamosa (cascalheira pleistocênica). Sua origem é atribuída a leques aluviais provenientes de áreas soerguidas.

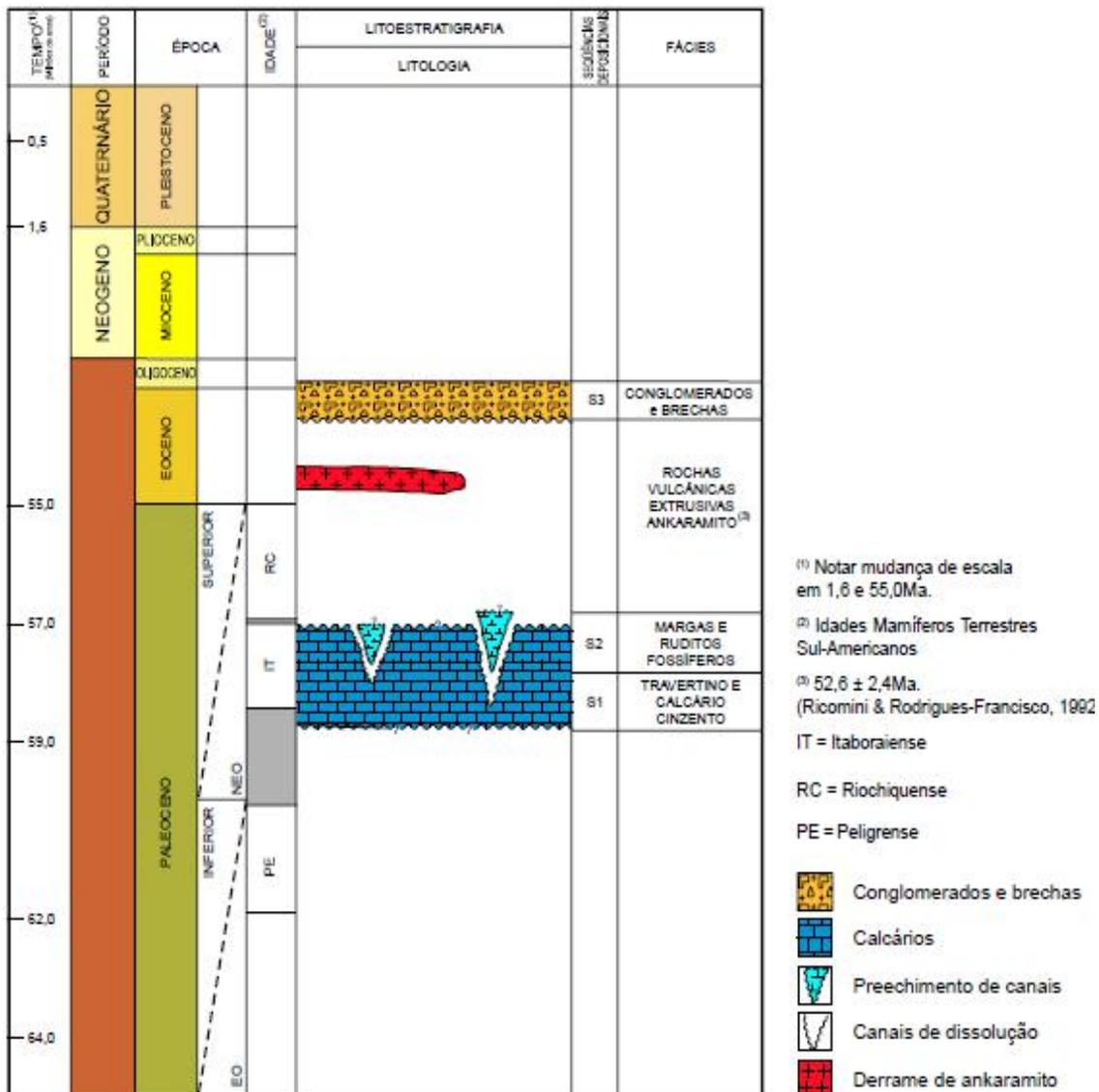


Figura 5: Coluna Estratigráfica da Bacia de São José de Itaboraí, considerando apenas a Formação Itaboraí (Modificado de Bergqvist, 2006).

Entretanto Rodrigues Francisco *et al.* (1982) constataram a presença, na bacia, de anksramitos melanocráticos porfiríticos com fenocristais de piroxênio e olivina, que primeiramente os definiu como provenientes de um dique subvertical de orientação N45E. Depois foi constatado, por Klein & Valença (1984), que tal afloramento representava um derrame de lava ankaramítica que separa as unidades carbonáticas (S1 e S2) da seqüência terrígena (S3). Os autores descreveram que o derrame é alimentado

por um dique subvertical de dimensões de 10 m de espessura e 150 m de comprimento, o qual corta o embasamento e as sequências carbonáticas S1e S2.

### 2.2.3 Geologia Estrutural e Evolução Tectônica da Bacia de Itaboraí

O contexto tectono-evolutivo da Bacia de Itaboraí está diretamente relacionado à história tectônica do Gráben da Guanabara no Cinturão Orogênico da Ribeira (Mohriak,2003). Entende-se que no início do Paleógeno esforços trativos de direção NW-SE instalaram-se na região sudeste do Brasil, em resposta, principalmente, à abertura do Oceano Atlântico. Esse processo distensivo reativou zonas de cisalhamento de direção ENE e originou uma série de grábens como o da Guanabara, que formam o RCSB, e a este estavam associadas estruturas de menores na forma de grábens e hemigrábens (Riccomini, 1989; Sant'Anna & Riccomini, 2001; Sant'Anna *et al.*,2004), vistos na Figura 6.



Figura 6: Localização da Bacia de Itaboraí no contexto do Rifte Continental do Sudeste Brasileiro, modificado de Mohriak *et al.*, 1995.

No caso particular da Bacia de Itaboraí, Zalán & Oliveira (2005) citam o começo de um colapso de uma antiga estrutura denominada Serra do Mar Cretácea, no final do Paleoceno, como responsável pelos falhamentos de direção ENE-WSW, e que geraram o espaço de acomodação para os sedimentos do que viria a ser a Bacia. Esse primeiro estágio de formação do rifte pode ser associado à Bacia de Itaboraí pela Falha de São José que possui a mesma direção de sua abertura. Uma outra falha também é identificada na bacia, sendo transversal de direção NW-SE, e foi responsável pela

intrusão do dique de ankaramito e pela compartimentação da Bacia em dois blocos principais: ocidental e oriental (Ferrari, 2001). O primeiro bloco, segundo Ferrari (2001) tem maior espessura de sedimentos e o mergulho de suas camadas atinge até 35° para SE, enquanto que o bloco oriental, que representa 2/3 da bacia, é menos deformado e atinge mergulho de até 20° para NE (Klein & Rodrigues Francisco, 1981; Ferrari, 2001; Klein & Bergqvist, 2002). Após esse evento principal teria ocorrido uma nova compressão NW-SE, responsável pelos dobramentos em chevron dos sedimentos da Bacia, do componente reverso na Falha de São José e pela formação dos travertinos cobrindo o embasamento e a sucessão sedimentar paleogênica da bacia (Klein & Rodrigues Francisco, 1981; Riccomini & Rodrigues Francisco, 1992).

## 2.3. Geologia da Bacia de Volta Redonda

### 2.3.1 Embasamento

A Bacia de Volta Redonda também é parte do contexto do RCSB (Figura 7), implantada na parte central da Faixa Ribeira (Riccomini 1989; Sanson *et al.*, 2006). Seu embasamento é formado por rochas proterozoicas/eopaleozoicas remobilizadas e metamorfizadas por sucessivas fases orogênicas (Heilbron *et al.*, 2004 ; Trouw *et al.*, 2006), compondo as sucessões metassedimentares do Complexo Paraíba do Sul. É constituído por complexos paragnáissicos neoproterozoicos e suítes intrusivas neoproterozoicas/eopaleozoicas, inseridas no domínio dos terrenos Ocidental, Embu e da *Klippe* Paraíba do Sul (Heilbron *et al.*, 2004). Todas as unidades do embasamento seguem o *trend* NE-SW da Faixa Ribeira.

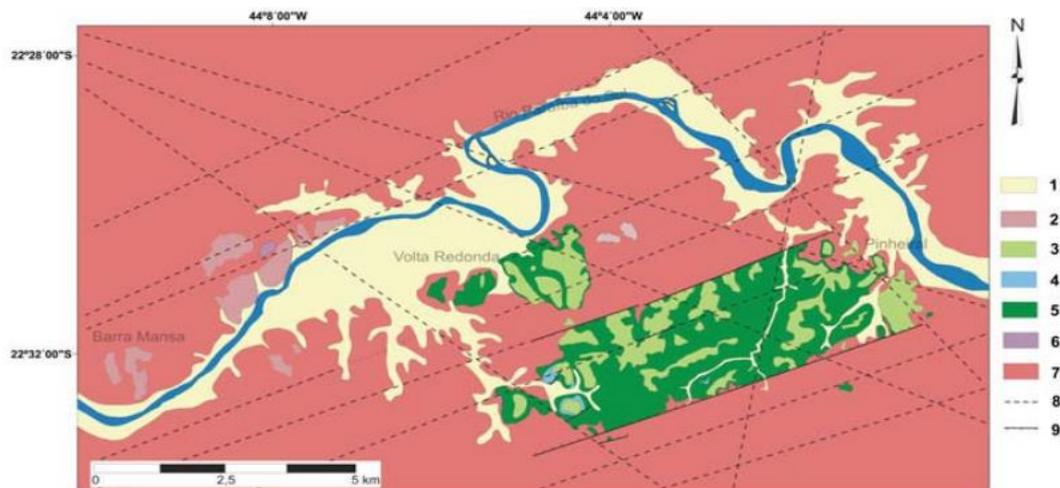


Figura 7: Mapa geológico da Bacia de Volta Redonda (Sanson, 2006). (1) sedimentos alúvio-colúviais quaternários; (2) outras ocorrências de sedimentos paleogênicos (Melo et alii, 1983); (3) Formação Pinheiral; (4) basanita Casa de Pedra; (5) Formação Resende; (6) Formação Ribeirão dos Quatis; (7) embasamento; (8) lineamentos importantes; (9) falhas observadas em campo.

Os depósitos sedimentares que compõem a bacia são de idade paleogênica. A sucessão sedimentar mais antiga é a Formação Ribeirão dos Quatis que está em contato direto com as unidades do embasamento cristalino. É formada por conglomerados quartzosos intercalados com arenitos feldspáticos e pelitos. O ambiente é interpretado como fluvial entrelaçado de alta energia. Logo acima está a Formação Resende, que corresponde à principal fase de sedimentação da bacia de Volta Redonda. São caracterizados por depósitos de leques aluviais e sistemas fluviais entrelaçados formados principalmente por arenitos feldspáticos, conglomerados, lamitos esverdeados e brechas. Todos estão em inconformidade com o embasamento da bacia (Sanson, 2006). A unidade do Basanito Casa de Pedra representa os derrames de ankaramito ultramáfico alcalino. Segundo Ramos *et al.* (2005, 2008) existem pelo menos dois derrames superpostos, encontrados no bairro de Vila Rica, com uma espessura de 11 metros. Acima dele encontra-se a unidade do topo da bacia, Formação Pinheiral, constituída por conglomerados e arenitos estratificados em ciclos granodecrescentes com intercalações pelíticas, representando sistemas de canais fluviais entrelaçados. Esta unidade está em discordância com o embasamento, com a Formação Resende e parte do Basanito Casa de Pedra.

### **2.3.2 Geologia Estrutural e Evolução Tectônica da Bacia de Volta Redonda**

Sanson (2006) propôs quatro fases tectônicas rúpteis (E1, TS, TD e E2) para a evolução da bacia de Volta Redonda, baseadas nas propostas feitas por Riccomini *et al.* (2004) para o RCSB, comparando-as conforme a coluna estratigráfica da bacia (Figura 8). A primeira fase seria uma distensão NW-SE que ocorreu durante o Paleógeno, responsável pela abertura principal, preenchimento sedimentar e vulcanismo na bacia. A fase TS tem caráter deformador e é caracterizada por uma transcorrência sinistral E-W que afetou somente os depósitos paleogênicos da bacia e, por isso, foi datada como Oligoceno Final e Mioceno. A fase TD representa uma transcorrência dextral E-W, de idade pleistocênica, e suas estruturas afetam tanto os depósitos paleogênicos como os depósitos neogênicos da bacia. Por último, a fase E2, é uma distensão NW-SE, com

estruturas que deformaram todo o registro Cenozoico da Baía de Volta Redonda até o Holoceno.

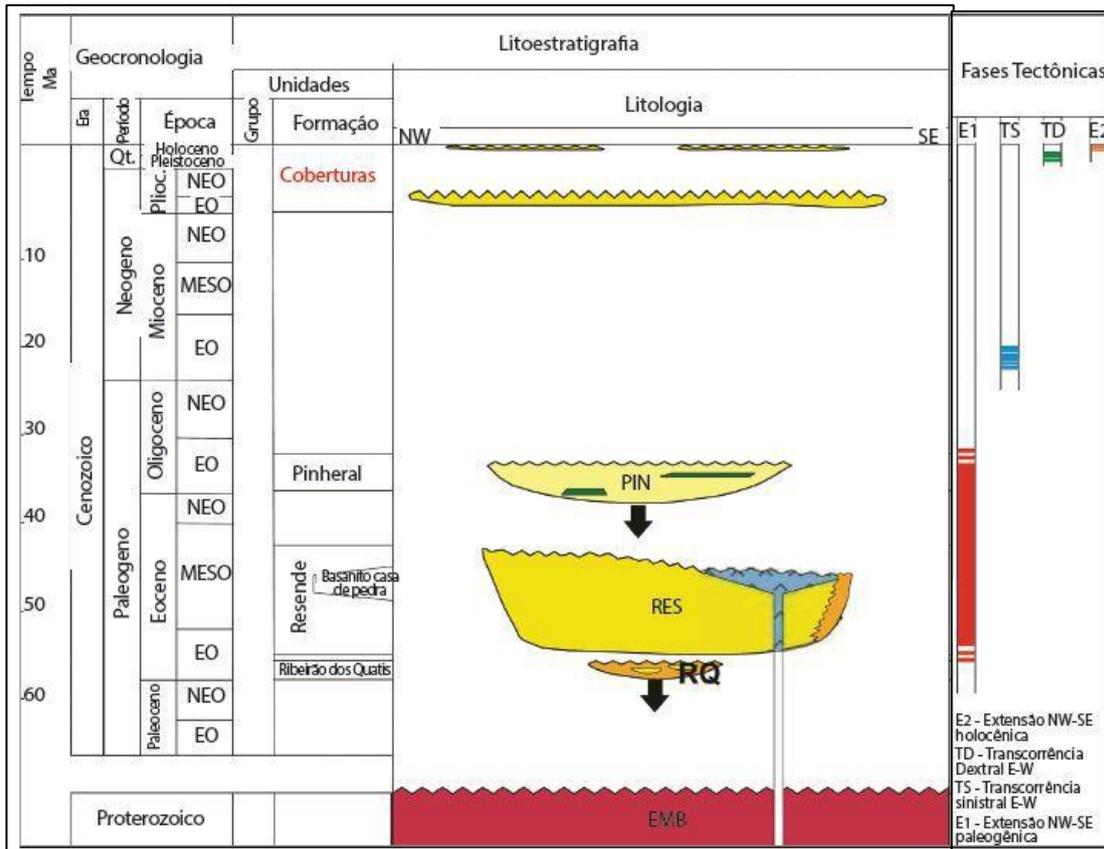


Figura 8: Coluna litoestratigráfica mostrando as fases tectônicas da bacia de Volta Redonda (Sansón *et al.* 2006).

### 3. Material e Métodos

#### 3.1. Revisão Bibliográfica

Primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica a respeito das áreas, incluindo o contexto tectono-sedimentar das Bacias de Itaboraí e Volta Redonda.

#### 3.2. Trabalho de campo e coleta de material

Foi realizado trabalho de campo para coleta de amostras de rocha e saprólito (cerca de 10 litros) em ambas as bacias. A amostra de solo de alteração do ankaramito de Volta Redonda foi coletada pelo Prof. Renato Ramos. Na figura 9A observa-se o afloramento

de ankaramito da Bacia de Itaboraí, e em seguida na foto 9B o afloramento de ankaramito na Bacia de Volta Redonda.



Figura 9:(A) Ankaramito da Bacia de Itaboraí apresentando erosão esferoidal.



Figura 9:(B) Afloramento do ankaramito de Volta Redonda, foto por Kátia Mansur.

### 3.3. Laboratório

#### 3.3.1. Análise de lâminas Delgadas

Em uma etapa laboratorial, foram analisadas três lâminas petrográficas confeccionadas do ankaramito de Itaboraí para o trabalho de Guerra *et al.* (2014), previamente preparadas no laboratório de laminação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, que passaram por polimento. Duas lâminas delgadas do ankaramito de Volta Redonda (Basanita VR1 e VR2) também descritas, foram cedidas pelo Professor Renato Ramos. A descrição petrográfica do ankaramito da Bacia de Itaboraí e de Volta Redonda foi feita segundo Mackenzie *et al.* (1982), em microscópio petrográfico de luz transmitida e refletida Zeiss AxioLab A1 (Figura 10), no laboratório Labsonda da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Vale ressaltar que as lâminas delgadas foram polidas (metalizadas com ouro) para serem analisadas sob luz refletida.

Para a descrição petrográfica foram analisados aspectos como a composição mineralógica e porcentagem dos minerais da lâmina, aspectos texturais e estruturais (tamanho absoluto e relativo dos minerais; forma dos minerais, faces), tipos e graus de alteração, granulação da rocha e minerais encontrados na matriz. Por fim, foram fotografados todos componentes da lâmina considerados essenciais para sua descrição e estudo.



Figura 10: Microscópio petrográfico utilizado para descrição das lâminas delgadas do de ankaramito.

### 3.3.2. MEV / EDS

A imagem eletrônica de varredura formada pelo MEV deve-se à incidência de um feixe de elétrons no mineral sob condições de vácuo. A incidência do feixe promove a emissão de elétrons secundários, retroespalhados e absorvidos, assim como de raios X característicos e de catodoluminescência (Reed, 1996). Acoplado ao MEV, tem-se o sistema de EDS (Energy Dispersive System), o qual possibilita a determinação da composição qualitativa e semiquantitativa das amostras, a partir da emissão de raios X característicos.

No laboratório SCT- Setor de Caracterização Tecnológica do CETEM (Centro de Tecnologia Mineral), as lâminas polidas foram recobertas por película de ouro e analisadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) da marca Hitache modelo TM 3030 equipado com um espectrômetro de energia dispersada (EDS) Bruker® Quantax 800 (Foto 11). Minerais primários e secundários, opacos ou não, foram selecionados na seção delgada para análise mineralógica e análise semi-quantitativa dos elementos químicos presentes em um ponto da amostra. O uso de EDS em conjunto com o MEV auxiliou na caracterização petrográfica e no estudo petrológico, através das imagens geradas a partir da lâmina devido a energia emitida, enquanto que o EDS ajuda na identificação das fases minerais e cálculo composicional dos elementos químicos

presentes. Os picos de Au que aparecem em todos os espectros EDS são devido ao recobrimento da lâmina utilizando Au (processo de metalização)., para evitar o acúmulo de carga elétrica na amostra, sendo que o uso do ouro ainda melhora o nível de emissão de elétrons secundários.



Figura 11: Imagem representativa do Miroscópio Eletônico de Varredura (MEV) utilizado no laboratório de Cetem.

### 3.3.3. Análise em Lupa Binocular

Foi realizada, ainda, análise dos minerais pesados presentes no solo de alteração do ankaramito coletado em Itaboraí e em Volta Redonda. O material passou pelas seguintes etapas (Pafernoff & Pomerol, 1970):

- Deslamagem da amostra;
- Peneiramento com peneira de malha de 1mm;
- Bateamento da amostra deslamada e peneirada para pré-concentração de minerais pesados;
- Peneiramento com a peneira de malha 0,250mm (separação do material mais fino);
- Utilização de líquido denso (bromofórmio) para separar os minerais pesados e leves;
- Retirada dos minerais magnéticos presentes na fração pesada com um imã de mão;
- Os minerais pesados foram tratados com uma solução de ácido oxálico, em presença de alumínio metálico, com o intuito de retirar o óxido de ferro que envolvia os minerais;

- Uso do separador eletromagnético Frantz (Figura 12) para separação das frações atraíveis em 0,1A; 0,3A; 0,5A; 0,7A; e 1,0 A.
- Análise e descrição em lupa binocular dos minerais presentes.

Em seguida as frações foram pesadas com objetivo de se fazer uma análise semi-quantitativa (Paternoff & Pomerol, 1970). Foi utilizada lupa binocular Bel Photonic (Figura 13) para a descrição de cada mineral nas 7 frações (magnético, 0,1A; 0,3A; 0,5A; 0,7A; 1,0 A e não atraída), e montagem de uma tabela (Apêndice 1) relacionando todas as frações do saprólito analisado e respectivos pesos, pode-se notar que a última coluna é referente a codificação da análise semi-quantitativa segundo Paternoff & Pomerol (1970), pois a contagem não é absoluta (para ser quantitativa deve-se contar os grãos).

Por fim, no laboratório de Micropaleontologia localizado no departamento de geologia da UFRJ, foram fotografados os minerais constituintes do ankaramito utilizando Lupa Binocular da marca Zeiss acoplada a câmera AxioCam MRc5, previamente separados durante as análises em lupa Binocular.



Figura 12: Separador eletromagnético Frantz



Figura 13: Lupa Binocular Bel Photonic.

### 3.3.4. Difração de Raios X

No LabSonda da UFRJ foi feita a análise de composição química de minerais selecionados em lupa binocular por Difração de Raios X (DRX) no aparelho X-Ray Diffractometer Lab X modelo XRD-6000 da marca Shimadzu (Figura 14). Esta análise foi realizada porque o hábito e outras características de um dos minerais encontrados assemelhava-se à cromita, o que levou à necessidade de testá-lo com outros métodos para comprovação da ocorrência.



Figura 14: Equipamento de difração de raios X localizado no labsonda, UFRJ.

A técnica para preparação da amostra foi a trituração das cromitas selecionadas junto com vidro para resultar no pó a ser analisado, sem que houvesse possibilidade de contaminação, uma vez que o vidro não tem estrutura cristalina. O pó foi colocado no porta amostras com o auxílio de uma espátula e depois no equipamento para o início do ensaio. Os cristais de cromita foram selecionados a partir do saprólito, do qual foram separados em lupa binocular a partir do concentrado obtido após bateamento e separação com bromofórmio e separador eletromagnético Frantz.

O DRX é uma técnica indicada para determinar as fases cristalinas presentes em diversos materiais, dentre eles os minerais. Essa técnica consiste na incidência da radiação em uma amostra e na detecção dos fótons difratados, que constituem o feixe difratado. Em um material onde os átomos estejam arrançados periodicamente no

espaço, característica das estruturas cristalinas, o fenômeno da difração de raios-X ocorre nas direções de espalhamento que satisfazem a Lei de Bragg , dada por:

$$n \lambda = 2 d \operatorname{sen} \theta \quad (1)$$

### 3.3.5. Microsonda Eletrônica

Também no LabSonda da UFRJ foi feito a análise em Microsonda Eletrônica (Figura 15), marca Jeol modelo JXA-8230 (Electron Probe Microanalyser), para definição da composição química das cromitas da Bacia de Itaboraí. Foi preparado um porta amostras de resina onde foram embutidas cromitas selecionadas em uma das amostras de solo coletadas, sendo, posteriormente, polidas.

Os constituintes do mineral cromita coletado na Bacia de Itaboraí foram analisados em uma seção polida na microsonda eletrônica utilizando 5 espectrômetros. Foi usada a câmera AxiomCam HRC – AX 10 e o software Zen2 Core no LABSONDA, UFRJ. As análises foram feitas sob as condições operacionais de 15 kV e 20 nA. Os padrões de referência de composições conhecidas foram utilizados para análises quantitativas dos minerais de interesse do estudo.



Figura 15: Microsonda Eletrônica utilizada na análise da cromita de Itaboraí.

### 3.3.6. Análise de lâminas delgadas em Luz refletida

Em microscópio petrográfico de luz transmitida e refletida Zeiss AxioLab A1 (Figura 10) do Labsonda da UFRJ, luz refletida, foram analisados os minerais opacos presentes na lâmina ITA Polida. Pracejus (2008) foi usado como livro de referência.

## 4. Resultados

### 4.1 Bacia de Itaboraí- RJ

#### 4.1.1. Análise mineralógica de grãos em Lupa Binocular

A amostra do solo de Itaboraí alcançou um total de 3,77 gramas de minerais pesados divididos em 7 frações (magnética; 0,1A; 0,3A; 0,5A; 0,7A; 1,0A e >1,0A).

A tabela 1 apresenta cada mineral descrito e a porcentagem de seu peso em relação à amostra total, a última coluna apresenta a codificação da análise semi-quantitativa segundo Pafernoff & Pomerol (1970).

Tabela1: Tabela da porcentagem de peso dos minerais de Itaboraí separados por fração.

Mineral	Amostra	Itaborai		Itaborai		Itaborai		Itaborai		Itaborai		Itaborai		CODIFICAÇÃO	LEGENDA		
	Fração	0,1A	0,3A	0,5A	0,7A	1A	>1A	Total peso(g)	Total (%)		95 - 100%	T					
Peso (g)		0,0149	1,1617	0,0649	0,0234	0,021	0,3177	3,77g			85 - 95%	9					
%	100%	8,5%	30,8%	55,8%	0,6%	0,6%	8,4%				75 - 85%	8					
Siderita		0%	0	10%	0,1162	20%	0,42	0%	0	10%	0,0021	10%	0,0318	15,77%	2	65 - 75%	7
Titano-augita		0%	0	0%	0	0%	0,14	25%	0,0059	25%	0,0053	20%	0,6354	2,00%	R	55 - 65%	6
Aegerina- augita		0%	0	0%	0	2%	0	2%	0,0005	5%	0,0015	0%	0	0,21%	D	45 - 55%	5
Iddingsita		21%	0,0031	10%	0,11617	17%	0,3582	15%	0,0035	10%	0,0021	0%	0	13,34%	1	35 - 45%	4
Cromita		24%	0,0036	14%	0,1422	14%	0,2950	14%	0,0033	30%	0,0063	0%	0	13,35%	1	25 - 35%	3
Analcita		32%	0,0048	0%	0	8%	0,1686	18%	0,0042	15%	0,0032	60%	0,1906	10,25%	1	15 - 25%	2
Frag de Rocha		0%	0	56%	0,6506	39%	0,8	0%	0	0%	0	0%	0	40,00%	4	5 - 15%	1
Pirita		23%	0,003	10%	0,008	0%	0	10%	0,0023	0%	0	0%	0	3,33%	R	1 - 5%	R
Monazita		0%	0	0%	0	1%	0,0211	8%	0,0019	0%	0	0%	0	0,63%	tr	< 1%	D
Zircão		0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	5%	0,0015	10%	0,0318	0,2%	tr	Traços	Tr
Apatita		0%	0	0%	0;	1%	0,4	10%	0,0017	0%	0	0%	0	0,90%	tr		
Mica		0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	/		

Os grãos de iddingsita foram descritos como um mineral de cor vermelha alaranjado e brilho vítreo nas frações de 0,1A /0,3A /0,5A /0,7A /1A, apenas variando em proporção entre cada fração. Em sua maioria os grãos de iddingsita são cristais anhedrais (Figura 16) e em um número menor apresentam-se prismáticos, coincidindo com o fato deste mineral ser um produto de alteração de olivinas e piroxênios que podem apresentar hábitos anhedrais e prismáticos, respectivamente.

Os grãos de analcita (Figura 17) são identificados por sua cor branca, e brilho nacarado, e aparecem em desde as frações 0,1 A até >1A. São isotrópicos quando estudados em microscópio petrográfico. Alguns cristais encontram-se associados a grãos de pirita.



Figura 16: Grão de iddingsita na fração 0,5A de Itaboraí.



Figura 17: Grão de analcita na fração >1A – Itaboraí

A cromita aparece como grãos geralmente hipidiomórficos de cor preta/cromo, brilho metálico e na maioria das vezes com hábito octaédrico (Figura 18). É possível também identificar clivagem marcada em uma direção em alguns grãos.

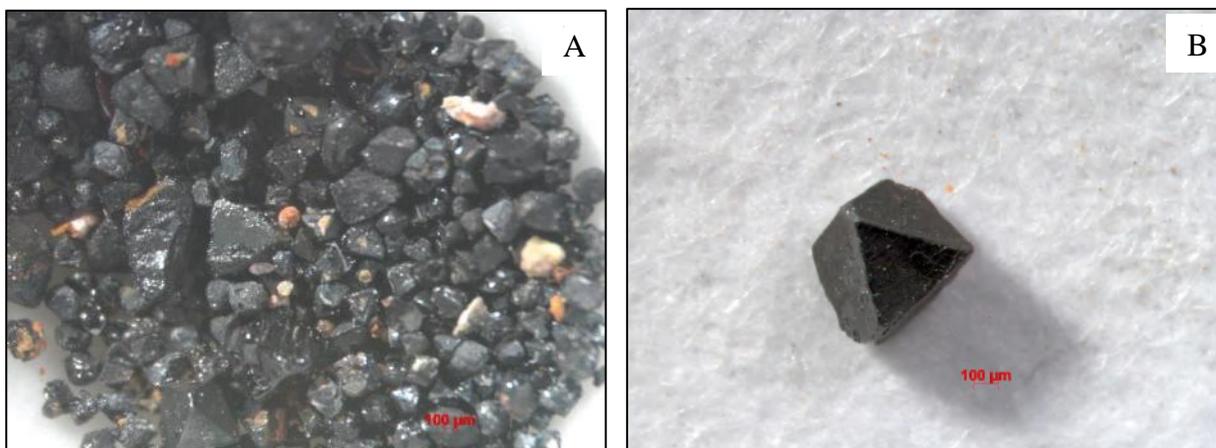


Figura 18: (A) Grãos de cromita visto em Lupa Binocular. (B) Grãos de cromita com hábito octaédrico bem característico da fração 0,3A- Bacia de Itaboraí.

Os grãos de pirita (Figura 19) apresentam cor dourada, brilho metálico e hábito cúbico e por vezes framboidal.

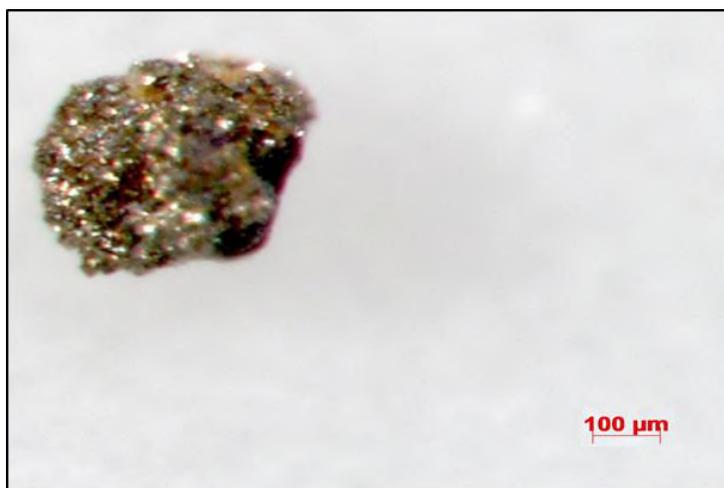


Figura 19: Grão de pirita na fração 1A - Itaboraí

Já os grãos de zircão (Figura 20) são incolores, translúcidos e possuem brilho resinoso e hábito prismático, e normalmente aparecem a partir da fração 0,7A.



Figura 20: Grão de zircão na fração 0,7A - Itaboraí.

A fração 0,1 A é formada majoritariamente por iddingsita, cromita, analcita e pirita. A fração 0,3A diferencia-se da fração anterior pela grande quantidade de fragmentos de rocha, além da presença de cromita (Figura17), pirita e o aparecimento dos grãos de siderita sendo bem similar a fração 0,5A, onde ocorrem os mesmos minerais, porém em proporções diferentes.

Os grãos de siderita (Figura 21), que podem ser confundidos com a iddingsita, apresentam cor castanha avermelhada, brilho vítreo, hábito romboédrico e clivagem bem marcada.



Figura 21: Grão de siderita na fração 0,5A- Itaboraí.

Na fração 0,7 A além dos minerais que apareceram nas frações anteriores como pirita, analcita, cromita e iddingsita, nota-se a presença de grãos amarelos vítreos e arredondados de monazita (Figura 22).



Figura 22: Grão de monazita na fração 0,7A – Itaboraí.

São observados dois tipos de piroxênios: um verde e outro castanho escuro, ambos possuem brilho vítreo e hábito prismático. A titanaugita (Figura 23) é o piroxênio de coloração castanho e a aegirina-augita é o verde (Figura 24).



Figura 23: Grão de piroxênio castanho escuro (titanoaugita) na fração 0,7A- Itaboraí.



Figura 24: Grão de piroxênio verde (aegerina-augita) na fração 0,7A - Itaboraí

Por fim, na fração 1A predomina cromita, além de notável presença de piroxênio, observando-se em proporções menores analcita, zircão e siderita.

As frações com afinidade maior a 1A são representados majoritariamente por analcita, chegando a mais da metade do total da fração, e seguidos pela presença de piroxênio, zircão, iddingsita e cromita. A presença de monazita e zircão no saprólito de Itaboraí indica contaminação relacionada às rochas ao entorno do ankaramito.

#### 4.1.2. Petrografia

A seguir são apresentadas as principais características petrográficas da rocha, analisadas em três lâminas (ITA51, ITA 52, ITA POLIDA):

O ankaramito de Itaboraí, que é uma rocha ultramáfica alcalina, apresenta textura inequigranular porfirítica (Figura 25), fenocristais de granulação fina a média e índice de cor melanocrático. É composta por fenocristais de titanoaugita e olivina que apresentam faces bem formadas (hipiomórficas) e sem direção preferencial de orientação. Sua matriz microcristalina é formada por titanoaugita, plagioclásio, analcita, apatita e opacos. Amígdalas e vesículas são observadas na rocha preenchida principalmente por zeólitas e carbonatos, conforme descrito por Klein & Valença (1984), com cor de interferência típica.

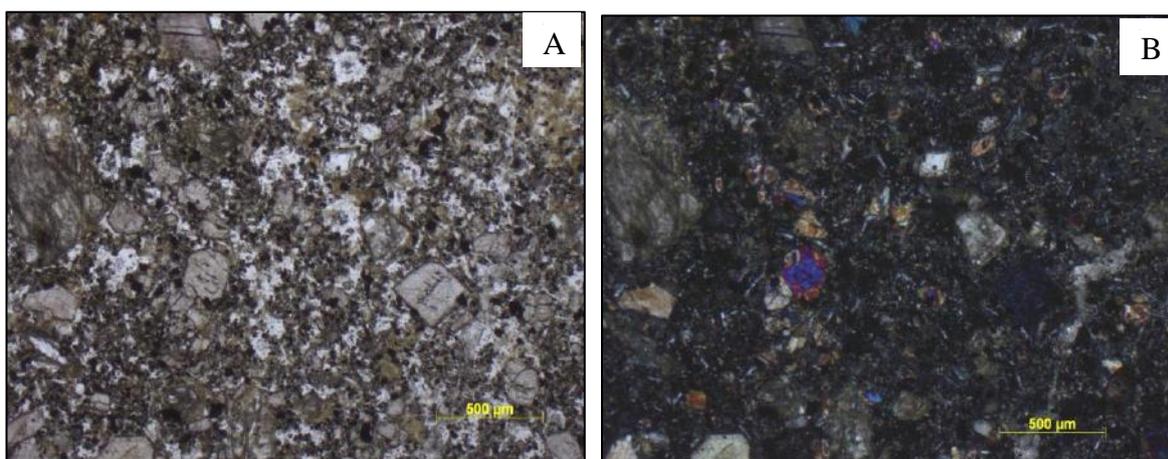


Figura 25: A) Textura porfirítica mostrando os fenocristais do ankaramito a nicóis descruzados - lâmina ITA 52 B) Lâmina ITA 52 sob nicóis cruzados.

Vários minerais de alteração foram observados como a iddingsita (Figura 27), explicada como um agregado policristalino formado por hematita, goethita, argilominerais e clorita, de cor castanho-avermelhada que geralmente ocorrem nas bordas dos minerais ou em suas fraturas, podendo substituir integralmente o mineral a qual está associado, nesse caso a titanoaugita e olivina. Outras características encontradas e já descritas por Klein & Valença (1984), são os pseudomorfos de cristais de olivina, substituídos por carbonato e muitos cristais com zonação composicional, em

especial os piroxênios. Esta zonação fica muito perceptível na Figura 26, onde observam-se cristais com o núcleo muito mais esverdeado (aegerina-augita) e bordas claras contrastando (titanoaugita).

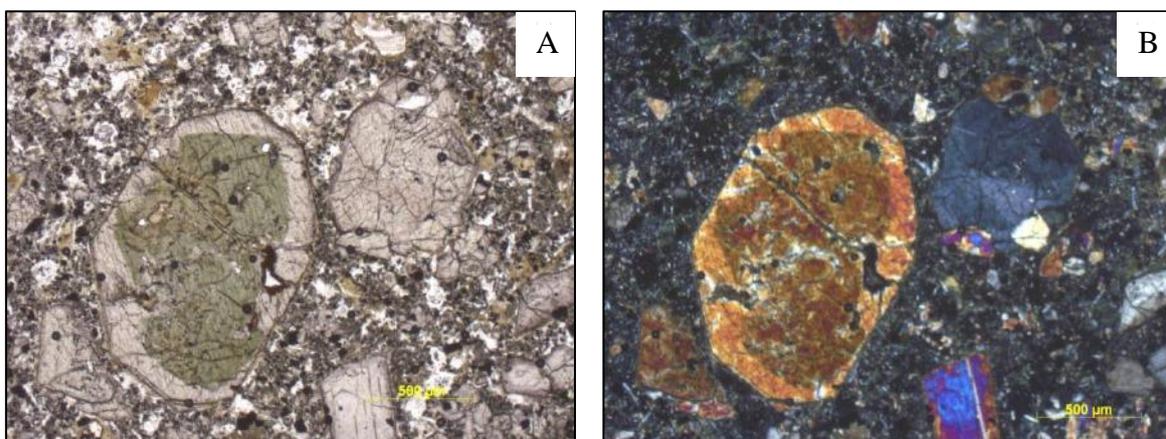


Figura 26: A) Cristal de piroxênio mostrando zonação composicional a nicóis paralelos B) Cristal de piroxênio mostrando zonação a nicóis cruzados.

Os fenocristais de olivina observados em lâmina, sob nicóis descruzados, são incolores a levemente esverdeados, bem fraturados, com tamanho variando entre 1–2 mm, e apresentam relevo alto. Sob nicóis cruzados observamos suas características distintas, como cores de interferência de amarelo e rosa de 2º ordem e extinção reta. Observa-se uma grande quantidade de cristais de olivina alterados para iddingsita (Figura 27), apresentando cor castanha e fraturas preenchidas por carbonatos. Assim, apenas o hábito da olivina é usado como elemento de identificação.

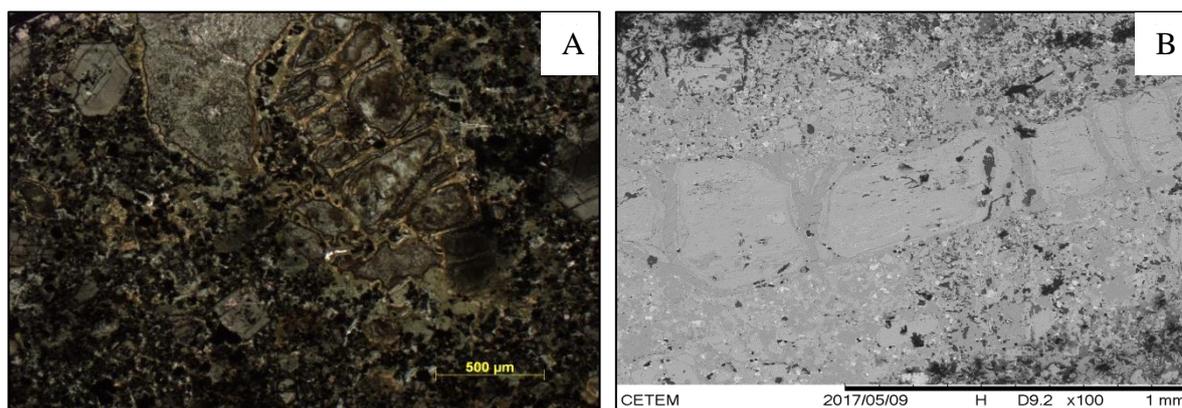


Figura 27: A) Cristais de iddingsita a nicóis cruzados B) Cristal de iddingsita observado no MEV.

A titano-augita em sua forma original apresenta-se com cristais de hábito prismático, tamanho entre 0,5mm -1,5 mm, incolor e relevo alto. Sob luz polarizada cruzada observa-se clivagem marcada em uma direção preferencial, extinção oblíqua e

cor de interferência de amarelo e azul de 3º ordem. Estão presentes na rocha grãos com zonação composicional, e a nicóis descruzados aparecem como uma massa verde, e pleocroísmo variando entre verde e amarelo.

Os plagioclásios presentes no ankaramito, principalmente em sua matriz, são incolores, possuem relevo baixo, são cristais tabulares com faces bem formadas e tamanho entre de 0,1 – 0,3 mm. Sob nicóis cruzados observa-se cor de interferência cinza de 1º ordem, e alguns cristais com maclas.

Também presentes na matriz do ankaramito, os cristais de apatita são incolores e bem pequenos, com cerca de 0,1mm, observados sob lente de 20X. São minerais de hábito prismático, relevo médio e sem pleocroísmo. Sob nicóis cruzados observa-se cor de interferência cinza de 1º ordem e extinção reta.

Os cristais de analcita (Figura 28) são isotrópicos e preenchem amígdalas juntamente com as zeólitas.

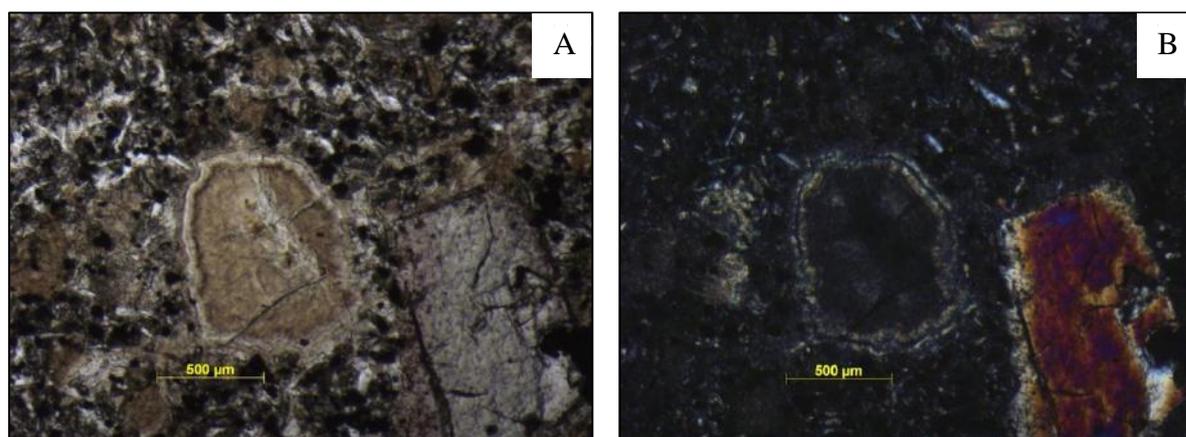


Figura 28: A) Analcita à nicóis descruzados B) Analcita mostrando isotropia à nicóis cruzados.

Por fim, ainda compondo a matriz, ocorrem minerais opacos. Seus hábitos variam com formas irregulares, a faces bem formadas e tamanho entre 0,1 e 0,2 mm. Sua presença primeiramente foi notada através da análise em lupa binocular do saprólito do ankaramito de Itaboraí, em seguida métodos como DRX e MEV comprovaram a presença de cromita, ilmenita e pirita.

Dado ao caráter vulcânico da rocha, a composição modal foi feita com base nos fenocristais e microfenocristais que representam 40% da rocha. A moda estimada da rocha fica em 52% titanogaugita, 10% olivina, 5% apatita, 8% plagioclásio, 10% opacos,

12% de analcita e 3% de zeólitas, carbonatos e analcitas. Pequenas amígdalas são preenchidas por carbonato e zeólitas.

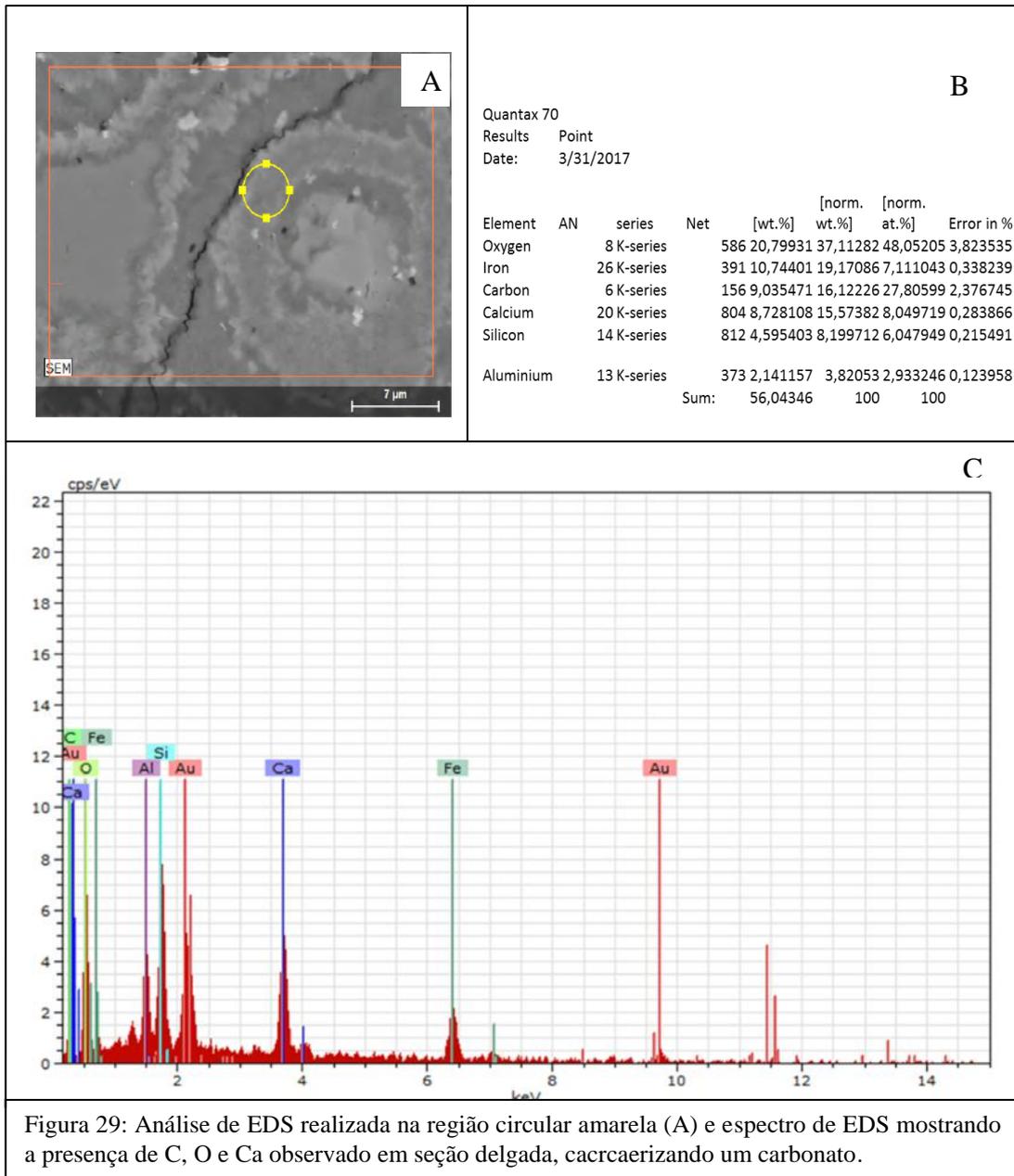
#### **4.1.3. Análises de MEV e Espectrometria de Energia por Dispersão de Raios X (EDS)**

Através da análise do MEV na lâmina ITA Polida foi possível observar algumas feições em detalhe, como o zonzão dos cristais de piroxênio, a forma de ocorrência dos opacos na rocha, além de confirmar a presença da cromita. Também foi possível observar a ocorrência de ilmenita, perceber a diferenciação química entre as titanogaugitas (bordas dos piroxênios) e aegerina-augitas (núcleos dos piroxênios) e a presença de iddingsita, já descrita na petrografia, mas confirmada por análise química semiquantitativa por EDS.

Durante a aquisição das imagens no MEV, foi possível realizar análises pontuais através de EDS, onde foram gerados os espectros de composição elementar para cada amostra. A Figura 29 mostra o espectro de EDS da região do círculo em amarelo analisado do carbonato, onde há predomínio de C, O e Ca. A presença de CO<sub>3</sub> indica a existência do carbonato, influenciado pelos calcários encaixantes do derrame ankaramítico da região. O Al presente na análise química do carbonato ocorre pois o espectro de EDS não isolou na análise apenas o carbonato, pegando também um pouco do grão que está em volta, possivelmente um piroxênio.

As figuras 30 e 31 mostram a composição química com as diferentes proporções de elementos químicos condizentes com as observações realizadas por análises petrográficas e DRX. Os principais elementos identificados foram Fe, Ti, Si, Mg, Na, O, Al, Cr e Ca, que corroboraram os constituintes mineralógicos do ankaramito estudado, compondo minerais como: olivina, piroxênio, plagioclásio, apatita, iddingsita, carbonato, cromita e ilmenita. Assim, para a classificação das titanogaugitas (Figura 30) identificou-se o espectro de EDS com proporções de Si, Al, Fe, Mg e Ti, que são característicos destes tipos de minerais. Já a cromita (Figura 31) é um óxido de Fe e Cr, então seu espectro de EDS possui picos de C, O, Al, Fe e Cr, principalmente.

Vale ressaltar que os picos de Au que aparecem em todos os espectros EDS são devido ao recobrimento da lâmina utilizando Au (processo de metalização).



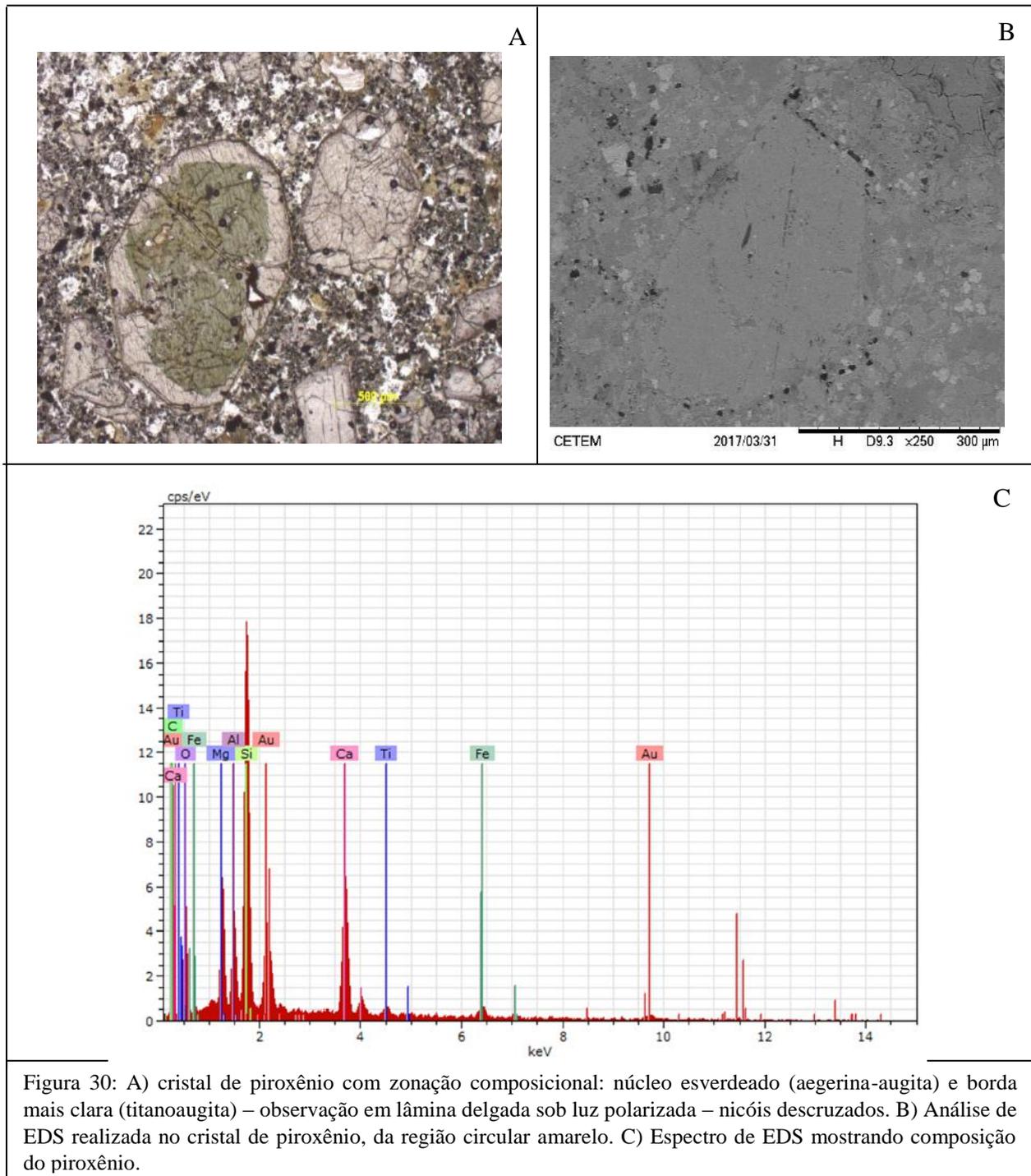
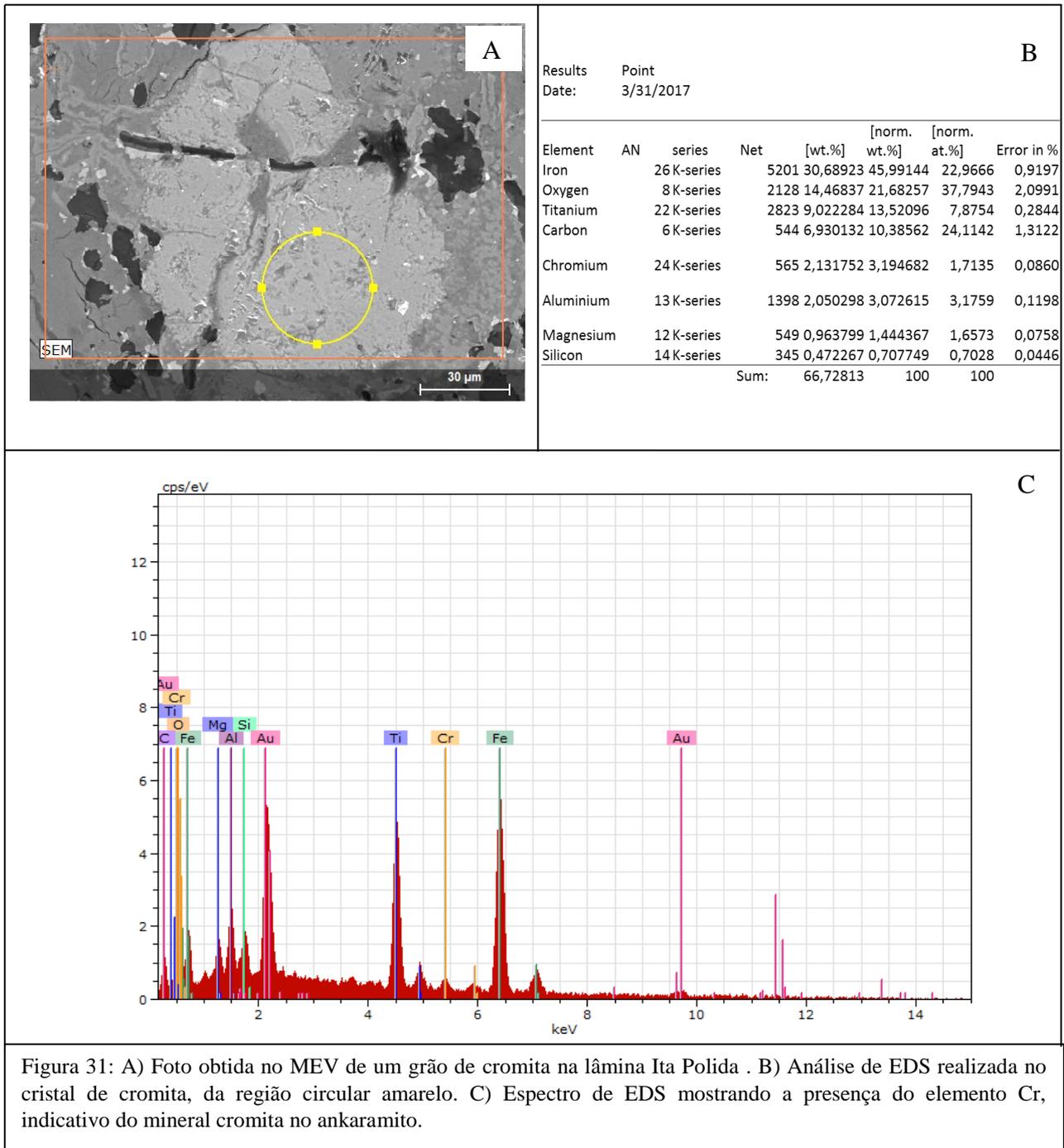


Figura 30: A) cristal de piroxênio com zonação composicional: núcleo esverdeado (aegerina-augita) e borda mais clara (titanoaugita) – observação em lâmina delgada sob luz polarizada – nicóis descruzados. B) Análise de EDS realizada no cristal de piroxênio, da região circular amarelo. C) Espectro de EDS mostrando composição do piroxênio.



#### 4.1.4. Luz refletida

Observou-se a presença de cromita, magnetita, ilmenita e pirita compondo a matriz do ankaramito de Itaboraí. Devido a grande similaridade das características descritivas entre os minerais opacos encontrados, para diferenciá-los foi feito principalmente uma comparação entre suas características observadas nas análises feitas no MEV, utilizando propriedades óticas como hábito e os tons de cinza (de acordo com os métodos de luz refletida e MEV) de cada mineral como a melhor forma de diferenciação (Pracejus, 2008). Na Figura 32 observa-se magnetita (Figura 32 A - Mg), e cromita a luz refletida (Figura 32 B). Depois é feita uma comparação entre cromitas analisadas no MEV (Figura 32 C) em relação à cromita observada na luz refletida em microscópio petrográfico (Figura 32 B). Nota-se uma semelhança na forma dos cristais de cromita, e também apresentam cores com tons de cinza claro a médio como forma de distinção dos demais minerais.

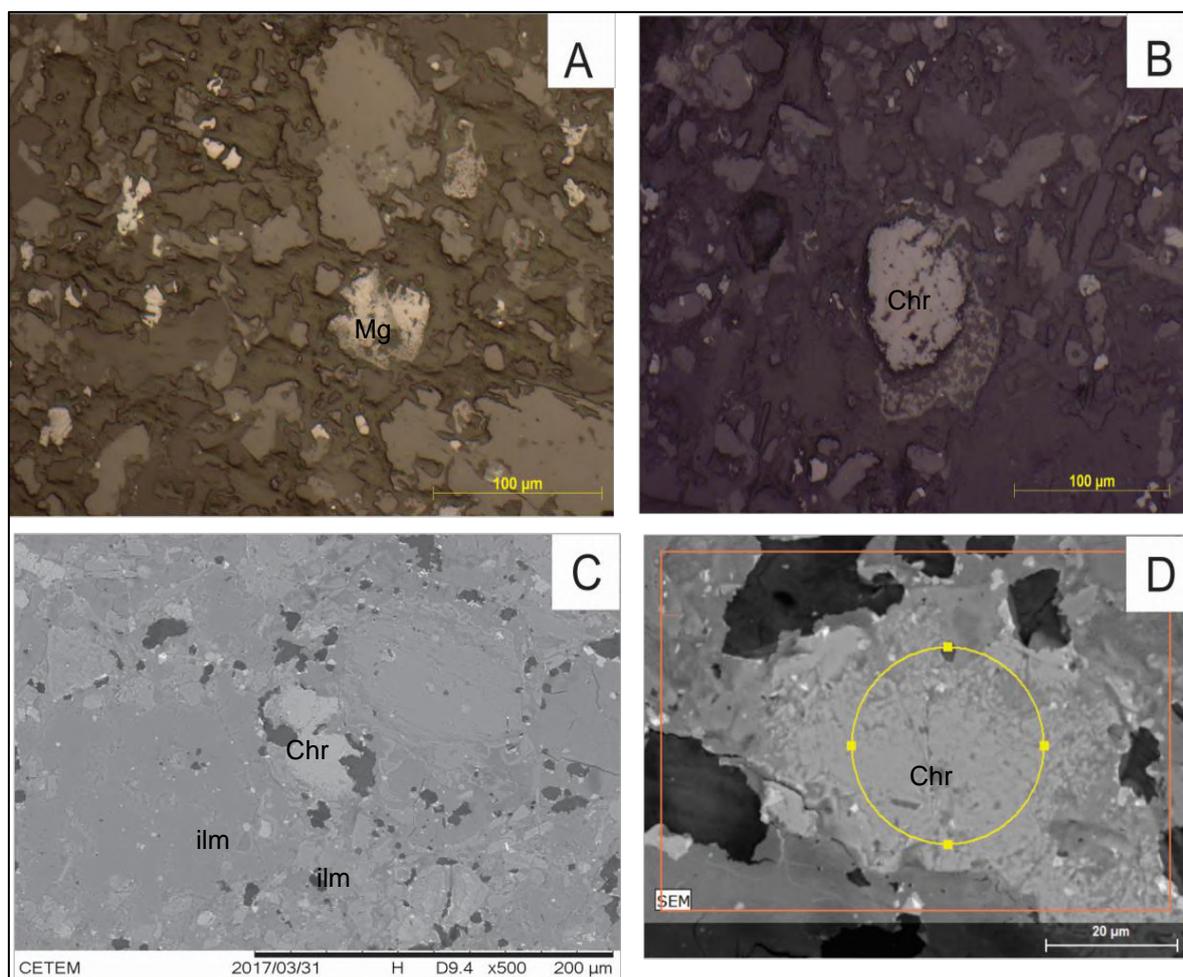


Figura 32: A) cristal central subédrico de magnetita cinza claro em luz refletida. B) cristal de cromita subarredondado de cor cinza. C) imagem MEV de cristal de cromita no centro e nas bordas NW e SE de com um tom mais escuro estão os cristais de ilmenita. D) Imagem MEV do cristal de cromita cinza claro dentro do círculo amarelo.

#### 4.1.5. Difração de Raios X:

A Figura 33 a seguir mostra o difratograma gerado pela análise da cromita com o método DRX.

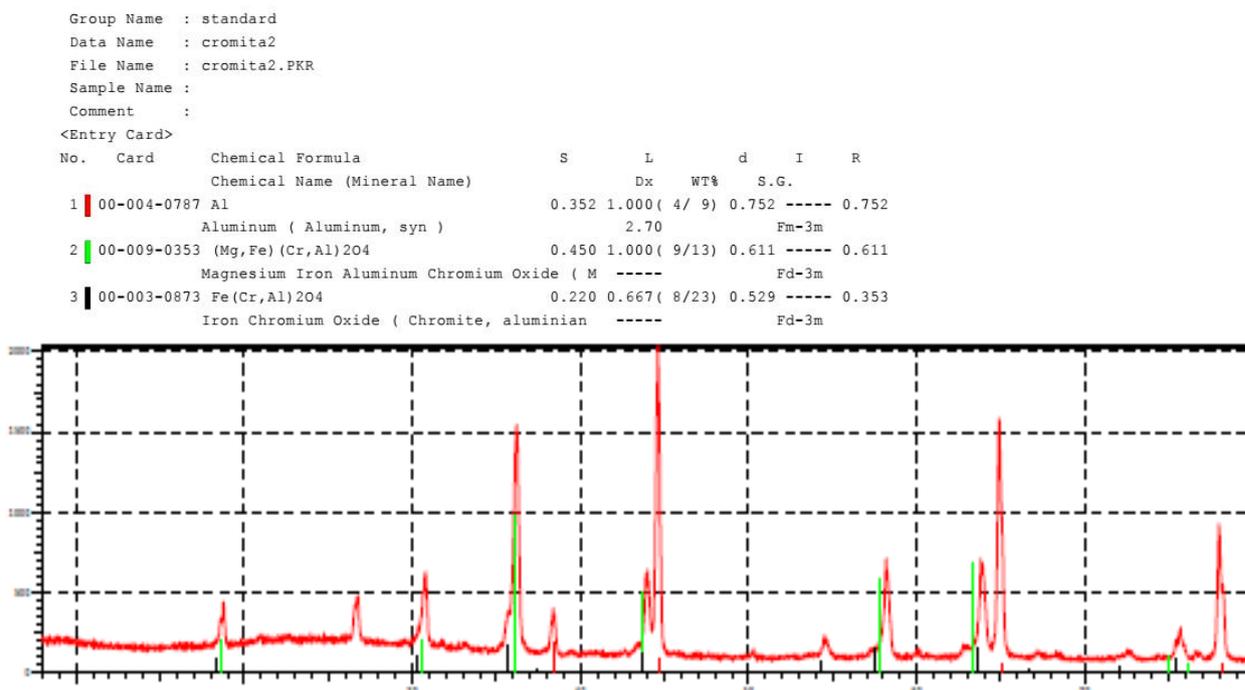


Figura 33: Difratograma da cromita obtido no ensaio e dados da ficha do catálogo internacional usados pelo equipamento para comparação entre o resultado obtido e o padrão cadastrado.

A interpretação do difratograma pelo programa de identificação mostra a predominância de uma cromita magnésiana-ferrífera com alumínio. Os traços vermelhos (1) abaixo dos picos do difratograma são picos de alumínio sintético, componente do porta amostras que apareceu devido a pouca quantidade de amostra obtida para moagem. Os traços verdes (2) são de cromita aluminosa com magnésio e ferro, predominante na amostra e os traços pretos (3) referem-se a cromita ferrífera, mostrando que a amostra em estudo está bem mais próxima da cromita magnésiana ferrífera, mas não exatamente da mesma composição da amostra catalogada no banco de dados.

#### **4.1.6. Microsonda Eletrônica:**

A cromita ou minério de cromo no Brasil tem em sua composição proporções variadas de óxidos de cromo, ferro, alumínio e magnésio, além de outros elementos subordinados em quantidades mínimas, da ordem de ppm, como vanádio, níquel, zinco, titânio, manganês e cobalto (Gonçalves, 2001). O resultado da análise química feita em Microsonda eletrônica da cromita da Bacia de Itaboraí é apresentado na Tabela 2 e coincide com a média das cromitas brasileiras apresentadas por Gonçalves (2001).

As amostras analisadas foram separadas em 2 grupos, cada grupo representa a análise de um cristal de cromita diferente: Cromita Itaboraí 1 e Cromita Itaboraí 2. Em cada grupo a ordem crescente dos números indicam as análises que começam do centro e vão em direção à borda do mineral. Os resultados obtidos na análise por microsonda eletrônica permitiram o cálculo da fórmula estequiométrica da cromita de Itaboraí, separando  $Fe^2$  e  $Fe^3$  do total de Fe presente no mineral.

Tabela 2: Resultados analíticos por microsonda eletrônica de cromita da Bacia de Itaboraí.

Corpo	Cromita Itaboraí 1										Cromita Itaboraí 2									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Amostra	30,6	32,2	31,4	30,9	29,6	29,8	31,3	28,9	30,9	30,5	30,3	30,7	32,8	30,5	32,5	31,4	29,9	29,6	29,4	29,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,2	15,3	13,3	15,2	15,7	13,0	15,4	16,3	14,6	12,0	15,8	14,8	15,2	14,3	14,2	14,8	15,4	14,8	12,4	12,3
MgO	27,7	26,7	27,0	27,0	27,3	28,3	27,2	27,5	27,7	27,3	27,4	27,8	26,1	28,7	25,6	27,1	28,5	25,9	24,7	23,8
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,5	25,1	26,8	25,2	25,5	27,2	25,3	25,3	25,1	28,3	24,7	25,1	24,5	25,4	26,5	25,7	25,0	27,1	30,4	31,8
FeO <sub>t</sub>	1,9	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	1,9	1,9	1,8	2,0
TiO <sub>2</sub>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
ZnO	101,3	101,6	100,8	100,5	100,3	100,6	101,3	100,0	100,6	100,3	100,5	100,7	100,9	101,2	101,1	101,4	101,1	99,6	99,1	99,4
Total																				
	Cátions Baseados em 4 Oxigênios																			
Al	1,048	1,092	1,085	1,062	1,023	1,041	1,067	1,000	1,064	1,070	1,042	1,057	1,115	1,049	1,112	1,072	1,027	1,034	1,048	1,035
Mg	0,659	0,655	0,582	0,660	0,686	0,574	0,665	0,712	0,637	0,531	0,685	0,644	0,653	0,622	0,616	0,640	0,667	0,655	0,557	0,554
Cr	0,635	0,608	0,628	0,623	0,632	0,663	0,622	0,638	0,641	0,642	0,632	0,641	0,597	0,663	0,587	0,621	0,658	0,606	0,590	0,569
Fe <sup>+3</sup>	0,215	0,200	0,191	0,215	0,241	0,200	0,212	0,257	0,198	0,192	0,224	0,203	0,191	0,191	0,201	0,205	0,216	0,255	0,259	0,285
Fe <sup>2+</sup>	0,375	0,377	0,440	0,372	0,353	0,447	0,371	0,332	0,389	0,486	0,350	0,384	0,375	0,402	0,414	0,391	0,366	0,383	0,474	0,481
Ti	0,042	0,042	0,041	0,042	0,042	0,042	0,041	0,042	0,042	0,043	0,042	0,043	0,042	0,043	0,042	0,043	0,041	0,042	0,041	0,045
V	0,005	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006
Zn	0,004	0,003	0,004	0,002	0,003	0,004	0,001	0,002	0,002	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,004	0,003	0,005	0,003
	Razão Fe <sup>2+</sup> /Mg - Cátions Baseados em 4 Oxigênios																			
Fe <sup>2+</sup> /Mg	0,5699	0,575	0,7565	0,5643	0,5151	0,7784	0,558	0,4658	0,6106	0,9155	0,5113	0,5955	0,5749	0,6467	0,6722	0,6106	0,5487	0,5849	0,8512	0,8687

## 4.2 Bacia de Volta Redonda – RJ

### 4.2.1. Análise mineralógica de grãos em Lupa Binocular

Na amostra do solo de ankaramito da Bacia de Volta Redonda repetiu-se o mesmo procedimento para preparação e análise dos minerais. A Tabela 3 apresenta os resultados semiquantitativos dos grãos de Volta Redonda analisados em Lupa Binocular.

Tabela 3: Tabela da porcentagem de peso dos minerais de Volta Redonda separados por fração.

Mineral	Amostra	Volta Redonda		Volta Redonda		Volta Redonda		Volta Redonda		Volta Redonda		Volta Redonda		CODIFICAÇÃO	LEGENDA		
	Fração	0,1A		0,3A		0,5A		0,7A		1A		>1A			Total peso(g)		
	Peso (g)	0,025		0,0359		0,0649		0,003		0,001		0,0066		0,18g		95 - 100%	T
	%	14,3%		20,5%		37,1%		1,7%		0,6%		3,8%		Total(%)		85 - 95%	9
	100%	14,3%		20,5%		37,1%		1,7%		0,6%		3,8%		Total(%)		75 - 85%	8
Siderita		15%	0,0025	0%	0	0%	0,0000	0%	0	0%	0	0%	0	11,70%	1	65 - 75%	7
Titano-augita		0%	0	0%	0	4%	0,0004	6%	0,001	5%	0,0001	0%	0	10,79%	1	55 - 65%	6
Aegerina-augita		0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0,24%	D	45 - 55%	5
Iddingsita		40%	0,01	20%	0,0054	15%	0,0140	17%	0,0003	15%	0,0002	15%	0,0026	25%	2	35 - 45%	4
Cromita		25%	0,0063	40%	0,0144	38%	0,021	40%	0,0007	35%	0,0004	40%	0,0016	22,70%	2	25 - 35%	3
Analcita		20%	0,005	0%	0	0%	0	0%	0,000	0%	0	0%	0	4,18%	R	15 - 25%	2
Frag de Rocha		0%	0	40%	0,0144	49%	0,024	35%	0	45%	0,0005	45%	0,0025	20,00%	2	5 - 15%	1
Pirita		0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	/	1 - 5%	R
Monazita		0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0,56%	tr	< 1%	D
Zircão		0%	0	0%	0	0%	0	1%	0,0002	0%	0	0%	0	2,00%	D	Traços	Tr
Apatita		0%	0	0%	0	1%	0,0055	1%	0,00063	0%	0	0%	0	2,8%	tr		
Mica		0%	0	0%	0	2%	0,0013	0%	0	0%	0	0%	0	0,96%	/		

A fração 0,1A da amostra de Volta Redonda é representada principalmente por grãos de iddingsita (Figura 34), analcita e cromita.



Figura 34: Grão de iddingsita na fração 1A- Volta Redonda.

A fração 0,3 A é composta principalmente por fragmentos de rocha e cromita (Figura 35), que juntos representam grande parte da fração, seguido de quantidades menores de siderita (Figura 35).



Figura 35: Grãos de siderita na fração 0,5A – Volta Redonda.

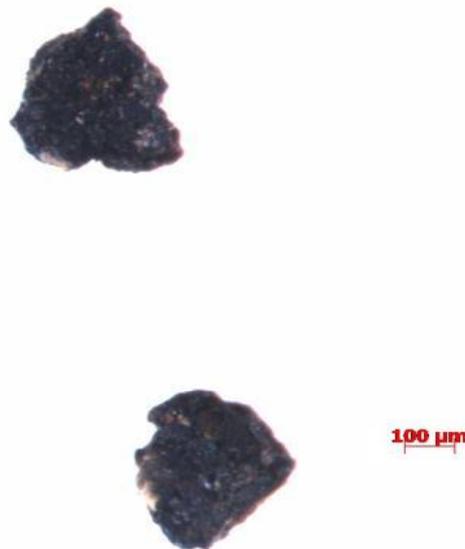


Figura 36: Grãos de cromita na fração 0,5A- Volta Redonda.

A fração 0,5 A é bem similar à fração 0,3A, diferenciando-se pela presença de grãos avermelhados e vítreos de iddingsita e redução considerável da proporção de

fragmentos de rocha. O aparecimento de grãos do piroxênio titanoaugita (Figura 37) e de grãos pequenos e apatita também marcam esse intervalo.

A fração 0,7A possui a maior proporção de iddingista e de piroxênio da amostra dos minerais pesados de Volta Redonda. Nota-se também a presença de um mineral claro de hábito placóide descrito como uma mica. Por fim, a fração 1A do solo de Volta Redonda é caracterizada principalmente por iddingsita, fragmento de rocha e cromita.



Figura 37: Grão de piroxênio na fração 0,5A – Volta Redonda.

## Petrografia

### 4.2.2. Análise das lâminas VR1/ VR2:

Os fenocristais do ankaramito de Volta Redonda são majoritariamente de titanoaugita e pouca olivina, com matriz microscristalina formada por titanoaugita, plagioclásio, analcita, apatita e opacos. Amígdalas e vesículas são preenchidas principalmente por calcedônia e analcita, poucas são preenchidas por carbonato. Sua moda fica então em 48% de titanoaugita, 8% olivina, 4 % apatita, 12% analcita, 3% de zeólita, calcedônia e carbonato, por fim, 7% de plagioclásio.

O ankaramito de Volta Redonda também apresenta textura inequigranular porfirítica, fenocristais de granulação média e índice de cor melanocrático. Os

fenocristais de titanogaugita e olivina são de tamanho em torno de 2 a 6 mm. Os cristais de titanogaugita possuem faces bem formadas (hipidiomórficas) em sua maioria, cores de interferência de 2<sup>o</sup> ordem como amarelo, rosa e violeta. Na lâmina apresentam hábitos de prismas curtos à granulares e extinção oblíqua. Alguns cristais de titanogaugitas apresentam zonação composicional e em outros cristais observam-se maclas (Figura 38 B).

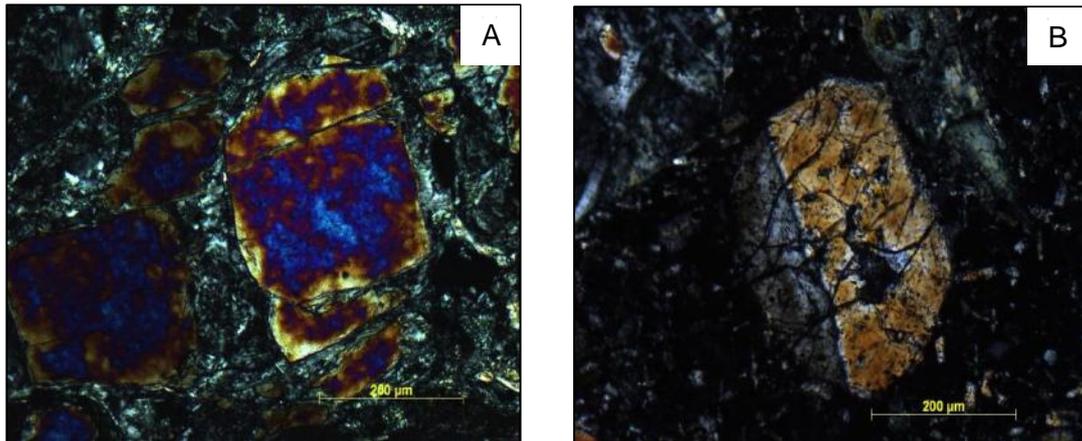


Figura 38: A) Cristal de augita a nicóis cruzados - lâmina VR 1 B) – Cristal de augita maclada lâmina VR 1 sob nicóis cruzados.

Já os cristais de olivina (Figura 39) em sua maioria estão alterados para iddingsita, e são bastante fraturados. Nas fraturas da olivina e vesículas da matriz observa-se a ocorrência de carbonatos em pouca quantidade. Alguns cristais de iddingsita são alterações do piroxênio (Figura 40).

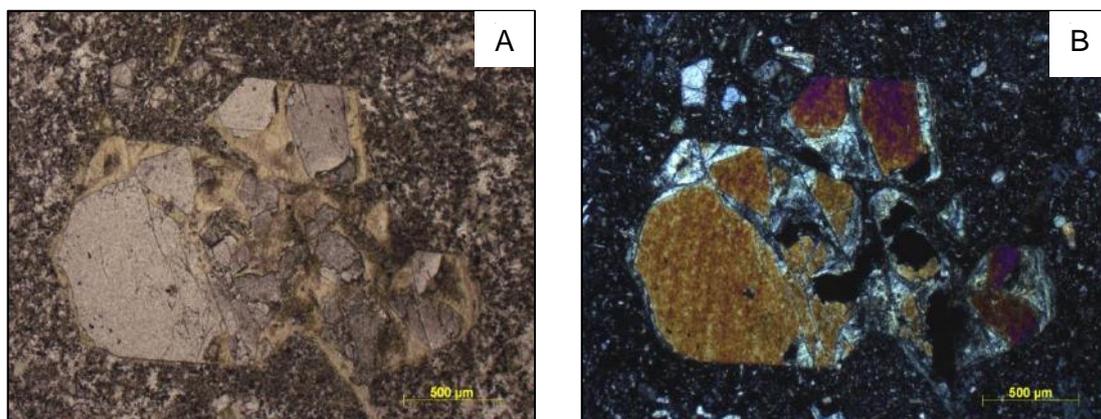


Figura 39: A) Olivina alterada a nicóis descruzados - lâmina VR 2 B) Lâmina VR 2 sob nicóis cruzados.

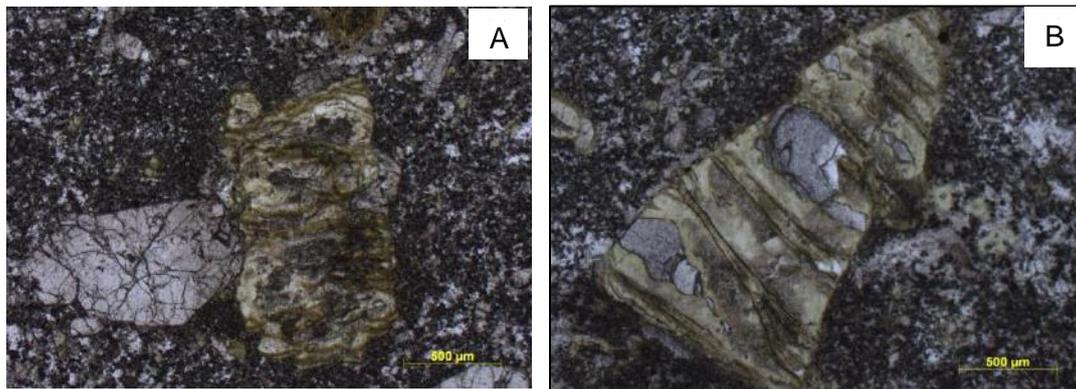


Figura 40: A) Cristal de iddingsita a nicóis descruzados - lâmina VR 2 B) Lâmina VR 2, observa-se iddingsita sob nicóis descruzados.

Os cristais de apatita são bem pequenos de tamanho 0,5 mm e incolores, com relevo médio, e hábito tabular, sua cor de interferência é cinza de 1° ordem.

O plagioclásio encontrado na matriz da rocha possui forma tabular (“ripas de plagioclásio”) com cristais que variam de 1 a 3 mm e cor de interferência cinza de 1° ordem. Por fim, as amígdalas observadas na matriz possuem um tamanho em média de 0,5 - 0,7 mm, e ora são preenchidas por calcedônia e zeólitas (Figura 41), e ora por analcita e calcita (Figura 42).

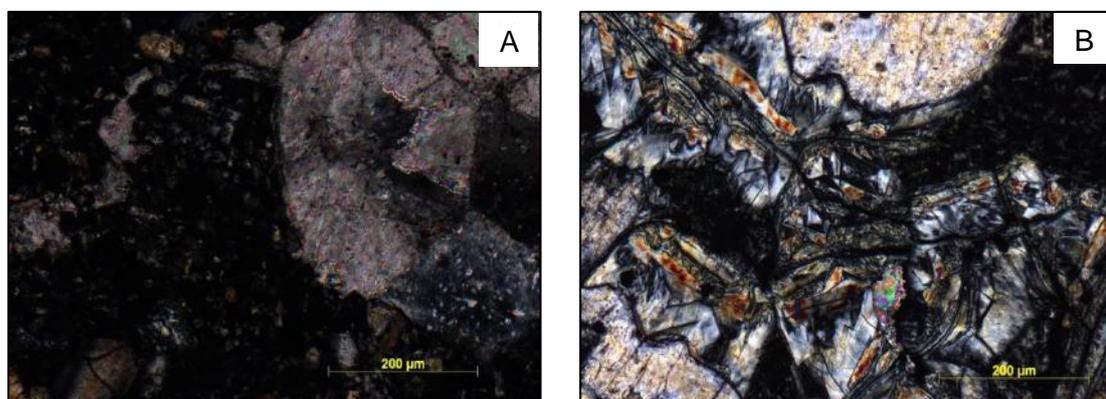


Figura 41: A) Vesícula preenchida por calcita a nicóis cruzados - lâmina VR 2 B) Vesícula preenchida por zeólita - lâmina VR 2 sob nicóis cruzados.

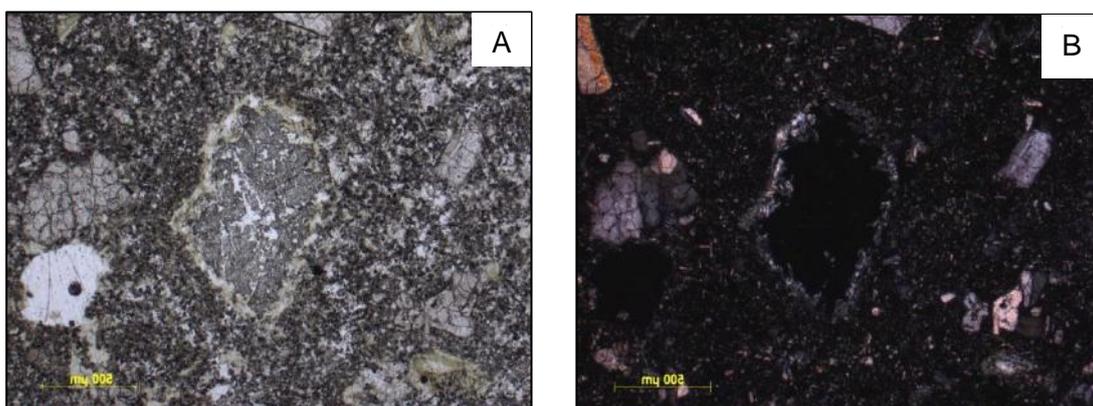
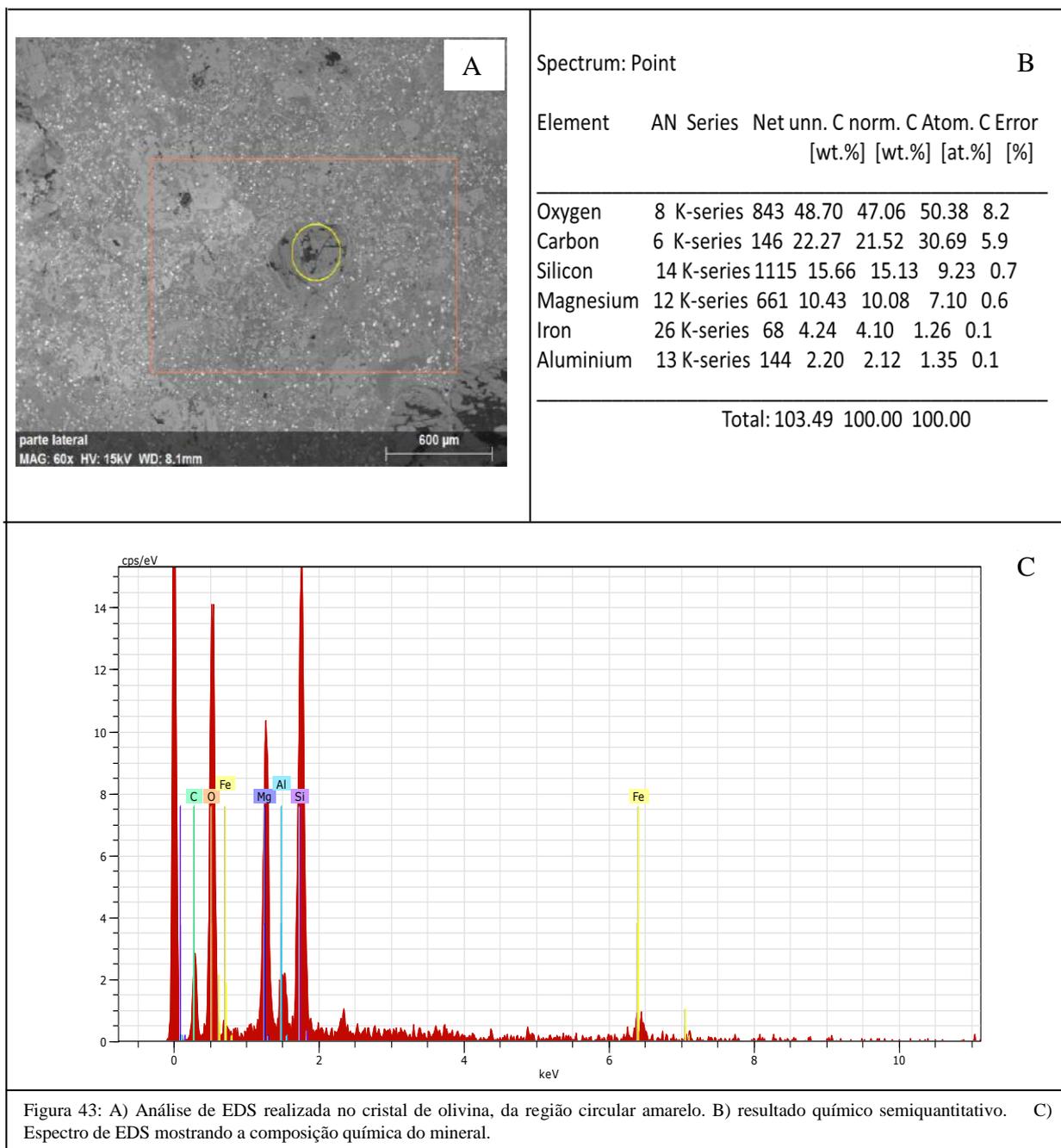


Figura 42: A) Vesícula preenchida por analcita e calcita a nicóis descruzados - lâmina VR 2 B) Lâmina VR 2 sob nicóis cruzados.

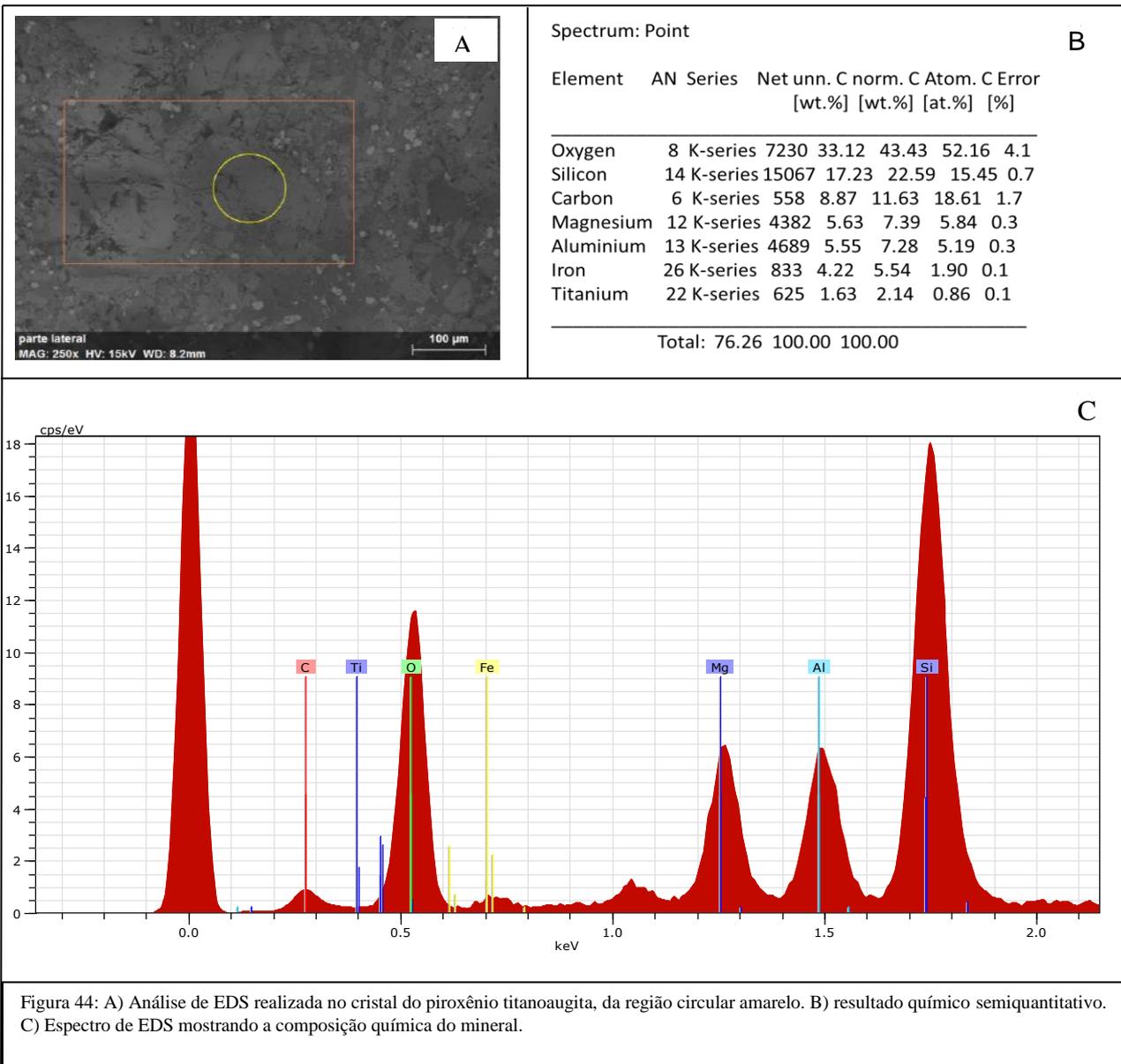
### **4.2.3. Análises de MEV e Espectrometria de Energia por Dispersão de Raios X (EDS)**

Através das análises do MEV foi possível diferenciar alguns opacos como ilmenita e cromita, além de determinar as composições químicas dos fenocristais da rocha como olivina e titanoaugita. As análises químicas semiquantitativa feitas por EDS também determinaram a composição dos minerais que preencheram as amígdalas encontradas na seção delgada com calcedônia, zeólitas e calcita.

Na Figura 43, observa-se a análise de EDS feita para o cristal de olivina do ankaramito de Volta Redonda, mostrando sua composição de Si e a maior proporção de Mg em relação a Fe, classificada então como uma forsterita.



Para a Figura 44 foi utilizado o mesmo método de análise MEV e EDS, caracterizando o cristal como titanogaugita, piroxênio com composição química com Si, Mg, Fe, Al e Ti, vistos na análise química semiquantitativa (Figura 44 B). Por fim, a Figura 45 mostra os resultados químicos semiquantitativos caracterizados pela presença de Si, Fe, C, O Ti, Mg e Cr. Também foi feito espectro EDS para a cromita da Bacia de Volta Redonda, confirmando a presença do mineral na matriz do ankaramito (Figura 45).



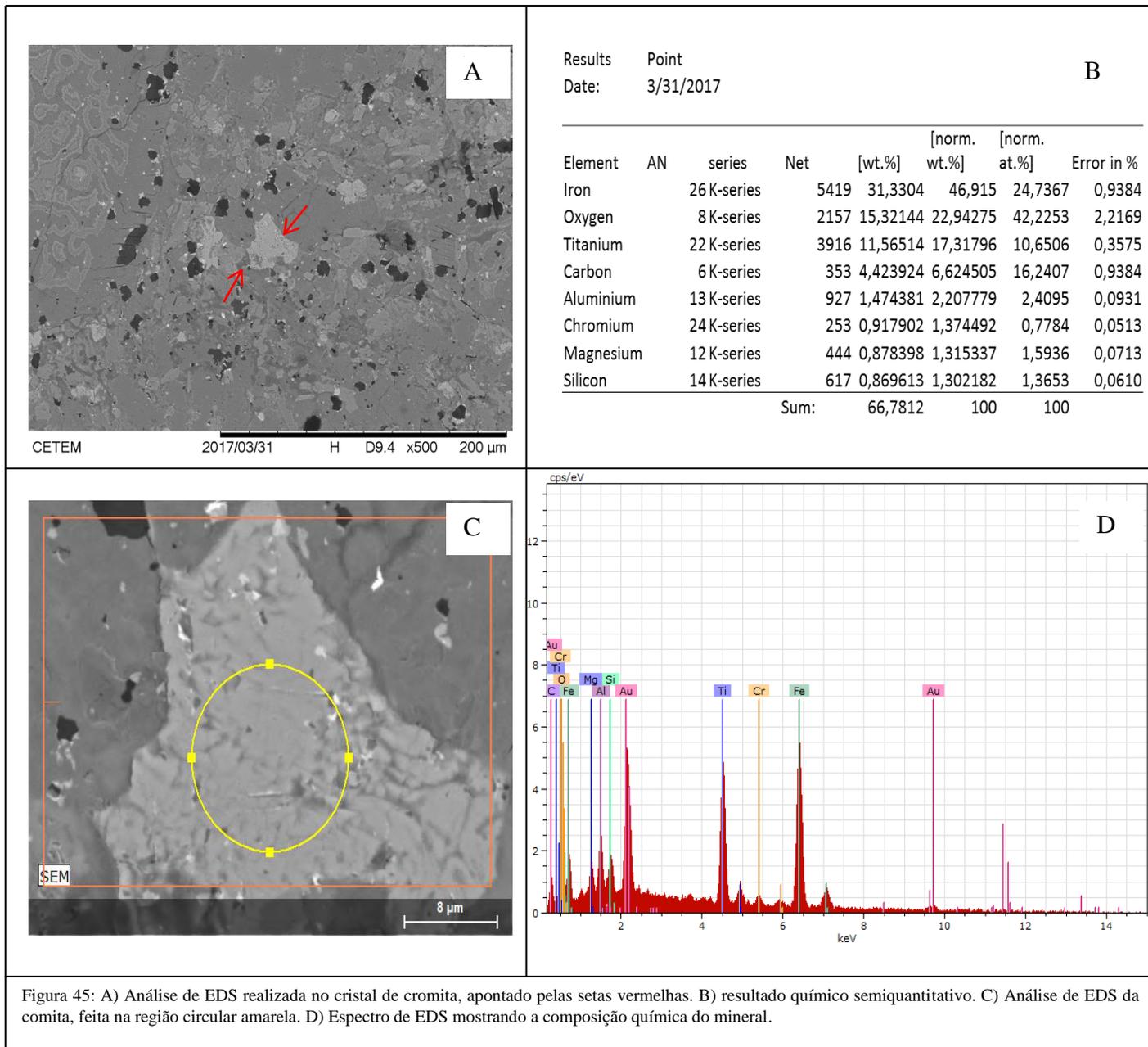


Figura 45: A) Análise de EDS realizada no cristal de cromita, apontado pelas setas vermelhas. B) resultado químico semiquantitativo. C) Análise de EDS da comita, feita na região circular amarela. D) Espectro de EDS mostrando a composição química do mineral.

## 5. Discussões sobre o ankaramito de Itaboraí e Volta Redonda – RJ

Após as análises iniciais em Lupa Binocular seguido de DRX e MEV, a presença da cromita foi confirmada nas duas rochas e mostrou ainda mais similaridades entre os ankaramitos nas bacias de Itaboraí e Volta Redonda.

### 5.1. Discussão sobre a petrografia e mineralogia das rochas:

#### 5.1.1. Mineralogia em grãos

A grande diferença entre as amostras de Itaboraí e Volta Redonda (Figura 46) é, além da proporção de alguns minerais, a presença de pirita na Bacia de Itaboraí, enquanto que na Bacia de Volta Redonda nenhum sulfeto de ferro foi descrito, e também a maior proporção de siderita na amostra de Itaboraí, o que é explicado pelas unidades carbonáticas que preencheram a bacia e foram cortadas pelo ankaramito, levando a uma maior proporção de carbonato no ankaramito de itaboraí. Também é observado que fração 1A do solo de Itaboraí é caracterizada principalmente por analcita e cromita, enquanto que essa mesma fração em Itaboraí é caracterizada por iddingsita, fragmento de rocha e cromita. A presença de monazita e zircão na descrição dos grãos é explicado como contaminação do saprólito durante a coleta, pois eles não fazem parte da mineralogia do ankaramito.

Mineral Peso (g) %	Itaboraí Total peso(g) 3,77g Total (%)	Volta Redonda Total peso(g) 0,18g Total (%)
Siderita	15,77%	11,70%
Titano-augita	2,06%	10,79%
Aegerina- augita	0,15%	0,24%
Iddingsita	13,34%	24,97%
Cromita	13,35%	22,70%
Analcita	10,25%	4,18%
Frag de Rocha	40%	20%
Pirita	3,33%	0%
Apatita	0,9%	1,9%

Figura 46: Quadro mostrando a principais diferenças mineralógicas entre Itaboraí e Volta Redonda, usando Lupa Binocular.

### 5.1.2. Aspectos petrográficos

Comparando os resultados iniciais, percebe-se grande similaridade entre as rochas ankaramíticas analisadas em lâmina delgada. Já as diferenças embora sutis, estão mais relacionadas à textura da rocha e mineralogia, sendo o ankaramito de Volta Redonda mais fino, com menos iddingsita, e a proporção de opacos bem maior, chegando até 18% do total da rocha. Porém, os fenocristais de titanoaugita e olivina de Volta Redonda são levemente maiores que os fenocristais do ankaramito de Itaboraí, com tamanhos em torno de 2 a 6 mm.

As análises petrográficas feitas nos ankaramitos mostram que ambos os derrames são ultramáficos de textura afanítica porfirítica, cuja mineralogia principal é representada basicamente por fenocristais de titanoaugita, olivina e as alterações destes minerais; a iddingsita. A olivina é facilmente alterada hidrotermalmente em rochas máficas, sendo comumente bordeada ou substituída por serpentina, ou como neste caso, por iddingsita (Baker & Haggerty, 1967). Seguidos destes, observam-se os minerais acessórios e opacos que compõem a matriz microcristalina da rocha, como apatita, plagioclásio e amígdalas preenchidas ora por carbonatos ora por zeólita ou calcedônia.

Também observam-se pequenas diferenças em relação à mineralogia como a presença de sulfeto de ferro (pirita) no ankaramito de Itaboraí e sua ausência em Volta Redonda, além da grande presença de calcita preenchendo as amígdalas e vesículas no ankaramito de Itaboraí, provavelmente relacionadas a alterações devido a intrusão do dique de ankaramito nas sequências carbonáticas da bacia.

Pelas análises do MEV foram observadas feições similares daquelas obtidas no ankaramito de Itaboraí quanto à identificação de minerais primários e secundários. Assim, o resultado da petrografia feita nas lâminas Basanito VR1 e Basanito VR2 em conjunto com a análise feita no MEV, mostrou a presença de amígdalas também preenchidas por calcita em Volta Redonda, embora em proporção muito menor (<1% do total). Diferentemente de Itaboraí a presença da calcita nessa rocha merece uma investigação mais detalhada, uma vez que as unidades cortadas pelo derrame ankaramítico da área são compostas por rochas siliciclásticas. A calcita preenchendo fraturas e cavidades da matriz em rochas ígneas normalmente é relacionada à alteração hidrotermal (White et al., 2005). Em decorrência disso interpretou-se que o carbonato

de cálcio encontrado no ankaramito de Volta Redonda pode ser produto de alteração hidrotermal dos plagioclásios que compõem a matriz da rocha. Essa alteração resultaria em um fluido saturado em cálcio que precipitou calcita nas amígdalas da rocha, junto ao fato de e que o próprio magma alcalino ter CaO em sua composição.

## 5.2. Discussão sobre a química da cromita e a sua gênese:

### 5.2.1. Química da cromita de Itaboraí

As cromitas de Itaboraí são marcadas pela alta concentração de alumínio. A proporção de  $Al_2O_3$  representa mais de 1/3 de sua composição, o que acabou gerando um resultado ambíguo quando plotadas no gráfico de Stevens (1944), onde os pontos dos grãos analisados foram plotadas em uma área limite entre espinélio cromífero e cromita aluminosa (Figura 47). O diagrama ternário de Stevens (1944) é usado para classificação de cromitas, espinélios e magnetitas.

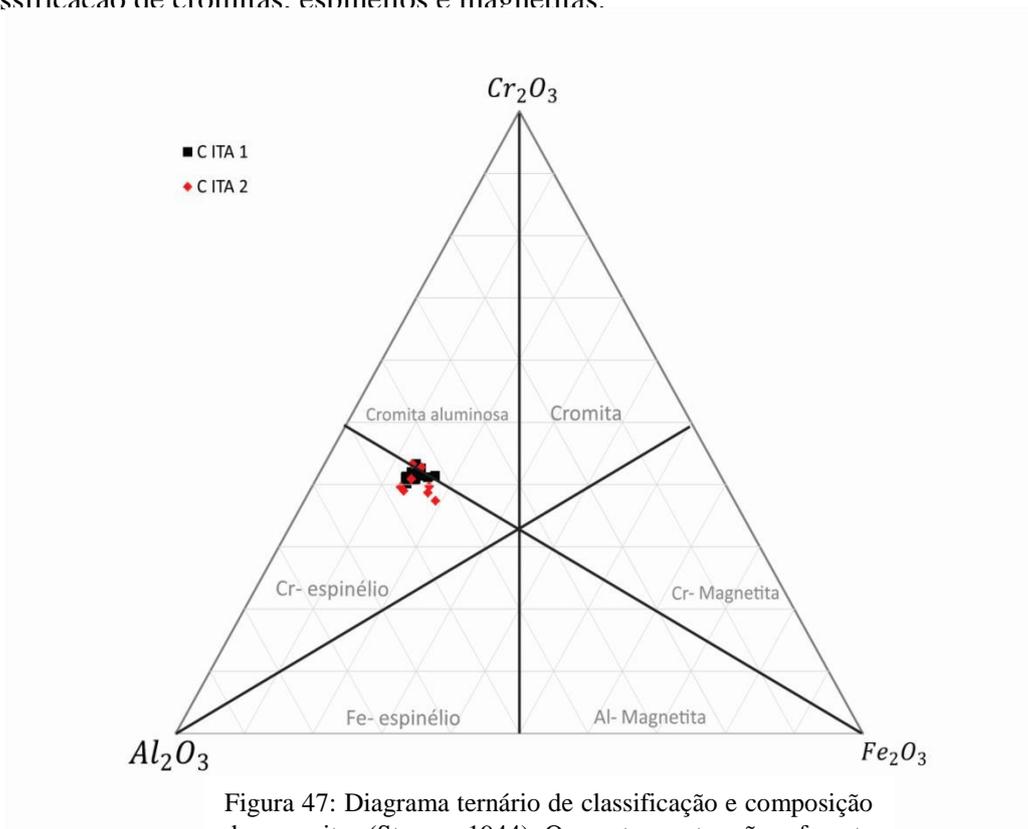


Figura 47: Diagrama ternário de classificação e composição das cromitas (Stevens,1944). Os pontos pretos são referente as cromitas do Grupo 1, e os pontos vermelhos as cromitas pertencenes ao grupo 2, segundo a Tabela 2 das análises em

O espinélio cromífero pode ser entendido como uma solução sólida dependente das proporções de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , e presentes em muitas intrusões de magma basáltico toleítico ou magmas basálticos com alto teor de alumínio (Irvine, 1965).

Por possuir grande similaridade com a cromita aluminosa, muitas vezes sua diferença química é apenas em relação a quantidade de Cr e Al. Desta forma, para melhor diferenciação destes minerais é necessário o uso de outras análises como petrografia, dados químicos, estudos dos minerais normalmente associados tanto ao espinélio cromífero como a cromita aluminosa, as rochas em que ocorrem, além da investigação de seus constituintes menores (Irvine, 1967). Por isso, Thayer (1964) propôs que para uma maior clareza na discussão e descrição dos tipos de depósito de cromitas fosse adotado o termo geral cromita, que incluiria todos os espinélios de cromo que ocorrem ou são derivados de rochas ultramáficas.

Em estudo realizado sobre o comportamento geoquímico do cromo na alteração das rochas ultramáficas mineralizadas de Campo Formoso, Bahia (Barbosa *et al.*, 1996), foi definido que os “ espinélios cromíferos” fossem representados por cromitas, com teores de Cr em torno de 27% a 40%. Essas cromitas, as fontes primárias de cromo, passariam por um processo de transformação supergênica tornando-se em ferrocromitas com teores de Cr entre 13% e 27%. Baseando-se também nessa pesquisa, o teor de Cr dos minerais estudados em Itaboraí, que está entre 24,7% a 28,7%, permite classificá-los como cromitas.

Depois, para classificação do tipo de cromita foi usado o diagrama de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  proposto por Thayer (1964). Este modelo de classificação foi adotado pelo autor para estudar as distribuições e tipos dos depósitos de cromita baseado na descrição detalhada do depósito de cromita podiforme de Guleman- Soridag, Turquia.

Dickey (1975), estudando o complexo estratiforme de Stillwater, estabeleceu uma classificação de cromita baseada na razão  $\text{Fe}^{2+}$ : Mg e interpretou seus resultados junto ao gráfico de Thayer (área pontilhada da Figura 47), no qual os valores entre 0,67 - 1,59 compreendem os depósitos de cromita do tipo estratiforme.

Os valores calculados para a cromita de Itaboraí se concentraram no intervalo entre 0,56 - 0,9, o que permite indicar um caráter predominantemente estratiforme para elas, quando comparado com o intervalo proposto por Dickey (1975). Também foi estabelecido um intervalo entre 0,4 - 0,45 para cromitas do tipo podiforme usando o mesmo método de  $Fe^{2+}/Mg$ , apesar das primeiras amostras terem resultados muito próximas a essa razão. É aceitável a interpretação do depósito como estratiforme, pois analisando o gráfico observamos que os dados da microsonda, em sua maioria, estão plotados no limite (linha pontilhada) da área de classificação para depósito estratiforme (Figura 48), com exceção de dois pontos, referentes as duas primeiras análises da Tabela 2.

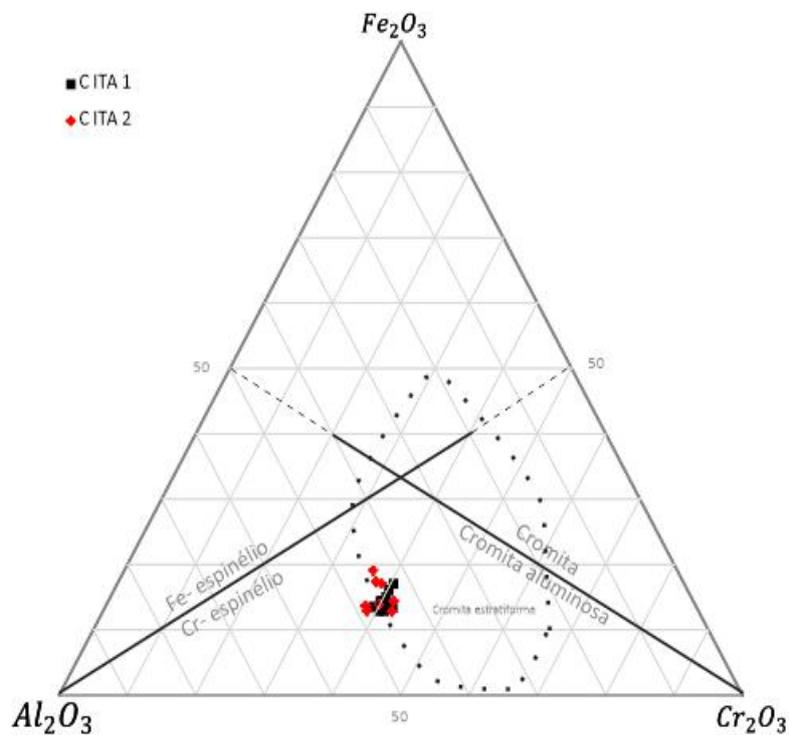


Figura 48: Diagrama ternário de  $Al_2O_3$  -  $Cr_2O_3$  -  $Fe_2O_3$  (Thayer, 1964). Os pontos pretos são referente às cromitas do Grupo 1, e os pontos vermelhos as cromitas pertencentes ao Grupo 2, segundo a Tabela 2 das análises em Microsonda Eletrônica.

Assim, em conjunto com outras análises utilizadas para o estudo deste mineral, como petrografia, MEV-EDS e DRX (além da característica tectônica de sua ocorrência em ambiente de rifte), concluiu-se que os minerais analisados são cromitas

com alto teor alumínio, até por sua característica de ser um mineral opaco observado em microscópio petrográfico.

### 5.2.2. Gênese

Segundo Klein & Valença (1984) os derrames ocorridos na Bacia de São José de Itaboraí e Volta Redonda são resultados de movimentações rápidas de blocos, com implicações nas câmaras magmáticas em relação aos espasmos efusivos do evento magmático básico-alcálico que afetou a margem sudeste do Brasil durante o Paleoceno. Por isso os derrames são resultados de um afinamento crustal durante o esforço distensivo da fase rifte (Riccomini *et al.*, 1983).

As intrusões máficas-ultramáficas são resultado do soergimento do manto e para ocorrência de depósito de cromita nessas intrusões é preciso a acumulação de cristais e/ou fluxos convectivos de fluidos (Schulte *et al.*, 2012). Segundo Irvine (1975), é necessário que tenham ocorridos processos de injeção de magmas jovens na câmara magmática para que a composição do magma possa entrar no campo da cromita, para que esta seja depositada (cristalização fracionada). Após a saída da cromita do líquido, outros minerais são depositados.

Os depósitos de cromita resultam da cristalização do mineral no processo de resfriamento do magma. Os estratiformes, como o próprio nome indica, são tabulares, ocorrem em leitos de intrusões ígneas e são responsáveis por mais de 90% das reservas de cromo conhecidas em todo o mundo. Os depósitos podiformes são tipicamente lentiformes a pouco tabulares, todavia, alguns são muito irregulares, e em termos de reservas, variam desde poucas dezenas de quilogramas, a vários milhões de toneladas.

Os grandes depósitos de cromita estratiforme mundiais são comagmáticos com as intrusões e tipicamente formados em províncias anorogênicas em ambientes intraplaca. Porém existe debate considerável sobre o controle estrutural relacionado aos depósitos de cromita estratiforme (por exemplo, o Musko, Great Dyke e intrusões de Burakovsky) que mostram um ambiente de formação do tipo rifte continental (Schulte *et al.*, 2010). No caso do RCSB, as duas condições de formação são satisfeitas.

Os resultados encontrados na análise de microsonda eletrônica para as cromitas de Itaboraí, permitiram classificá-las como sendo originadas em depósito tipo

estratiforme (Dickey,1975) devido sua razão de  $Fe^{+2}/Mg$ , conforme visto no gráfico da Figura 48.

Assim, o ambiente de formação da cromita de Itaboraí combina perfeitamente com a proposta dos depósitos estratiformes e com o ambiente de formação dos ankaramitos. Tanto a Bacia de Itaboraí como a Bacia de Volta Redonda estão inseridas no contexto de abertura do Rifte Continental do Sudeste do Brasil e de magmatismo intraplaca, pela geração de magma ultrabásico-alcálico, representado nos ankaramitos.

## 6. Conclusão

Este trabalho buscou descrever os aspectos mineralógicos, petrológicos e químicos do ankaramito da Bacia de Itaboraí, objetivando correlacioná-lo com derrame similar encontrado na Bacia de Volta Redonda, que apesar de idades diferentes, são as únicas onde essas rochas vulcânicas foram descritas no RCSB e na porção continental do Brasil. A relevância do estudo deu-se por esse tipo de análise ainda não ter sido realizada. Embora existam muitos trabalhos publicados em diversos temas nas bacias, este é o primeiro que pesquisa estas rochas com mais detalhe e identifica a presença de cromita nos derrames ankaramíticos das duas bacias.

Comprovou-se ao longo dos ensaios a grande similaridade entre os derrames, considerando todos os estudos realizados como mineralogia, textura, gênese e composição química. Por fim, pode-se sugerir como possibilidade de origem, considerando as similaridades composicionais e a sobreposição do erro das idades calculadas para as duas rochas, que elas possivelmente são parte de um mesmo evento em pulsos diferentes. A grande distância entre ambas, as pequenas dimensões das ocorrências e o fato de não existirem outras como elas mapeadas entre os cerca de 130 km que separam em linha reta os afloramentos, não permite conectá-las num mesmo pulso.

Para trabalhos futuros a serem realizados na Bacia de Itaboraí e na de Volta Redonda sobre este tema, recomenda-se uma análise mais profunda de ambos ankaramitos, usando métodos como análise da composição química dos elementos maiores e menores da rocha, e também análises mais detalhadas da cromita de Volta Redonda, como feito em Itaboraí. Estudos sobre a geometria dos corpos também são importantes e no caso de Itaboraí, geofísica é necessária.

Se os derrames ankaramíticos são realmente pulsos diferentes do mesmo evento ou eventos diferentes, fica em aberto, porém é evidente que os derrames da Bacia de Itaboraí e Volta Redonda possuem semelhanças que merecem ser melhor detalhadas.

## 7. Referências Bibliográficas

Adler, P. 2016. Calcretes e travertinos da Bacia de Itaboraí, Estado do Rio de Janeiro. 489p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Adler, P.B et al. Calcretes pedogenéticos da Bacia de Itaboraí, Estado do Rio de Janeiro. Pesquisas em Geociências, Porto Alegre, Rs, n. 44, p.255-274, ago. 2017. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/igeo/pesquisas/4402/054402.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2017.

Baker, I. & Haggerty.1967. The alteration of olivine in basaltic and associated lavas, Part II- Intermediate and low temperature alteration.S.E. Contr. Mineral. and Petrol. 16: 258-273.

Beltrão, M.C.M.C., Rodrigues Francisco, B.H., Perez, R. A. R., Bezerra, F.O.S., Carvalho, B.; Caniné, J.M.M. & Koatz, G.D. 2001. O Parque Paleontológico de São José de Itaboraí (Rio de Janeiro) e seu Entorno. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 2: 53-55.

Bergqvist, L.P. 2001. Advantages and restrictions in the use of postcranial skeleton in phylogenetical analysis: the example of the “Condylarthra” of Itaboraí Basin. *Arquivos do Museu Nacional*, 60(3): 183-187. BERGQVIST, L. P.; MOREIRA, A.L. & PINTO, D.R. 2006. Bacia de São José de Itaboraí: 75 anos de história e ciência. Rio de Janeiro, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 84p. 51

Bergqvist, L.P.; Mansur, K.; Rodrigues. M.A.; Rodrigues-Francisco, B.H.;Perez, R.A.R.; BELTRÃO, M.C.M.C. 2008. Bacia São José de Itaboraí, RJ - Berço dos mamíferos no Brasil. In: WINGE,M.; SCHOBENHAUS,C.; SOUZA,C.R.G.; FERNANDES,A.C.S.; BERBERT-BORN,M.; QUEIROZ,E.T.; (Edit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Publicado na Internet em 25/04/2008 no endereço: <http://sigep.cprm.gov.br/sitio123/sitio123.pdf>

Dickey, J. S. (1975), A hypothesis of origin for podiform chromite deposit, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **39**, 1061–1074

Ferrari, A.L. 2001. *Evolução tectônica do Graben da Guanabara*. São Paulo, 412p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Gonçalves, Maria de Melo. Cromo. Balanço Mineral Brasileiro, 2001. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/cromo.pdf>. Acesso em: 19 out. 2013.

Guerra, L., 2014. Criação e organização do acervo de amostras de rochas e minerais do laboratório de Geologia do Parque Paleontológico de São José de Itaboraí, RJ .2014. Iniciação científica. Iniciação Científica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do RJ. Orientador: Kátia Leite Mansur

Irvine, T.N., 1965, Chromian spinel as a petrogenetic indicator—Part 2. Theory. *Can. J. Earth Sci.* 2,648.

Irvine, T.N., 1967, Chromian spinel as a petrogenetic indicator—Part 2. Petrologic applications: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 4, no. 1, p. 71–103.

Irvine, T.N. 1975. Crystalization sequences in the Muskox intrusion and other layered intrusion:II. Origino f chromite layers and similar deposits of other magmatic cores. *Geochim. Cosmochim. Acta* 39-1020.

Klein, V.C. & Valença, J.G. 1984. Estruturas almofadadas em derrame ankaramítico na bacia de São José de Itaboraí, Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXIII, 1984, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, SBG, v. 9, p. 4335-4339.

Klein, V. C. & Bergqvist, L. P. 2002. Excursão à bacia de São José de Itaboraí, Rio de Janeiro. *Arquivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro*, 60(3): 245-256.

Mansur, K.L.; Bergqvist, L.P.; Oliveira, L.G.V.; Siqueira, D.; Rodrigues, M.A.; Castro, L.O.R. 2014. Criação e organização do acervo de amostras de rochas e minerais do laboratório de geologia do Parque Paleontológico de São José de Itaboraí, RJ. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, Salvador, 2014.

Mota, C.E.; Geraldes, M.C.; Jourdan, F.; Bergamaschi, S. & Motoki, A. 2015. Idade Ar/Ar do Ankaramito de São José de Itaboraí, Rio de Janeiro: Considerações acerca do magmatismo Pós-Cretáceo. *In: XV SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS*, IX Internacional symposium on tectonics, 2015, Vitória. *Resumos expandidos...* Vitória, p. 646-649.

Medeiros, R.A. & Bergqvist, L.P. 1999. Paleocene of the São José do Itaboraí Basin, Rio de Janeiro, Brazil: Lithostratigraphy and Biostratigraphy. *Acta Geologica Leopoldensia*, 22(48): 3-22

Parfenoff, A.; Pomerol, C. & Tourenq, J. 1970. *Les Minéraux en Grains méthodes d'étude et détermination*. Paris: Masson & Cie. 578p.

Reed, S. J. B. 1996. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*, New York, Cambridge University Press. 201 p.

Rodrigues Francisco, B.H. & Cunha, F.L.S. 1978. Geologia e estratigrafia da bacia de São José, município de Itaboraí, RJ. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 50(3): 381-416. RODRIGUES FRANCISCO, B.H.; KLEIN, V.C. & CUNHA, F.L.S. 1982. Novas descobertas de rochas alcalinas na bacia de São. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual do Rio de Janeiro.

Riccomini, C., Melo, M.D., Almeida, F.D., Carneiro, C.D.R., Mito, J.A., & Hasui, Y. 1983. Sobre a ocorrência de um derrame de ankaramito da bacia de Volta Redonda (RJ) e1048 sua importância na datação das bacias tafrogênicas continentais do sudeste brasileiro. *In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA*, 1049 4., 1983, São Paulo, *Resumos*. São Paulo, SBG, p. 23-24.

Riccomini, C. 1989. O Rift Continental do Sudeste do Brasil. São Paulo, 256p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Riccomini, C; Melo, M.S.; Coutinho, J.M.V. 1991. Late cretaceous early tertiary ultrabasic magmatism in the western part of the State of Rio de Janeiro, Brazil. São Paulo. Bol.IG-USP, Publ.Esp.,10:77-84

Riccomini, C.; Sant'anna, L. G. & Ferrari, A. L. 2004. Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: Montesso-Neto, V.; Bartorelli A.,Carneiro C.D.R.; Brito-Neves B.B (Ed.). Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Editora Beca, p. 283-405. 55

Riccomini, C. & Rodrigues Francisco B. H. 1992. Idade potássio-argônio do derrame de ankaramito da bacia de Itaboraí, Rio de Janeiro, Brasil: implicações tectônicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXVII, 1992, São Paulo. Boletim de Resumos Expandidos... São Paulo, SBG, p. 469-470.

Sanson M.S.R. 2006. Sistemas deposicionais aluviais e tectônica cenozóica na região de Volta Redonda (RJ) – Rift Continental do Sudeste do Brasil. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 151 p.

Sanson M.S.R., Ramos R R.C., Mello C.L. 2006. Bacias Sedimentares Brasileiras - Bacia de Volta Redonda. Phoenix, 88:1-6.

Schulte, R.F., Taylor, R.D., Piatak, N.M., and Seal, R.R., II, 2010, Stratiform chromite deposit model: U.S. Geological Survey Open-File Report 2010–1232, 7 p.

Schulte, R.F., Taylor, R.D., Piatak, N.M., and Seal, R.R., II, 2012, Stratiform chromite deposit model, chap. E of Mineral deposit models for resource assessment: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–E, 131 p.

Sorensen, H - 1974 - 'Thee alkaline rocks. JOHN WILEY & SCNS, New York, 622 p.

Stevens, R. E., 1944, Composition of some chromites of the Western Hemisphere: *Am.Mineralogist*, v. 29, p. 1-34.

Thayer, T. P. (1964). Principal features and origin of podiform chromite deposits, and some observations on the Guleman-Soridag district, Turkey. *Econ. Geol.* 59, 1497-1524.

White, A.F., Schulz, M.S., Lowenstern, J.B. et al. (2005). The ubiquitous nature of accessory calcite in granitoid rocks: Implications for weathering, solute evolution, and petrogenesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 69, 1455-71.

Zalán, P. & Oliveira J. 2005. Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 13(2): 269-300.

**Apêndice I** - Tabela de comparação dos minerais pesados identificados em lupa binocular nas Bacias de Itaboraí e Volta Redonda

Tabela de comparação dos grãos das Bacias de Itaboraí e Volta Redonda														
Mineral	Amostra		0,1A		0,3A		0,5A		0,7A		1A		>1A	
	Itaboraí	V. Redonda	Itaboraí	V. Redonda										
Peso (g)	0,0149	0,025	1,1617	0,0359	0,0649	0,0649	0,0234	0,003	0,021	0,001	0,001	0,0066	3,77g	0,18g
	8,5%	14,3%	30,8%	20,5%	55,8%	37,1%	0,6%	1,7%	0,6%	0,6%	0,6%	3,8%	Total (%)	Total (%)
Siderita	0%	15%	10%	0%	20%	0%	0%	0%	10%	0%	0%	0%	10%	11,70%
Titano-augita	0%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	0%	25%	0%	0%	0%	20%	10,79%
Aegerina-augita	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	6%	0%	1%	0%	0%	0%	0,24%
Iddingsita	21%	40%	10%	20%	17%	15%	15%	17%	10%	15%	0%	15%	0%	24,97%
Cromita	24%	25%	14%	40%	14%	38%	14%	40%	30%	39%	0%	40%	13,35%	22,70%
Analcita	32%	20%	0%	0%	8%	0%	18%	0%	15%	0%	0%	0%	60%	4,18%
Frag de Rocha	0%	0%	56%	40%	39%	44%	0%	40%	0%	45%	0%	45%	40,00%	20,00%
Pirita	23%	0%	10%	0%	0%	0%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	3,33%	0%
Monazita	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,56%
Zircão	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	0%	0%	0%	10%	2,00%
Apatita	0%	0%	0%	0%	1%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1,90%
Mica	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,96%