



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DE GRANITOIDES DA REGIÃO A OESTE DE
LAGOA DOURADA, CINTURÃO MINEIRO, MG - BRASIL**

Augusto do Carmo Sousa Davin

Ouro Preto, outubro de 2017

**PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DE GRANITOIDES DA
REGIÃO A OESTE DE LAGOA DOURADA, CINTURÃO
MINEIRO, MG - BRASIL**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. Issamu Endo

Vice-Diretor

Prof. Dr. José Geraldo Arantes de Azevedo Brito

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Dr. Luís Antônio Rosa Seixas

MONOGRAFIA

Nº 254

**PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DE GRANITOIDES DA
REGIÃO A OESTE DE LAGOA DOURADA, CINTURÃO
MINEIRO, MG - BRASIL**

Augusto do Carmo Sousa Davin

Orientador

Prof. Dr. Luís Antônio Rosa Seixas

Co-Orientadora

Prof^a. Dr^a. Cristiane Paula de Castro Gonçalves

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2017/1.

OURO PRETO

2017

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Revisão geral: Augusto do Carmo Sousa Davin

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

552.2 Davin, Augusto do Carmo Sousa.
Petrografia e geoquímica de granitoides da região a oeste de Lagoa Dourada,
Cinturão Mineiro, MG-Brasil [manuscrito] / Augusto do Carmo Sousa Davin. -
2017.

32f.: il.: color; graf.; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Luís Antônio Rosa Seixas.

Coorientador: Profa. Dra. Cristiane Paula de Castro Gonçalves.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de
Minas. Departamento de Geologia.

1. Petrogênese. 2. Geoquímica. 3. Mineralogia. 4. Crátons. I. Seixas, Luís
Antônio Rosa. II. Gonçalves, Cristiane Paula de Castro. III. Universidade Federal
de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: D259p

Catálogo: ficha@sisbin.ufop.br

<http://www.sisbin.ufop.br>

Ficha de Aprovação

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DE GRANITOIDES DA REGIÃO A OESTE DE LAGOA DOURADA, CINTURÃO MINEIRO, MG-BRASIL

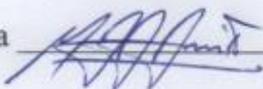
AUTOR: Augusto do Carmo Sousa Davin

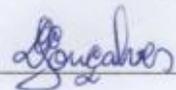
ORIENTADOR: Luís Antônio Rosa Seixas

Aprovado em: 25/10/2017

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Luís Antônio Rosa Seixas  _____ DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Marcos Tadeu de Freitas Suíta  _____ DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Leonardo Eustaquio da Silva Gonçalves  _____ DEGEO/UFOP

Ouro Preto, 25 / 10 / 2017

Agradecimentos

Agradeço a meus pais Jesu Davin e Isabel de Sousa Davin, bem como minha avó Maria Benedita Davin, por me darem toda base e força que precisei nessa minha jornada. Não poderia deixar de mencionar meus familiares e meus amigos sempre presentes.

Ao professor Luís Seixas, pelos ensinamentos, por sua paciência e disponibilidade para me orientar nesse trabalho.

Agradeço ao Laboratório de Microscopia e Microanálises do DEGEO/EM - Laboratório integrante da RMic, Rede de Microscopia e Microanálise de Minas Gerais - FAPEMIG e também ao Laboratório de Geoquímica Ambiental - LGqA, pelas análises realizadas.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DOS GRANITOIDES DO CINTURÃO MINEIRO..... | 1 |
| 1.2 OBJETIVO E LOCALIZAÇÃO..... | 3 |
| 2 MATERIAIS E MÉTODOS | 5 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A GRANITOGÊNESE NO CINTURÃO MINEIRO..... | 8 |
| 3.1 SUÍTE LAGOA DOURADA | 8 |
| 3.2 SUÍTE ALTO MARANHÃO | 9 |
| 3.3 SUÍTE RESENDE COSTA | 10 |
| 4 RESULTADOS | 11 |
| 4.1 ASPECTOS DE CAMPO E MACROSCOPIA | 11 |
| 4.2 OBSERVAÇÕES AO MICROSCÓPIO PETROGRÁFICO..... | 14 |
| 4.3 OBSERVAÇÕES AO MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA..... | 17 |
| 4.4 LITOGEOQUÍMICA..... | 25 |
| 5 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES | 29 |
| REFERÊNCIAS | 32 |

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.1** - Mapa geológico simplificado do Cinturão Mineiro, porção sul do Quadrilátero Ferrífero. Notar os municípios de Itaverava, Congonhas, Jeceaba, Resende Costa e Lagoa Dourada. Reproduzido de Alkmim e Teixeira (2017). Destaque entre os granitoides Paleoproterozoicos para a Suíte Alto Maranhão (AM), o Batólito Ritápolis (RB), a Suíte Resende Costa (RC) e a Suíte Lagoa Dourada (LD). O símbolo da estrela denota o local amostrado nesta monografia 2
- Figura 1.2** - Fotografia da pedreira amostrada neste estudo. Visada para Oeste (W), a seta indica sentido Resende Costa. O afloramento consiste da frente da pedreira e o piso (margem Sul da estrada) e uma parede (margem Norte da estrada)..... 4
- Figura 4.1** - Amostra de mão da fácies granitoide predominante na pedreira..... 11
- Figura 4.2** - Aspecto macroscópico do granitoide que ocorre como a rocha predominante na pedreira. Notar a presença de foliação (S), recortada por dique de pegmatito (P). Ponto do martelo aponta para N 12
- Figura 4.2** - Diferentes situações com diques de aplito (d) intrusivos no granitoide principal da pedreira (G). S denota a foliação no granitoide. Em (a) o dique de aplito está exposto na parede vertical da face frontal da pedreira. Notar a coloração mais escura e a granulação mais fina do dique em relação ao granitoide (G). Na parte inferior é possível notar a foliação do granitoide truncada em baixo ângulo pela parede do dique. Em (b) exposição em planta do mesmo dique observado em (a), cujo contato planar é subparalelo à foliação do granitoide. Em (c) o dique possui espessura centimétrica, e é subparalelo à foliação do granitoide. Em (c) também nota-se veio de quartzo (Q) truncando o granitoide e o dique (d) (truncamento no dique não mostrado na foto). Diâmetro da escala em (c) igual a 2. Em (a) parede vertical, visada para W; em (b) piso, ponta do martelo para N; em (c) plano inclinado..... 12
- Figura 4.4** - Aspectos macroscópicos das amostras selecionadas para confecção de lâminas delgadas. (a) Granitoide; e (b) Granitoide e dique de aplito. Diâmetro da escala igual a 2 cm..... 14
- Figura 4.5** - Feições microscópicas do plagioclásio no granitoide (a) e no aplito (b), ambos observados em nicóis cruzados. Barra de escala igual a 1 mm. Os cristais apresentam contornos xenomórfico a hipidiomórfico, subretangular, destacando-se no núcleo a coloração cinza mais escura devido à saussuritização, evidenciado assim o zoneamento composicional dos cristais. Em (b) pode-se notar os agregados de grãos de quartzo da matriz 15
- Figura 4.6** - Aspectos texturais do quartzo (q) e do microclíneo (indicado pela seta maior). Em (a) luz natural, em (b) nicóis cruzados. Barra da escala igual a 0,2 mm. O quartzo submilimétrico é indicado pela seta menor 15
- Figura 4.7**- Aspectos microscópicos da biotita (Bt). Em (a) luz natural, em (b) nicóis cruzados. Barra de escala igual a 0,5 mm. Ms = muscovita, q = quartzo, Ap = apatita, Zrn = zircão 16

| | |
|--|----|
| Figura 4.8 - Feição textural de muscovita intersticial. Em (a) luz natural e (b) nicóis cruzados. Ms = muscovita, Pl = plagioclásio. | 16 |
| Figura 4.9 - Associação mineral da allanita com coroa de epidoto, quartzo e plagioclásio. Em (a) luz natural e (b) nicóis cruzados. Q = quartzo, Aln = allanita, P = plagioclásio. Em (b) nota-se o cristal de allanita propriamente dito de cor marrom escuro, e a franja (coroa) de epidoto envoltória de cor de birrefringência amarelada | 17 |
| Figura 4.10 - Imagem de elétrons retroespalhados ao MEV com aspectos texturais e composição química de cristais de plagioclásio, epidoto, sericita/muscovita, biotita e K-feldspato.. Em (b) e (d) são delineadas a textura e a localização dos pontos analíticos respectivamente das imagens (a) e (c) | 18 |
| Figura 4.11 - Imagem de elétrons retroespalhados ao MEV com aspectos texturais e composição química de cristais de muscovita (Ms), plagioclásio, K-feldspato, biotita, quartzo e titanita. Em (b) a descrição textural e a localização dos pontos analíticos. | 19 |
| Figura 4.12 - Imagens de elétrons retroespalhados ao MEV contendo zircão, biotita, apatita, epidoto e titanita. Escala em (a) e (c) = 0,02 mm; em (b) = 0,01 mm | 20 |
| Figura 4.13 - Imagens de elétrons retroespalhados ao MEV contendo allanita (Aln) com coroa de epidoto..... | 22 |
| Figura 4.14 - Imagens de elétrons retroespalhados ao MEV contendo allanita (Aln) com coroa de epidoto..... | 24 |
| Figura 4.15 - Diagrama de classificação do granitoide e aplito. (a) Diagrama triangular normativo de Ab-An-Or. To = tonalito, Tdj = trondhjemitó, Grd = granodiorito, Qmz = quartzo monzonito, Gt = granito. (b) Diagrama com razão K_2O/Na_2O versus o índice A/CNK (= mol $Al_2O_3/CaO + Na_2O + K_2O$). Gráficos reproduzidos de Seixas <i>et al.</i> (2013)..... | 27 |
| Figura 4.16 - Diagramas com a relação entre os elementos traço Ba, Sr e Y. (a) Diagrama Sr versus Ba, com as linhas de igual valor da razão Sr/Ba. (b) Diagrama Sr/Y versus Y, com os campos de suítes com moderado a alto teor em Sr e baixo Y (TTG), e suítes com baixo teor de Sr e alto teor de Y (ADR). Baseado em Seixas <i>et al.</i> (2012). | 28 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 4.1 - Resultados analíticos por EDS obtidos no MEV em minerais do granitoide investigado. Óxidos em porcentagem de peso. Pontos analíticos referenciados na Figura 4.10..... | 19 |
| Tabela 4.2 - Resultados analíticos por EDS obtidos no MEV em minerais do granitoide investigado. Óxidos em porcentagem de peso. Pontos analíticos referenciados na Figura 4.11..... | 20 |
| Tabela 4.3 - Resultados analíticos por EDS obtidos no MEV em minerais do granitoide investigado. Óxidos em porcentagem de peso. Pontos analíticos referenciados na Figura 4.12..... | 21 |
| Tabela 4.4 - Resultados analíticos por EDS obtidos no MEV em minerais do granitoide investigado. Óxidos em porcentagem de peso. Pontos analíticos referenciados na Figura 4.13..... | 23 |
| Tabela 4.5 - Resultados analíticos por EDS obtidos no MEV em minerais do granitoide investigado. Óxidos em porcentagem de peso. Pontos analíticos referenciados na Figura 4.14..... | 25 |
| Tabela 4.6 - Composição química de amostras do granitoide e do dique de aplito da pedreira investigada. Óxidos em porcentagem de peso, elementos traço em ppm..... | 25 |

Resumo

Nesta monografia são apresentados dados de campo, petrográficos, mineralógicos e geoquímicos de um corpo de granitoide aflorante a oeste do município de Lagoa Dourada, MG. O estudo focalizou um único afloramento localizado em uma pedreira abandonada. O granitoide constitui-se de rocha leucocrática de granulação média, equigranular, maciça a levemente foliada, e contendo biotita como mineral máfico. Diques de pegmatito e de aplito recortam o granitoide. O granitoide e o dique de aplito possuem as mesmas assembleias minerais e composição química. A mineralogia essencial é constituída por quartzo, oligoclásio-albita, microclíneo, biotita e muscovita. Os minerais acessórios compreendem zircão, apatita, allanita, epidoto, titanita e opacos. O epidoto apresenta zoneamento composicional que acompanha seu crescimento em torno da allanita, sendo que na zona interna o epidoto possui maior teor de Fe e na zona externa maior teor de Al. A composição modal estimada do granitoide ocupa o limite do campo tonalito/trondhjemitito a granodiorito, e do ponto de vista normativo ambos, granitoide e aplito, classificam-se como trondhjemitos. O granitoide e o aplito possuem composição química similar e portanto sugere-se que cristalizaram do mesmo tipo de magma. São rochas ácidas, ligeiramente peraluminosas, medianamente potássicas, com baixa razão K_2O/Na_2O ($\leq 0,5$) e com número de Mg (100Mg#) variando de 33 a 38. Os teores de Ba, Sr e Y conferem ao granitoide e ao aplito sua classificação como rochas de suítes tonalito-trondhjemitito-granodioríticas de alto Ba e Sr, baixo Y e alta razão Sr/Y. Os resultados de campo, petrográficos e geoquímicos deste estudo indicam que o granitoide e o aplito investigados pertencem a uma mesma suíte ígnea afim ao ambiente orogênico Paleoproterozoico do Cinturão Mineiro no qual se inserem. Entretanto estudos adicionais são necessários para corroborar sua eventual correlação específica com outras suítes plutônicas do cinturão.

Palavras chave: petrografia, granitogênese, Cinturão Mineiro, Cráton São Francisco.

1.1 A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DOS GRANITOIDES DO CINTURÃO MINEIRO

O Paleoproterozoico é considerado o principal período de crescimento crustal no continente Sul-Americano, com volumosa produção de granitoides intrudidos no intervalo de tempo entre 2,2 a 2,1 Ga (Alkmim e Teixeira, 2017). A ocorrência principal desta granitogênese no estado de Minas Gerais se dá no contexto da evolução crustal do Cinturão Mineiro (CM), margem sul do Cráton São Francisco. O CM corresponde a uma extensa área de rochas graníticas (sensu lato) intrusivas em rochas supracrustais metavulcânicas e metassedimentares de baixo a médio grau metamórfico. As características geoquímicas e isotópicas destes conjuntos rochosos – intrusões graníticas e encaixantes – indicam que para o CM constitui-se de uma faixa orogénica englobando sucessões de arcos magmáticos Paleoproterozóicos acrescidos ao núcleo Arqueano do Cráton São Francisco (Alkmim e Teixeira, 2017). Embora ainda carente de uma mais extensiva cobertura de datações geocronológicas, a região compreendida entre a porção meridional do Quadrilátero Ferrífero, municípios de Congonhas e Conselheiro Lafaiete, até os municípios de São João del Rei e Tiradentes, constitui-se de local privilegiado para o estudo das rochas graníticas do CM (Fig. 1.1).

Numerosos corpos individuais de granitoides de pequenas dimensões, e até suítes e complexos de dimensões batolíticas, têm sido identificados nesta região, recebendo denominações diversas. Do ponto de vista petrográfico envolvem desde gabros, dioritos, tonalitos, granodioritos e até granitos *sensu strictu*. Em termos geoquímicos, os granitoides do CM compreendem rochas intermediárias a ácidas, calcialcalinas e álcali-cálcicas, metaluminosas e peraluminosas, cujas composições isotópicas indicam derivação com variável contribuição mantélica e crustal. Já, do ponto de vista geocronológico, as rochas graníticas do CM compreendem um espectro de idades desde o Sideriano até o Riáciano. Entre os corpos granitoides representativos do período Riáciano destaca-se a suíte Alto Maranhão, de idade em 2130 Ma (Seixas *et al.*, 2013), ao passo que a suíte Lagoa Dourada (Seixas *et al.*, 2012), de idade em torno de 2350 Ma, apresenta-se como representativa do período Sideriano. Nesse sentido, os granitoides da suíte Lagoa Dourada constituem-se de raros exemplos, em escala global planetária, de crosta continental desta idade. Enquanto a suíte Alto Maranhão tem sua ocorrência próxima ao limite sul do Quadrilátero Ferrífero, com distribuição em torno dos municípios de Itaverava, Congonhas, Conselheiro Lafaiete e Jeceaba, a suíte Lagoa Dourada, mais antiga, têm sua ocorrência próxima ao município homônimo (Fig. 1.1). A suíte Alto Maranhão foi estimada com ocorrência de mais de 300 Km² em área, e a suíte Lagoa Dourada em cerca de 80 Km². Após a descoberta de rochas granitoides

de idade Sideriana no CM - proporcionada pela suíte Lagoa Dourada, Teixeira *et al.* (2015) apresentaram dados geoquímicos e geocronológicos de rochas graníticas aflorantes no município de Resende Costa (à oeste da suíte Lagoa Dourada), e para as quais os autores definiram a idade Sideriana – denominada de suíte Resende Costa.

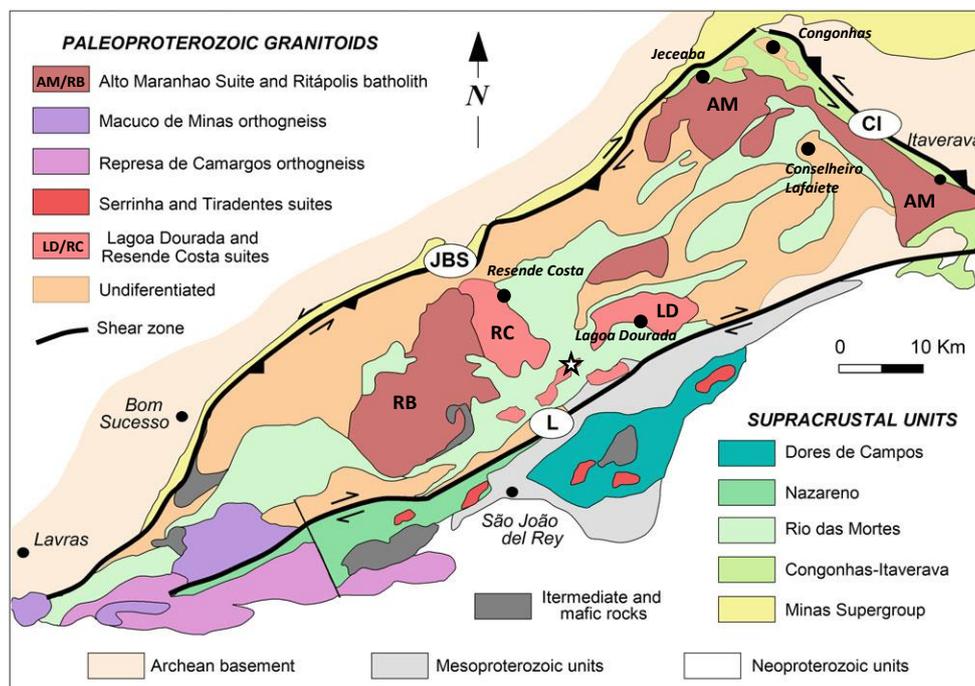


Figura 1.1 - Mapa geológico simplificado do Cinturão Mineiro, porção sul do Quadrilátero Ferrífero. Notar os municípios de Itaverava, Congonhas, Jeceaba, Resende Costa e Lagoa Dourada. Reproduzido de Alkmim e Teixeira (2017). Destaque entre os granitoides Paleoproterozoicos para a Suíte Alto Maranhão (AM), o Batólito Ritápolis (RB), a Suíte Resende Costa (RC) e a Suíte Lagoa Dourada (LD). O símbolo da estrela denota o local amostrado nesta monografia.

Do exposto, conclui-se que o desafio que está colocado para os pesquisadores do Cinturão Mineiro é o de identificar, através de estudos de campo, petrográficos, geoquímicos e geocronológicos, as diferentes suítes e/ou corpos de rochas graníticas que compõem os eventos magmáticos, e por conseguinte, tectônicos, que preencham a lacuna de evolução crustal entre os períodos Sideriano e Riáciano da margem sul do Cráton São Francisco. Este é o caso desta monografia, como será exposto nos próximos capítulos.

1.2 OBJETIVO E LOCALIZAÇÃO

O presente trabalho insere-se dentro do grande tema de pesquisa do professor orientador Luís Antônio Rosa Seixas que visa o estudo da evolução crustal Paleoproterozóica da porção meridional do Cráton São Francisco. Dentro deste grande tema destaca-se em particular o estudo de diferentes suítes de rochas granitoides, envolvendo desde aspectos de campo com estruturas ígneas, mineralogia, litogeoquímica, geoquímica isotópica e datação dos eventos magmáticos.

Nesta monografia são apresentados os aspectos de campo, petrografia macroscópica e microscópica, texturas e composição química mineral semi-quantitativa, de amostras de um corpo de granitoide do CM cujo afloramento situa-se em uma pequena pedreira abandonada localizada entre os municípios de Lagoa Dourada e Resende Costa (Fig. 1.1).

Em decorrência, o objetivo científico desta monografia é o de verificar a possível vinculação dos granitoides amostrados nesta pedreira com demais granitoides do CM, em particular os granitoides das suítes Lagoa Dourada e/ou Resende Costa, considerada a proximidade geográfica destas suítes com o local amostrado nesta monografia.

A pedreira amostrada está situada geograficamente entre as cidades de Lagoa Dourada e Resende Costa e possui as coordenadas geográficas UTM-N de 7678032 e UTM-E de 586779, e elevação de 1039 m. Partindo de Ouro Preto todo o trajeto é feito por estrada de asfalto, inicialmente pela Estrada Real até Ouro Branco, em seguida em rodovia estadual até o entroncamento com a BR-040, desta em direção para sul na BR-040, bifurcando para oeste e tomando a BR-383 em direção a São João Del Rei. Nesta rodovia, após passar o município de Lagoa Dourada bifurca-se para Oeste na estrada de asfalto que dá acesso a Resende Costa. A pedreira amostrada é visível facilmente para quem desloca-se em direção a Resende Costa e situa-se na margem sul desta estrada, cerca de 2,5 km após a bifurcação derivada da BR-383. Parte do afloramento amostrado constitui-se da parede rochosa na margem norte da estrada (Fig. 1.2).



Figura 1.2 - Fotografia da pedreira amostrada neste estudo. Visada para Oeste (W), a seta indica sentido Resende Costa. O afloramento consiste da frente da pedreira e o piso (margem Sul da estrada) e uma parede (margem Norte da estrada).

CAPÍTULO 2

MATERIAIS E MÉTODOS

A amostragem para esta pesquisa foi realizada no dia 22 de abril de 2017 pelo autor da presente monografia e o professor orientador. A coleta de amostras buscou ser representativa das variedades de granitoides identificados na pedreira. Foram coletadas sete amostras, respectivamente designadas de AD-1 à AD-7. Para o estudo ao microscópio foram confeccionadas uma lâmina delgada para cada amostra. Sendo que, para isso a especificação apropriada consiste da espessura de 30 μ m e polimento final com alumina, sendo este tipo de lâmina delgada chamada de lâmina polida.

Em seguida passou-se ao estudo em microscópio ótico de luz transmitida e luz refletida, onde procedeu-se à identificação de fases minerais, estimativa de porcentagem modal e texturas. Com base nas descrições desta fase, houve a seleção de locais nas lâminas polidas para investigação no microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Esse estudo teve o objetivo de aprofundar as observações feitas na fase anterior. Afim de facilitar o trabalho e ganhar eficiência na obtenção dos dados ao MEV, foi feito o procedimento de marcar na lâmina polida com caneta apropriada um círculo para delimitar o local de estudo, uma vez que os locais demarcados servem de guia para conduzir as análises. Depois de selecionados os locais de maior importância, são feitos desenhos e/ou microfotografias dos minerais e/ou texturas que se pretende analisar e/ou obter imagens no MEV.

Ainda na etapa preparatória selecionada para o estudo no MEV, cada lâmina recebeu a cobertura de uma película de carbono. Nos locais previamente selecionados realizaram-se imagens de elétrons retro espalhados e análises químicas pontuais de minerais pelo modo de energia dispersiva (EDS), sendo cada análise acompanhada do perfil analítico com os picos de intensidade dos elementos químicos.

A imagem de elétrons retroespalhados apresenta os minerais em diferentes tonalidades de cinza - desde cinza escuro a preto até cinza claro a branco - de acordo com a massa atômica dos seus principais elementos químicos. Minerais constituídos à base de elementos químicos “pesados”, como por exemplo os sulfetos de Fe, Ni, Cu, produzem tons de cinza mais claro a branco. Minerais com conteúdo de elementos “leves”, como O, H, Si, Al, K, Na, caso do quartzo, feldspatos, micas, entre outros, produzem tons de cinza propriamente dito a cinza escuro.

Já o perfil analítico de EDS mostra os picos dos principais elementos, e para cada mineral há um espectro típico. De modo que, com o conhecimento prévio da lâmina polida, ao lançar um ponto analítico vai-se monitorando o perfil para conferir se a fase mineral corresponde ao mineral que se

deseja analisar, ou no caso de fases minerais desconhecidas, quais os seus principais elementos químicos constitutivos.

O resultado das análises semi-quantitativas obtidos por EDS no MEV são tabulados e contém a composição química dos minerais. Essa tabela é apresentada em termos de porcentagem em peso do óxido - caso dos minerais silicatados e óxidos propriamente ditos, ou em porcentagem de peso do elemento químico para o caso de sulfetos. A composição química pelo método EDS do MEV é dita semi-quantitativa em função de imprecisões próprias do método, assim como o fato de que os valores obtidos são automaticamente recalculados para 100% em base anidra. Dessa forma, o resultado analítico do MEV será mais próximo da composição química real do mineral analisado para o caso de minerais anidros ou com baixo conteúdo de H₂O (em geral <5%) na sua estrutura. Apesar desta limitação, é possível fazer considerações e comparações entre composições químicas de minerais analisados.

O estudo geoquímico foi conduzido a partir da seleção de 5 (cinco) amostras. Esta seleção procurou levar em consideração diferenças texturais da coleção de amostras coletadas na pedreira, e ainda, aquelas amostras com menor evidência de alteração intempérica.

As amostras selecionadas foram fragmentadas manualmente com martelo de geólogo em pequenas lascas menores de cerca de 1 cm de diâmetro, ajuntando-se quantidade equivalente ao volume de um maço de cigarros. Os fragmentos foram então levados ao moinho de anéis de tungstênio para produzir o pó (de cerca de 200 mesh de diâmetro).

Uma fração do pó de cada amostra foi preparada em pastilhas para análise no equipamento de fluorescência de raios X (FRX), onde foram dosados os óxidos (em % de peso) SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅ e PPC (perda por calcinação). Uma segunda fração do pó foi preparada para análise química no Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), onde além dos elementos dosados na FRX (exceção do Si e elementos voláteis), foram dosados os elementos traço Ba, Sr e Y.

A preparação para análise no ICP-OES consistiu inicialmente da pesagem de aproximadamente 0,25 g das devidas amostras com posterior adição de 1 ml de HNO₃ 10 mol/l seguidos de 3 ml de HCl 10 mol/l nos frascos Savillex. Após essa etapa, deixado as amostras secarem com os frascos abertos sobre uma placa aquecedora à 110 °C por cerca de 8 horas, teve início a adição do HF concentrado, sendo a primeira adição de 2 ml deixando por 8 horas os frascos abertos, e depois a mesma adição mas deixando os frascos fechados e por um período de 30 horas, ambos na placa aquecedora à 110 °C.

Após esses processos, já com os frascos abertos e secos, foram adicionados 2 ml de HNO₃ 10mol/l e novamente com os frascos abertos sendo levados a secura na placa aquecedora à 110 °C. Por

fim, foram adicionados 25 ml de HCl 2mol/l, sendo agitado as amostras e depois deixado os frascos abertos por 2 horas na placa aquecedora, novamente à 110°C. Na última etapa, já com as amostras resfriadas, essas foram pesadas e anotados seus respectivos valores de massa total (frasco + tampa + solução), para assim ter início as análises no ICP-OES.

CAPÍTULO 3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A GRANITOGÊNESE NO CINTURÃO MINEIRO

Neste capítulo serão apresentados aspectos petrográficos e geoquímicos de três suítes de granitoides do CM cujos dados mais amplos incluem geocronologia e composição isotópica, de modo a permitir a sua comparação com os dados gerados nesta monografia. As suítes revisadas neste intuito são a suíte Lagoa Dourada (Seixas *et al.*, 2012), a suíte Alto Maranhão (Seixas *et al.*, 2013) e a suíte Resende Costa (Teixeira *et al.*, 2015). Para a localização destas suítes no contexto do CM o leitor deve se reportar a Fig. 1.1.

3.1 SUÍTE LAGOA DOURADA

A suíte Lagoa Dourada é constituída de biotita ± hornblenda tonalitos a biotita trondhjemitos, contendo como minerais acessórios magnetita, apatita, zircão, allanita e localmente granada. Os tipos litológicos apresentam-se variavelmente foliados, e são cortados por diques aplíticos a pegmatitos, simples ou zonados, concordantes e discordantes.

Em termos geoquímicos a suíte apresenta teor de sílica variando de 62% (tonalitos) a 73% (trondhjemitos), índice de saturação em alumínio metaluminoso a ligeiramente perluminoso (para os termos ácidos mais evoluídos), baixo teor em potássio, número de magnésio <0,45, e baixo teor em Cr e Ni. O teor em Ba é baixo (≤ 244 ppm), enquanto o teor de Sr é moderado a ligeiramente elevado (466–323 ppm), de modo que a razão Sr/Ba é superior a 1 ($\geq 1,5$ até 4,8) e a soma de Sr + Ba varia de 495 a 610 ppm. O teor em Y é baixo (5–11 ppm), em consequência o valor da razão Sr/Y é elevado (>40). O padrão de Elementos Terras Raras (ETR) normalizado ao condrito é fracionado, com enriquecimento em ETR leves em relação aos ETR pesados. Estas características químicas da suíte levaram aos autores a propor a afinidade da suíte Lagoa Dourada com suítes ígneas plutônicas Arqueanas do tipo TTG (tonalito-granodiorito-trondhjemitito) de alto alumínio (i.e., “high-Al TTG”).

Considerando-se as suas características geoquímicas e isotópicas, e a idade de 2350 Ma, a suíte Lagoa Dourada constitui-se de um raro exemplo de produção de crosta continental juvenil no intervalo de tempo entre 2,45 a 2,20 Ga. A origem sugerida para a suíte envolveria a fusão parcial de rochas metabásicas durante o estaqueamento e acresção de pacotes de metabasaltos em um ambiente intra-oceânico.

3.2 SUÍTE ALTO MARANHÃO

A suíte Alto Maranhão (Figura 1.1) tem sua área de ocorrência no CM imediatamente ao sul do Quadrilátero Ferrífero, estendendo-se desde Itaverava à Leste seguindo-se como um corpo tabular de orientação SE-NW balizado pelo Lineamento Congonhas e espraiando-se ao norte de Conselheiro Lafaiete em um amplo segmento de orientação Leste-Oeste até Jeceaba, à Oeste.

Embora os estudos iniciais nestas rochas remontem aos anos de 1950 a 1980, apenas nos anos 1990 foi conhecido o primeiro resultado de datação geocronológica em amostras de granitoides da suíte, estabelecendo-se a idade de cristalização do zircão em 2130 Ma (Noce, 1995).

Por sua vez, Seixas (2000) com base em estudos de campo, mineralógicos e geoquímicos introduziu o conceito de mescla de magmas (*magma mingling*) e o mecanismo de cristalização fracionada como componentes primordiais para entender a diversidade de tipos litológicos, estruturais e variações químicas da suíte.

Em outro momento, Seixas *et al.* (2013), ao apresentarem novos resultados de trabalhos de campo, geoquímicos e geocronológicos, corroboraram a idade de cristalização de 2130 Ma da suíte e consolidaram a sua definição petrológica.

Os tipos petrográficos principais da suíte Alto Maranhão consistem de biotita hornblenda tonalitos, aos quais se associam, em abundantes estruturas de mescla de magmas, enclaves magmáticos microgranulares, cuja composição petrográfica varia de diorítica a quartzo-diorítica.

Geralmente os tonalitos são maciços a bem foliados e possuem múltiplos diques aplíticos sin-a pós-magmáticos. Os minerais acessórios dos tonalitos incluem apatita, zircão, allanita, ilmenita, titanita e epidoto.

Do ponto de vista geoquímico, os tonalitos da suíte Alto Maranhão são rochas intermediárias a levemente ácidas (teor de SiO₂ variando de 60% a 66%), metaluminosas, de médio potássio e com alto valor do número de magnésio (Mg#>0,46) e do teor em Cr (>55 ppm). Apresentam em adição como característica geoquímica distintiva teor elevado dos elementos litófilos Ba (≥841 a 1573) e Sr (≥728 to 1259), conseqüentemente com a razão Sr/Ba ≤1,03. O teor em Y é baixo (11–20 ppm), em conseqüência o valor da razão Sr/Y é elevado (>35). O padrão de ETR normalizado ao condrito é fracionado, com enriquecimento em ETR leves em relação aos ETR pesados. Estas características químicas da suíte levaram aos autores a propor afinidade com suítes ígneas plutônicas Arqueanas sanukitóides.

As características geoquímicas e isotópicas da suíte Alto Maranhão são admitidas como resultantes da fusão parcial da cunha do manto metassomatizada em uma zona de subducção. Considerada a sua extensão geográfica (área mínima de 300 Km²), a suíte Alto Maranhão constitui-se

de um expressivo evento de adição de crosta continental juvenil de idade Riacciana (~2130 Ma) à porção meridional do Cráton São Francisco.

3.3 SUÍTE RESENDE COSTA

A suíte Resende Costa foi apresentada como tal no trabalho de Teixeira *et al.* (2015), e considerada como evento magmático contemporâneo ao evento da suíte Lagoa Dourada, ou seja, constituindo-se em mais um representante do plutonismo de idade Sideriana no CM.

As rochas da suíte Resende Costa são descritas pelos autores como rochas hololeucocráticas, foliadas a gnáissicas, com fácies de granulação média a grossa, equigranulares a seriadas, e também fácies de granulação média a fina. Os minerais magmáticos dominantes são andesina, quartzo e biotita, com os minerais acessórios zircão, apatita, allanita e opacos. Minerais metamórficos e/ou hidrotermais incluem sericita, muscovita, titanita, epidoto/clinozoizita, microclíneo e rara albita. A suíte contém diques de granito, aplito e pegmatito, os quais podem apresentar-se dobrados ou não.

Do ponto de vista geoquímico apresentam composição trondjemítica, peraluminosa e relativamente pobre em Fe_2O_3 e MgO. O seu conteúdo em elementos traço Rb, Y e Nb coloca esta suíte no mesmo campo de granitos de ambiente tectônico de arco magmático.

Em termos dos teores em Ba, Sr e Y, a suíte Resende Costa possui teor elevado de Sr e Ba, respectivamente 709-975 ppm e 569-1017, com a razão Sr/Ba próxima de 1,0 (0,86 a 1,11), com apenas um valor acima deste (=1,71). O teor de Y é baixo (4 a 11 ppm), e portanto as razões Sr/Y são extremamente elevadas (78 a 128, com um valor bem acima deste, de 221). Em termos de ETR são rochas fracionadas com empobrecimento de ETR pesados em relação aos ETR pesados.

Com base nos dados de isótopos de Nd, Sr e Hf, e a idade de cristalização da suíte Resende Costa, os autores sugerem que esta originou-se em torno de 2350 Ma a partir da fusão de fonte basáltica toleítica em um ambiente de arco de ilha, entretanto com assimilação de crosta continental.

4.1 ASPECTOS DE CAMPO E MACROSCOPIA

A fácies granitoide predominante na pedreira possui coloração cinza esbranquiçada, granulação média à grossa, textura equigranular hipidiomórfica, índice de cor leucocrático e estrutura isotrópica a levemente foliada (Fig. 4.1).



Figura 4.1 - Amostra de mão da fácies granitoide predominante na pedreira.

O granitoide é recortado por diques de pegmatito (Figs. 4.2). O pegmatito possui granulação muito grossa a pegmatoidal, estrutura isotrópica, coloração cinza esbranquiçada a bege e índice de cor hololeucocrático. A espessura dos diques de pegmatito varia de centimétrica a métrica.

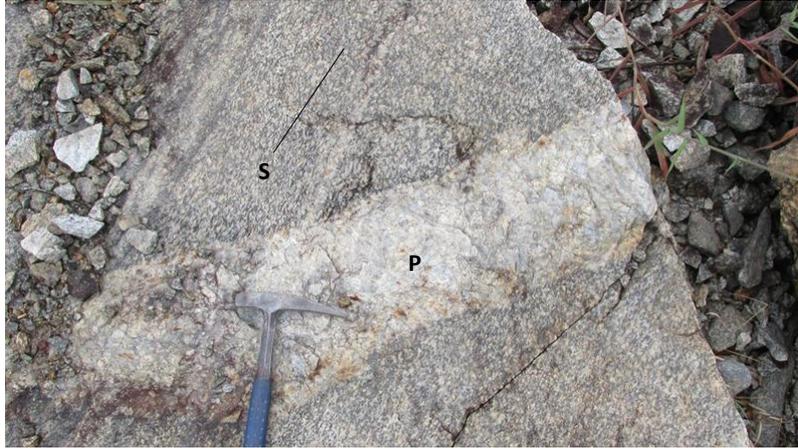


Figura 4.2 - Aspecto macroscópico do granitoide que ocorre como a rocha predominante na pedreira. Notar a presença de foliação (S), recortada por dique de pegmatito (P). Ponta do martelo aponta para N.

Além dos diques de pegmatito, o granitoide também é recortado por diques de aplito, os quais apresentam coloração cinza mais escura, estrutura isotrópica, granulação média a fina e cuja posição espacial pode se mostrar paralela ou discordante à foliação (Fig. 4.3).

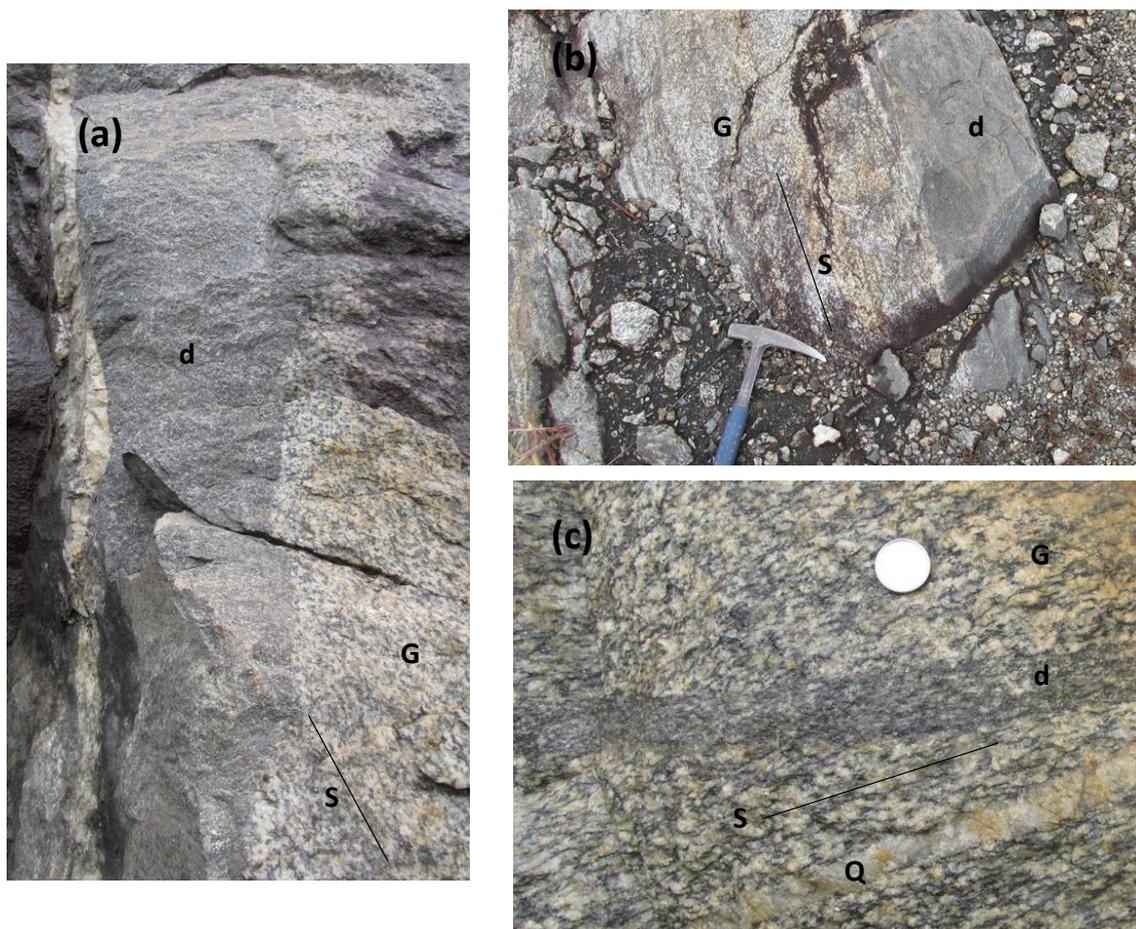


Figura 4.3 - Diferentes situações com diques de aplito (d) intrusivos no granitoide (G). S denota a foliação no granitoide. Em (a) o dique de aplito está exposto na parede vertical da face frontal da pedreira. Notar a coloração mais escura e a granulação mais fina do dique em relação ao granitoide (G). Na parte inferior é possível notar a foliação do granitoide truncada em baixo ângulo pela parede do dique. Em (b) exposição em planta do mesmo dique observado em (a), cujo contato planar é subparalelo à foliação do granitoide. Em (c) o dique possui espessura centimétrica, e é subparalelo à foliação do granitoide. Em (c) também nota-se veio de quartzo (Q) truncando o granitoide e o dique (d) (truncamento no dique não mostrado na foto). Diâmetro da escala em (c) igual a 2 cm. Em (a) parede vertical, visada para W; em (b) piso, ponta do martelo para N; em (c) plano inclinado.

À parte as relações com diques, o granitoide apresenta-se bastante homogêneo do ponto de vista composicional e/ou estrutural, isto é, não foram encontradas estruturas magmáticas do tipo mescla de magma – à semelhança do que ocorre comumente nos afloramentos da suíte Alto Maranhão, ou eventuais xenólitos de rochas encaixantes, ou mesmo estruturas de alto grau metamórfico, tais como o bandamento de origem tectono-metamórfica.

4.2 OBSERVAÇÕES AO MICROSCÓPIO PETROGRÁFICO

Os dois principais tipos petrográficos da pedreira – granitoide e aplito – foram selecionados para estudo ao microscópio petrográfico. A Fig. 4.4 apresenta as porções selecionadas para a confecção das lâminas. Ambas as rochas são constituídas pelo mesmo grupo de minerais essenciais, isto é, quartzo, plagioclásio, biotita e feldspato alcalino, com os minerais acessórios zircão, apatita, titanita, allanita e epidoto, além de minerais opacos. O plagioclásio predomina amplamente em relação ao feldspato potássico, sendo este último de ocorrência intersticial e com a macla do microclíneo. A composição modal do granitoide consiste de 25 a 35% de quartzo, 45 a 55% de plagioclásio, 2 a 10% de feldspato potássico e 5 a 15% de biotita, tendo portanto sua classificação no diagrama QAP variando de tonalito/trondhjemito a granodiorito. Em função da mineralogia similar observada para ambos o granitoide e o aplito, a descrição textural e mineralógica que se segue refere-se ao granitoide.



Figura 4.4 - Aspectos macroscópicos das amostras selecionadas para confecção de lâminas delgadas. (a) Granitoide; e (b) Granitoide e dique de aplito. Diâmetro da escala igual a 2 cm.

O plagioclásio é o principal mineral do granitoide. Apresenta tamanho dos grãos variando de 0,2 a 5 mm, predominando tamanho entre 2 a 3 mm. Os grãos individuais são xenomórficos a hipidiomórficos, com agregados granulares de faces planas e serrilhadas. A maioria dos cristais apresenta a macla polissintética. Um traço importante é a presença de saussuritização do núcleo de cristais de plagioclásio (Fig. 4.5), evidenciando zoneamento composicional.

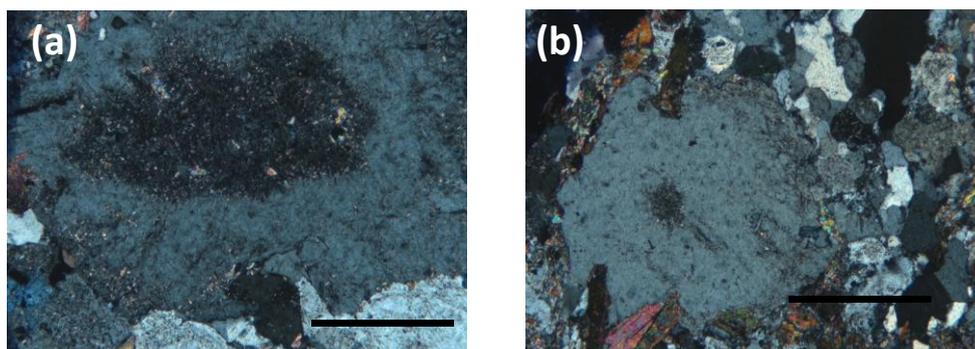


Figura 4.5 - Feições microscópicas do plagioclásio no granitoide (a) e no aplito (b), ambos observados em nicóis cruzados. Barra de escala igual a 1 mm. Os cristais apresentam contornos xenomórfico a hipidiomórfico, subretangular, destacando-se no núcleo a coloração cinza mais escura devido à saussuritização, evidenciado assim o zoneamento composicional dos cristais. Em (b) pode-se notar os agregados de grãos de quartzo da matriz.

O quartzo apresenta-se em duas texturas principais, isto é, em cristais xenomórficos de granulação milimétrica e extinção ondulante ou em agregados de grãos submilimétricos de contorno retilíneo e poligonizados (Fig. 4.6). O feldspato alcalino é o microclíneo e ocorre como grãos intersticiais que ocupam espaços cuneiformes e de formas irregulares entre os grãos de quartzo (Fig. 4.6). Fenocristais de feldspato potássico não foram observados.

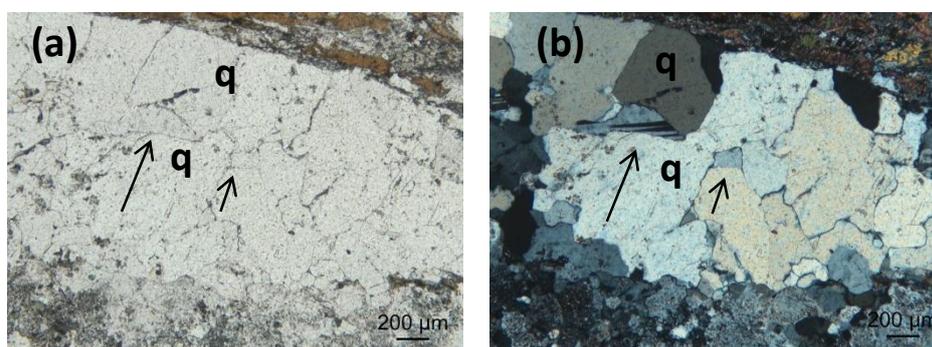


Figura 4.6 - Aspectos texturais do quartzo (q) e do microclíneo (indicado pela seta maior). Em (a) luz natural, em (b) nicóis cruzados. Barra de escala igual a 0,2 mm. O quartzo submilimétrico é indicado pela seta menor.

O mineral máfico do granitoide é a biotita, que possui cor de pleocroísmo castanho-claro a castanho-escuro e ocorre intercrescida com quartzo e plagioclásio. A biotita comumente contém inclusões dos minerais acessórios zircão e apatita, conforme ilustrado na Fig. 4.7, sendo que o zircão apresenta halo pleocróico e a apatita forma pequenos bastonetes. A biotita pode conter finas palhetas

de muscovita (Fig. 4.7), aparentemente crescida às expensas do mineral hospedeiro, assim como localmente a biotita apresenta-se parcialmente cloritizada (não mostrado).

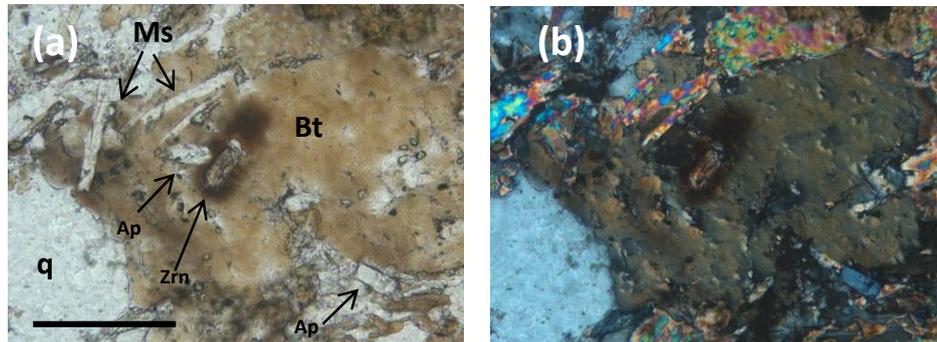


Figura 4.7 - Aspectos microscópicos da biotita (Bt). Em (a) luz natural, em (b) nicóis cruzados. Barra de escala igual a 0,5 mm. Ms = muscovita, q = quartzo, Ap = apatita, Zrn = zircão.

Entretanto, a muscovita também foi observada como cristais intersticiais entre grãos de plagioclásio e sem relação direta com substituição de biotita, conforme ilustrado na Fig. 4.8. Neste caso sugere-se que a muscovita corresponderia à fase de cristalização magmática tardia.

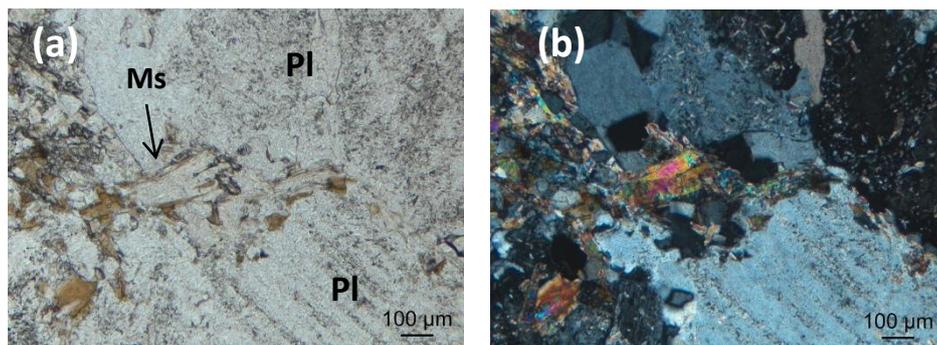


Figura 4.8 - Feição textural de muscovita intersticial. Em (a) luz natural e (b) nicóis cruzados. Escala = 0,1 mm. Ms = muscovita, Pl = plagioclásio.

A allanita constitui-se no terceiro mineral acessório em abundância do granitoide, após a apatita e zircão. Entretanto, difere destes por apresentar em geral grãos de maiores dimensões que aqueles, comumente entre 0,1 a 0,5 mm, e possuir um envoltório (coroa) de epidoto. Associa-se à biotita, quartzo e plagioclásio. Os cristais são euédricos, com formas cristalinas bem definidas, possuem núcleos de cor caramelo a amarelada em luz natural.

Na Fig. 4.9 ilustra-se um cristal de allanita euédrica em contato com plagioclásio e quartzo. Interessante notar que o quartzo apresenta fraturas radiais emanadas da allanita, sugerindo que este fenômeno poder estar ligado com a desintegração de elementos radioativos contidos na mesma.

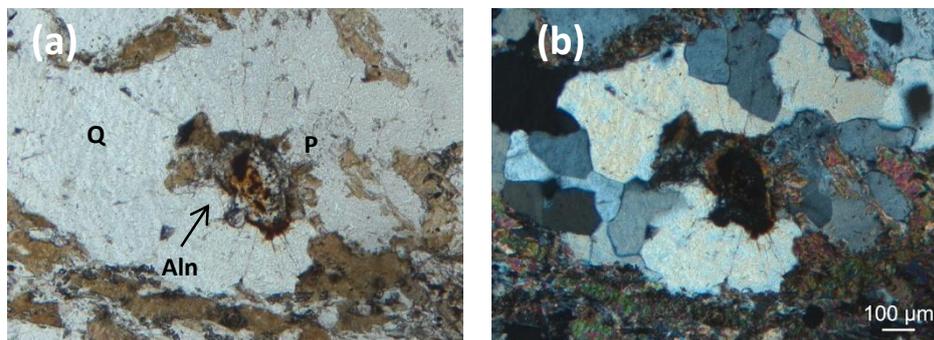


Figura 4.9 - Associação mineral da allanita com coroa de epidoto, quartzo e plagioclásio. Em (a) luz natural e (b) nicóis cruzados. Q = quartzo, Aln = allanita, P = plagioclásio. Em (b) nota-se o cristal de allanita propriamente dito de cor marrom escuro, e a franja (coroa) de epidoto envoltória de cor de birrefringência amarelada.

4.3 OBSERVAÇÕES AO MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA

No sentido de conhecer em maior detalhe a relação entre as fases minerais do granitoide, assim como suas composições químicas, foram selecionadas para investigação ao MEV situações contendo plagioclásio, micas e minerais acessórios. Em particular investigou-se a possível zonação composicional do plagioclásio, a razão Fe/Mg da biotita e ainda a relação desta com a muscovita, a forma e estrutura interna de zircão e da apatita, assim como a forma, estrutura interna e a coroa de epidoto associada à allanita.

Na Fig. 4.10 estão representados cristais de plagioclásio, cujo núcleo encontra-se saussuritizado, além de biotita e K-feldspato. A composição química dos pontos analíticos realizados está representada na Tabela 4.1.

Na Fig. 4.10 a/b a saussuritização ocupa ampla zona do núcleo do plagioclásio, e é caracterizada por numerosos cristais muito finos de epidoto e mica branca. Os pontos analíticos do núcleo e da borda do plagioclásio (respectivamente pontos 8 e 1-2, Fig. 4.10a, b, Tabela 4.1) indicam composição relativamente similar, variando de An₁₅ (ponto 8) a An₁₇ (pontos 1 e 2), sendo portanto classificados como oligoclásio, a molécula de anortita calculada como mol CaO/(CaO + Na₂O)

O epidoto e a mica branca que se associam na parte saussuritizada do plagioclásio têm sua composição química representada respectivamente pelos pontos analíticos 3, 4, 5, 6 e 7 (epidoto) e 9 (sericita/muscovita). Em relação ao epidoto nota-se aparentemente duas composições distintas,

distinguidas em termos do maior ou menor teor de FeO, respectivamente os pontos analíticos 5 e 7, e os pontos analíticos 3, 4 e 6.

Ressalta-se entretanto que a análise do conteúdo de FeO do mineral epidoto por EDS ao MEV serve apenas de referência, um vez que neste mineral o Fe ocorre fundamentalmente na forma de Fe_2O_3 . Isto fica evidenciado pelo fato dos cristais com maior teor de Fe conterem ao mesmo tempo o menor de Al_2O_3 , e vice versa, indicando assim que a composição distinta dos cristais de epidoto decorre da substituição de Fe^{+3} por Al^{+3} .

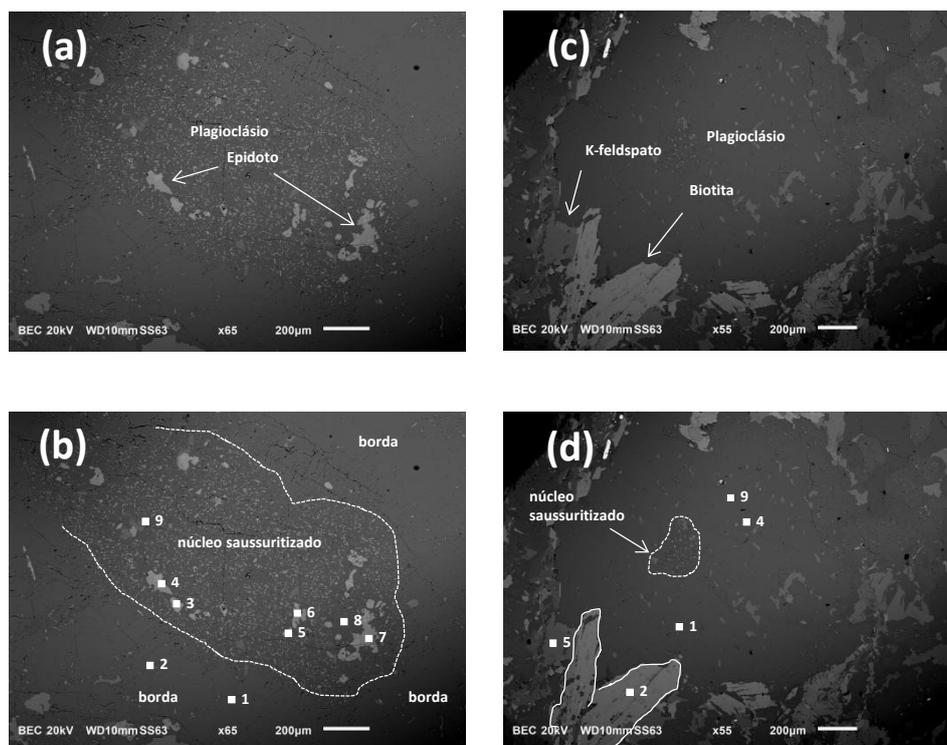


Figura 4.10 - Imagem de elétrons retroespalhados ao MEV com aspectos texturais de plagioclásio, epidoto, sericita/muscovita, biotita e K-feldspato. Escala = 0,2 mm. Em (b) e (d) são delineadas a textura e a localização dos pontos analíticos respectivamente das imagens em (a) e (c).

Na Fig. 4.10c o núcleo saussuritizado do plagioclásio é menos desenvolvido e de menor dimensão que o do cristal da Fig. 4.10a. Entretanto, a composição do plagioclásio é similar e corresponde ao oligoclásio, com porcentagem da molécula de anortita variando de An_{14} a An_{15} . Pequenos cristais de feldspato potássico também podem ser vistos (ponto analítico 5, Fig. 4.10c-d).

A biotita forma palhetas euédricas contornando o cristal de plagioclásio. A relação Fe/Mg da biotita (ponto analítico 2, Fig. 4.10c-d) calculada pelo número de Mg# é de 0,38 [Mg# = mol $\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{FeO})$], sendo portanto a biotita mais rica em Fe do que em Mg.

Tabela 4.1 - Resultados analíticos por EDS obtidos no MEV em minerais do granitoide investigado. Óxidos em porcentagem de peso. Pontos analíticos referendados na Figura 4.10.

| Fig. 4.10b | | | | | | | | | | |
|--------------------|------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|---------------------------|
| An. n ^o | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | Soma | Mineral |
| 3 | 42,14 | 29,09 | 5,62 | | 23,15 | | | | 100 | Epidoto ^(1, 2) |
| 4 | 42,14 | 28,21 | 6,59 | | 23,06 | | | | 100 | Epidoto |
| 6 | 41,98 | 29,14 | 5,41 | | 23,47 | | | | 100 | Epidoto |
| 5 | 41,21 | 25,06 | 11,37 | | 22,36 | | | | 100 | Epidoto |
| 7 | 41,27 | 26,06 | 10,17 | | 22,50 | | | | 100 | Epidoto |
| 1 | 64,53 | 21,33 | | | 3,67 | 10,47 | | | 100 | Plagioclásio |
| 2 | 64,66 | 21,72 | | | 3,75 | 9,87 | | | 100 | Plagioclásio |
| 8 | 67,11 | 19,13 | | | 2,19 | 10,64 | | | 100 | Plagioclásio |
| 9 | 53,00 | 25,93 | 1,26 | | | | 12,12 | | 100 | Sericita ⁽¹⁾ |
| Fig. 4.10d | | | | | | | | | | |
| 1 | 65,09 | 21,24 | | | 3,35 | 10,33 | | | 100 | Plagioclásio |
| 9 | 65,41 | 21,47 | | | 3,67 | 10,11 | | | 100 | Plagioclásio |
| 4 | 65,61 | 21,15 | | | 3,75 | 10,18 | | | 100 | Plagioclásio |
| 5 | 65,94 | 17,60 | | | | | 16,46 | | 100 | K-feldspato |
| 2 | 38,90 | 17,74 | 24,71 | 8,54 | | | 10,44 | | 100 | Biotita |

^(1, 2) O epidoto e a muscovita/sericita estão associados com saussuritização do plagioclásio. Para o epidoto é necessário recalcular o FeO medido para Fe₂O₃, uma vez que este mineral incorpora Fe na valência ⁺³.

Na Fig. 4.11 são mostrados aspectos texturais da biotita e da muscovita, além do plagioclásio, K-feldspato, quartzo e titanita. A composição química dos minerais analisados é apresentada na Tabela 4.2.

A muscovita neste caso possui textura distinta da muscovita/sericita observada anteriormente como saussuritização do plagioclásio (Fig. 4.10). O tamanho do cristal de muscovita atinge cerca de 1 mm de comprimento, possui hábito euédrico e intercrescimento com palhetas de biotita, plagioclásio e quartzo, características que sugerem tratar-se de mineral ígneo do granitoide. A biotita associada à muscovita possui relação Fe/Mg similar à da Fig. 4.10, com Mg# de 0,37-0,39.

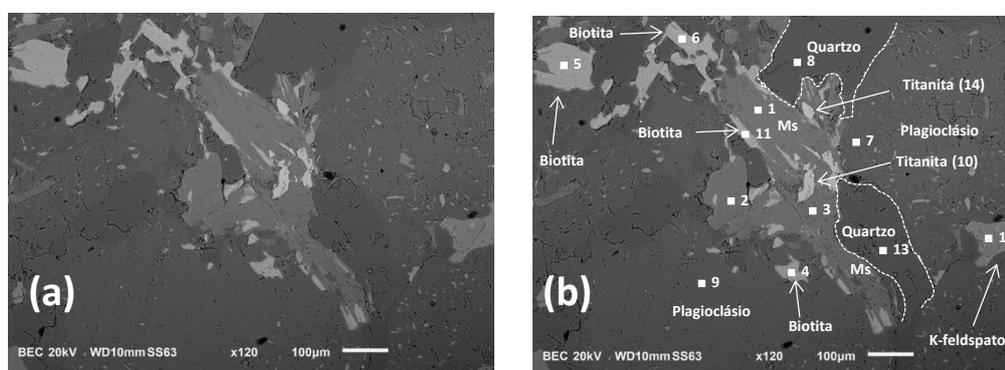


Figura 4.11 - Imagem de elétrons retroespalhados ao MEV com aspectos texturais de cristais de muscovita (Ms), plagioclásio, K-feldspato, biotita, quartzo e titanita. Escala = 0,1 mm. Em (b) a descrição textural e a localização dos pontos analíticos.

Nesta imagem (Fig. 4.11) o plagioclásio apresenta-se relativamente pouco saussuritizado, com a composição química respectivamente de An₁₁ (análise 7) e An₁₅ (análise 9). Muito embora ambas as análises do plagioclásio sejam classificadas de oligoclásio, o fato da análise 7 (próximo à borda) possuir menor teor da molécula de anortita que a análise 15 (situada mais para o núcleo), indica que o plagioclásio possui zonação química de núcleo mais cálcico para borda ligeiramente mais sódica.

Tabela 4.2 - Resultados analíticos por EDS obtidos no MEV em minerais do granitoide investigado. Óxidos em porcentagem de peso. Pontos analíticos referendados na Figura 4.11.

Fig. 4.11b

| An. n° | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | TiO ₂ | Soma | Mineral |
|--------|------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------------------|------------------|------------------|-------|--------------|
| 8 | 100,00 | | | | | | | | 100 | Quartzo |
| 13 | 100,00 | | | | | | | | 100 | Quartzo |
| 10 | 33,65 | 5,50 | | | 25,31 | | | 34,16 | 98,62 | Titanita |
| 14 | 32,59 | 2,78 | | | 27,17 | | | 37,46 | 100 | Titanita |
| 12 | 65,79 | 17,86 | | | | | 16,35 | | 100 | K-feldspato |
| 7 | 66,48 | 20,40 | | | 2,33 | 10,79 | | | 100 | Plagioclásio |
| 9 | 65,50 | 20,95 | | | 3,35 | 10,20 | | | 100 | Plagioclásio |
| 1 | 51,21 | 31,02 | 3,74 | 1,95 | | | 12,09 | | 100 | Muscovita |
| 2 | 50,72 | 30,62 | 4,33 | 2,10 | | | 12,23 | | 100 | Muscovita |
| 3 | 53,07 | 32,93 | | 1,59 | | | 12,42 | | 100 | Muscovita |
| 4 | 38,96 | 17,23 | 25,17 | 8,19 | | | 10,45 | | 100 | Biotita |
| 5 | 39,01 | 17,09 | 25,09 | 8,13 | | | 10,68 | | 100 | Biotita |
| 6 | 39,80 | 17,56 | 23,55 | 8,55 | | | 10,54 | | 100 | Biotita |
| 11 | 38,98 | 17,07 | 25,06 | 8,41 | | | 10,47 | | 100 | Biotita |

O feldspato potássico também é observado nesta imagem (análise 12), com tamanho do grão fino (~0,1mm) e ocupando espaço intersticial aos grãos maiores de plagioclásio, indicando que este mineral é de cristalização tardia no granitoide.

Por sua vez a titanita apresenta-se em cristais de tamanho muito fino (<0,5mm), hábito prismático e disposta ao longo dos planos de clivagem da biotita (análises 10 e 14), sugerindo tratar-se de mineral tardio e/ou pós-magmático.

As dimensões, textura e composição de zircão, apatita, epidoto e titanita são representadas respectivamente na Fig. 4.12 e Tabela 4.3.

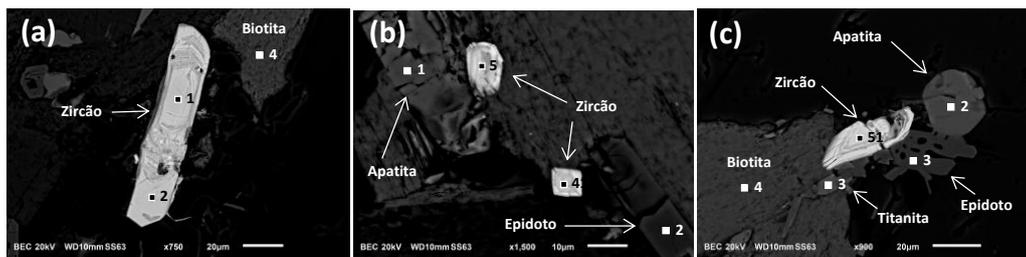


Figura 4.12 - Imagens de elétrons retroespalhados ao MEV contendo zircão, biotita, apatita, epidoto e titanita. Escala em (a) e (c) = 0,02mm; em (b) = 0,01mm.

O zircão forma cristais submilimétricos, euédricos, prismáticos tabulares ou retangulares e com dimensões do comprimento maior da ordem de 0,02 a 0,1mm. As zonas de crescimento deste mineral são ressaltadas por diferentes tonalidades de cinza que acompanham as faces cristalinas externas dos cristais (Fig. 4.12a-c).

A apatita apresenta-se em cristais submilimétricos euédricos de forma retangular (Fig. 4.12b) ou isométrica (Fig. 4.12c), representando respectivamente as seções lateral ou basal deste mineral.

A associação do zircão e da apatita com a biotita aparece nas três situações retratadas na Fig. 4.12. A composição da biotita é similar às demais analisadas, com número de magnésio (Mg#) variando de 0,37-0,39.

O epidoto e a titanita estão ilustrados na Fig. 4.12c. O epidoto se apresenta como cristal de euédrico em contato com o zircão e a apatita, sugerindo fazer parte de mesma assembleia ígnea. A titanita forma cristal prismático alongado, retangular e disposto no plano de clivagem da biotita, reproduzindo a mesma relação deste mineral com a muscovita observada na Fig. 4.11.

Tabela 4.3 - Resultados analíticos por EDS obtidos no MEV em minerais do granitoide investigado. Óxidos em porcentagem de peso. Pontos analíticos referendados na Figura 4.12.

| An. n° | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | ZrO ₂ | K ₂ O | TiO ₂ | Soma | Mineral |
|--------|------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------------------------------|------------------|------------------|------|----------|
| 4.12a | | | | | | | | | | |
| 1 | 31,19 | | | | | 68,81 | | | 100 | Zircão |
| 2 | 31,18 | | | | | 68,82 | | | 100 | Zircão |
| 4 | 39,26 | 17,42 | 24,52 | 8,37 | | | 10,43 | | 100 | Biotita |
| 4.12b | | | | | | | | | | |
| 2 | 41,95 | 27,83 | 7,30 | | 22,91 | | | | 100 | Epidoto |
| 3 | 39,25 | 17,14 | 24,65 | 8,26 | | | 10,70 | | 100 | Biotita |
| 4 | 31,09 | | | | 1,73 | 67,19 | | | 100 | Zircão |
| 5 | 31,82 | | | | | 68,18 | | | 100 | Zircão |
| 1 | | | | | CaO | P ₂ O ₅ | | | 100 | Apatita |
| | | | | | 50,90 | 49,10 | | | | |
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | ZrO ₂ | K ₂ O | TiO ₂ | | |
| 4.12c | | | | | | | | | | |
| 1 | 31,93 | | | | | 68,07 | | | 100 | Zircão |
| 6 | 33,05 | 4,99 | | | 27,22 | | | 34,74 | 100 | Titanita |
| 3 | 41,69 | 25,95 | 9,57 | | 22,78 | | | | 100 | Epidoto |
| 4 | 39,52 | 17,90 | 23,77 | 8,47 | | | 10,35 | | 100 | Biotita |
| 2 | | | | | CaO | P ₂ O ₅ | | | 100 | Apatita |
| | | | | | 51,41 | 48,59 | | | | |

O mineral allanita complementa a plêiade de minerais acessórios do granitoide. Como observado nas lâminas delgadas (Fig. 4.9), a allanita associa-se com o epidoto, sendo que este último mineral ocorre como coroa envoltória do primeiro. A Fig. 4.13 ilustra esta situação com a imagem de elétrons retroespalhados. A composição química dos minerais é apresentada na Tabela 4.4.

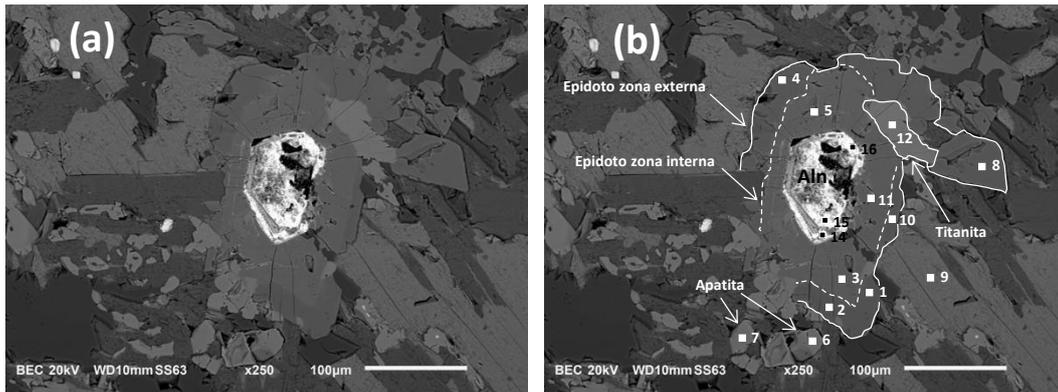


Figura 4.13 - Imagens de eletrons retroespalhados contendo allanita (Aln) com coroa de epidoto.

A allanita forma cristal euédrico isométrico com dimensão em torno de 0,1mm. O alto conteúdo em ETR leves (La, Ce e Nd, Tabela 4.4) reflete-se na tonalidade cinza clara a esbranquiçada da imagem ao MEV. Fraturas radiais emanam da allanita e recortam os minerais envoltórios, sugerindo tratar-se do efeito derivado da desintegração de elementos radioativos na sua estrutura, como por exemplo o Th.

O epidoto cristaliza no entorno da allanita. Deste modo, possui seu contorno euédrico que mimetiza as faces bem definidas da allanita que lhe serve de núcleo. Nota-se que o crescimento do epidoto ocorre com zonação composicional, conforme evidenciado pela diferença na tonalidade de cinza da imagem, e pela variação composicional do teor de FeO e Al₂O₃ medido por EDS. Na zona interna de crescimento do epidoto, isto é, na porção mais próxima do cristal da allanita e de tonalidade cinza mais claro, este mineral incorpora maior quantidade de FeO às expensas do Al₂O₃, e na zona externa ocorre o inverso (Tabela 4.4). Por sua vez, a presença de elementos terras raras (ETR) está restrita à allanita. Registre-se que o ferro que é incorporado ao epidoto é o Fe⁺³ (Seixas *et al.*, 2013), sendo que o resultado de FeO expresso na análise por EDS necessita ser recalculado para Fe₂O₃.

Tabela 4.4 - Resultados analíticos por EDS obtidos no MEV em minerais do granitoide investigado. Óxidos em porcentagem de peso. Pontos analíticos referendados na Figura 4.13.

| An. n ^o | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | TiO ₂ | Soma | Mineral |
|--------------------|------------------|--------------------------------|-------|------|-------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------------|
| 4.13b | | | | | | | | | | |
| 12 | 32,66 | 2,95 | | | 27,06 | | | 37,33 | 100 | Titanita |
| 9 | 39,87 | 17,70 | 23,53 | 8,62 | | | 10,29 | | 100 | Biotita |
| 8 | 41,84 | 27,88 | 7,28 | | 23,00 | | | | 100 | Ep. z. ext. |
| 1 | 41,67 | 27,80 | 7,36 | | 23,17 | | | | 100 | Ep. z. ext. |
| 2 | 41,63 | 28,03 | 7,45 | | 22,89 | | | | 100 | Ep. z. ext. |
| 4 | 42,22 | 27,78 | 7,41 | | 22,59 | | | | 100 | Ep. z. ext. |
| 10 | 41,62 | 27,65 | 8,03 | | 22,70 | | | | 100 | Ep. z. ext. |
| 3 | 40,95 | 24,18 | 12,10 | | 22,77 | | | | 100 | Ep. z. int. |
| 5 | 41,21 | 24,50 | 11,98 | | 22,31 | | | | 100 | Ep. z. int. |
| 11 | 41,27 | 24,52 | 11,51 | | 22,71 | | | | 100 | Ep. z. int. |
| | | | | | | La ₂ O ₃ | Ce ₂ O ₃ | Nd ₂ O ₃ | | |
| 14 | | | | | | 20,48 | 33,51 | 9,17 | | Allanita |
| 15 | | | | | | 23,17 | 36,07 | 10,03 | | Allanita |
| 16 | | | | | | 25,41 | 39,58 | 10,65 | | Allanita |
| | | | | | CaO | P ₂ O ₅ | | | | |
| 6 | | | | | 51,81 | 48,19 | | | 100 | Apatita |
| 7 | | | | | 51,62 | 48,38 | | | 100 | Apatita |

As observações texturais e composicionais da relação epidoto-allanita acima descritas indicam que o epidoto é um mineral de cristalização magmática e que surge no magma após a cristalização completa da allanita. Em adição, enquanto a cristalização da allanita significa condição mais redutora e com saturação de ETR leves no magma - uma vez que este mineral incorpora ETR leves e o ferro na valência Fe⁺² na sua estrutura cristalina, o epidoto somente ocorre com o esgotamento do conteúdo de ETR do magma e em condição mais oxidante, uma vez que o epidoto é destituído de ETR e possui o ferro preferencialmente na valência Fe⁺³. Em adição, a continuidade da cristalização do epidoto se dá com a passagem do magma para uma condição mais saturada em alumínio, uma vez que a zonação composicional do epidoto demonstra que no sentido da borda do cristal (portanto mais tardia) ocorre a substituição do Fe⁺³ pelo Al⁺³ (Seixas *et al.*, 2013).

A imagem da Fig. 4.13 permite ainda verificar a relação entre titanita e epidoto. O ponto analítico 12 (Fig. 4.13b) representa cristal de titanita, o qual é completamente envolvido pela borda externa do epidoto, sugerindo então que a titanita neste caso cristalizou concomitantemente com aquele, e portanto no estágio mais tardio de cristalização magmática do granitoide. A partir desta relação da titanita com o epidoto magmático depreende-se então dois estágios de cristalização de titanita, o primeiro ígneo retratado acima, e o segundo, pós-magmático, ilustrado nas Figs. 4.11 e 4.12 onde a titanita cristaliza como cristais diminutos prismáticos alongados no plano de clivagem de muscovita (Fig. 4.11) e/ou biotita (Fig. 4.12).

Finalmente, ainda uma outra situação contendo allanita foi investigada ao MEV. Na Fig. 4.14 está representada a imagem de um cristal de allanita crescida entre cristais de plagioclásio. Esta situação se soma então à ilustrada na Fig. 4.13 onde a allanita ocorre intercrescida com biotita. A composição química dos minerais analisados está listada na Tabela 4.5.

A imagem da Fig. 4.14 permite observar que também neste caso, onde a allanita está inclusa no plagioclásio, ocorre o crescimento de uma coroa de epidoto em torno da allanita. O elevado teor de ETR leves (La e Ce) caracterizam os pontos analíticos sobre a allanita (análises 4, 6 e 7, Tabela 4.5). Em seu interior ocorre como inclusão a apatita (análise 5).

Por sua vez, o plagioclásio em contato com a allanita apresenta-se apenas levemente saussuritizado (com minúsculas inclusões distribuídas homogeneamente), entretanto as análises por EDS revelaram composição nitidamente mais rica em sódio que os demais pontos analisados anteriormente, neste caso variando de oligoclásio com An_{12} (ponto analítico 11) ou albita (pontos analíticos 12, 13 e 14, com respectivamente An_6 , An_5 e An_0 , Tabela 4.5).

Observa-se que o cristal de epidoto, pontos analíticos 1 e 3, apresenta teores de FeO e Al_2O_3 similares aos teores desses elementos da zona interna do epidoto ígneo em torno da allanita mostrado anteriormente na Fig. 4.13. Com base nisto sugere-se que o epidoto cresceu em estágio magmático e possivelmente envolveu a reação do magma com os cristais de plagioclásio.

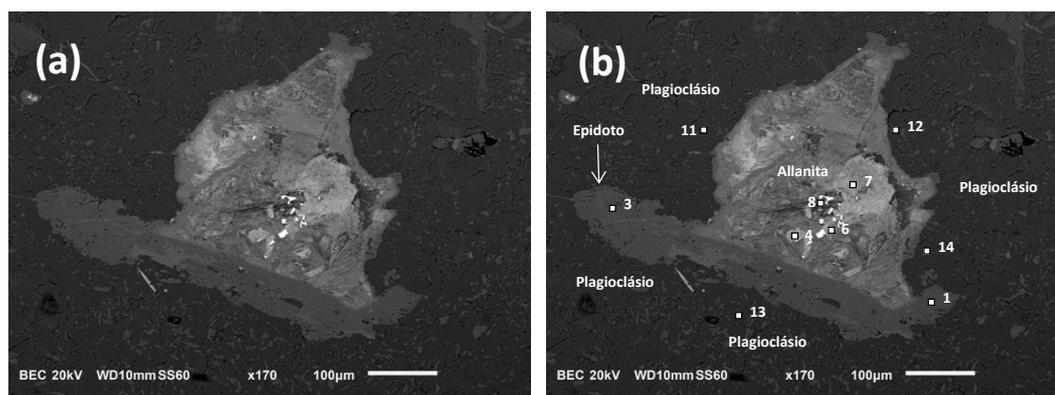


Figura 4.14 - Imagens de eletrons retroespalhados ao MEV contendo allanita (Aln) com coroa de epidoto. Escala = 0,1mm.

Tabela 4.5 - Resultados analíticos por EDS obtidos no MEV em minerais do granitoide investigado. Óxidos em porcentagem de peso. Pontos analíticos referendados na Figura 4.14.

| An. n° | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | TiO ₂ | Soma | Mineral |
|--------|------------------|--------------------------------|-------|-----|-------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|--------------|
| 11 | 66,68 | 20,24 | | | 2,50 | 10,58 | | | 100 | Plagioclásio |
| 12 | 68,34 | 20,49 | | | | 10,23 | 0,95 | | 100 | Plagioclásio |
| 13 | 67,69 | 19,75 | | | | 11,58 | 0,97 | | 100 | Plagioclásio |
| 14 | 68,75 | 19,28 | | | | 11,97 | | | 100 | Plagioclásio |
| 1 | 41,31 | 23,95 | 12,22 | | 22,52 | | | | 100 | Epidoto |
| 3 | 41,51 | 24,46 | 11,78 | | 22,26 | | | | 100 | Epidoto |
| 4 | 32,75 | 11,45 | 3,97 | | 10,21 | La ₂ O ₃ | Ce ₂ O ₃ | | | Allanita |
| 6 | 33,28 | 12,12 | 4,50 | | 10,26 | 15,40 | 27,32 | | | Allanita |
| 7 | 25,66 | 10,21 | 4,65 | | 9,66 | 18,16 | 39,02 | | | Allanita |
| 5 | | | | | CaO | P ₂ O ₅ | | | | Apatita |
| | | | | | 51,29 | 47,71 | | | 100 | |

4.4 LITOGEOQUÍMICA

A composição química do granitoide e do aplito encontra-se listada na Tabela 4.6. A coleta representa diferentes pontos espalhados dentro da pedraira.

Tabela 4.6 - Composição química de amostras do granitoide e do dique de aplito da pedraira investigada. Óxidos em porcentagem de peso, elementos traço em ppm.

| Rocha | granitoide | granitoide | granitoide | aplito | aplito |
|------------------------------------|------------|------------|------------|--------|--------|
| Sigla rocha | AD-1 | AD2 | AD-4 | AD-5 | AD-7 |
| SiO ₂ | 73,41 | 71,98 | 73,56 | 72,22 | 71,71 |
| TiO ₂ | 0,21 | 0,20 | 0,19 | 0,32 | 0,27 |
| Al ₂ O ₃ | 14,62 | 14,96 | 14,42 | 14,82 | 15,10 |
| Fe ₂ O _{3t} | 2,00 | 2,16 | 2,02 | 1,93 | 2,26 |
| MnO | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,05 |
| MgO | 0,54 | 0,64 | 0,51 | 0,58 | 0,59 |
| CaO | 2,23 | 2,60 | 2,27 | 2,18 | 2,36 |
| Na ₂ O | 4,78 | 4,37 | 4,78 | 4,63 | 4,80 |
| K ₂ O | 2,04 | 2,09 | 1,94 | 2,43 | 2,31 |
| P ₂ O ₅ | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,09 | 0,07 |
| LOI | 0,75 | 0,96 | 0,54 | 0,66 | 0,70 |
| Total | 100,68 | 100,07 | 100,33 | 99,89 | 100,22 |
| Ba | 818 | 874 | 639 | 962 | 877 |
| Sr | 345 | 365 | 341 | 379 | 405 |
| Y | 7 | 12 | 9 | 5 | 5 |
| A/CNK ⁽¹⁾ | 1,04 | 1,06 | 1,02 | 1,04 | 1,03 |
| K ₂ O/Na ₂ O | 0,43 | 0,48 | 0,40 | 0,53 | 0,48 |
| 100Mg# ⁽²⁾ | 35 | 37 | 33 | 37 | 34 |
| Ba+Sr | 1162 | 1239 | 980 | 1341 | 1281 |
| Sr/Ba | 0,42 | 0,42 | 0,53 | 0,39 | 0,46 |
| Sr/Y | 46 | 31 | 40 | 75 | 85 |

⁽¹⁾ A/CNK = Proporção molecular de Al₂O₃/(Na₂O + K₂O + CaO)

⁽²⁾ 100Mg# = 100 × Proporção molecular de MgO/(MgO + FeO_t), sendo FeO_t = Fe₂O_{3t} × 0,9

Os resultados analíticos revelam que o granitoide e o aplito possuem composição química similar e bastante homogênea, com pouca variação no conteúdo de elementos maiores e no conteúdo de elementos traço entre as cinco amostras analisadas.

O granitoide e o aplito caracterizam-se por teor relativamente elevado da % em peso de SiO_2 (71,98–73,56) e Na_2O (4,4–4,8), e moderado de K_2O (1,9–2,4), de modo que a relação $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ é $\leq 0,5$. A relação molar de Al_2O_3 para os álcalis + cálcio (A/CNK) situa-se acima de 1,0 (1,02–1,07), o que permite classificar o granitoide e o aplito como peraluminosos. A relação entre Fe e Mg, expressa pelo valor de $100*\text{Mg}\#$, está situada entre 33 a 39, de onde se pode justificar os mesmos valores desta relação observada na biotita, o mineral máfico essencial do granitoide (conforme descrito no item anterior e Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4).

Do ponto de vista de proporção normativa de Ab, An e Or, o granitoide e o aplito posicionam-se no campo do trondhjemitó, porém muito próximo do limite com granodiorito (Fig. 4.14a). Em termos da índice de peraluminosidade, embora classificando-se como peraluminosos, o granitoide e o aplito possuem índice A/CNK inferior ao valor de 1,1, o qual é comumente usado para distinguir entre granitoides do tipo I, de origem por fusão de rochas metaígneas (A/CNK <1,1), e granitoides do tipo S (A/CNK $\geq 1,1$), de origem por fusão de rochas metassedimentares (Fig. 4.14b).

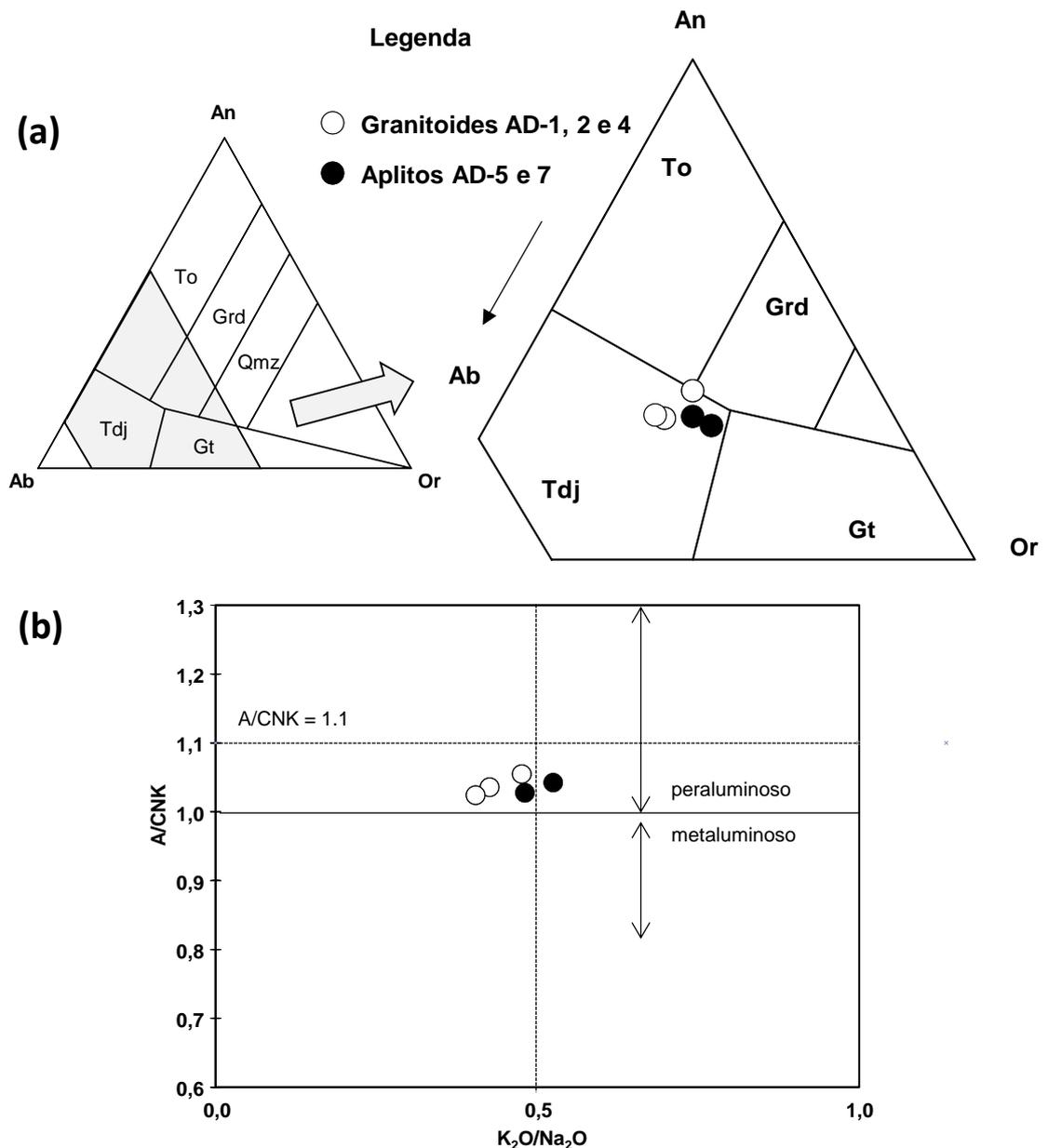


Figura 4.15 - Diagramas de classificação do granitoide e aplito. (a) Diagrama triangular normativo de Ab–An–Or. To = tonalito, Tdj = trondhjemito, Grd = granodiorito, Qmz = quartzo monzonito, Gt = granito. (b) Diagrama com a razão K_2O/Na_2O versus o índice A/CNK ($= \text{mol } Al_2O_3 / (\text{CaO} + Na_2O + K_2O)$). Gráficos reproduzidos de Seixas *et al.* (2013).

Do ponto de vista de elementos traço destaca-se o valor relativamente elevado de Ba (acima de 600 ppm), com teor moderado a alto de Sr, do valor de 345 ppm no granitoide AD-1 ao valor de 405 ppm no aplito AD-7. Em consequência, a razão Sr/Ba é baixa, variando de 0,42 a 0,53 no granitoide, e 0,39 a 0,46 no aplito. O alto teor de Ba e o teor moderado a alto de Sr conferem ao granitoide e ao aplito o caráter de rochas graníticas (s.l.) de alto Ba + Sr (variando de 980 a 1341 ppm). Do mesmo modo, o teor moderado a alto de Sr, associado com o baixo teor de Y (máximo de 12 ppm), conferem

ao granitoide e ao aplito o caráter de rochas graníticas (s.l.) com alta razão Sr/Y (valor de 31 a 46 no granitoide, e 75 a 85 no aplito).

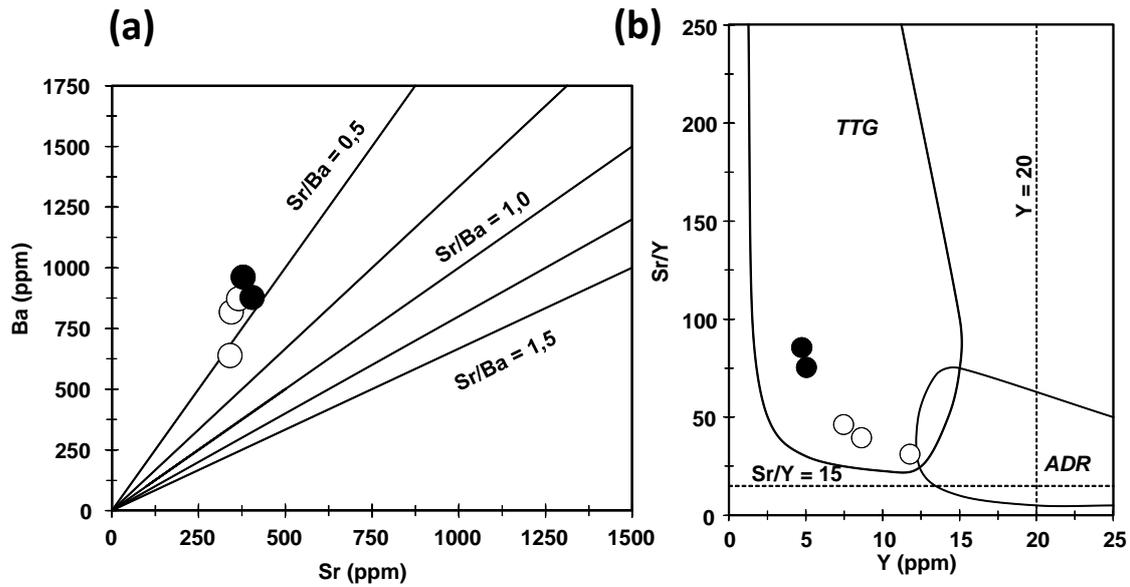


Figura 4.16 - Diagramas com a relação entre os elementos traço Ba, Sr e Y. (a) Diagrama Sr versus Ba, com as linhas de igual valor da razão Sr/Ba. (b) Diagrama Sr/Y versus Y, com os campos de suítes com moderado a alto teor em Sr e baixo teor de Y (TTG), e suítes com baixo teor de Sr e alto teor de Y (ADR). Baseado em Seixas *et al.* (2012).

CAPÍTULO 5

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os aspectos de campo, petrográficos, mineralógicos e geoquímicos do granitoide estudado nesta monografia sugerem que o mesmo possui relação genética e temporal com o plutonismo Paleoproterozoico do Cinturão Mineiro.

As dimensões do corpo ainda permanecem por ser estabelecidas e dependem de trabalhos de mapeamento. O presente estudo focalizou um único afloramento localizado em uma pedreira abandonada. Do ponto de vista de aspectos de campo o granitoide é bastante homogêneo, constituindo-se de rocha leucocrática, equigranular e de granulação média, maciça a levemente foliada, e contendo biotita como mineral máfico. Não foram observados na pedreira a ocorrência de enclaves magmáticos microgranulares e/ou xenólitos de rochas encaixantes. Diques de pegmatito e de aplito recortam o granitoide e parecem fazer parte do mesmo evento ígneo.

O estudo petrográfico e geoquímico conduzido em amostras do granitoide e do dique de aplito revelaram que ambos possuem a mesma assembleia de minerais ígneos, e composição química em rocha total similares. A mineralogia essencial é constituída por quartzo, plagioclásio – cujo zoneamento composicional do núcleo para a borda dos cristais varia de oligoclásio a albita, microclíneo e biotita, sendo esta de composição com número de magnésio (100Mg#) em torno de 38. A muscovita ocorre em dois tipos texturais, ou como palhetas euédricas de maior dimensão junto com a biotita e intersticial ao plagioclásio e quartzo, possivelmente de origem magmática, ou ainda como finos cristais proveniente da alteração do plagioclásio, neste caso associada com saussuritização do plagioclásio.

A composição modal do granitoide equivale a tonalito/trondhjemitito a granodiorito. Do ponto de vista normativo ambos, granitoide e aplito, classificam-se como trondhjemitos no diagrama triangular Ab–An–Or, plotando próximo do limite entre os campos do trondhjemitito ao granodiorito.

Os minerais acessórios compreendem zircão, apatita, allanita, epidoto, titanita e opacos. O zircão forma cristais euédricos com forte zoneamento composicional. A apatita é frequente como inclusão da biotita, aparecendo também inclusa na allanita. Esta por sua vez apresenta-se em cristais euédricos e zonados, comumente associada à biotita e menos frequente ao plagioclásio. Contém elementos radioativos em sua composição, de modo que a metamictização da allanita produz fraturas que irradiam para os minerais envoltórios.

O epidoto cristaliza como mineral envoltório da allanita, e os cristais apresentam contornos euédricos que mimetizam a forma da allanita a partir da qual se nuclearam. Além deste aspecto textural, o caráter ígneo desta variedade de epidoto é evidenciado também pelo zoneamento

composicional que acompanha seu crescimento, sendo que na zona interna o epidoto possui maior teor de Fe e na zona externa maior teor de Al, indicando a evolução magmática para condição mais oxidante e peraluminosa após a cristalização da allanita.

A titanita foi observada em duas variedades texturais, uma de granulação muito fina, prismática e crescida em planos de clivagem de biotita e/ou muscovita, cuja origem atribuída é pós-magmática. Já a variedade de titanita de provável origem magmática foi observada associada à borda externa do epidoto ígneo crescido às expensas da allanita.

Do ponto de vista geoquímico o granitoide e o aplito representam rochas cristalizadas de magmas de mesma composição. São rochas ácidas (SiO_2 72–73%), ligeiramente peraluminosas (A/CNK 1,02–1,06), medianamente potássicas (K_2O 1,9-2,4%), com razão $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} \leq 0,5$, baixo conteúdo em Fe_2O_{3t} (1,9-2,3%) e MgO (0,5-0,6%), e com número de Mg (100Mg#) variando de 33 a 38. O teor elevado em Ba (639-962 ppm), o teor moderado a alto em Sr (341–405 ppm), e o baixo teor de Y (5–12 ppm), conferem ao granitoide e ao aplito sua classificação como rochas de suítes TTG (tonalito-trondhjemito-granodioríticas) de alto Ba + Sr (≥ 980 ppm), baixa razão Sr/Ba ($\ll 1,0$) e alta razão Sr/Y (≥ 31). Estes resultados indicam que o granitoide e o aplito pertencem a uma mesma suíte ígnea, e cuja origem está provavelmente relacionada ao mesmo grande ambiente orogênico de arco magmático do Cinturão Mineiro.

Entretanto, em relação à suíte Alto Maranhão, o granitoide investigado é mais leucocrático, mais rico em sílica e menos ferro-magnésiano, não possui hornblenda e nem tampouco as estruturas de mescla de magma que caracterizam aquela, sendo portanto descartado em princípio o vínculo entre ambas. Comparativamente à suíte Lagoa Dourada, apesar desta contar com termos mais evoluídos e ligeiramente peraluminosos, como é o caso da suíte investigada, o parâmetro geoquímico indicado pelos teores de Sr e Ba não permitem a vinculação ao mesmo tipo de magma – o valor de Ba muito inferior ao do Sr na suíte Lagoa Dourada, faz com que, diferentemente do granitoide investigado, esta suíte apresente razão Sr/Ba superior a 1 (1,5–4,8) e menor valor da soma de Sr + Ba (495–610 ppm). Finalmente, em relação à suíte Resende Costa, a suíte investigada possui em comum o caráter evoluído em sílica e ligeiramente peraluminoso, entretanto é menos sódica que aquela, com menor teor em alumínio e maior valor no número de magnésio, de modo que não se torna possível vincular as duas suítes do ponto de vista de variação do mesmo tipo de magma. De posse desta comparação preliminar depreende-se que o granitoide investigado constitui-se de uma suíte ígnea distinta das enumeradas acima, sendo recomendados estudos adicionais para estabelecer sua correlação temporal com as outras suítes plutônicas félsicas descritas regionalmente, assim como sua relação petrogenética e tectônica com o desenvolvimento do Cinturão Mineiro.

REFERÊNCIAS

Alkmim F. F., Teixeira W. 2017. The Paleoproterozoic Mineiro Belt and the Quadrilátero Ferrífero. In: Heilbron M., Cordani U. G., Alkmim F. F. (Ed.) São Francisco Craton, Eastern Brazil, Tectonic Genealogy of a Miniature Continent. Springer, Switzerland, pp. 71-94.

Noce, C.M., 1995. Geocronologia dos Eventos Magmáticos, Sedimentares e Metamórficos na Região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. PhD Thesis, Universidade de São Paulo, 128 pp.

Seixas, L.A.R., 2000. Pétrologie de la suite TTG de la bordure nord du batholite d'Alto Maranhão et du pluton Congonhas, Minas Gerais, Brésil. Ph.D. thesis, Université de Paris-Sud, Orsay, 202 pp.

Seixas, L.A.R., David, J., Stevenson, R. 2012. Geochemistry, Nd isotopes and U-Pb geochronology of a 2350 Ma TTG suite, Minas Gerais, Brazil: implications for the crustal evolution of the southern São Francisco craton. *Precambrian Research* 196–197, 61–80.

Seixas, L.A.R., Bardintzeff, J-M., Stevenson, R., Bonin, B., 2013. Petrology of the high-Mg tonalites and dioritic enclaves of the ca. 2130 Ma Alto Maranhão suite: Evidence for a major juvenile crustal addition event during the Rhyacian orogenesis, Mineiro Belt, southeast Brazil. *Precambrian Research* 238C, 18–41.

Teixeira, W., Ávila, C. A., Dussin, I. A., Corrêa Neto, A. V., Bongiolo, E. M., Santos, J., Barbosa, N. S., 2015. A juvenile accretion episode (2.35-2.32 Ga) in the Mineiro belt and its role to the Minas accretionary orogeny: zircon U-Pb-Hf and geochemical evidences. *Precambrian Research* 256, 148-169.