



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE QUÍMICA POR EDS E LA-MC-ICP-MS EM AMOSTRAS DE
FELDSPATO DO COMPLEXO INTRUSIVO VÁRZEA ALEGRE,
ESPÍRITO SANTO (ORÓGENO ARAÇUAÍ – PROVÍNCIA
PEGMATÍTICA ORIENTAL DO BRASIL)**

Ludmila Silveira Paiva

MONOGRAFIA nº 483

Ouro Preto, agosto de 2023

**ANÁLISE QUÍMICA POR EDS E LA-MC-ICP-MS EM AMOSTRAS DE
FELDSPATO DO COMPLEXO INTRUSIVO VÁRZEA ALEGRE, ESPÍRITO
SANTO (ORÓGENO ARAÇUAÍ – PROVÍNCIA PEGMATÍTICA ORIENTAL
DO 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. José Alberto Naves Cocota Júnior

Vice-Diretor

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Dr. Geraldo Magela Santos Sampaio

Vice-Chefe

Prof. Dr. Leonardo Gonçalves

MONOGRAFIA

Nº 483

ANÁLISE QUÍMICA POR EDS E LA-MC-ICP-MS EM AMOSTRAS DE FELDSPATO DO COMPLEXO INTRUSIVO VÁRZEA ALEGRE, ESPÍRITO SANTO (ORÓGENO ARAÇUAÍ – PROVÍNCIA PEGMATÍTICA ORIENTAL DO BRASIL)

Ludmila Silveira Paiva

Orientadora

Prof.^a MSc. Flávia Compassi da Costa

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 2023/2.

OURO PRETO

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

P149a Paiva, Ludmila Silveira.

Análise química por EDS e LA-MC-ICP-MS em amostras de feldspato do complexo intrusivo Várzea Alegre, Espírito Santo (orógeno Araçuaí - província pegmatítica oriental brasileira). [manuscrito] / Ludmila Silveira Paiva. - 2023.

113 f.

Orientadora: Profa. Ma. Flávia Compassi da Costa.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Geoquímica. 2. Feldspato. 3. Pegmatitos. I. Costa, Flávia Compassi da. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 550.4:549.651

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Ludmila Silveira Paiva

Análise química por EDS e LA-MC-ICP-MS em amostras de feldspatos do Complexo Intrusivo Várzea Alegre, Espírito Santo (Orógeno Araçuai – Província Pegmatítica Oriental do Brasil)

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Geólogo

Aprovada em 22 de agosto de 2023

Membros da banca

[M.Sc.] - Flávia Compassi da Costa - Orientadora - Departamento de Geologia/Universidade Federal de Ouro Preto
[Dr.] - Leonardo Martins Graça - Departamento de Geologia/Universidade Federal de Ouro Preto
[Dr.] - Rodson de Abreu Marques - Departamento de Geologia/Universidade Federal de Ouro Preto

Flávia Compassi da Costa, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 29/08/2023



Documento assinado eletronicamente por **Flavia Compassi da Costa, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 29/08/2023, às 13:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0582522** e o código CRC **DAD00D1C**.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, reconheço e agradeço a Deus por ter me proporcionado esta oportunidade singular. Sua orientação e bênção foram fontes constantes de inspiração ao longo dessa jornada desafiadora.

À minha família, pais e familiares, minha profunda gratidão. Seu apoio e incentivo foram alicerces fundamentais para superar obstáculos e alcançar este marco significativo em minha educação.

Ao meu marido, Alex Porto, agradeço por sua presença constante. Seu apoio e suas palavras de encorajamento foram primordiais para me impulsionar em momentos desafiadores.

Agradeço à minha orientadora, Flávia Compassi. Sua orientação e dedicação foram os pilares que sustentaram a estrutura deste trabalho.

Agradeço também à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) pelo ensino público e de qualidade! Ao Laboratório de Laminação (LAMIN) do DEGEO/EM, pelas preparações das lâminas delgadas, ao Laboratório de Microscopia e Microanálises (LMic) do DEGEO/EM – Laboratório integrante da RMIc, Rede de Microscopia e Microanálises de Minas Gerais – FAPEMIG, UFOP, pelas análises de MEV, ao Laboratório de Geocronologia (LOPAG) do DEGEO/EM - adquirido com recursos FAPEMIG/VALE, da UFOP, pelas análises de elementos-traços.

O meu muito obrigada a todos!

Resumo

Este trabalho teve como objetivo a caracterização química de feldspatos oriundos de pegmatitos, que estão encaixados em rochas do Complexo Intrusivo Várzea Alegre. Foi feita a montagem de uma pastilha com 11 fragmentos dos grãos de feldspatos, que foram analisados via microscopia eletrônica de varredura (MEV) para a quantificação da composição química, posteriormente foi utilizado LA-MC-ICP-MS, *laser ablation multicolector Inductively coupled plasma Mass spectrometry*, em que foram analisados os dados de elementos traços nas amostras. Os programas *Origin* e *Corel Draw* foram utilizados para o tratamento dos dados e elaboração dos gráficos que, apresentam o tipo de feldspato que foi analisado para melhor poder compará-lo com os outros tipos de pegmatitos da Fazenda Concórdia e São Domingos (Espírito Santo), dos pegmatitos do Campo de Marilac (Minas Gerais) e do pegmatito Tanco (Canadá). Nos resultados de MEV buscou-se apresentar os dados de composição química dos elementos maiores e menores dos cristais de feldspato. Com base na média dos feldspatos encontrados há a presença predominante de K-feldspato (microclínio/ortoclásio) e albita. Ao avaliar a química dos elementos traços esses feldspatos possuem um grau de fracionamento baixo. Logo, esses feldspatos são pouco evoluídos quimicamente e como resultado a sua mineralização será direcionada para feldspato de uso industrial e berilo, variedade água marinha de modo ocasional.

Palavras-chave: pegmatitos, feldspato, fracionamento geoquímico

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização e acesso a área de estudo no estado do Espírito. Localização e acesso ao Complexo Intrusivo Várzea Alegre.....	2
Figura 3.1: O Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental e o cráton São Francisco-Congo, adjacentes no contexto do Gondwana Ocidental.....	10
Figura 3.2: Evolução do Orógeno Araçuaí, com foco nos estágios colisionais e a granitogênese das supersuítas G1, G2, G3, G4 e G5: A) pré-colisional; B) sin a tardi-colisional; C) pós-colisional.....	12
Figura 3.3: Mapa geológico simplificado do orógeno Araçuaí e região cratônica adjacente, destacando as supersuítas de granito Neoproterozoico a Cambriano	13
Figura 3.4: Mapa Geológico do CIVA.....	17
Figura 3.5: Limites da Província Pegmatítica Oriental.....	19
Figura 4.1: Representação esquemática do zoneamento regional de um granito parental e grupo de pegmatitos associados. Os pegmatitos aumentam seu grau de evolução.	24
Figura 4.2: Gráfico de K/Rb vs. Cs% em peso de K-feldspato em blocos nos pegmatitos do distrito de Winnipeg River, sudeste de Manitoba, Canadá.	26
Figura 5.1: Amostras de mão dos pegmatitos no ponto 01. A, B) Zona feldspática do pegmatito, nomeado álcali-feldspato-granito.....	27
Figura 5.2: Amostras do ponto 2. A) Zona feldspática do pegmatito; B, C, D) Pegmatitos: álcali-feldspato-granito	28
Figura 5.3: Contato entre a encaixante e o pegmatito do ponto 2. Retângulos vermelhos são das posições de lâminas delgadas. Rocha encaixante: biotita-álcali-granito.....	29
Figura 5.4: Rochas do ponto 3. A-B) Zona feldspática do pegmatito, nomeado: álcali-feldspato-granito, C) Álcali-feldspato-granito, D) Rocha encaixante.	30
Figura 5.5: Rochas do ponto 4. A) Pegmatito, nomeado: álcali-feldspato-granito, B) Contato entre as rochas, C) Rocha encaixante.	31
Figura 5.6: Lâmina P3A19C. Contato entre o pegmatito e encaixante. A) Fotomicrografia LN; B) Fotomicrografia LPP. Objetiva de aumento: 2x.....	32
Figura 5.7: Lâmina P5A36C. Contato entre o pegmatito e encaixante. A) Fotomicrografia LN. B) Fotomicrografia LPP. Objetiva aumento de 2x.....	33

Figura 5.8: Lâmina P3A19E. Rocha encaixante. A) Fotomicrografia LN; B) Fotomicrografia LPP. Objetiva de aumento de 2x.	34
Figura 5.9: Lâmina P4A32E. Rocha encaixante. A) Fotomicrografia LN; B) Fotomicrografia LPP. Objetiva de aumento de 2x.	35
Figura 5.10: Lâmina P5A37E. Rocha encaixante. A) Fotomicrografia LN; B) Fotomicrografia LPP. Objetiva de aumento de 2x.	36
Figura 5.11: Grão 1. A) Imagem BSE; B) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS; C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS.....	37
Figura 5.12: Grão 2. A) Imagem BSE; B) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS.....	38
Figura 5.13: Grão 3. A) Imagem BSE; B) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS.....	39
Figura 5.14: Diagrama de classificação para feldspatos do ponto 1	41
Figura 5.15: Grão 4. A) Imagem BSE; B) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS; C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS.....	42
Figura 5.16: Grão 5. A) Imagem BSE; B) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS.....	43
Figura 5.17: Grão 6. A) Imagem BSE; B) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS.....	44
Figura 5.18: Grão 7. A) Imagem BSE; B) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS.....	45
Figura 5.19: Diagrama de classificação para feldspatos do ponto 2.	47
Figura 5.20: Grão 8. A) Imagem BSE; B) Espectro de EDS (<i>Spectrum 28</i>); C) Espectro de EDS (<i>Spectrum 29</i>); D) Espectro de EDS (<i>Spectrum 30</i>)	48
Figura 5.21: Grão 9. A) Imagem BSE; B) Espectro de EDS (<i>Spectrum 11</i>); C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS D) Espectro de EDS.....	49
Figura 5.22: Grão 10. A) Imagem BSE; B) Espectro de EDS (<i>Spectrum 7</i>); C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS D) Espectro de EDS	50
Figura 5.23: Diagrama de classificação para feldspatos do ponto 3	53

Figura 5.24: Grão 11. A) Imagem BSE; B) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS mostrando a distribuição do elemento potássio (K)	54
Figura 5.25: Diagrama de classificação para feldspatos do ponto 4	56
Figura 5.26: Diagrama K/Rb versus Cs (%). As numerações dentro do gráfico são referentes aos números de grãos e o padrão de cores é referente ao ponto de localização do pegmatito	60
Figura 6.1: Comparação entre os feldspatos desta pesquisa (pontos 1 a 4) em relação a feldspatos dos pegmatitos Fazenda Concórdia e São Domingos	63

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 5.1: Composição química semiquantitativa dos cristais de feldspato (ponto 1) obtida por MEV/EDS.	40
Tabela 5.2: Estatística da composição química dos principais feldspatos do ponto 1.	40
Tabela 5.3: Composição química semiquantitativa dos cristais de feldspato (ponto 2) obtida por MEV/EDS.	46
Tabela 5.4: Estatística da composição química dos principais feldspatos do ponto 2.	47
Tabela 5.5: Composição química semiquantitativa dos cristais de feldspato (ponto 3) obtida por MEV/EDS.	51
Tabela 5.6: Estatística da composição química dos principais feldspatos do ponto 3.	52
Tabela 5.7: Composição química semiquantitativa dos cristais de feldspato (ponto 4) obtida por MEV/EDS.	55
Tabela 5.8: Estatística da composição química dos principais feldspatos do ponto 4.	55
Tabela 5.9: Composição dos elementos traços Rb e Cs via ICP-MS. Além das correlações de K analisado via MEV.	57

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1: Identificação da posição das lâminas em relação aos pegmatitos.....	6
Quadro 4.1: Principais grupos de pegmatitos baseados na associação com minerais acessórios e elementos raros	22

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	xi
Resumo	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE TABELAS	xix
ÍNDICE DE QUADROS.....	xxi
SUMÁRIO	xxiii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO.....	1
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.4 JUSTIFICATIVA	3
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.2 DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DAS AMOSTRAS	5
2.3 DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA DAS AMOSTRAS	6
2.4 CONFECÇÃO DAS PASTILHAS	6
2.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA - (MEV).....	6
2.6 LASER ABLATION MULTICOLETOR INDUCTIVELY COUPLED PLASMA MASS SPECTROMETRY - (LA-MC-ICP-MS)	7
2.7 TRATAMENTO DOS RESULTADOS.....	7
3 GEOLOGIA REGIONAL.....	9
3.1 ORÓGENO ARAÇUAÍ	9
3.1.1 Evolução Geotectônica.....	10
3.1.2 Estágios orogênicos e granitogênese	12
3.1.3 Pegmatitos do Orógeno Araçuaí.....	15
3.1.4 Pegmatitos no Estado do Espírito Santo.....	15
3.2 COMPLEXO INTRUSIVO DE VÁRZEA ALEGRE	16
3.3 PROVÍNCIA PEGMATÍTICA ORIENTAL DO BRASIL	17
4 PEGMATITOS.....	21
4.1 CONCEITO	21
4.2 CLASSIFICAÇÃO.....	21

4.3	GÊNESE	23
4.4	QUÍMICA MINERAL DO FELDSPATO PARA PEGMATITOS	24
5	RESULTADOS.....	27
5.1	DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA	27
5.1.1	Ponto 01: amostras A, B e C.....	27
5.1.2	Ponto 02: amostras A, B, C e D.....	27
5.1.3	Ponto 03: amostras A, B, C e D.....	29
5.1.4	Ponto 04: amostras A, B, C e D.....	31
5.2	DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA.....	32
5.3	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	36
5.3.1	Grão 1, 2, 3	36
5.3.2	Grão 4, 5, 6, 7	41
5.3.3	Grão 8, 9, 10	48
5.3.4	Grão 11	53
5.4	<i>LASER ABLATION MULTICOLETOR INDUCTIVELY COUPLED PLASMA MASS SPECTOMETRY</i> (LA-MC-ICP-MS).....	56
6	DISCUSSÕES.....	61
7	CONCLUSÕES	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
	APÊNDICES	71

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O magmatismo do período pós-colisional (530 - 490 Ma) relacionado a orogênese Brasileira-Panafricana, que deu origem ao orógeno Araçuai (Alkmim *et al.* 2006, Alkmim *et al.* 2007 e Pedrosa-Soares *et al.* 2007), é marcado por diversos complexos intrusivos localizados ao longo do território do estado do Espírito Santo. Tais complexos apresentam diversos pegmatitos associados, que são agrupados na Província Pegmatítica Oriental do Brasil (PPOB) (Correia Neves *et al.* 1986).

Considerando que pegmatitos possuem uma granulação muito grossa, o que torna difícil de amostrar estas rochas para estudos geoquímicos. Assim, entendendo-se que os minerais que representam as condições de cristalização em termos de composição, temperatura e pressão, são usados para definir as características geoquímicas da evolução do pegmatito (Costa *et al.* 2020).

A importância do grupo dos feldspatos no estudo de pegmatitos está relacionada a sua abundância em rochas ígneas e em pegmatitos simples, além de serem comuns em filões minerais (Deer *et al.* 2000). Eles ocorrem em todas as zonas dos corpos pegmatíticos e junto com as micas fornecem informações sobre variações durante o processo de cristalização do pegmatito (Costa *et al.* 2020)

Arelado a isso, o fracionamento geoquímico dos elementos maiores, elementos menores e elementos-traços dos feldspatos é uma excelente forma de demonstrar os processos e eventos geológicos e geoquímicos ocorridos na formação dos corpos mineralizados (Tang *et al.* 2018).

Assim sendo, este trabalho busca determinar os percentuais da química dos elementos maiores, menores e elementos-traço dos feldspatos, para assim evidenciar a formação dos pegmatitos associados a uma intrusão granítica do Orógeno Araçuai.

1.2 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo encontra-se na região central do Espírito Santo (**Figura 1.1**), agrupando os municípios de Santa Teresa, São Roque do Canaã, Itarana e Itaguaçu. Esta área tem aproximadamente 150 Km².

O distrito de Várzea Alegre situa-se a aproximadamente 90 km da capital do estado. Partindo de Vitória pode-se chegar à área por dois acessos: o primeiro partindo da BR-101 norte até a altura do

município de Fundão, seguindo pela ES-260; o segundo é a partir da ES-080 até a altura de Santa Leopoldina, seguindo pela ES-355 e continuando pela ES-261. Na área de estudo o deslocamento é feito em estradas vicinais.

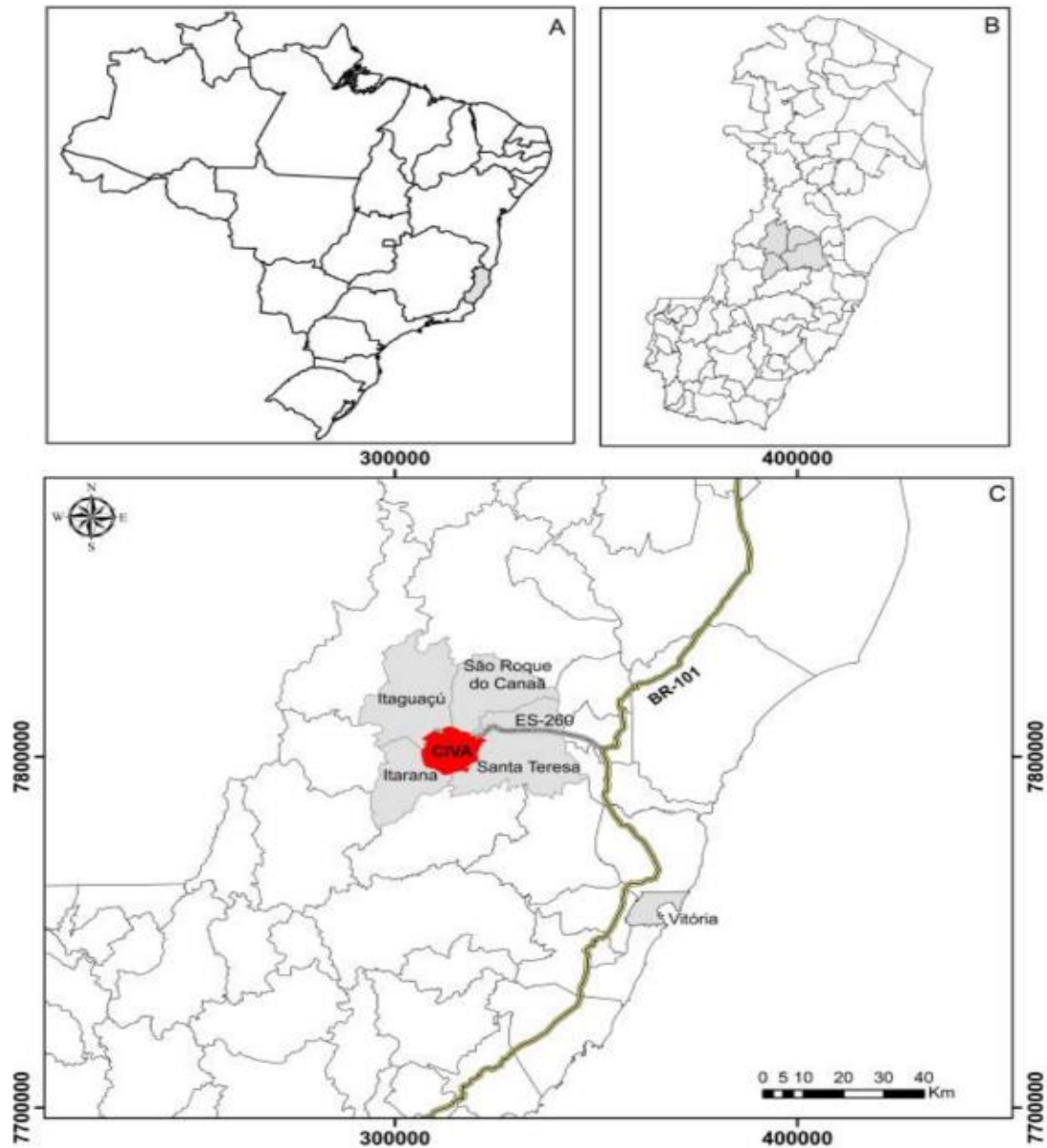


Figura 1.1: Localização e acesso a área de estudo no estado do Espírito. Localização e acesso ao Complexo Intrusivo Várzea Alegre (C), que aflora nos municípios de Santa Teresa, São Roque do Canaã, Itarana e Itaguaçu, estado do Espírito Santo (B), sudeste do Brasil (A) (Potratz 2020).

1.3 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é realizar análise da química mineral em feldspatos dos pegmatitos que estão intrudidos no Complexo Intrusivo de Várzea Alegre (CIVA) e caracterizar o

fracionamento geoquímico, ou seja, a evolução química desses pegmatitos, para assim, poder auxiliar no entendimento da evolução desses pegmatitos em relação às demais intrusões do Orógeno Araçuai.

Como objetivos específicos, buscou-se determinar os percentuais da química dos elementos maiores, menores e traço dos feldspatos. Além disso, buscou-se determinar o grau de fracionamento geoquímico desses pegmatitos, e avaliar o seu potencial para possíveis mineralizações.

1.4 JUSTIFICATIVA

O estado do Espírito Santo possui mineralizações de topázio, ametista, turmalinas, água-marinha e crisoberilo, as quais são associadas a estas intrusões, sendo documentadas no histórico mineral (Taufner 2012), bem como em trabalhos de conclusão de curso do departamento de gemologia da Universidade do Espírito Santo (DEGEM/UFES) que foram publicados como resumos em simpósios e congressos de geologia, porém não existem trabalhos publicados em periódicos sobre os pegmatitos do Espírito Santo, com exceção de Costa *et al.* (2020) que estuda a química de feldspato, mica, turmalinas, berilo e monazita do pegmatito Fazenda Concórdia em Mimoso do Sul e pegmatito São Domingos em Muqui, ambos no sul do estado, tais trabalhos ratificam o potencial do Espírito Santo para pedras coradas, associadas a pegmatitos.

A literatura geológica dos pegmatitos do estado do Espírito Santo apresenta poucos registros específicos sobre a área estudada em relação a pegmatitos. No entanto, o que se sabe é que o estado do Espírito Santo é composto por um arcabouço geológico marcado por inúmeras intrusões graníticas da mesma geração daqueles que hospedam os pegmatitos mineralizados da Província Pegmatítica Oriental do Brasil (Correia Neves *et al.* 1986).

O estudo de feldspatos dos pegmatitos do Complexo Intrusivo de Várzea Alegre (CIVA) é abordado pois pode elucidar a gênese e formação dos corpos mineralizados, uma vez que é um mineral essencial e abundante em pegmatitos.

Além disso, esse projeto pretende obter dados químicos destes pegmatitos para entender o seu fracionamento e distribuição da mineralização nesta região. Apesar da área estar englobada em uma das principais províncias pegmatíticas do mundo, essa ainda não possui informações sobre seus pegmatitos, cuja execução de trabalho de pesquisa poderia levar à descoberta de novos corpos mineralizados. Portanto, justifica-se o estudo deste trabalho mais detalhado com objetivo de sanar e esclarecer tais dúvidas, e conectar dados para um melhor entendimento da área.

CAPÍTULO 2

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho contou com três etapas de preparação: a primeira foi a revisão bibliográfica sobre pegmatitos, geoquímica de feldspatos e contexto geológico do Orógeno Araçuai com ênfase no Complexo Intrusivo de Várzea Alegre (CIVA). A segunda etapa, foi a preparação das amostras para as diferentes análises, pelo Laboratório de Laminação (LAMIN) do DEGEO/EM Laboratório de Microscopia e Microanálises (LMic) do DEGEO/EM – Laboratório integrante da RMic, Rede de Microscopia e Microanálises de Minas Gerais, e o Laboratório de Geocronologia (LOPAG) do DEGEO/EM. E a terceira etapa, contou com o tratamento de dados pelo *Origin* e *Corel Draw* para elaboração do texto final.

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Visando a realização deste trabalho, buscou-se o entendimento dos métodos a serem aplicados, além da realização de leituras e estudos de artigos com temas relacionados a Província Pegmatítica Oriental do Brasil, geologia regional, geoquímica dos feldspatos, e mineralização dos corpos pegmatíticos.

2.2 DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DAS AMOSTRAS

As análises macroscópicas das amostras de mão foram feitas utilizando uma lupa de aumento de 10x, onde foi possível a observação de minerais como quartzo, feldspato e mica. Além disso, observou-se também a coloração, a estrutura e o grau de alteração.

Posteriormente foram feitas imagens em fundo branco com câmera de 48 megapixels, a fim de ressaltar a morfologia presente nas amostras de mão.

Foram estudados quatro pegmatitos localizados no CIVA. O pegmatito do Ponto 1 apresenta zonamento e poucos bolsões miarolíticos, atualmente é um garimpo subterrâneo operando ocasionalmente, em que são minerados água-marinha. O pegmatito do Ponto 2 é zonado e está em contato com a rocha encaixante, é um garimpo ativo, produtor de apatita (principal), água-marinha e ametista (secundário). O pegmatito do Ponto 3 é zonado, é um garimpo ativo, produtor de quartzo (principal) e água-marinha (secundário). O pegmatito do Ponto 4 está localizado no pé da Pedra da Onça, possui zonamento simples, garimpo inativo e já foi retirado água-marinha.

2.3 DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA DAS AMOSTRAS

Esta etapa consistiu na descrição de lâminas delgadas polidas no Laboratório de Microscopia Óptica do DEGEO/UFOP. Foram confeccionadas 5 lâminas, que foram feitas nas amostras de granulação mais finas do pegmatito e da encaixante, a fim de se obter as informações mineralógico-texturais, para auxiliar as descrições macroscópicas. As informações referentes a localização de cada lâmina encontram-se no quadro abaixo (Quadro 2.1).

Quadro 2.1: Identificação da posição das lâminas em relação aos pegmatitos e encaixantes do CIVA.

Lâmina	Localização
PSA36C	Contato do pegmatito 4 com a encaixante
P3A37C	Encaixante do pegmatito 4
P4A32E	Encaixante do pegmatito 3
P3A19E	Encaixante do pegmatito 2
PSA19C	Contato do pegmatito 2 com a encaixante

2.4 CONFECÇÃO DAS PASTILHAS

Foi confeccionada uma pastilha contendo 11 fragmentos de feldspatos de diferentes pegmatitos.

Estes cristais foram agrupados em uma placa de acrílico coberta com fita dupla face com um molde plástico de 2,5 cm de diâmetro. Após a colocação dos fragmentos de minerais na pastilha, é adicionada uma mistura de resina com endurecedor (marca *Specifix*), na proporção de 3:1 em volume, dentro do molde para finalizar a confecção da pastilha. Posteriormente teve um tempo de espera de 24 horas para cura da pastilha. Em seguida foram lixadas e polidas em uma politriz modelo D9 da marca Panambra com a utilização de pasta diamantada de 0,3 µm da marca *Buëhler*, de forma que o centro dos fragmentos ficassem expostos.

Para as análises de imageamento por elétrons retroespalhados a pastilha foi metalizada e recoberta com 250-300 Å de carbono. E para as análises no LA-MC-ICP-MS, foi limpa com C₃H₆O (acetona) para a retirada da metalização e eliminar possíveis superfícies de contaminação.

2.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA - (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura se baseia na emissão de um feixe de elétrons que são defletidos por um sistema de bobinas, guiando o feixe de modo a varrer toda a amostra (Dedavid *et al.* 2007).

A utilização de imagens eletrônicas de MEV, associadas a dados químicos possibilitam o estudo, caracterização e identificação dos óxidos que compõem a química dos cristais de feldspato (Duarte *et al.* 2003)

O objetivo dessa análise foi para identificar os óxidos que compõem a química dos cristais de feldspatos. As análises foram realizadas no Laboratório de Microscopia e Microanálises – Lmic do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto. O equipamento utilizado foi o Microscópio eletrônico de varredura - MEV JSM6510 (Jeol) equipado com sistemas EDS (Bruker) e Catodoluminescência (Bruker), que utiliza 20 kV de voltagem de aceleração.

2.6 LASER ABLATION MULTICOLETOR INDUCTIVELY COUPLED PLASMA MASS SPECTROMETRY - (LA-MC-ICP-MS)

As amostras foram analisadas no Laboratório de Geoquímica Isotópica da Universidade Federal de Ouro Preto, usando um monocolletor (SC)-ICP-MS Element 2TM, ThermoFisher Scientific, acoplado a um sistema de ablação de laser de 213 nm LSX-213 Teledyne CETAC. Os dados de elementos traços foram coletados durante 60 s de ablação com um tamanho de spot de 40 µm, com uma frequência de 10 Hz e fluência de 16.32 J/cm². O material de referência utilizado (RM) foi o NIST SRM 610, utilizado para o monitoramento da rotina de análise e como parâmetro para redução dos dados. Duas análises do RM foram feitas a cada 18 spots de amostra e materiais de referência secundários. Para correção do fracionamento elemental e do efeito-matriz, foi utilizado como padrão interno (IS) o elemento ²⁹Si. Os materiais de referência secundários utilizados foram BCR-2 e BHVO-2. Um total de 47 spots foram feitos, sendo aplicado um ciclo de 20 spots para os materiais de referência. Ou seja, dois spots de NIST SRM 610, um spot de BHVO-2, um spot de BCR-2 e 16 spots na amostra, sendo repetido este processo até o total de 47 spots.

Foram analisados três pontos em cada fragmento de feldspato para os seguintes elementos ²⁵Mg, ²⁷Al, ²⁹Si, ⁴³Ca, ⁴⁴Ca, ⁴⁵Sc, ⁴⁷Ti, ⁵¹V, ⁵²Cr, ⁵⁵Mn, ⁵⁷Fe, ⁵⁹Co, ⁶⁰Ni, ⁶³Cu, ⁶⁶Zn, ⁶⁹Ga, ⁷²Ge, ⁸⁵Rb, ⁸⁸Sr, ⁹¹Zr, ⁹³Nb, ⁹⁵Mo, ¹¹¹Cd, ¹¹⁸Sn, ¹²¹Sb, ¹³³Cs, ¹³⁷Ba, ¹³⁹La, ¹⁴⁰Ce, ¹⁴¹Pr, ¹⁴³Nd, ¹⁴⁷Sm, ¹⁵¹Eu, ¹⁵⁷Gd, ¹⁵⁹Tb, ¹⁶³Dy, ¹⁶⁵Ho, ¹⁶⁶Er, ¹⁶⁹Tm, ¹⁷²Yb, ¹⁷⁵Lu, ¹⁷⁷Hf, ¹⁸²W, ²⁰⁸Pb, ²³²Th e ²³⁸U.

2.7 TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Todos os gráficos gerados foram elaborados utilizando o programa *Origin* e *Corel Draw*. Esses gráficos foram selecionados pois apresentam informações sobre o tipo de feldspato, o grau de fracionamento geoquímico dos feldspatos em resposta ao fracionamento geoquímico dos pegmatitos. Foram importantes, pois assim pode-se comparar a resposta química de cada feldspato como avaliá-los

Paiva, L.S. 2023. Análise química de feldspato dos pegmatitos...

em conjunto. Posteriormente o fracionamento geoquímico dos feldspatos do Várzea Alegre foi comparado com os dados de feldspatos dos pegmatitos Fazenda Concórdia, São Domingos, dos pegmatitos do Campo de Marilac – Distrito Pegmatítico de Governador Valadares e do Pegmatito de Tanco no Canadá.

CAPÍTULO 3

GEOLOGIA REGIONAL

Os feldspatos analisados são de depósitos primários de pegmatitos que estão intrudidos no Complexo Intrusivo de Várzea Alegre (CIVA) e que compõem o Orógeno Araçuaí. Neste capítulo serão abordadas a geologia regional e evolução do orógeno com ênfase no CIVA.

3.1 ORÓGENO ARAÇUAÍ

A área estudada fica a leste-sudeste do cráton São Francisco e a norte da faixa Ribeira, denominada Orógeno Araçuaí ou faixa de dobramentos Araçuaí, representa o segmento setentrional da província Mantiqueira (Heilbron *et al.* 2004).

O Orógeno Araçuaí foi formado por cinturão de dobramentos e cavalgamentos neoproterozoicos sendo marcado por dois eventos extensionais. O primeiro evento é caracterizado pela formação de uma bacia rifte de idade paleoproterozoica (1,74 Ga) e de caráter ensialico, que foi responsável pela instalação do Supergrupo Espinhaço (Alkmim *et al.* 2007), enquanto o segundo evento também é caracterizado por uma bacia rifte de idade neoproterozoica (aproximadamente 900 Ma) (Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos 2000, Pedrosa-Soares *et al.* 2001).

O orógeno possui uma característica peculiar que é seu confinamento à reentrância do cráton São Francisco-Congo, esses crátons formam um U invertido abraçando o Orógeno Araçuaí. Tal característica decorre da permanente junção entre os crátons até a abertura do Atlântico Sul, no Cretáceo, os restos ofiolíticos indicam subducção da litosfera oceânica para leste, sendo a zona de sutura balizada pelo meridiano 42°W. A bacia precursora deste orógeno seria um golfo parcialmente oceanizado (do tipo ilha de bacia marítima) e articulado com aulacógenos (Pedrosa-Soares *et al.* 2001, 2007, Alkmim *et al.* 2006), que desembocam no Oceano Adamastor. O orógeno resultante se caracteriza, então, como confinado e seu mecanismo de evolução tectônica seria similar ao fechamento de um quebra-nozes, mas catalisado por colisões à distância (Alkmim *et al.* 2006, 2007) (**Figura 3.1**).

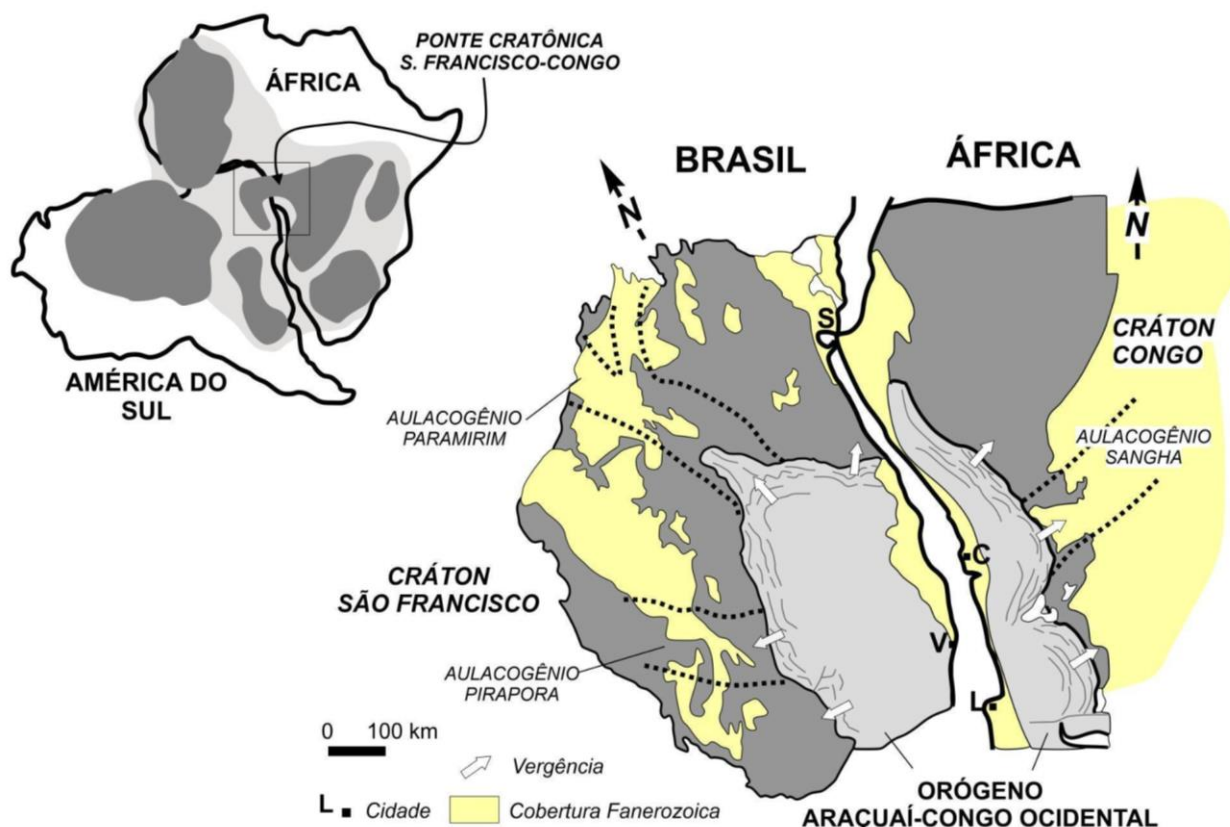


Figura 3.1: O Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental e o cráton São Francisco-Congo, adjacentes no contexto do Gondwana Ocidental. América do Sul-África se encaixam. V=Vitória, S=Salvador; L=Luanda; C=Cabinda. (Modificado de Alkmim *et al.* 2007)

Outra característica interessante do Orógeno Araçuaí é o grande volume de rochas graníticas geradas durante a sua edificação, em especial as rochas derivadas da fusão crustal durante o processo colisional (Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos 2000), o que requer magnitudes de deformação e espessamento crustal, à primeira vista, incompatíveis com a sua natureza confinada. Além disso, fazem parte da sua constituição granitóide de arco magmático relacionado à subducção e ofiolitos, ambos de idade neoproterozoica, o que indica, portanto, uma geração e consumo da crosta oceânica durante o seu estágio de evolução.

3.1.1 Evolução Geotectônica

A evolução geotectônica do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental pode ser descrita através de um modelo de cinco estágios que são: i) da bacia precursora Macaúbas; ii) da convergência inicial; iii) colisional; iv) do escape lateral da porção sul; v) do colapso gravitacional (Alkmim *et al.* 2006).

A bacia Macaúbas, que é precursora do Orógeno, deveria corresponder a algo como um grande golfo, parcialmente associado por crosta oceânica (Pedrosa-Soares *et al.* 2001, 2007). Formada em uma

fase de rifteamento que teve lugar no Paleocontinente São Francisco-Congo, em torno de 880 Ma, a bacia Macaúbas evoluiria neste estágio para duas margens passivas, conectadas pelo que viria ser a ponte cratônica Bahia-Gabão. Concluiu-se que o fechamento da bacia Macaúbas tenha sido induzido à distância em consequência de colisão envolvendo a península São Francisco e a placa Paraná ou Rio de La Plata, por volta de 630 Ma (Pedrosa-Soares *et al.* 2007).

Iniciou-se então a convergência das margens opostas da Bacia Macaúbas, em uma operação que lembra o funcionamento de um quebra-nozes (Alkmim *et al.* 2006). Por volta de 630 Ma já se tinha produção de tonalitos do arco magmático cálcio-alcálico, relacionado à subducção (Pedrosa-Soares *et al.* 2001) (Figura 3.2A).

Já na etapa colisional, iniciou pelo norte e foi progressivamente para o sul, a colisão das margens opostas da bacia promoveria a propagação de frentes de empurrão para as zonas cratônicas, bem como o soerguimento da cadeia montanhosa, no intervalo compreendido entre 580 e 560 Ma (Pedrosa-Soares *et al.* 2001, 2007). Neste estágio seriam gerados os granitos G2 que são do tipo S, ou seja, representam fusão parcial de protólitos sedimentares aluminosos (Pedrosa-Soares *et al.* 2007). A grande quantidade de granitos nesse estágio seria explicada por terem sido produzidos a partir da fusão de espessas rochas metassedimentares (Figura 3.2B).

E na etapa de escape lateral da porção sul do núcleo cristalino, ocorre devido a porção sul do compartimento central do orógeno ser seccionada por, pelo menos, quatro grandes zonas transcorrentes dextrais, que se formaram em estágio posterior à propagação das frentes de empurrão em direção aos crátons, provavelmente no intervalo entre 560 e 535 Ma (Alkmim *et al.* 2006).

Por fim, no colapso gravitacional, os orógenos, nos quais a litosfera atinge altas espessuras, traduzidas por grandes elevações e alto potencial gravitacional, podem entrar em regime distensional sob ação da força peso (Pedrosa-Soares *et al.* 2001, 2007). O aumento da carga na crosta aquecida e, portanto, com baixa resistência leva ao fluxo lateral da sua porção basal e ao abatimento das porções superiores, acomodado por sistemas de zonas de cisalhamento normais. Nesta fase, que teria lugar entre 520 e 490 Ma, seriam geradas as suítes graníticas G4 e G5, produtos de fusão crustal e mantélica por descompressão adiabática (Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos 2000) (**Figura 3.2C**).

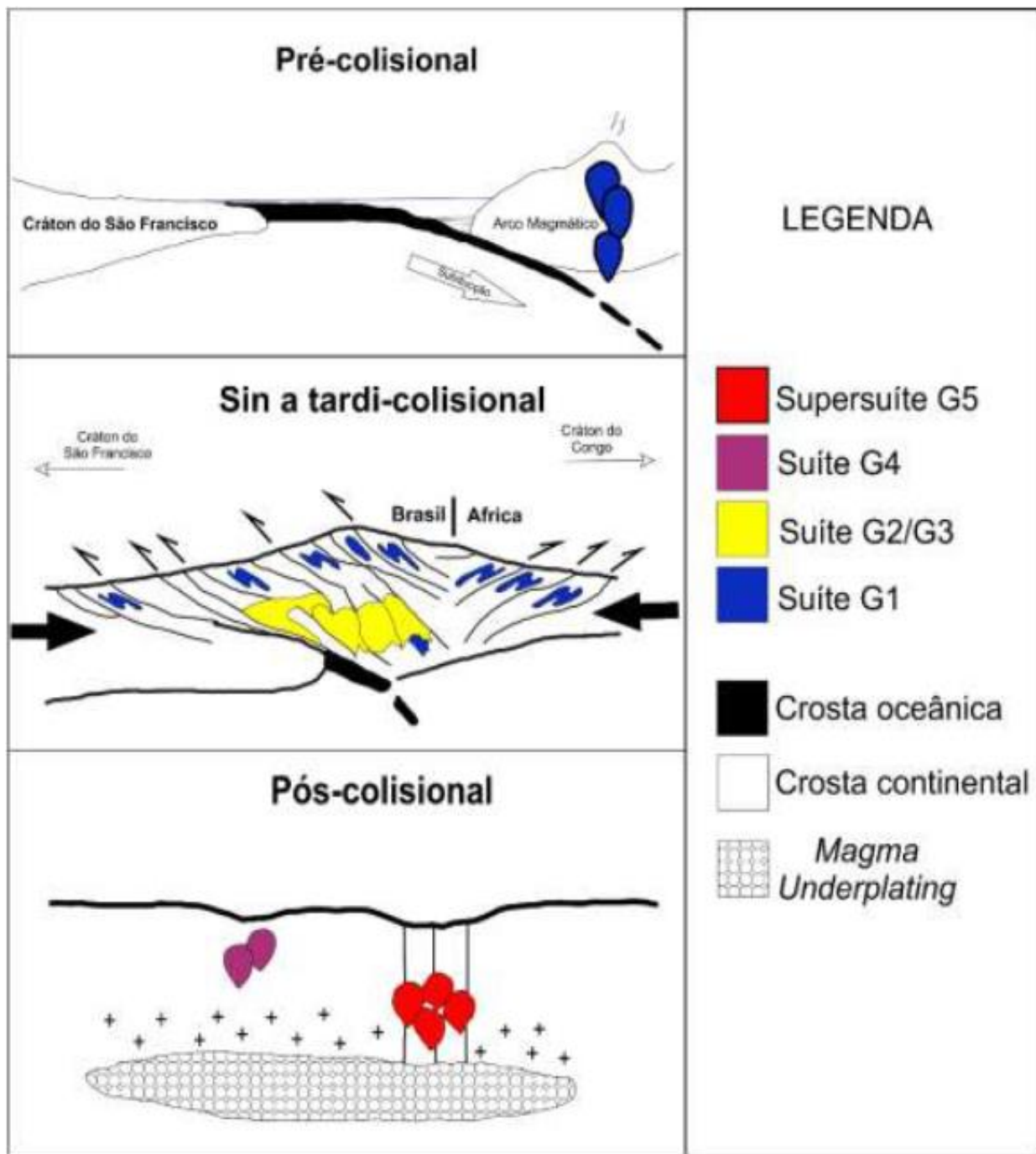


Figura 3.2: Evolução do Orógeno Araçuaí, com foco nos estágios colisionais e a granitogênese das supersuítas G1, G2, G3, G4 e G5: A) pré-colisional; B) sin a tardi-colisional; C) pós-colisional (Modificado de Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos 2000).

3.1.2 Estágios orogênicos e granitogênese

As rochas graníticas do Orógeno Araçuaí foram agrupadas em cinco grupos diferentes denominadas de supersuítas G1, G2, G3, G4 e G5 (Pedrosa-Soares *et al.* 2001, 2007), baseado em

campos, dados geocronológicos, geoquímicos e datação de U-Pb. As supersuítes incluem batólitos, suítes, stocks e plútons (**Figura 3.3**).

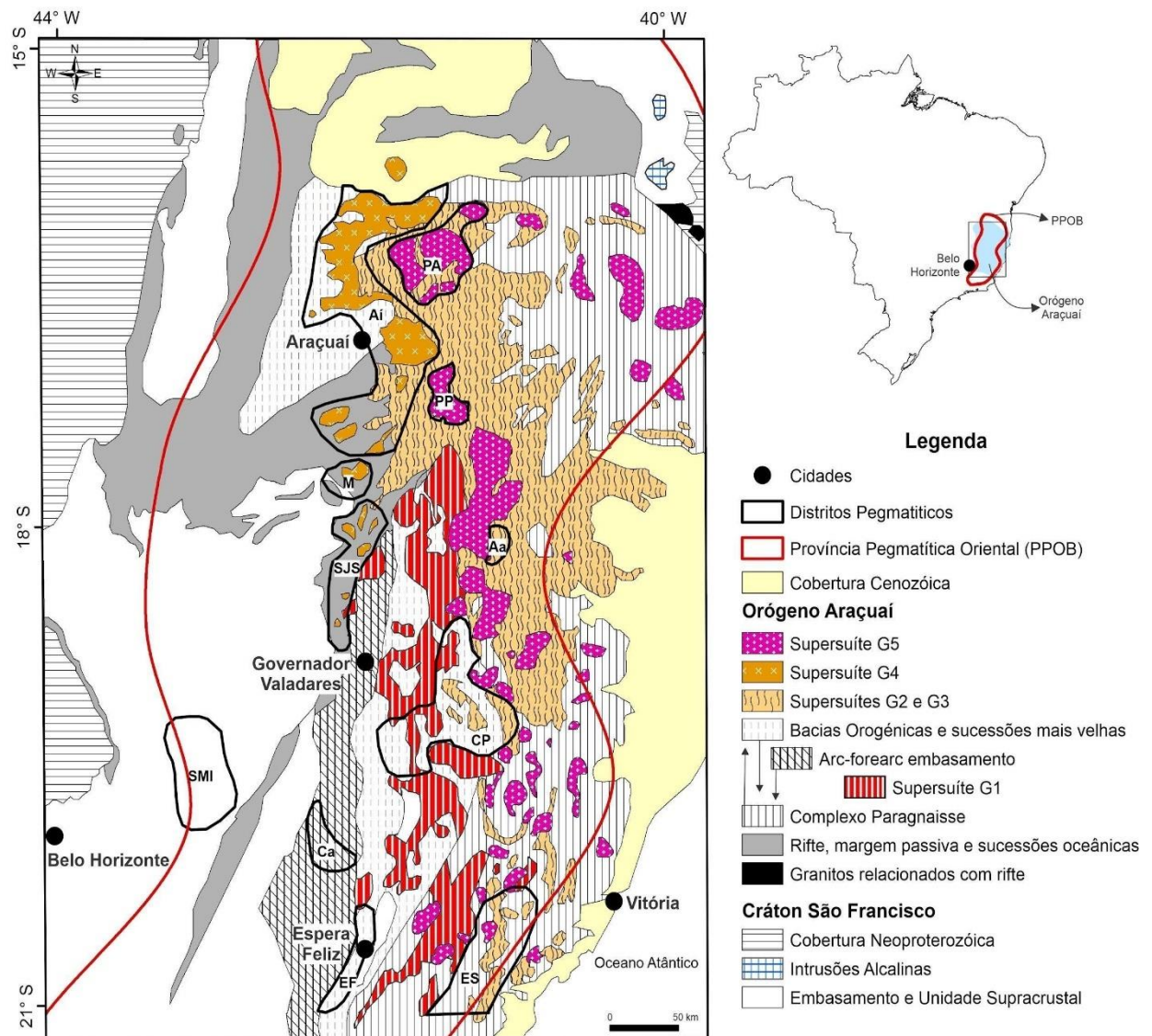


Figura 3.3: Mapa geológico simplificado do orógeno Araçuaí e região cratônica adjacente, destacando as supersuítes de granito Neoproterozoico a Cambriano (Modificado de Pedrosa-Soares *et al.* 2011; distritos pegmatíticos modificados de Netto *et al.* 2001 e Pedrosa-Soares *et al.* 2001).

As próximas descrições se referem às supersuítes graníticas baseadas em Pedrosa-Soares *et al.* (2007) e suas referências.

Supersuíte G1

A supersuíte G1 consiste principalmente em tonalito e granodiorito, são rochas vulcânicas intermediárias a ácidas, intercaladas no Grupo Rio Doce que representam correlativos supracrustais do

magmatismo G1. Considera-se que o movimento de subducção está relacionado com a litosfera oceânica, formando um arco magmático cálcio-alcálico na margem de um continente, durante o estágio pré-colisional (c. 630-585 Ma) do Orógeno Araçuai.

Supersuíte G2

A supersuíte G2 é formada durante o estágio sin-colisional (c. 585-560 Ma) onde teve condições de elevada temperatura, permanecendo por um tempo suficiente para geração de grandes quantidades de fundidos graníticos, que consiste em sua grande parte de granitos peraluminosos e metaluminosos. Tal suíte foi formada a partir do aumento do espessamento crustal, devido ao empilhamento tectônico das margens continentais durante a fase colisional do orógeno Araçuai.

Esta supersuíte fornece evidências de uma geração de magma em diferentes níveis crustais, as unidades supracrustais apresentam fácies anfibolito até fácies granulito com presença de charnockitos. A migmatização, ou fusão parcial, dos complexos de paragneisses são contemporâneos à supersuíte G2.

Supersuíte G3

As rochas da supersuíte G3 são leucogranitos que apresentam manchas e veios autóctones hospedados por granito do tipo G2, não são foliadas, apresentando granada e cordierita. As idades do zircão U-Pb sugerem que a maioria dos leucogranitos G3 se formaram entre 545 e 520 Ma. Eles representam um episódio de fusão do manto dos granitos G2, após cessar a deformação compressiva regional. Os correlativos alóctones dos leucogranitos granada-cordierita podem ser plútons de granitos G4.

Além do mais, a supersuíte G3 é a fonte de rochas ornamentais brancas, bem como amostras de rochas com cordierita azul, apatita e monazita. Até então, nenhum pegmatito de grande importância está relacionado com os granitos da suíte G3, mas provavelmente o mesmo episódio de fusão parcial ocorreu para a formação de pegmatitos anatóticos, principalmente nos distritos pegmatíticos de Caratinga e Espírito Santo.

Supersuíte G4

A supersuíte G4 ocorre ao longo do setor centro-norte do Orógeno Araçuai, onde níveis crustais intermediário à raso possuem fácies metamórficas de xisto-verde à anfibolitos sendo expostas. A supersuíte G4 é formada por plútons composto por granito-biotita em seus núcleos e raízes gradando para leucogranito em direção às suas bordas, coberto por cúpulas de pegmatóides

Plútons da supersuíte G4 geralmente demonstram estruturas de fluxo ígneo e presença de xenólitos. Esses granitos predominantemente são peraluminosos e fácies rica em biotita metaluminosa, eles representam as rochas sub-alcálicas, pós-colisional e episódio tipo-S, da gênese granítica que ocorreu no município de Araçuai c. 535 Ma - c. 500 Ma (Pedrosa-Soares *et al.* 2001).

Supersuíte G5

Esta supersuíte consiste basicamente em estruturas com formato de balões que podem ser bimodais graníticos e/ou intrusões charnockíticas e dioríticas formando platôs (*emplaced*) em crosta profunda, maior que 25 km.

As rochas da supersuíte G5 possuem um alto teor de potássio, ferro e cálcio-alcálico que são todos misturados no processo de convecção do magma. Os plútons G5 são a fonte de pegmatitos residuais que podem ser depósitos de água-marinha, cristais de topázio e quartzo. Alguns pegmatitos de importância econômica podem ocorrer externamente. Geralmente esses pegmatitos são hospedados pela rocha parental G5.

3.1.3 Pegmatitos do Orógeno Araçuaí

A grande maioria dos pegmatitos do Orógeno Araçuaí são de fusão residual de granitos (principalmente G2, G4 e G5). Os pegmatitos anatóticos são formados a partir da fusão parcial de gnaisses pelíticos que predominam nas regiões de Caratinga, Santa Maria de Itabira e Espírito Santo (e.g., Correia-Neves *et al.* 1986, Pedrosa-Soares *et al.* 2011). A gênese desses pegmatitos anatóticos está relacionada à colisão do orógeno Araçuaí. E são comumente associados a migmatitos e granulitos, podendo ser depósitos de caulim, K-feldspato, mica, coríndon e quartzo principalmente nos distritos do Espírito Santo e Caratinga (e.g. Correia-Neves *et al.* 1986, Pedrosa-Soares *et al.* 2011).

3.1.4 Pegmatitos no Estado do Espírito Santo

Dentre os trabalhos recentes sobre pegmatitos no Espírito Santo, tem-se o trabalho de Costa *et al.* (2020) que estuda os pegmatitos Fazenda Concórdia e São Domingos, inseridos no contexto geotectônico do limite entre as faixas Ribeira e Araçuaí, dentro da Província Pegmatítica Oriental do Brasil, estão localizados, respectivamente, nos municípios de Mimoso do Sul e de Muqui – sul do Espírito Santo. Este trabalho teve como objetivo estudar os aspectos químicos de feldspatos, micas, berilos e turmalinas a fim de caracterizar a evolução desses corpos. Ambos os pegmatitos apresentam zoneamento simples e contêm quartzo, feldspato e mica, porém o pegmatito Fazenda Concórdia possui também turmalina, berilo e topázio. Em relação à geoquímica, foi possível perceber que esses corpos apresentam um trend de evolução em que o pegmatito São Domingos é menos diferenciado que o pegmatito Fazenda Concórdia. Quando comparados aos pegmatitos do Campo Marilac (Distrito Pegmatítico de Governador Valadares), onde ocorrem pegmatitos simples a complexos, os pegmatitos Fazenda Concórdia e São Domingos não apresentam um grau de evolução elevado/complexo.

3.2 COMPLEXO INTRUSIVO DE VÁRZEA ALEGRE

O Complexo Intrusivo de Várzea Alegre (CIVA) assim como outros complexos intrusivos alojados ao longo do estado do Espírito Santo (e.g. Maciço Santa Angélica, Maciço Venda Nova, Complexo Intrusivo Mimoso do Sul), é representante do magmatismo pós-colisional que se instalou no orógeno Araçuaí, denominado de supersuíte G5. (Pedrosa-Soares *et al.* 2001, Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos 2000).

O maciço intrusivo de Várzea Alegre localiza-se no centro do Espírito Santo e é representante do magmatismo tardi a pós-tectônico associado ao desenvolvimento do arco magmático de idade Brasiliana nessa região. Possui forma circunscrita, é inversamente zonado e está encaixado em orto e paragneisses de grau anfibolito alto a granulito. Mostra no centro gabros que são envolvidos por dioritos/quartzo-dioritos e granitos megaporfíricos. Este conjunto é circundado por uma extensa e irregular auréola de rochas charnoquitóides megaporfíricas (Potratz *et al.* 2018).

Além da importância acadêmica desse Complexo, o CIVA também tem importância histórica e econômica para o estado do Espírito Santo. As gemas de água-marinha, encontradas nos pegmatitos que ocorrem em todo o CIVA, foram motivo de uma grande corrida garimpeira entre os anos de 1930 e 1970 (durante esse período foram relatadas, por moradores da região, a presença de gemas de águas-marinhas, no entanto grande parte dessas gemas foram contrabandeadas, não havendo assim registros oficiais da quantidade exata de gemas extraídas da região).

O mapa geológico de detalhe do CIVA (**Figura 3.4**) apresenta seis unidades geológicas distintas mapeadas no Complexo Intrusivo Várzea Alegre (CIVA), sendo uma delas subdividida em três fácies ígneas. As unidades do CIVA são Charnockito/Opdalito, Gabro Norito/Quartzo-gabro Norito/Quartzo Diorito, Enderbitito, Granito Porfírico, Granito Inequigranular e uma zona híbrida onde predominam feições macroscópicas de mistura de magmas. As rochas encaixantes do CIVA são Grafita-cordierita-granada-sillimanita-biotita gnaiss, Gnaiss enderbitico e Granitoide tipo Colatina (Potratz *et al.* 2018).

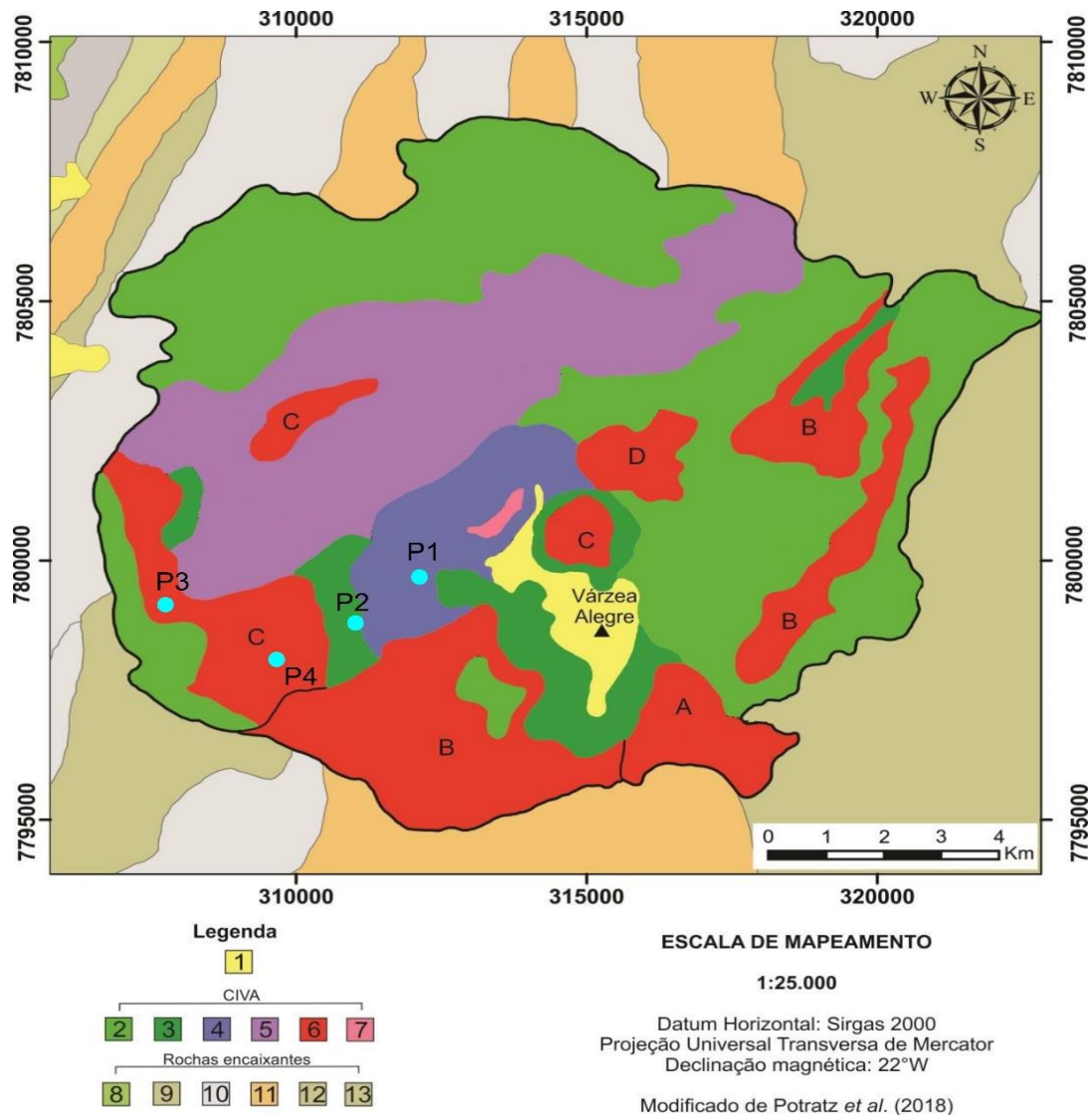


Figura 3.4: Mapa Geológico do CIVA. Legenda: No mapa apresentado neste trabalho as fácies de granito porfirítico foram agrupadas em uma única unidade (Granito Porfirítico), que está subdividida nas fácies Granada Granito Porfirítico (A), Biotita Granito Porfirítico (B), Granito Porfirítico (C) e Leucogranito (D). 1 – Sedimentos Cenozoicos. Rochas do CIVA: 2 – Charnockito/Opdalito; 3 – Gabro Norito/Quartzo-Gabro Norito/Quartzo Diorito; 4 – Enderbrito; 5 – Zona Híbrida; 6 – Granito Porfirítico; 7 – Granito Inequigranular. Rochas encaixantes: 8 – Diorito; 9 – Grafita-Cordierita-Granada-Sillimanita-Biotita Gnaiss; 10 – Gnaiss Enderbíticos; 11 – Granitoide tipo Colatina; 12 – Granulito Mascarenhas; 13 – Biotita Sillimanita Gnaiss.

3.3 PROVÍNCIA PEGMATÍTICA ORIENTAL DO BRASIL

A Província Pegmatítica Oriental do Brasil abrange uma grande região com cerca de 150.000 km², da Bahia ao Rio de Janeiro, mas mais de 90% de toda a sua área está localizada no leste de Minas Gerais, em terrenos do Orógeno Araçuai onde muitos pegmatitos se cristalizaram de 630-c. a 480 Ma. Pelo menos mil pegmatitos foram explorados nesta província desde o início do século 20, para gemas (água-marinha, turmalinas, topázio, variedades de quartzo e outros), minérios Sn, Li e Be, minerais

industriais (principalmente feldspatos e muscovita), coleção e minerais raros (minerais de fosfato e lítio, quartzo gigante e cristais de feldspato, óxidos de Ta, Nb, U e outros minerais), rochas ornamentais e minerais para fins esotéricos (Costa *et al.* 2020).

Desde Paiva (1946) os limites e subdivisões da Província Pegmatítica Oriental do Brasil (PPOB) foram redefinidos e refinados, de acordo com mapas geológicos mais detalhados e dados analíticos (ex. Correia-Neves *et al.* 1986, Pedrosa-Soares *et al.* 2011, e suas referências). No Orógeno Araçuaí, a província pode ser subdividida em onze distritos: Araçuaí, Ataléia, Conselheiro Pena, Espera Feliz, Padre Paraíso, Pedra Azul, São José da Safira, Caratinga, Santa Maria de Itabira e Espírito Santo (**Figura 3.5**) (Correia Neves *et al.* 1984 e 1986, Pedrosa-Soares *et al.* 2001), com base em seus principais recursos minerais, tamanhos, tipos e classes de pegmatitos e relações com as rochas-mãe e hospedeira.

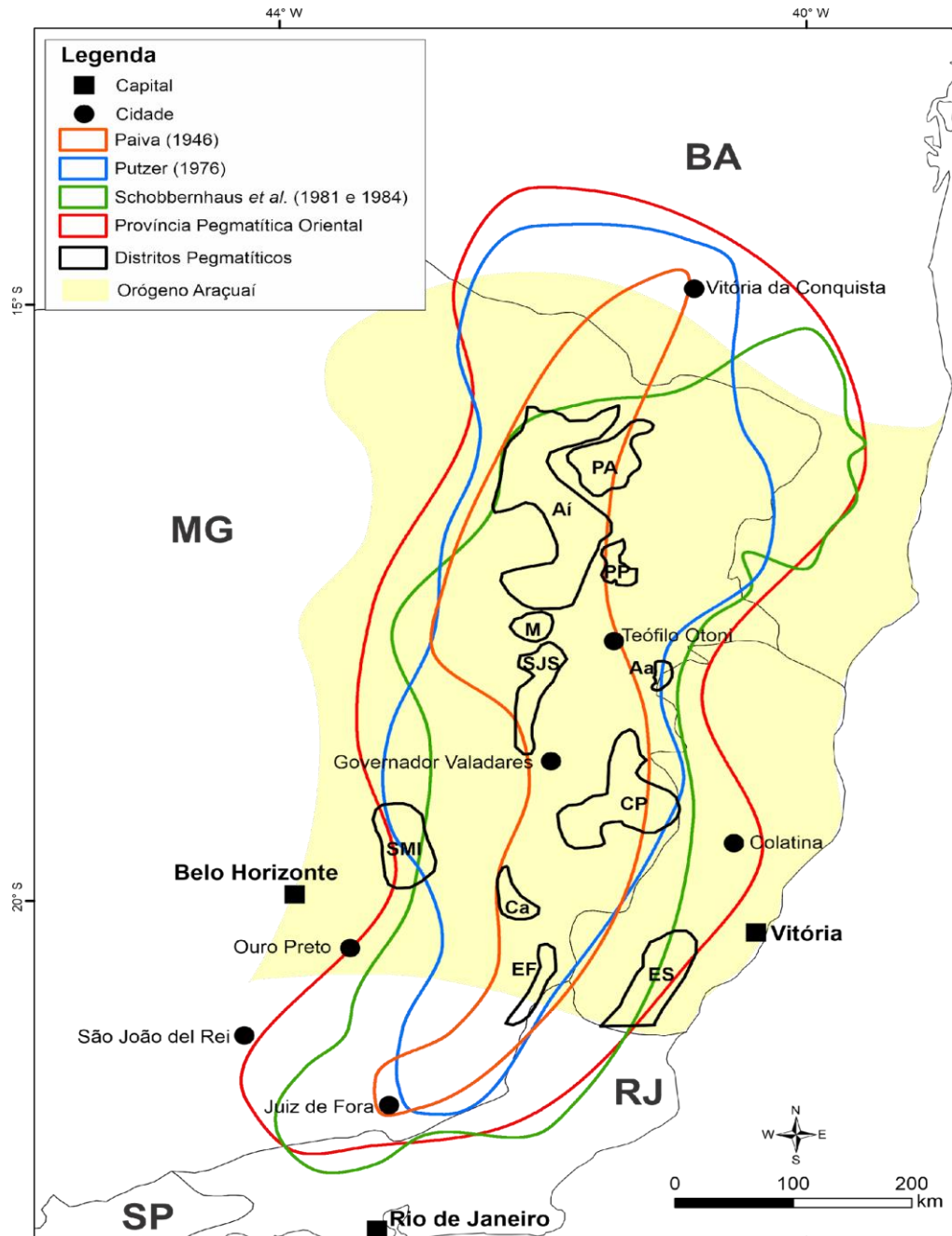


Figura 3.5: Limites da Província Pegmatítica Oriental segundo Paiva (1946), Putzer (1976) e Schobbenhaus *et al.* (1984).

Paiva, L.S. 2023. Análise química de feldspato dos pegmatitos...

CAPÍTULO 4

PEGMATITOS

Neste capítulo serão abordados os pegmatitos do estado do Espírito Santo constituindo a Província Pegmatítica Oriental do Brasil. Os campos pegmatíticos são designados informalmente de campo norte, campo central e campo sul que fazem parte do Complexo Intrusivo de Várzea Alegre (Benitez *et al.* 2012).

O arcabouço geológico que abrange tais campos inclui um embasamento paleoproterozoico, representado por ortogranulitos de composição variada incluindo rochas charnockíticas, chano-enderbiticas e gabróicas, e neoproterozóico, com silimanita paragneisses bandados, os quais são intrudidos por pelo menos quatro gerações de rochas graníticas (supersuítas G1, G2, G3 e G4). Os pegmatitos mineralizados se relacionam geneticamente a tais granitos, ocorrendo em zonas internas aos mesmos (a maioria), ou em corpos intrudido as sequências encaixantes (Benitez *et al.* 2012).

4.1 CONCEITO

Pegmatito é a denominação para uma rocha ígnea plutônica ou intrusiva, composta essencialmente por quartzo, feldspato, plagioclásio, micas e minerais raros. Possuem textura fanerítica muito grossa, normalmente com cristais maiores que 3 cm (Branco 2014).

Podem apresentar também uma variação no tamanho dos cristais ou abundância de cristais com hábito gráfico, esquelético, além de outros com crescimento fortemente direcional e com um proeminente zoneamento espacial da assembléia mineral, incluindo zonas monominerálicas. Qualquer um desses atributos texturais pode ser suficiente para definição de um corpo pegmatítico (Černý *et al.* 2001, London 2008).

4.2 CLASSIFICAÇÃO

Sob o novo modelo de classificação proposto por Wise *et al.* (2022), os pegmatitos são divididos em três principais grupos: Grupos 1, 2 e 3 baseados em sua associação com minerais acessórios formadores de rochas e elementos raros. No Quadro 4.1 a seguir, tem-se os principais grupos de pegmatitos e sua associação com os minerais acessórios e elementos raros.

Quadro 4.1: Principais grupos de pegmatitos baseados na associação com minerais acessórios e elementos raros (Wise *et al.* 2022).

Grupo 01	Grupo 02	Grupo 03
Berilo +/- columbita +/- triptofilita +/- grafitonita	Magnetita +/- epidoto +/- titanita	Andalusita +/- silimanita +/- coríndon
Berilo + amblygonita + columbita	Uraninita +/- magnetita	Cianita +/- rutilo
Amblygonita + espodumênio	Faialita +/- magnetita	Cordierita +/- berilo
Espodumênio +/- petalita	Arfvedsonita – riebeckita +/- faialita	Safirina + silimanita
Espodumênio +/- elbaita	Arfvedsonita – riebeckita +/- aegirina +/- fluorita	Crisoberilo +/- berilo +/- schorlita
Espodumênio + lepidolita + elbaita	Alanita +/- gadolinita	Dumortierita +/- grandidierita +/- borasilita
Espodumênio + albita	Alanita +/- monazita +/- euxenita	Dumortierita +/- schorlita
Lepidolita + elbaita	Alanita +/- berilo +/- columbita	
Elbaita +/- danburita +/- hambergita +/- zeolitas	Gadolinita +/- euxenita +/- fergusonita	
	Berilo +/- topázio +/- fluorita	
	Berilo +/- fenakita	
	Microclina +/- fluorita	
	Microclina +/- topázio +/- fluorita	

Os pegmatitos do Grupo 1 são tipicamente enriquecidos em Li, Rb, Cs, Be, Ga, Sn, Ta, Nb, B, P e F, com três tipos frequentes reconhecidos: (i) berilo (ii) espodumênio rico em Li ou (iii) corpos com lepidolita. Dentro de grandes populações de pegmatitos, o grau de elementos raros fracionados pode variar consideravelmente (Wise *et al.* 2022).

Nos pegmatitos pode-se incluir um ou mais dos seguintes elementos raros dos conjuntos minerais: (a) berilo sem evidência de Li, mineralização de Nb, Ta ou Sn, (b) berilo columbita, (c) berilo columbita trifilita, (d) berilo espodumênio, (e) espodumênio ambligonita, (f) espodumênio lepidolita, (g) espodumênio + lepidolita + elbaita, e (h) albita + espodumênio, (Wise *et al.* 2022).

Os pegmatitos do Grupo 2 são compostos principalmente por quartzo e feldspato. Superficialmente, esses pegmatitos são indistinguíveis de pegmatitos mineralogicamente simples semelhantes ao Grupo 1, no entanto, a presença de pequenos, mas quantidades significativas de minerais acessórios, como fluorita, helvita, magnetita ou opala hialita, servem para diferenciá-los dos pegmatitos do Grupo 1. A microclina classifica-se como o feldspato mais comum sobre albita, enquanto a biotita é predominantemente a espécie dominante de mica encontrada no Grupo 2 de pegmatitos. A variedade ametista do quartzo, embora não particularmente comum em pegmatitos, parece ser restrita a este grupo de pegmatitos, e quando a granada é a espessartina atual é frequentemente a espécie mais comum (Wise *et al.* 2022).

Os pegmatitos mais notáveis do Grupo 2 incluem: (i) aqueles enriquecidos em minerais Fe como biotita, faialita ou anfibólio rico em Na, (ii) corpos que carregam magnetita, uraninita e uma gama diversificada de portadores de óxidos e silicatos, e (iii) pegmatitos caracterizados por teores elevados de Be e F expressos principalmente na forma de berilo, topázio e fluorita (Wise *et al.*, 2022).

Os pegmatitos do Grupo 3 são fortemente peraluminosos, com quartzo essencial, K-feldspato, plagioclásio e muscovita acessória, biotita, granada ou turmalina. Mais importante ainda, os pegmatitos deste grupo contém: (i) andaluzita primária, silimanita, cianita, ou cordierita, (ii) crisoberilo, e em menor grau surinamita, em vez de berilo ou fenakita como o carreador primário de Be, e (iii) mineralização de B expressa por dumortierita, grandidierita, werdingita, e borasilita. Schorl pode estar presente em pequenas quantidades em todos os três tipos de grupos pegmatíticos. Minerais raros adicionais também podem incluir corindon, fluorapatita, monazita-(Ce), xenotime-(Y), chevkinita, ferberita, rutilo e ilmenita (Wise *et al.* 2022).

4.3 GÊNESE

A geração dos pegmatitos está associada à cristalização de líquido magmático gerado a partir da fusão de rochas (Černý 1991c), ou seja, essa rocha se forma durante o estágio final de cristalização de um magma granítico, que pode favorecer a formação de minerais raros como o espodumênio, lepidolita, turmalina e berilo, ricos em elementos químicos incompatíveis que se concentram nesse estágio final de cristalização.

Líquidos fundidos ricos em voláteis são reconhecidos como a fonte intermediária para a geração de pegmatitos tipo elemento raro. Dessa forma, a fonte parental desse líquido magmático é uma questão relevante para compreender a origem desse grupo de pegmatitos (Černý 1991c).

A formação desse líquido fundido costuma ser associada à fusão de grandes intrusões graníticas, que são consideradas como provável origem parental (Černý 1991c). Os pegmatitos seriam formados através de fracionamento, imiscibilidade e enriquecimento de voláteis do líquido da fusão formado a partir desses granitos (e.g.: Černý 1991a, b, London 2008, Černý *et al.* 2012). Em alguns casos os campos pegmatíticos apresentam zoneamento químico regional, sugerindo a associação genética a esses granitos (Figura 4.1).

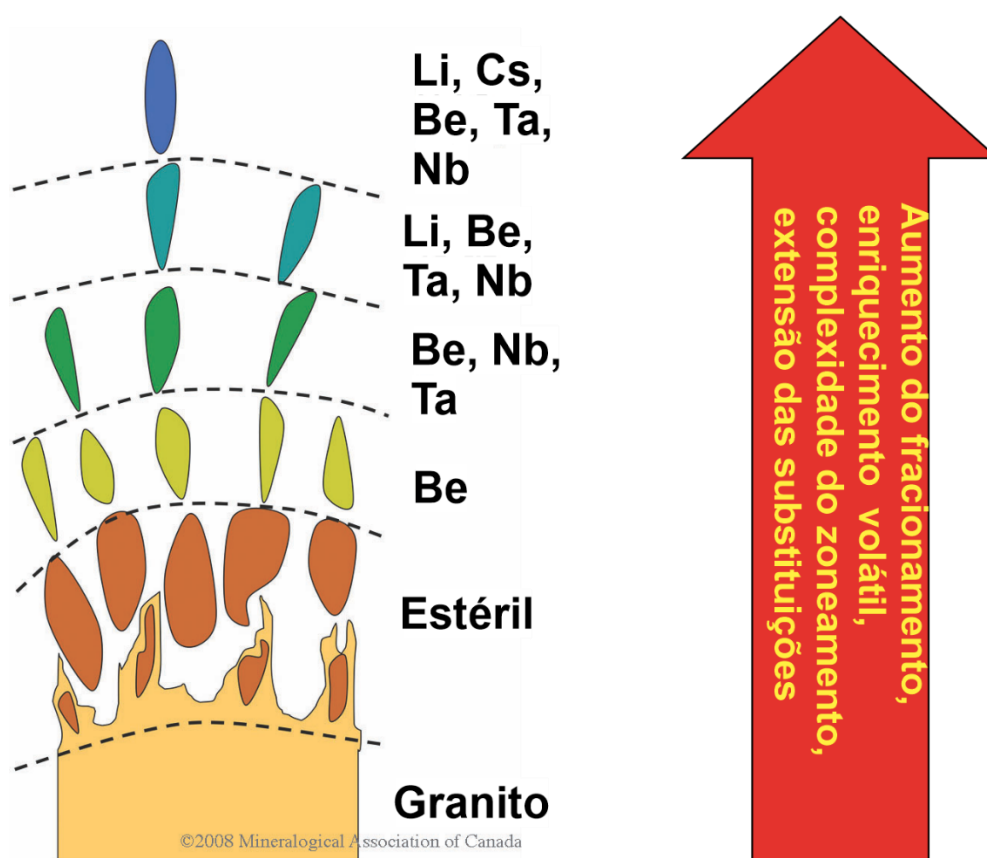


Figura 4.1: Representação esquemática do zoneamento regional de um granito parental e grupo de pegmatitos associados. Os pegmatitos aumentam seu grau de evolução com o aumento da distância a partir do granito parental (modificado de London 2008).

4.4 QUÍMICA MINERAL DO FELDSPATO PARA PEGMATITOS

O nome feldspato tem sua origem no alemão *Feld* (campo) e *Spath* (pedra), ou seja, pedra do campo. É o grupo mineral mais abundante na natureza, correspondendo a cerca de 60% da crosta terrestre. São constituídos por silicato de alumínio contendo teores variados de K, Na, Ca e raramente

Ba entre os seus membros. São encontrados em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, sendo que os pegmatitos graníticos são uma das principais fontes dos minerais deste grupo (London 2018).

De uma maneira geral, pode-se dizer que as composições químicas dos feldspatos permitem classificá-los de acordo com o sistema ternário, onde os principais minerais são: - ortoclásio / microclina (KAlSi_3O_8); - albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$); - anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), (Aarão 2015).

De acordo com Deer *et al.* (1966), o grupo do feldspato é subdividido em dois subgrupos em função das diferenças dos tipos de álcalis predominantes e estrutura cristalina: 1. Feldspatos alcalinos ou álcali-feldspatos: são os constituintes entre o feldspato potássico e a albita ($\text{KAlSi}_3\text{O}_8 - \text{NaAlSi}_3\text{O}_8$); 2. Plagioclásios ou feldspatos sódico-cálcicos: membros com composições químicas entre anortita e albita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 - \text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) (Aarão 2015).

Na maioria dos pegmatitos, o plagioclásio sódico e feldspato alcalino cristalizam simultaneamente do início ao fim. A distribuição de Na, Ca e K entre esses feldspatos varia principalmente em função da temperatura (London 2018).

Pode-se medir a abundância de certos elementos-traço nos feldspatos alcalinos para rastrear a sua história de cristalização. Para os feldspatos alcalinos, o mais útil deles é o cério (Cs), que é facilmente lixiviado de feldspatos que são submetidos à recristalização na presença de uma solução aquosa. Quando London *et al.* (2012) analisaram Cs da margem ao centro de um dique pegmatítico da mina *Little Three*, Califórnia, eles observaram variações no teor de Cs de álcali feldspato que eram consistentes com a cristalização de o fundido formador de pegmatito. Ou seja, em grande parte, as composições dos feldspatos alcalinos não foram alteradas por efeitos hidrotermais posteriores. Algumas amostras mostraram perda de Cs, o que prova o ponto: estes foram evidentemente afetados pela recristalização hidrotérmica em sistema aberto. Pelo que se sabe, mesmo as pertitas grosseiras geralmente servido suas composições ígneas originais, o que torna a termometria *solvus* de feldspato o único método amplamente aplicável e geralmente confiável para pegmatitos (London 2018).

Černý *et al.* (1981) chamou a atenção para variações no valor de K/Rb do K-feldspato, e essa razão tem sido amplamente utilizada por Černý e outros como um monitor do fracionamento de pegmatito. A razão é baseada no comportamento incompatível de Rb, de modo que o valor caia (isto é, Rb em K-feldspato aumenta em relação a K) com o aumento do fracionamento químico (**Figura 4.2**).

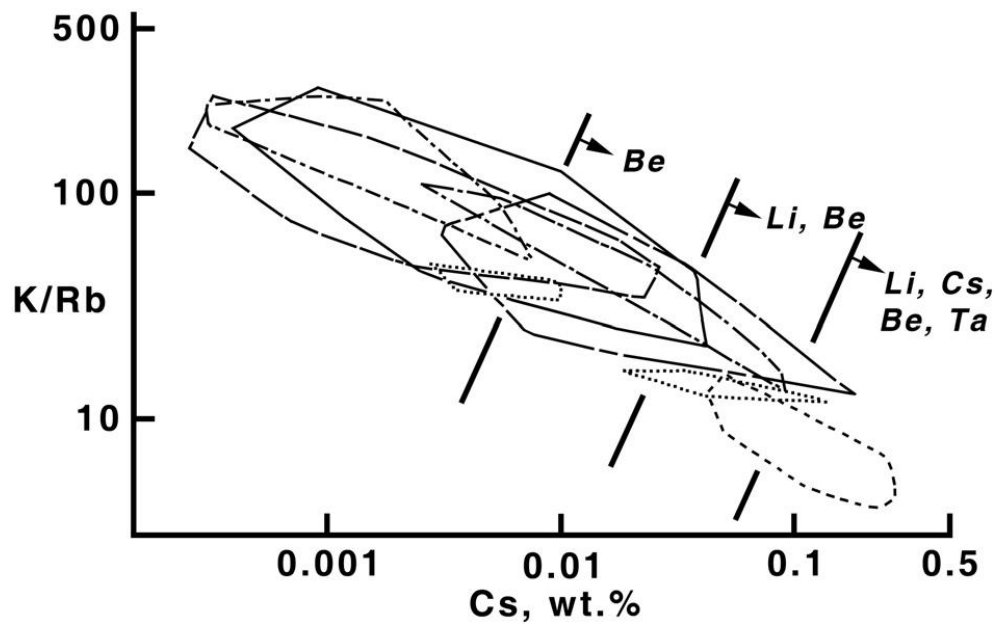


Figura 4.2: Gráfico de K/Rb vs. $Cs\%$ em peso de K-feldspato em blocos nos pegmatitos do distrito de Winnipeg River, sudeste de Manitoba, Canadá (após Černý *et al.* 1981).

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5.1 DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA

A descrição detalhada de cada amostra encontra-se no apêndice 1.

5.1.1 Ponto 01: amostras A, B e C

As amostras A, B e C: são amostras de rochas leucocráticas de coloração bege a esbranquiçada. Apresentam estrutura maciça com zonas distintas, textura holocristalina, inequigranular fanerítica com grãos variando de média a grossa (**Figura 5.1 A, B**). Seus minerais essenciais são feldspato e quartzo. O feldspato encontra-se hipidiomórfico, ou seja, apresenta sua superfície parcialmente irregular em razão do contato com outros cristais de coloração bege com granulação grossa e perfaz 90% das amostras, já o quartzo perfaz 10% da amostra.

A amostra C possui a mesma mineralogia que as demais amostras (A e B), porém em proporções distintas, com 50% de quartzo e 50% de feldspato (**Figura 5.1 C**). O quartzo apresenta-se xenomórfico, incolor, de granulação média a grossa. Este apresenta textura gráfica (**Figura 5.1 C**), comum em pegmatitos, encontra-se de forma curiosa e de mesma orientação óptica, dispostos em inclusões nos feldspatos alcalinos, ocasionado por cristalização simultânea. De acordo com tais características, as rochas descritas são plutônicas e podem ser classificadas como pegmatito.

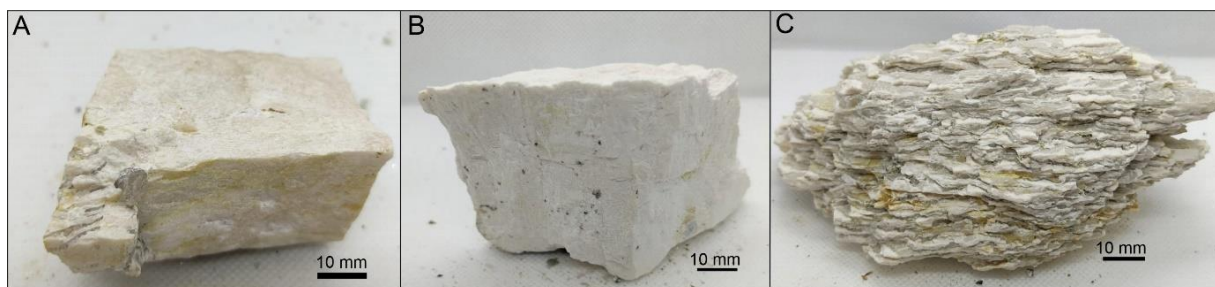


Figura 5.1: Amostras de mão dos pegmatitos no ponto 01. A, B) Zona feldspática do pegmatito, nomeado álcali-feldspato-granito; C) Pegmatito com textura gráfica, nomeado álcali-feldspato-granito (Streckeisen 1967).

5.1.2 Ponto 02: amostras A, B, C e D

As amostras A, B, C e D: são amostras de rochas leucocráticas de coloração branca com porções rosadas e verdes. Com estrutura maciça e textura holocristalina, inequigranular fanerítica com granulação variando de média a grossa (**Figura 5.2**).

Seus minerais essenciais são K-feldspato (**Figura 5.2 A**), quartzo, plagioclásio, mica (**Figura 5.2 B, C**) e mineral esverdeado (**Figura 5.2 D**)

O K-feldspato encontra-se hipidiomórfico, de coloração acastanhada, com granulação grossa. O plagioclásio encontra-se hipidiomórfico, de coloração esbranquiçada, com granulação variando de média a grossa, perfaz 50% do volume da amostra. Mineral esverdeado perfaz 45% do volume da amostra. A mica encontra-se hipidiomórfico, de granulação grossa, com hábito micáceo e corresponde a 5% da amostra. Tal rocha descrita é plutônica e pode ser classificada como um pegmatito.

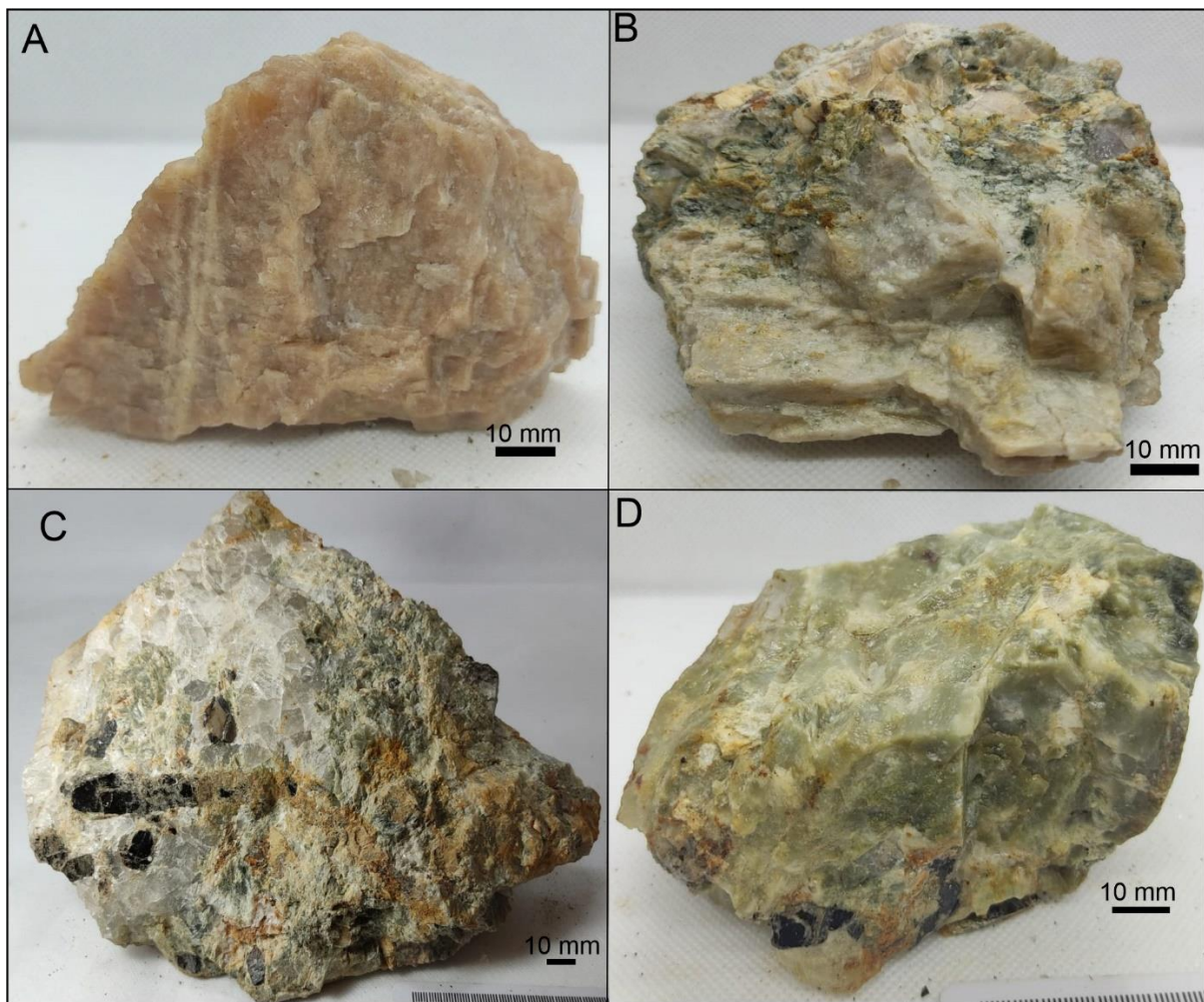


Figura 5.2: Amostras do ponto 2. A) Zona feldspática do pegmatito; B, C, D) Pegmatitos: álcali-feldspato-granito (Streckeisen 1967).

Na **Figura 5.3**, tem-se uma amostra composta por duas rochas distintas indicando o contato entre o pegmatito e a rocha encaixante. O contato entre essas rochas é reto, sem bordas de reação expressivas.

A rocha félsica é de coloração branca esverdeada, equigranular, com granulação grossa. Apresenta estrutura maciça. É composta por cerca de 45% de quartzo, 45% de feldspato e 10% de mica. O quartzo está incolor, idiomórfico a subidiomórfico de granulação grossa. O feldspato ocorre com

coloração esbranquiçada, idiomórfica de granulação grossa. A mica possui coloração preta, está subidiomórfica de granulação média, está tentando formar uma foliação, porém ocorre pouco na rocha e na forma de pequenos agregados. Essa rocha pode ser classificada como um pegmatito (**Figura 5.3**).

A rocha encaixante possui coloração escura, equigranular e com granulação fina. Apresenta estrutura maciça. É composta por cerca de 40% mica, 27% de quartzo, 27% de k-feldspato e 6% opacos e apatita. O quartzo possui uma coloração esbranquiçada, xenomórfico com granulação média. O plagioclásio de coloração esbranquiçada, xenomórfico com granulação média. A biotita possui coloração preta, está subidiomórfica de granulação média, está tentando formar uma foliação, porém ocorre pouco na rocha e na forma de pequenos agregados. A rocha pode ser classificada como biotita-álcali-granito (Streckeisen 1967) (**Figura 5.3**).

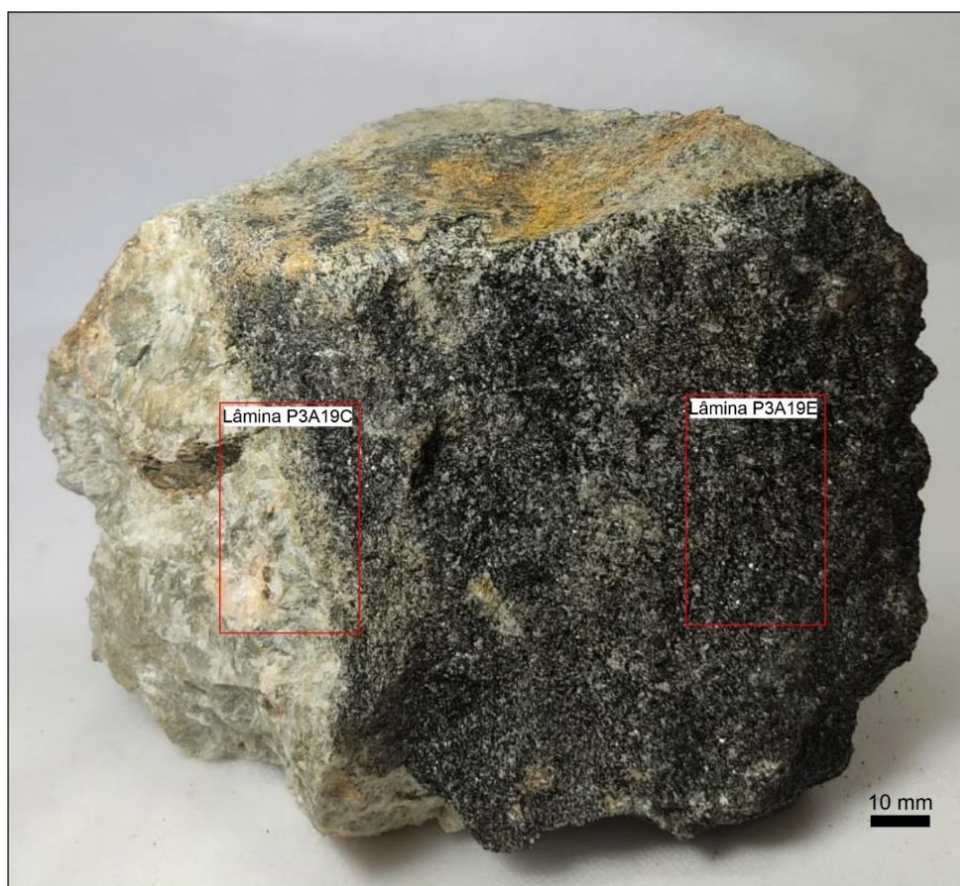


Figura 5.3: Contato entre a encaixante e o pegmatito do ponto 2. Retângulos vermelhos são das posições de lâminas delgadas. Rocha encaixante: biotita-álcali-granito (Streckeisen 1967).

5.1.3 Ponto 03: amostras A, B, C e D

Amostras de rochas leucocráticas de coloração esbranquiçada, apresentam estrutura maciça (**Figura 5.4** A, B, C) com zonas distintas. Apresentam textura holocristalina, inequigranular fanerítica com grãos variando de média a grossa (**Figura 5.4** A, B). Seus minerais essenciais são feldspato e

quartzo. O feldspato encontra-se hipidiomórfico, de coloração bege a esbranquiçada com granulação grossa e perfaz 90% da amostra (**Figura 5.4 A, B**) e o quartzo perfaz os 10%. Este apresenta textura gráfica (**Figura 5.4 B**).

Na amostra C a mineralogia é a mesma, porém em proporções distintas, com 30% de quartzo, 20% de micas e 50% de feldspato (**Figura 5.4 C**). O quartzo apresenta-se xenomórfico, incolor, de granulação média a grossa. De acordo com tais características, as rochas descritas são plutônicas e podem ser classificadas como pegmatito.

Já a amostra D, é mesocrática de coloração cinza (**Figura 5.4 D**) apresenta estrutura maciça. Sua textura é holocristalina, inequigranular fanerítica com granulação média (**Figura 5.4 D**). Seus minerais essenciais são biotita, feldspato e quartzo. A biotita apresenta-se hipidiomórfica, hábito levemente micáceo, coloração preta, brilho nacarado, com granulação média e corresponde a 20% da amostra. O quartzo apresenta-se xenomórfico, incolor, fratura conchoidal, de granulação média e perfaz 40% da amostra. O K-feldspato encontra-se hipidiomórfico, de coloração esbranquiçada, com granulação variando de média a grossa e perfaz 40% da amostra.

De acordo com tais características, a rocha descrita é plutônica. Como a biotita está com uma proporção relevante, está entrará no nome. Assim podemos nomeá-la como biotita álcali-feldspato granito (Streckeisen, 1967).

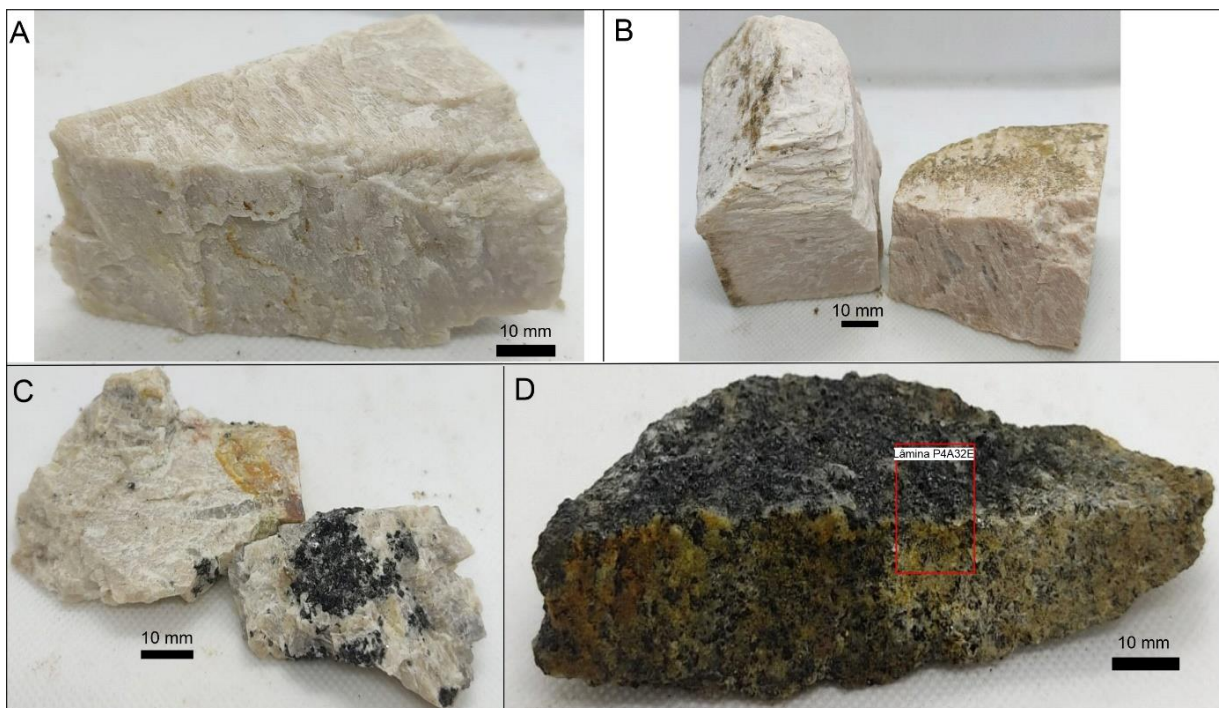


Figura 5.4: Rochas do ponto 3. A-B) Zona feldspática do pegmatito, nomeado: álcali-feldspato-granito, C) Álcali-feldspato-granito, D) Rocha encaixante. Retângulo vermelho é da posição de lâmina delgada, nomeado: biotita-álcali-granito (Streckeisen 1967).

5.1.4 Ponto 04: amostras A, B, C e D

Há dois tipos de rochas (**Figura 5.5 A, B, C**), o contato entre essas rochas é reto, com uma borda de reação expressiva (**Figura 5.5 B, C**).

A primeira, amostra A, é uma rocha leucocrática de coloração branca com porções rosadas e verdes. Com estrutura maciça e textura holocristalina, inequigranular fanerítica com granulação variando de média a grossa (**Figura 5.5 A**). Seus minerais essenciais são quartzo, K-feldspato e mica. O K-feldspato encontra-se hipidiomórfico, de coloração esbranquiçada, com granulação variando de média a grossa, perfaz 60% do volume da amostra granulação média. O quartzo perfaz 30% do volume da amostra. A mica encontra-se hipidiomórfico, de granulação grossa, com hábito micáceo e corresponde a 10% do volume da amostra. Tal rocha descrita é plutônica e pode ser classificada como um pegmatito.

A segunda rocha é mesocrática de coloração cinza. Apresenta estrutura maciça. Sua textura é holocristalina, inequigranular fanerítica com granulação média (**Figura 5.5 B, C**). Seus minerais essenciais são biotita, feldspato e quartzo. A biotita apresenta-se hipidiomórfica, hábito levemente micáceo, coloração preta, brilho nacarado, com granulação média e corresponde a 40% do volume da amostra. O quartzo apresenta-se xenomórfico, incolor, fratura conchoidal, de granulação média e perfaz 30% do volume da amostra. O K-feldspato encontra-se hipidiomórfico, de coloração esbranquiçada, com granulação variando de média a grossa e perfaz 30% do volume da amostra. De acordo com tais características, a rocha descrita é plutônica. Como a biotita está com uma proporção relevante, está entrará no nome. Assim podemos nomeá-la como biotita álcali-feldspato granito (Streckeisen 1967).

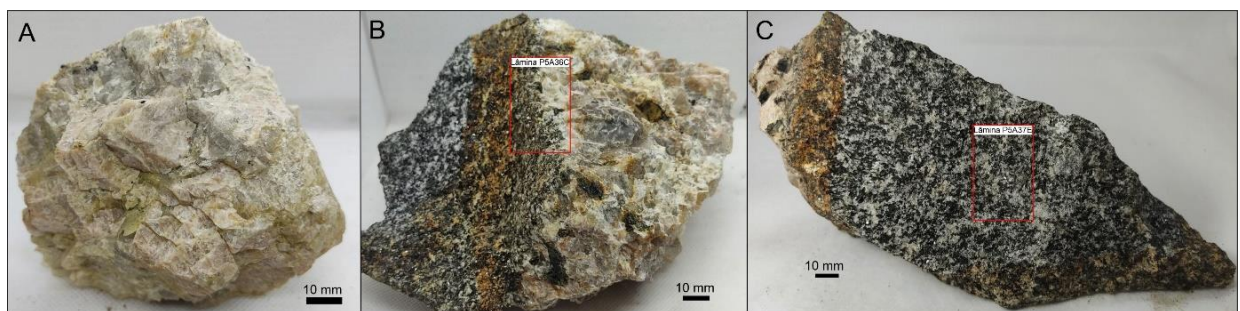


Figura 5.5: Rochas do ponto 4. A) Pegmatito, nomeado: álcali-feldspato-granito, B) Contato entre as rochas, C) Rocha encaixante. Retângulos vermelhos são das posições de lâminas delgadas, nomeado: biotita-álcali-granito (Streckeisen, 1967).

5.2 DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA

Contato entre pegmatito e encaixante

Lâmina P3A19C

Rocha inequigranular, apresenta um contato da rocha encaixante com o pegmatito. A rocha encaixante, possui grãos predominantemente médios com 40% de biotita, 28% de quartzo, 28% de K-feldspato e 4% de opacos no setor direito da lâmina, de coloração mais escura, e de granulometria variando de 2 a 3 mm. Sendo nomeado como biotita álcali-feldspato granito (Streckeisen 1967).

Já o pegmatito possui coloração clara, os grãos são maiores variando de 5 a 7 mm composto por 45% de K-feldspato, grandes grãos de quartzos 45%, biotita 7% e minerais opacos 3%. Nota-se geminações do plagioclásio. Rocha de textura fanerítica grossa (**Figura 5.6**).

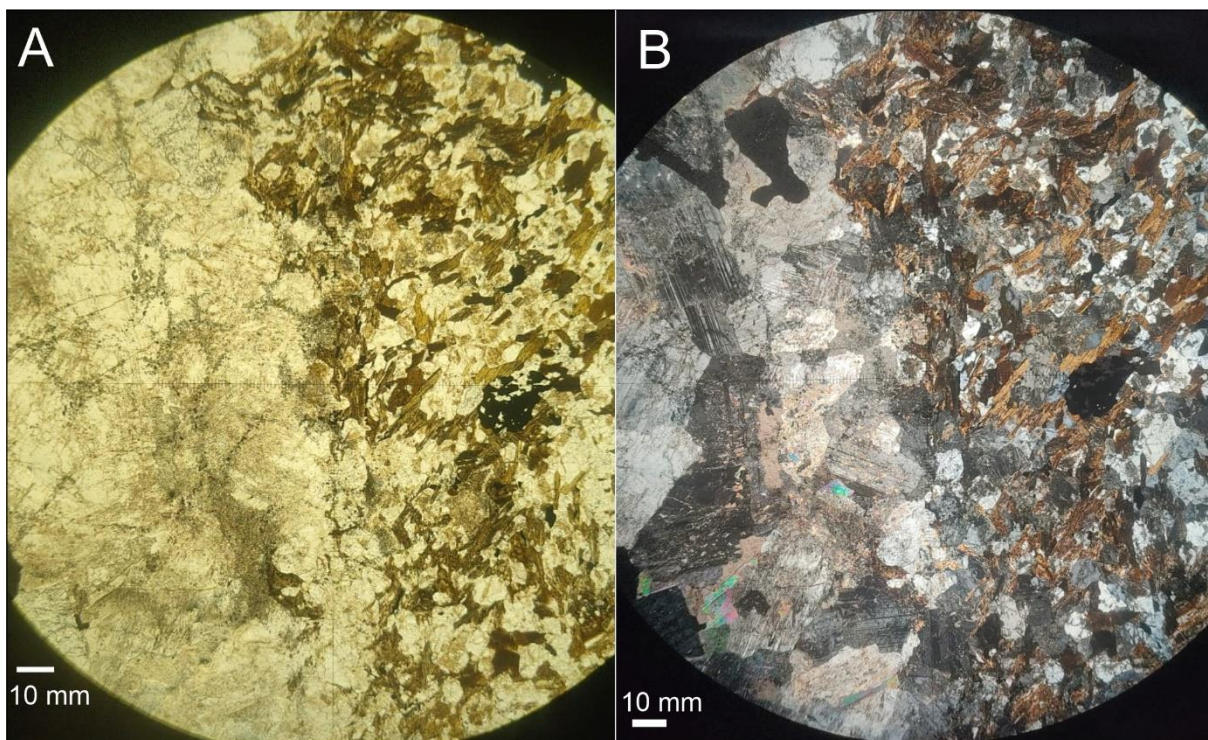


Figura 5.6: Lâmina P3A19C. Contato entre o pegmatito e encaixante. A) Fotomicrografia LN; B) Fotomicrografia LPP. Objetiva de aumento: 2x.

Contato entre pegmatito e encaixante

Lâmina P5A36C

Rocha equigranular de granulometria grossa à muito grossa, de coloração clara com 40% de k-feldspato, 35% de quartzo, 15% de biotita, 7% de anfibólio e 3% de minerais opacos. O k-feldspato apresenta-se alterado e com textura de intercrescimento mimerquítica. Rocha de textura fanerítica grossa a muito grossa, assim pode-se nomeá-la de álcali feldspato granito (Figura 5.7).

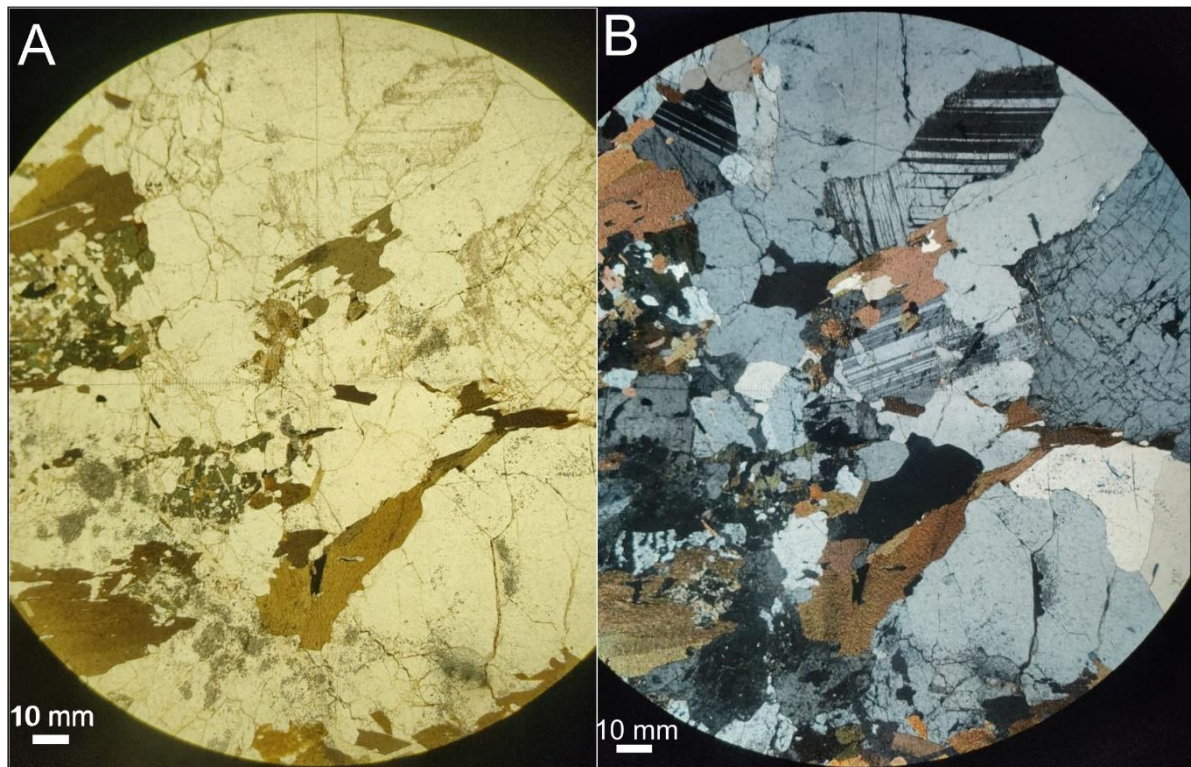


Figura 5.7: Lâmina P5A36C. Contato entre o pegmatito e encaixante. A) Fotomicrografia LN. B) Fotomicrografia LPP. Objetiva aumento de 2x.

Rocha encaixante

Lâmina P3A19E

Lâmina equigranular da rocha encaixante, que apresenta 40% de k-feldspato, 30% de quartzo, 25% de biotita, e 5% de minerais acessórios como opacos e apatita, de granulometria variando de 2 a 3 mm. Rocha de textura fanerítica grossa, nomeada de álcali-feldspato granito (Streckeisen 1967) (**Figura 5.8**).

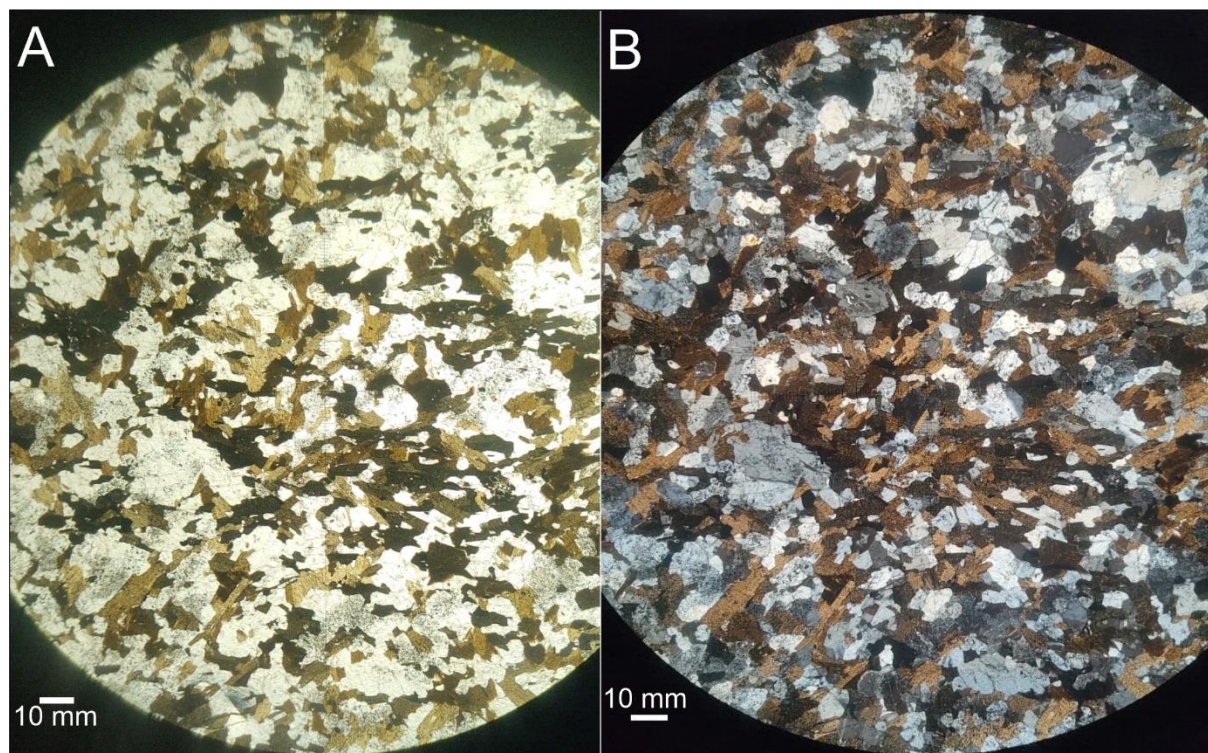


Figura 5.8: Lâmina P3A19E. Rocha encaixante. A) Fotomicrografia LN; B) Fotomicrografia LPP. Objetiva de aumento de 2x.

Rocha encaixante

Lâmina P4A32E

Lâmina inequigranular com 40% de k-feldspato, 40% de quartzo, 18% de biotita e 2% anfibólios. Os cristais de k-feldspato estão decussados associados intergranular com os cristais de quartzo. O k-feldspato apresenta-se como cristais tabulares subédricos. E os grãos de quartzo ocorre em cristais anédricos com bordas irregulares. Rocha de textura fanerítica grossa, nomeada de álcali-feldspato granito (Streckeisen 1967) (**Figura 5.9**).

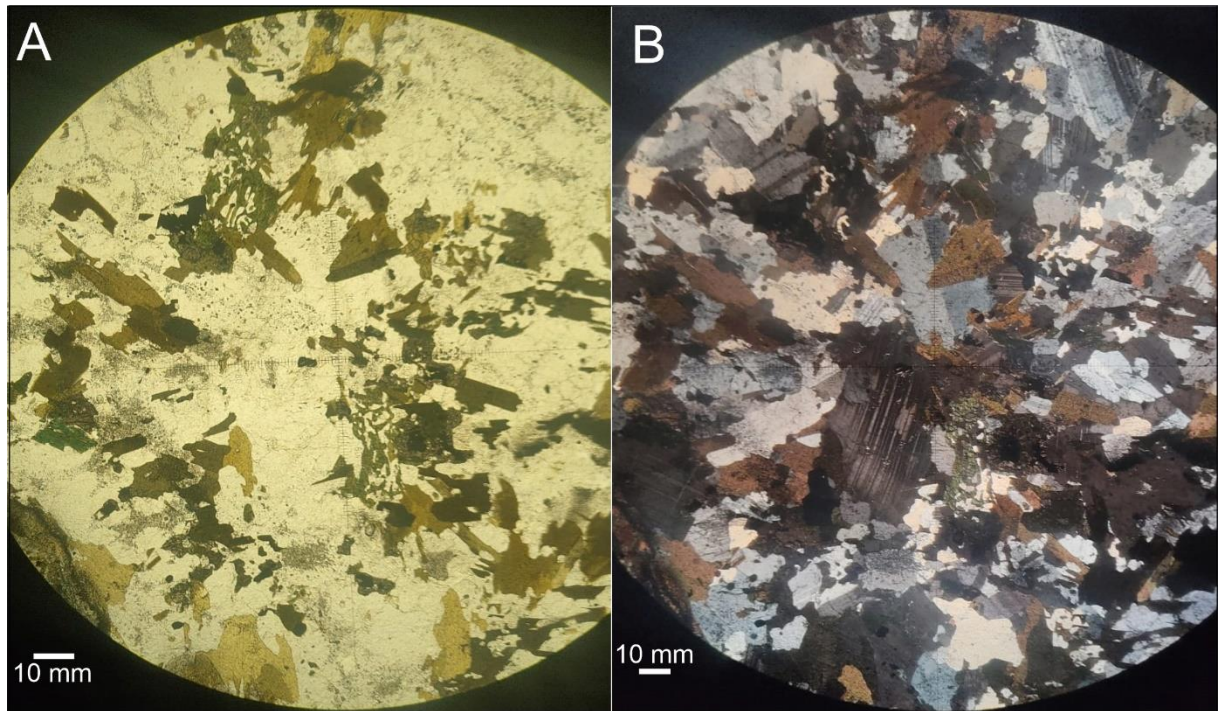


Figura 5.9: Lâmina P4A32E. Rocha encaixante. A) Fotomicrografia LN; B) Fotomicrografia LPP. Objetiva de aumento de 2x.

Rocha encaixante

Lâmina P5A37E

Lâmina inequigranular com presença de 35% de k-feldspato, 35% de quartzo, 15% de biotita 10% de anfibólio, 2% de titanita, 1% de apatita e 2% de minerais opacos. Os anfibólios apresentam-se como cristais anédricos, assim como os grãos de quartzo e k-feldspato que são predominantes na lâmina. A titanita ocorre juntamente com os minerais opacos formando assim coroas em seu torno. Rocha de textura fanerítica grossa a muito grossa nomeada de álcali-feldspato granito (Streckeisen 1967) (**Figura 5.10**).

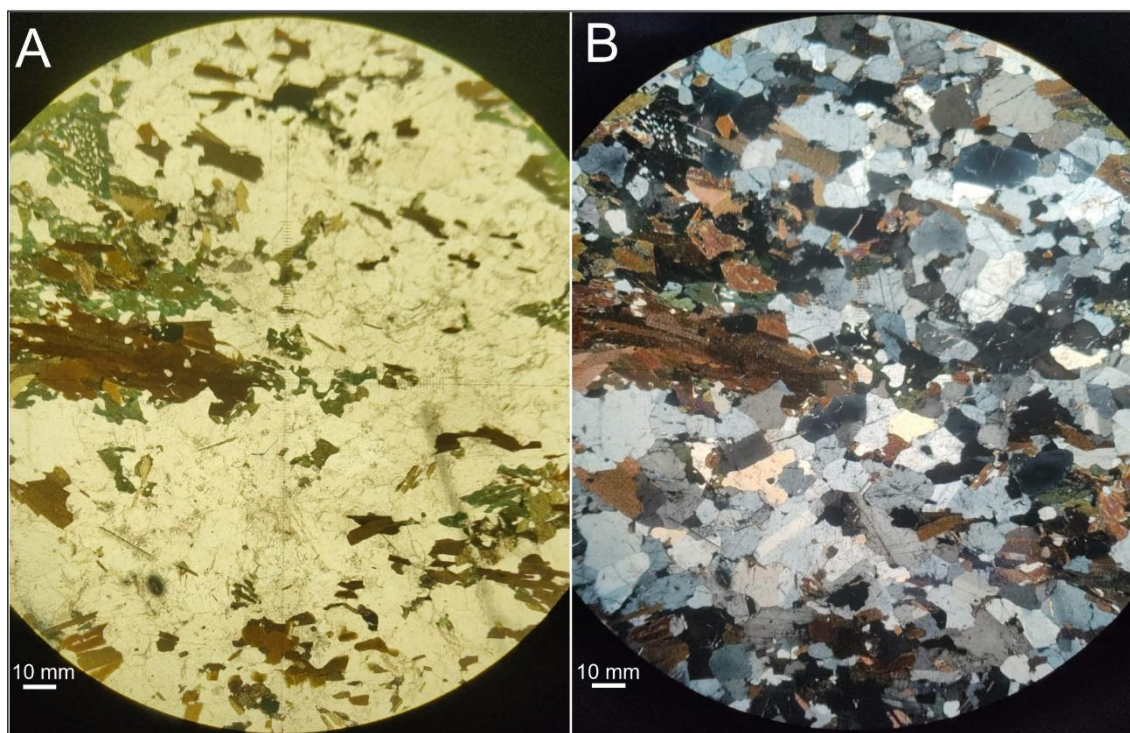


Figura 5.10: Lâmina P5A37E. Rocha encaixante. A) Fotomicrografia LN; B) Fotomicrografia LPP. Objetiva de aumento de 2x.

5.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A seguir serão apresentados os dados da composição química semiquantitativa dos elementos maiores e menores (porcentagem em peso) dos cristais de feldspato obtidas pelo microscópio eletrônico de varredura com acoplamento detector de energia dispersiva (MEV/EDS) em modo de tabela e espectro, assim como as imagens produzidas pelo detector de elétrons retroespalhados (BSE) e mapas composicionais de alguns elementos. No apêndice 2 encontra-se todas as fórmulas químicas dos feldspatos calculadas.

5.3.1 Grão 1, 2, 3

As amostras de feldspato analisadas do ponto 1 são de feldspato potássico e ao longo de algumas fraturas e da própria clivagem do mineral, ocorre um feldspato de sódio, como apresentado pelas imagens de BSE e os mapas químicos (Figura 5.11 a Figura 5.13), bem como os dados de composição química semiquantitativa (Tabela 5.1).

As imagens BSE do grão 1 (Figura 5.11 A), grão 2 (Figura 5.12 A) e grão 3 (Figura 5.13 A) apresentam dois tons de cinza no geral, em que o cinza escuro está nas regiões de fraturas. Os grãos não apresentam zonamentos característicos.

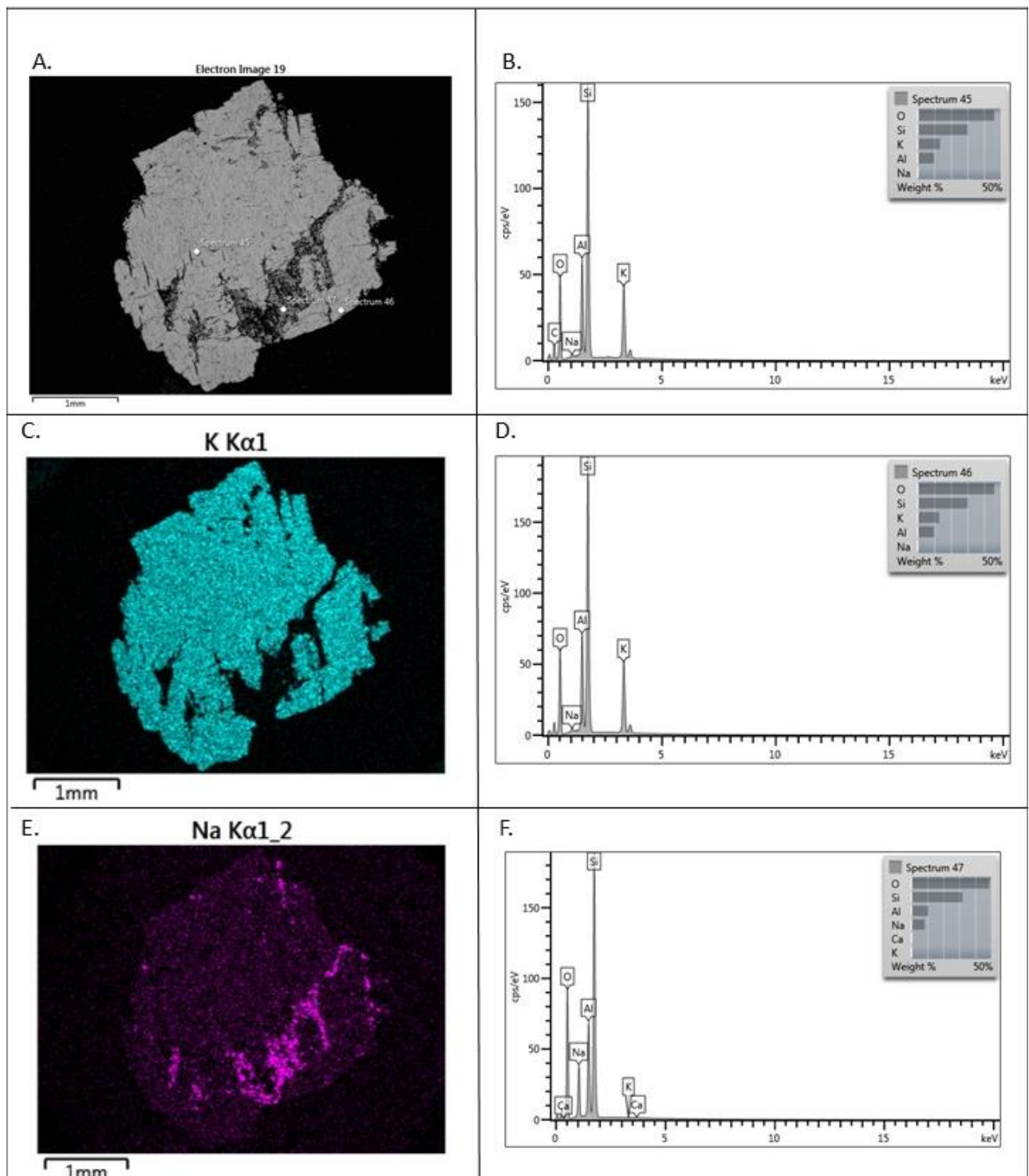


Figura 5.11: Grão 1. A) Imagem BSE; B) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS; C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS; D) Espectro de EDS (*Spectrum 45*); E) Espectro de EDS (*Spectrum 46*); F) Espectro de EDS (*Spectrum 47*).

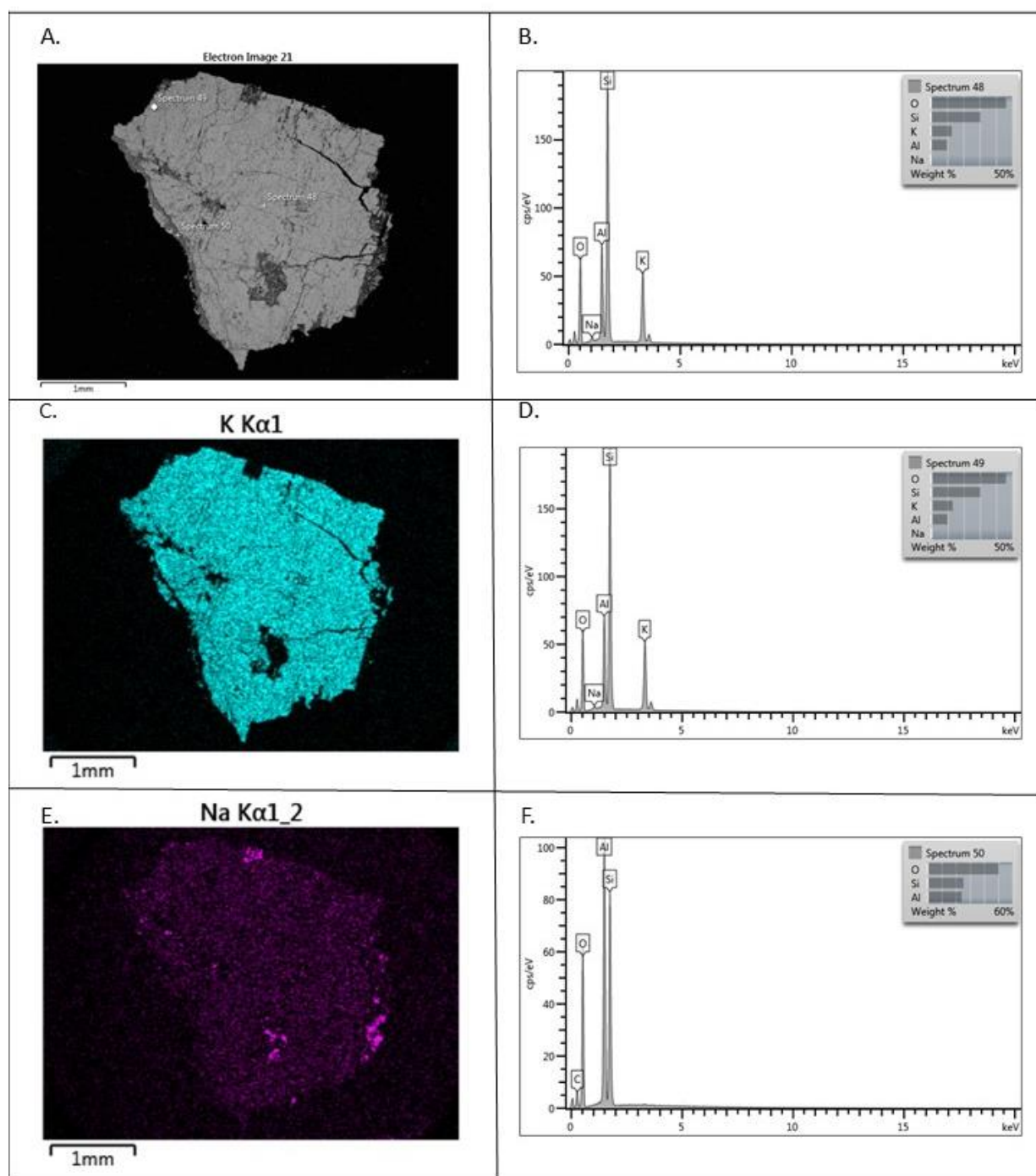


Figura 5.12: Grão 2. A) Imagem BSE; B) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS D) Espectro de EDS (*Spectrum 48*); E) Espectro de EDS (*Spectrum 49*); F) Espectro de EDS (*Spectrum 50*).

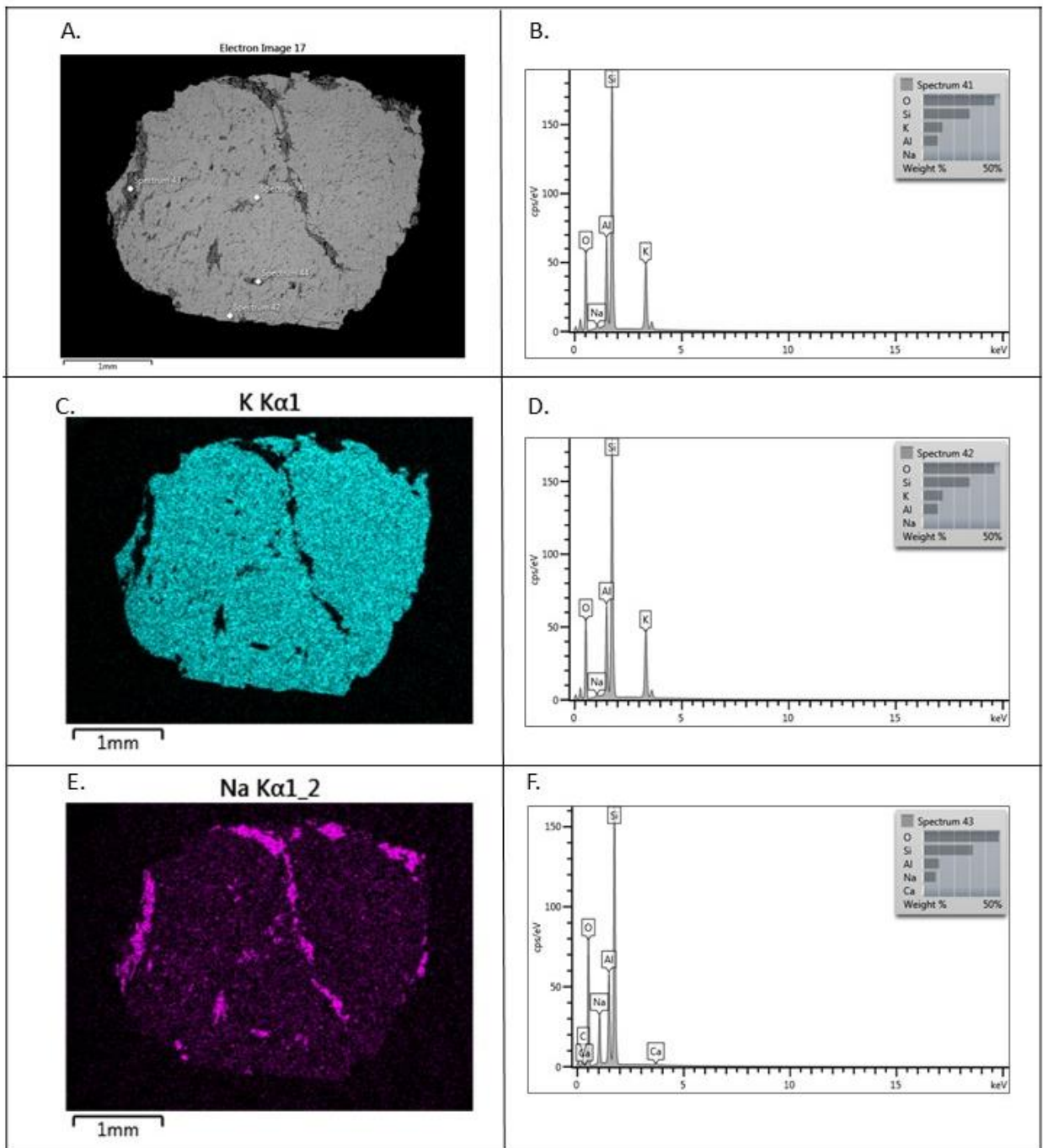


Figura 5.13: Grão 3. A) Imagem BSE; B) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS D) Espectro de EDS (*Spectrum 41*); E) Espectro de EDS (*Spectrum 42*); F) Espectro de EDS (*Spectrum 43*).

Tabela 5.1: Composição química semiquantitativa dos cristais de feldspato (ponto 1) obtida por MEV/EDS.

Grão	Spectrum	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	BaO	Total
1	45	64,63%	18,56%	16,24%	0,57%	0,00%	0,00%	100,00%
	46	64,71%	18,77%	15,68%	0,84%	0,00%	0,00%	100,00%
	47	68,58%	19,95%	0,09%	11,17%	0,21%	0,00%	100,00%
2	48	65,07%	18,62%	15,42%	0,89%	0,00%	0,00%	100,00%
	49	64,88%	18,56%	15,93%	0,64%	0,00%	0,00%	100,01%
	50	54,40%	45,60%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
3	41	65,19%	18,51%	15,51%	0,78%	0,00%	0,00%	99,99%
	42	65,03%	18,67%	15,72%	0,58%	0,00%	0,00%	100,00%
	43	68,67%	19,88%	0,00%	11,06%	0,40%	0,00%	100,01%
	44	69,06%	19,77%	0,13%	11,04%	0,00%	0,00%	100,00%

Em médio o feldspato potássico apresenta 64,92% SiO₂ (σ 0,002), 18,62% Al₂O₃ (σ 0,001), 15,75% K₂O (σ 0,003) e 0,72% Na₂O (σ 0,001). E o feldspato sódico apresenta 68,77% SiO₂ (σ 0,003), 19,87% Al₂O₃ (σ 0,001), 0,07% K₂O (σ 0,001), 11,09% Na₂O (σ 0,001) e 0,20% BaO (σ 0,002) (Tabela 5.2).

Tabela 5.2: Estatística da composição química dos principais feldspatos do ponto 1.

K-feldspato					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO
Mínimo	64,63%	18,51%	15,42%	0,57%	0,00%
Máximo	65,19%	18,77%	16,24%	0,89%	0,00%
Média	64,92%	18,62%	15,75%	0,72%	0,00%
Desvio Padrão	0,002	0,001	0,003	0,001	0,000
Plagioclásio					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO
Mínimo	68,58%	19,77%	0,00%	11,04%	0,00%
Máximo	69,06%	19,95%	0,13%	11,17%	0,40%
Média	68,77%	19,87%	0,07%	11,09%	0,20%
Desvio Padrão	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002

Com base na média dos principais feldspatos encontrados (Tabela 5.2) o grão analisado é 92,6% de microclina/ortoclásio, com composição média de (K_{0,93}Na_{0,06})Si_{2,99}Al_{1,01}O₈, e do 7,4% de albita com composição média de (Na_{0,94}Ca_{0,01})Si_{2,99}Al₁O₈.

Ao plotar os pontos dos espectros no diagrama de classificação de feldspatos, o Grão 1 e 3 caíram no campo do k-feldspato como microclina/ortoclásio (*spectrums* 41, 42, 45 e 46) e no campo da albita (*Spectrums* 43, 44 e 47). Já o grão 2 deu microclina/ortoclásio (*spectrums* 48 e 49) (**Figura 5.14**).

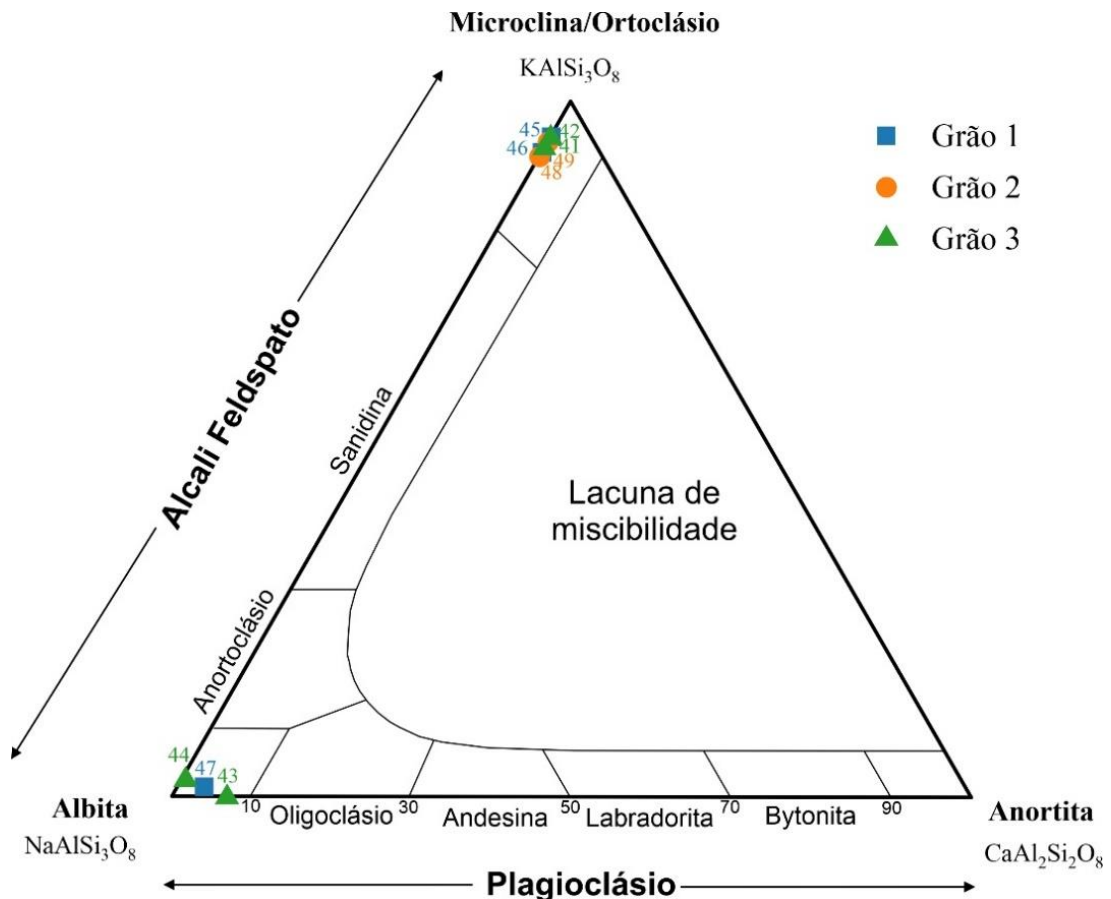


Figura 5.14: Diagrama de classificação para feldspatos do ponto 1 (diagrama Ab-Na-Or; Deer *et al.*, 2013).

5.3.2 Grão 4, 5, 6, 7

O grão 4 representado na **Figura 5.15** é um feldspato potássico, e ao longo de suas fraturas, em tonalidades de cinza escuro, ocorre a alteração para feldspato sódico, que é corroborado com os dados de composição química semiquantitativa (**Tabela 5.3**). Também é possível perceber a presença de pertita, pelas imagens de BSE, ou seja, é um feldspato característico pela exsolução de feldspato sódico em feldspato potássico. As imagens BSE dos grãos 4 (**Figura 5.15 A**), grão 5 (**Figura 5.16 A**) e grão 6 (**Figura 5.17 A**) apresentam dois tons de cinza no geral, em que o cinza escuro está nas regiões de fraturas. Os grãos não apresentam zonamentos característicos. E a imagem BSE do grão 7 (**Figura 5.18**) apresenta-se mais homogênea, porém nas imagens das **Figura 5.18 B e C** é possível perceber que o grão tem pontinhos de outros elementos.

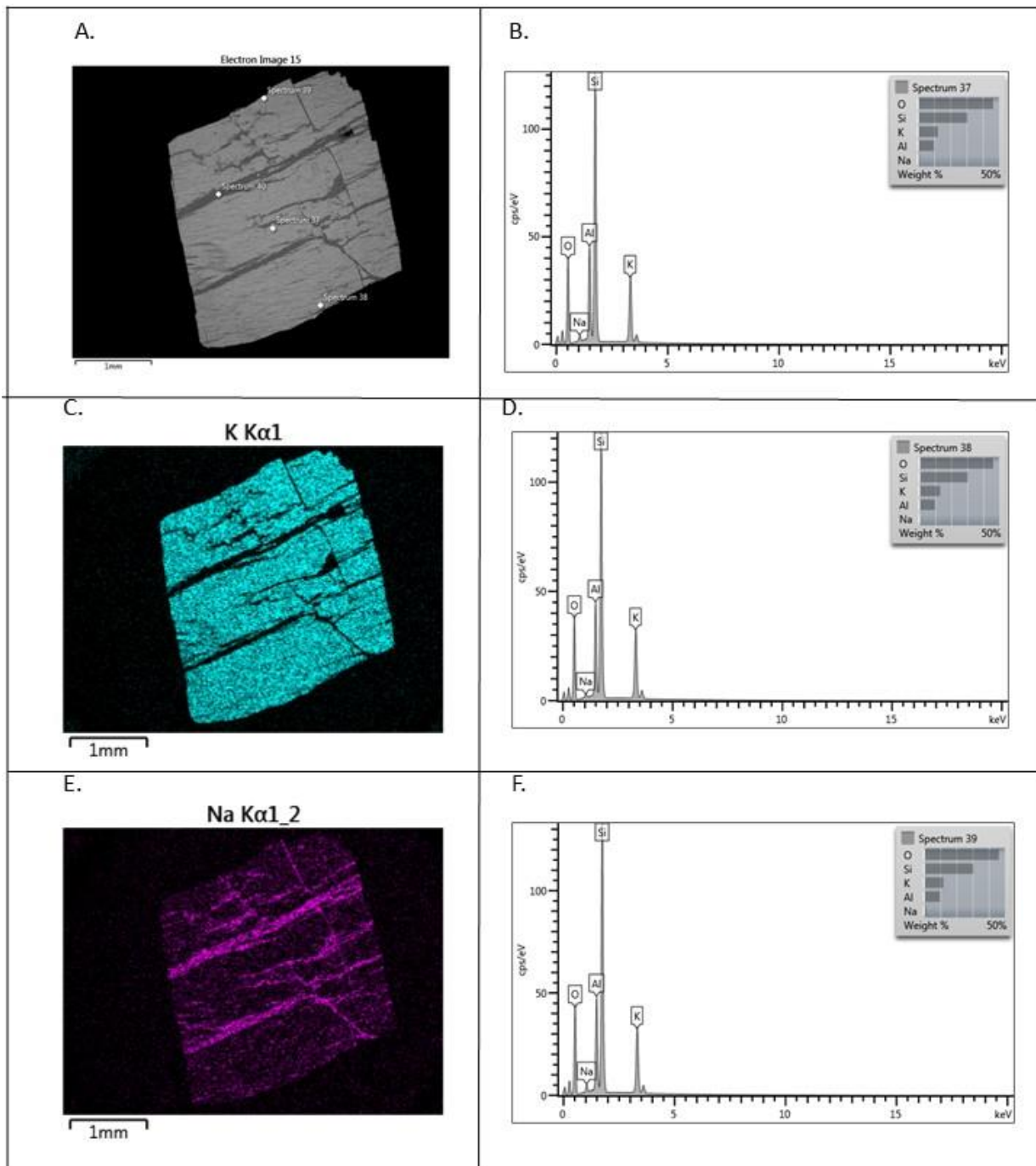


Figura 5.15: Grão 4. A) Imagem BSE; B) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS; C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS; D) Espectro de EDS (*Spectrum 37*); E) Espectro de EDS (*Spectrum 38*); F) Espectro de EDS (*Spectrum 39*).

O grão 5 representado na **Figura 5.16** é um feldspato potássico com presença de fraturas em tonalidades de cinza escuro e claro (**Figura 5.16 A**). Além disso o *spectrum 34* (**Figura 5.16 E**) é um k-feldspato com bário. E o *spectrum 35* tem-se quartzo de acordo com a Figura 5.15 (F) e os dados de composição química semiquantitativa (**Tabela 5.3**).

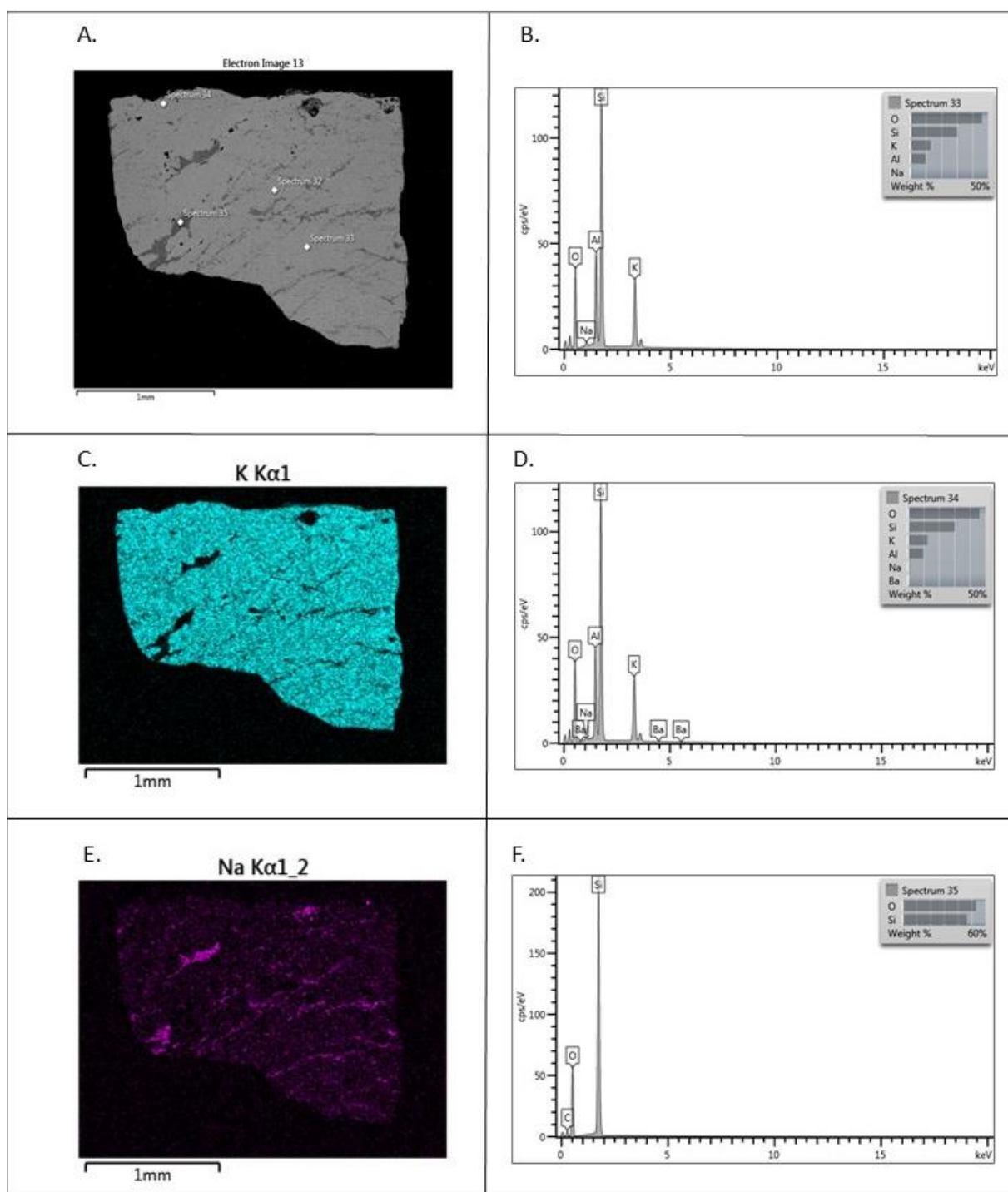


Figura 5.16: Grão 5. A) Imagem BSE; B) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS D) Espectro de EDS (*Spectrum 33*); E) Espectro de EDS (*Spectrum 34*); F) Espectro de EDS (*Spectrum 35*).

O grão 6 representado na **Figura 5.17**, mais precisamente o *spectrum 18* ocorre um feldspato sódico, ou seja, albita, como apresentado pelas imagens de BSE e os mapas químicos, bem como os dados de composição química semiquantitativa (**Tabela 5.3**).

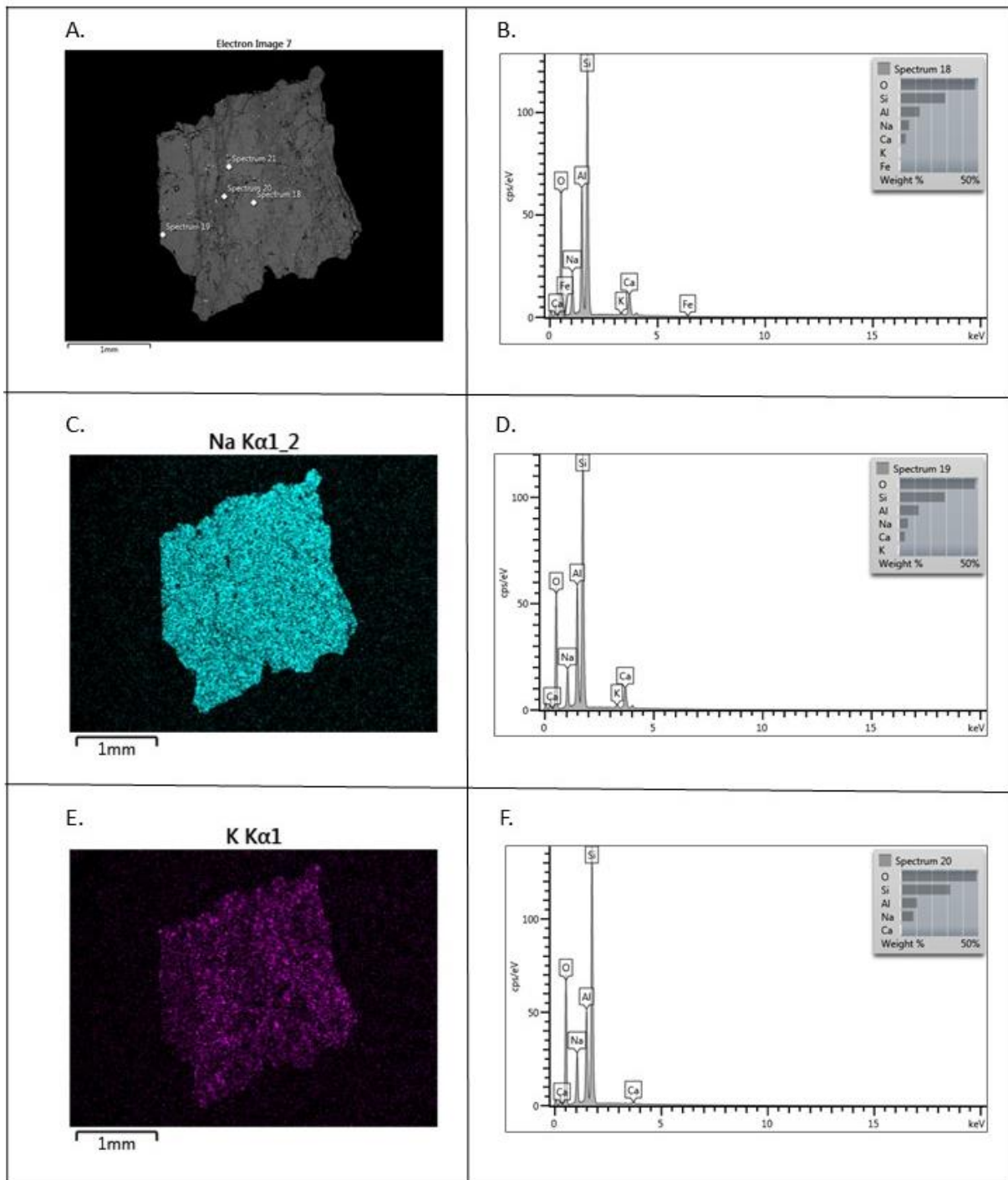


Figura 5.17: Grão 6. A) Imagem BSE; B) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS D) Espectro de EDS (*Spectrum 18*); E) Espectro de EDS (*Spectrum 19*); F) Espectro de EDS (*Spectrum 20*).

O grão 7 representado na **Figura 5.18**, nos *spectrums* 22 e 24 (**Figura 5.18** E e G, respectivamente) é uma albита com presença de ferro. Já o *spectrum* 26 (**Figura 5.18** I) e de acordo com

a **Tabela 5.3** percebe-se a presença de 96% de CaO, 0.62% de MgO e 2.28% de FeO, sendo nomeado como anortita com ferro. E por fim, o *spectrum 27* (Figura 5.17 J) tem-se albita com estrôncio.

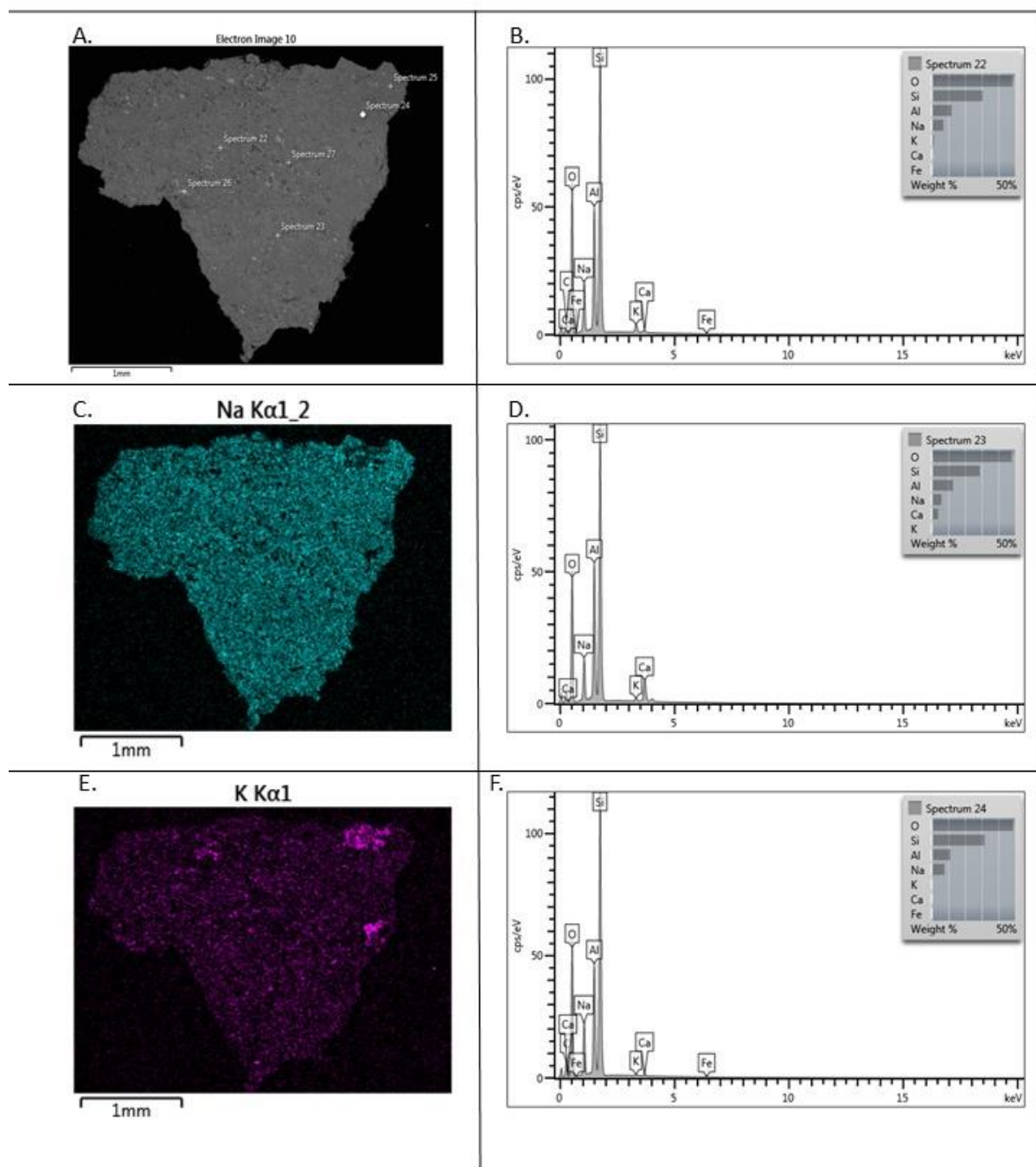


Figura 5.18: Grão 7. A) Imagem BSE; B) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS D) Espectro de EDS (*Spectrum 22*); E) Espectro de EDS (*Spectrum 23*); F) Espectro de EDS (*Spectrum 24*).

Tabela 5.3: Composição química semiquantitativa dos cristais de feldspato (ponto 2) obtida por MEV/EDS.

Grão	Spectrum	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	BaO	MgO	FeO _{total}	Total
4	37	65,19%	18,72%	14,80%	1,30%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,01%
	38	64,90%	18,60%	15,74%	0,76%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
	39	65,13%	18,62%	14,54%	1,72%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,01%
	40	68,43%	20,07%	0,00%	10,97%	0,53%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
5	32	64,96%	18,56%	15,75%	0,73%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
	33	64,80%	18,64%	15,66%	0,90%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
	34	64,89%	18,70%	15,13%	0,96%	0,00%	0,32%	0,00%	0,00%	100,00%
	35	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
6	18	61,97%	23,98%	0,33%	8,10%	5,44%	0,00%	0,00%	0,19%	100,01%
	19	62,30%	23,85%	0,54%	7,86%	5,45%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
	20	68,33%	20,13%	0,00%	10,98%	0,57%	0,00%	0,00%	0,00%	100,01%
	21	28,91%	22,35%	0,00%	0,00%	0,30%	0,00%	5,05%	43,40%	100,01%
7	22	65,57%	22,67%	1,61%	9,52%	0,36%	0,00%	0,00%	0,26%	99,99%
	23	61,88%	24,22%	0,53%	7,92%	5,45%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
	24	67,83%	21,10%	0,26%	10,33%	0,24%	0,00%	0,00%	0,23%	99,99%
	25	64,90%	22,39%	0,00%	9,67%	3,05%	0,00%	0,00%	0,00%	100,01%
	26	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	96,00%	0,00%	0,62%	2,28%	98,90%
	27	64,73%	27,94%	0,00%	6,19%	0,36%	0,00%	0,00%	0,78%	100,00%

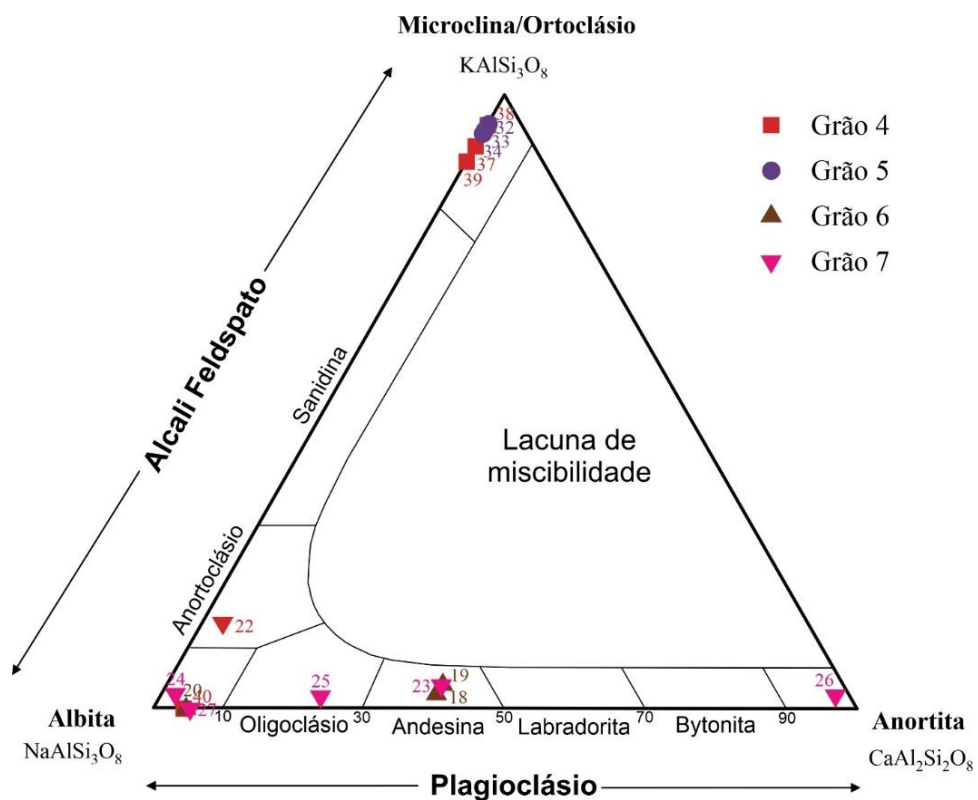
Em médio o feldspato potássico apresenta 55,70% SiO₂ (σ 0,246), 15,98% Al₂O₃ (σ 0,070), 13,09% K₂O (σ 0,058), 0,91% Na₂O (σ 0,005) e 0,05% BaO (σ 0,001). E o feldspato sódico apresenta 65,10% SiO₂ (σ 0,0027), 22,93% Al₂O₃ (σ 0,025), 0,36% K₂O (σ 0,005), 9,06% Na₂O (σ 0,016), 2,38% CaO (σ 0,025) e 0,18% FeO (σ 0,003) (Tabela 5.4).

Com base na média dos principais feldspatos encontrados (**Tabela 5.4**) o grão analisado é de microclina/ortoclásio, com composição média de (K_{0,90}Na_{0,09})Si_{2,99}Al_{1,01}O₈, e do de albita com composição média de (Na_{0,77}Ca_{0,11})Si_{2,85}Al_{1,18}O₈, porém quando plotamos as composições de cada espectro no diagrama de classificação de feldspatos, notamos que no grão 7 varia de anortoclásio (*spectrum* 22), albita (*spectrums* 24 e 27), oligoclásio (*spectrum* 25), andesina (*spectrum* 23) e anortita (*spectrum* 26) (Figura 5.19).

Tabela 5.4: Estatística da composição química dos principais feldspatos do ponto 2.

K-feldspato						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	BaO
Mínimo	64,80%	18,56%	14,54%	0,73%	0,00%	0,00%
Máximo	65,19%	18,72%	15,75%	1,72%	0,00%	0,32%
Média	55,70%	15,98%	13,09%	0,91%	0,00%	0,05%
Desvio Padrão	0,246	0,070	0,058	0,005	0,000	0,001

Plagioclásio						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	FeO _{total}
Mínimo	61,88%	20,07%	0,00%	6,19%	0,24%	0,00%
Máximo	68,43%	27,94%	1,61%	10,98%	5,45%	0,78%
Média	65,10%	22,93%	0,36%	9,06%	2,38%	0,18%
Desvio Padrão	0,027	0,025	0,005	0,016	0,025	0,003

**Figura 5.19:** Diagrama de classificação para feldspatos do ponto 2 (diagrama Ab-An-Or; Deer *et al.* 2013).

5.3.3 Grão 8, 9, 10

O grão 8 representado na **Figura 5.20 A** é um feldspato potássico e ao longo de suas fraturas, em tonalidades de cinza escuro, há a alteração para feldspato sódico que é corroborado com a análise de dados semiquantitativos (**Tabela 5.5**).

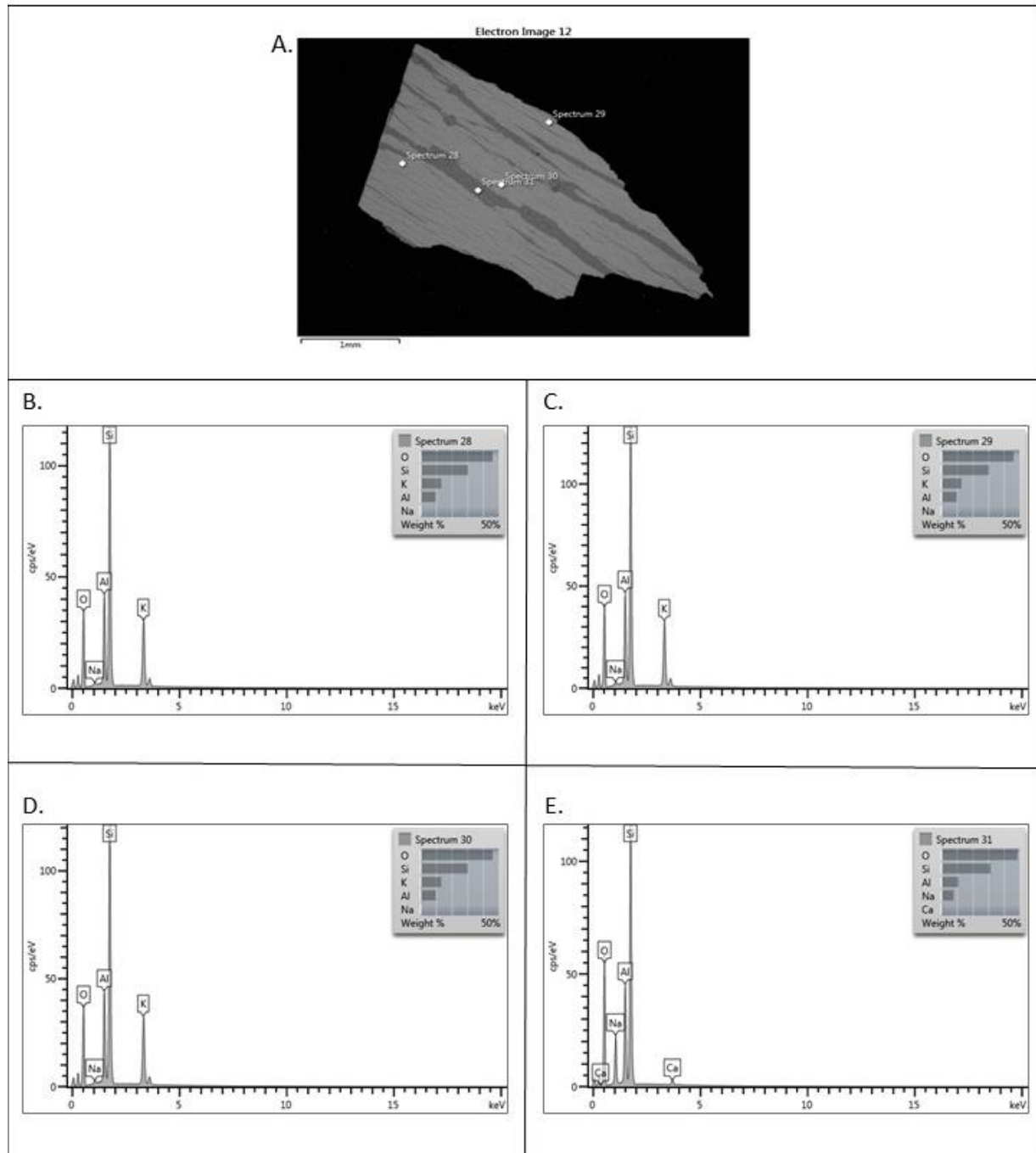


Figura 5.20: Grão 8. A) Imagem BSE; B) Espectro de EDS (*Spectrum 28*); C) Espectro de EDS (*Spectrum 29*); D) Espectro de EDS (*Spectrum 30*); E) Espectro de EDS (*Spectrum 31*).

O grão 9 representado na **Figura 5.21** nos *spectrums* 11 a 14 é um k-feldspato com presença de bário, de acordo com os dados de composição química semiquantitativa (Tabela 5.5). Já no *spectrum* 16, há a ocorrência de um outro mineral, que é comprovado pela sua composição química: 99.77% de FeO e 0.23% de VO, sendo algum mineral óxido de ferro (magnetita ou hematita) com concentração de vanádio, com dados da **Tabela 5.5**.

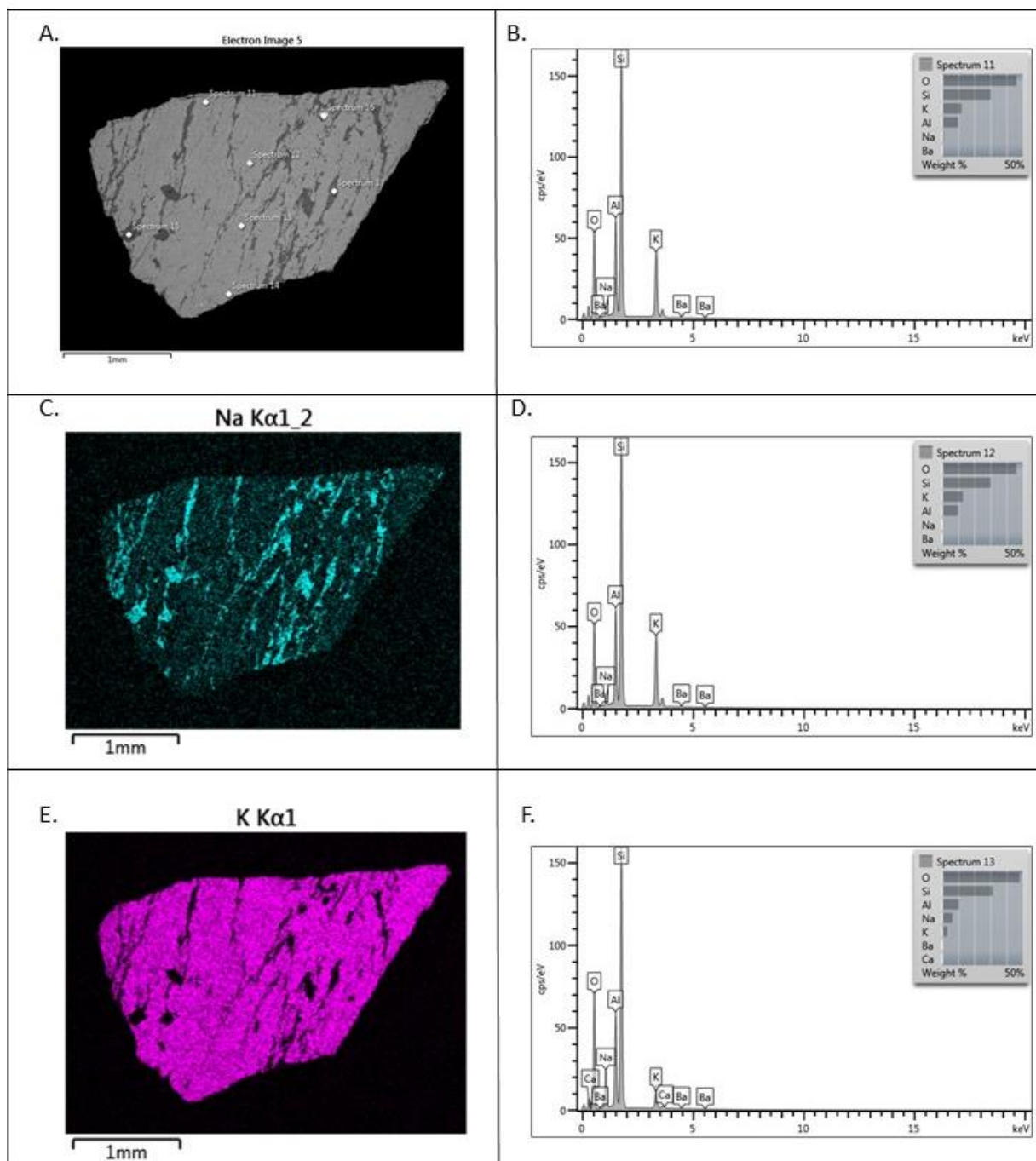


Figura 5.21: Grão 9. A) Imagem BSE; B) Espectro de EDS (*Spectrum* 11); C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS D) Espectro de EDS (*Spectrum* 12); E) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS; F) Espectro de EDS (*Spectrum* 13).

O grão 10 representado na **Figura 5.22** é um feldspato potássico e ao longo de suas fraturas, em tonalidades de cinza escuro. O *spectrum 8* (**Figura 5.22 A**), o k-feldspato está alterando para o feldspato sódico que é corroborado pelos dados de análise química semiquantitativa (**Tabela 5.5**).

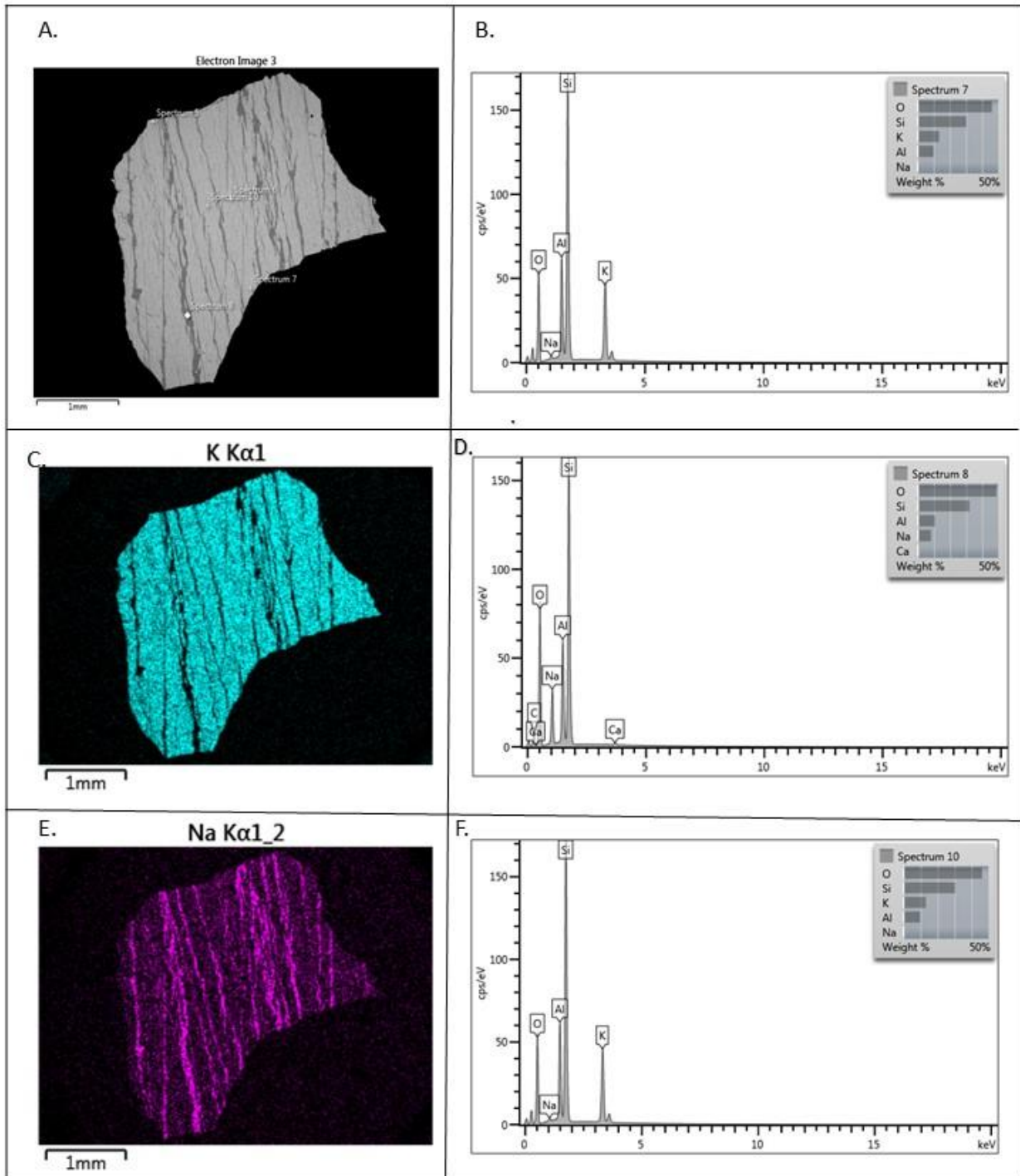


Figura 5.22: Grão 10. A) Imagem BSE; B) Espectro de EDS (*Spectrum 7*); C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS D) Espectro de EDS (*Spectrum 8*); E) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS; F) Espectro de EDS (*Spectrum 10*).

Tabela 5.5: Composição química semiquantitativa dos cristais de feldspato (ponto 3) obtida por MEV/EDS.

Grão	Spectrum	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	BaO	FeO _{total}	VO _{total}	Total
8	28	65,10%	18,34%	15,94%	0,62%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
	29	65,22%	18,58%	15,39%	0,81%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
	30	64,79%	18,58%	15,97%	0,67%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,01%
	31	67,42%	20,75%	0,00%	10,45%	1,38%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
9	11	64,68%	18,82%	14,48%	1,35%	0,00%	0,66%	0,00%	0,00%	99,99%
	12	64,51%	18,67%	15,60%	0,71%	0,00%	0,51%	0,00%	0,00%	100,00%
	13	67,30%	19,66%	3,86%	8,54%	0,35%	0,29%	0,00%	0,00%	100,00%
	14	63,56%	18,93%	15,91%	0,47%	0,00%	1,12%	0,00%	0,00%	99,99%
	15	68,77%	19,72%	0,13%	11,18%	0,20%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
	16	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	99,77%	0,23%	100,00%
	17	64,64%	22,59%	0,00%	9,25%	3,51%	0,00%	0,00%	0,00%	99,99%
10	5	65,44%	18,49%	14,59%	1,47%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	99,99%
	6	65,81%	18,74%	13,56%	1,88%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	99,99%
	7	64,81%	18,55%	15,99%	0,65%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
	8	68,67%	20,02%	0,00%	10,81%	0,50%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
	10	64,97%	18,49%	15,82%	0,72%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%

Em média o feldspato potássico apresenta 65,11% SiO₂ (σ 0,009), 18,71% Al₂O₃ (σ 0,004), 14,28% K₂O (σ 0,035), 1,63% Na₂O (σ 0,023), 0,03% CaO (σ 0,001) e 0,23% BaO (σ 0,004). E o feldspato sódico apresenta 67,38% SiO₂ (σ 0,019), 20,77% Al₂O₃ (σ 0,013), 0,03% K₂O (σ 0,001), 10,42% Na₂O (σ 0,008) e 1,40% CaO (σ 0,015) (Tabela 5.6).

Tabela 5.6: Estatística da composição química dos principais feldspatos do ponto 3.

K-feldspato						
	SiO₂	Al₂O₃	K₂O	Na₂O	CaO	BaO
Mínimo	63,56%	18,34%	3,86%	0,47%	0,00%	0,00%
Máximo	67,30%	19,66%	15,99%	8,54%	0,35%	1,12%
Média	65,11%	18,71%	14,28%	1,63%	0,03%	0,23%
Desvio Padrão	0,009	0,004	0,035	0,023	0,001	0,004
Plagioclásio						
	SiO₂	Al₂O₃	K₂O	Na₂O	CaO	BaO
Mínimo	64,64%	19,72%	0,00%	9,25%	0,20%	
Máximo	68,77%	22,59%	0,13%	11,18%	3,51%	
Média	67,38%	20,77%	0,03%	10,42%	1,40%	
Desvio Padrão	0,019	0,013	0,001	0,008	0,015	

Com base na média dos principais feldspatos encontrados (Tabela 5.6) foi calculada sua composição média para o K-feldspato é $(K_{0,84}Na_{0,15})Si_{2,99}Al_{1,01}O_8$, sendo a microclina/ortoclásio e do feldspato sódico é $(Na_{0,89}Ca_{0,01})Si_{2,86}Al_{1,08}O_8$ sendo então uma albita.

Ao plotar os pontos dos espectros no diagrama de classificação de feldspatos, o Grão 8 apresenta o k-feldspato como microclina/ortoclásio (*spectrums* 28, 29 e 30) e o *spectrum* 31 como oligoclásio. Para o grão 9 teve pontos no campo da microclina/ortoclásio (*spectrums* 11, 12 e 14), sanidina (*spectrum* 13), albita (*spectrum* 15) e oligoclásio (*spectrum* 17). O grão 10 teve pontos na microclina/ortoclásio (*spectrums* 5, 6, 7, 10) e na albita (*spectrum* 8) (Figura 5.23).

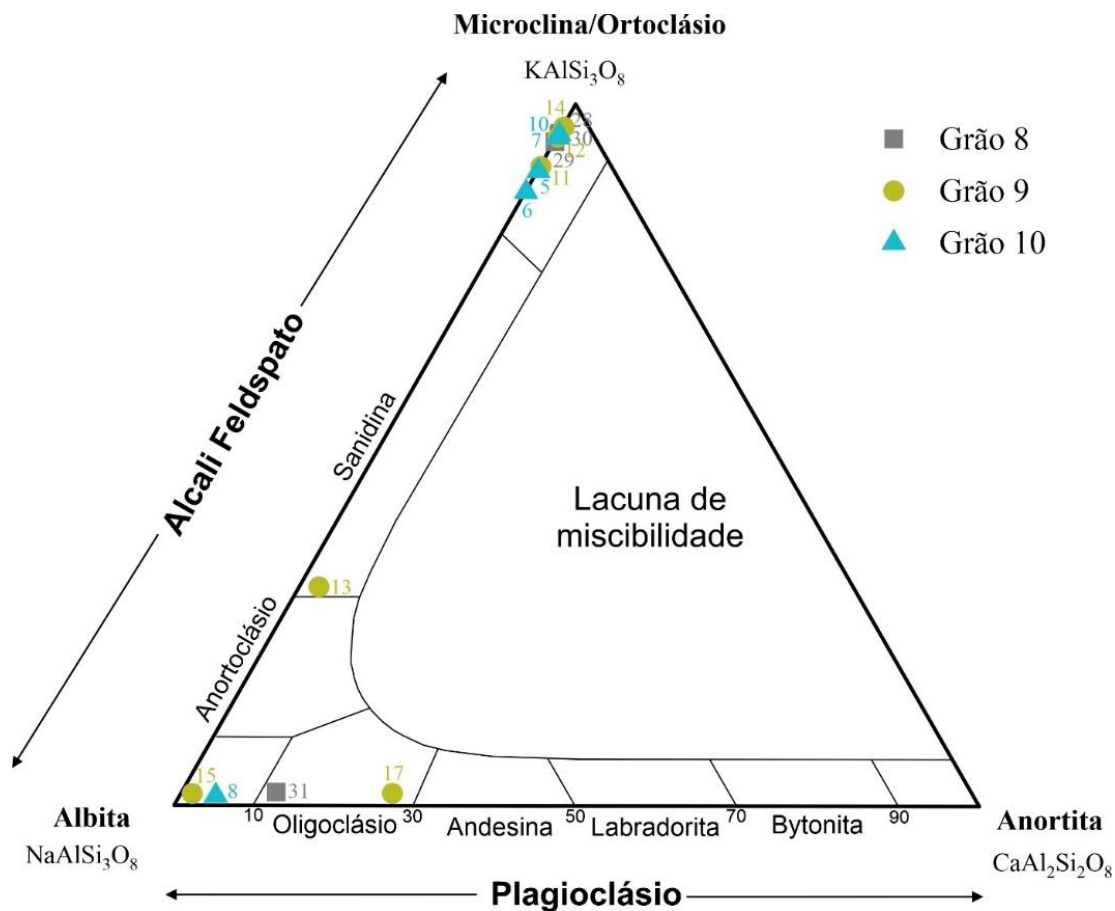


Figura 5.23: Diagrama de classificação para feldspatos do ponto 3 (diagrama Ab-An-Or; Deer *et al.* 2013).

5.3.4 Grão 11

O grão 11 representado é um feldspato potássico como apresentado pelas imagens de BSE, os mapas químicos e os espectros de EDS (Figura 5.24).

Percebe-se que ao longo das fraturas do grão (*spectrum 1*), em tonalidades de cinza escuro, ocorre a alteração de k-feldspato para feldspato sódico de acordo com a Figura 5.24-A e os dados de composição química semiquantitativa (Tabela 5.7).

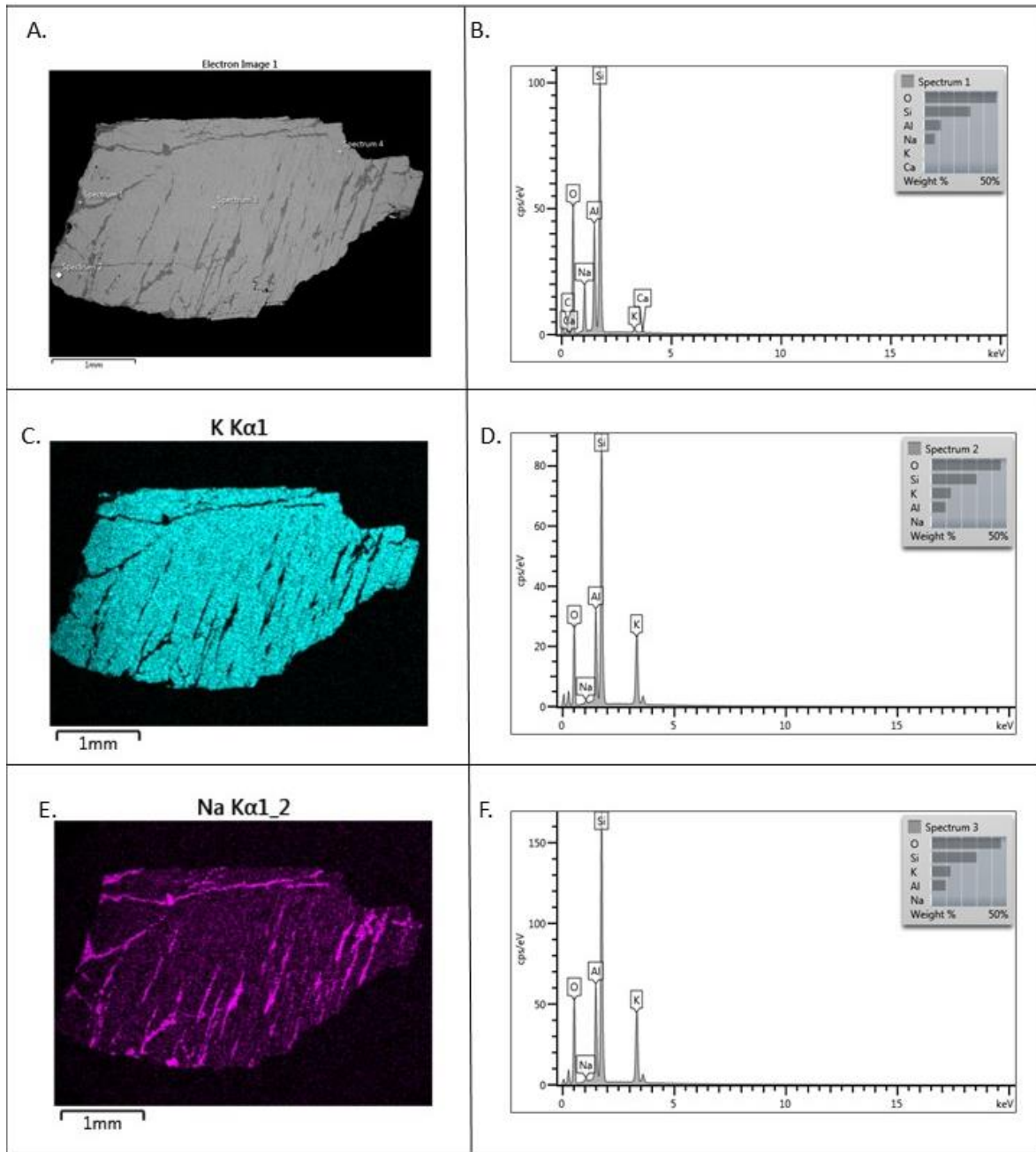


Figura 5.24: Grão 11. A) Imagem BSE; B) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS mostrando a distribuição do elemento potássio (K); C) Mapa químico obtido com sistema de análise EDS mostrando a distribuição do elemento sódio (Na); D) Espectro de EDS (*Spectrum 1*); E) Espectro de EDS (*Spectrum 2*); F) Espectro de EDS (*Spectrum 3*).

Tabela 5.7: Composição química semiquantitativa dos cristais de feldspato (ponto 4) obtida por MEV/EDS.

Grão	Spectrum	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Total
11	1	67,09%	21,81%	0,82%	9,91%	0,37%	100,00%
	2	65,00%	18,39%	15,78%	0,83%	0,00%	100,00%
	3	65,00%	18,55%	15,64%	0,82%	0,00%	100,01%
	4	65,06%	18,66%	15,31%	0,97%	0,00%	100,00%

Em médio o feldspato potássico apresenta 65,02% SiO₂ (σ 0,000), 18,53% Al₂O₃ (σ 0,001), 15,58% K₂O (σ 0,002), e 0,87% Na₂O (σ 0,001) (Tabela 5.8).

Tabela 5.8: Estatística da composição química dos principais feldspatos do ponto 4.

K-feldspato				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Mínimo	65,00%	18,39%	15,31%	0,82%
Máximo	65,06%	18,66%	15,78%	0,97%
Média	65,02%	18,53%	15,58%	0,87%
Desvio Padrão	0,000	0,001	0,002	0,001

Com base na média dos principais feldspatos encontrados (Tabela 5.8) foi calculada sua composição média para o K-feldspato é (K_{0,92}Na_{0,08})Si₃Al_{1,01}O₈, sendo a microclina/ortoclásio.

Ao plotar os pontos dos espectros no diagrama de classificação de feldspatos, o Grão 11 apresenta o k-feldspato como microclina/ortoclásio (*spectrums* 2, 3 e 4) e o *spectrum* 1 como albita (Figura 5.25).

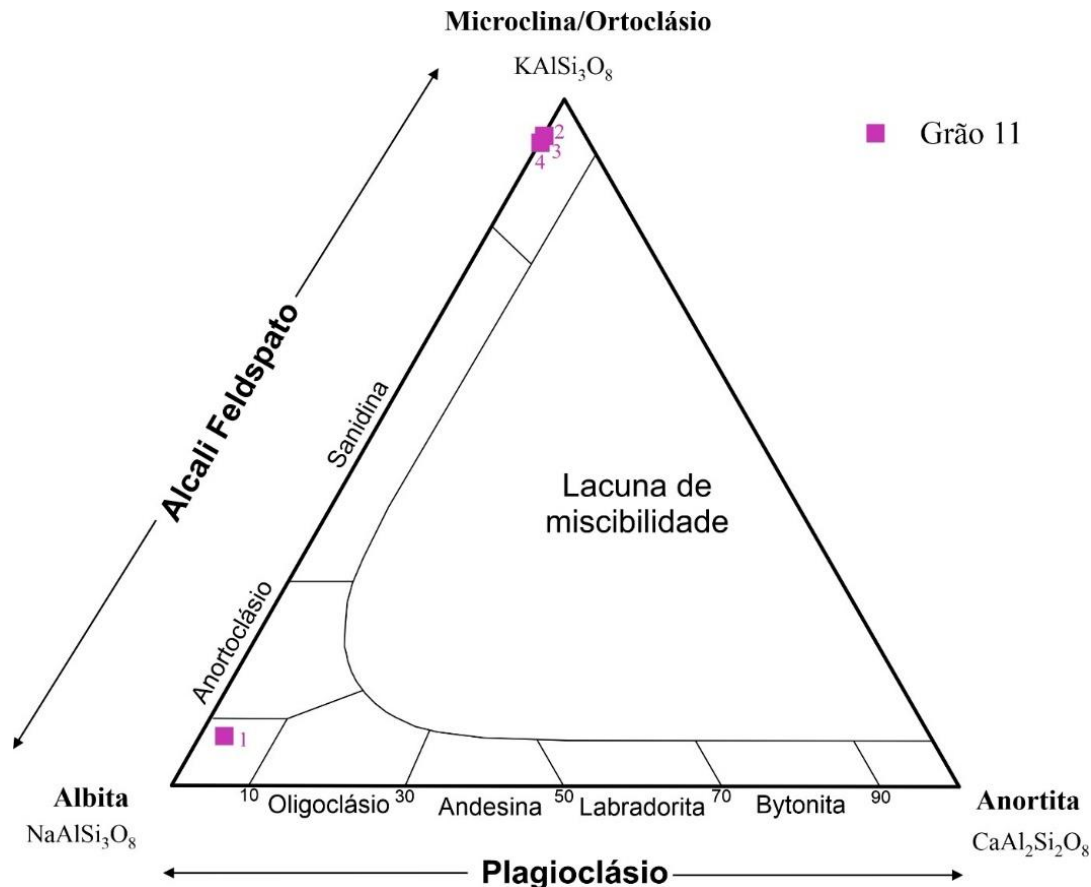


Figura 5.25: Diagrama de classificação para feldspatos do ponto 4 (diagrama Ab-An-Or; Deer *et al.* 2013).

5.4 LASER ABLATION MULTICOLETOR INDUCTIVELY COUPLED PLASMA MASS SPECTROMETRY (LA-MC-ICP-MS)

Foram analisados elementos traços dos 11 grãos de feldspato. A tabela simplificada de tal análise, com os elementos rubídio (Rb85) e cério (Cs133) que são importantes para verificar o grau de fracionamento químico do feldspato, segundo Černý *et al.* (1981), além disso constam as correlações de potássio que foram medidos via MEV (Tabela 5.1, 5.3, 5.5 e 5.7) e os valores calculados de potássio em ppm e a razão entre potássio e rubídio (Tabela 5.9).

Com as informações da Tabela 5.9, foi possível plotar o diagrama K/Rb versus Cs (ppm) (**Figura 5.26**) que é utilizado para avaliar o qual evoluído geoquímica é um pegmatito com base no fracionamento geoquímico dos feldspatos.

Tabela 5.9: Composição dos elementos traços Rb e Cs via ICP-MS. Além das correlações de K analisado via MEV.

Ponto	Grão	Pontos ICP	Si29 (ppm)	Rb85 (ppm)	Cs133 (ppm)	K2O (%)	K (%)	K (ppm)	K/Rb
1	1	1.sSMPABC005	302712,0134	345,89	2,03				
1	1	1.sSMPABC006	302712,0134	697,29	2,25				
1	1	1.sSMPABC007	302712,0134	467,49	2,91				
Média grão 1			302712,0134	503,56	2,39	15,96	13,25	132491,72	263,11
Desvio Padrão grão 1			0	145,71	0,37				
1	2	1.sSMPABC008	302712,0134	808,89	13,46				
1	2	1.sSMPABC009	302712,0134	1509,21	6,32				
1	2	1.sSMPABC010	302712,0134	637,83	4,42				
Média grão 2			302712,0134	985,31	8,07	15,68	13,01	130125,80	132,07
Desvio Padrão grão 2			0	376,98	3,89				
1	3	1.sSMPABC011	302712,0134	393,86	6,35				
1	3	1.sSMPABC012	302712,0134	745,04	4,63				
1	3	1.sSMPABC013	302712,0134	1710,04	6,06				
Média grão 3			302712,0134	949,65	5,68	15,62	12,96	129627,71	136,50
Desvio Padrão grão 3			0	556,46	0,75				
2	4	1.sSMPABC014	302712,0134	0,00	0,00				
2	4	1.sSMPABC015	302712,0134	87,49	0,55				
2	4	1.sSMPABC016	302712,0134	1030,98	4,60				
Média grão 4			302712,0134	372,82	1,72	15,03	12,47	124743,67	334,59
Desvio Padrão grão 4			0	466,76	2,05				

Ponto	Grão	Pontos ICP	Si29 (ppm)	Rb85 (ppm)	Cs133 (ppm)	K2O (%)	K (%)	K (ppm)	K/Rb
2	5	1.sSMPABC017	302712,0134	107,69	0,00				
2	5	1.sSMPABC018	302712,0134	99,98	0,95				
2	5	1.sSMPABC019	302712,0134	174,54	1,84				
2	5	1.sSMPABC020	302712,0134	455,98	3,95				
Média grão 5			151419,7081	64,17	0,93	15,51	12,88	128783,72	2007,01
Desvio Padrão grão 5			0	145,20	1,46				
2	6	1.sSMPABC025	302712,0134	89,71	0,69				
2	6	1.sSMPABC026	302712,0134	184,12	5,11				
2	6	1.sSMPABC027	302712,0134	92,64	3,54				
Média grão 6			302712,0134	136,92	2,90	0,44	0,36	3611,15	26,37
Desvio Padrão grão 6			0	43,83	1,83				
2	7	1.sSMPABC028	302712,0134	0,00	0,00				
2	7	1.sSMPABC029	302712,0134	0,00	33,88				
2	7	1.sSMPABC030	302712,0134	56,83	1,94				
Média grão 7			302712,0134	18,94	11,94	0,80	0,66	6641,19	350,56
Desvio Padrão grão 7			0	26,79	15,53				
3	8	1.sSMPABC031	302712,0134	0,00	0,00				
3	8	1.sSMPABC032	302712,0134	44,48	14,25				
3	8	1.sSMPABC033	302712,0134	761,52	23,52				
Média grão 8			302712,0134	22,24	7,12	15,77	13,09	130886,77	5884,87
Desvio Padrão grão 8			0	348,97	9,67				

Ponto	Grão	Pontos ICP	Si29 (ppm)	Rb85 (ppm)	Cs133 (ppm)	K2O (%)	K (%)	K (ppm)	K/Rb
3	9	1.sSMPABC034	302712,0134	12,70	0,00				
3	9	1.sSMPABC035	302712,0134	2452,65	4,84				
3	9	1.sSMPABC036	302712,0134	367,78	2,12				
Média grão 9			302712,0134	1232,67	2,42	15,33	12,73	127261,78	103,24
Desvio Padrão grão 9			0	1076,32	1,98				
3	10	1.sSMPABC037	302712,0134	516,95	3,22				
3	10	1.sSMPABC038	302712,0134	8739,98	8,22				
3	10	1.sSMPABC039	302712,0134	0,00	15,38				
3	10	1.sSMPABC040	302712,0134	89,99	0,00				
Média grão 10			302712,0134	2336,73	6,71	14,99	12,44	124439,28	53,25
Desvio Padrão grão 10			0	3702,07	5,80				
4	11	1.sSMPABC041	302712,0134	97,52	0,00				
4	11	1.sSMPABC046	302712,0134	30,78	47,47				
4	11	1.sSMPABC047	302712,0134	0,00	0,00				
Média grão 11			302712,0134	42,77	15,82	15,58	12,93	129309,48	3023,64
Desvio Padrão grão 11			0	40,71	22,38				

O gráfico K/Rb *versus* Cs tem sido frequentemente usado como um dos melhores indicadores da evolução do pegmatito (Černý *et al.* 1985, Tang *et al.* 2018, Liu *et al.* 2023). Os valores obtidos para Cs incluem um intervalo muito amplo (0,93–15,82 ppm) (Tabela 5.9) que permite diferenciar em um grupo de pegmatitos, que é muito menos evoluída, próxima do campo dos granitos. À medida que a razão K/Rb diminui, os teores de Cs aumentam (sentido da seta), indicando o grau de fracionamento geoquímico do K-feldspato, os pontos analisados (1 a 4) correspondem pegmatito estéreis, de acordo com a Figura 5.26.

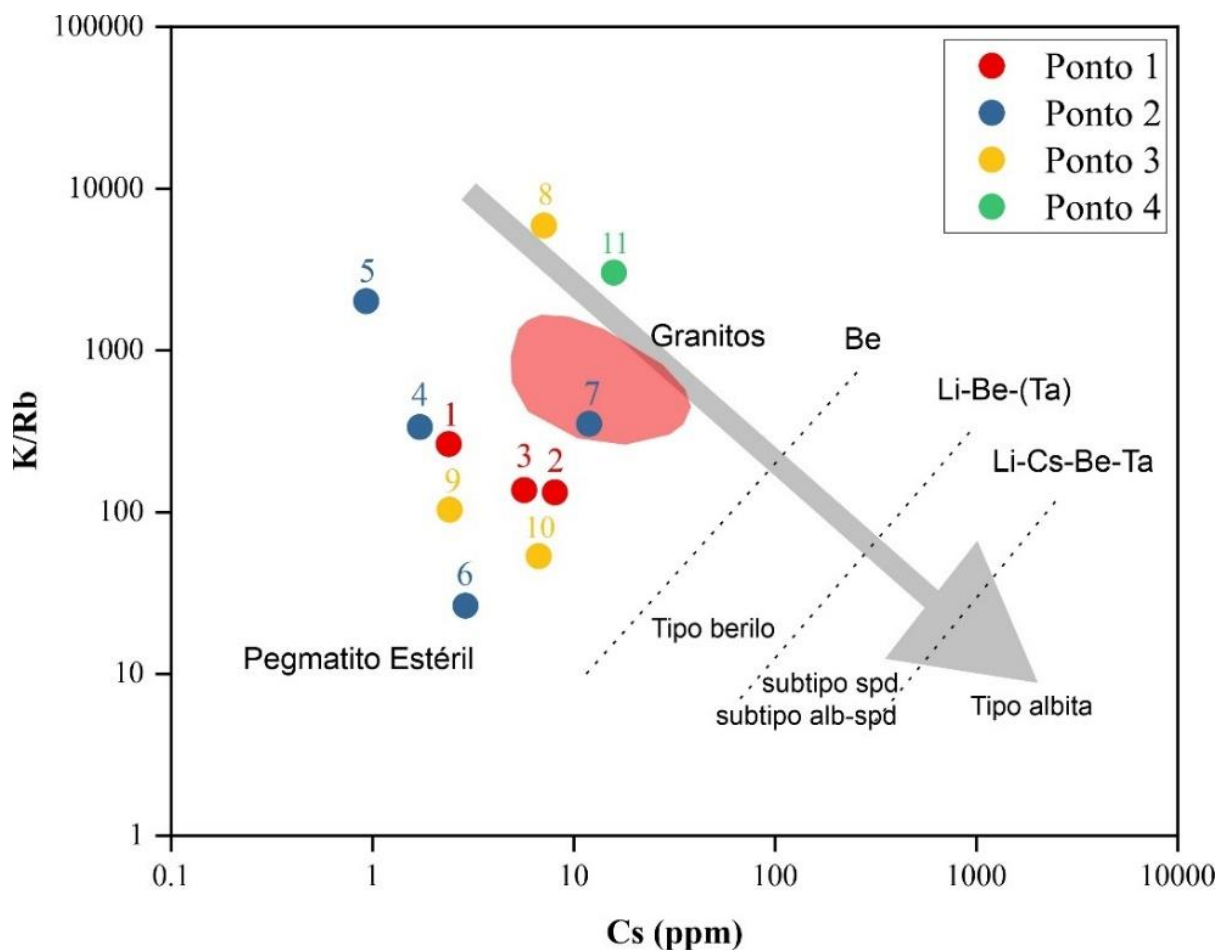


Figura 5.26: Diagrama K/Rb versus Cs (%). As numerações dentro do gráfico são referentes aos números de grãos e o padrão de cores é referente ao ponto de localização do pegmatito (Adaptado Tang *et al.* 2018).

CAPÍTULO 6

DISCUSSÕES

O mineral escolhido para este trabalho faz parte da composição de todos os pegmatitos e junto com o quartzo, são aqueles que tem relação química com a gênese e o ambiente pegmatítico em que se formaram.

Os pegmatitos estudados dentro com CIVA possuem composição granítica, com quartzo, k-feldspato e biotita. Segundo London (2018) a grande maioria dos pegmatitos tem composição granítica. Por definição, isso significa que o quartzo e o feldspato compreendem maior ou igual a 80% do volume da rocha. Nos pegmatitos comuns, o quartzo e o feldspato constituem quase 100% da rocha, com apenas pequenas quantidades de micas, granada, turmalina, apatita.

No ponto 1 (Amostra C), foi observada textura gráfica, que é uma textura de rocha ígnea em que ocorre crescimento entre dois minerais possuindo a aparência de escrita rúnica. As rochas que contêm abundantes texturas gráficas podem ser descritas como granofíricas. Segundo London (2018) a textura gráfica é mais frequentemente intercrescimentos de quartzo e feldspato alcalino, em que o quartzo aparece como inclusões em forma de V envolvidas pelo feldspato, sugerindo que têm origem na cristalização simultânea de fases de uma fusão de silicatos na presença de uma fase fluida hidratada.

Ao analisar os feldspatos do contato do pegmatito com a rocha encaixante (Lâmina P5A36C) foi identificada a microtextura pertítica. Segundo Černý *et al.* (2003) feldspatos alcalinos que exibem textura pertítica grossa geralmente, mas nem sempre, são microclina.

A textura pertítica surge quando lamelas de albita se separam do hospedeiro K-feldspato. Essa separação não apenas implica a migração de Na e K em distâncias até milímetros dentro de um cristal sólido, mas também o desenvolvimento de limites de cristal em movimento. Nesse processo, a recristalização de todo o feldspato é tão completa que a maioria dos Al se torna totalmente ordenada em um dos locais T (tetraédrica), o que o torna, o feldspato hospedeiro, a microclina (London 2018).

De acordo com London (2018) na maioria dos pegmatitos, o plagioclásio sódico e o feldspato alcalino cristalizam simultaneamente do início ao fim. A distribuição de Na, Ca e K entre esses feldspatos varia principalmente em função da temperatura. Esses componentes do feldspato podem ser medidos com facilidade e precisão, e várias calibrações experimentais de suas composições coexistentes fornecem geotermômetros independentemente formulados e consistentes.

London *et al.* (2012) em estudos experimentais definiram a termometria do feldspato que aponta para temperaturas próximas a $425^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ para a cristalização inicial de feldspatos e $325^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ para o final da exsolução das lamelas de albita em pertita. Com isso, podemos inferir que a temperatura inicial de cristalização dos feldspatos está por volta de 425°C e que ao chegar em 325°C deu-se a formação de pertitas.

A sequência da cristalização do feldspato (isto é, o plagioclásio primeiro ou o feldspato alcalino primeiro) surge mais uma vez das diferenças no calor liberado durante a cristalização (London e Morgan 2017). O plagioclásio com anortita baixa (cerca de An 10-15), que é típico do feldspato formado nos pegmatitos, libera um pouco mais de calor após a cristalização do que o feldspato alcalino. Isso faz do plagioclásio o feldspato energeticamente favorecido para se formar primeiro. Na ausência dessa pequena quantidade de cálcio, o feldspato de potássio é favorecido energicamente sobre a albita pura (London 2018). Os feldspatos dos pegmatitos do CIVA têm o predomínio da formação do feldspato alcalino.

Na borda do grão 2, ocorre um outro mineral diferente, que é perceptível pela diferença na cor cinza da fotomicrografia da Figura 5.12 A e a sua química é basicamente de SiO_2 (54,40%) e Al_2O_3 (45,60%) (*Spectrum* 50;

Tabela 5.1), que foi identificado como mulita. Segundo Herculano (2007) a mulita é a única fase cristalina intermediária estável no sistema binário Al_2O_3 - SiO_2 , que pode ser obtida pela calcinação de minerais alumino-silicatos, que contém sílica e alumina em suas estruturas, mas com nível de impurezas considerável.

K-feldspato, albita, quartzo e muscovita são os principais minerais graníticos formadores de pegmatitos e seus atributos de composição refletem informações valiosas relacionadas a (i) características petrogenéticas (Trueman & Černý 1982); (ii) tendências de evolução geoquímica em depósitos cogenéticos (Shearer *et al.* 1985); e (iii) seu potencial econômico (Tang *et al.* 2018).

A Figura 6.1 mostra a comparação dos feldspatos do CIVA (pontos 1 a 4; amostras 1 a 11) em relação a outros dados de química de feldspatos de pegmatitos do Espírito Santo (Fazenda Concórdia e São Domingos; Costa *et al.* 2020) com feldspatos do Campo Marilac do Distrito Pegmatítico de Governador Valadares, em Minas Gerais (Gandini 1999) e do pegmatito de Tanco (Brown *et al.* 2017). Os feldspatos do CIVA estão próximo da fonte granítica e dos dados do São Domingos. Segundo Costa *et al.* (2020) o pegmatito São Domingo possui baixo grau de fracionamento geoquímico, sendo mineralizado apenas em feldspato para uso industrial (vidreira e cerâmica 2°C).

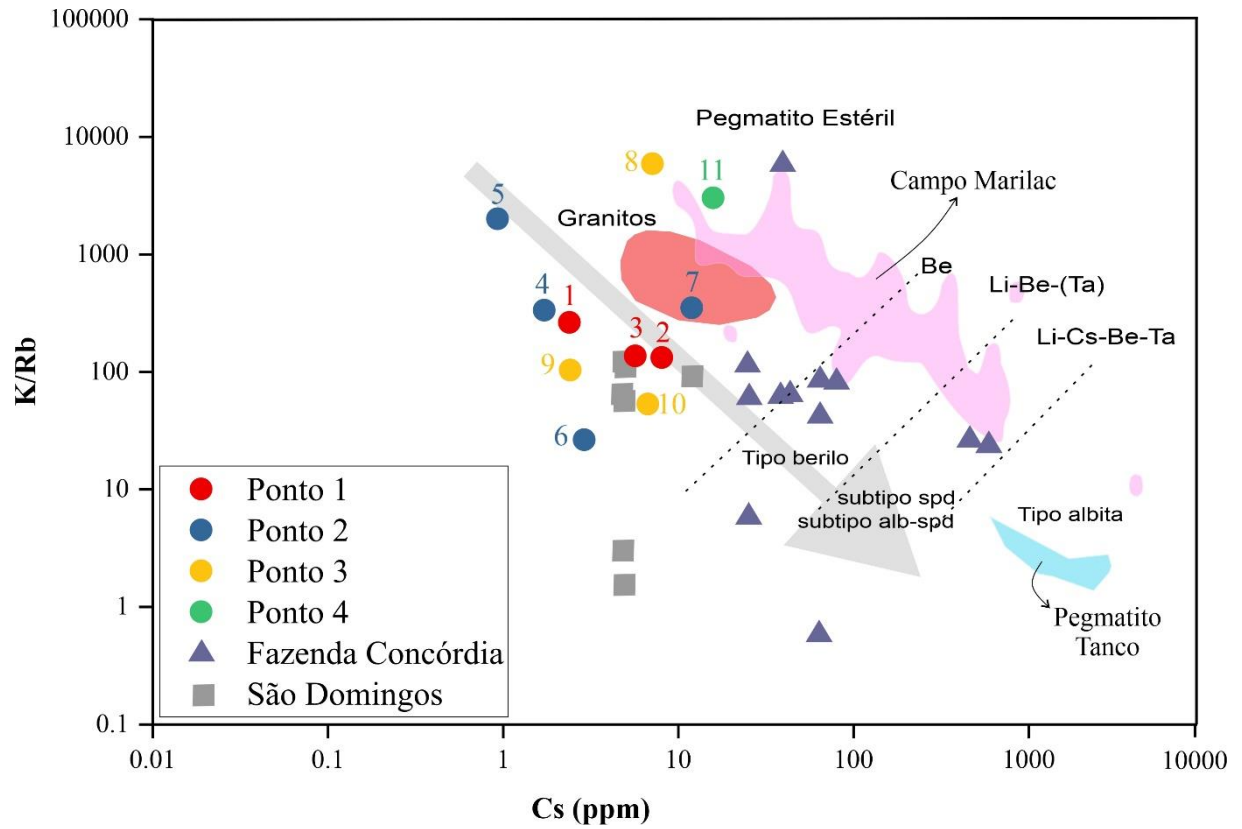


Figura 6.1: Comparação entre os feldspatos desta pesquisa (pontos 1 a 4) em relação a feldspatos dos pegmatitos Fazenda Concórdia e São Domingos (Costa *et al.* 2020), feldspatos do Campo Marilac (Gandini 1999) e do pegmatito Tanco (Brown *et al.* 2017). Adaptado Costa *et al.* 2020; Tang *et al.* 2018.

Paiva, L.S. 2023. Análise química de feldspato dos pegmatitos...

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

Os feldspatos analisados do CIVA são classificados como feldspatos alcalinos (microclina/ortoclásio) com albita.

Com as informações sobre a química e texturas do feldspato, podemos concluir as seguintes informações sobre os pegmatitos:

- Com a textura gráfica têm origem na cristalização simultânea de fases de uma fusão de silicatos na presença de uma fase fluida hidratada;
- O fluido durante a cristalização do pegmatito não possuía cálcio suficiente para a formação de plagioclásio primeiro, com isso o feldspato potássico foi favorecido;
- Os pegmatitos analisados estão na faixa dos estéreis e alguns estão no limite da faixa de fracionamento de berílio, que ao cristalizar formam as águas-marinhas;
- Os feldspatos do CIVA estão próximos da fonte granítica.

Paiva, L.S. 2023. Análise química de feldspato dos pegmatitos...

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aarão, G.M. 2015. *Caracterização mineralógica e tecnológica de feldspatos piroexpansíveis de pegmatitos do distrito de Conselheiro Pena, MG*. Dissertação de Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 132 f.
- Alkmin F.F., Marshak S., Pedrosa-Soares A.C., Peres G.G., Cruz S.C.P., Whittington A. 2006. Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo Orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. *Precambrian Research*, **149**: 43-64.
- Alkmin F.F., Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M., Cruz S.C.P. 2007. Sobre a evolução tectônica do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. *Geonomos*, **15**: 25-43.
- Branco, P.M. 2014. *Dicionário de mineralogia e gemologia*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Benitez, L., Chaves, M.L.S.C., Vieira, V.S., Silva, S.M. 2012. *Depósitos de minerais gemológicos no Estado do Espírito Santo*. In: Congresso Brasileiro De Geologia (Vol. 46).
- Brown, J. A., Martins, T., & Černý, P. 2017. The Tanco Pegmatite At Bernic Lake, Manitoba. Xvii. Mineralogy and Geochemistry of Alkali Feldspars. *The Canadian Mineralogist*, **55(3)**: 483–500.
- Černý, P., Galliski, M.A., Oyarzabal, J.C., Teertstra, D.K., Chapman, R., MacBride, L., Ferreira, K. 2003. Stranded and equilibrated assemblages of late feldspars in two granitic pegmatites in the Pampean Ranges, Argentina. *Canadian Mineralogist*. **41**: 1013–26.
- Černý, P., Chapman, R. 1984. Paragenesis, chemistry and structural state of adularia from granitic pegmatites. *Bulletin de Mineralogie*. **107**: 369–84.
- Černý, P. 1991a. Fertile granites of Precambrian rare-element pegmatite fields: is geochemistry controlled by tectonic setting or source lithologies? *Precambrian Research*. **51(1–4)**: 429–468.
- Černý, P. 1991b. Rare-element Granitic Pegmatites. Part I: Anatomy and Internal Evolution of Pegmatite Deposits. *Geoscience Canada*. **18(2)**: 49–67.
- Černý, P. 1991c. Rare-element Granitic Pegmatites. Part II: Regional to Global Environments and Petrogenesis. *Geoscience Canada*.
- Černý, P., London, D., Novák, M. 2001. Granitic pegmatites as reflections of their sources. *Elements*, **8(4)**: 289-294.
- Correia Neves, J.M.; Pedrosa-Soares, A.C., Marciano, V.R.P.R.O. 1986. A Província Pegmatítica Oriental do Brasil à luz dos conhecimentos atuais. *Revista Brasileira de Geociências*. **16(1)**: 106-118.
- Costa, F.C, Scholz, R., de Abreu Marques, R., Nascimento Queiroga, G., de Castro, M. P. 2020. Geoquímica de Feldspato, Mica, Berilo e Turmalina e Geocronologia U-Pb em Monazita dos Pegmatitos

Fazenda Concórdia e São Domingos-Espírito Santo, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, **43(3)**: 1-22.

Dedavid, B.A., Gomes, C.I., Machado, G. 2007. *Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores*. EdPUCRS. 60p.

Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. 2013. *An introduction to the rock-forming minerals*. Mineralogical Society of Great Britain and Ireland.

Duarte, L.D.C., Juchem, P.L., Pulz, G.M., Brum, T.M.M.D., Chodur, N. L., Liccardo, A., Acauan, R.B. 2003. Aplicações de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e sistema de energia dispersiva (EDS) no estudo de gemas exemplos brasileiros. *Pesquisas em Geociências*. **30(2)**: 3-15.

Heilbron, M., Pedrosa-soares, A.C., Carlos, L., Allard, R., Trouw, J. 2004. Província Mantiqueira. In *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida* (pp. 203–234). Beca.

Herculano, G.E.G.C. *Estudo de soluções sólidas da mulita: fabricação e propriedades*. 2007. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 155 f.

Gandini, A.L. 1999. *Aspectos da mineralogia, geoquímica, gêneses e potencialidade econômica do Campo Pegmatítico de Marilac, Minas Gerais* [Tese de Doutorado]. Universidade de São Paulo.

Liu, Y., Qin, K., Zhao, J., Zhou, Q., Shi, R., He, C., Gao, Y. 2023. Feldspar traces mineralization processes in the Qongjiagang giant lithium ore district, Himalaya, Tibet. *Ore Geology Reviews*, **157**: 1-20.

London, D. 2008. *Pegmatites*. Canadian Mineralogist – special publication.

London, D. 2018. Reading Pegmatites: Part 4 – What Quartz and Feldspars Say. *Rocks & Minerals*, **93(4)**: 320-336.

London, D., Morganvi, G.B., Paul, K.A., & Guttery, B.M. 2012. Internal Evolution of Mirolitic Granitic Pegmatites at the Little Three Mine, Ramona, California, USA. *The Canadian Mineralogist*, **50(4)**: 1025–1054.

London, D., Morgan G. B. 2017. Experimental crystallization of the Macusani obsidian, with applications to lithium-rich granitic pegmatites. *Journal of Petrology*. **58**: 1005–30.

Nölte, J. 2003. *ICP Emission Spectrometry: A Practical Guide*. Weinheim: Willey-VCH, 267 p.

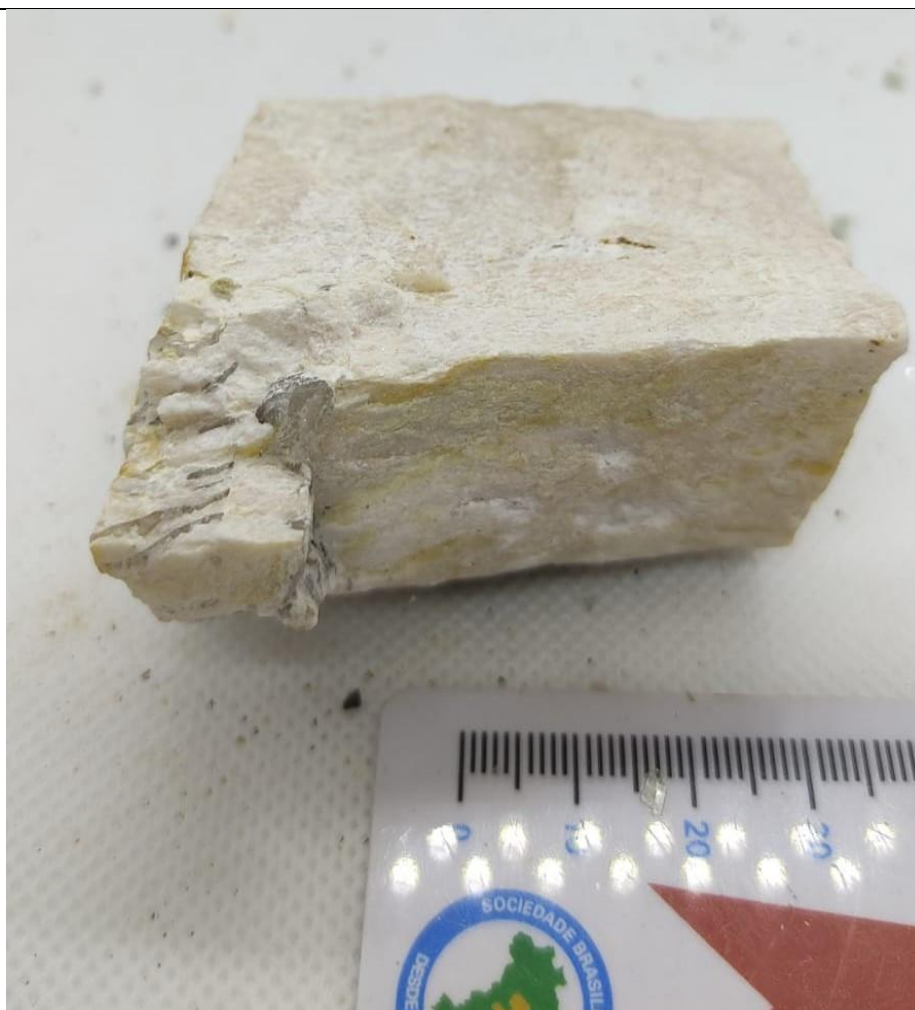
Paiva, G. 1946. *Província Pegmatítica do Brasil*.

Pedrosa-Soares, A.C., & Wiedemann-Leonardos, C.M. 2000. Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, Eastern Brazil. In U. G. Cordani, E. J. Milani, A. Thomaz Filho, & D. A. Campos (Eds.). *Tectonic Evolution of South America* (pp. 265–285). SBG

- Pedrosa-Soares, A. C., Noce, C. M., Wiedemann, C. M., Pinto, C. P. 2001. The Araçuaí-West-Congo Orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. *Precambrian Research*. **110(1-4)**: 307-323.
- Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M., Alkmim F.F., Silva L.C., Babinski M., Cordani U., Castañeda C. 2007. Orógeno Araçuaí: Síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. *Geonomos*. 15: 1-16.
- Pedrosa-Soares, A.C., Campos, C.P. de, Noce, C., Silva, L.C., Novo, T., Roncato, J., Medeiros, S., Castañeda, C., Queiroga, G., Dantas, E., Dussin, I., Alkmim, F. 2011. Late Neoproterozoic-Cambrian granitic magmatism in the Aracuai orogen (Brazil), the Eastern Brazilian Pegmatite Province and related mineral resources. *Geological Society, London, Special Publications*. **350(1)**: 25–51.
- Potratz, G.L.; Marques, R.A.; Nogueira, C.C. Mapeamento faciológico do Complexo Intrusivo de Várzea Alegre - ES, na escala de 1:50.000. In: Oliveira, F.B.; Marques, R.A.; Candotti, C. 2018. Mapeamento geológico e geologia regional, Alegre, CCA-UFES, **1**: 21-34.
- Potratz, G. L. 2020. Petrogênese e geocronologia U-Pb do Granito Sana, Faixa Ribeira, e dos Complexos Intrusivos de Santa Angélica e Várzea Alegre, Faixa Araçuaí. Tese de Doutorado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 256p.
- Putzer, H. 1976. *Metallogenetische provinzen in suedamerika*. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Schobbenhaus, C., Almeida, C.D., Derze, G. R., Asmus, H. E. 1984. *Geologia do Brasil - Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais - Escala 1:2. 500.00*. Ministério das Minas Energia/DNPM.
- Shearer, C.K., Papike, J.J., & Laul, J.C. 1985. Chemistry of potassium feldspars from three zoned pegmatites, Black Hills, South Dakota: Implications concerning pegmatite evolution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. **49(3)**, 663–673.
- TAUFNER, I. *A Pedra da Onça: Jazidas, lavras e garimpos no Espírito Santo (Memórias II)*. Grafitusa, Vitória, p. 27-54
- Tang, Y., Wang, H., Zhang, H., Lv, Z. H. 2018. K-feldspar composition as an exploration tool for pegmatite-type rare metal deposits in Altay, NW China. *Journal of Geochemical Exploration*. **185**: 130–138.
- Trueman, D. L., & Černý, P. (1982). Exploration for rare-element granitic pegmatites. In *Granitic pegmatites in science and industry* (Short Cour, pp. 463–464). Mineralogical Association of Canada.
- Wise, M. A., Müller, A., Simmons, W. B. 2022. A proposed new mineralogical classification system for granitic pegmatites. *The Canadian Mineralogist*. **60(2)**: 229-248.

APÊNDICES

Descrição Macroscópicas



PONTO 01	Amostra A
Alteração:	Intempérica
Cor:	Bege à esbranquiçada
Textura:	Holocristalina, inequigranular fanerítica
Granularidade:	Fina à média
Estrutura:	Maciça
Minerais:	Predominantemente quartzo e feldspato
Outras observações:	-
Classificação:	Pegmatito



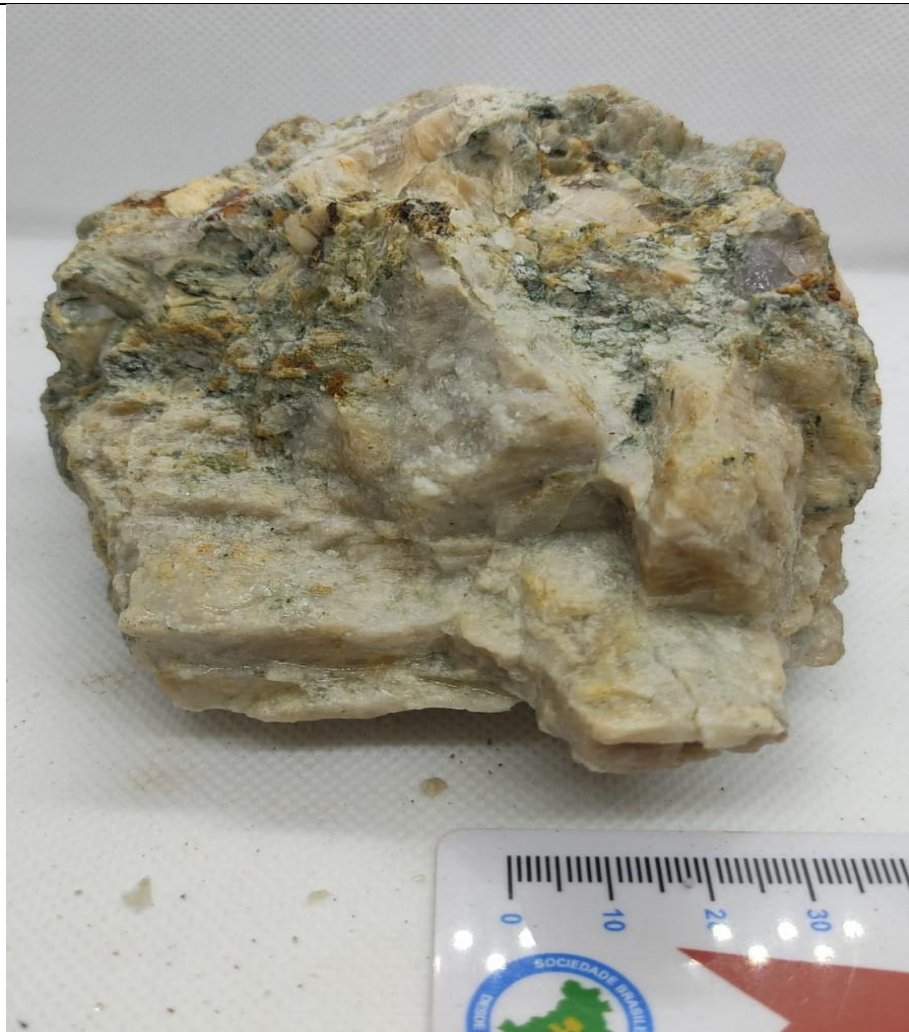
PONTO 01	Amostra B
Alteração:	Intempérica
Cor:	Bege à esbranquiçada
Textura:	Holocristalina, inequigranular fanerítica
Granularidade:	Fina à média
Estrutura:	Maciça
Minerais:	Predominantemente quartzo e feldspato
Outras observações:	-
Classificação:	Pegmatito



PONTO 01	Amostra C
Alteração:	Intempérica
Cor:	Bege à esbranquiçada
Textura:	Gráfica
Granularidade:	Média à grossa
Estrutura:	Foliada
Minerais:	Quartzo e feldspato
Outras observações:	-
Classificação:	Pegmatito



PONTO 02	Amostra A
Alteração:	Intempérica
Cor:	Rosada
Textura:	Holocristalina, inequigranular fanerítica
Granularidade:	Fina à média
Estrutura:	Maciça
Minerais:	Predominantemente quartzo e k-feldspato
Outras observações:	-
Classificação:	Pegmatito



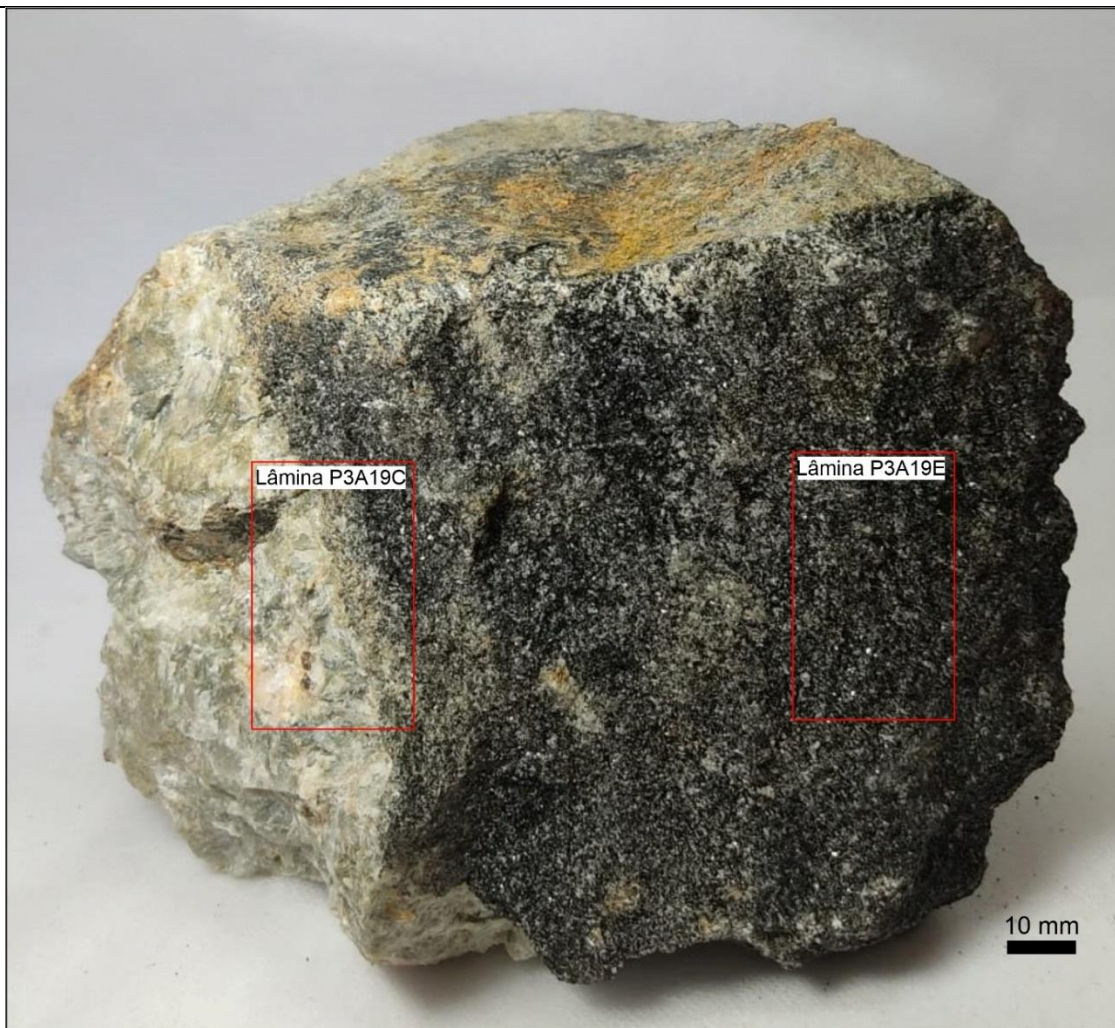
PONTO 02	Amostra B
Alteração:	Intempérica
Cor:	Branca com porções rosadas e esverdeadas
Textura:	Holocristalina, inequigranular fanerítica
Granularidade:	Média à grossa
Estrutura:	Maciça
Minerais:	Quartzo, plagioclásio, mica
Outras observações:	-
Classificação:	Pegmatito



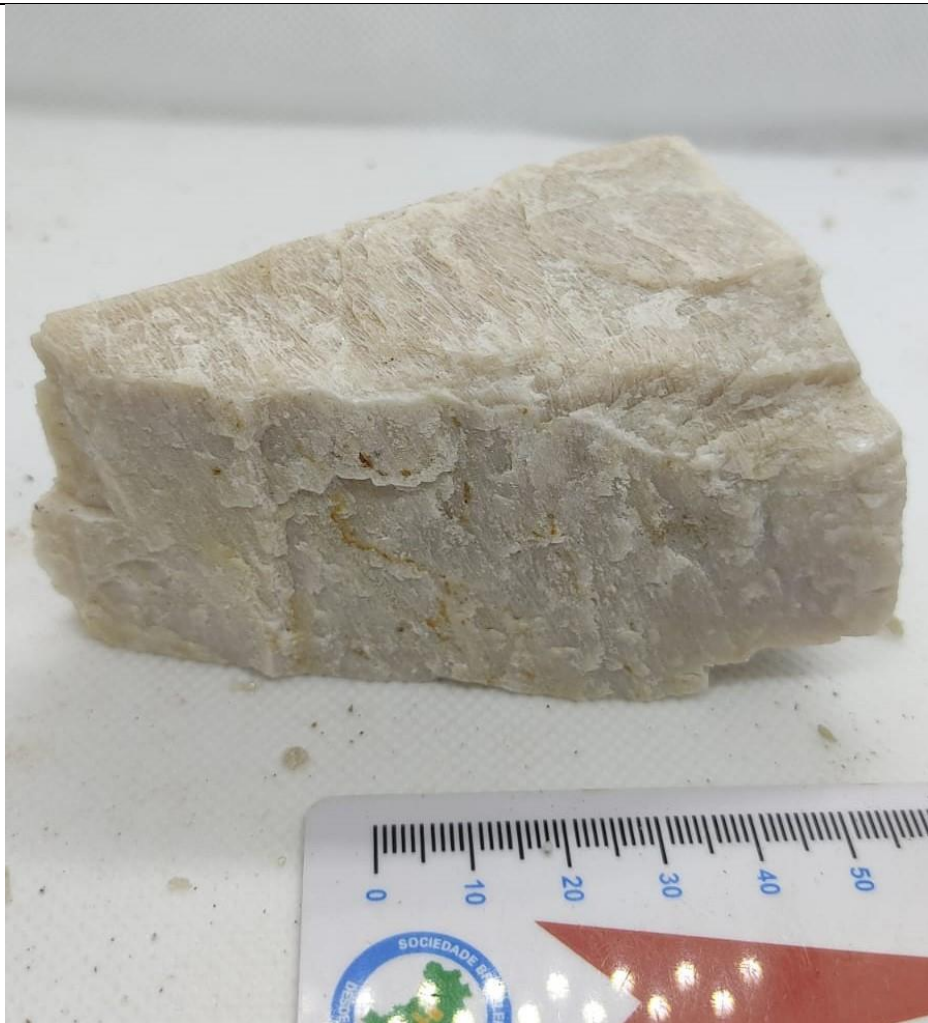
PONTO 02	Amostra C
Alteração:	Intempérica
Cor:	Branca com porções esverdeadas
Textura:	Holocristalina, inequigranular fanerítica
Granularidade:	Média à grossa
Estrutura:	Maciça
Minerais:	Quartzo, plagioclásio, mica
Outras observações:	-
Classificação:	Pegmatito



PONTO 02	Amostra D
Alteração:	Intempérica
Cor:	Esverdeada
Textura:	Holocristalina, inequigranular fanerítica
Granularidade:	Fina à média
Estrutura:	Maciça
Minerais:	Quartzo, feldspato, mica
Outras observações:	-
Classificação:	Pegmatito



PONTO 02	Amostra E
Alteração:	Intempérica
Cor:	A19C: branca com porções verdes A19E: preta
Textura:	Holocrystalina, inequigranular fanerítica
Granularidade:	A19C: grossa A19E: fina à média
Estrutura:	Maciça
Minerais:	Quartzo, feldspato, mica
Outras observações:	-
Classificação:	A19C: Pegmatito A19E: Biotita álcali granito



PONTO 03	Amostra A
Alteração:	Intempérica
Cor:	Branca
Textura:	Holocristalina, inequigranular fanerítica
Granularidade:	Fina à média
Estrutura:	Maciça
Minerais:	Quartzo, feldspato
Outras observações:	-
Classificação:	Pegmatito



PONTO 03	Amostra B
Alteração:	Intempérica
Cor:	Branca
Textura:	Holocristalina, inequigranular fanerítica
Granularidade:	Fina à média
Estrutura:	Maciça
Minerais:	Quartzo, feldspato
Outras observações:	-
Classificação:	Pegmatito



PONTO 03	Amostra C
Alteração:	Intempérica
Cor:	Branca com porções pretas
Textura:	Holocristalina, inequigranular fanerítica
Granularidade:	Fina à média
Estrutura:	Maciça
Minerais:	Quartzo, feldspato, mica
Outras observações:	-
Classificação:	Pegmatito



PONTO 03	Amostra D
Alteração:	Intempérica
Cor:	Preta
Textura:	Holocristalina, inequigranular fanerítica
Granularidade:	Média
Estrutura:	Maciça
Minerais:	Quartzo, feldspato, biotita
Outras observações:	-
Classificação:	Biotita álcali feldspato granito



PONTO 04	Amostra A
Alteração:	Intempérica
Cor:	Branca
Textura:	Holocristalina, inequigranular fanerítica
Granularidade:	Média
Estrutura:	Maciça
Minerais:	Quartzo, k-feldspato, mica
Outras observações:	-
Classificação:	Pegmatito



PONTO 04	Amostra B
Alteração:	Intempérica
Cor:	Porção esquerda: preto e branco - Porção direita: branca rosada
Textura:	Holocrystalina, inequigranular fanerítica
Granularidade:	Média à grossa
Estrutura:	Maciça
Minerais:	Quartzo, k-feldspato, biotita
Outras observações:	-
Classificação:	Biotita granitoide



PONTO 04	Amostra C
Alteração:	Intempérica
Cor:	Preta e branco
Textura:	Holocrystalina, inequigranular fanerítica
Granularidade:	Média
Estrutura:	Maciça
Minerais:	Quartzo, k-feldspato, biotita
Outras observações:	-
Classificação:	Biotita granitoide

Tabela das Fórmulas dos Feldspatos

Grão	Spectrum	Fórmula calculada	Espécie
01	Spectrum 45	$(K_{0,91}Na_{0,08})Si_3Al_1O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 46	$(K_{0,96}Na_{0,05})Si_{2,99}Al_{1,01}O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 47	$(Na_{0,94}Ca_{0,01})Si_{2,99}Al_{1,02}O_8$	Albita
02	Spectrum 48	$(K_{0,91}Na_{0,08})Si_3Al_1O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 49	$(K_{0,94}Na_{0,06})Si_{2,99}Al_{1,01}O_8$	Microclina/Ortoclásio
03	Spectrum 41	$(K_{0,91}Na_{0,07})Si_3Al_1O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 42	$(K_{0,92}Na_{0,05})Si_{2,99}Al_{1,01}O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 43	$(Na_{0,93}Ca_{0,02})Si_{2,99}Al_{1,02}O_8$	Albita
	Spectrum 44	$(K_{0,01}Na_{0,93}Ca_{0,02})Si_{2,99}Al_{1,01}O_8$	Albita
04	Spectrum 37	$(K_{0,87}Na_{0,12})Si_{2,99}Al_{1,01}O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 38	$(K_{0,93}Na_{0,07})Si_{2,99}Al_{1,01}O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 39	$(K_{0,85}Na_{0,15})Si_{2,99}Al_{1,01}O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 40	$(K_{0,01}Na_{0,93}Ca_{0,02})Si_{2,96}Al_{1,03}O_8$	Albita
05	Spectrum 32	$(K_{0,93}Na_{0,07})Si_{2,99}Al_{1,01}O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 33	$(K_{0,92}Na_{0,08})Si_{2,99}Al_{1,01}O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 34	$(K_{0,89}Na_{0,09})Si_{2,99}Al_{1,02}O_8$	Microclina/Ortoclásio
06	Spectrum 18	$(K_{0,02}Na_{0,70}Ca_{0,26})Si_{2,75}Al_{1,25}O_8$	Albita
	Spectrum 19	$(K_{0,03}Na_{0,67}Ca_{0,26})Si_{2,76}Al_{1,24}O_8$	Albita
	Spectrum 20	$(K_{0,03}Na_{0,93}Ca_{0,03})Si_{2,97}Al_{1,03}O_8$	Albita
07	Spectrum 22	$(K_{0,09}Na_{0,81}Ca_{0,02})Si_{2,88}Al_{1,17}O_8$	Albita
	Spectrum 23	$(K_{0,03}Na_{0,68}Ca_{0,26})Si_{2,74}Al_{1,26}O_8$	Albita
	Spectrum 24	$(K_{0,01}Na_{0,87}Ca_{0,01})Si_{2,96}Al_{1,08}O_8$	Albita
	Spectrum 25	$(K_{0,01}Na_{0,82}Ca_{0,14})Si_{2,85}Al_{1,16}O_8$	Albita
	Spectrum 26	$(Ca_8)Si_2Al_2O_8$	Anortita
	Spectrum 27	$(K_{0,0}Na_{0,52}Ca_{0,02})Si_{2,8}Al_{1,42}O_8$	Albita
08	Spectrum 28	$(K_{0,94}Na_{0,06})Si_3Al_1O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 29	$(K_{0,90}Na_{0,07})Si_3Al_{1,01}O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 30	$(K_{0,94}Na_{0,06})Si_{2,99}Al_{1,01}O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 31	$(K_{0,01}Na_{0,88}Ca_{0,06})Si_{2,94}Al_{1,07}O_8$	Albita

Grão	Spectrum	Fórmula calculada	Espécie
09	Spectrum 11	$(K_{0,85}Na_{0,12})Si_{2,98}Al_{1,02}O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 12	$(K_{0,92}Na_{0,06})Si_{2,98}Al_{1,02}O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 13	$(K_{0,22}Na_{0,73}Ca_{0,02})Si_{2,98}Al_{1,03}O_8$	Albita
	Spectrum 14	$(K_{0,95}Na_{0,04})Si_{2,97}Al_{1,04}O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 15	$(K_{0,01}Na_{0,94}Ca_{0,01})Si_{2,99}Al_{1,01}O_8$	Albita
	Spectrum 17	$(K_{0,01}Na_{0,79}Ca_{0,17})Si_{2,84}Al_{1,17}O_8$	Albita
10	Spectrum 5	$(K_{0,85}Na_{0,13})Si_3Al_1O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 6	$(K_{0,79}Na_{0,17})Si_3Al_{1,01}O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 7	$(K_{0,94}Na_{0,06})Si_{2,99}Al_{1,01}O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 8	$(K_{0,01}Na_{0,91}Ca_{0,02})Si_{2,99}Al_{1,03}O_8$	Albita
	Spectrum 10	$(K_{0,93}Na_{0,06})Si_{2,99}Al_1O_8$	Microclina/Ortoclásio
11	Spectrum 1	$(K_{0,05}Na_{0,84}Ca_{0,02})Si_{2,93}Al_{1,12}O_8$	Albita
	Spectrum 2	$(K_{0,93}Na_{0,07})Si_{2,99}Al_1O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 3	$(K_{0,92}Na_{0,07})Si_{2,99}Al_{1,01}O_8$	Microclina/Ortoclásio
	Spectrum 4	$(K_{0,90}Na_{0,09})Si_{2,99}Al_{1,01}O_8$	Microclina/Ortoclásio

