



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

**Trabalho Final de Curso
(Geologia)**

**ANÁLISE POR MEV-EDS DOS MINERAIS PESADOS DA FORMAÇÃO
RESENDE NA EXTREMIDADE ORIENTAL DA BACIA DE RESENDE (RJ)**

Aline Garcia dos Santos da Silva

Orientadores:

**Ciro Alexandre Ávila (Depto. Geologia e Paleontologia, MN/UFRJ)
Claudio Limeira Mello (Depto. Geologia, IGEO/UFRJ)**

Rio de Janeiro – RJ – Brasil
Dezembro de 2012

FICHA CATALOGRÁFICA**SANTOS-SILVA, ALINE GARCIA DOS****Análise por MEV-EDS dos minerais pesados da Formação Resende na extremidade oriental da Bacia de Resende (RJ), 2012.**

XIV, 64 p., (Instituto de Geociências – UFRJ, Trabalho Final de Curso, Graduação em Geologia, 2012).

Trabalho Final de Curso: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Geologia.

1. Minerais pesados
2. MEV-EDS
3. Bacia de Resende (RJ)
4. Formação Resende

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

**Trabalho Final de Curso
(Geologia)**

ALINE GARCIA DOS SANTOS DA SILVA

**ANÁLISE DOS MINERAIS PESADOS DA FORMAÇÃO RESENDE,
BACIA DE RESENDE (RJ), POR MEV-EDS**

Aprovada por:

Prof. Dr. Ciro Alexandre Ávila

Prof. Dr. Claudio Limeira Mello

Prof. Dr. Renato Rodriguez Cabral Ramos

Prof. Dr. Ronaldo Mello Pereira

Rio de Janeiro – RJ – Brasil
Dezembro de 2012

“Ora, a fé é a certeza daquilo que esperamos e a prova das coisas que não vemos. Sem fé é impossível agradar a Deus, pois quem dele se aproxima precisa crer que ele existe e que recompensa aqueles que o buscam”

(Hebreus 11:1;6)

SUMÁRIO

<i>Agradecimentos</i>	vii
<i>Resumo</i>	viii
<i>Abstract</i>	ix
<i>Lista de figuras</i>	x
<i>Lista de tabelas</i>	xiii
1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	02
3. METODOLOGIA	02
4. ÁREA DE ESTUDO	04
4.1 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS.....	04
4.2 – GEOLOGIA REGIONAL.....	06
4.3 – ESTRATIGRAFIA DA BACIA DE RESENDE.....	13
4.4 – TECTÔNICA CENOZOICA.....	17
4.5 – MINERALOGIA DA FORMAÇÃO RESENDE.....	21
5. RESULTADOS	24
5.1 – SÚMULA MINERALÓGICA.....	24
5.2 – ANÁLISE DE QUÍMICA MINERAL EM MEV/EDS.....	26
5.2.1 – Seção polida FA-01.....	26
5.2.2 – Seção polida FA-02.....	29
5.2.3 – Seção polida FA-03.....	33
5.2.4 – Seção polida FA-04.....	35
5.2.5 – Seção polida FA-05.....	40
5.2.6 – Seção polida FA-06.....	45
5.2.7 – Seção polida FA-07.....	46
5.2.8 – Seção polida FA-08.....	49

5.2.9 – Seção polida FA-09.....	52
5.2.10 – Seção polida GA-04.....	54
5.2.11 – Seção polida GA-06.....	56
6 – CONCLUSÕES E CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu Deus pelo dom da vida e pela oportunidade de vencer mais essa etapa. Sem ele, nada eu seria e jamais chegaria até aqui. “Porque dele, e por ele, e para ele são todas as coisas; glória, pois, a ele eternamente. Amém!” (Romanos 11:36)

Agradeço grandemente a todos da minha família, que sempre estiveram ao meu lado em todos esses anos de graduação. Obrigada por todo apoio e compreensão em cada prova, campo e pelas orações, que me sustentaram para que eu realizasse o sonho de ser geóloga!

Aos meus orientadores **Ciro Alexandre Ávila** e **Claudio Limeira Mello**, pelo incentivo, contribuições, em fim, por todos os ensinamentos e discussões que foram fundamentais para que eu pudesse realizar esse trabalho.

Ao laboratório de Caracterização Mineralógica do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT), especialmente o pesquisador **Reiner Neumann** pela utilização do uso do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

Aos amigos da graduação – **Manuela Souza**, **Raquel Lima**, **Jucélia Seixas**, **Beatriz Morani**, **Marcelo Velloso** e **Isabella Rios** – agradeço por toda força, ajuda em cada prova, seminário, trabalhos, por cada experiência que trocamos, por cada dia de campo compartilhado. Jamais esquecerei tudo o que vivemos pelos corredores do CCMN!

Enfim, agradeço a todos os que, de alguma forma, contribuíram para que eu alcançasse mais essa etapa na minha vida.

RESUMO

SANTOS-SILVA, Aline Garcia dos. **Análise por MEV-EDS dos minerais pesados da Formação Resende na extremidade oriental da Bacia de Resende (RJ)**. Rio de Janeiro, 2012. xiv, 64p. Trabalho final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Palavras-chave: Minerais pesados; MEV-EDS; Formação Resende

A Formação Resende é considerada a principal unidade litoestratigráfica da bacia de Resende, uma das mais estudadas bacias do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil. Essa formação é constituída por litofácies rudíticas, areníticas e pelíticas interpretadas como leques aluviais, sistema fluvial entrelaçado com fluxos gravitacionais e com afogamentos episódicos. O presente estudo tem como principal objetivo caracterizar a composição química por MEV-EDS (microscopia eletrônica de varredura e sistema de microanálise), bem como as inclusões sólidas presentes em alguns dos minerais pesados. Onze seções polidas com minerais pesados da Formação Resende foram preparadas, provenientes de amostras dos pontos Ferrovia do Aço e Guardian. Foram identificados os seguintes minerais: ilmenita, xenotímio, anfibólio (?), monazita, zircão, espinélio, mineral de alteração associado a ilmenita (óxido de Ti), silicato de Al (sillimanita ou andaluzita ou cianita), óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita) e aluminossilicatos de Fe. Além dos grãos de minerais estudados, diversas inclusões sólidas (quartzo, uraninita, caulinita, óxido de Ti, monazita, apatita, anfibólio, óxido de U e Ca, biotita e óxido de Fe). Os dados obtidos corroboram com os trabalhos anteriores que afirmam que as unidades geológicas proximais teriam uma importância fundamental no fornecimento de sedimentos para o preenchimento da Formação Resende e que os granitoides da borda sul teriam forte influência na deposição. Para uma compreensão abrangente da proveniência dos sedimentos da Formação Resende, são necessários ainda estudos detalhados dos minerais pesados por bateia e MEV-EDS nas unidades geológicas proximais da bacia e nos demais pontos da bacia.

ABSTRACT

SANTOS-SILVA, Aline Garcia dos. **SEM-EDS analysis of Resende Formation heavy minerals at eastern portion of Resende Basin (RJ)**. Rio de Janeiro, 2012. xiv, 64p. Trabalho final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Key-words: Heavy minerals; SEM-EDS; Resende Formation.

Resende Formation is considered the main lithostratigraphic unit of Resende Basin, which is one of the most researched basins of Southeast Brazilian Continental Rift. This formation is composed of rudist, sandy, and pelitic lithofacies, which are interpreted as alluvial fans, braided fluvial system with gravity flows and episodic drowning. The main objective of this study is to characterize the chemical composition of Resende Formation heavy minerals by SEM-EDS (Scanning Electron Microscopy with X-ray microanalysis), as well as the composition of solid inclusions present in this minerals. Eleven polished sections of have been prepared, from Ferrovia do Aço and Guardian outcrops. The following minerals have been identified: ilmenite, xenotime, amphibole (?), monazite, zircon, spinel, mineral alteration associated with ilmenite (Ti oxide), Al silicate (sillimanite or andalusite or kyanite), Ti oxide (rutile or anatase or brookite), and Fe aluminosilicate. In addition several solid inclusions (quartz, uraninite, kaolinite, Ti oxide, monazite, apatite, amphibole, U and Ca oxide, biotite, and Fe oxide) have also been identified in the heavy minerals of Resende Formation. The obtained data corroborates the previous researches, which assert that the proximal geological units have a fundamental relevance in Resende Formation's sediments fill, and that the granitoids in the southern border have a strong influence in the deposition. In order to completely understand Resende Formation's sediments provenance, it is required a detailed research on the heavy minerals by pan, as well as SEM-EDS in the proximal geological units and other outcrops of the basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Microscópio eletrônico de varredura com microanálise pontual por dispersão de energia (MEV-EDS) do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT) utilizado neste trabalho.....	03
Figura 02: Mapa de localização da bacia de Resende, (Albuquerque, 2004).....	04
Figura 03: Trecho do mapa rodoviário do Estado do Rio de Janeiro onde está inserida a bacia de Resende (adaptado de DNIT, 2002).....	05
Figura 04: Mapa geológico simplificado do segmento da Faixa Ribeira que compreende o embasamento da bacia de Resende e seu entorno (adaptado de CPRM, 2007 e Ramos, 2003).....	07
Figura 05: Mapa geológico da Bacia de Resende (Ramos, 2003).....	12
Figura 06: Quadro comparativo da evolução da nomenclatura estratigráfica dos depósitos cenozoicos da Bacia de Resende (Ramos, 2003).....	13
Figura 07: Coluna estratigráfica simplificada da bacia de Resende (Ramos et al., 2005).....	14
Figura 08: Perfis colunares da bacia de Resende (Ramos, 2003). a) Perfil colunar da seção-tipo da Formação Ribeirão dos Quatis. b) Perfil colunar da seção-tipo da Formação Resende. c) Perfil colunar da seção-tipo da Formação Floriano.....	16
Figura 09: Fases evolutivas do Rift Continental do Sudeste do Brasil segundo Riccomini (1989).....	18
Figura 10: (a) Coluna estratigráfica das bacias do Rift Continental do Sudeste do Brasil e fases tectônicas registradas (Riccomini, 1989); (b) Coluna estratigráfica para os sedimentos cenozoicos reconhecidos na região do Alto estrutural de Queluz/SP, e fases tectônicas (Salvador, 1994).....	19
Figura 11: Coluna estratigráfica da bacia de Resende (Ramos, 2003) e fases tectônicas evolutivas cenozoicas reconhecidas por Albuquerque (2004) na bacia.....	20
Figura 12: Mapa geológico modificado de Ramos (2003), com a localização dos afloramentos da Formação Resende estudados por Brêda (2010) e suas prováveis proveniências.....	23
Figura 13: Imagem geral da seção polida FA-01, com 29 (vinte e nove) dos grãos de ilmenita analisados e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.....	27
Figura 14: Imagem geral da seção polida FA-01, com os 3 (três) grãos restantes de ilmenita analisados e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.....	27
Figura 15: Imagens de grãos de ilmenita da seção polida FA-01 com inclusões de caolinita e de óxido de Ti observadas nos grãos 7, 10 (a), 2 (b) e 17 (c). Observar também a localização das análises químicas realizadas nos cristais e nas inclusões.....	30
Figura 16: Imagem geral da seção polida FA-02 com 6 (seis) cristais de xenotímio e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.....	31
Figura 17: Imagem do grão 3 de xenotímio da seção polida FA-02, com zircão ocorrendo em paragênese e respectiva localização da análise química efetuada.....	31
Figura 18: Imagem do grão 5 de xenotímio da seção polida FA-02, com inclusão de monazita e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.....	32
Figura 19: Imagem com grãos de "anfíbólio" da seção polida FA-03, destacando-se os 4 (quatro) cristais estudados e respectiva localização da análise química.....	33

- Figura 20:** Imagem do grão de provável "anfíbólio" 1 da seção polida FA-03, onde se observam inclusões de quartzo e de um outro provável "anfíbólio"..... 34
- Figura 21:** Imagem do grão de provável "anfíbólio" 2 da seção polida FA-03, onde se observam inclusões de zircão..... 34
- Figura 22:** Imagem geral com parte dos grãos de monazita (M) e xenotímio (X) da seção polida FA-04 e respectivas localizações das análises químicas efetuadas..... 35
- Figura 23:** Imagem geral com demais grãos de monazita (M) e xenotímio (X) da seção polida FA-04 e respectivas localizações das análises química efetuada..... 35
- Figura 24:** Imagem do grão X1 de xenotímio da seção polida FA-04, com inclusão de óxido de U e Ca, e respectivas localizações das análises químicas efetuadas..... 37
- Figura 25:** Imagem do grão X2 de xenotímio da seção polida FA-04, com inclusões de monazita e uraninita, e respectivas localizações das análises químicas efetuadas..... 38
- Figura 26:** Imagem do grão X3 de xenotímio da seção polida FA-04, com inclusão de zircão, e respectiva localização da análise química x8..... 38
- Figura 27:** Imagem de grãos de monazita da seção polida FA-04 e respectivas localizações das análises químicas efetuadas..... 39
- Figura 28:** Imagem geral da seção polida FA-05, com os grãos estudados e respectivas localizações das análises químicas efetuadas..... 40
- Figura 29:** Imagem do grão 1 da seção polida FA-05, de um mineral de alteração de ilmenita para rutilo, e localização de análises químicas efetuadas. a) Observar as cavidades geradas pela forte alteração do cristal e a presença de uma inclusão de caolinita. b) Observar a presença de inclusões de óxido de Fe..... 41
- Figura 30:** a) Imagem do grão 8 da seção polida FA-05, de um mineral de alteração de ilmenita para rutilo. b) Observar as cavidades geradas pela forte alteração do cristal e respectivas análises químicas efetuadas..... 42
- Figura 31:** Imagem do grão 10 da seção polida FA-05, de aluminossilicato de Fe, com respectiva localização da análise química efetuada..... 43
- Figura 32:** Imagem do grão 12 (litoclasto) identificado na seção polida FA-05..... 43
- Figura 33:** Imagem geral da seção polida FA-06, com os grãos de óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita) estudados e respectivas localizações das análises químicas efetuadas..... 45
- Figura 34:** Imagem do grão 3 de óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita), fortemente alterado, da seção polida FA-06, com paragênese com um cristal de muscovita, e respectiva localização da análise química efetuada..... 45
- Figura 35:** Imagem geral da seção polida FA-07, com os grãos de zircão estudados e respectivas localizações das análises químicas efetuadas..... 47
- Figura 36:** Imagem do grão 5 de zircão da seção polida FA-07 e respectiva localização da análise química efetuada. Destaca-se o hábito prismático bipiramidal do cristal..... 47
- Figura 37:** Imagem do grão 1 de zircão da seção polida FA-07, com inclusões de caolinita e quartzo, e respectivas localizações das análises químicas efetuadas..... 48

- Figura 38:** Imagem geral com 7 (sete) grãos de zircão da seção polida FA-08 e respectivas localizações das análises químicas efetuadas..... 49
- Figura 39:** Imagem do grão 4 de zircão da seção polida FA-08, com respectivas localizações das análises químicas efetuadas. Observar as inclusões de biotita, apatita e anfibólio e que o cristal apresenta-se bastante desgastado pela erosão..... 49
- Figura 40:** Imagem do grão 3 de zircão da seção polida FA-08, com respectivas localizações das análises químicas efetuadas. Observar o zonamento do cristal, ausência de inclusões e seu hábito prismático bipiramidal..... 50
- Figura 41:** Imagem geral com 8 (oito) grãos de óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita) da seção polida FA-09 e respectivas localizações das análises químicas efetuadas..... 52
- Figura 42:** Imagem geral do grão 2 de óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita) da seção polida FA-09, com inclusão de zircão e respectivas localizações das análises químicas efetuadas..... 53
- Figura 43:** Imagem geral do grão 4 de óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita) da seção polida FA-09, ocorrendo em paragênese com cristais de quartzo e muscovita, e respectiva localização da análise química efetuada..... 54
- Figura 44:** Imagem geral com 6 (seis) grãos de zircão da seção polida GA-04 e respectivas localizações das análises químicas efetuadas..... 55
- Figura 45:** Imagens de grãos de zircão com zonamento da seção polida GA-04 e respectivas localizações das análises químicas efetuadas..... 55
- Figura 46:** Imagem dos grãos de silicato de Al, óxido de Ti e espinélio observados na seção polida GA-06..... 56

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: <i>Minerais pesados identificados por Fiuza (2010) em rochas sedimentares da Formação Resende.....</i>	22
Tabela 02: <i>Listagem dos minerais estudados por MEV-EDS das amostras da Formação Resende e suas inclusões sólidas.....</i>	25
Tabela 03: <i>Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS dos grãos 1 a 17 de ilmenita da seção polida FA-01.....</i>	28
Tabela 04: <i>Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS dos grãos 18 a 32 de ilmenita da seção polida FA-01.....</i>	28
Tabela 05: <i>Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS das inclusões observadas nos grãos de ilmenita (2, 10 e 17) da seção polida FA-01.....</i>	29
Tabela 06: <i>Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS dos cristais de xenotímio e de uma inclusão de monazita da seção polida FA-02.....</i>	32
Tabela 07: <i>Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS em um grão caracterizado como provável "anfíbólio" da seção polida FA-03.....</i>	33
Tabela 08: <i>Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS em grãos de xenotímio da seção polida FA-04.....</i>	36
Tabela 09: <i>Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS das inclusões em grãos de xenotímio da seção polida FA-04.....</i>	37
Tabela 10: <i>Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS em grãos de monazita da seção polida FA-04.....</i>	39
Tabela 11: <i>Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS da seção polida FA-05 (grãos 1 a 8 – mineral de alteração de ilmenita para rutilo; grão 10 – aluminossilicato de Fe).....</i>	44
Tabela 12: <i>Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS em grãos de óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita) da seção polida FA-06.....</i>	46
Tabela 13: <i>Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS em grãos de zircão da seção polida FA-07.....</i>	48
Tabela 14: <i>Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS em grãos de zircão da seção polida FA-08.....</i>	51

Tabela 15: *Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS em grãos de óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita) da seção polida FA-09.....53*

Tabela 16: *Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS em grãos de zircão da seção polida GA-04.....56*

Tabela 17: *Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS em grãos de espinélio da seção polida GA-06.....57*

1. INTRODUÇÃO

A bacia de Resende é uma das mais estudadas bacias do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil, tanto do ponto de vista da estratigrafia dos depósitos, quanto da tectônica rúptil cenozoica. A primeira formalização estratigráfica da bacia foi realizada por Amador (1975), e diversos outros trabalhos de revisão estratigráfica já foram realizados (Melo *et al.*, 1985; Riccomini, 1989; Ramos, 1997, 2003; Ramos *et al.*, 2005, 2006). Dentre os trabalhos voltados para a evolução tectonossedimentar da bacia destacam-se Melo *et al.* (1985), Riccomini (1989), Ramos (2003) e Albuquerque (2004). O preenchimento sedimentar da bacia de Resende é representado pelas formações Ribeirão dos Quatis, Resende e Floriano, com idades que vão do Eoceno ao Mioceno (Ramos *et al.*, 2006).

Segundo Ramos *et al.* (2006), a Formação Resende é considerada a principal unidade litoestratigráfica da bacia, tanto pela sua extensão areal, como pelo volume de sedimentos, que constituem a maior parte do preenchimento da bacia. Esta unidade é constituída por litofácies rudíticas, areníticas e pelíticas, interpretadas como depósitos de leques aluviais e sistemas fluviais entrelaçados, com a participação de fluxos gravitacionais e afogamentos episódicos (Ramos, 2003).

Recentemente, dois trabalhos se voltaram para discutir a proveniência dos arenitos da Formação Resende (Brêda, 2010; Fiuza, 2010). Brêda (2010) realizou análises petrográficas de arenitos da Formação Resende e seus resultados corroboraram com Ramos (1997) que indicou uma maior contribuição de áreas compostas por rochas plutônicas graníticas e rochas de médio a alto grau metamórfico aflorantes no embasamento ao sul da bacia de Resende, ressaltando que os sistemas de drenagem provenientes da borda sul da bacia constituíram uma importante contribuição para a sua sedimentação e que houve menor influência das rochas da borda norte da bacia. Fiuza (2010) contribuiu para os estudos de proveniência dos arenitos da Formação Resende através da identificação e descrição em lupa dos minerais pesados presentes nessa formação, buscando determinar as rochas do embasamento que serviram como fonte para este pacote sedimentar.

Apesar dos estudos já realizados quanto à proveniência dos arenitos da Formação Resende, alguns avanços ainda precisam ser alcançados na

determinação direta entre os minerais pesados presentes nestes sedimentos e sua relação com as unidades do embasamento da bacia.

2. OBJETIVOS

Neste contexto, o presente estudo tem como principal objetivo caracterizar a composição química por microscopia eletrônica de varredura e sistema de microanálise (MEV-EDS), bem como as inclusões sólidas presentes em alguns dos minerais pesados da Formação Resende identificados e descritos por Fiuza (2010) através de lupa binocular.

3. METODOLOGIA

As atividades de laboratório consistiram no estudo de minerais pesados da Formação Resende por microscopia eletrônica de varredura e sistema de microanálise (MEV-EDS) em seções polidas.

Primeiramente foram selecionados por Fiuza (2010) diversos minerais em lupa binocular para a confecção de seções polidas, com base em suas características morfológicas e cristalográfica. Também foram selecionados alguns grãos que não haviam sido previamente identificados em lupa binocular. Esses dois conjuntos foram analisados quanto a sua composição química e inclusões sólidas por MEV-EDS.

Neste contexto, confeccionou-se 11 (onze) seções polidas no Laboratório de Preparação de Amostras do Departamento de Geologia e Paleontologia do Museu Nacional. Estas foram recobertas com carbono em câmara de vácuo e analisadas por microscopia eletrônica de varredura com microanálise pontual por dispersão de energia (MEV-EDS) no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT). O equipamento utilizado foi um microscópio eletrônico de varredura FEI Quanta 400, com um sistema de microanálise química por dispersão de energia (EDS) Bruker Quantax 800 acoplado (Figura 1). Este sistema conta com espectrômetro de energia dispersiva Bruker XFlash 4030, tecnologia SSD (*silicon drift detector*), que, com uma janela de 30 mm², permite contagens da ordem de 150 kcps com tempo morto de 8 a 10%, e resolução espectral melhor que 137 eV para Mn α . O MEV foi operado em alto vácuo, tensão de aceleração de elétrons de 20 kV, e *spot size* de 5.



Figura 1: *Microscópio eletrônico de varredura com microanálise pontual por dispersão de energia (MEV-EDS) do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT) utilizado neste trabalho.*

As imagens do MEV foram geradas predominantemente por detetor de elétrons retro-espalhados (*backscatter electrons detector – BSD*), onde os níveis de cinza são proporcionais ao peso atômico médio dos elementos excitados pelo feixe de elétrons durante a varredura, sendo, portanto, imagens composicionais com tons mais claros representando fases de densidades atômicas médias mais elevadas e tons mais escuros representando fases de densidades atômicas médias menos elevadas. A resolução da microanálise por EDS é da ordem de 1 μm de raio em superfície e em uma profundidade da ordem de 1,5 a 5 μm , dependendo da densidade do material, no ponto analisado (Neumann *et al.*, 2004).

Os dados de química mineral por MEV-EDS foram obtidos para cada elemento químico, sendo posteriormente calculadas as porcentagens de óxidos através de índices de conversão. Uma vez calculados os pesos dos óxidos, foram confeccionadas tabelas com as análises químicas semiquantitativas. Foram também geradas imagens dos grãos estudados, nas quais observou-se tons de cinza (imagens composicionais), zonamento de cristais, hábito e inclusões.

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A bacia de Resende está localizada no médio vale do rio Paraíba do Sul, na região Sul Fluminense do Estado do Rio de Janeiro (Figura 2), abrangendo parte dos municípios de Barra Mansa (distrito de Floriano), Quatis, Porto Real, Resende e Itatiaia (Ramos, 1997).

A bacia corresponde a uma depressão tectônica alongada na direção ENE-WSW, com aproximadamente 47 km de comprimento, 5 a 6 km de largura e espessura do pacote sedimentar em torno de 550 m (Albuquerque, 2004).

A principal via de acesso para a área estudada é a rodovia Presidente Dutra (BR-116), que liga o Rio de Janeiro a São Paulo (Figura 3). Nesta rodovia observam-se importantes afloramentos das sucessões sedimentares da bacia de Resende. Destaca-se também, como vias de acesso, a estrada que liga Quatis à Nossa Senhora do Amparo (RJ-143), além das RJ-163, que liga a Rodovia Presidente Dutra (BR-116) até a localidade de Visconde de Mauá e RJ-161, que liga a Rodovia Presidente Dutra (BR-116) até a localidade de Pedra Selada (DNIT, 2002).

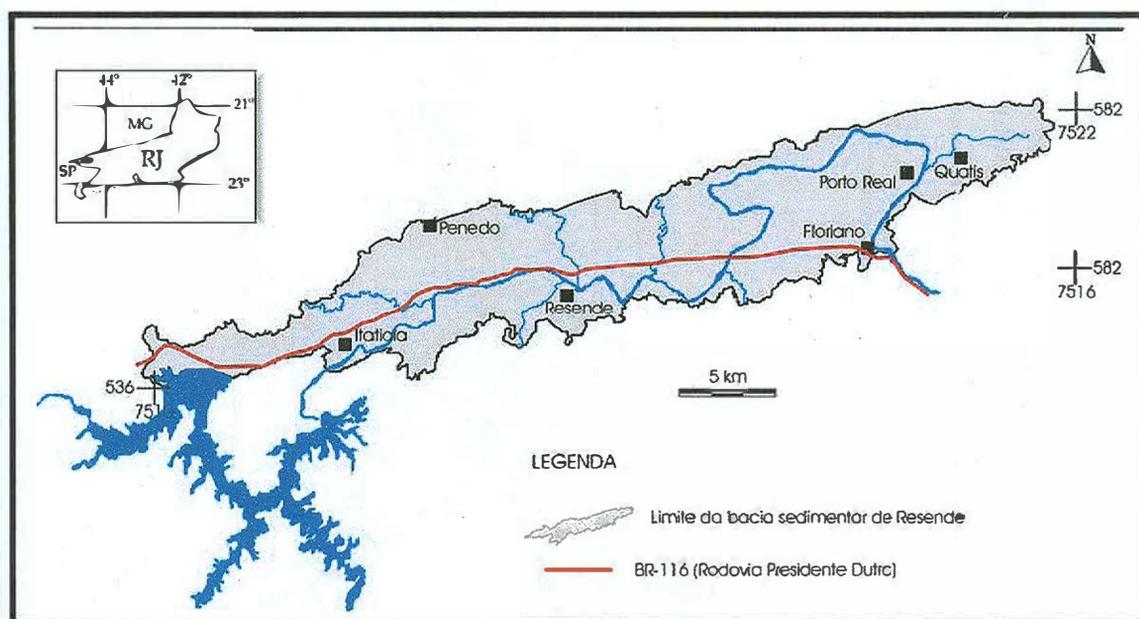


Figura 2: Mapa de localização da bacia de Resende (Albuquerque, 2004).

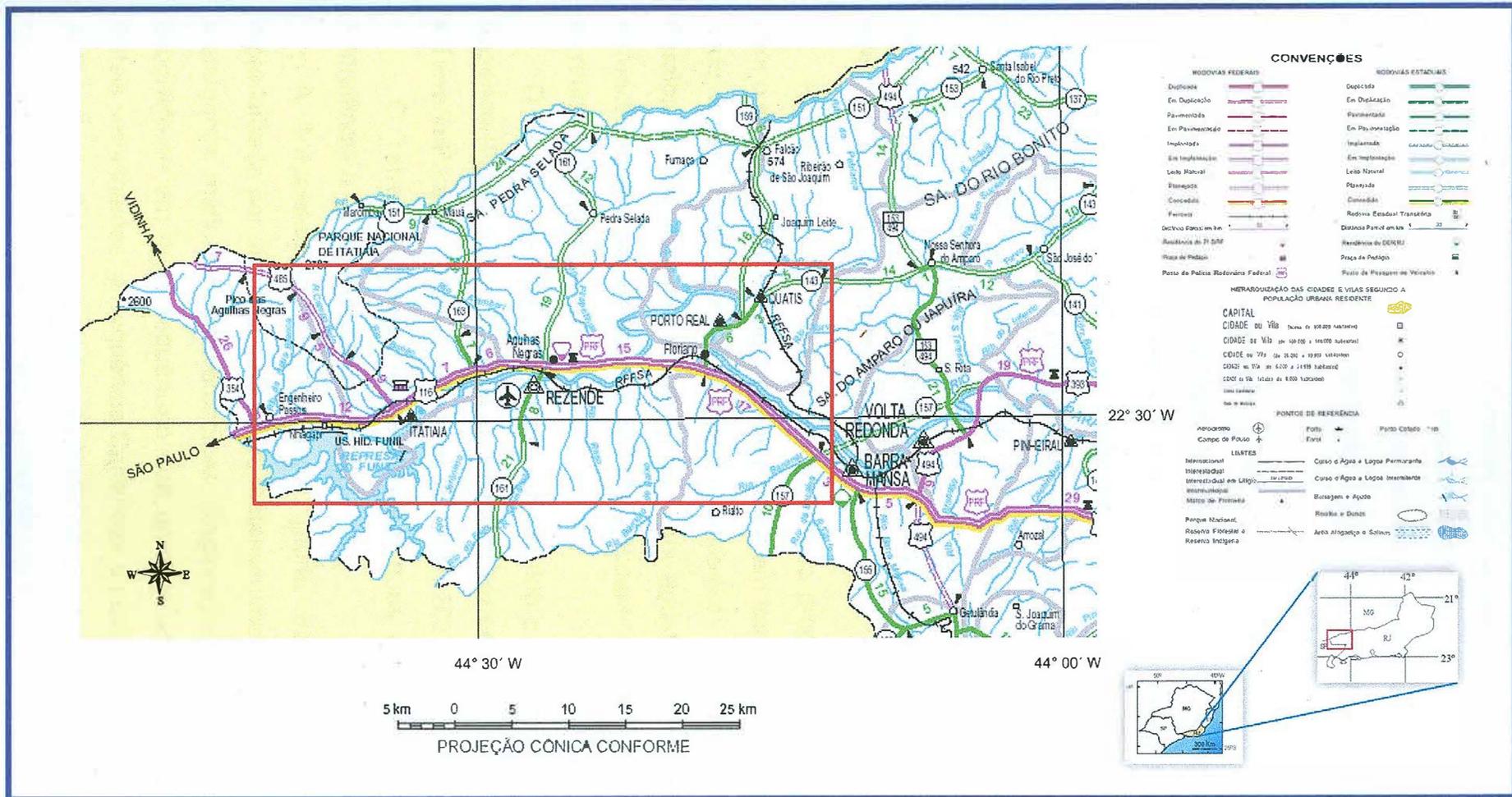


Figura 3: Trecho do mapa rodoviário do Estado do Rio de Janeiro onde está inserida a bacia de Resende (adaptado de DNIT, 2002).

4.2 – GEOLOGIA REGIONAL

A bacia de Resende, juntamente com as bacias de Volta Redonda, São Paulo e Taubaté, compõe o segmento central do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), que constitui um complexo de vales tectônicos, serras e bacias sedimentares com orientação ENE-WSW, de idade Eoceno-Oligoceno (Riccomini, 1989).

De uma maneira geral, o RCSB desenvolveu-se sobre gnaisses, migmatitos e rochas metamórficas de baixo e médio grau, de idade arqueana a neoproterozoica, associadas à Faixa Ribeira, além de diversas suítes de rochas granitoides intrusivas de idade neoproterozoica (Riccomini *et al.*, 2004).

Segundo Melo *et al.* (1985), o embasamento das bacias que constituem o RCSB é representado por rochas cristalinas precambrianas polideformadas, com estruturas complexas. Essas rochas foram cortadas por juntas subverticais de origem tardia no Ciclo Brasileiro e por importantes falhas transcorrentes de direção E-NE no Cambro-Ordoviciano.

Heilbron *et al.* (2004) apresentaram uma proposta de compartimentação para o segmento central do orógeno Ribeira em terrenos tectonoestratigráficos, onde foram designadas as seguintes unidades: terrenos Ocidental, Embu, Paraíba do Sul, Oriental e Cabo Frio. Esta aponta que os quatro primeiros terrenos foram amalgamados há 580 Ma, enquanto que o Terreno Cabo Frio só foi reunido aos demais em 520 Ma.

O contexto geológico no qual está inserido o embasamento da bacia de Resende (Figura 4) corresponde às unidades Terreno Ocidental, Terreno Embu e Terreno Paraíba do Sul (Heilbron *et al.*, 2004; 2007).

O Terreno Ocidental é dividido em duas unidades: Megassequência Andrelândia e Complexo Juiz de Fora.

A Megassequência Andrelândia (norte da bacia de Resende) é representada por diversas sucessões metassedimentares associadas a rochas metaígneas máficas neoproterozoicas. Regionalmente, esta megassequência subdivide-se em duas sequências que gradam lateralmente para sucessões distais semelhantes: a Sequência Carrancas e pela Sequência Serra do Turvo. A Sequência Carrancas inclui, da base para o topo: paragnaisses bandados com intercalações de anfíbolitos; paragnaisses bandados com intercalações de

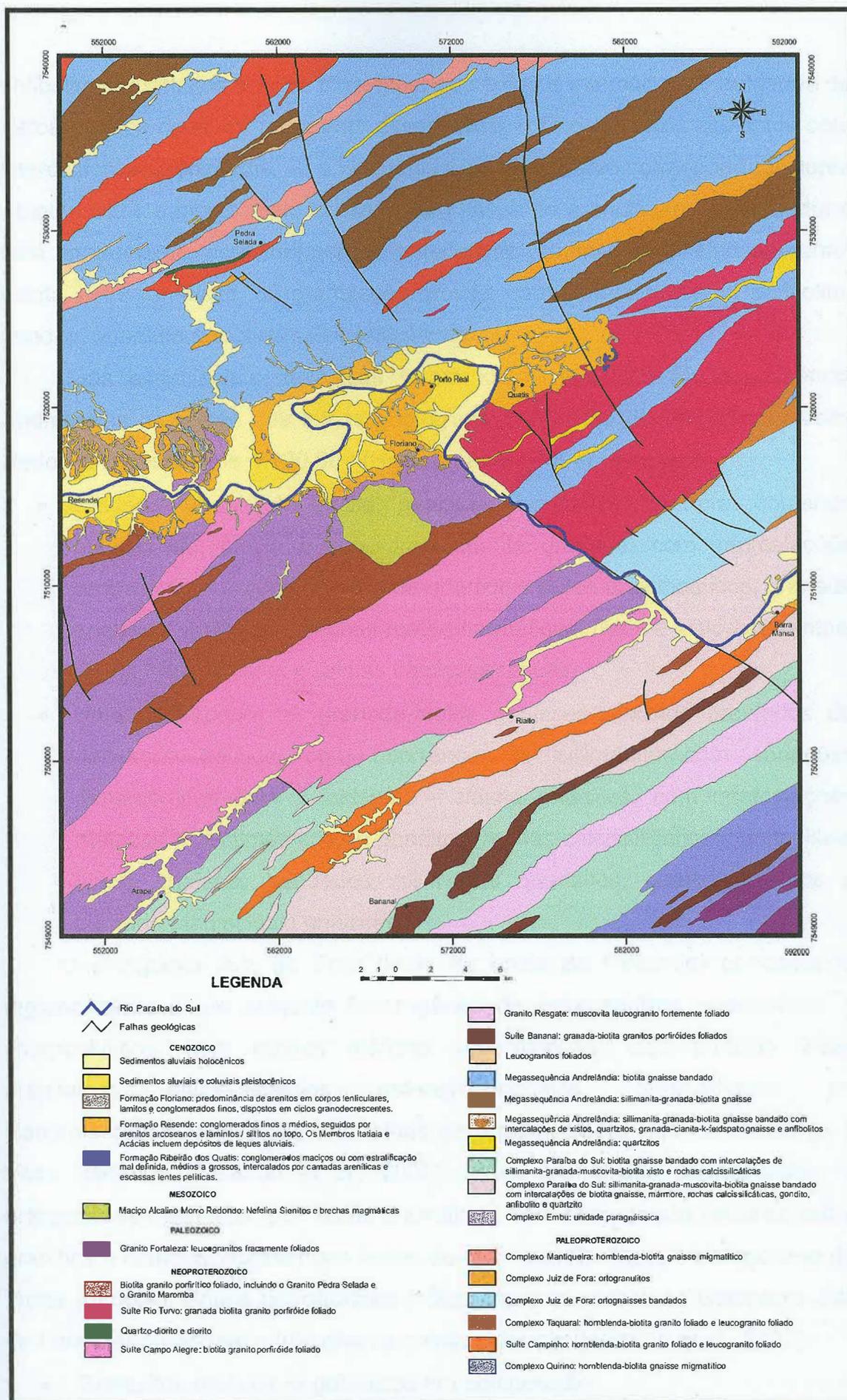


Figura 4: Mapa geológico simplificado do segmento da Faixa Ribeira que compreende o embasamento da bacia de Resende e seu entorno (adaptado de CPRM, 2007 e Ramos, 2003).

anfíbolitos, quartzitos e filitos cinzentos; quartzitos e intercalações delgadas de xistos, ambos ricos em muscovita esverdeada; e filitos e xistos cinzentos com intercalações quartzíticas. Já a Sequência Serra do Turvo corresponde a clorita - biotita filitos e plagioclásio biotita xisto/gnaiss de granulação fina a média e sem bandamento, com fragmentos isolados de granitoides do embasamento; biotita xisto a gnaiss, de granulação grossa, com intercalações de anfíbolito, gondito, quartzito e rochas calciossilicáticas.

Duas associações litológicas foram identificadas na Megassequência Andrelândia na região das folhas geológicas Santa Rita de Jacutinga e Volta Redonda na escala de 1:100.000 (Heilbron *et al.*, 2007) - Figura 4:

- Unidade basal → biotita gnaisses bandados (sempre contendo plagioclásio, biotita e subordinadamente granada) com intercalações decamétricas a centimétricas de quartzitos puros a feldspáticos, granada gnaisses, anfíbolitos, rochas meta-ultramáficas, filitos a xistos cinzentos, biotita filitos a xistos e rochas calciossilicáticas.
- Unidade superior → granada-biotita gnaisses e xistos bandados de derivação pelítica, com ocorrência de sillimanita com variações metamórficas para K-feldspato - cianita gnaisses, com intercalações métricas a centimétricas de gonditos, rochas calciossilicáticas, anfíbolitos, biotita gnaisses bandados, sillimanita quartzitos, quartzitos puros e granada-plagioclásio gnaisses.

O Complexo Juiz de Fora (leste da bacia de Resende) corresponde regionalmente a um conjunto heterogêneo de ortogranulitos enderbíticos a charnockíticos, com rochas máficas subordinadas, cujo protólito inclui granitoides cálcio-alcálinos paleoproterozoicos, retrabalhados no Neoproterozoico. Na região das folhas geológicas Santa Rita de Jacutinga e Volta Redonda (Heilbron *et al.*, 2007), esses granitoides correspondem a ortognaisses bandados, por vezes miloníticos, com composição variando entre granítica e diorítica. Apresentam lentes de rochas anfíbolíticas e paragênese de fácies granulito. Dados petrográficos indicam que as rochas do Complexo Juiz de Fora compreendem a três grupos composicionais (Heilbron *et al.*, 2007):

- Granulitos máficos → gabroicos em composição.
- Granulitos intermediários → quartzo dioríticos, tonalíticos e granodioríticos.

- Granulitos ácidos.

A mineralogia predominante associada ao Complexo Juiz de Fora é ortopiroxênio, biotita, hornblenda, quartzo, K-feldspato, plagioclásio, clinopiroxênio e minerais opacos, ocorrendo também subordinadamente apatita, zircão e granada.

O Terreno Embu foi dividido em duas unidades: o Complexo Embu e o Complexo Taquaral (ambos ao sul da bacia de Resende), onde gnaisses tonalíticos - granodioríticos do Complexo Embu foram datados por U-Pb SHRIMP com 811 ± 13 Ma (Cordani *et al.*, 2002). Segundo Heilbron *et al.* (2007) o Complexo Embu possui posicionamento estratigráfico indefinido e inclui uma sequência metassedimentar que pode ser dividida em duas associações litológicas:

- Unidade Rio Guaripu → sillimanita (tipo fibrolita) - muscovita - biotita gnaisse/xistos, ora com granada e/ou turmalina; muscovita - biotita gnaisse fino, com diversas intercalações de lentes de rochas calciossilicáticas; quartzitos micáceos; e raramente mármores e anfibolitos.
- Unidade Rio Paraitinga → (turmalina) - (granada) - sillimanita (tipo fibrolita) - muscovita - biotita gnaisse/xisto e (turmalina) - muscovita - biotita gnaisse fino. Ocorrem frequentes intercalações de lentes de rochas calcissilicáticas e quartzitos impuros e também níveis de estauroлита - muscovita - biotita xisto, granada - hornblenda - biotita gnaisse fino e raras lentes de tremolita xisto.

O Complexo Taquaral corresponde a ortognaisses e granitoides concordantes paleoproterozoicos, sendo dividido em duas suítes:

- Suíte 1 → hornblenda - biotita gnaisses, bandados, migmatíticos, mesocráticos, localmente porfíricos, de composição variando de tonalítica a granítica, ricos em enclaves máficos centimétricos dioríticos e tonalíticos. Neste suíte inclui-se o Granito São José do Barreiro, que consiste num biotita granito porfírico foliado.
- Suíte 2 → biotita leucogranito foliado, de granulação variando de grossa a fina, coloração cinza claro, por vezes porfírico, com granada.

O Terreno Paraíba do Sul, sobreposto ao Terreno Ocidental e de idade indefinida (Eirado *et al.*, 2006; Heilbron *et al.*, 2007), é dividido em duas unidades: Grupo Paraíba do Sul e Complexo Quirino.

O Grupo Paraíba do Sul (sul da bacia de Resende), sobreposto ao Complexo Quirino e de idade indefinida (Eirado *et al.*, 2006), compreende rochas metapelíticas e metapsamíticas, com intercalações carbonáticas e calciossilicáticas. Compreende biotita gnaisses psamíticos e sillimanita - biotita gnaisses pelíticos, com ocorrência frequente de granada e turmalina. Lentes centimétricas a métricas de rochas calciossilicáticas, sillimanita - quartzo xisto, gondito e mármore impuro ocorrem, principalmente, nos gnaisses pelíticos.

O Complexo Quirino (sul da bacia de Resende) é formado por hornblenda ortognaisses paleoproterozoicos e granitoides tonalítico - granodioríticos com enclaves de rochas metaultramáficas, metamáficas e calciossilicáticas (ricas em tremolita).

Ocorrem também na região suítes de rochas granitoides intrusivas, de idade neoproterozoica (sincollisionais).

A Suíte Rio Turvo (leste da bacia de Resende) corresponde a um granada biotita granito porfiroide foliado, que ocorre encaixado em rochas do Domínio Juiz de Fora, aflorando como corpos alongados de direção NE-SW, concordantes com a foliação regional.

A Suíte Campo Alegre (sul da bacia de Resende) é caracterizada por corpos de granito foliado, porfírico, com cristais de K-feldspato, dispersos em uma matriz rica em biotita, quartzo, plagioclásio, K-feldspato e subordinadamente granada e hornblenda. Esses corpos afloram de forma alongada na direção NE-SW, encaixados nas rochas metassedimentares do Complexo Embu. Observa-se, como fases acessórias, monazita, zircão, titanita e minerais opacos. Esta unidade é rica em enclaves lenticulares (xenólitos) de paragneisses, xistos pelíticos e rochas calciossilicáticas. Contatos gradacionais com rochas metassedimentares indicam que este seria um granito do tipo-S.

O Granito Pedra Selada (norte da bacia de Resende) corresponde a um biotita granito porfírico foliado, tipo-I, com megacristais de K-feldspato. A matriz é rica em biotita e ocorre subordinadamente quartzo, plagioclásio, K-feldspato, hornblenda, titanita, zircão, apatita e allanita. Esses granitos são

intrusivos tanto nos ortognaisses do embasamento como nas rochas da cobertura metassedimentar do Domínio Andrelândia.

Diques de diabásio mesozoicos e rochas alcalinas cretáceas também são observados no embasamento da região estudada. Os diques de diabásio toleíticos do Cretáceo Final ocorrem como enxames com direções NNW e NNE e apresentam como mineralogia principal plagioclásio, augita, pigeonita, opacos (ilmenita e titano-magnetita), apatita, quartzo e olivina nas bordas.

O magmatismo alcalino no embasamento da bacia de Resende é representado pelos maciço de Itatiaia e Morro Redondo (Figura 5).

Segundo Valença *et al.* (1983), o complexo alcalino do Morro Redondo (sul da bacia de Resende) é um centro eruptivo relacionado ao evento alcalino regional, de natureza potássica - sódica, que ocorreu durante o intervalo Cretáceo Final-Paleógeno (72 – 51 Ma). Esse complexo ocupa uma área subcircular (aproximadamente 8km²), sendo constituído principalmente de rochas sieníticas e brechas magmáticas formadas por fragmentos de fonolitos e traquitos e matriz fonolítica, encaixadas em gnaisses e migmatitos do Pré-cambriano. Os autores ainda afirmam que o Morro Redondo é formado a partir de magma félsico alcalino (sienítico), diferenciado *in situ*.

De acordo com Ribeiro Filho (1967), o maciço alcalino de Itatiaia (oeste da bacia de Resende) corresponde a uma área elíptica de 221 km², apresentando uma grande diversificação na granulação, textura e arranjo dos componentes minerais. A intrusão alcalina, que teria ocorrido no Paleoceno (64 Ma), é constituída por sienitos, nefelina-sienitos, sodalita-nefelina-sienitos, sodalita-sienitos, aegirina-sienitos, aegirinaugita-hornblenda-sienitos, hornblenda-sienitos, biotita-hornblenda-sienitos, biotita-sienitos, sienitos bandeados, quartzo-sienitos, foiaitos, brechas e granitos alcalinos.

Com a ruptura crustal e a abertura do Atlântico Sul no evento conhecido como Evento Sul-Atlântico, a partir do Jurássico Final, teria provavelmente sido iniciada a instalação e o desenvolvimento do RCSB. Riccomini *et al.* (2004) admitem esse fato e ressaltam que, apesar de os diferentes modelos propostos para a origem dessas bacias tafrogênicas apresentarem divergências, não há outro consenso quanto aos mecanismos geradores do RCSB.

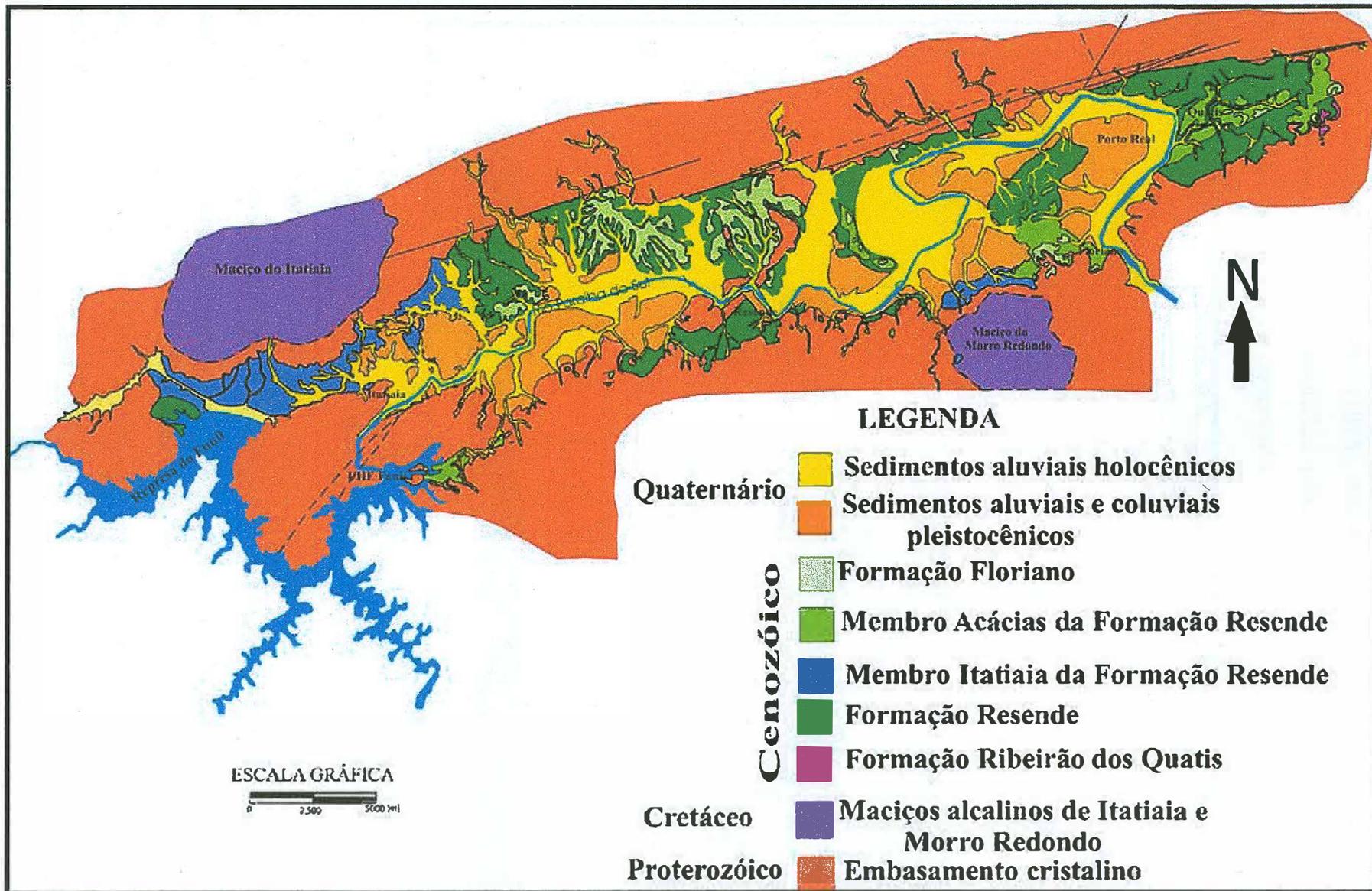


Figura 5: Mapa geológico da Bacia de Resende (Ramos, 2003).

4.3. ESTRATIGRAFIA DA BACIA DE RESENDE

A partir da primeira formalização estratigráfica dedicada à bacia de Resende, realizada por Amador (1975), diversos outros estudos propuseram revisões do seu quadro estratigráfico (Melo *et al.*, 1985; Riccomini, 1989; Ramos, 1997), o que pode ser observado na Figura 6.

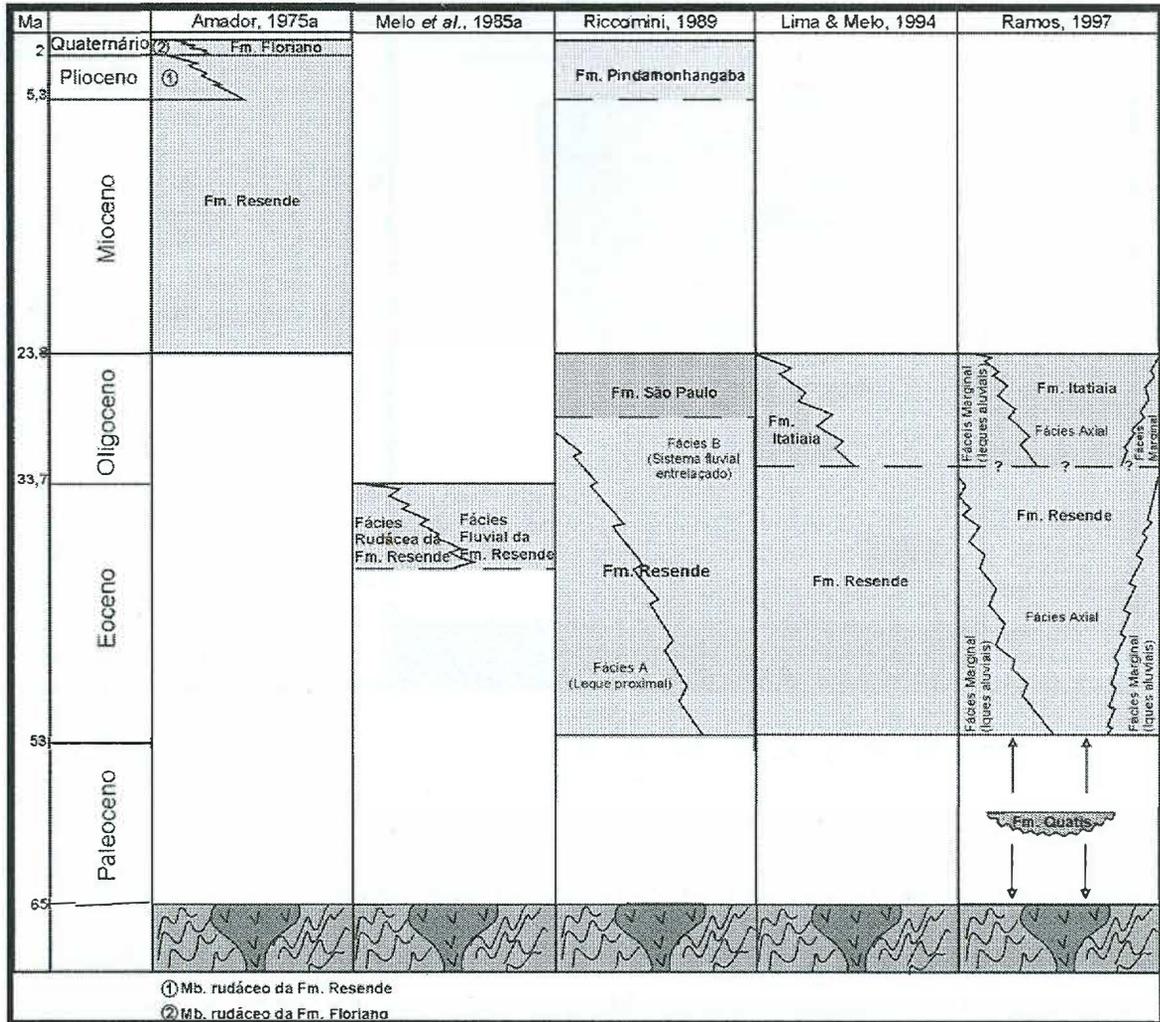


Figura 6: Quadro comparativo da evolução da nomenclatura estratigráfica dos depósitos cenozoicos da Bacia de Resende (Ramos, 2003).

Mais recentemente, Ramos (2003) e Ramos *et al.* (2005, 2006) reconheceram seis associações faciológicas distintas nos depósitos aluviais paleogênicos/neogênicos da bacia de Resende, envolvendo litofácies rudíticas, areníticas e pelíticas, e propuseram uma nova revisão estratigráfica, admitindo três formações (Figura 7): Ribeirão dos Quatis; Resende, contendo os membros Itatiaia e Acácias; e Floriano.

A Formação Resende (Figura 8b) engloba a maior parte dos depósitos paleogênicos da bacia, correspondendo a depósitos fanglomeráticos e abundantes lamitos arenosos e arenitos lamosos, derivados dos fluxos gravitacionais que penetraram na bacia através de ambas as suas bordas, bem como depósitos fluviais axiais à bacia (Ramos, 2003). Os depósitos de leques aluviais são caracterizados por lamitos arenosos esverdeados, ruditos finos sustentados pela matriz e brechas sustentadas pelos clastos. Já nos depósitos fluviais axiais observam-se arenitos arcoseanos médios a grossos, com estratificação cruzada acanalada, e camadas maciças ou gradadas de lamitos ou siltitos esverdeados.

Ramos (2003) e Ramos *et al.* (2005, 2006) formalizaram uma proposta de dois membros (Itatiaia e Acácias) para a Formação Resende, em partes onde características litológicas, composicionais e faciológicas são distinguíveis. O Membro Itatiaia corresponde aos depósitos de leques aluviais adjacentes aos maciços do Itatiaia e do Morro Redondo e suas partes distais, onde há o predomínio de sedimentos depositados através de fluxos trativos. Estes são distinguíveis dos depósitos da Formação Resende *stricto sensu* pela composição marcadamente rica em detritos derivados da erosão dos maciços alcalinos, o que confere a estes sedimentos cores cinzentas ou esbranquiçadas (Ramos, 2003). Considera-se então, como Membro Itatiaia, somente as sucessões fluviais e de leques aluviais ricas em detritos de rochas alcalinas, que possuem características petrofaciológicas distintas das demais sucessões aluviais contemporâneas. O Membro Acácias representa depósitos fluviais que ocorrem principalmente a leste do alto estrutural de Resende, constituídos por conglomerados finos maciços, arenitos arcoseanos médios a grossos com estruturas acanaladas agrupadas de médio porte, e camadas pelíticas maciças ou gradadas. Associa-se o Membro Acácias a um sistema fluvial entrelaçado distal, com episódios de inundação que podem estar relacionados a barramentos de drenagem devido às reativações periódicas de estruturas rúpteis transversais à bacia.

A Formação Floriano (Figura 8c) é caracterizada por uma sucessão de camadas arenosas dispostas em corpos de geometria lenticular ou sigmoidal, com espessuras entre 1 e 2 m, e camadas lamosas com grande persistência

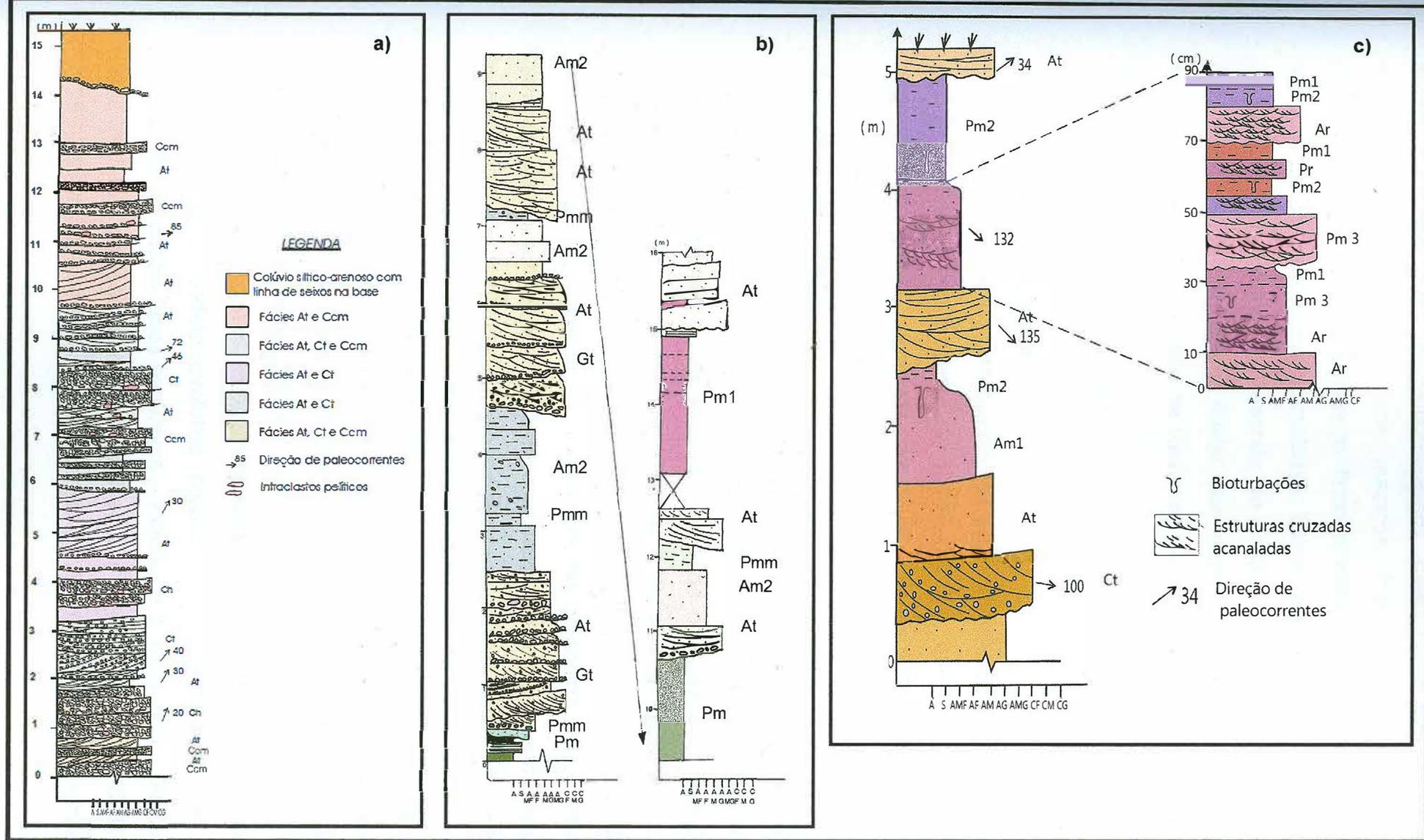


Figura 8: Perfis colunares da bacia de Resende (Ramos, 2003). a) Perfil colunar da seção-tipo da Formação Ribeirão dos Quatis. b) Perfil colunar da seção-tipo da Formação Resende. c) Perfil colunar da seção-tipo da Formação Floriano.

lateral, formando ciclos granodécrescentes. Estes ciclos são compostos, na base, por conglomerados finos maciços, com abundantes intraclastos, capeados por arenitos arcoseanos finos a médios, vermelhos a amarelos, maciços ou com estruturas acanaladas. Esses depósitos, que ocorrem sobre os depósitos da Formação Resende ou mesmo sobre o embasamento, são característicos de um sistema fluvial meandrante arenoso, que representou a fase de colmatação da Bacia de Resende (Ramos, 2003; Ramos *et al.*, 2005, 2006).

4.4 – TECTÔNICA CENOZOICA

Uma das mais importantes feições geotectônicas do Sudeste brasileiro é o *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), que corresponde a uma depressão alongada e deprimida com pouco mais de 900 km de comprimento, desenvolvida entre o Estado do Paraná e o norte do Estado do Rio de Janeiro (Riccomini *et al.*, 2004).

O RCSB, antes denominado por Almeida (1976) como “Sistema de Riftes da Serra do Mar”, tem sua história evolutiva relacionada ao contexto da ruptura continental e abertura do Atlântico Sul, iniciada no Jurássico Final/Cretáceo Inicial (Hasui *et al.*, 1978). Segundo Asmus & Ferrari (1978), teria ocorrido, no Paleógeno, uma reativação tectônica de zonas de fraqueza precambrianas, em decorrência do soerguimento da área continental adjacente à bacia de Santos, em resposta à subsidência da área oceânica. Este evento teria originado as serras do Mar e da Mantiqueira e produzido um grande volume de sedimentos detríticos, além de manifestações de vulcanismo alcalino.

Ainda segundo Riccomini *et al.* (2004), zonas de cisalhamento neoproterozoicas de direção NE-SW a E-W, reativadas como falhas normais no Paleógeno e transcorrentes no Neógeno, ensejaram a instalação e deformação das bacias que compõem o RCSB.

O modelo que mais se destacou quanto ao desenvolvimento e evolução do RCSB foi o modelo evolutivo proposto por Riccomini (1989). Foram apresentadas quatro fases evolutivas – Figuras 9 e 10, sendo a última e atual fase incluída posteriormente por Salvador (1994) e Salvador & Riccomini (1995) através dos seus estudos na região do Alto de Queluz (SP) – Figura 10:

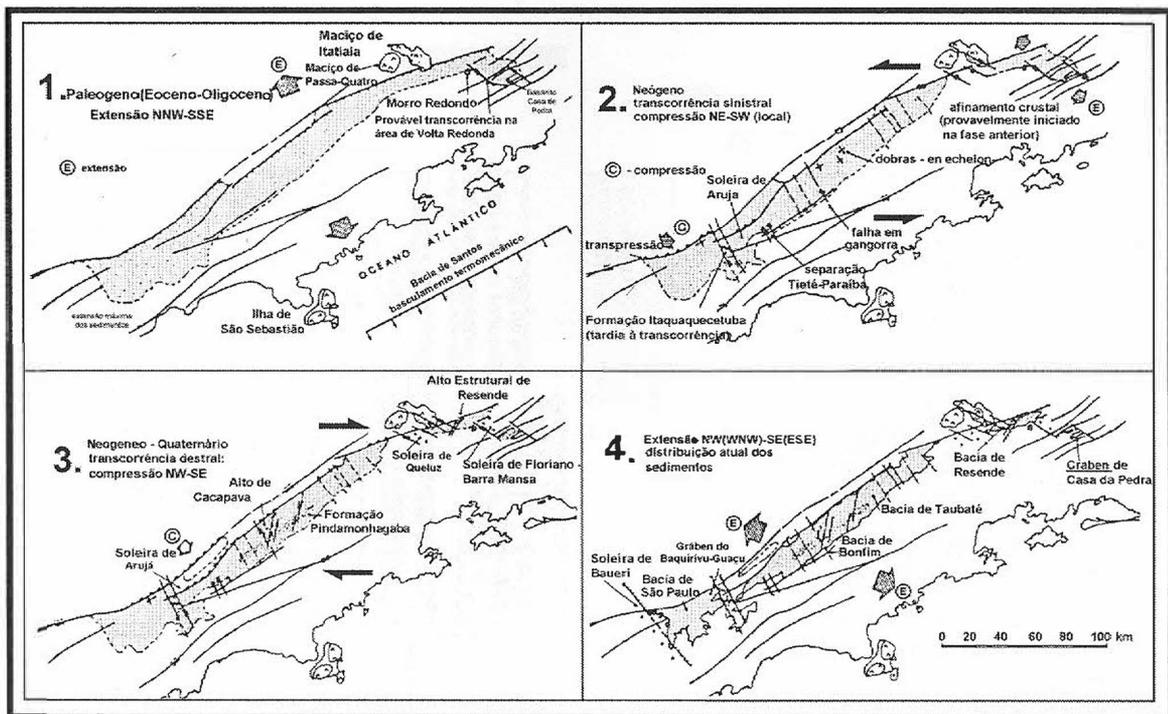


Figura 9: Fases evolutivas do Rift Continental do Sudeste do Brasil segundo Riccomini (1989).

1. Fase Tectônica E1 (Eoceno-Oligoceno): formação de uma depressão contínua, originada pela atuação de um regime distensivo, com direção NNW-SSE, reativando falhas lístricas com caimento para o Oceano Atlântico, antigas zonas de cisalhamento brasileiras. Esta distensão, datada do Eoceno a Oligoceno, teria sido imposta pelo basculamento termomecânico da bacia de Santos. Vale salientar que, associado a este mecanismo tectônico de formação do rift, depósitos de leques aluviais e rios entrelaçados foram depositadas e que na região de Volta Redonda ocorreu intercalação de lavas ultrabásicas no interior destes sedimentos;
2. Fase Tectônica TS (Neógeno): fase de transcorrência sinistral de direção E-W, com distensão NW-SE e, localmente, compressão NE-SW (primeira fase de deformação tectônica);
3. Fase Tectônica TD (Pleistoceno/ Holoceno): representada por um binário E-W de transcorrência dextral, com compressão NW-SE;

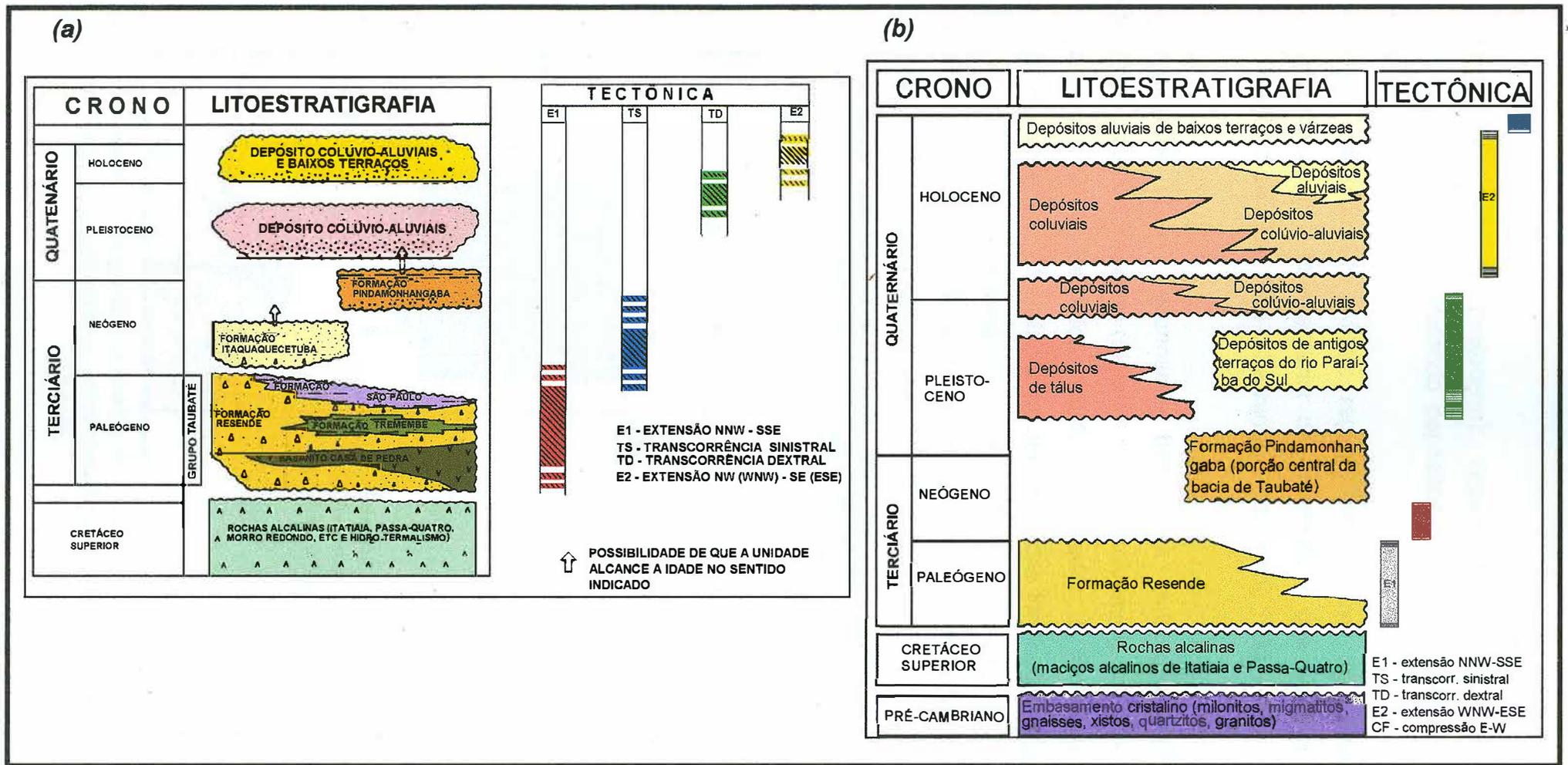


Figura 10: (a) Coluna estratigráfica das bacias do Rift Continental do Sudeste do Brasil e fases tectônicas registradas (Riccomini, 1989); (b) Coluna estratigráfica para os sedimentos cenozoicos reconhecidos na região do Alto estrutural de Queluz/SP, e fases tectônicas (Salvador, 1994).

4. Fase Tectônica E2 (Holoceno): regime distensivo, com direção NW(WNW)-SE(ESE), afetando depósitos holocênicos preservados em terraços abaixo;
5. Fase Tectônica CF (Atual): regime compressivo de direção E-W, instalado após a fase anterior de distensão e que perduraria até o presente (Salvador, 1994 e Salvador & Riccomini, 1995) – **Figura 10.**

Albuquerque (2004) reconheceu três fases tectônicas afetando os depósitos da bacia de Resende (**Figura 11**), correlacionáveis àquelas descritas por Riccomini (1989), Salvador (1994) e Salvador & Riccomini (1995): transcorrência sinistral E-W, afetando os depósitos das formações Ribeirão dos Quatis e Resende; transcorrência dextral E-W, afetando os depósitos paleogênicos e pleistocênicos, atribuída ao intervalo Pleistoceno-Holoceno; e distensão NW-SE, de idade holocênica.

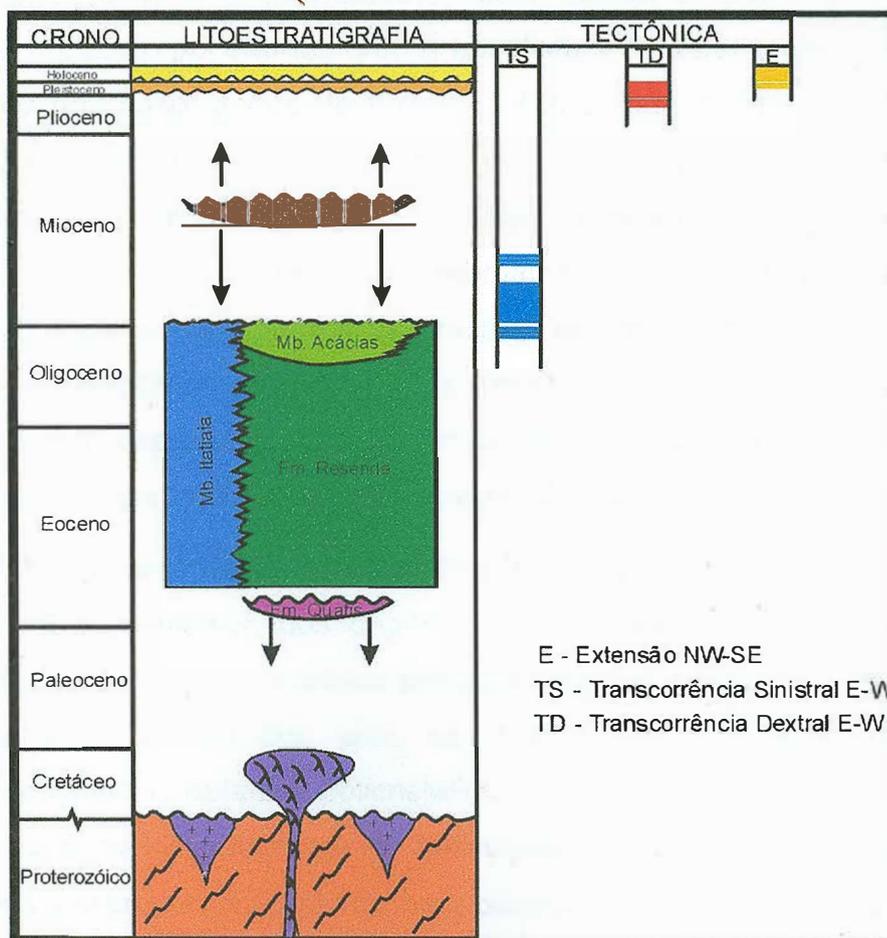


Figura 11: Coluna estratigráfica da bacia de Resende (Ramos, 2003) e fases tectônicas evolutivas cenozoicas reconhecidas por Albuquerque (2004) na bacia.

4.5 – MINERALOGIA DA FORMAÇÃO RESENDE

Apesar do amplo conhecimento estratigráfico e tectônico da bacia de Resende, poucos estudos nas últimas décadas se dedicaram de forma sistemática a compreensão da mineralogia da Formação Resende e sua proveniência.

O primeiro trabalho direcionado ao estudo da mineralogia dos sedimentos da Formação Resende foi o proposto por Amador (1975), que identificou os seguintes minerais pesados: andaluzita, anfibólio, cianita, epidoto, estauroilita, granada, leucóxênio, magnetita, monazita, piroxênio, rutilo, sillimanita, titanita, turnalina e zircão.

Ramos (1997, 2003) realizou estudos sobre a mineralogia da Formação Resende através de análises petrográficas. Ramos (1997) identificou minerais como quartzo (monocristalino e policristalino), microclina e ortoclásio, plagioclásio, fragmentos de rochas plutônicas e metamórficas, micas, turmalina, granada, zircão, epidoto, rutilo, titanita e opacos (magnetita). Já o estudo realizado por Ramos (2003) envolveu a caracterização petrográfica dos arenitos das associações de fácies 3, 4 e 5, que compõem a unidade aqui estudada. Os minerais identificados foram quartzo (monocristalino e policristalino), microclina, ortoclásio, plagioclásio, fragmentos líticos (plutônicos, vulcânicos, metamórficos e sedimentares), biotita, muscovita e diversos minerais acessórios (turmalina, zircão, epidoto, rutilo, titanita, magnetita, nefelina, hornblenda e granada). Os trabalhos indicaram áreas fontes distintas para esses depósitos, caracterizadas por rochas graníticas, pegmatíticas, gnáissicas, miloníticas, alcalinas e até vulcânicas.

Mais recentemente, Brêda (2010) e Fiuza (2010) tentaram compreender melhor a proveniência dos depósitos da Formação Resende. Brêda (2010) realizou uma série de análises petrográficas nos sedimentos desta formação enfocando o estudo dos tipos de quartzo (monocristalino não-ondulante, monocristalino ondulante, policristalino com 2 ou 3 subgrãos e policristalino com mais de 3 subgrãos) e feldspatos encontrados (ortoclásio comum, ortoclásio micropertítico, microclina e plagioclásio). Os diagramas utilizados por Brêda (2010) corroboraram com os dados de Ramos (1997, 2003) que demonstraram uma predominância de áreas fontes compostas por rochas de

médio a alto grau metamórfico, também apontando para a contribuição de rochas plutônicas (Figura 12). Foi proposto por Brêda (2010) que as unidades do embasamento próximas da bacia seriam as responsáveis pela contribuição de sedimentos e que a borda sul do embasamento corresponderia a uma importante fonte para a sedimentação da bacia, o que antes já fora discutido por Ramos (1997, 2003) através da presença de grãos angulosos e imaturidade textural e composicional.

Já o estudo de Fiuza (2010) envolveu a descrição em lupa dos minerais pesados presentes em rochas sedimentares da Formação Resende das seguintes seções: Fábrica do Doce, Fazenda Limeira, Seção-tipo da Formação Resende, MOD-17, Ponte dos Arcos, Guardian e Ferrovia do Aço (Tabela 1). Este sugeriu que as unidades litológicas proximais do embasamento teriam importância fundamental como fornecedores de sedimentos para o preenchimento da Formação Resende, apesar de não ter sido viável a determinação da intensidade com que as bordas sul e norte contribuíram com sedimentos.

Tabela 1: *Minerais pesados identificados por Fiuza (2010) em rochas sedimentares da Formação Resende.*

Seções estratigráficas	Minerais identificados
Fábrica doce	Ilmenita, limonita, monazita cristalina, fragmentos líticos, mineral preto, turmalina, monazita terrosa, zircão, quartzo
Fazenda Limeira	Ilmenita, hidrobiotita, monazita cristalina, turmalina, limonita, muscovita, monazita terrosa, zircão, biotita, mineral preto
Seção-tipo da Formação Resende	Ilmenita, granada rosa, granada vermelha, monazita cristalina, turmalina, limonita, monazita caramelo opaca, monazita terrosa, mineral cinza, muscovita, feldspato, psilomelana, zircão, quartzo, mineral branco, apatita, mineral preto, rutilo
MOD-17	Ilmenita, limonita, zircão, pirita limonitizada, hidrobiotita, psilomelana, monazita cristalina, turmalina, monazita terrosa, muscovita, quartzo
Ponte dos Arcos	Limonita bege escura, quartzo, limonita bege clara, psilomelana, turmalina, monazita cristalina, estauroлита, fragmentos líticos, monazita terrosa, muscovita, monazita caramelo opaca, zircão, cianita
Guardian	Ilmenita, psilomelana, biotita, limonita, monazita cristalina, monazita caramelo opaca, hidrobiotita, turmalina, monazita terrosa, muscovita, zircão, quartzo, apatita, rutilo
Ferrovia do Aço	Ilmenita, monazita caramelo opaca, turmalina, monazita cristalina, muscovita, fragmentos líticos, monazita terrosa, zircão, apatita, cianita, quartzo

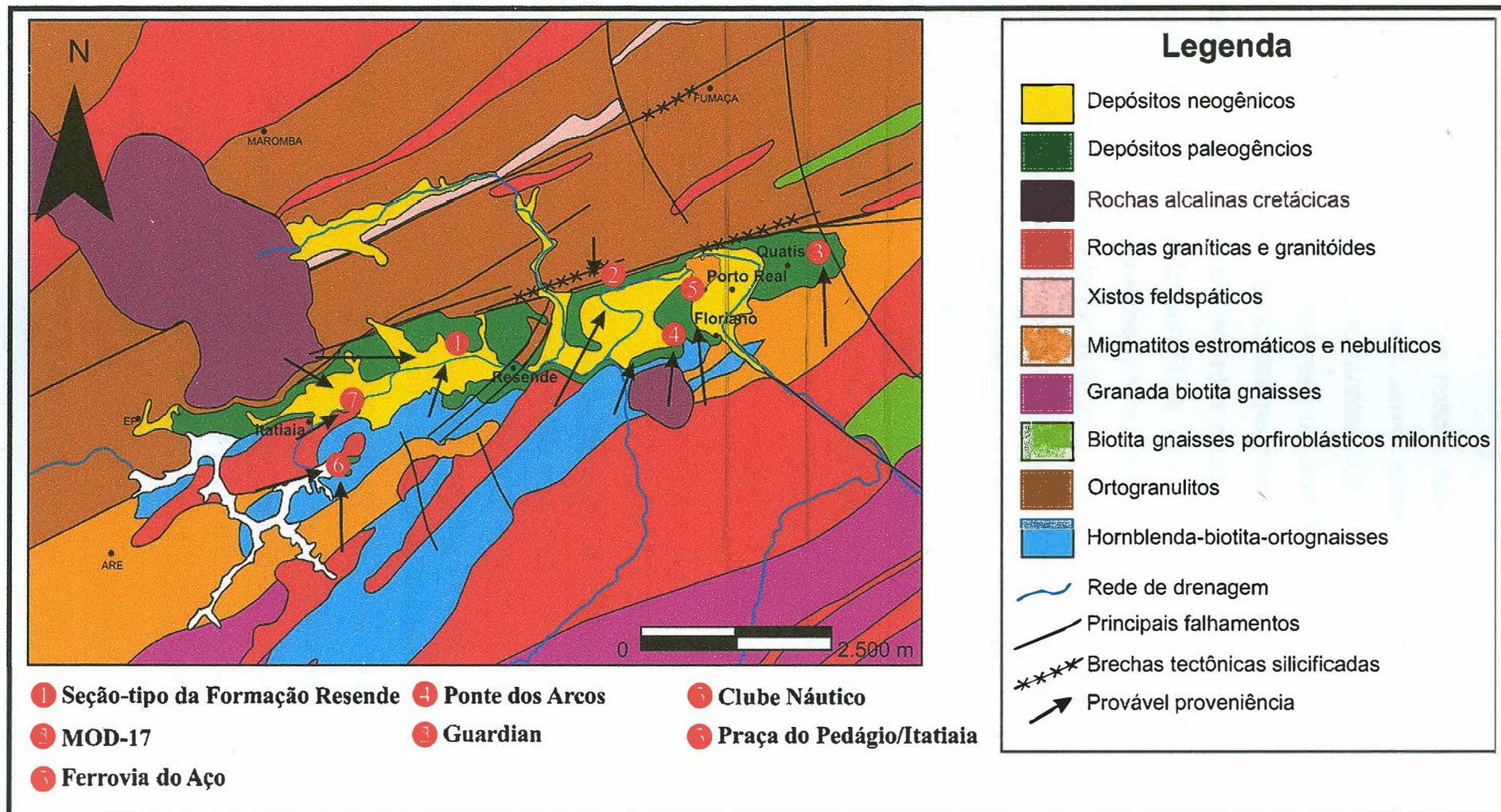


Figura 12: Mapa geológico modificado de Ramos (2003), com a localização dos afloramentos da Formação Resende estudados por Brêda (2010) e suas prováveis proveniências.

5. RESULTADOS

No total, 11 (onze) seções polidas com minerais pesados da Formação Resende foram preparadas para serem analisadas por microscopia eletrônica de varredura e sistema de microanálise (MEV-EDS). Os minerais selecionados para as seções foram provenientes de amostras dos pontos Ferrovia do Aço (FA) e Guardian (GA), localizados na porção nordeste da bacia de Resende (Figura 12). Dos minerais pesados aqui estudados, alguns já haviam sido identificados previamente por Fiuza (2010), através de suas características morfológicas e cristalográficas e foram encaminhados para detalhamento por MEV-EDS, principalmente em relação a sua composição química e quanto as suas inclusões sólidas. Outros minerais eram dúvidas nas descrições de Fiuza (2010) e não haviam sido previamente identificados em lupa binocular. Para estes, o estudo da composição química foi essencial para a caracterização dos mesmos, tendo sido acompanhado da identificação das suas inclusões sólidas.

Neste contexto, os minerais pesados presentes nas seções polidas estudadas serão descritos a seguir.

5.1 – SÚMULA MINERALÓGICA

Foram analisados e identificados a partir do estudo realizado por MEV-EDS diversos minerais (Tabela 2): ilmenita, xenotímio, anfibólio, monazita, zircão, espinélio, mineral de alteração associado a ilmenita, silicato de Al (sillimanita ou andaluzita ou cianita), óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita), além de minerais cuja determinação exata se tornou difícil devido à complexidade da composição química obtida (aluminossilicatos de Fe). Além dos grãos de minerais estudados, também foi analisado um grão de litoclasto.

Nos grãos analisados foram identificadas diversas inclusões sólidas (Tabela 2) representadas por quartzo, uraninita, caulinita, óxido de Ti, monazita, apatita, anfibólio, óxido de U e Ca, biotita e óxido de Fe, bem como outros minerais que estão em paragênese com os minerais estudados nas seções (zircão, muscovita e quartzo).

Tabela 2: Listagem dos minerais estudados por MEV-EDS das amostras da Formação Resende e suas inclusões sólidas.

Minerais	Fórmula química	Seções polidas onde foram identificados	Inclusões sólidas	Fórmula química
ilmenita	FeTiO ₃	FA-01	caulinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
			óxido de Ti	TiO ₂
xenotímio	YPO ₄	FA-02	monazita	(Ce,La,Th)PO ₄
			óxido de U e Ca	mineral não caracterizado
		FA-04	uraninita	UO ₂
			monazita	(Ce,La,Th)PO ₄
Provável "anfíbólio"	grupo de minerais	FA-03	quartzo	SiO ₂
			provável "anfíbólio"	-----
			zircão	ZrSiO ₄
monazita	(Ce,La,Th)PO ₄	FA-04	-----	-----
mineral de alteração de ilmenita para rutilo	óxido de Fe e Ti	FA-05	caulinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
			óxido de Fe	-----
			quartzo	SiO ₂
zircão	ZrSiO ₄	FA-07	quartzo	SiO ₂
			mica	-----
			caulinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
			biotita	K ₂ (Mg, Fe ²⁺) ₆₋₄ (Fe ³⁺ , Al, Ti) ₀₋₂ Si ₆₋₅ Al ₂₋₃ O ₂₀ (OH,F) ₄
		FA-08	apatita	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F,OH,Cl)
			possível "anfíbólio"	-----
			quartzo	SiO ₂
			muscovita	KAl ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH,F) ₂
			óxido de Ti	TiO ₂
			óxido de Fe	-----
GA-04	biotita	K ₂ (Mg, Fe ²⁺) ₆₋₄ (Fe ³⁺ , Al, Ti) ₀₋₂ Si ₆₋₅ Al ₂₋₃ O ₂₀ (OH,F) ₄		
	-----	-----		
cianita ou andaluzita ou sillimanita	Al ₂ SiO ₅	GA-06	-----	-----
rutilo ou anatásio ou brookita	TiO ₂	FA-06	-----	-----
		FA-09	zircão	ZrSiO ₄
		GA-06	-----	-----
espinélio	MgAl ₂ O ₄	GA-06	-----	-----
aluminossilicato de Fe	mineral não caracterizado	FA-05	-----	-----

5.2 – ANÁLISE DE QUÍMICA MINERAL EM MEV/EDS

5.2.1 – Seção Polida FA-01

Foram realizadas 32 (trinta e duas) análises químicas em grãos de ilmenita (Figuras 13 e 14), provenientes da seção Ferrovia do Aço, além de 3 (três) análises de inclusões. Segundo Liferovich & Mitchell (2006), a ilmenita (FeTiO_3) é considerada como o principal representante do grupo dos titanatos romboedrais ($\text{A}^{+2}\text{Ti}^{+4}\text{O}_3^{-6}$), onde o Fe^{+2} pode ser substituído parcialmente ou completamente por Mn^{+2} , Mg^{+2} ou Zn^{+2} , perfazendo com estes soluções sólidas ou formando termos extremos como a pyrofanita (MnTiO_3), geikielita (MgTiO_3) e ecandrewsita (ZnTiO_3).

Os teores de TiO_2 e Fe_2O_3 encontrados nos grãos de ilmenita são semelhantes ou muito próximos, prevalecendo na maior parte dos mesmos uma maior proporção de TiO_2 em relação ao Fe_2O_3 (Tabelas 3 e 4). Os teores de TiO_2 encontrados variaram de 43,84% a 57,17% em peso e de Fe_2O_3 entre 36,20% a 51,34% em peso. Nos grãos 8, 9, 21 e 27, os teores de TiO_2 observados foram bem mais elevados (cerca de 15 a 20% em peso superiores em relação aos teores de Fe_2O_3), o que provavelmente pode ser explicado devido a um grau mais elevado de alteração intempérica destes cristais, o que ocasiona o enriquecimento de Ti e o empobrecimento de Fe, devido a este último ter maior mobilidade iônica no ambiente supergênico.

Mücke & Bhadra Chaudhuri (1991), ao analisarem uma série de amostras de grãos de ilmenita provenientes de depósitos de placeres, observaram que a ação do intemperismo sobre esses cristais levaria à formação de uma série de produtos de alteração da ilmenita (ilmenita lixiviada, pseudo-rutilo, pseudo-rutilo lixiviado) até a formação final de cristais de leucoxênio (agregado policristalino de rutilo) através do enriquecimento progressivo de Ti e empobrecimento de Fe.

Observa-se também baixos valores de Mg^{+2} , Mn^{+2} e Zn^{+2} , que entram na estrutura da ilmenita substituindo o Fe^{+2} (Tabelas 3 e 4), bem como elevados valores de Ba^{+2} , que entrariam também substituindo o Fe^{+2} (Tabelas 3 e 4). Porém em alguns casos da literatura específica foi caracterizada a substituição

do Fe^{+2} por Fe^{+3} no sítio A, sendo necessário para o re-equilíbrio a substituição em pequena quantidade do Ti^{+4} por elementos trivalentes como o Mn^{+3} , Cr^{+3} , V^{+3} e Al^{+3} (Setsinger, 1969).

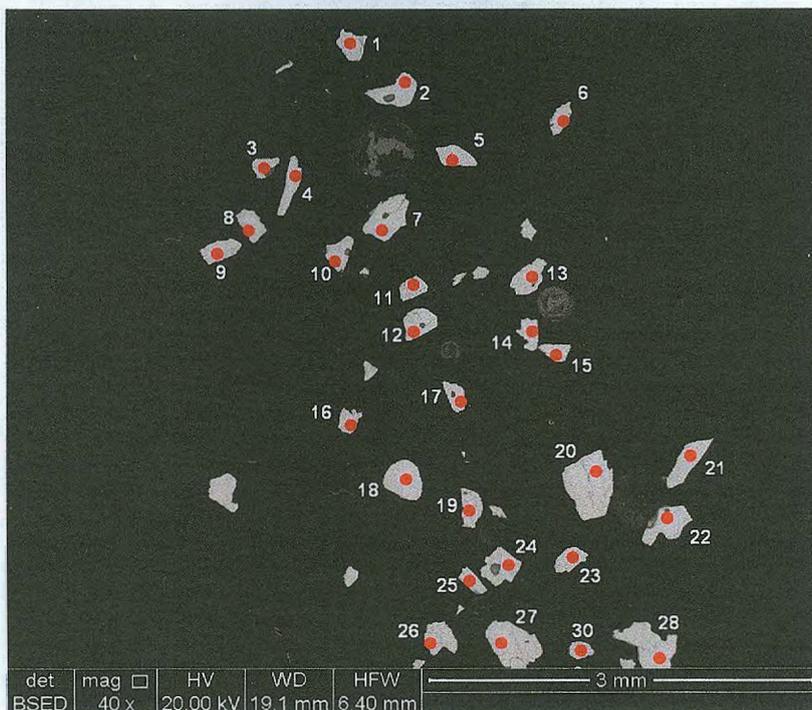


Figura 13: Imagem geral da seção polida FA-01, com 29 (vinte e nove) dos grãos de ilmenita analisados e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.

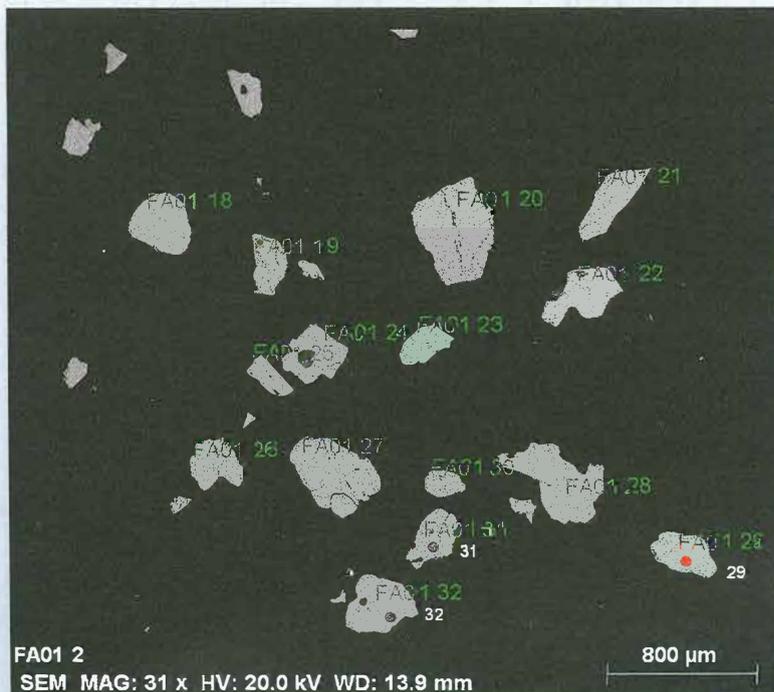


Figura 14: Imagem geral da seção polida FA-01, com os 3 (três) grãos restantes de ilmenita analisados e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.

Tabela 3: Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS dos grãos 1 a 17 de ilmenita da seção polida FA-01.

Grão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
TiO ₂	52,45	49,94	48,01	52,04	49,94	50,36	48,65	57,05	56,51	51,15	49,02	48,10	53,36	47,63	48,53	47,11	51,46
Fe ₂ O ₃	47,07	47,60	48,06	45,06	48,42	46,28	47,87	40,44	40,01	47,69	44,80	50,26	43,35	50,33	50,45	51,34	45,45
MgO	0,08	0,87	1,07	0,00	1,25	0,54	0,80	0,03	0,02	0,53	3,62	1,11	0,02	1,25	0,56	0,48	0,89
MnO	0,29	0,37	0,27	2,83	0,39	0,34	0,53	2,39	3,45	0,56	0,11	0,41	3,19	0,20	0,37	0,81	0,28
ZnO	-	-	-	-	-	-	-	0,09	-	0,06	0,12	0,12	-	0,22	0,07	0,12	0,01
ZrO ₂	-	1,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nb ₂ O ₅	-	0,01	-	0,07	-	0,03	-	-	0,01	-	0,14	-	0,09	-	-	0,07	-
BaO	-	-	2,59	-	-	2,44	2,16	-	-	-	2,20	-	-	-	-	-	1,91
Ta ₂ O ₅	0,11	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36	0,02	0,07	-
Soma	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 4: Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS dos grãos 18 a 32 de ilmenita da seção polida FA-01.

Grão	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Análise	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
TiO ₂	48,93	49,04	49,66	54,75	43,84	52,12	49,69	48,49	52,30	57,17	47,63	52,26	51,97	51,00	51,28
Fe ₂ O ₃	49,99	49,59	46,68	41,65	49,07	43,35	49,48	47,50	44,52	36,20	48,82	47,39	46,33	43,30	45,39
MgO	0,56	0,99	0,13	0,08	0,47	0,09	0,17	1,28	0,03	0,06	0,72	0,03	0,15	-	-
MnO	0,32	0,38	1,18	0,60	0,37	4,40	0,49	0,27	2,93	3,03	0,38	0,29	1,47	5,53	3,24
Na ₂ O	-	-	-	-	1,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	3,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZnO	-	-	-	0,13	-	0,04	0,08	0,02	0,16	0,01	-	-	0,07	0,11	0,08
Nb ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	0,08	-	0,06	-	0,22	-	-	0,07	-
BaO	-	-	2,35	2,66	1,94	-	-	2,25	-	3,53	2,24	-	-	-	-
Ta ₂ O ₅	0,21	-	-	0,12	-	-	-	0,18	-	-	-	0,04	-	-	-
Soma	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Diversas inclusões foram observadas a partir das imagens obtidas por MEV-EDS nos cristais de ilmenita da seção polida FA-01. A maioria destas corresponde a caulinita (Figura 15), que deveria corresponder a um feldspato ou mica. Porém também foi observada a presença de uma inclusão de alteração de silicato de Ti, possivelmente titanita (Figura 15). As análises químicas de algumas inclusões observadas nesses grãos de ilmenita podem ser vistas na Tabela 5.

Tabela 5: Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS das inclusões observadas nos grãos de ilmenita (2, 10 e 17) da seção polida FA-01.

Grão	10	2	17
Análise	Inclusão 1: alteração de silicato de Ti	Inclusão 2: caulinita	Inclusão 3: caulinita
SiO ₂	18,76	50,68	49,94
MgO	0,77	1,20	1,47
Al ₂ O ₃	8,82	25,59	32,73
P ₂ O ₅	0,54	-	-
K ₂ O	0,11	0,17	0,37
CaO	0,24	1,19	0,35
TiO ₂	61,50	1,35	2,96
MnO	0,25	-	-
Fe ₂ O ₃	9,00	19,82	12,18
Soma	100,00	100,00	100,00

5.2.2 – Seção polida FA-02

Foram realizadas 7 (sete) análises químicas em 6 (seis) cristais identificados como xenotímio (Figura 16), provenientes da seção Ferrovia do Aço, incluindo 1 (uma) análise de inclusão de monazita. Nos cristais de xenotímio foram observados teores de Y₂O₃ entre 42,55 e 45,79% em peso e de Yb₂O₃ bastante elevados (entre 3,81 a 6,95% em peso), bem como de outros elementos terras raras que substituem o Y na estrutura do xenotímio, tais como Sm, Gd, Dy, Er e Nd (Tabela 6). Um grão de zircão ocorreu em paragênese com o xenotímio 3 (Figura 17), o que é comum, pois o P⁺⁴ pode ser substituído pelo Si⁺⁴, enquanto o Zr⁺⁴ pelo Y⁺⁴ formando uma solução sólida. Alguns dos grãos de xenotímio também apresentaram teores de U⁺⁴ bastantes elevados, indicando a entrada desse elemento na sua estrutura, substituindo o Y⁺⁴. Foi identificada somente uma inclusão de monazita no grão 5 de xenotímio (Figura 18 e Tabela 6).

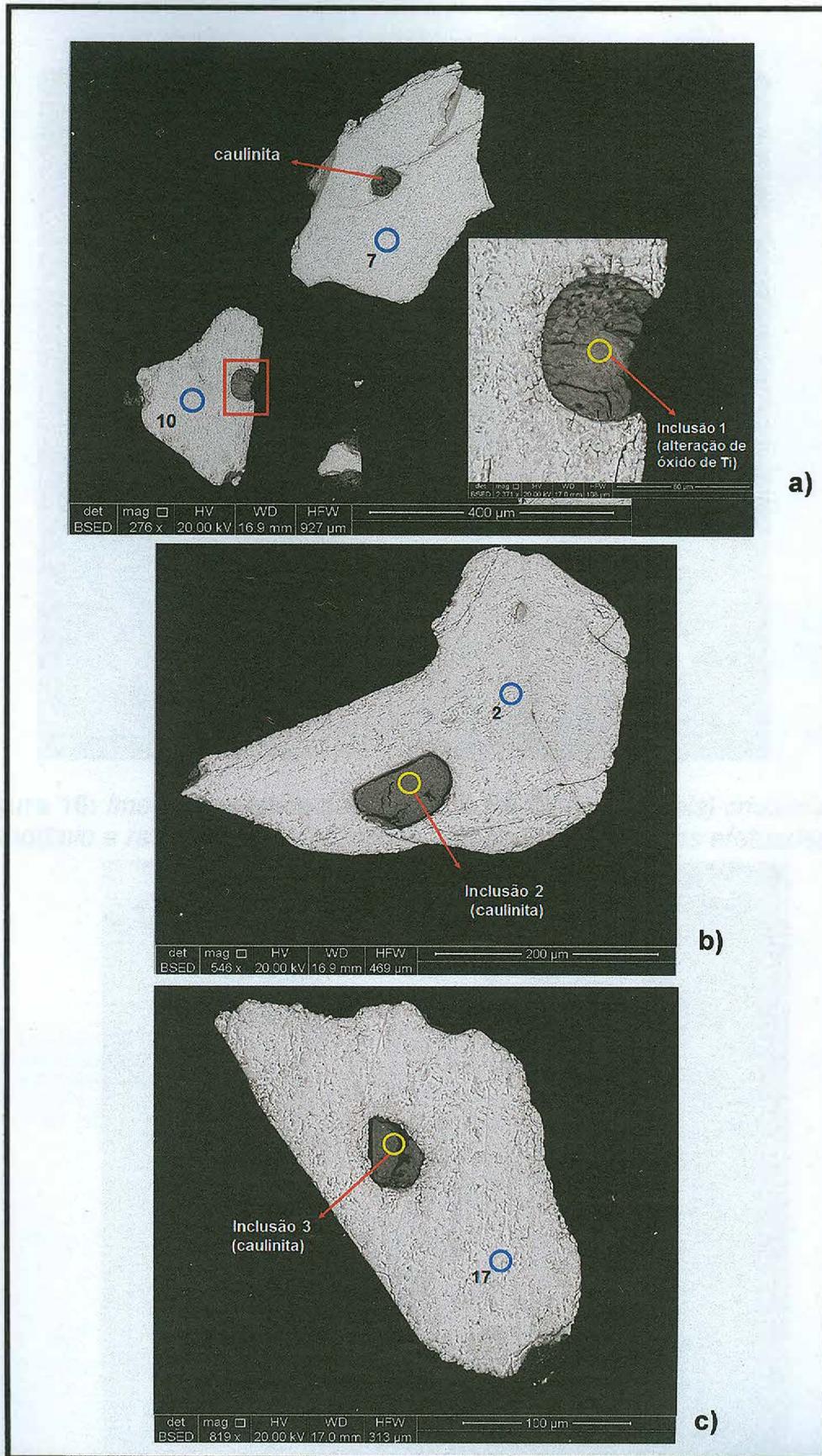


Figura 15: *Imagens de grãos de ilmenita da seção polida FA-01 com inclusões de caulinite e de óxido de Ti observadas nos grãos 7, 10 (a), 2 (b) e 17 (c). Observar também a localização das análises químicas realizadas nos cristais e nas inclusões.*

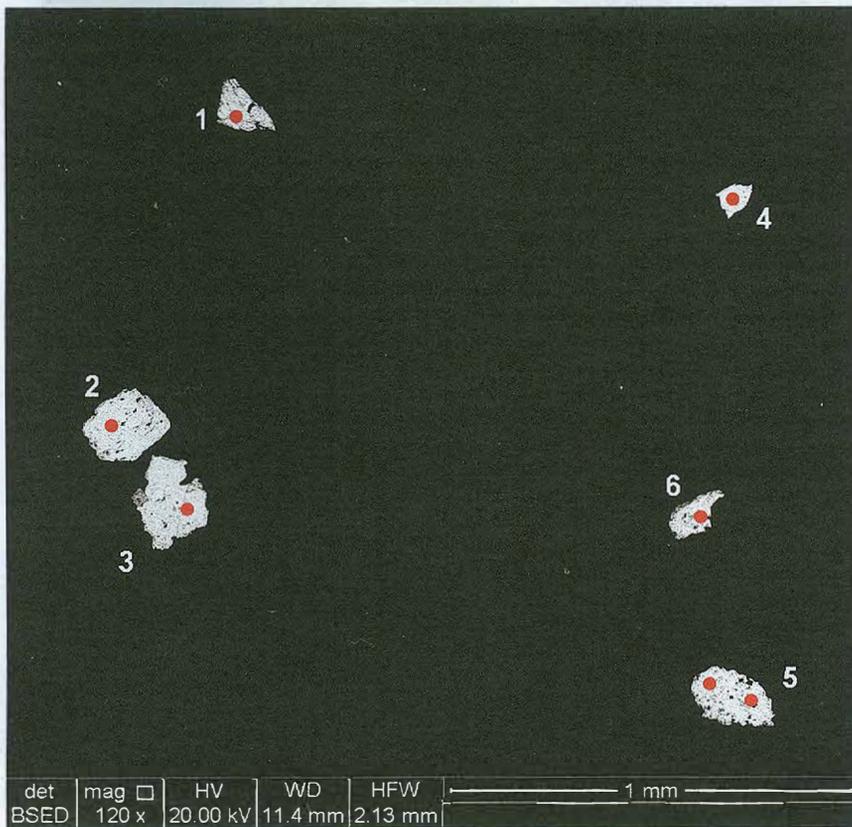


Figura 16: Imagem geral da seção polida FA-02 com 6 (seis) cristais de xenotímio e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.

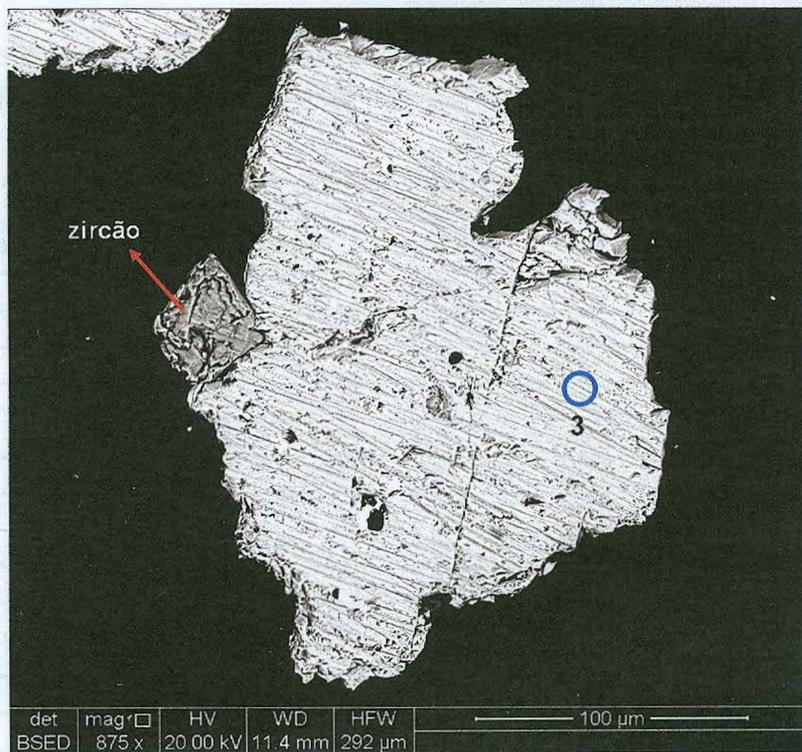


Figura 17: Imagem do grão 3 de xenotímio da seção polida FA-02, com zircão ocorrendo em paragênese e respectiva localização da análise química efetuada.

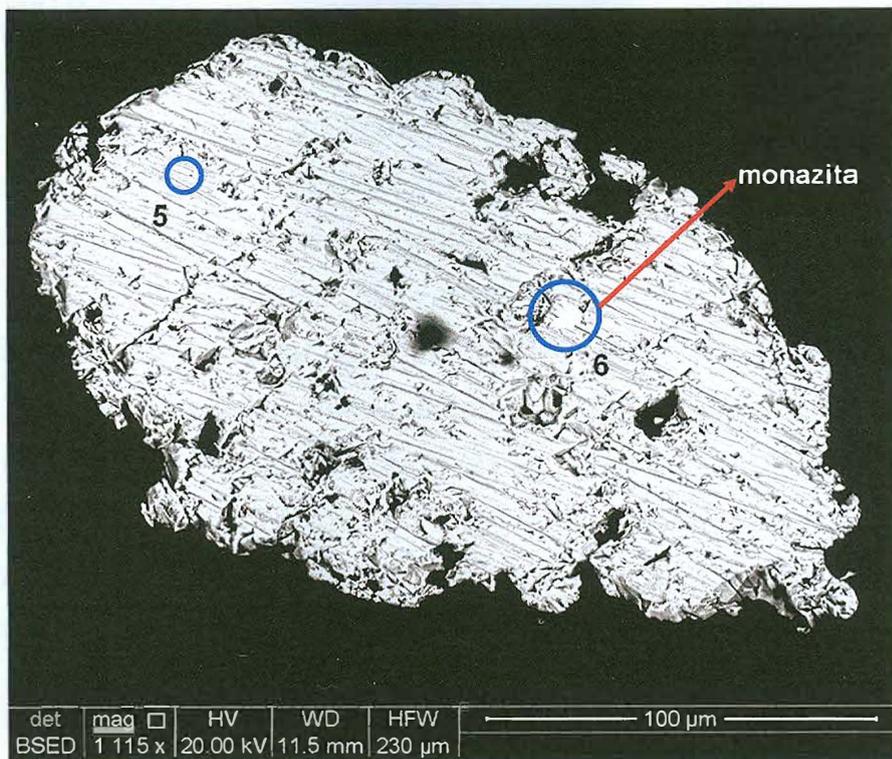


Figura 18: Imagem do grão 5 de xenotímio da seção polida FA-02, com inclusão de monazita e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.

Tabela 6: Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS dos cristais de xenotímio e de uma inclusão de monazita da seção polida FA-02.

Grão	1	2	3	4	5	5	6
Análise	1: xenotímio	2: xenotímio	3: xenotímio	4: xenotímio	5: xenotímio	6 – inclusão de monazita	7: xenotímio
SiO ₂	0,76	0,27	0,43	0,77	0,48	0,56	0,57
P ₂ O ₅	34,17	34,97	35,83	34,25	35,06	30,76	35,08
Y ₂ O ₃	42,55	45,21	45,79	43,12	44,43	-	44,88
Sm ₂ O ₃	0,71	0,37	-	-	-	-	-
Gd ₂ O ₃	2,52	2,06	2,53	2,13	2,61	-	2,75
Dy ₂ O ₃	5,99	5,92	6,12	4,93	5,74	-	6,06
Er ₂ O ₃	5,40	5,15	4,37	4,96	4,85	-	5,04
Yb ₂ O ₃	5,39	5,76	3,81	6,95	6,25	-	4,13
Ta ₂ O ₅	0,07	0,30	0,16	0,24	0,12	-	0,02
U ₃ O ₈	2,44	-	0,95	2,65	0,46	-	1,46
CaO	-	-	-	-	-	7,07	-
CeO ₂	-	-	-	-	-	10,77	-
Nd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	24,98	-
ThO ₂	-	-	-	-	-	25,86	-
Soma	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

5.2.3 – Seção polida FA-03

Foi realizada somente uma análise química nos 4 (quatro) cristais da seção polida FA-03 (Ferrovia do Aço), identificados genericamente no presente trabalho como provável "anfíbólio" (Figura 19). Essa situação deve-se à impossibilidade de se estabelecer o conteúdo de H₂O na estrutura do anfíbólio por MEV-EDS. Cabe destacar que esses grãos não foram passíveis de identificação via lupa binocular por Fiuza (2010), sendo designados de acordo com sua cor, ou seja, mineral preto acastanhado. O grão de possível "anfíbólio" apresentou teor muito elevado de Al₂O₃ (41,05% em peso), além de teores de SiO₂, Fe₂O₃, MgO e Na₂O (Tabela 7). Foram também identificadas inclusões de quartzo, de um outro possível "anfíbólio" e de zircão nos grãos estudados (Figuras 20 e 21).

Tabela 7: Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS em um grão caracterizado como provável "anfíbólio" da seção polida FA-03.

Grão	4
SiO ₂	36,02
TiO ₂	0,52
Al ₂ O ₃	41,05
Fe ₂ O ₃	11,30
MgO	7,49
CaO	0,61
Na ₂ O	3,01
Soma	100,00

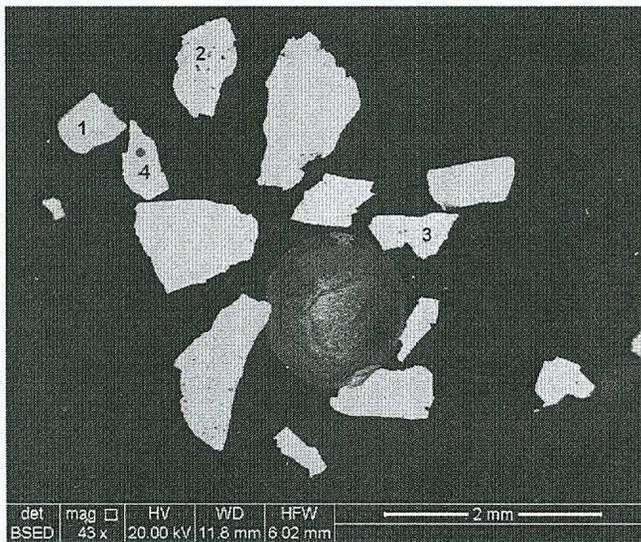


Figura 19: Imagem com grãos de "anfíbólio" da seção polida FA-03, destacando-se os 4 (quatro) cristais estudados e respectiva localização da análise química.

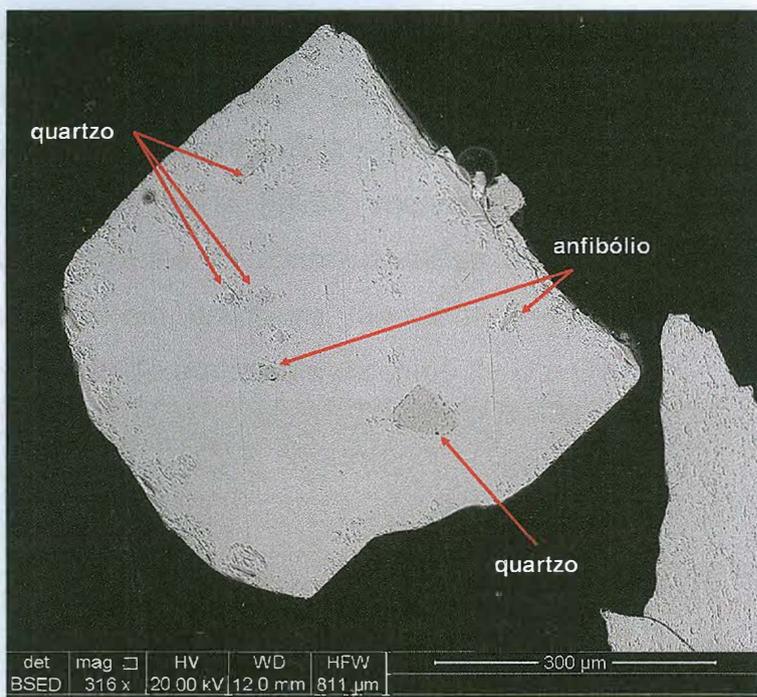


Figura 20: Imagem do grão de provável "anfibólio" 1 da seção polida FA-03, onde se observam inclusões de quartzo e de um outro provável "anfibólio".

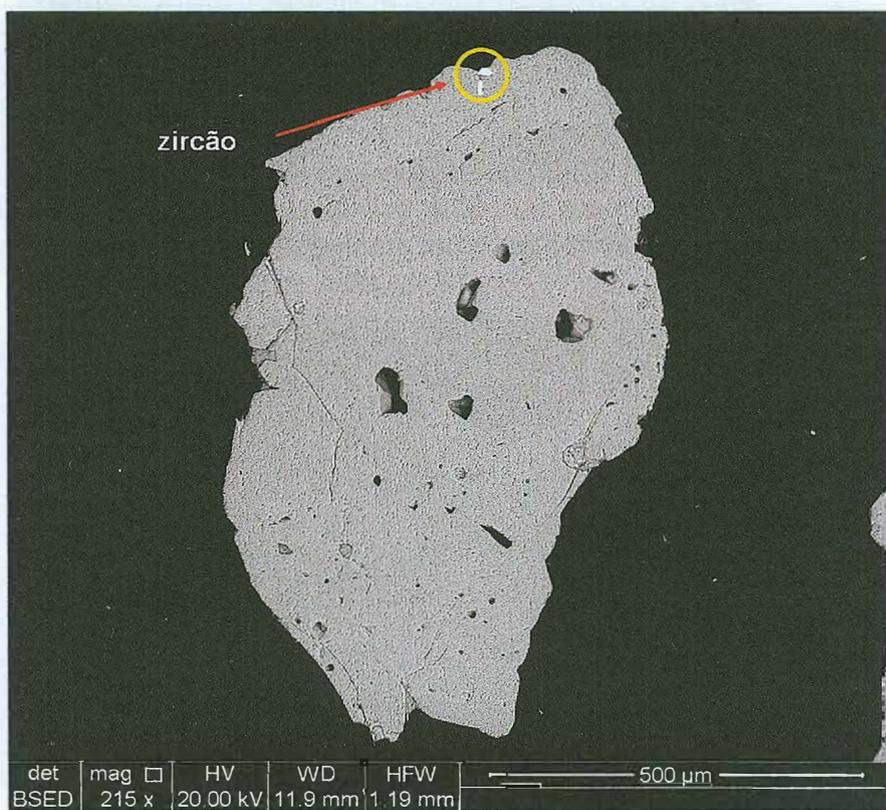


Figura 21: Imagem do grão de provável "anfibólio" 2 da seção polida FA-03, onde se observam inclusões de zircão.

5.2.4 – Seção polida FA-04

Para Fiuza (2010) esta seção polida seria composta somente de grãos amarelados de monazita. Porém dois minerais distintos de cor amarela foram identificados na seção polida FA-04: monazita (M) e xenotímio (X). Neste contexto, foram realizadas 11 (onze) análises em grãos de xenotímio e 16 (dezesseis) análises em grãos de monazita (Figuras 22 e 23), incluindo análises das inclusões de uraninita e de óxido de U e Ca.

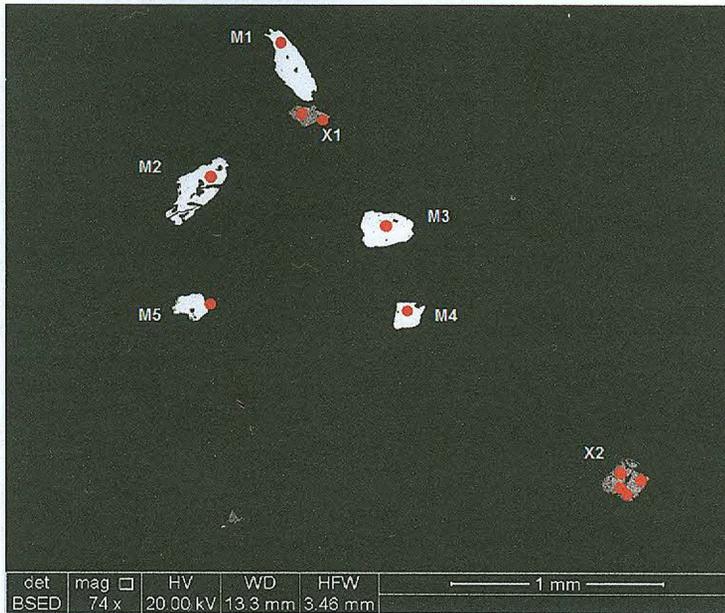


Figura 22: Imagem geral com parte dos grãos de monazita (M) e xenotímio (X) da seção polida FA-04 e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.

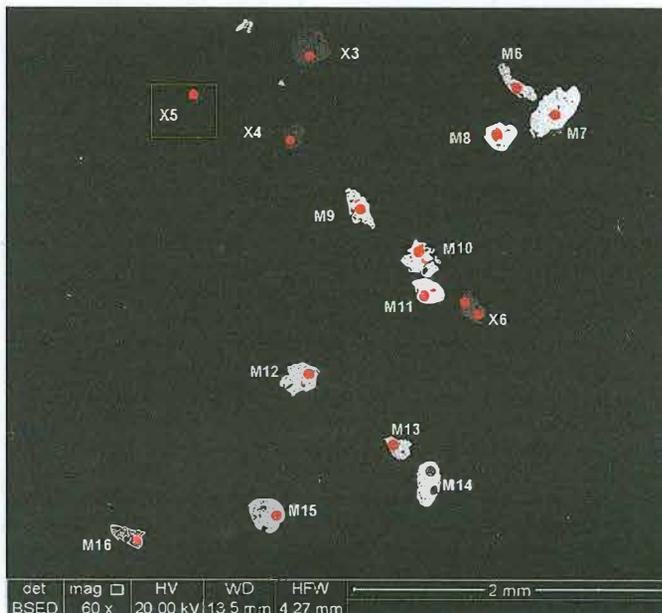


Figura 23: Imagem geral com demais grãos de monazita (M) e xenotímio (X) da seção polida FA-04 e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.

Quanto aos grãos de xenotímio (Tabela 8), os mesmos apresentaram teores de Y_2O_3 entre 40,98 a 42,68% em peso e de P_2O_5 entre 24,02 a 34,01% em peso. Teores de outros elementos terras raras pesados (Er, Dy, Yb, Ho, Gd, Tm) e intermediários (Nd, Sm) bem como de Pb e U também foram encontrados e acredita-se que os mesmos substituíram o Y na estrutura do xenotímio. Também foram analisadas inclusões (Tabela 9) de um óxido de U e Ca (Figura 24) e de uraninita (Figura 25), nas quais se destacaram significativos teores de U e Th, bem como uma inclusão de monazita (Figura 25 - Tabela 9). Além disso foram encontradas inclusões de zircão nos grãos de xenotímio X3 (Figura 26) e X6.

Os grãos de monazita (Figura 27) apresentaram teores significativos de elementos terras raras leves, destacando-se principalmente o CeO_2 , variando entre 31,11 a 37,57% em peso, bem como o La_2O_3 entre 14,19 e 17,86% em peso. Foram também encontrados valores elevados de Pr e Nd. Os teores de Th variaram de 0,54 a 6,84% em peso e U só foi detectado em 3 (três) cristais de monazita, sendo em sua maioria valores bem baixos, enquanto os valores de P_2O_5 variaram de 30,69 a 34,06% em peso (Tabela 10).

Tabela 8: Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS em grãos de xenotímio da seção polida FA-04.

Grão	X1	X2	X2	X3	X4	X5	X6
Análise	x1	x3	x4	x8	x9	x10	x11
SiO_2	0,60	0,31	0,35	0,15	0,37	0,32	0,37
P_2O_5	33,25	33,23	34,01	32,49	32,93	32,72	33,17
Y_2O_3	42,33	41,77	42,68	41,75	40,98	41,54	41,49
Nd_2O_3	-	-	-	-	-	-	0,11
Sm_2O_3	0,66	1,52	0,80	-	-	-	-
Gd_2O_3	2,96	5,19	3,42	1,67	2,05	1,97	1,61
Dy_2O_3	6,56	9,17	7,44	6,52	6,51	5,91	5,82
Er_2O_3	4,98	3,98	4,72	6,47	6,19	5,56	5,67
Ho_2O_3	-	1,57	1,61	1,86	1,69	1,66	1,64
Tm_2O_3	-	0,63	1,03	-	-	-	-
Yb_2O_3	4,42	2,06	3,56	6,35	5,49	6,60	5,82
PbO	2,20	-	-	2,73	3,42	2,80	2,66
U_3O_8	2,05	0,56	0,37	-	0,37	0,92	1,63
Soma	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 9: Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS das inclusões em grãos de xenotímio da seção polida FA-04.

Grão	X1	X2	X2	X2
Análise	x2: inclusão de óxido de U e Ca	x5: inclusão de monazita	x6: inclusão de uraninita	x7: inclusão de uraninita
SiO ₂	10,60	0,08	-	3,06
P ₂ O ₅	-	24,02	-	-
La ₂ O ₃	-	3,89	-	-
CeO ₂	-	23,91	-	-
Nd ₂ O ₃	-	34,49	-	-
Sm ₂ O ₃	-	5,70	-	-
Fe ₂ O ₃	-	3,10	-	-
CaO	22,29	0,72	-	-
ThO ₂	6,88	4,10	6,91	13,23
PbO	3,39	-	7,47	9,29
U ₃ O ₈	56,84	-	85,62	74,43
Soma	100,00	100,00	100,00	100,00

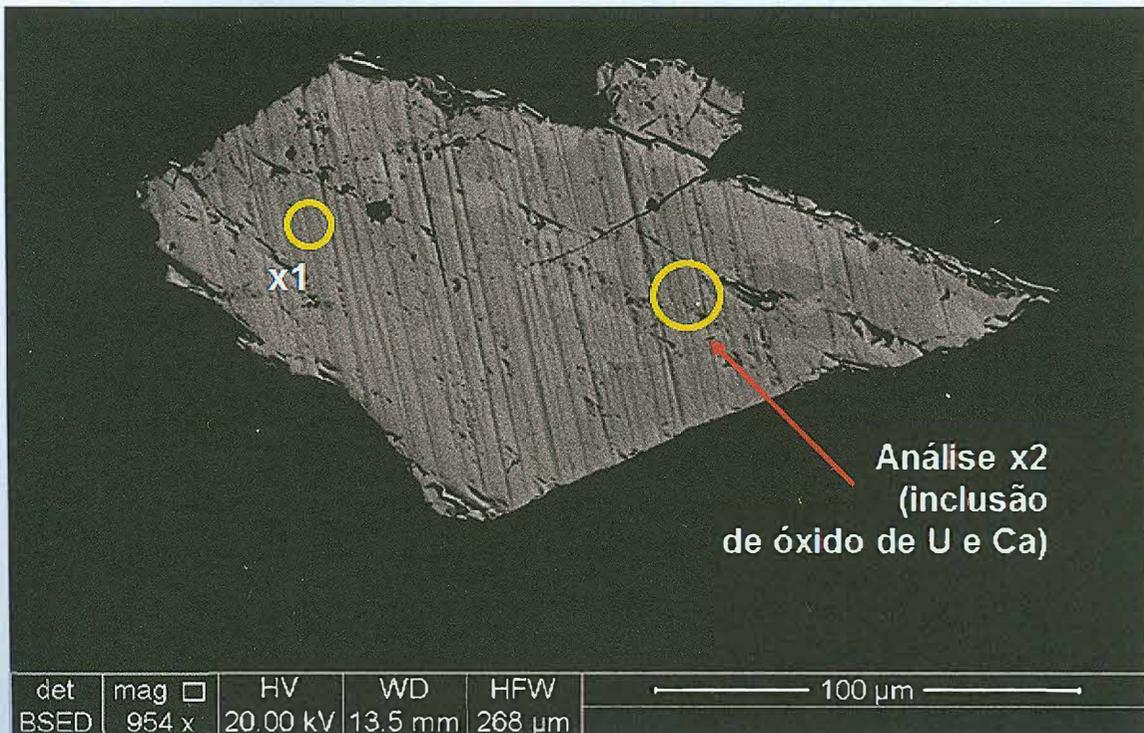


Figura 24: Imagem do grão X1 de xenotímio da seção polida FA-04, com inclusão de óxido de U e Ca, e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.

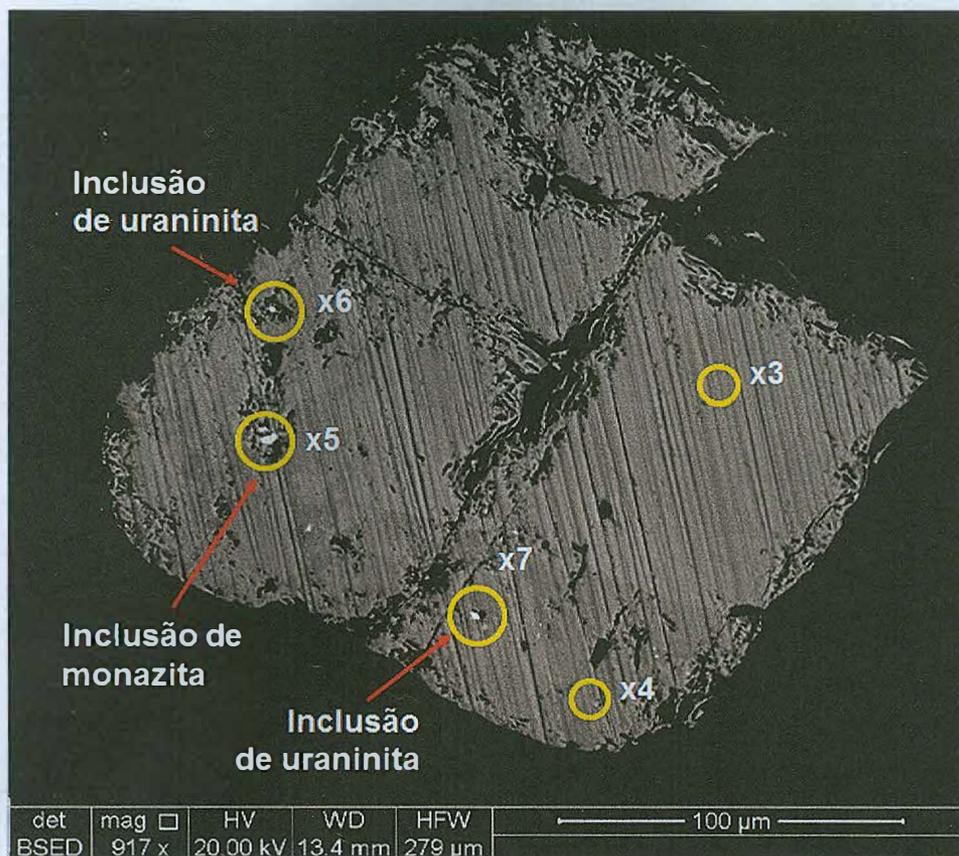


Figura 25: Imagem do grão X2 de xenotímio da seção polida FA-04, com inclusões de monazita e uraninita, e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.

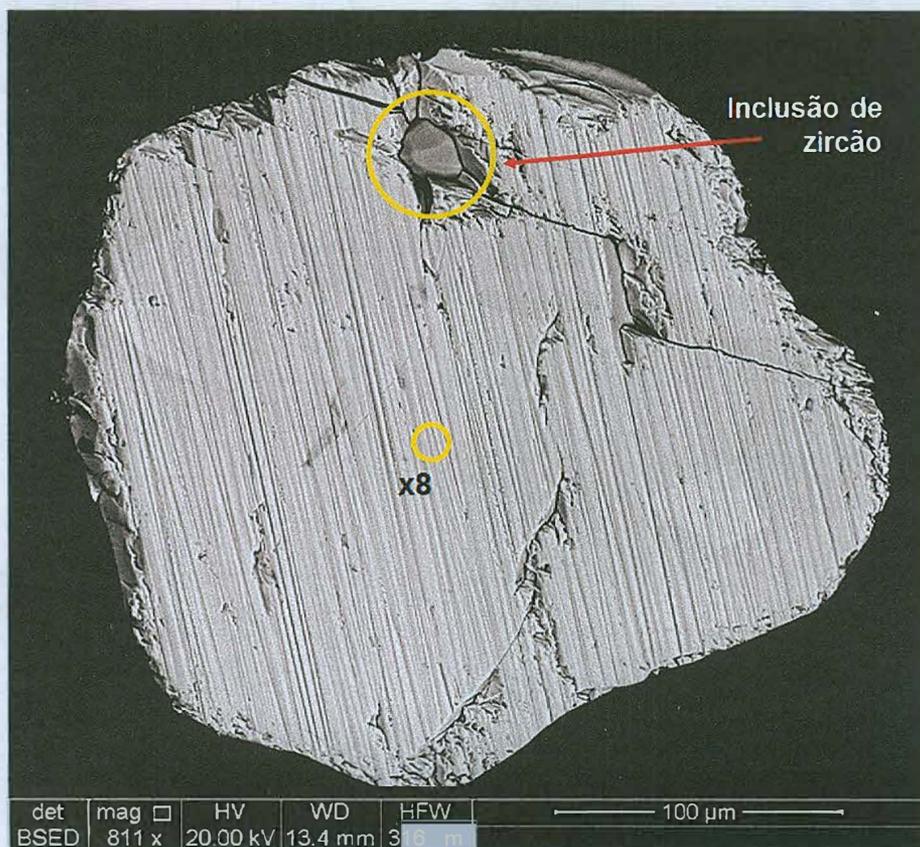


Figura 26: Imagem do grão X3 de xenotímio da seção polida FA-04, com inclusão de zircão, e respectiva localização da análise química x8.

Tabela 10: Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS em grãos de monazita da seção polida FA-04.

Grão	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
Análise	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	m12	m13	m14	m15	m16
SiO ₂	0,38	-	0,08	-	0,11	0,01	0,10	0,75	-	-	0,12	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	26,58	30,69	28,87	29,71	27,80	27,37	26,52	26,34	28,00	30,02	24,06	28,86	26,12	28,36	29,79	26,83
La ₂ O ₃	16,16	14,24	15,79	15,96	14,50	14,80	14,76	14,19	15,81	15,45	16,16	17,33	15,63	17,51	15,67	17,86
CeO ₂	34,49	31,11	34,22	34,18	34,17	37,57	36,01	34,39	35,35	35,06	35,82	36,92	34,85	37,13	34,79	37,09
Pr ₆ O ₁₁	3,27	3,03	3,62	3,22	3,94	3,67	3,89	3,61	3,61	3,67	4,29	3,37	3,88	3,65	3,58	3,43
Nd ₂ O ₃	13,27	10,98	13,28	12,35	14,51	13,57	13,66	13,59	13,17	12,84	14,53	12,37	12,33	12,67	12,91	12,43
ThO ₂	5,56	6,83	3,55	3,80	4,68	2,67	4,50	6,84	3,29	2,25	4,52	1,00	5,95	0,54	2,08	1,93
CaO	0,28	1,88	0,58	0,78	0,30	0,34	0,56	0,29	0,76	0,63	0,50	0,13	1,23	0,13	0,63	0,43
U ₃ O ₈	-	1,24	-	-	-	-	-	-	-	0,07	-	-	-	-	0,54	-
Soma	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

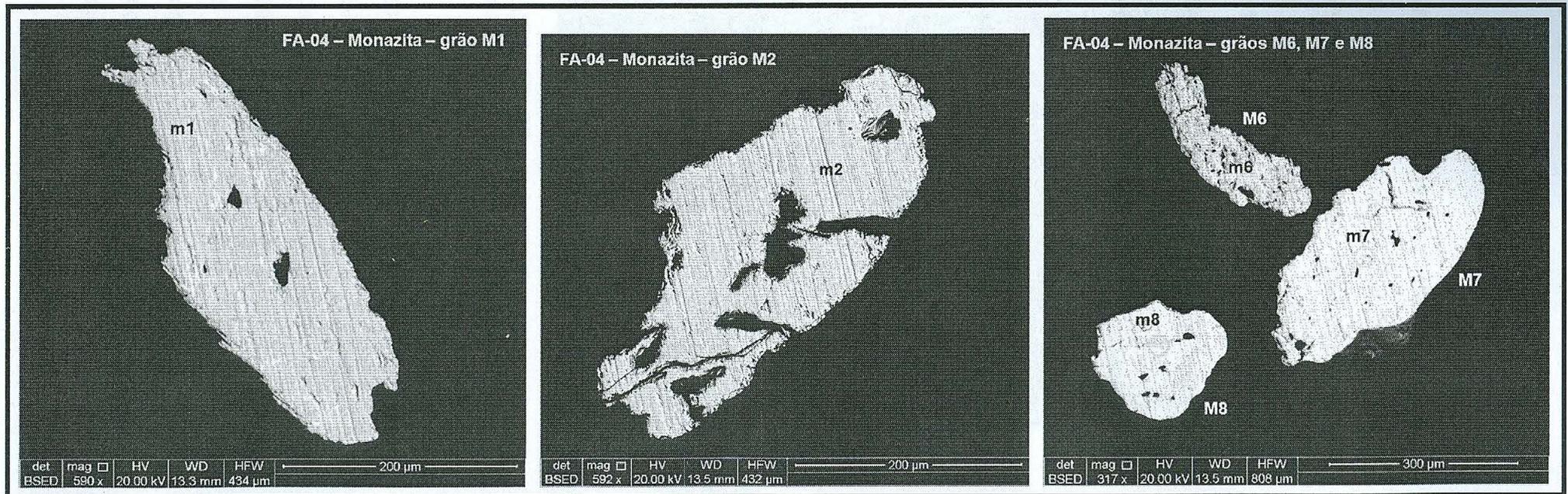


Figura 27: Imagens de grãos de monazita da seção polida FA-04 e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.

5.2.5 – Seção polida FA-05

Foram identificados, a partir de análises químicas e das imagens geradas por MEV-EDS, 3 (três) tipos diferentes de grãos na seção polida FA-05 (seção Ferrovia do Aço - Figura 28): um primeiro tipo foi aqui designado como mineral de alteração de ilmenita para rutilo (do grão 1 ao 9), 3 (três) grãos de aluminossilicato de Fe (grãos 10, 11 e 13), e 1 (um) grão de litoclasto (grão 12).

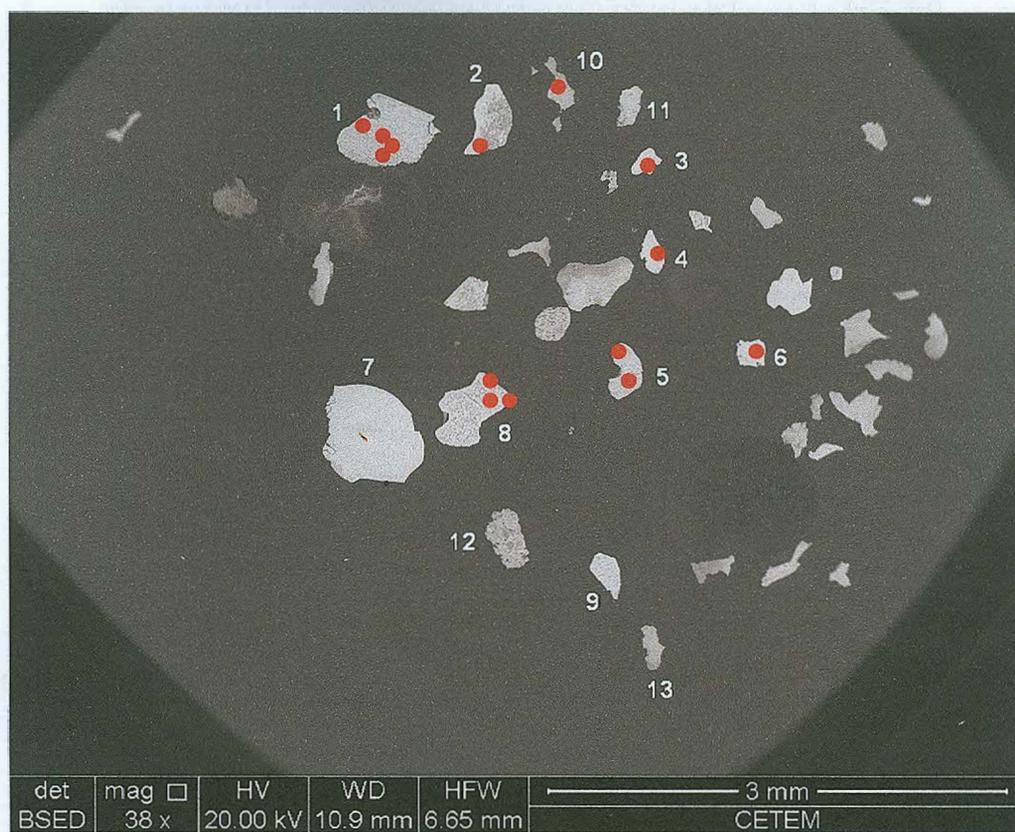


Figura 28: Imagem geral da seção polida FA-05, com os grãos estudados e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.

Os grãos provenientes da alteração da ilmenita para rutilo apresentaram uma série de cavidades (Figuras 29 e 30), que estariam relacionadas à alteração intempérica e dissolução. Os teores de TiO_2 são elevados e variam entre 45,28 a 84,90% em peso, enquanto os teores de Fe_2O_3 foram baixos e variaram de 10,21 a 34,79% em peso. Normalmente o teor de SiO_2 era baixo, com exceção do grão 8, que apresentou 25,73% em peso (análise 12; Tabela 11; Figura 30b). Foram também encontradas inclusões de caulinita (Figura 29a), óxido de Fe (Figura 29b) e quartzo nestes grãos. No grão 8, observou-se

uma borda de recristalização do grão, evidenciando que a alteração deste cristal se deu de dentro para fora (Figura 30b).

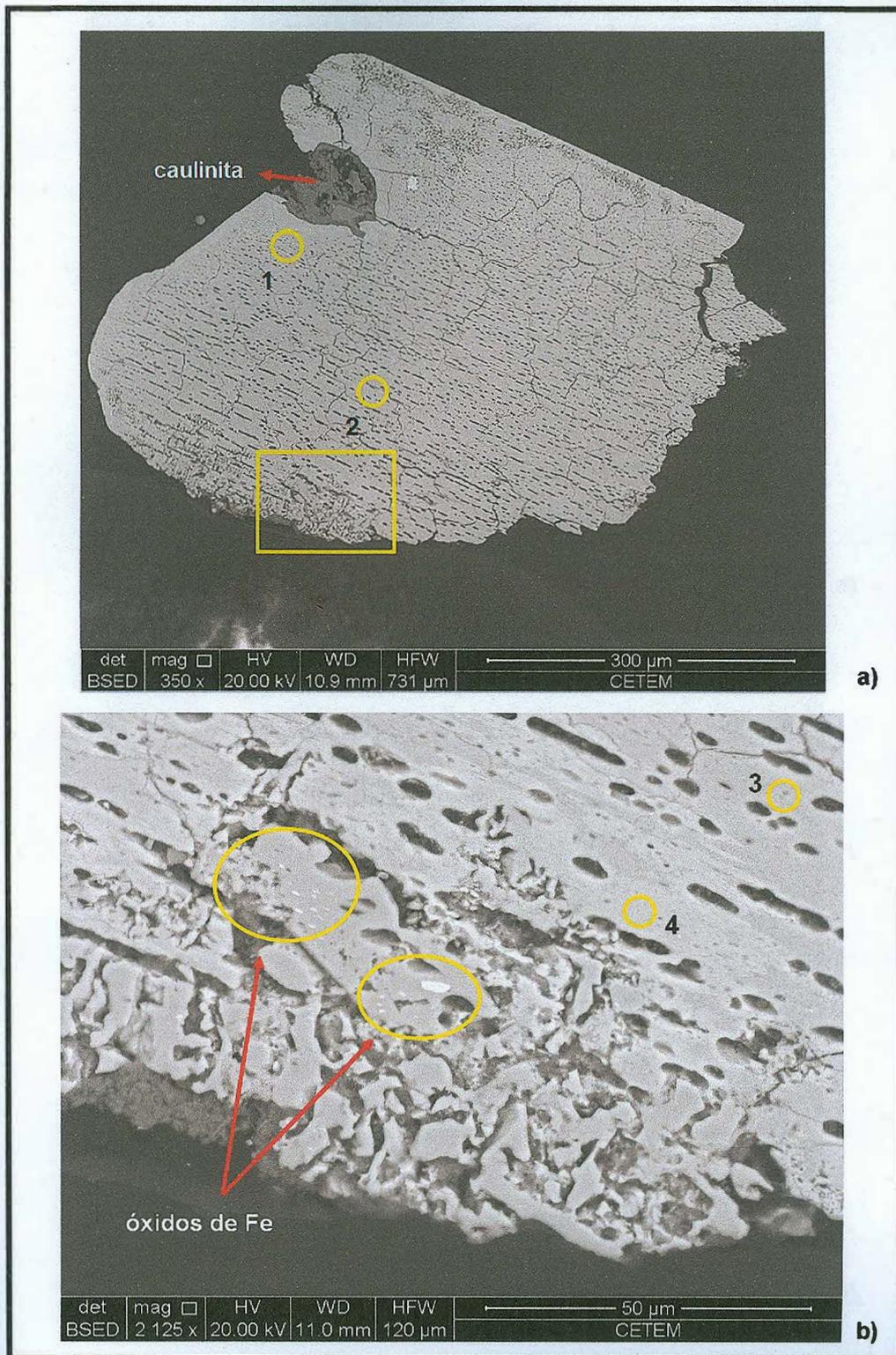


Figura 29: Imagem do grão 1 da seção polida FA-05, de um mineral de alteração de ilmenita para rutilo, e localização de análises químicas efetuadas. a) Observar as cavidades geradas pela forte alteração do cristal e a presença de uma inclusão de caulinita. b) Observar a presença de inclusões de óxido de Fe.

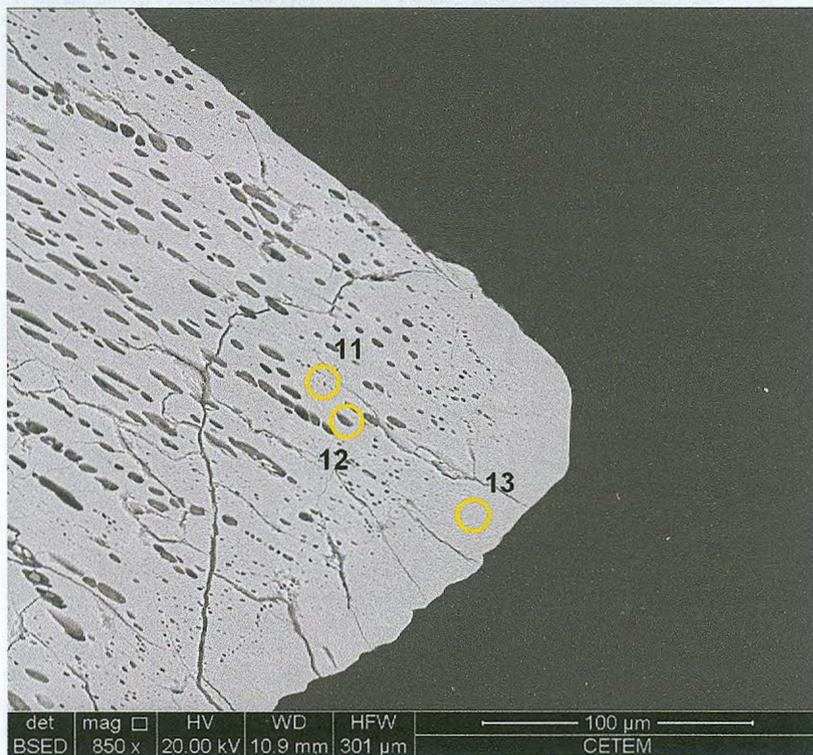
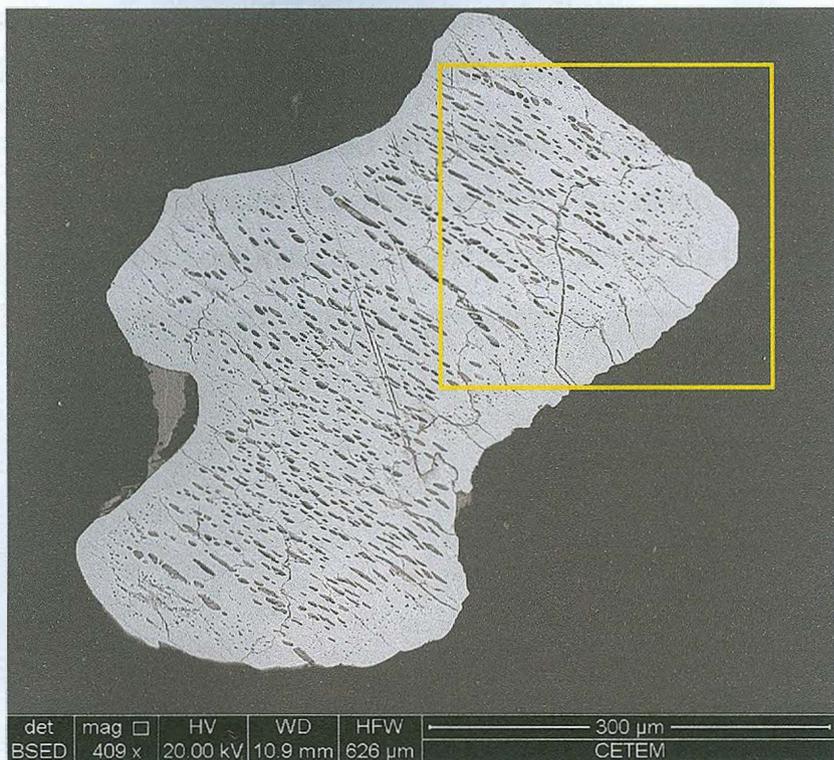


Figura 30: a) Imagem do grão 8 da seção polida FA-05, de um mineral de alteração de ilmenita para rutilo. b) Observar as cavidades geradas pela forte alteração do cristal e respectivas análises químicas efetuadas.

Três grãos foram identificados como aluminossilicatos de Fe (grãos 10, 11 e 13). A análise química realizada no grão 10 (Figura 31) indicou teores de Fe_2O_3 de 60,10% , Al_2O_3 de 12,98% e de SiO_2 de 25,61% (Tabela 11).

Por fim, foi identificado um grão de litoclasto (grão 12), com presença de cristais de feldspato potássico, caulinita, muscovita, óxido de Fe e quartzo envolvidos em uma matriz composta por aluminossilicato de Fe (Figura 32).

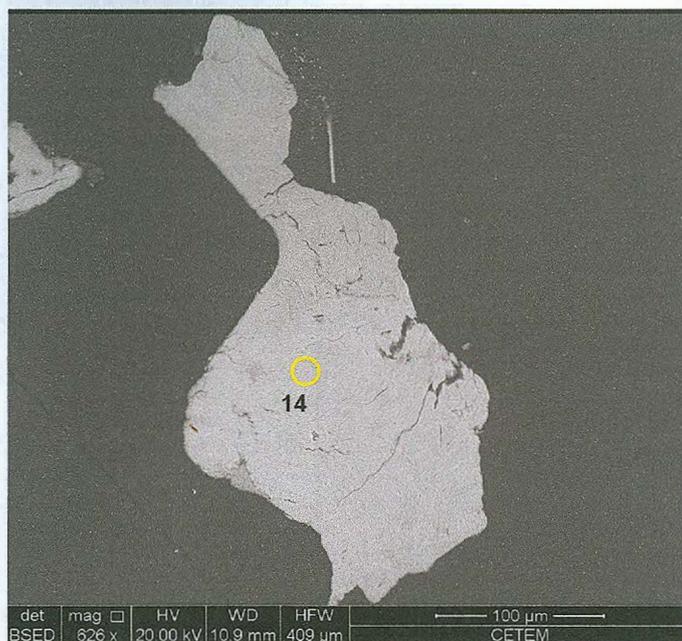


Figura 31: Imagem do grão 10 da seção polida FA-05, de aluminossilicato de Fe, com respectiva localização da análise química efetuada.

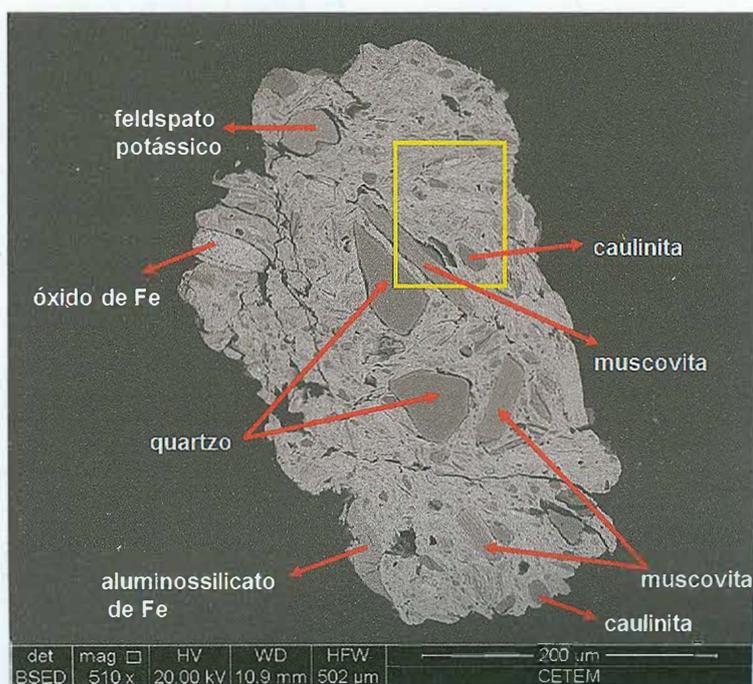


Figura 32: Imagem do grão 12 (litoclasto) identificado na seção polida FA-05.

Tabela 11: Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS da seção polida FA-05
(grãos 1 a 8 – mineral de alteração de ilmenita para rutilo; grão 10 – aluminossilicato de Fe).

Grão	1	1	1	1	2	3	4	5	5	6	8	8	8	10
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂	0,23	2,75	2,04	0,63	2,21	1,95	3,67	3,18	4,17	3,02	3,11	25,73	2,96	25,61
TiO ₂	64,95	74,50	74,87	66,99	65,92	74,74	71,36	76,61	84,90	74,86	74,51	45,28	74,96	0,23
Fe ₂ O ₃	34,79	22,44	22,77	31,91	31,49	22,83	24,44	19,85	10,21	21,73	21,99	18,93	21,73	60,10
Al ₂ O ₃	0,04	0,31	0,32	-	-	0,48	0,53	0,35	0,72	0,39	0,38	10,06	0,35	12,98
MgO	-	-	-	0,48	0,21	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75
P ₂ O ₅	-	-	-	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33
Soma	100,00													

5.2.6 – Seção polida FA-06

Foram estudados 6 (seis) grãos de óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita) na seção polida FA-06, proveniente da seção Ferrovia do Aço (Figura 33) e 3 (três) análises químicas foram realizadas. Os grãos encontravam-se fortemente alterados pelo intemperismo (Figura 34), com presença de diversas cavidades.



Figura 33: Imagem geral da seção polida FA-06, com os grãos de óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita) estudados e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.



Figura 34: Imagem do grão 3 de óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita), fortemente alterado, da seção polida FA-06, com paragénesese com um cristal de muscovita, e respectiva localização da análise química efetuada.

Os teores de TiO_2 encontrados são bastante elevados (entre 90,31 e 93,50% em peso), porém foi identificada a presença de SiO_2 (entre 1,64 a 2,22% em peso), de Fe_2O_3 (entre 1,62 a 4,31% em peso) e de Al_2O_3 (entre 1,15 a 1,89% em peso), que provavelmente estão relacionados à substituição do Ti ou ao preenchimento de defeitos cristalinos gerados durante a alteração (Tabela 12).

Tabela 12: Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS em grãos de óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita) da seção polida FA-06.

Grão	1	2	3
Análise	1	2	3
Al_2O_3	1,59	1,15	1,89
SiO_2	2,00	1,64	2,22
P_2O_5	0,72	0,30	0,38
TiO_2	93,50	95,29	90,31
Fe_2O_3	2,18	1,62	4,31
ZrO_2	-	-	0,88
Soma	100	100	100

5.2.7 – Seção polida FA-07

Foram estudados 8 (oito) grãos de zircão na seção polida FA-07 (Figura 35), proveniente da seção Ferrovia do Aço. Os grãos encontraram-se desgastados pela erosão e apenas o grão 5 ainda preserva o típico hábito prismático bipiramidal dos cristais deste mineral (Figura 36).

Os teores de ZrO_2 detectados nas análises variaram de 65,59 a 69,53% em peso. Apesar de cristais de zircão quase sempre conterem teores de Hf em sua estrutura, substituindo o Zr (Deer *et al.*, 2008), os grãos estudados não apresentaram HfO_2 nas análises realizadas (Tabela 13). Os teores de SiO_2 variaram de 29,04 a 31,21% em peso e em apenas dois grãos foram identificados teores de Al_2O_3 e de CaO (Tabela 13), possivelmente relacionados a um processo de alteração intempérica mais acentuado com a formação de poros nanométricos, que reteêm água conforme descrito por Nasdala *et al.* (2009). Foram encontradas inclusões de quartzo, mica e caulinita (Figura 37), na qual foi realizada uma análise química (Tabela 13).



Figura 35: Imagem geral da seção polida FA-07, com os grãos de zircão estudados e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.



Figura 36: Imagem do grão 5 de zircão da seção polida FA-07 e respectiva localização da análise química efetuada. Destaca-se o hábito prismático bipyramidal do cristal.

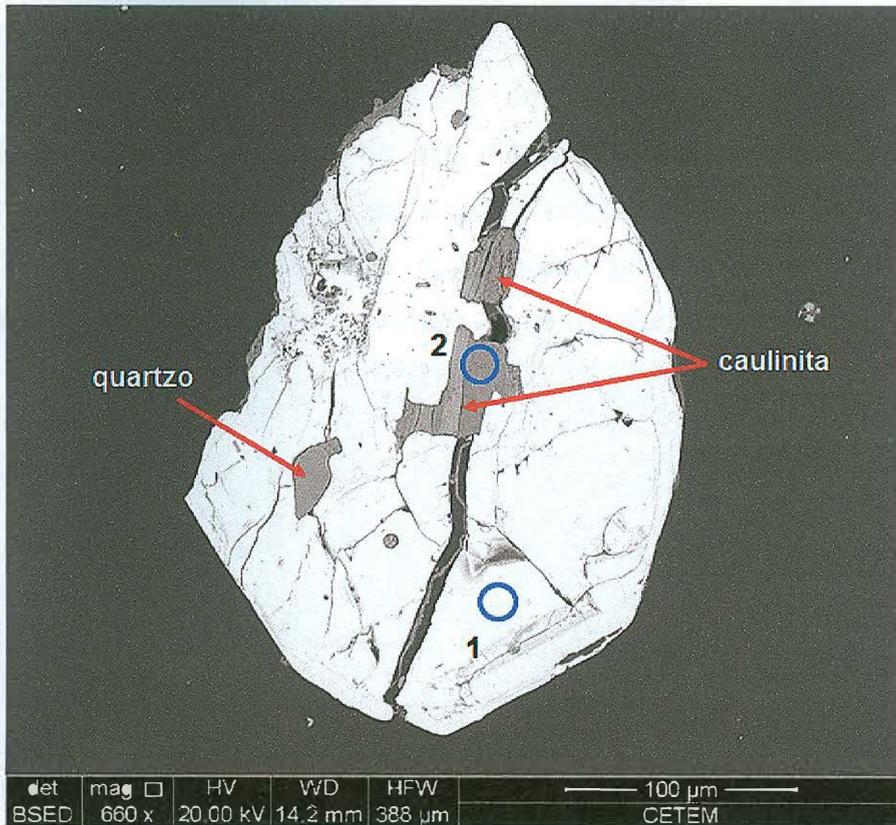


Figura 37: Imagem do grão 1 de zircão da seção polida FA-07, com inclusões de caulinita e quartzo, e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.

Tabela 13: Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS em grãos de zircão da seção polida FA-07.

Grão	1	1	2	3	4	5	6	6	7	8
Análise	1	2: inclusão de caulinita	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	30,47	48,53	30,89	29,04	31,05	31,05	31,12	29,67	30,76	31,21
ZrO ₂	69,53	1,27	69,11	68,58	68,95	68,95	68,88	65,59	69,24	68,79
Al ₂ O ₃	-	46,21	-	2,38	-	-	-	3,44	-	-
CaO	-	-	-	-	-	-	-	1,29	-	-
MgO	-	3,01	-	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	-	0,74	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	-	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
Soma	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

5.2.8 – Seção polida FA-08

Foram estudados 8 (oito) grãos de zircão da seção polida FA-08, proveniente da seção Ferrovia do Aço (Figura 38) nos quais foram realizadas 13 (treze) análises químicas. Alguns grãos encontravam-se desgastados pela erosão (Figura 39), mas grande parte ainda preserva o hábito prismático bipiramidal típico (Figura 40), indicando que o transporte não foi acentuado.

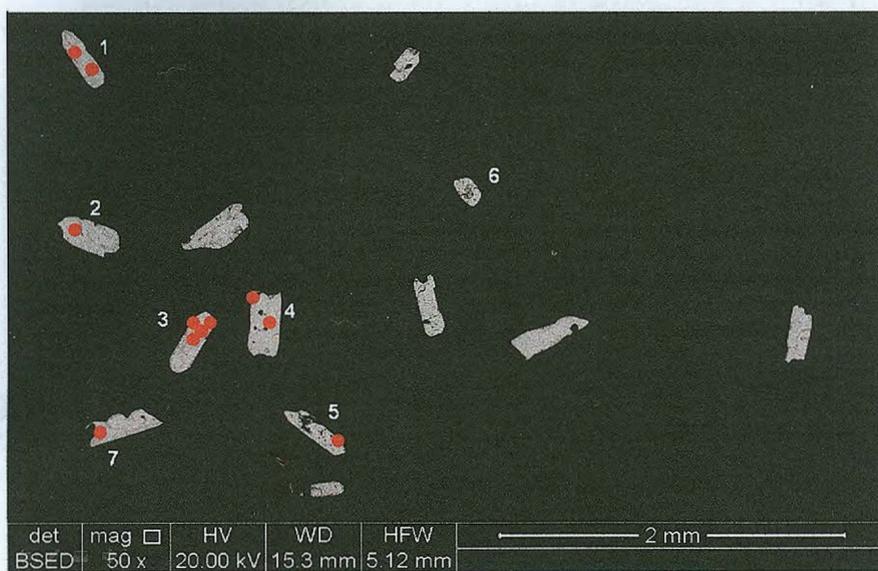


Figura 38: Imagem geral com 7 (sete) grãos de zircão da seção polida FA-08 e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.

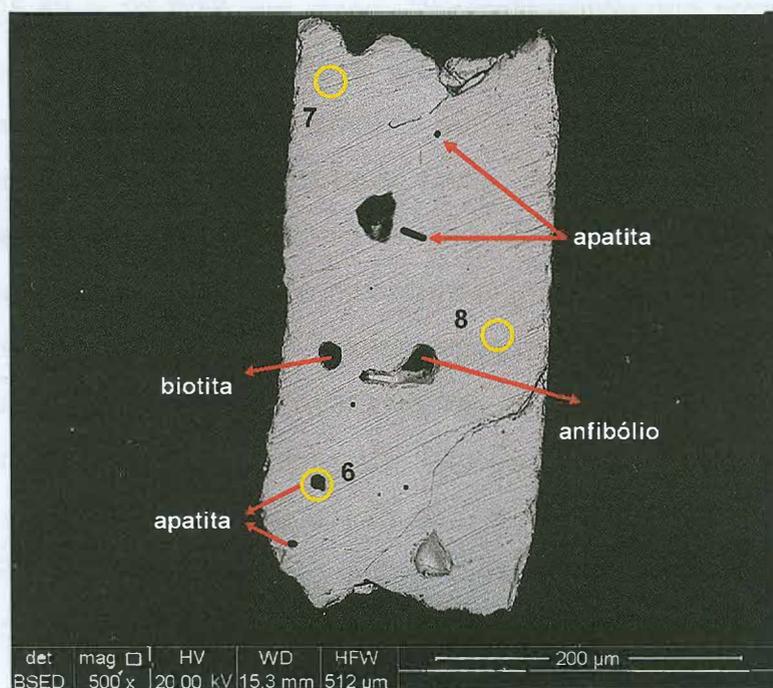


Figura 39: Imagem do grão 4 de zircão da seção polida FA-08, com respectivas localizações das análises químicas efetuadas. Observar as inclusões de biotita, apatita e anfibólio e que o cristal apresenta-se bastante desgastado pela erosão.

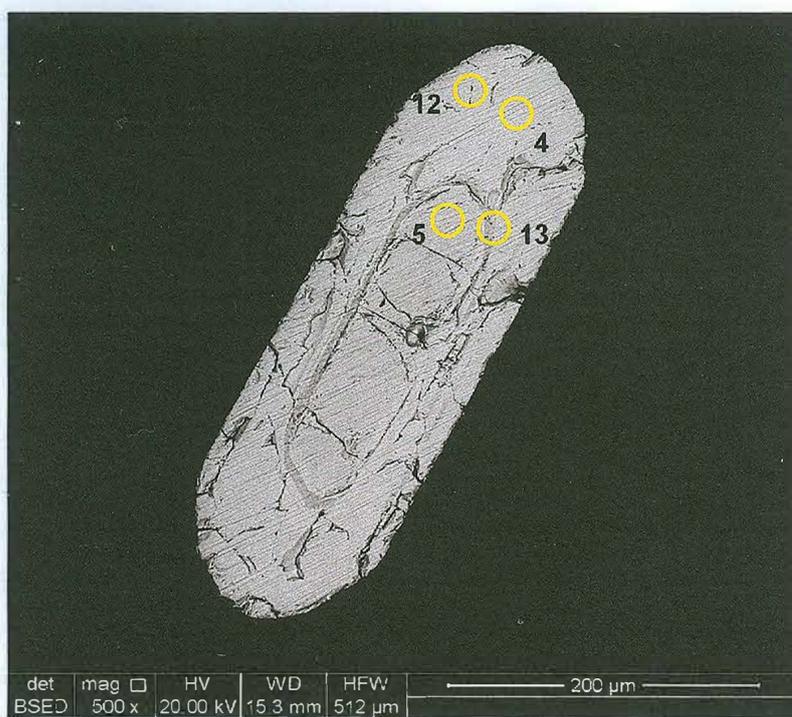


Figura 40: Imagem do grão 3 de zircão da seção polida FA-08, com respectivas localizações das análises químicas efetuadas. Observar o zonamento do cristal, ausência de inclusões e seu hábito prismático bipiramidal.

Os teores de ZrO_2 variam entre 68,19 a 73,49% em peso, enquanto os de SiO_2 entre 25,42 e 28,80% em peso. Diferentemente dos cristais de zircão estudados na seção polida FA-07, os grãos de zircão da seção polida FA-08 apresentaram teores de HfO_2 entre 0,89 e 2,28%, o que aponta para proveniências distintas. Caracterizou-se, ainda, um enriquecimento de Fe, Ca e Al na análise 13, realizada sobre a porção cinza escura do zonamento do cristal 3, o que não foi observado nos demais grãos da seção polida que não são zonados (Tabela 14). Esses elementos não são compatíveis com a estrutura do zircão e estão relacionados a um processo de alteração intempélica mais acentuado com a retenção de água em poros nanométricos (Nasdala *et al.*, 2009). Alguns grãos (1, 2, 3 e 7) apresentam-se limpos (sem inclusões, Figura 40), enquanto outros mostram uma série de inclusões diferentes, como biotita, apatita, anfibólio, quartzo, muscovita e rutilo – grãos 4 (Figura 39), 5, 6 e 8, indicando possivelmente grãos de proveniências diferentes.

Tabela 14: Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS em grãos de zircão da seção polida FA-08.

Grão	1	1	2	3	3	4	4	4	5	8	7	3	3
Análise	1	2	3	4	5	6: inclusão de apatita	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	25,95	25,98	25,50	25,91	25,66	-	25,62	25,73	25,71	25,71	28,73	28,80	25,42
ZrO ₂	72,91	72,75	72,82	72,72	73,06	-	73,49	73,10	73,23	73,23	69,52	69,17	68,19
HfO ₂	1,14	1,27	1,68	1,37	1,28	-	0,89	1,16	1,06	1,07	1,75	2,02	2,28
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	0,48	-	-	-	-	-	-	2,03
CaO	-	-	-	-	-	33,28	-	-	-	-	-	-	0,79
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,28
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	65,95	-	-	-	-	-	-	-
SrO	-	-	-	-	-	0,29	-	-	-	-	-	-	-
Soma	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

5.2.9 – Seção polida FA-09

Foram estudados 8 (oito) grãos de óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita) na seção polida FA-09, provenientes da seção Ferrovia do Aço (Figura 41).

Os teores de TiO_2 obtidos através das análises variaram de 92,71 a 100% em peso. Baixos valores de outros óxidos também foram encontrados (Tabela 15), como Fe_2O_3 , Cr_2O_5 , Nb_2O_5 e Ta_2O_5 , que, segundo Deer *et al.* (2008), entram na estrutura dos óxidos de Ti por terem raio iônico similar ao do Ti. No grão 2, há um enriquecimento em Fe_2O_3 na parte mais clara do grão, onde realizou-se a análise 7 em comparação com a análise 6, realizada na porção mais escura do grão (Figura 42).

Foram encontradas inclusões de zircão nesses grãos (Figura 42), além de cristais de quartzo e muscovita em paragênese (Figura 43).

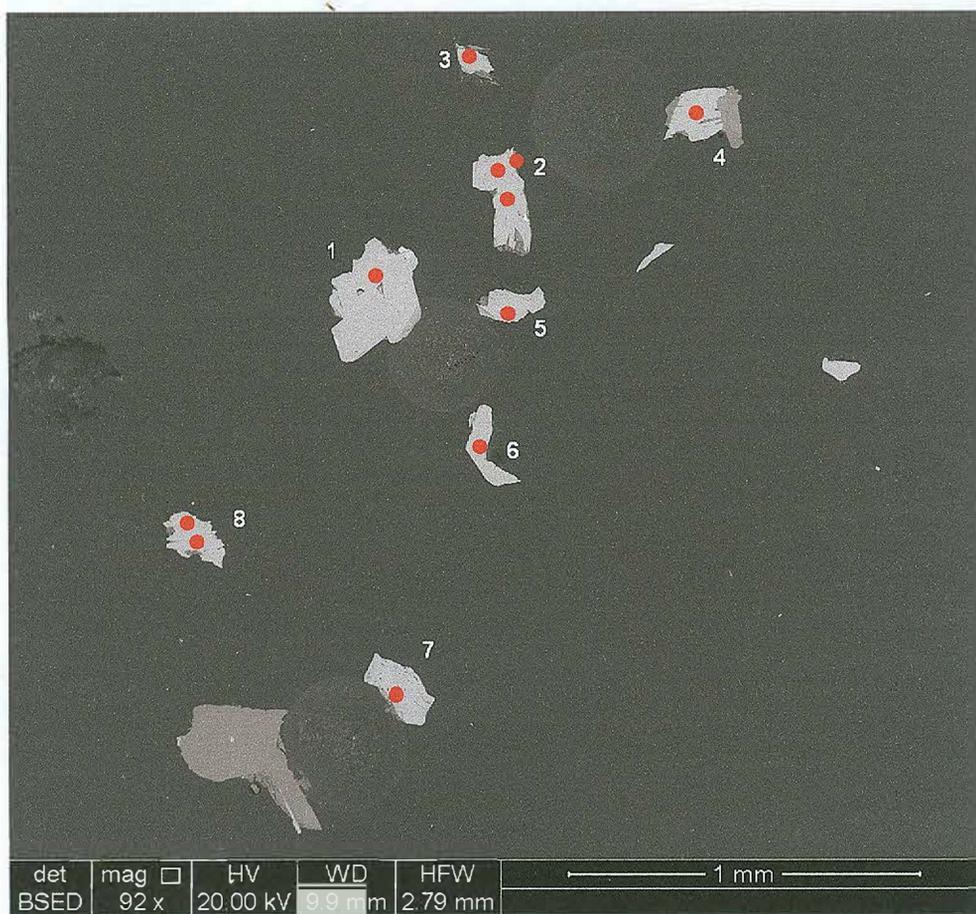


Figura 41: Imagem geral com 8 (oito) grãos de óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita) da seção polida FA-09 e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.

Tabela 15: Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS em grãos de óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita) da seção polida FA-09.

Grão	1	2	3	4	5	2	2	6	7	8	8
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	-	-	-	-	-	-	0,13	-	-	0,11	-
TiO ₂	100,00	99,29	99,43	99,20	99,62	99,29	92,71	99,33	98,44	96,99	99,80
Cr ₂ O ₅	-	0,25	0,37	-	-	0,29	-	-	0,24	-	-
Nb ₂ O ₅	-	0,46	0,20	0,35	-	0,42	4,28	0,22	0,80	1,44	0,03
Fe ₂ O ₃	-	-	-	0,45	0,38	-	2,35	0,45	0,52	1,07	0,16
Ta ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	0,52	-	-	0,40	-
Soma	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

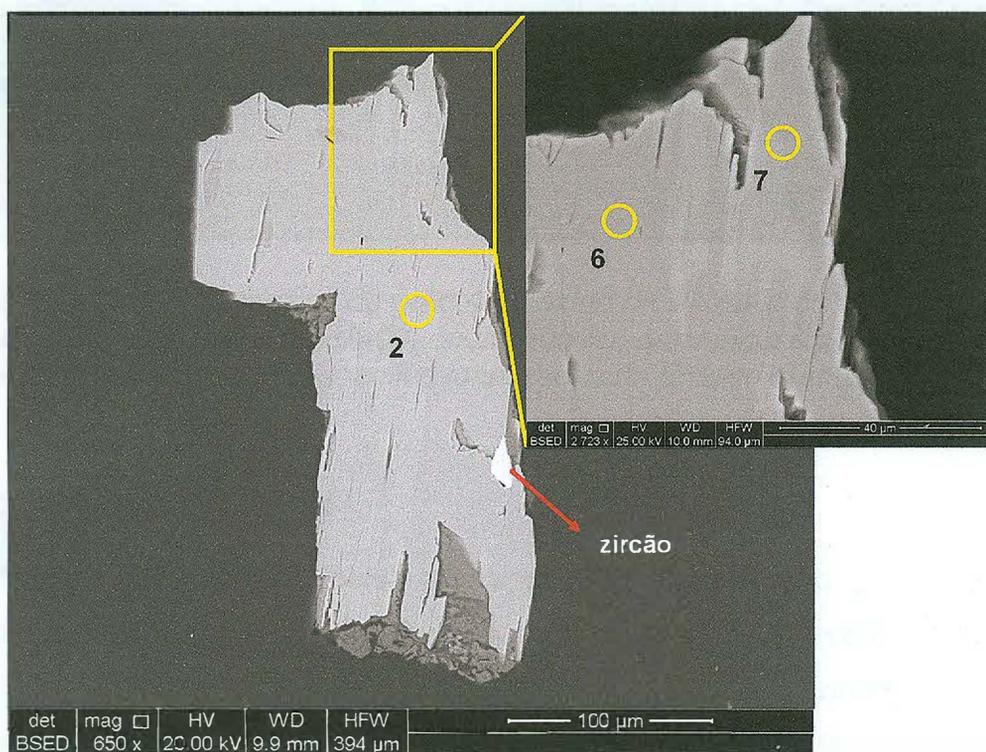


Figura 42: Imagem geral do grão 2 de óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita) da seção polida FA-09, com inclusão de zircão e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.

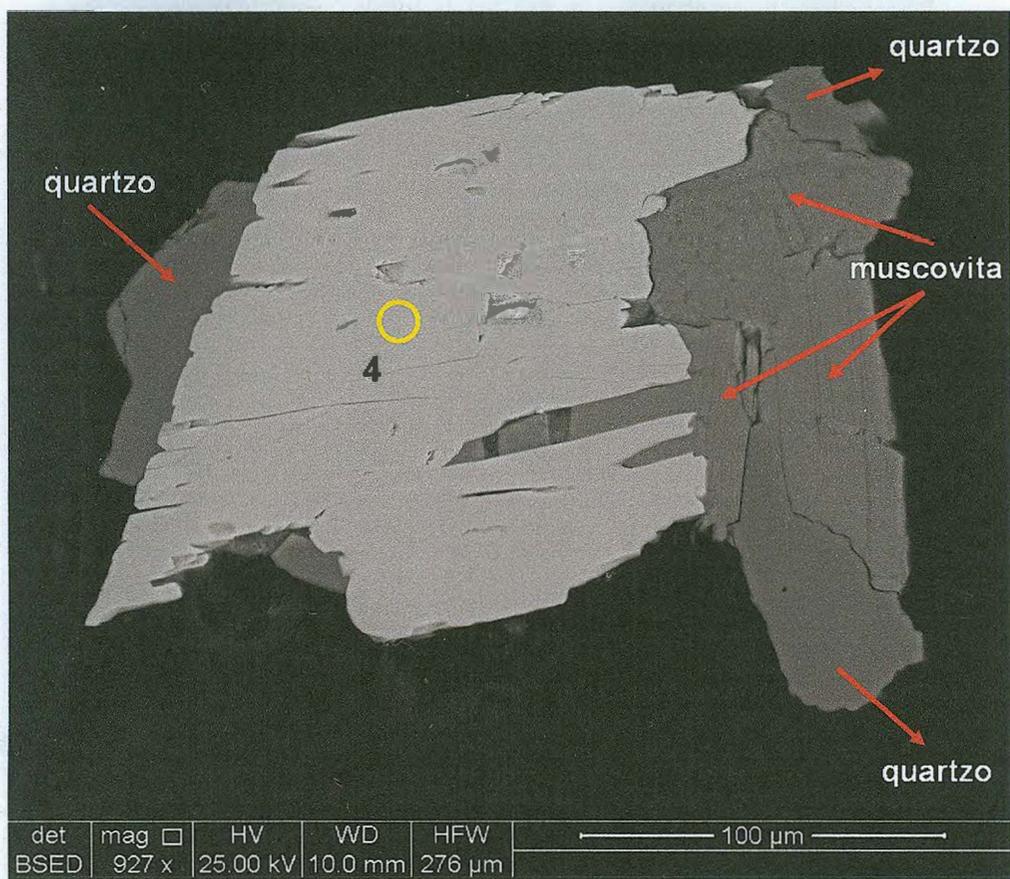


Figura 43: Imagem geral do grão 4 de óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita) da seção polida FA-09, ocorrendo em paragênese com cristais de quartzo e muscovita, e respectiva localização da análise química efetuada.

5.2.10 – Seção polida GA-04

Foram estudados 6 (seis) grãos de zircão na seção polida GA-04, proveniente do ponto Guardian (Figura 44). Todos os cristais, com exceção do grão 6, apresentaram o hábito típico do zircão, bem como o zonamento ígneo, indicando uma proveniência de unidades geológicas ígneas para esses grãos (Figura 45), provavelmente os granitóides do embasamento.

Os teores de ZrO_2 encontrados nos grãos variaram de 63,45 a 70,75% em peso; os de SiO_2 , de 24,44 a 28,48% em peso; e os de HfO_2 , de 0,97 a 2,88% em peso. Em alguns grãos identificou-se também teores de Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , U_3O_8 , Y_2O_3 , Sc_2O_3 e ThO_2 (Tabela 16). Foram também encontradas inclusões de óxido de Fe e de biotita nesses grãos.



Figura 44: Imagem geral com 6 (seis) grãos de zircão da seção polida GA-04 e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.

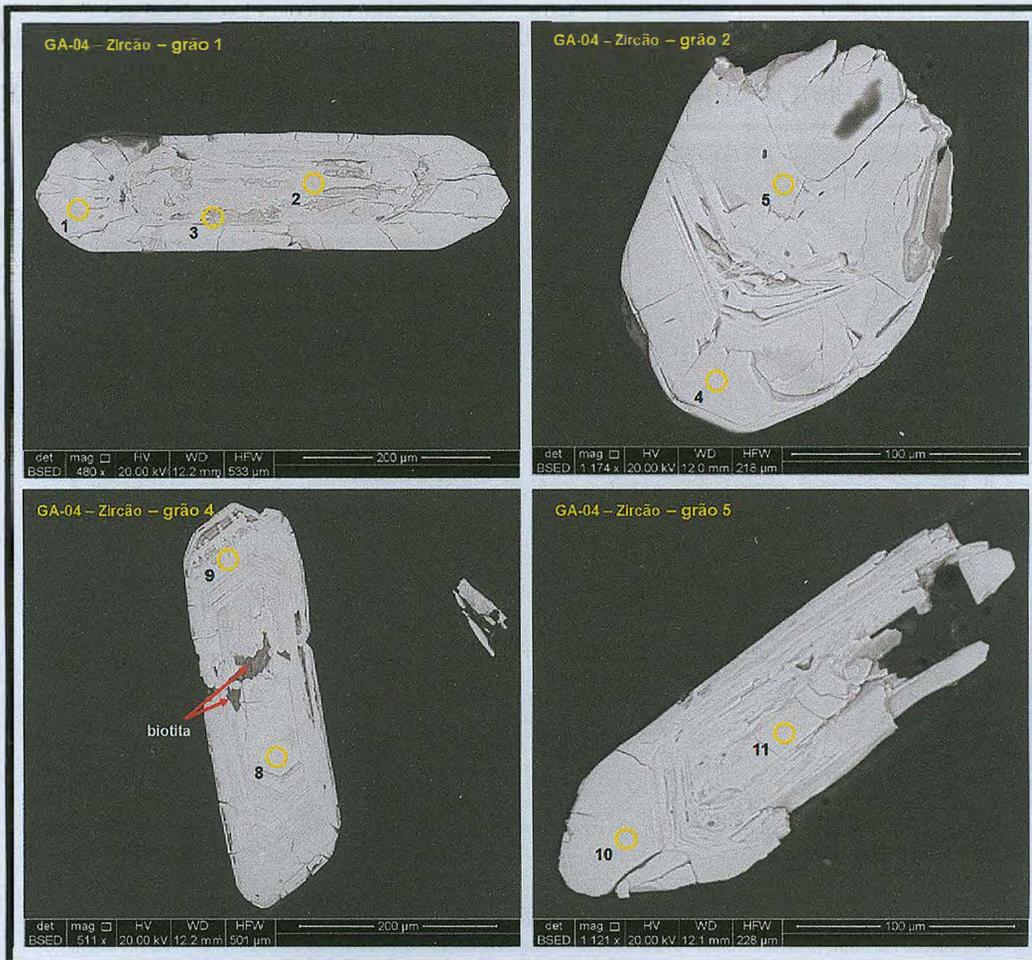


Figura 45: Imagens de grãos de zircão com zonamento da seção polida GA-04 e respectivas localizações das análises químicas efetuadas.

Tabela 16: Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS em grãos de zircão da seção polida GA-04.

Grão	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	27,98	25,82	24,44	28,48	28,24	28,08	24,84	26,08	26,80	25,37	28,01	28,06
ZrO ₂	69,96	68,18	66,91	70,55	70,75	70,18	63,45	65,21	66,08	65,47	69,63	69,21
HfO ₂	2,06	1,58	2,88	0,97	1,01	1,74	1,40	2,35	2,07	2,10	0,82	1,30
Al ₂ O ₃	-	0,63	2,22	-	-	-	1,76	0,50	-	1,11	-	-
CaO	-	1,69	0,33	-	-	-	0,31	0,83	0,92	1,06	-	-
Fe ₂ O ₃	-	1,48	1,89	-	-	-	1,49	1,83	1,71	0,83	-	-
U ₃ O ₈	-	0,62	0,96	-	-	-	0,40	0,73	0,72	-	-	-
Y ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	5,79	2,14	1,70	4,06	1,54	1,43
Sc ₂ O ₃	-	-	0,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ThO ₂	-	-	-	-	-	-	0,56	0,32	-	-	-	-
Soma	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

5.2.11 – Seção polida GA-06

Foram estudados 4 (quatro) diferentes grãos na seção polida GA-06, proveniente do ponto Guardian: silicato de Al (sillimanita ou andaluzita ou cianita), óxido de Ti (rutilo ou anatásio ou brookita) e espinélio (Figura 46). Todos os grãos identificados apresentam-se desgastados pela erosão.

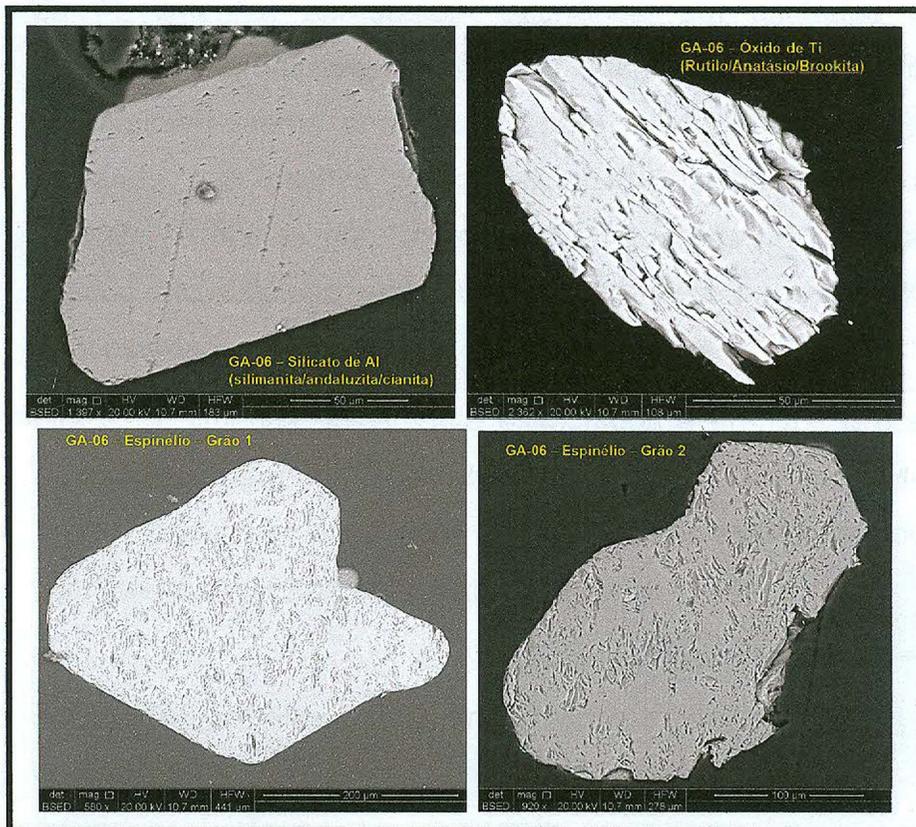


Figura 46: Imagem dos grãos de silicato de Al, óxido de Ti e espinélio observados na seção polida GA-06.

Os grãos 1 e 2 de espinélio apresentaram teores de Al_2O_3 em torno de 69% em peso, MgO em torno de 27% em peso e Fe_2O_3 em torno de 2% em peso (Tabela 17).

Tabela 17: Análises químicas semiquantitativas em MEV-EDS em grãos de espinélio da seção polida GA-06.

Grão	Espinélio 1	Espinélio 2
Análise	1	2
MgO	27,50	27,54
Al_2O_3	69,64	69,72
Fe_2O_3	2,86	2,74
Soma	100	100

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observando os dados de química mineral obtidos, algumas considerações podem ser feitas.

- 1) A maioria dos minerais estudados (zircão, xenotímio, monazita, óxido de Ti, ilmenita) apresentam ocorrência em unidades geológicas plutônicas graníticas, indicando uma possível proveniência predominantemente ortoderivada para os sedimentos da Formação Resende nas seções estudadas. Esses dados corroboram com aqueles propostos por Ramos (1997) e Brêda (2010), que também indicou proveniência principalmente granítica para os afloramentos aqui estudados.
- 2) Grãos de ilmenita tipicamente associados a granitos e granodioritos apresentam baixo conteúdo de MgO , MnO e a presença de Nb_2O_5 e Ta_2O_5 . Nesse sentido, grande parte dos grãos estudados poderiam ser provenientes dos corpos graníticos (seções FA-01).
- 3) Valores elevados de Mg na estrutura da ilmenita estão normalmente associados a olivina gabros cristalizados a partir de magmas toleíticos magnesianos (Cawthorn *et al.*, 1985). Nesse sentido, o principal litótipo presente no embasamento da área estudada que poderia fornecer grãos de ilmenita enriquecidos em Mg (1,1 a 3,6% em peso –

seção polida FA-01) para os sedimentos da Formação Resende seriam os diques de diabásio encontrados na região (Guedes, 2001). Outra provável fonte para os grãos de ilmenita enriquecidos em Mg seriam corpos carbonatíticos, que segundo Cordeiro *et al.* (2010) podem apresentar até 12% de MgO, bem como corpos de rochas alcalinas. Porém na região em questão ainda não foram identificados corpos carbonatíticos, enquanto rochas alcalinas estão representadas tanto no Maciço Alcalino de Itatiaia, quanto no de Morro Redendo, sendo que ambos afloram próximo a bacia de Resende.

- 4) Os elevados valores de Ba encontrados nos grãos de ilmenita são anômalos e podem estar associados a um problema na análise de parte do material (seção polida FA-01).
- 5) O enriquecimento de Ti acompanhado do empobrecimento em Fe, bem como a presença de uma série de cavidades observadas nos grãos de ilmenita de algumas seções apontam para um elevado grau de alteração intempérica de parte do material estudado.
- 6) A presença de xenotímio nas amostras estudadas e o elevado conteúdo de ETR dos mesmos (seções FA-01 e FA-04) aponta para a proveniência a partir de corpos graníticos enriquecidos em metais raros, como aqueles presentes na região sul de São Paulo, tais como os granitos Guarau e Mandira (Pereira *et al.*, 2007).
- 7) A presença de grãos de xenotímio com inclusão de monazita e de grãos de monazita livre na seção polida FA-04 apontam para a possibilidade da presença de duas gerações distintas de monazita, ou então, grãos de fontes diferentes.
- 8) A composição mineralógica do litoclasto da seção polida FA-05, representada por quartzo + feldspato potássico, aponta para a proveniência do mesmo a partir de uma fonte granítica.
- 9) Foram encontrados cristais de zircão com teores significativos de HfO₂ (seção polida FA-08), bem como grãos onde não foi identificada a presença de HfO₂ (seção polida FA-07), apontando para a possibilidade de fontes distintas. Sugere-se que os grãos de zircão

que apresentam conteúdo de HfO_2 mais elevado e zonamento magmático seriam provenientes dos granitos da região, enquanto aqueles sem HfO_2 poderiam ser provenientes das rochas alcalinas. Há necessidade de um estudo dos grãos de zircão das rochas alcalinas para confirmar essa possibilidade.

- 10) Os grãos de zircão com zonamento ígneo e forma prismática bipiramidal preservada apontam para proveniência de áreas fontes proximais, enquanto raros grãos são arredondados indicando um transporte de áreas fontes mais distais ou fontes de rochas paraderivadas.
- 11) A presença de cristais de zircão com diversas inclusões sólidas e de outros sem inclusões sólidas apontaria para grãos de proveniências distintas.
- 12) Tomando por base os trabalhos anteriores (Ramos, 1997; 2003; Brêda, 2010; Fiuza, 2010) que afirmam que as unidades geológicas proximais teriam uma importância fundamental no fornecimento de sedimentos para o preenchimento da Formação Resende e que os granitoides da borda sul teriam forte influência na deposição, podemos apontar as unidades graníticas Suíte Rio Turvo, Suíte Campo Alegre e Complexo Taquaral como fontes de contribuição predominantes para os sedimentos das seções aqui estudadas.
- 13) A identificação de silicato de Al (seção polida GA-06) sugere para a participação de uma área fonte representada por rochas metamórficas para os sedimentos da seção Guardian. Nesse contexto, podemos apontar as unidades Complexo Embu e Megassequência Andrelândia como fontes de contribuição metamórficas para os sedimentos desta seção.

Apesar dos dados obtidos, alguns avanços precisam ser alcançados em trabalhos posteriores para uma compreensão melhor da proveniência dos sedimentos da Formação Resende. Estudos de química mineral em MEV/EDS de minerais pesados devem ser realizados nas demais seções da bacia

estudadas por Fiuza (2010). São necessários, ainda, estudos detalhados nas unidades geológicas proximais da bacia, incluindo análises petrográficas e de minerais pesados (por lupa binocular e MEV-EDS) nas principais drenagens, a fim de se determinar mais precisamente a proveniência dos depósitos e compreender melhor a contribuição das bordas norte e sul na sedimentação da bacia.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. 1976. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48 (supl.): 15-26.
- AMADOR, E.S. 1975. Estratigrafia e Sedimentação na Bacia de Resende – RJ. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 47: 181-223.
- ALBUQUERQUE, A.P.B. 2004. *Tectônica Deformadora Cenozóica na Bacia Sedimentar de Resende (Rift Continental do Sudeste do Brasil)*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 126 p.
- ASMUS, H.E. & FERRARI, A.L. 1978. Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na Região Sudeste do Brasil. *Aspectos Estruturais da Margem Continental Leste e Sudeste do Brasil*. Rio de Janeiro, CENPES/DINTEP, Série Projeto REMAC, 4: 75-88.
- BRANCO, P.M. 2008. *Dicionário de mineralogia e gemologia*. São Paulo, Oficina de textos, 608 p.
- BRÊDA, T.C. 2010. *Análise petrográfica da Formação Resende (Bacia de Resende, RJ)*. Trabalho final de curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 53 p.
- CASTRO, C.C. 2007. *Metais raros associados ao Granito Desemborque: estudo mineralógico e químico utilizando MEV-EDS*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 86 p.

- CAWTHORN, R.G.; BARTON, J.M. & VILJOEN, M.J. 1985. Interaction of floor rocks with the Platreef on Overysel, Potgietersrus, northern Transvaal. *Economic Geology*, 80: 988-1006.
- CORDANI, U.G.; COUTINHO, J.M.V. & NUTMAN, A.P. 2002. Geochronological constraints on the evolution of the Embu Complex, São Paulo, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 14: 903-910.
- CORDEIRO, P.F.O.; BROD, J.A.; DANTAS, E.L. & BARBOSA, E.S.R. 2010. Mineral chemistry, isotope geochemistry and petrogenesis of niobium-rich rocks from the Catalão I carbonatite-phoscorite complex, Central Brazil. *Lithos*, v. 118, Issues 3–4: 223–237.
- CPRM - Serviço geológico do Brasil. 2007. *Folha Geológica Santa Rita de Jacutinga SF-23-Z-A-II*. Escala 1:100.000. Disponível no site do Departamento.
- CPRM - Serviço geológico do Brasil. 2007. *Folha Geológica Volta Redonda SF-23-Z-A-V*. Escala 1:100.000. Disponível no site do departamento.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.À. & ZUSSMAN, J. 2008. *Minerais constituintes das rochas. Uma Introdução*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 3ª edição, 724p.
- DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. 2002. *Mapa Rodoviário Estado do Rio de Janeiro*. Escala 1:500.000. Disponível no site do departamento.
- EIRADO, L.G.; HEILBRON, M. & ALMEIDA, J.C.H. 2006. Os terrenos tectônicos da Faixa Ribeira na Serra da Bocaina e na Baía da Ilha Grande, sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 36(3) :426-436.
- FIUZA, R.V. 2010. *Minerais pesados da Formação Resende (Bacia de Resende, estado do Rio de Janeiro)*. Trabalho final de curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 62 p.
- GUEDES, E. 2001. *Magmatismo Mesozóico-Cenozóico no embasamento das bacias de Resende e Volta Redonda: petrologia, geocronologia e caracterização tectônica*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 132 p.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R. & COIMBRA, A.M. 1975. The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 5: 257-264.

- HASUI, Y.; GIMENEZ, A.F. & MELO, M.S. 1978. Sobre as bacias tafrogênicas continentais do sudeste brasileiro. *Congresso Brasileiro de Geologia*. 30, *Anais*, Recife, Sociedade Brasileira de Geologia, 1: 382-392.
- HEILBRON. M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; CAMPOS NETO, M.C.; SILVA, L.C.; TROUW, R.A.J. & JANASI, V.A. 2004. Província Mantiqueira. MANTESSONETO, V.; BARTORELLI, A.; DAL RÉ CARNEIRO, C. & BRITO NEVES, B.B. (orgs.) *Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, p. 203-235.
- HEILBRON. M.; ALMEIDA, J.C.H.; SILVA, L.G.E.; PALERMO, N.; TUPINAMBA, M.; DUARTE, B.P.; VALLADARES, C.; RAMOS, R.; SANSON, M.; GUEDES, E.; GONTIJO, A.; NOGUEIRA, J.R.; VALERIANO, C.; RIBEIRO, A.; RAGATKY, C.D.; MIRANDA, A.; SANCHES, L.; MELLO, C.L.; ROIG, H.L.; DIOS, F.B.; FERNANDEZ, G.; NEVES, A.; GUIMARAES, P.; DOURADO, F. & LACERDA, V.G. 2007. *Nota explicativa das Folhas Geológica Santa Rita de Jacutinga (SF-23-Z-A-II), Barra do Pirai (SF-23-Z-A-III), Volta Redonda (SF-23-Z-A-V) e Angra dos Reis (SF-23-Z-C-II), Escala 1:100.000*. CPRM - Serviço geológico do Brasil. Disponível no site do Departamento, 173 p.
- LIFEROVICH, R.P. & MITCHELL, R.H. 2006. The pyrophanite-Geikielite solid-solution series: crystal structures of the $Mn_{1-x}Mg_xTiO_3$ series ($0 < x < 0.7$). *The Canadian Mineralogist*, 44: 1099-1107.
- MELO, M.S.; RICCOMINI, C.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. & COIMBRA, A.M. 1985. Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 15(3): 193-201.
- MÜCKE, A. & BHADRA CHAUDHURI, J.N. 1991. The continuous alteration of ilmenite through pseudorutile to leucoxene. *Ore Geology*. 6: 25-44.
- NASDALA, L.; KRONZ, A.; WIRTH, R.; VÁCZI, T.; PÉREZ-SOBA, C.; WILLNER, A. & KENNEDY, A.K. 2009. The phenomenon of deficient electron microprobe totals in radiation-damaged and altered zircon. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 73: 1637-1650.
- NEUMANN, R.; SCHNEIDER, C.L. & NETO, A.A. 2004. Caracterização tecnológica de minérios. *Tratamento de minérios*, 4ª edição revisada, Rio de Janeiro, CETEM/MCT, p. 53-109.

- PEREIRA, R.M. 2001. *Caracterização geocronológica, geoquímica, geofísica e metalogênica de alguns plutonitos graníticos da região do médio rio Paraíba do Sul e alto rio Grande, segmento central da Faixa Ribeira*. Tese de Doutorado, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 214 p.
- PEREIRA, R.M.; ÁVILA, C.A.; NEUMANN, R.; NETTO, A.M. & ATENCIO, D. 2003. Borda de hafnônio zirconífero da mina do Volta Grande, Província pegmatítica de São João del Rei, Minas Gerais, Brasil. *Boletim do Museu Nacional*, 69: 1-14.
- PEREIRA, R.M., ÁVILA, C.A. & LIMA, P.R.A.S. 2005. *Minerais em grãos: técnicas de coleta, preparação e identificação*. São Paulo, Oficina de textos, 128p.
- PEREIRA, R.M.; SILVA, R.B.; REZENDE, M.F.; ÁVILA, C.A. & NEUMANN, R. 2005. Potencial para placeres mineralizados em zircão rico em Háfênio na região de Cananéia, estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 35(4): 585-590.
- PEREIRA, R.M.; ÁVILA, C.A.; MENDES, J.C.; NEUMANN, R. & CASTRO, C.C. 2007. Plúton Desemborque: exemplo de corpo a metais raros (Nb, Zr, Hf) e estanho no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(2): 257-267.
- PEREIRA, R.M., NEUMANN, R.; ÁVILA, C.A., & CASTRO, C.C. 2008. Determinação da gênese da cassiterita com base na sua composição química e inclusões minerais: ocorrências no sul e sudeste brasileiro. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(2): 246-252.
- RAMOS, R. R. C. 1997. *Estratigrafia da sucessão sedimentar terciária da Bacia de Resende, entre Resende e Quatis (RJ), com ênfase na caracterização das litofácies, ciclicidade e paleocorrente*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 208p.
- RAMOS, R. R. C. 2003. *Sistemas aluviais terciários da Bacia de Resende, estado do Rio de Janeiro, Brasil: análise de fácies e revisão estratigráfica*. Tese de Doutorado, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 221p.

- RAMOS, R. R. C.; MELLO, C.L. & SANSON, M.S.R. 2005. Bacia de Resende, RJ. *Fundação Paleontológica Phoenix*, 76: 1-6.
- RAMOS, R. R. C.; MELLO, C.L. & SANSON, M.S.R. 2006. Revisão Estratigráfica da Bacia de Resende, *Rift Continental do Sudeste do Brasil*, Estado do Rio de Janeiro. *Geociências*, UNESP, São Paulo, 25 (1): 59-69.
- RICCOMINI, C. 1989. *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 256 p.
- RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L.G. & Ferrari, A.L. 2004. Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. V. *Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C. Dal Ré Carneiro & B.B. Brito Neves (orgs.) Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, p. 383-405.
- RIBEIRO FILHO, E. 1967. Geologia e petrologia dos maciços alcalinos do Itatiaia e Passa Quatro (Sudeste do Brasil). *Bol. Fac. Filos. Ciênc. Letr. USP*, 302: 5-93.
- SALVADOR, E.D. 1994. *Análise Tectônica do Vale do Rio Paraíba do Sul compreendida entre Cruzeiro (SP) e Itatiaia (RJ)*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade de São Paulo, 157 p.
- SALVADOR, E.D. & RICCOMINI, C. 1995. Neotectônica do Alto Estrutural de Queluz (SP-RJ, Brasil). *Revista Brasileira de Geociências*, 25(3): 151-164.
- SETSINGER, K.G. 1969. Manganoan ilmenite from a Sierran Adamellite. *American Mineralogist*, 54: 431-436.
- TROUW, R.A.J.; HEILBRON, M.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.V.P.; VALERIANO, C.M.; ALMEIDA, J.C.H.; TUPINAMBÁ, M. & ANDREIS, R.R. 2000. The central segment of the Ribeira belt. CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A. & CAMPOS, D.A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America*, 854 p. 31st International Geological Congress, p. 287-310.
- VALENÇA, J.G.; REIS, A.P.; CARVALHO FILHO, C.A.; SOARES FILHO, J.R.S. & BRAUN, P.V.C.B. 1983. Geologia do Complexo Ígneo Alcalino do Morro Redondo (município de Resende, Estado do Rio de Janeiro). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 55: 135-136.

www.rc.unesp.br

www.webmineral.com