



**Agda Augusta
Almada Gomes**

**Prospecção Geofísica e caracterização de
pegmatitos da região de Ferreira de Aves –
Sátão**



**Agda Augusta
Almada Gomes**

**Prospecção Geofísica e caracterização de
pegmatitos da região de Ferreira de Aves –
Sátão**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica, realizado sob a orientação científica do Doutor Fernando Joaquim Tavares Rocha, Professor Catedrático do Departamento de Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro e do Doutor Manuel João Senos Matias, Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

À minha mãe.

O júri / The jury

Presidente / President

Prof. Doutor Jorge Manuel Girão Medina

Professor Auxiliar do Departamento de Geociências da
Universidade de Aveiro

Vogais/ Committee

**Prof. Doutor João Paulo Pereira de Freitas
Coroado**

Professor Coordenador, Arqueologia, Conservação e
Restauro do Património do Instituto Politécnico de
Tomar

Prof. Doutor Manuel João Senos Matias

Professor Catedrático do Departamento de Geociências
da Universidade de Aveiro (Orientador)

**Agradecimentos /
Acknowledgements**

A todos os que me ajudaram a realizar esta dissertação em especial ao Professor Doutor Fernando Joaquim Tavares Rocha e ao Professor Doutor Manuel João Senos Matias, pela orientação, pelo tempo dispensado em virtude do esclarecimento das minhas dúvidas que foi fundamental para a realização deste trabalho.

Agradeço às Engenheiras Cristina Sequeira, Denise Terroso, Cristiana Costa e Ângela Cerqueira pelo apoio prestado na realização dos ensaios efetuados. Ao Engenheiro João Ribeiro, pelo apoio e esclarecimento de dúvidas durante a saída de campo.

À minha mãe, Maria de Lourdes Vaz Almada, agradeço, por estar sempre presente em todas as circunstâncias, por nunca ter desistido de mim mesmo nos momentos mais críticos e pelo apoio incondicional que sempre me deu. A ela dedico este trabalho.

A todos que direta ou indiretamente me apoiaram durante esta caminhada. Muito obrigada!

Palavra-chave

pegmatitos; feldspato; prospeção geofísica; composição mineralógica; composição química; cerâmica

Resumo

A região de estudo encontra-se localizada no centro de Portugal, e integrada na Zona Centro-Ibérica. Levando em conta a variedade de minerais e elementos raros existentes em rochas pegmatíticas, a prospeção e exploração destes é considerado de grande interesse do ponto de vista económico. Neste caso, o estudo dos pegmatitos tem como principal objetivo, a avaliação dos feldspatos da área em estudo para a indústria cerâmica. O presente trabalho tem como principais objetivos, avaliar a prospeção geofísica e caracterizar os pegmatitos da região de Ferreira de Aves – Sátão. Para o efeito, utilizou-se o método radiométrico para a campanha de prospeção geofísica e, análises químicas (FRX, ICP-MS e SEM), mineralógicas (DRX) e cerâmica, para a caracterização dos minerais constituintes e, averiguar a viabilização do uso destes feldspatos na indústria cerâmica. O método radiométrico utilizado para a prospeção dos pegmatitos demonstrou ser promissor perante a deteção dos mesmos (uma vez que os locais de elevado teor de ^{40}K mostraram ser concordantes com os corpos pegmatíticos assinalados) confirmando assim a sua eficiência na prospeção de pegmatitos. Os resultados das análises de caracterização efetuadas nas amostras de feldspato e micas, demonstraram que os pegmatitos da região em estudo são compostos essencialmente por quartzo, micas (essencialmente moscovite, com algumas partículas de biotite), feldspato potássico (essencialmente microclina) e num dos casos (Quinta da Carrasqueira de Cima II) por plagioclase sódica (essencialmente albite). Os resultados do ensaio cerâmico realizado a 6 amostras demonstraram que as amostras 2, 3 e 4 correspondentes à Quinta da Carrasqueira, Quinta da Carrasqueira de Cima I e Quinta da Corujeirinha, são de grande interesse para a indústria cerâmica, mais concretamente para louças brancas, indicando também num dos casos (amostra 6, da Quinta da Carrasqueira de Cima II) a capacidade para a aplicação em revestimento/pavimento.

Keywords

pegmatites; feldspar; geophysics survey; mineralogical composition; chemical composition; ceramic

Abstract

The study area is located in central Portugal, part of the Central Iberian Zone. Considering the variety of minerals and rare elements in pegmatitic rocks, the exploration and exploitation of these rocks is of economic interest. In this case, the primary objective of pegmatites investigation is the evaluation of feldspars for the ceramics industry. The main objective of this work is to carry out a geophysical survey as well as the characterization of the pegmatites in the region of Ferreira de Aves - Sátão. For this purpose, the radiometric method was used in the exploration campaign. Chemical (XRF, ICP-MS and SEM), mineralogical (XRD) and ceramic tests were used for the characterization of those pegmatites minerals, and for the feldspars viability for ceramic's application. The radiometric method showed a positive response to the detection of the pegmatite bodies (since high ^{40}K values are concordant with the location of pegmatitic bodies). The results of the characterization analysis carried out on feldspar and mica showed that these pegmatites are essentially composed of quartz, mica (mainly muscovite, with some biotite particles), potassium feldspar (essentially microcline) and in one case (Quinta da Carrasqueira de Cima II) sodium plagioclase (essentially albite). The results of the ceramic test carried out on 6 samples showed that samples 2, 3 and 4 from Quinta da Carrasqueira, Quinta da Carrasqueira de Cima I and Quinta da Corujeirinha, are of great interest to the ceramics industry more precisely for whiteware. Sample 6 (Quinta da Carrasqueira de Cima II) also indicates competence for the application in coating / pavement.

Índice

Índice	I
Índice de Figuras	IV
Índice de Tabelas	VII
1. Introdução	1
1.1. Objetivos.....	2
1.2. Estrutura e Organização da dissertação	3
1.3. Importância dos jazigos Pegmatíticos em Portugal.....	4
1.4. Importância e aplicação do feldspato nas indústrias	5
1.5. Pegmatitos	7
1.5.1.1. Composição química e mineralógica.....	7
1.5.1.2. Génese	8
1.5.1.3. Classificação	8
2. Enquadramento da área em estudo	13
2.1. Enquadramento Geográfico	13
2.2. Enquadramento Geomorfológico	15
2.3. Enquadramento Geológico	15
2.3.1. Tectónico e domínios estruturais	15
2.3.1.1. Maciço Ibérico ou Hespérico.....	16
2.3.1.2. Zona Centro-Ibérica (ZCI)	17
2.3.2. Contexto Geológico regional e local	19
2.4. Pegmatitos da região de estudo	20
3. Materiais e métodos.....	25
3.1. Prospeção Geofísica	25
3.1.1. Princípio da radioatividade.....	25
3.1.2. Decaimento radioativo.....	26
3.1.3. Aplicação da radioatividade em Geologia e Prospeção Mineira.....	27
3.1.4. Radioatividade nas rochas	28
3.1.5. Cintilómetro.....	30
3.1.6. Aquisição de dados	32
3.1.7. Processamento de dados	33
3.2. Caracterização Química e mineralógica	34
3.2.1. Amostragem.....	34

3.2.2. Preparação das amostras	35
3.2.3. Análise química	35
3.2.3.1. Perda ao rubro ou perda de peso por calcinação (LOI)	35
3.2.3.2. Espectrometria de Fluorescência de raios-X (FRX).....	36
3.2.3.3. Análise de espectrometria de massas com plasma indutivo acoplado (ICP-MS)	38
3.2.3.4. Análise Microscópica (SEM)	38
3.2.3.5. Cálculo da fórmula cristalóquímica.....	39
3.2.4. Análise mineralógica	40
3.2.4.1. Difração de raios-X (DRX)	40
3.2.4.2. Separação por sedimentação – Lei de Stokes	42
3.2.4.3. Análise semiquantitativa.....	43
3.3. Ensaio cerâmico.....	44
3.3.1. Ensaio de fusibilidade	44
4. Resultados e Discussão.....	47
4.1. Prospecção Geofísica	47
4.1.1. Quinta da Carrasqueira de Baixo	48
4.1.2. Quinta da Carrasqueira	48
4.1.3. Quinta da Carrasqueira de Cima I	48
4.1.4. Quinta da Corujeirinha	48
4.1.5. Poço Palheiros (Cima e Baixo).....	49
4.1.6. Quinta da Carrasqueira de Cima II	49
4.1.7. Pinheiro.....	49
4.2. Caracterização química e mineralógica	55
4.2.1. Análise química (FRX) – fração total.....	55
4.2.2. Análise mineralógica (DRX) – fração total	57
4.2.2.1. Análise semiquantitativa.....	57
4.2.3. Análise mineralógica (DRX) da fração < 2 µm.....	58
4.2.3.1. Análise semiquantitativa da fração < 2µm	58
4.2.4. Análise química (FRX) – Micas	60
4.2.4.1. Análise ICP-MS.....	61
4.2.5. Análise mineralógica (DRX) – Micas	61
4.2.6. Análise microscópica – SEM.....	62
4.2.6.1. Porta-amostras 1	62

4.2.6.2. Porta-amostras 2	64
4.2.6.3. Fórmula cristalográfica.....	66
4.3. Ensaio cerâmico.....	68
4.3.1. Ensaio de fusibilidade.....	68
4.3.1.1. Escorrimento.....	68
4.3.1.2. Grau de brancura e contaminação	70
5. Conclusões.....	75
5.1. Propostas para trabalhos futuros.....	76
Referências bibliográficas	79
Anexo 1 – Pegmatitos da região de estudo.....	87
Anexo 2 – Elementos traços dos feldspatos e micas	93
Anexo 3 – Análises químicas EDS.....	97
Anexo 4 – Cálculo da fórmula cristalográfica	103
Anexo 5 – Difratogramas obtidos da análise DRX.....	107
Difratogramas da fração < 2 μ m.....	108
Difratogramas das amostras de micas	110

Índice de Figuras

Figura 1. Representação dos principais campos pegmatíticos existentes no território Nacional, bem como as principais reservas de lítio existentes em corpos pegmatíticos. Extraído de Carvalho e Farinha (2004).	4
Figura 2. Campos de P-T das rochas hospedeiras regionais onde hospedam os pegmatitos graníticos das diferentes classes: Pegmatitos Abissais (AB); Pegmatitos Moscovíticos (MS); Pegmatitos Moscovíticos de elementos raros (MSREL); Pegmatitos de elementos raros (REL); Pegmatitos Miarolíticos (MI). As setas indicam a tendência regional de fracionamento dos pegmatitos em relação à classe metamórfica das rochas hospedeiras. Domínios de estabilidade dos aluminossilicatos polimorfos (Distena, Silimanite e Andaluzite), campos dos aluminossilicatos de Lítio (Espodumena (spd) e Petalite (pet)). Adaptada de Černý e Ercit, (2005).	9
Figura 3. Localização geográfica da área em estudo.	13
Figura 4. Localização dos corpos pegmatíticos da área em estudo.	14
Figura 5. Divisão do Maciço Ibérico proposto por: (A) - Lotze (1945): KZ – Zona Cantábrica; WLZ – Zona Asturoccidental-Leonesa; GKZ – Zona Galaico–Castelhana; OAZ – Zona Luso-Oriental-Alcúdice; OMZ – Zona de Ossa-Morena; SPZ - Zona Sul-Portuguesa. (B) - Julivert et al. (1974): CZ – Zona Cantábrica; WLZ – Zona Asturoccidental-Leonesa; CIZ – Zona Centro-Ibérica; OMZ – Zona de Ossa-Morena; SPZ – Zona Sul-Portuguesa; Py – Pireneus; D – Serra da Demanda; IC – Cadeias Ibéricas; CCR – Cordilheira Catalã; P – Batólito de Pedroches; B-C – Zona de cisalhamento Badajoz- Córdoba. Extraído de Costa (2006).	16
Figura 6. Divisão do Maciço Ibérico por Farias et al. (1987).	17
Figura 7. Representação da divisão do Maciço Ibérico e subdivisão da ZCI em domínios. Extraído de Martínez Catalán, Arenas e Diez Balda (2004).	18
Figura 8. Enquadramento geológico da área em estudo. Extraído de Azevedo e Aguado (2013). - Localização aproximada da área em estudo.	19
Figura 9. Carta Geológica da área em estudo, adaptado da carta geológica, folha 14-D, Aguiar da Beira, à escala 1:50000. - Localização aproximada da área de estudo. Extraído de Costa (2011).	20
Figura 10. Amostra de feldspato potássico com ocorrência de cristais de moscovite e quartzo leitoso. Amostra colhida na pedreira da Quinta de Carrasqueira de Cima I.	22
Figura 11. Variação da concentração do U, Th e K em rochas ígneas, com o teor em Si. Adaptado de Dickson e Scott (1997).	29
Figura 12. Espectro da radiação gama de Potássio, Tório, Urânio e da medição da contagem total das radiações gama emitidas. Adaptado de IAEA, (2003).	30
Figura 13. Cintilómetro RS-230 BGO.	31
Figura 14. Representação da localização dos corpos pegmatíticos assinalados em Dinis (1999), e dos pontos de medição da concentração dos radioisótopos.	32
Figura 15. Esquema representativo da preparação das amostras.	35
Figura 16. Procedimento experimental para a determinação da perda ao rubro.	36

Figura 17. Procedimento experimental para a execução de um disco prensado.	37
Figura 18. Procedimento experimental para a execução de um disco fundido.	37
Figura 19. Amostras usadas para a análise microscópica. Os números dentro do porta-amostras, indicam a referência de cada ponto de amostragem e os números fora do porta-amostras indicam a sequência de análise de cada porta-amostras.	39
Figura 20. Princípio da difração de raio-X numa estrutura cristalina.	41
Figura 21. Procedimento experimental para a execução da técnica da difração de raios-X.	42
Figura 22. Procedimento experimental para a execução da lei de Stokes.	42
Figura 23. Representação das medidas da concentração do K (%) obtidas ao longo dos perfis de medições.	50
Figura 24. Equivalente a figura 23 para a concentração de U (ppm).e Th (cps).	51
Figura 25. Equivalente a figura 23 para a radiação total (cps) e no mapa topográfico (em baixo).	52
Figura 26. Equivalente figura 23, para a concentração do U(ppm) e Th (ppm), na carta topográfica.	53
Figura 27. Resultados da análise semiquantitativa da amostra total.	57
Figura 28. Resultados da análise semiquantitativa da fração < 2µm.	58
Figura 29. Amostras analisadas no porta-amostras 1.	62
Figura 30. Imagens das amostras A e B do ponto 2, obtida a partir do SEM.	63
Figura 31. Imagem obtida para a amostra do ponto 3. +: indica os pontos onde foram feitas as análises químicas (EDS).	63
Figura 32. Representação das amostras analisadas, no porta-amostras 2.	64
Figura 33. Imagem representativa das amostras analisadas do ponto 6 à esquerda e 7 à direita. +: indica os pontos onde foram efetuadas as análises químicas.	64
Figura 34. Imagem representativa das amostras analisadas do ponto 1. À esquerda encontra-se representada a amostra C e à direita, a amostra D (ver Figura 28).	65
Figura 35. Resultado da análise de escorrimento das amostras 2, 3 e 4.	69
Figura 36. Resultado do ensaio de escorrimento das amostras 5 e 1.	69
Figura 37. Resultado do ensaio de escorrimento da amostra 6.	69
Figura 38. Resultado da avaliação qualitativa do grau de brancura e contaminação das amostras 2, 3 e 4.	70
Figura 39. Resultado da avaliação qualitativa do grau de brancura e contaminação das amostras 1 e 5.	70
Figura 40. Resultado da avaliação qualitativa do grau de brancura e contaminação da amostra 6.	71
Figura 41. Pegmatito da Quinta da Carrasqueira de Baixo.	87
Figura 42. Pegmatitos da Quinta da Carrasqueira.	87
Figura 43. Corpo pegmatítico da Quinta da Carrasqueira de Cima I.	88

Figura 44. Pegmatito da Quinta da Corujeirinha.	88
Figura 45. Quartzo do Pegmatito da Quinta da Corujeirinha.	89
Figura 46. Pegmatito de Poço Palheiros (pedreira de cima).....	89
Figura 47. Pegmatito de Poço Palheiros, pedreira de baixo.	90
Figura 48. Pegmatito da Quinta da Carrasqueira de Cima II.....	90
Figura 49. Pegmatito de Pinheiro.	91
Figura 50. Espectros obtidos da microanálise de raios-X por EDS realizadas no ponto 3.1 e 3.2. Nas tabelas encontram-se definidos os elementos analisados.	97
Figura 51. Equivalente a Figura 50, para a análise do 4.1.....	98
Figura 52. Equivalente a figura 50, para a análise do 6.1 e 6.2.....	99
Figura 53. Equivalente a figura 50, para a análise do 7.1 e 7.2.....	100
Figura 54. Equivalente a figura 50, para a análise do 7.3 e 1.1.....	101
Figura 55. Equivalente a figura 50, para análise do 1.2 e 1.3.....	102
Figura 56. Difractograma das amostras total 1, 5.1 e 5 (em cima) e 2, 3 e 4 (em baixo).	107
Figura 57. Difractograma das amostras total 5 e 7.....	108
Figura 58. Difractogramas da fração < 2µm das amostras 1, 2 e 5.	108
Figura 59. Difractogramas da fração < 2µm das amostras 3, 4, 7 (em cima), 5.1 e 6 (em baixo).....	109
Figura 60. Difractogramas das amostras de micas, 1, 2 e 3 (em cima) e 4, 5 e 5.1 (em baixo).....	110
Figura 61. Difractogramas das amostras de micas 6 e 7.	111

Índice de Tabelas

Tabela 1. Exemplos de algumas aplicações de elementos raros existentes em pegmatitos. Adaptado de Černý (1991).	1
Tabela 2. Classificação dos pegmatitos graníticos. Adaptado de Černý e Ercit (2005) e Černý, London e Novák (2012).	10
Tabela 3. Coordenadas geográficas dos corpos pegmatíticos identificados na área de estudo.	14
Tabela 4. Análises efetuadas e respetivos locais da preparação e execução.	34
Tabela 5. Poder refletor dos minerais presentes nas amostras em estudo, de acordo com a intensidade dos picos.	43
Tabela 6. Concentração média dos elementos radioativos K, U e Th em cada ponto de ocorrência de pegmatitos.	47
Tabela 7. Resultados obtidos da espectrometria de fluorescência de raios-X da amostra total.	55
Tabela 8. Composição química teórica do feldspato potássico e plagioclase sódica. Fonte: <i>Webminerals</i>	56
Tabela 9. Composição química específica do feldspato utilizado na indústria cerâmica e vidro, segundo Kyonka e Cook (1954) e Silva, Cunha e Marinho (1996).	56
Tabela 10. Concentração do Fe ₂ O ₃ requerido em feldspatos para o uso na indústria cerâmica e de vidro. Adaptado de Ariffin (2003).	56
Tabela 11. Índices de cristalinidade de M – Moscovite, A – Albite, Q – Quartzo e Msc – Moscovite.	59
Tabela 12. Resultados da análise química (FRX).	60
Tabela 13. Composição química teórica da moscovite e biotite. Fonte: <i>Webminerals</i> ...	60
Tabela 14. Relação entre K ₂ O e Al ₂ O, Si ₂ O e Fe ₂ O ₃	61
Tabela 15. Índice de cristalinidade (Ic) das amostras de moscovite.	62
Tabela 16. Fórmulas cristaloquímica das análises químicas (EDS) efetuadas em cada amostra e os respetivos minerais.	67
Tabela 17. Resultados da análise química dos elementos traços dos feldspatos.	93
Tabela 18. Resultados da análise ICP-MS das micas.	95
Tabela 19. Cálculos de carga dos catiões dos pontos 1.1, 1.2 e 1.3 da amostra 1.	103
Tabela 20. Cálculos de carga dos catiões dos pontos 3.1 e 3.2 da amostra 3.	104
Tabela 21. Cálculos de carga dos catiões dos pontos 6.1 e 6.2 da amostra 6.	104
Tabela 22. Cálculos da carga dos catiões dos pontos 7.1, 7.2 e 7.3 da amostra 7.	105

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Os recursos geológicos são de grande importância económica a nível Mundial. Destes recursos geológicos, fazem parte os jazigos pegmatíticos, que são considerados grandes fontes de matérias primas de propensão cerâmica e tecnológica (Sinergeo e Minho, 2003).

O interesse pelos jazigos pegmatíticos começou a ganhar relevância devido à existência de grandes quantidades de minerais industriais de elevada pureza essencialmente, feldspato e quartzo (que não são encontrados em outros ambientes geológicos, ex., outras rochas ígneas e metamórficas) e, principalmente devido à existência de elementos estratégicos que são encontrados essencialmente em metais e, pedras preciosas, considerados de grande valor económico (ver tabela 1) (Černý, 1991; Glover, Rogers e Barton, 2012; London, 2013; London e Kontak, 2012).

Desde então, a prospeção e exploração de rochas pegmatíticas passou a ser um objeto de investigação fulcral para os mineralogistas e petrologistas (London e Kontak, 2012).

Tabela 1. Exemplos de algumas aplicações de elementos raros existentes em pegmatitos. Adaptado de Černý (1991).

Elementos químicos	Aplicações
Lítio (Li)	<ul style="list-style-type: none"> • Armazenamento de eletricidade; • Fabrico de baterias para indústrias de automóveis e não tecnológicas; • Artigos de cerâmica; • Fundição de minérios de alumínio.
Bronze-berílio	<ul style="list-style-type: none"> • Usado em equipamentos que requerem elevada resistência para a exaustão do metal.
Berílio (Be)	<ul style="list-style-type: none"> • Aeronaves; • Satélites; • Armações de veículos espaciais.
Metais de berílio	<ul style="list-style-type: none"> • Janelas de raios-X; • Sistema de navegação por inércia; • Aeronaves; • Proteção térmica; • Discos de travões de vaivém espacial.

Elementos Químicos	Aplicações
Gálio (Ga)	<ul style="list-style-type: none">• Fabricação de:<ul style="list-style-type: none">• Díodos emissores de luz;• Foto-díodos;• Díodos laser e células solares;• Fibra ótica;• Computadores;• Processadores de comunicação de sinais eletrónicos.
Tântalo (Ta)	<ul style="list-style-type: none">• Computadores;• Tecnologias de comunicação no espaço;• Condensadores de circuitos de estado sólido;• Indústria química;• Produção de próteses.

1.1. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo, avaliar a Prospecção Geofísica na deteção de pegmatitos e caracterizar os Pegmatitos da região de Ferreira de Aves – Sátão.

A caracterização dos pegmatitos da área em estudo, tem como principal objetivo, averiguar a capacidade dos feldspatos para o uso na indústria cerâmica. Na medida em que foi preciso purificar os feldspatos, fez-se a separação das micas e, como objetivo secundário foram também analisadas amostras de micas para verificar se eventualmente têm valor económico. Desta forma, o presente trabalho é centrado num estudo experimental, que compreende a realização de ensaios químicos, mineralógicos e cerâmicos.

O desenvolvimento desta tese também consta no uso do método radiométrico (cintilometria), para Prospecção Geofísica, com o objetivo de obter uma resposta positiva face à deteção de corpos pegmatíticos, variação da orientação das anomalias com os perfis de medição, através da análise da variação do isótopo radioativo ^{40}K e, averiguação da possível relação entre a variação dos radioelementos com as falhas geológicas da região, e dos elementos radioativos U e Th na região em estudo.

1.2. Estrutura e Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos:

- No presente capítulo são referidos os assuntos abrangidos pela dissertação e os objetivos, bem como uma breve descrição dos pegmatitos;
- O **capítulo 2**, centra-se no enquadramento geográfico, geomorfológico e geológico da região em estudo, incluindo ainda as descrições do Maciço Ibérico, e da Zona Centro-Ibérica;
- **No capítulo 3** serão apresentados os materiais e métodos utilizados na Prospeção Geofísica, caracterização mineralógica, química e ensaio cerâmico;
- **No capítulo 4** serão apresentados os resultados obtidos relativamente a Prospeção Geofísica efetuada e aos ensaios de caracterização mineralógica, química e cerâmico;
- Por fim, **no capítulo 5** sintetizam-se as principais conclusões do trabalho realizado e, algumas propostas para trabalhos futuros.

1.3. Importância dos jazigos Pegmatíticos em Portugal

Em Portugal, as rochas pegmatíticas tornaram-se um alvo crucial a nível de prospeção e exploração de minerais, para o uso industrial, devido ao défice da balança comercial, provocado pelo aumento da importação de matérias primas (como feldspato) (Lima, Vieira e Almeida, 2003).

Os principais jazigos pegmatíticos existentes no território nacional, encontram-se distribuídos no Noroeste e na região Centro, nos distritos de Viseu, Guarda, Braga, Bragança, Castelo Branco e Vila Real, estruturados essencialmente em forma de soleira, diques e filões (Almeida, 2007).

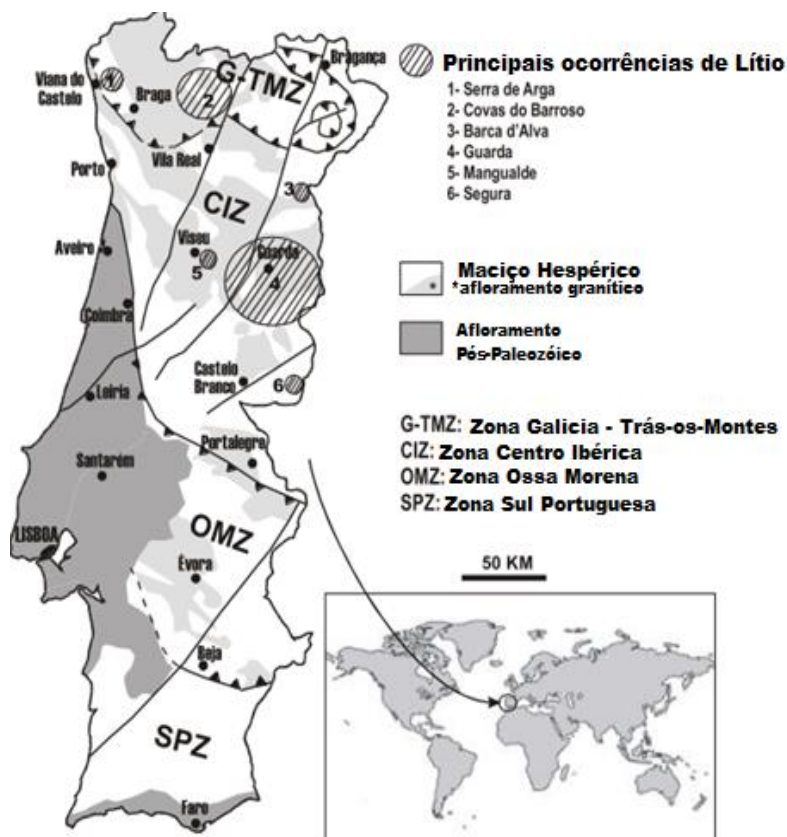


Figura 1. Representação dos principais campos pegmatíticos existentes no território Nacional, bem como as principais reservas de lítio existentes em corpos pegmatíticos. Extraído de Carvalho e Farinha (2004).

Além das matérias primas comuns para o uso na indústria cerâmica e vidro, os campos pegmatíticos de Portugal são também conhecidos como sendo um dos mais importantes a nível Europeu, no que concerne a reservas de lítio (Carvalho e Farinha, 2004). Em Portugal, os depósitos de lítio ocorrem principalmente em forma de soleiras, filões e

diques de aplito-pegmatitos ricos em lepidolite e espodumena, incorporados em granitos e rochas metassedimentares das zonas geotectónicas do Centro Ibérico e Trás-os-Montes (ver figura 1) (Carvalho e Farinha, 2004; LNEG, 1998).

Recentemente o campo pegmatítico da região de Cepeda, Montalegre em Trás-os-Montes, foi considerada uma das maiores reservas de lítio da Europa, que segundo a empresa Australiana, *Dakota Minerals* deverão garantir mais de dez anos de vida útil à exploração.

1.4. Importância e aplicação do feldspato nas indústrias

O feldspato é conhecido como sendo o grupo de minerais mais abundante da crosta terrestre (60%), encontrando-se concentrado em rochas metamórficas, sedimentares e principalmente em rochas magmáticas (Dill, 2015).

O grupo do feldspato encontra-se subdividido em dois subgrupos, feldspato potássico (KAlSi_3O_8) e plagioclases ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), onde os minerais predominantes são respetivamente a microclina e ortoclase, anortite e albite (Kyonka e Cook, 1954).

Apesar de ser o grupo de minerais mais abundante da crosta terrestre, os feldspatos são de difícil exploração do ponto de vista económico, por ocorrerem sobretudo em granulometria reduzida e associados a quartzo, micas, turmalina, berílio, espodumena entre outros minerais raros, que geralmente dificulta a sua extração. Porém, existem reservas de feldspatos que são economicamente viáveis, de onde podem ser extraídas grandes quantidades, como por exemplo, rochas graníticas, aplitos, sienitos nefelínicos e pegmatitos graníticos. De entre estas reservas, destacam-se os pegmatitos graníticos, por conterem cristais de feldspato de grandes dimensões, sendo por isso considerados uma das maiores fontes de feldspato com fins de extração económica. Resta assim realçar, que os minerais de feldspato mais abundantes encontrados nestas reservas, são a microclina, ortoclase e albite.

Os feldspatos são utilizados numa vasta gama de aplicações, por exemplo, como carga mineral, nas indústrias de tintas, plásticos, borrachas, abrasivo/polimento, adesivos ou ligantes e como insumo na indústria de elétrodos para soldas. Contudo as principais aplicações são nas indústrias da cerâmica e do vidro (Tavares *et al.*, 2005).

A indústria da cerâmica é a maior área de aplicação dos feldspatos (Glover, Rogers e Barton, 2012), onde são utilizados essencialmente para:

- Atuar como fundente (devido ao seu teor de alcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)), para diminuir o ponto de fusão dos corpos cerâmicos e conseqüentemente o custo de produção;
- Atuar como estabilizante (devido à presença de alumina (Al_2O_3)), de modo a impedir o excesso de fluidez do produto;
- Ajudar no controle do grau de vitrificação do corpo cerâmico, devido ao seu elevado teor de sílica (SiO_2);

Na indústria de vidro, o feldspato é utilizado essencialmente devido ao conteúdo em alumina, para:

- Aumentar a viscosidade durante o processo de formação do corpo vítreo;
- Aumentar a resistência mecânica, a resistência ao choque térmico e a corrosão química;
- Atuar como estabilizador para melhorar a durabilidade e impedir a desvitrificação;
- Atuar como fundente;
- Ajudar na diminuição de fluidez.

Comparando a eficiência dos dois tipos de feldspato, verifica-se que o feldspato potássico (microclina e ortoclase) tem um maior interesse para as indústrias da cerâmica, pois produz um líquido mais viscoso, que contribui para a diminuição da deformação do corpo cerâmico, fornece maior resistência mecânica e transparência ao corpo cerâmico, enquanto que na indústria do vidro, a plagioclase sódica tem maior relevância devido ao maior teor de alumina em relação ao feldspato potássico.

Contudo, antes de utilizar o feldspato, são efetuados diferentes ensaios de beneficiação de forma a obter um produto final de qualidade, com baixo índice de contaminação e impurezas. Estes ensaios visam minimizar e/ou eliminar as variações que os feldspatos se encontram sujeitos, no meio de onde são extraídos, bem como a separação destes dos outros minerais. Os métodos aplicados consistem geralmente:

- Na separação manual dos feldspatos de outros minerais;
- Na separação eletromagnética dos minerais ferromagnesianos, contaminantes ou quartzo, podendo em certos casos separar o feldspato potássico da plagioclase sódica;

- Na separação dos restantes minerais e/ou da plagioclase sódica, por método de flutuação.

1.5. Pegmatitos

Pegmatitos, são rochas de difícil caracterização (London, 2013) . São definidos como sendo rochas de natureza ígnea, com uma composição nomeadamente granítica, que se destaca das restantes rochas ígneas por ter uma composição interna heterogénea, com variedades de cristais de minerais de grandes dimensões com hábitos de crescimento descarnado e gráfico, fortemente direcionais (London, 2008, 2013; Stilling, Černý e Vanstone, 2006)

A maioria dos corpos pegmatíticos são de pequenas dimensões (compreendendo dezenas de metros) e, ocorrem essencialmente como intrusões de diques de discordância brusca em rochas ígneas e metamórficas e, ao longo das margens de cúpulas de granitos em forma de segregações (London, 2013; London e Kontak, 2012).

1.5.1.1. Composição química e mineralógica

A composição química e mineralógica dos pegmatitos é muito complexa, porém a maior parte compartilham a mesma composição química e mineralógica do granito (Černý, 1992; Shigley e Kampf, 1982).

Mineralogicamente, os pegmatitos graníticos são compostos por aproximadamente 65% de feldspato (essencialmente microclina e ortoclase e, raramente albita), 5-10% de micas (essencialmente moscovite e raramente biotite), 25% de quartzo e cerca de 1-2% de outros minerais acessórios como turmalina, apatite e fluorite, espodumena, columbite, zircão, uranite, berilo, tantalite, entre outros minerais acessórios pouco abundantes (Anderson, 2012; Černý, 1992; London, 2013; Shigley e Kampf, 1982). Esses minerais acessórios compreendem elementos traços como, Rubídio (Rb), Cério (Ce), Nóbio (Nb), Tântalo (Ta), Estanho (Sn), Berílio (Be), elementos de terras raras (REE), Lítio (Li), Césio (Cs), Urânio (U), Tório (Th), Zircônio (Zr), Escândio (Sc), Gálio (Ga), Titânio (Ti) e o Ítrio (Y), alguns concentrados essencialmente em espodumena (Li), lepidolite (Li, Cs, Ga e Rb) e alanite e zircão (Ce, U, Th, REE) (Anderson, 2012; Stilling, Černý e Vanstone, 2006).

Cada rocha pegmatítica possui sua própria característica, independentemente da similaridade da composição mineralógica existente entre a maioria dos pegmatitos

(London e Kontak, 2012). Estas por sua vez, diferem na maioria das vezes, na variação do tamanho dos cristais, na distribuição dos minerais (homogêneos ou zonados), na composição do feldspato e na aglomeração dos minerais acessórios (Glover, Rogers e Barton, 2012).

1.5.1.2. Génese

A génese dos pegmatitos continua a ser um assunto muito debatido, devido à complexidade da sua composição (Černý, 1992; London, 2005, 2013) . Apesar de ainda existir alguma incerteza acerca dos processos geradores do magma pegmatítico, são aceites as hipóteses da formação do magma pegmatítico pelos processos de fusão parcial e/ou cristalização fracionada a partir do magma granítico (London, 2005).

Mais pormenores sobre a génese dos pegmatitos, poderão ser consultados nos trabalhos realizados pelos autores referenciados na presente secção.

1.5.1.3. Classificação

A primeira classificação dos pegmatitos graníticos foi apresentada por Ginsburg, Timofeyev e Feldman (1979), sendo posteriormente revisto por Cerny e Ercit (2005). Segundo Černý (1992) e Cerny e Ercit (2005), a classificação dos pegmatitos graníticos foi alvo de várias investigações, onde foram desenvolvidas inúmeras formas de classificação baseadas essencialmente na estrutura interna, na relação paragenética, na composição química total, nos aspetos petrogénicos, no ambiente geológico de formação e nas características geoquímicas. Fundamentando na textura, mineralogia, composição química e principalmente nas condições de Pressão – Temperatura (P-T) das rochas encaixantes onde se hospedaram (Figura 2), Černý e Ercit (2005) modificaram a subdivisão da classe miarolítica, determinada anteriormente por Ginsburg, Timofeyev e Feldman (1979) e a sua ligação com a classe dos elementos raros, introduzindo uma nova classe à classificação dos pegmatitos, permanecendo assim dividida em cinco classes (Tabela 2): a classe abissal, a classe de moscovites, a classe moscovites-elementos raros, a classe dos elementos raros e a classe miarolítica.

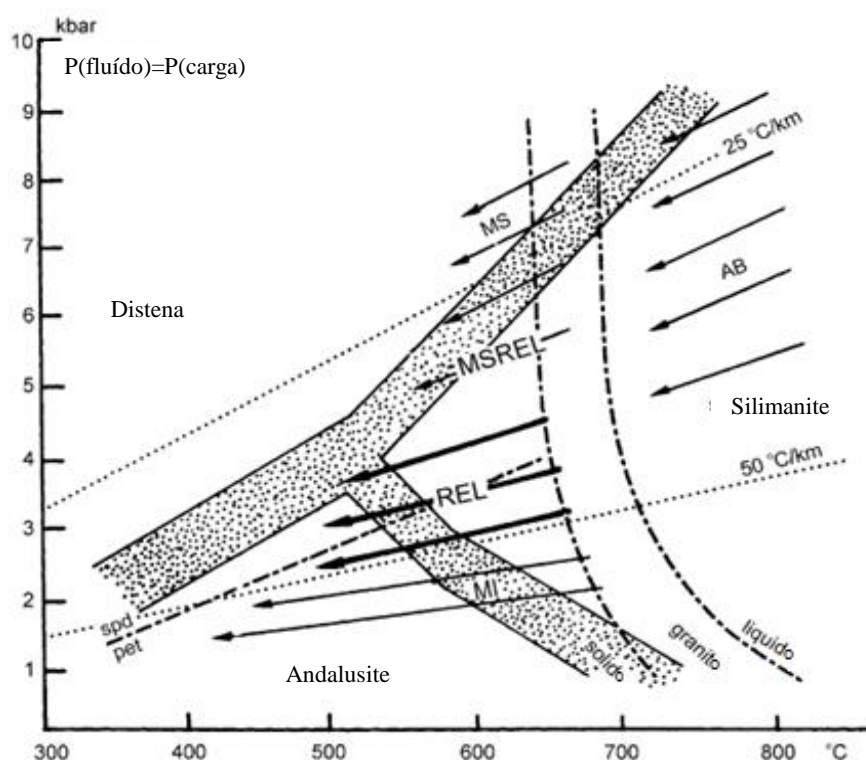


Figura 2. Campos de P-T das rochas hospedeiras regionais onde hospedam os pegmatitos graníticos das diferentes classes: Pegmatitos Abissais (AB); Pegmatitos Moscovíticos (MS); Pegmatitos Moscovíticos de elementos raros (MSREL); Pegmatitos de elementos raros (REL); Pegmatitos Miarolíticos (MI). As setas indicam a tendência regional de fracionamento dos pegmatitos em relação à classe metamórfica das rochas hospedeiras. Domínios de estabilidade dos aluminossilicatos polimorfos (Distena, Silimanite e Andalusite), campos dos aluminossilicatos de Lítio (Espodumena (spd) e Petalite (pet)). Adaptada de Černý e Ercit, (2005).

Tabela 2. Classificação dos pegmatitos graníticos. Adaptado de Černý e Ercit (2005) e Černý, London e Novák (2012).

Classes	Subclasses	Tipos	Subtipos	Famílias
Abissal (AB)	HREE			NYF
	LREE			
	U			NYF
	BBe			LCT
Moscovite (MS)				
Moscovite-elementos raros	REE			NYF
	Li			LCT
Elementos raros		Alanite-monazite		
	REE	Euxenite Gadolinite		NYF
			Berílio-columbite	
			Berílio Berílio-Columbite-Fosfato	
			Espodumena	
	Li	Complexo	Petalite Lepidolite Elbaíte Ambligonite	LCT
			Albite-espodumena Albite	
		REE	Topázio-berílio Gadolinite-Fergusonite	NYF
	Miarolítica	Li	Berílio-Topázio Espodumena Petalite Lepidolite	LCT
	<p>HREE- REE pesados (elementos pesados de terras raras)</p> <p>LREE- REE leves (elementos leves de terras raras)</p> <p>LCT= Lítio-Césio-Tântalo</p> <p>NYF= Nóbio-Ítrio- família de Fluor (verde)</p> <p>REE= elementos raros de terras raras</p>			

Capítulo 2

Enquadramento da área em estudo

2. ENQUADRAMENTO DA ÁREA EM ESTUDO

2.1. Enquadramento Geográfico

A área de estudo localiza-se no distrito de Viseu, na freguesia de Ferreira de Aves - concelho de Sátão, no Centro de Portugal, a 40°48'40" Norte (N) e 7°39'40" Oeste (W). Esta zona encontra-se abrangida na carta militar 168 – Queiriga (Vila Nova de Paiva) publicada pelo Instituto Geográfico do Exército à escala de 1: 25 000 (Figura 3) e, no Sudoeste (SW) da Carta Geológica de Portugal, folha 14-D, Aguiar da Beira, publicada pela Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos à escala de 1: 50 000 (Figura 9).

Na região de estudo encontram-se definidos oito pontos de ocorrência de pegmatitos (ver tabela 3 e figura 4), abordados anteriormente na tese de mestrado em Minerais e Rochas Industriais de Dinis (1999). É de salientar que não foi possível a identificação do corpo pegmatítico de Pinheiro.

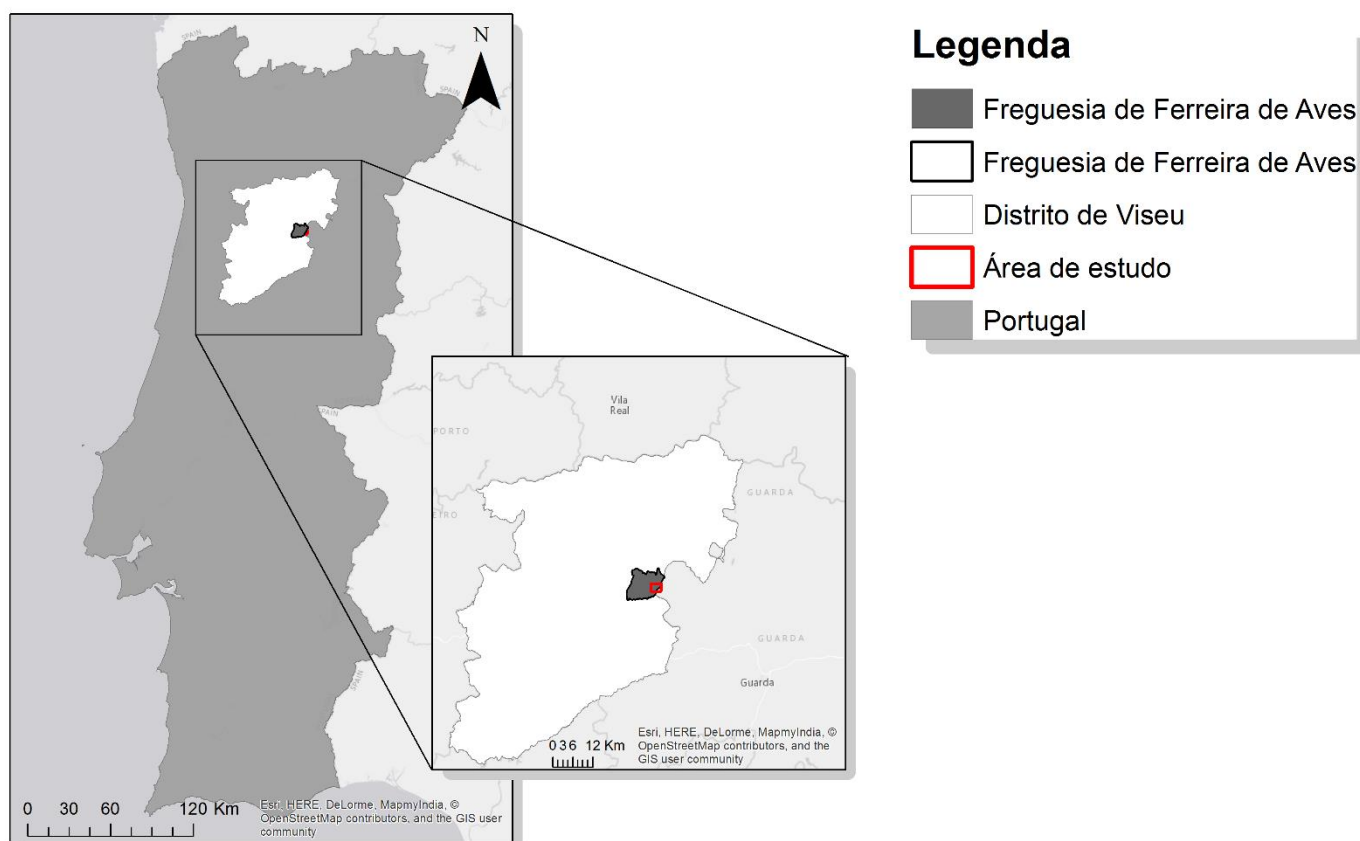


Figura 3. Localização geográfica da área em estudo.

Tabela 3. Coordenadas geográficas dos corpos pegmatíticos identificados na área de estudo.

1	Quinta da Carrasqueira de Baixo	N40°47'52.6" W7°37'59.6"
2	Quinta da Carrasqueira	N40°48'09" W7°37'57"
3	Quinta da Carrasqueira de Cima I	N40°47'58.8" W7°37'39.9"
4	Quinta da Corujeirinha	N40°48'15.6" W7°37'36.9"
5	Poço Palheiros de cima	N40°48'29.1" W7°37'19.6"
5.1	Poço palheiros de Baixo	N40°48'26.2" W7°37'19.6"
6	Quinta da Carrasqueira de cima II	N40°48'08" W7°37'19.8"
7	Pinheiro	N40°48'26.6" W7°36'50.8"

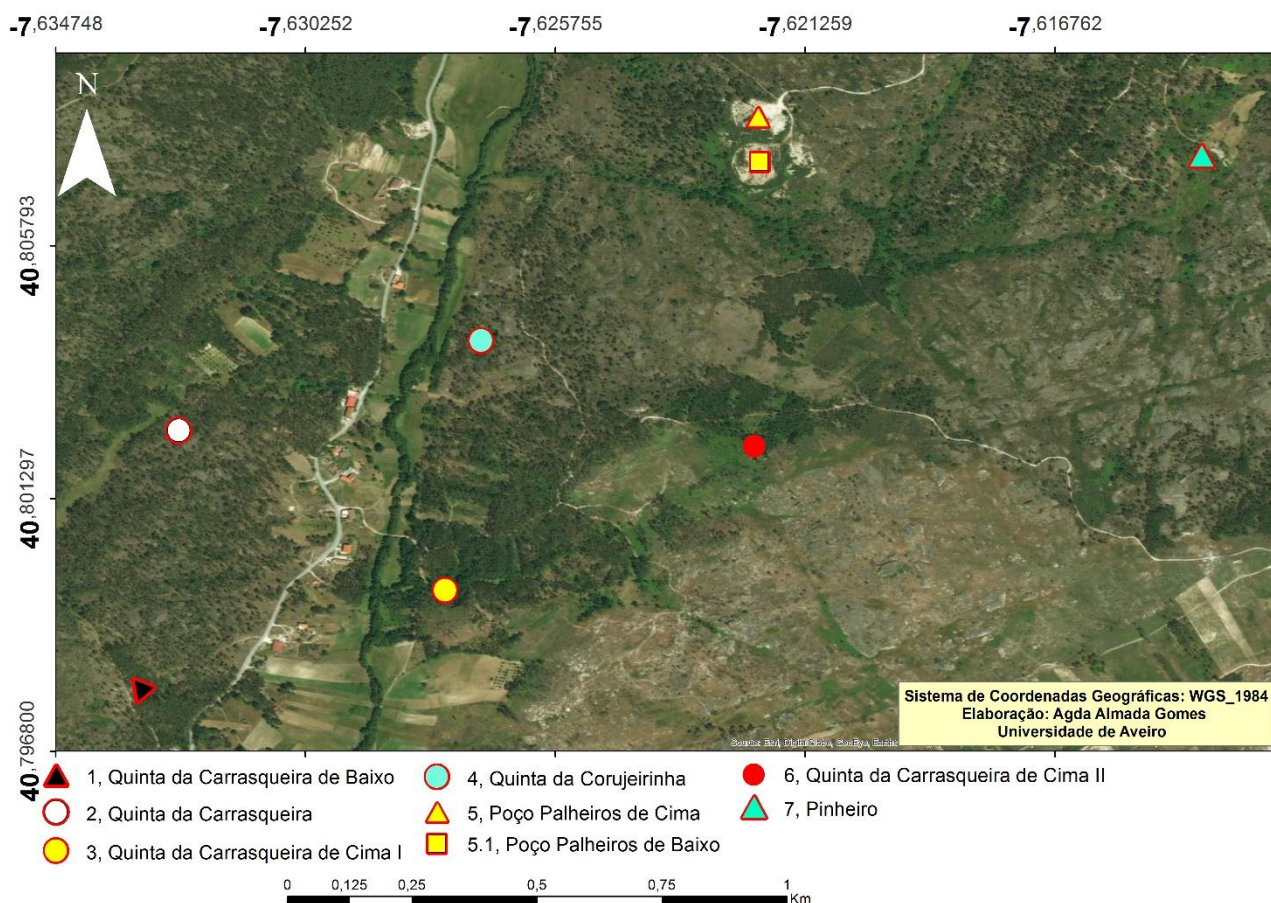


Figura 4. Localização dos corpos pegmatíticos da área em estudo.

2.2. Enquadramento Geomorfológico

A zona de estudo faz parte da extensa área planáltica da Beira (Teixeira, Medeiros e Fernandes, 1972), localizada no domínio da importante falha de Vilarica, entre as cotas 600-750 metros. É percorrida por linhas de água, que fazem parte da rede hidrográfica do Rio Vouga, que a atravessa sensivelmente ao meio.

As estruturas regionais mais importantes desta região, correspondem a fraturas que se encontram direcionadas essencialmente segundo N-S (Norte – Sul), NE-SW (Nordeste – Sudoeste) e NW-SE (Noroeste – Sudeste) e zonas de discontinuidades, nas quais se instalaram alguns filões de quartzo, aplito-pegmatíticos, orientados principalmente segundo NNE – SSW e NE – SW e de rochas básicas (doleritos), denunciando a presença de uma fracturação profunda, benéfica a géneses de sistemas termominerais (Carvalho *et al.*, 2005; Teixeira, Medeiros e Fernandes, 1972).

2.3. Enquadramento Geológico

2.3.1. Tectónico e domínios estruturais

Em termos tectónicos e domínios estruturais, a área de estudo encontra-se inserida nos terrenos autóctones da Zona Centro-Ibérica, pertencente ao Maciço Ibérico. O Maciço Ibérico é constituído no território português por formações poligénicas do Proterozóico Superior até ao Carbónico, sendo a sua estruturação imposta pela Orogenia Varisca (entre o Devónico e Pérmico). A região em estudo, pertence ao segmento da Cadeia Varisca Europeia, onde as rochas graníticas afloram em maior extensão, contendo, portanto, um campo granítico colossal, referente ao grupo tardi-pós-tectónico da terceira fase da deformação Varisca (D₃), com a idade (U-P_B) compreendida entre 310-290 Ma (Azevedo e Aguado, 2013 e Trabulo, Gomes e Nunes, 1995).

Uma vez que a área de estudo se encontra inserida no Maciço Ibérico, serão apresentadas algumas características deste Maciço, particularizando uma das suas diferentes zonas tectonoestratigráficas, a Zona Centro-Ibérica (ZCI) e as principais formações pegmatíticas existentes nesta zona.

2.3.1.1. Maciço Ibérico ou Hespérico

O Maciço Ibérico consiste num fragmento rochoso pertencente à Península Ibérica, que se estende na maior parte central e ocidental da mesma (Ferreira, 2000). Este fragmento rochoso é constituído essencialmente por rochas que sofreram deformações e metamorfismo durante a Orogenia Varisca e instruídas durante e após o evento orogénico, por grandes volumes de magmas graníticos entre o Proterozóico superior e o Carbónico (Azevedo *et al.*, 2005). Devido a diferenças de características tectónicas, estratigráficas, metamórficas e magmáticas existentes entre os domínios do Maciço Ibérico, este foi subdividido em seis grandes zonas tectonoestratigráficas por Lotze, (1945) (Figura 5 – A): a Zona Cantábrica, a Zona Austroccidental-Leonesa, a Zona Galaico-Castelhana, a Zona Luso Oriental-Alcúdice, a Zona de Ossa-Morena e a zona Luso Meridional.

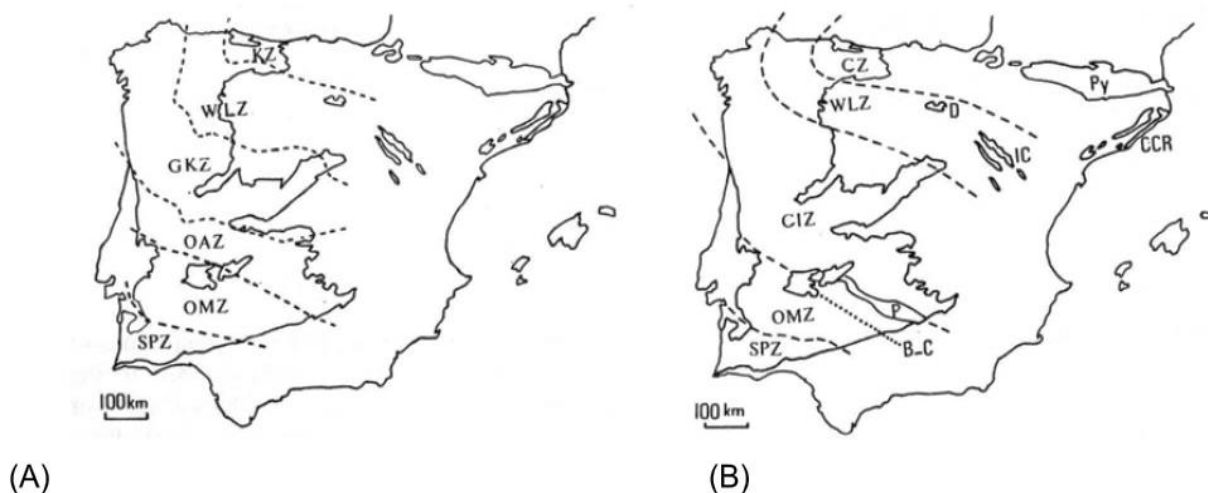


Figura 5. Divisão do Maciço Ibérico proposto por: (A) - **Lotze (1945)**: KZ – Zona Cantábrica; WLZ – Zona Austroccidental-Leonesa; GKZ – Zona Galaico-Castelhana; OAZ – Zona Luso-Oriental-Alcúdice; OMZ – Zona de Ossa-Morena; SPZ - Zona Sul-Portuguesa. (B) - **Julivert et al. (1974)**: CZ – Zona Cantábrica; WLZ – Zona Austroccidental-Leonesa; CIZ – Zona Centro-Ibérica; OMZ – Zona de Ossa-Morena; SPZ – Zona Sul-Portuguesa; Py – Pirenéus; D – Serra da Demanda; IC – Cadeias Ibéricas; CCR – Cordilheira Catalã; P – Batólito de Pedroches; B-C – Zona de cisalhamento Badajoz- Córdoba. Extraído de Costa (2006).

Após a revisão da proposta de Lotze (1945), Julivert *et al.* (1974), redefiniram uma nova distribuição das zonas tectonoestratigráficas do Maciço Ibérico, considerando as seguintes zonas e subzonas (Figura 5 – B): Zona Cantábrica, Zona Austroccidental-Leonesa, Subzona Galiza Média e Trás-os-Montes, Zona de Centro Ibérica, Zona de Ossa-Morena e Zona Sul-Portuguesa.

Posteriormente, Farias *et al.* (1987) individualizaram a Subzona da Galiza Média e Trás-os-Montes, permanecendo assim a divisão do Maciço Ibérico nas seguintes unidades geotectónicas: Zona Cantábrica, Zona Astúrico-Leonesa, Zona Galiza-Trás-os-Montes, Zona de Centro-Ibérica, Zona de Ossa-Morena e Zona Sul Portuguesa (Figura 6).

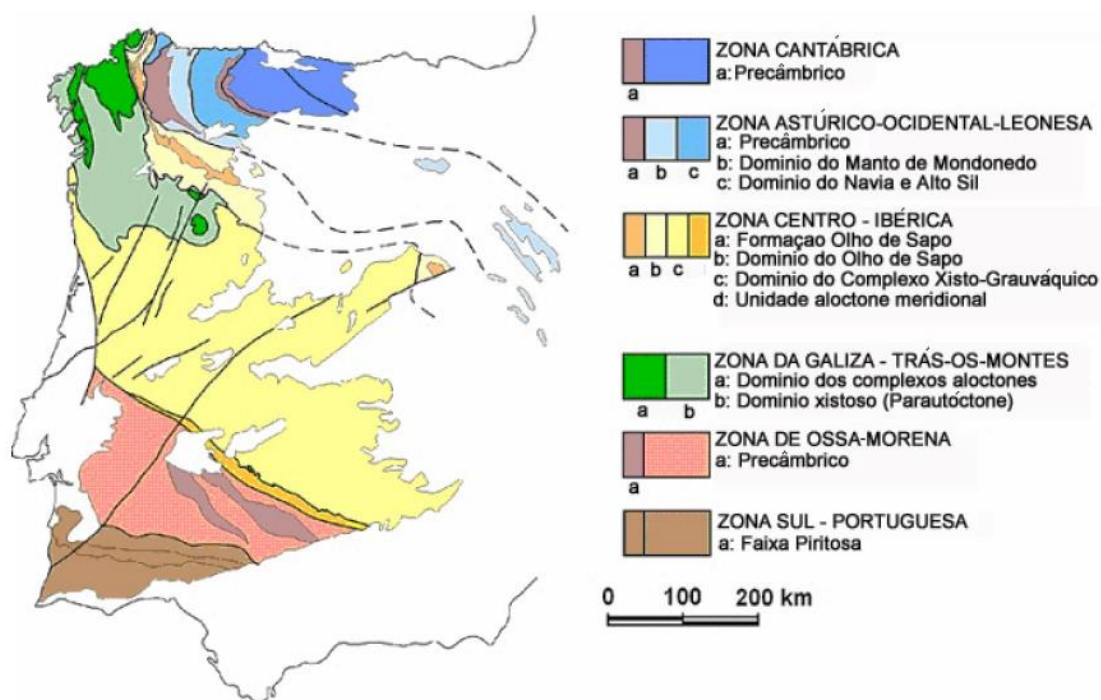


Figura 6. Divisão do Maciço Ibérico por Farias *et al.* (1987).

2.3.1.2. Zona Centro-Ibérica (ZCI)

A ZCI encontra-se localizada na parte central do Maciço Ibérico, limitada a Norte pela Zona Astúrico-Occidental-Leonesa e Galiza-Trás-os-Montes (Julivert *et al.*, 1974) e a Sul pela Zona de Cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba (Figura 7). Esta por sua vez, encontra-se subdividida em três diferentes domínios, de acordo com a natureza das rochas (Martínez Catalán, Arenas e Diez Balda, 2004): o domínio do Olho de Sapo, o domínio do Complexo Xisto-Grauváquico e o Domínio Meridional (Figura 7). O primeiro domínio, corresponde a um complexo plutonovulcânico granítico, o segundo domínio de que faz parte a área de estudo, é limitado por uma espessa sequência terrígena, e o último corresponde a unidades do Neoproterozóico superior/Câmbrico inferior (Martínez Catalán, Arenas e Diez Balda, 2004).

O Complexo Xisto-Grauváquio faz parte da estratigrafia pré-ordovícia, anteriormente designada por formação xistosa das Beiras. Encontra-se subdividido num Super Grupo, designado Dúrico-Beirão, que ocupa vastas áreas neste domínio e também em Espanha onde são denominados por *Alcudiense* (Oliveira *et al.*, 1992).

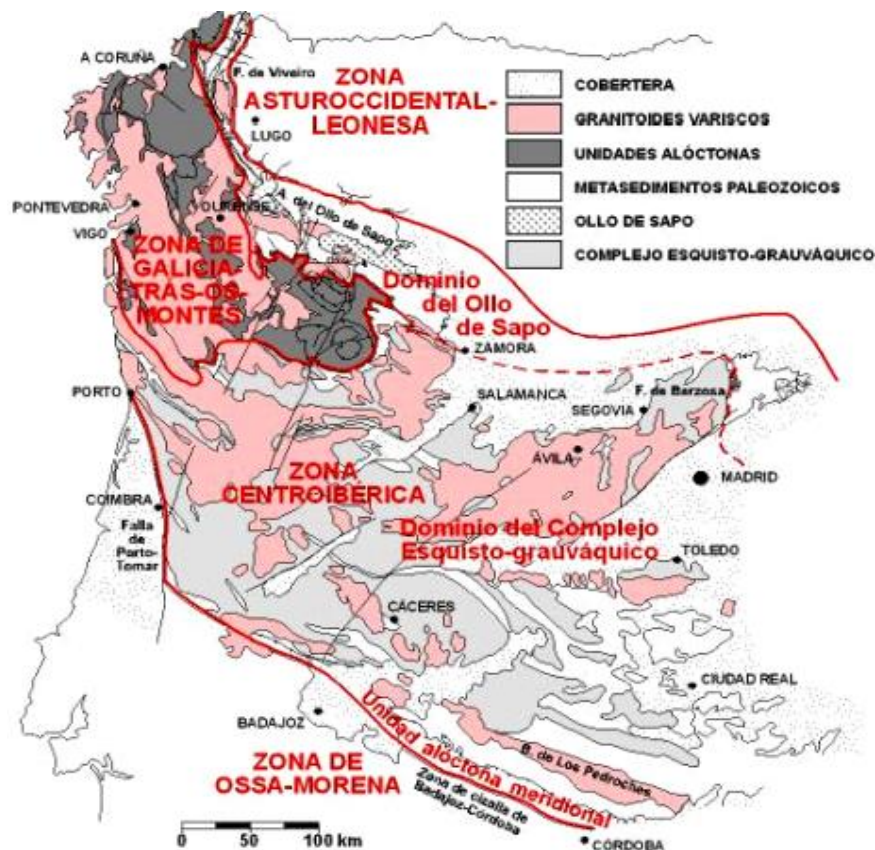


Figura 7. Representação da divisão do Maciço Ibérico e subdivisão da ZCI em domínios. Extraído de Martínez Catalán, Arenas e Díez Balda (2004).

No território português, as unidades litoestratigráficas do Complexo Xisto-Grauváquio, encontram-se separadas por um limite que passa pela Serra da Malcata e Viseu, que se alonga até São João da Madeira (Oliveira *et al.*, 1992). O grupo das Beiras é constituído essencialmente por metapelitos e metagrauvaques ricos em quartzo que se estendem entre 6 a 7 quilómetros à Sul da ZCI, enquanto que o grupo do Douro apresenta uma sucessão com seis unidades principais, sendo todas elas constituídas por intercalações de grauvaques e pelitos com magnetite, características turbidíticas e níveis de calcários e conglomerado (Dias *et al.*, 2006).

2.3.2. Contexto Geológico regional e local

A folha 14-D da carta geológica de Portugal, à escala 1: 50 000 (Figura 9), institui o enquadramento geológico da área em estudo. A área em estudo é constituída por fácies granitóides hercínios sin- e tardi a pós-cinemáticos, correspondentes a granodioritos e granitos porfíroides calco-alcalinis de grão médio, predominantemente biotíticos e, é assinalada por inúmeras instalações de filões, massas de quartzo, massas de aplito-pegmatíticos e filões de rochas básicas (doleritos), orientados maioritariamente na direção NNE – SSW e NE-SW.

Os afloramentos graníticos da região de estudo abrangem a maior parte da área envolvente (75 x 35 Km) e, são essencialmente de duas micas (ver figura 8 e figura 9). Segundo Azevedo e Aguado (2013), os corpos graníticos desta região são compostos essencialmente por megacristais de feldspato potássico (essencialmente microclina pertítica) com mais de 8 centímetros de comprimento dispersos numa matriz de grão médio a grosseiro, quartzo, plagioclase (An_{15-32}) e biotite, contendo também alguns minerais acessórios tais como apatite, zircão, monazite, ilmenite e raramente xenotímio (Azevedo e Aguado, 2013).

Em termos morfológicos, os pegmatitos da área em estudo encontram-se inseridos na classe intra-granítica homogénea de menor volume, constituídos essencialmente por minerais de quartzo, feldspato e micas (essencialmente moscovite) de textura gráfica, de grande calibre e uma mineralogia acessória muito pobre. Encontram-se estruturados sobretudo em forma de bancadas, ocorrendo essencialmente abaixo das faixas graníticas com estruturas pegmatóides (Trabulo, Gomes e Nunes, 1995).

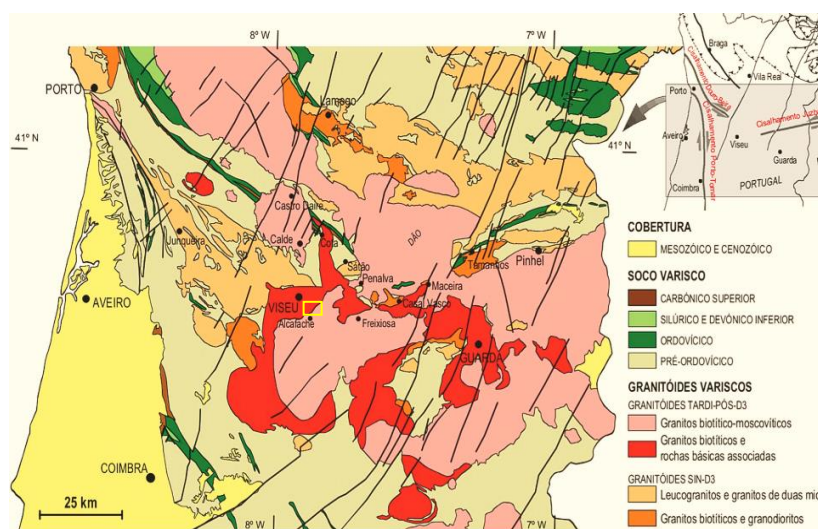


Figura 8. Enquadramento geológico da área em estudo. Extraído de Azevedo e Aguado (2013). - Localização aproximada da área em estudo.

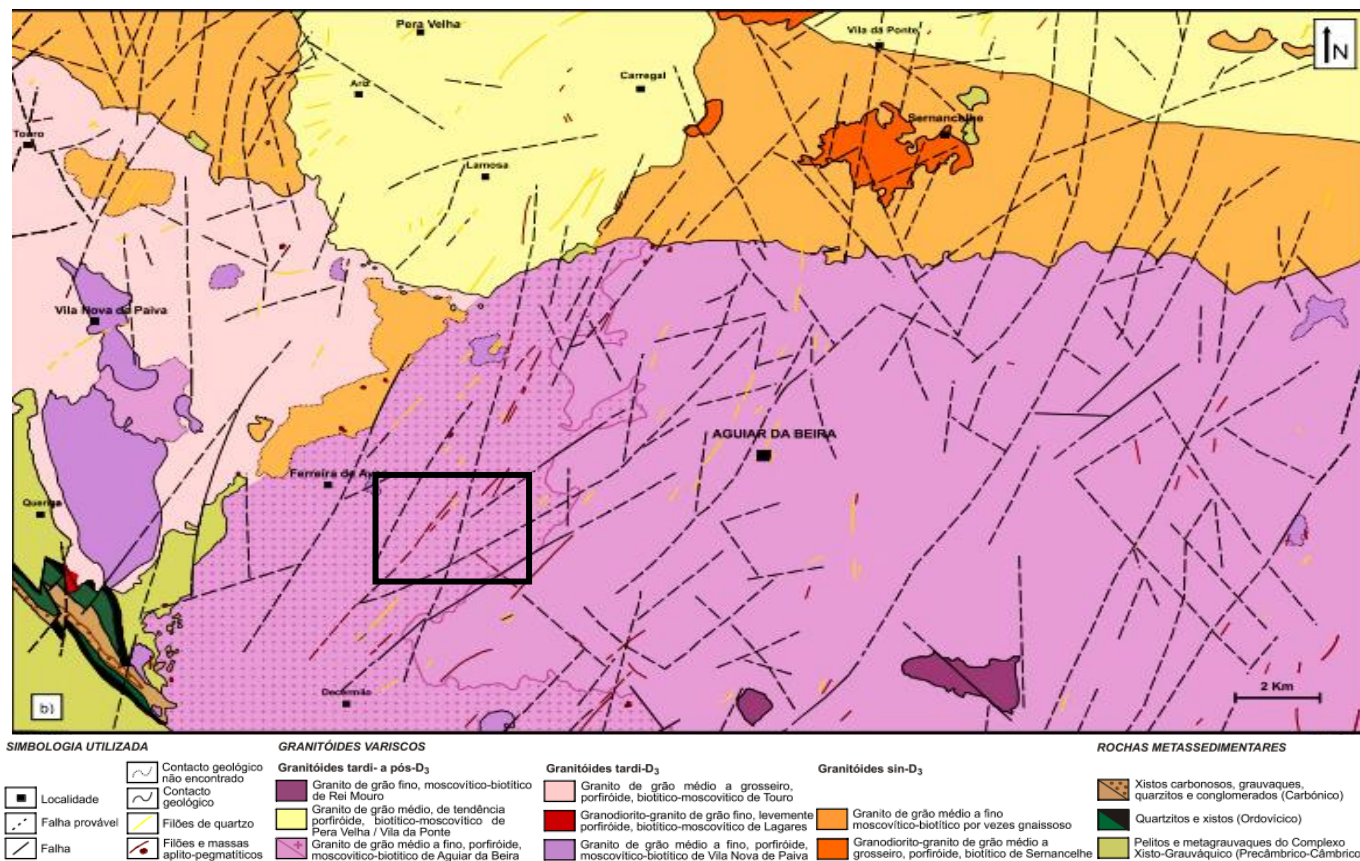


Figura 9. Carta Geológica da área em estudo, adaptado da carta geológica, folha 14-D, Aguiar da Beira, à escala 1:50000. - Localização aproximada da área de estudo. Extraído de Costa (2011).

2.4. Pegmatitos da região de estudo

Todos os corpos pegmatíticos identificados na região em estudo, já se encontram parcialmente explorados.

Em termos morfológicos, os campos pegmatíticos da zona em estudo apresentam em geral uma estrutura colossal, compreendendo dezenas de m², onde nalguns casos se consegue identificar com nitidez, a composição mineralógica do jazigo (e.g: a Pedreira da Quinta da Carrasqueira de Cima I, figura 43 do anexo 1). A pedreira da Quinta da Carrasqueira de Cima I (Figura 43 do anexo 1), é constituída por uma estrutura de quartzo leitoso bem definida, concentrada na parte inferior do jazigo com uma espessura visível de aproximadamente 5 metros e feldspato de cristais amarelados concentrado acima da camada de quartzo com uma espessura de aproximadamente 3 metros. Um outro exemplo nítido da composição mineralógica dos pegmatitos, é a pedreira da Quinta da Corujeirinha

(Figura 44 – anexo 1), que é constituída essencialmente por um corpo de quartzo de grande dimensão, concentrado na parte inferior da pedreira (ver figura 45 do anexo 1).

Nos restantes corpos pegmatíticos (Figura 41, figura 42, figura 46, figura 47 do anexo 1), também foi possível identificar os minerais constituintes, apesar de não se ter observado minerais de grande corpulência como nas duas pedreiras anteriormente referidas.

Como exceção, tem-se os pegmatitos da Quinta da Carrasqueira de Cima II (Figura 48 – anexo 1), que não foi observado à superfície, podendo este estar associado a um corpo pegmatítico não aflorante e, o pegmatito de Pinheiro (Figura 49 – anexo 1) que se encontrava coberto pela vegetação.

Devido à vegetação existente sobre os corpos pegmatíticos da Quinta da Carrasqueira de Cima II e Pinheiro, não foi possível fazer uma descrição vigorosa dos mesmos, porém foram observadas irregularidades na zona da vegetação e, vestígios de quartzo, feldspato e micas, nas proximidades destes pegmatitos denunciando a possível exploração dos mesmos.

É de realçar, que as observações de campo, não são coerentes com as informações que se encontram disponíveis na dissertação de Dinis (1999) utilizada como referência, onde é indicado que os filões pegmatíticos se encontram inclinados. Das observações de campo é claro que, estes se encontram organizados em bancadas, portanto subhorizontais, estando deste modo mais coerentes com as informações disponíveis nas dissertações de Costa (2006, 2011). Exemplos nítidos desta afirmação, são as pedreiras de Poço Palheiros (Figura 46 e figura 47), da Quinta da Carrasqueira de Cima I (Figura 43) e da Quinta da Corujeirinha (Figura 45).

Os corpos pegmatíticos existentes na área de estudo são compostos essencialmente por:

- Feldspato, nomeadamente potássico com cristais de cor amarelada a rósea (feldspatos da Quinta da Carrasqueira de Baixo e Poço Palheiros), sendo também observados cristais com aspeto ferruginoso (feldspato da Quinta da Carrasqueira de Cima II);
- Quartzo leitoso apresentando por vezes cristais de aspeto ferruginoso;
- Micas, nomeadamente moscovite.

Os cristais do feldspato e quartzo apresentam, em média, grãos grosseiros, pelo que se observa em alguns casos, a ocorrência de cristais de quartzo e micas nos seios do feldspato (e.g., figura 10).

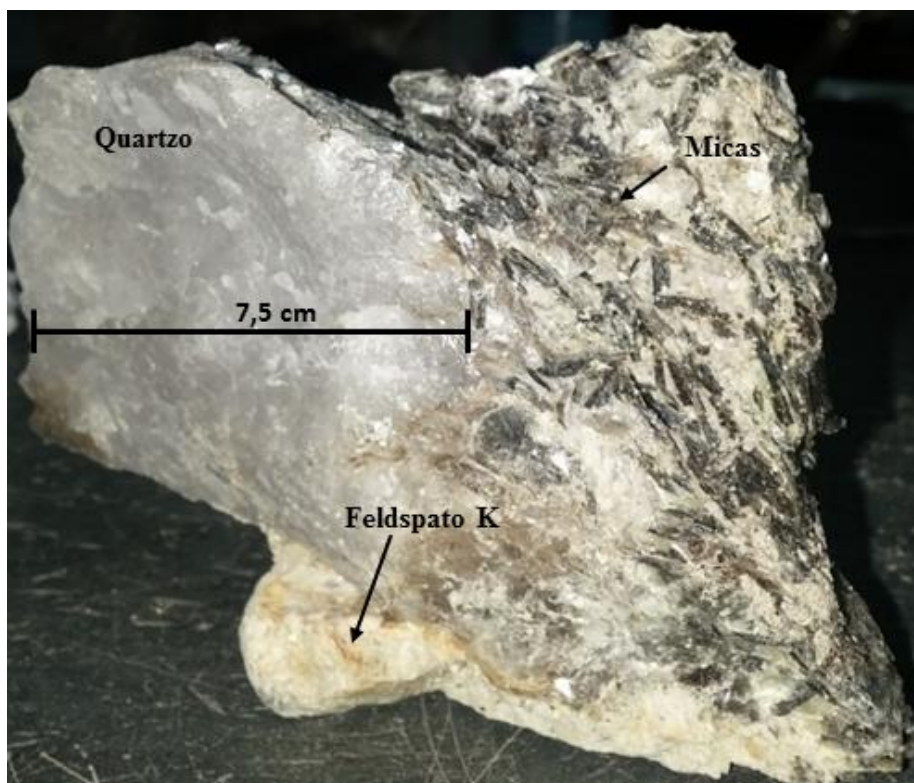


Figura 10. Amostra de feldspato potássico com ocorrência de cristais de moscovite e quartzo leitoso. Amostra colhida na pedreira da Quinta de Carrasqueira de Cima I.

Capítulo 3

Materiais e Métodos

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Prospecção Geofísica

A utilização de métodos geofísicos na Prospecção depende do contraste entre as propriedades físicas dos alvos a detetar e dos meios onde se encontram. Uma das propriedades físicas é a radioatividade, que começou a ser aplicada a partir de meados do século XX, pela necessidade de pesquisas de elementos radioativos como, Urânio (U), Tório (Th) e Potássio (K), que são considerados de grande importância económica (Telford, Geldart e Sheriff, 1990). Posteriormente, medidas de radiometria têm sido utilizadas para monitorização ambiental (IAEA, 2003).

3.1.1. Princípio da radioatividade

A radioatividade foi identificada pela primeira vez em 1896 pelo físico Francês, Henri Becquerel, um ano depois da descoberta do Raio-X em 1895 por Röntgen. Este físico observou que os minerais que contêm Urânio ou sais de Urânio, emitem radiação que passa através de materiais opacos à luz comum, afetando emulsões fotográficas e podendo ionizar gás, da mesma forma que um Raio-X (Telford, Geldart e Sheriff, 1990). Desde então, vários estudos conduziram a descoberta de outros elementos radioativos, como por exemplo o Rádio e Polónio pela cientista Marie Curie e do elemento radioativo Tório, pelo físico alemão Gerhard Schmidt.

De todos os elementos radioativos descobertos, apenas o U, Th e K são considerados como principais fontes de radiação e conseqüentemente os mais relevantes na Prospecção Geofísica, pois apresentam elevados índices de radioatividade e são mais abundantes que os outros elementos radioativos (IAEA, 2003; Johnson, 1979; Milsom e Eriksen, 2011; Telford, Geldart e Sheriff, 1990).

Os equipamentos mais utilizados para medidas de campo de radiometria são, a câmara de ionização (primeira invenção), o contador de *Geiger-Muller*, o cintilómetro e o espectrómetro de raios gama que é uma extensão do cintilómetro (IAEA, 2003; Johnson, 1979; Milsom e Eriksen, 2011; Telford, Geldart e Sheriff, 1990). O principal propósito do uso destes equipamentos é obter uma reação positiva quando presentes a radiação gama, uma vez que esta apresenta maior capacidade de penetração, em comparação com as emissões alfa e beta, que são facilmente bloqueadas por folhas papel e alumínio respetivamente, (Telford, Geldart e Sheriff, 1990).

3.1.2. Decaimento radioativo

O princípio do decaimento radioativo, apresentado em 1902 por Rutherford e Frederick Soddy, consiste na formação de novos elementos radioativos “isótopos filhos”, através da decomposição de isótopos radioativos já existentes “isótopos Pai”. O decaimento ocorre devido à libertação da energia acumulada, causando instabilidade dos elementos em condições naturais e emissão de partículas alfa (α , núcleos de Hélio ${}^4_2\text{He}$), beta (β , elétrons ${}_{-1}^0\text{e}$, ou a antipartícula, positrão) e raios gama (γ , fótons de elevada energia), sendo este último caso quando os átomos ainda se encontram com excesso de energia após a emissão α ou β (IAEA, 2003; Milsom e Eriksen, 2011).

A taxa de decaimento não depende de processos químicos e físicos que possam ocorrer no meio onde se encontram, mas sim do número de átomos presentes no elemento radioativo inicial que ainda não se desintegraram (Telford, Geldart e Sheriff, 1990).

O decaimento radioativo traduz-se pela seguinte expressão:

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

onde,

N_t – é o número de núcleos radioativos de um isótopo presente numa dada amostra num determinado tempo t ;

N_0 – é o número de núcleos radioativos de um isótopo presente numa dada amostra num tempo $t=0$;

λ – é a constante de decaimento radioativo (s^{-1}) (relacionada com a probabilidade da desintegração do núcleo).

Sabendo que a taxa de decaimento é proporcional ao número de átomos presentes no núcleo radioativo que ainda se encontram presentes, tem-se que:

$$A_t = N_t = N_0 e^{-\lambda t} \rightarrow A_t = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

onde,

A_t - é a taxa de decaimento ou atividade, expressa em becquerel (Bq);

A_0 – é a taxa de decaimento inicial para o $t=0$ (Bq);

Define-se o tempo de meia vida ($T_{1/2}$), como o tempo necessário para a desintegração da metade do número de núcleos radioativos inicial, portanto da equação (1) vem:

$$\frac{1}{2}N_0 = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (3)$$

$$2 = e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (4)$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (5)$$

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \quad (6)$$

O $T_{1/2}$ é usado para a datação de fósseis e de elementos químicos radioativos, que por sua vez contribuem para a determinação da idade das rochas.

3.1.3. Aplicação da radioatividade em Geologia e Prospeção Mineira

O método radiométrico é utilizado para estimar as concentrações em rochas e solos, do isótopo filho do potássio (^{40}K), bismuto (^{214}Bi) e tálio (^{208}Tl), procedentes do decaimento radioativo do potássio (K), urânio (^{238}U) e tório (^{232}Th) respetivamente. Para isso, medem-se os raios gama emitidos pelos radioisótopos durante o decaimento radioativo (Milsom e Eriksen, 2011). Estes radioisótopos são utilizados por terem elevada energia (menos absorvidos no ar) e serem facilmente identificados no espectro de raios gama (Shieves, Ford e Charbonneau, 1995), pois possuem picos de energia de radiação distintos, 1.46 MeV, 1.76 MeV e 2.62 MeV, emitidos por cada radioisótopo, ^{40}K , ^{214}Bi e ^{208}Tl respetivamente (IAEA, 2003; Milsom e Eriksen, 2011).

A radiação gama varia inversamente com a densidade do meio que atravessa, encontrando-se sujeita a várias interferências tais como, a densidade da vegetação, humidade do solo, variações topográficas, quantidade de materiais que reduzem a radioatividade existente entre a fonte radioativa e o equipamento (IAEA, 2003). Por isso, as medições efetuadas são superficiais, sendo sugerido um alcance médio de 30 a 40 cm de profundidade nas rochas e solos (Ribeiro, Louro e Mantovani, 2013) enquanto que no ar conseguem atravessar centenas de metros.

O método radiométrico possui inúmeras aplicações. Em Geologia e Prospeção Mineira, é aplicado como ferramenta de cartografia geológica, onde a partir de mapas radiométricos de contorno, se conseguem identificar correlações entre litotipos e delimitação dos seus

contactos (Johnson, 1979), caracterizar a orientação de intrusões indiferenciadas e analisar alterações litológicas ou do tipo de solo. As medidas radiométricas são igualmente usadas para complementar mapas geológicos existentes (Johnson, 1979), detetar depósitos de minérios e monitorização ambiental em áreas de contaminação radioativa (IAEA, 2003).

A recolha de dados radiométricos pode ser feita por via aérea (com cintilómetros acoplados a aeronaves) ou terrestre, com o uso de equipamentos portáteis (IAEA, 2003; Shieves, Ford e Charbonneau, 1995; Telford, Geldart e Sheriff, 1990).

Neste trabalho, o método radiométrico foi utilizado como ferramenta para a prospecção e caracterização de depósitos de pegmatitos a partir da medição das concentrações do K, U e Th com o cintilómetro RS-230 BOG fabricado por *Radiations Solutions Inc.*

3.1.4. Radioatividade nas rochas

As rochas são constituídas por diferentes minerais que podem conter concentrações de elementos radioativos como o K, U e Th (Dickson e Scott, 1997; Johnson, 1979). O elemento potássio (K) é a componente radioativa mais abundante da crosta continental, com um teor médio de 2-2.5% (Dickson e Scott, 1997; IAEA, 2003), concentrado principalmente em feldspato potássico (microclina e ortoclase, ~13%), nas micas (moscovite e biotite, ~8%) (Johnson, 1979), argilas e/ou sais (Dickson e Scott, 1997). Nas pesquisas radiométricas, a concentração do potássio é medida diretamente através da medição do isótopo potássio (^{40}K), que corresponde a 0.012% do elemento potássio (K) (Dickson e Scott, 1997).

Em comparação com o K, o U e Th são menos abundantes na crosta continental, apresentando concentrações médias de aproximadamente, 2-3 e 8-12 ppm respetivamente (Dickson e Scott, 1997; IAEA, 2003). A concentração desses radioelementos (U e Th) nas rochas é conhecida como sendo < 1%, encontrando-se principalmente em minerais de rochas sedimentares (ilite e caulinite), micas (biotite), feldspatos, matéria orgânica, minerais acessórios como o zircão, apatite, monazite (minerais acessórios de pegmatitos graníticos) e em minerais raros (Dickson e Scott, 1997; Johnson, 1979). Contudo, apenas uma pequena parte do U existe nos principais minerais que constituem o granito, embora, uma quantidade significativa pode ser encontrada ao longo dos limites dos grãos e

microfraturas, devido a sua maior mobilidade durante a lixiviação (Dickson e Scott, 1997).

Em rochas, as concentrações mais elevadas desses radioelementos são encontradas em granitos e pegmatitos, onde geralmente existem grandes quantidades de feldspatos, micas e alguns minerais acessórios (Johnson, 1979).

Segundo Dickson e Scott (1997), nas rochas ígneas as concentrações dos radioelementos tendem a aumentar com o aumento do teor em Sílica (Si) (Figura 11), o que significa dizer que as concentrações do K, Th e U diminuem a medida que os minerais constituintes dessas rochas se tornam menos félsicos, como por exemplo, o basalto (rocha máfica) e o dunito (rocha ultramáfica), que apresentam menor taxa de radioatividade de entre todas as rochas ígneas (Johnson, 1979). Segundo o mesmo autor, o grau de radioatividade das rochas metamórficas é idêntico ao grau de radioatividade das rochas ígneas, sedimentares ou outras rochas de onde se originaram, com exceção das rochas onde foram introduzidos ou extraídos elementos radioativos durante o processo de metamorfismo.

De um modo geral, Johnson (1979) conclui que as rochas sedimentares, exceto xisto betuminoso (*shale*) e *arkose* (arenitos ricos em feldspato), são as que apresentam menor grau de radioatividade, visto que a maior parte dos radioelementos encontram-se concentrados em partículas detríticas.

Assim, resta salientar, que é de esperar encontrar concentrações de K superiores as concentrações de U e Th nos locais onde ocorrem corpos pegmatíticos, devido a composição mineralógica desses corpos, que são característicos de minerais associados a elevada concentração de K (Dill, 2015), nomeadamente feldspato potássico.

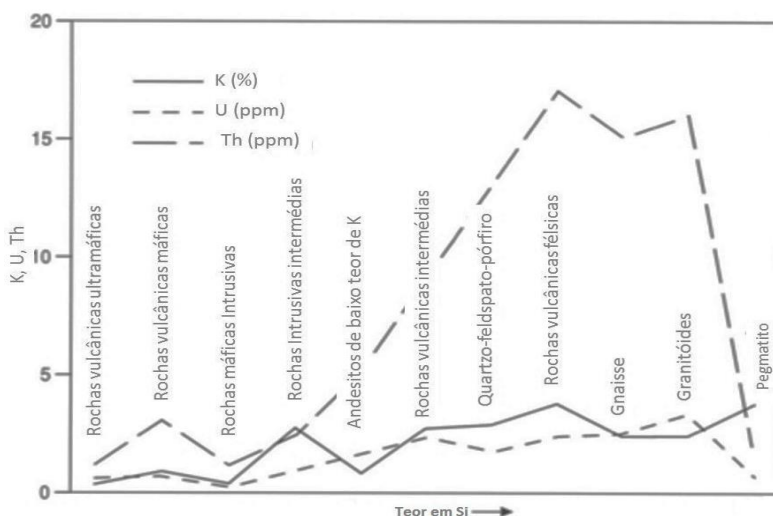


Figura 11. Variação da concentração do U, Th e K em rochas ígneas, com o teor em Si. Adaptado de Dickson e Scott (1997).

3.1.5. Cintilómetro

O cintilómetro é um equipamento utilizado em estudos Geofísicos, para medição de raios gama emitidos pelos isótopos radioativos presentes em minerais, rochas, água, solo, etc., (Telford, Geldart e Sheriff, 1990).

De acordo com Shieves, Ford e Charbonneau (1995), este equipamento foi desenvolvido de forma a possibilitar a absorção de energia de raios gama incidentes e converter a energia do fóton num sinal elétrico proporcional à energia encontrada no detetor. A energia é emitida sob a forma de pulsos luminosos ou cintilações que são convertidas em sinais elétricos proporcionais à intensidade da luz, cujas medidas (em volts) são separadas em classes. Deste modo obtém-se um espectro de energia dos raios gama incidentes que permitem a determinação da concentração individual dos elementos radioativos K, U e Th (Hansen, 1975).

O cintilómetro faz a medida da contagem total dos elementos radioativos através da medição de todos os raios gama existentes dentro da janela de energia 0,4 – 2.81 MeV (ver figura 12), onde cada um dos elementos radioativos, K, U e Th, se encontram associados respetivamente a um pico de energia, 1.46, 1.76 e 2.62 MeV, correspondente a emissão dos isótopos filhos (Figura 12). A maioria dos cintilómetros contém detetores com pelo menos 350 cm³ de cristais de NaI(Tl) que registam entre 256 a 512 canais dentro da gama de energia 0-3 MeV (IAEA, 2003; Johnson, 1979).

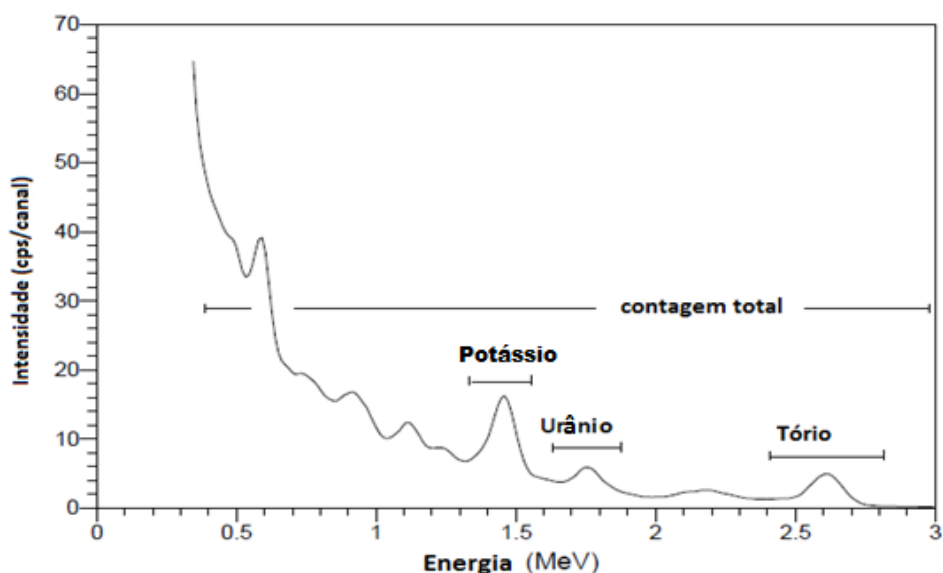


Figura 12. Espectro da radiação gama de Potássio, Tório, Urânio e da medição da contagem total das radiações gama emitidas. Adaptado de IAEA, (2003).

O modelo utilizado, RS-230 BOG (Figura 13) possui um detetor de raios gama de cristal de óxido de germanato de bismuto (BGO) de 103 cm³, que tem um desempenho de aproximadamente 80% de um cristal de NaI(Tl) de 380 cm³. A sensibilidade do cristal BOG de detecção de radiações gama, é cerca de três vezes maior em comparação com os cristais de NaI(Tl) de igual volume presentes na maioria dos cintilómetros, o que consequentemente aumenta a capacidade de detecção de anomalias radiométricas mais pequenas presentes nas rochas.

Os resultados são obtidos em % para K, em ppm para o U e Th e em contagens por segundo (cps) para a contagem total das radiações gama (*RS-230 BGO Super-SPEC*, 2007).



Figura 13. Cintilómetro RS-230 BGO.

A utilização do método radiométrico neste trabalho tem como principais objetivos:

1. Verificar e demonstrar a aplicabilidade do método na detecção de corpos pegmatíticos na região em estudo;
2. Identificar eventuais variações das anomalias com a direção do perfil de medição;
3. Analisar a relação existente entre os radioelementos e alterações geológicas da região, através da variação do U, Th e radiação total.

3.1.6. Aquisição de dados

Para o reconhecimento dos pontos de aquisição, foi utilizado o GPS *Leica Zeno 20*, de 120 canais para receção de sinais GPS, com uma precisão de até 5 centímetros sem antena.

As medidas foram realizadas em perfis localizados sobre os afloramentos de pegmatitos e, em alguns locais, realizaram-se perfis ortogonais para verificar a continuidade direcional dos pegmatitos (Figura 14). Em locais onde não era possível efetuar medições sobre os afloramentos pegmatíticos, foram efetuadas medições nos caminhos próximos aos corpos pegmatíticos identificados.

Em cada perfil foram efetuadas medições entre pontos com espaçamento de aproximadamente 10 metros utilizando em cada medição, um tempo de aquisição de 60 segundos com o equipamento colocado completamente em contacto com o solo enquanto também se mediam as coordenadas com o GPS.

O equipamento de GPS permitiu registar as concentrações dos elementos radioativos (K, Th, U), da radiação total e a respetiva precisão de medição. O procedimento foi repetido para os sete locais de ocorrência de corpos pegmatíticos identificados, sendo realizadas cerca de dez a vinte medições em cada perfil.

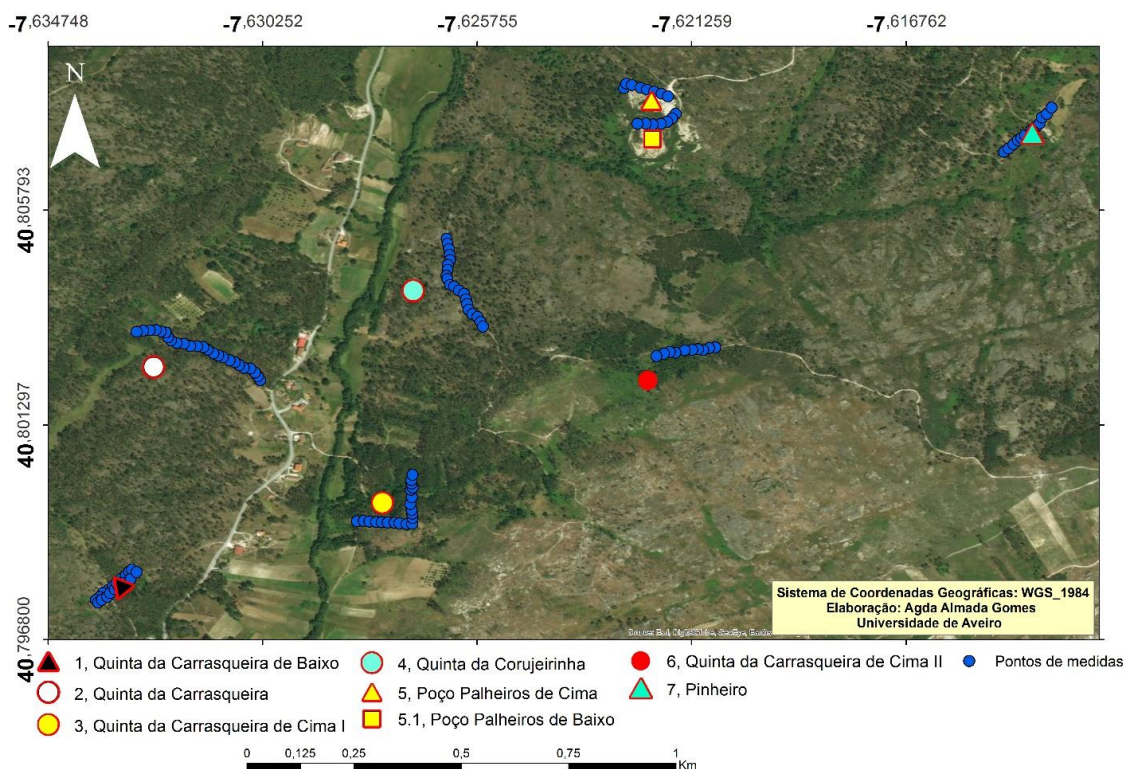


Figura 14. Representação da localização dos corpos pegmatíticos assinalados em Dinis (1999), e dos pontos de medição da concentração dos radioisótopos.

3.1.7. Processamento de dados

O GPS *Leica Zeno 20* é fornecido com um software prático para fazer downloads dos dados armazenados na memória. Os dados foram transferidos em formato *shapefile* e posteriormente processados através do software *Arcgis 10.4.1*, onde foram projetadas nos mapas topográfico e *basemap*, inicialmente georreferenciadas segundo o sistema de coordenadas geográficas *WGS_1984*

3.2. Caracterização Química e mineralógica

Nesta dissertação foram efetuados ensaios químicos, mineralógicos e cerâmicos para a identificação e caracterização dos minerais constituintes dos feldspatos, presentes nos corpos pegmatíticos da região em estudo.

Os elementos maiores e traços dos feldspatos, foram determinados a partir da técnica de Fluorescência de raios-X, enquanto que para determinação dos elementos maiores e traços das micas, foram utilizadas as técnicas de Fluorescência de raios-X e ICP-MS respetivamente. As micas foram ainda sujeitas a análise microscópica. A determinação da composição mineralógica foi efetuada a partir da técnica da Difração de raios-X, em ambos os casos.

Na tabela 4, encontram-se representadas todas as análises efetuadas para a caracterização química, mineralógica e ensaio cerâmico, bem como os locais da preparação e execução.

Tabela 4. Análises efetuadas e respetivos locais da preparação e execução.

Métodos	Tipo caracterização	Local de execução
Fluorescência de raios-X	Química	Departamento de Geociências da UA – Laboratório de Raios-X
Difração de raios-X	Mineralógica	Departamento de Geociências UA – Laboratório de Geoquímica
ICP-MS	Química	Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica da UA– Laboratório de Microscopia Eletrónica
Análise microscópica	Química	Laboratório interno da Grestel, Vagos – Produtos Cerâmicos
Escorrimento e cozedura	Cerâmica	

3.2.1. Amostragem

As amostras utilizadas neste trabalho, foram colhidas a mão em cada um dos pontos de ocorrência de pegmatitos, assinalados anteriormente na tabela 3. Em cada local foram colhidas cerca de 1 quilograma de feldspato (quantidade suficiente para a execução de todas as análises).

Salienta-se que as referências utilizadas para a identificação das amostras nesta secção, correspondem aos locais de ocorrência de pegmatitos, descritos anteriormente na tabela 3.

3.2.2. Preparação das amostras

Antes da execução das análises, fez-se a preparação física das amostras. A preparação das amostras foi realizada no Laboratório de Materiais do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, onde foram tomados todos os cuidados possíveis para evitar a sua contaminação. O processo da preparação das amostras abrangeu a limpeza, a desagregação e moagem, tal como descrito na figura 15.

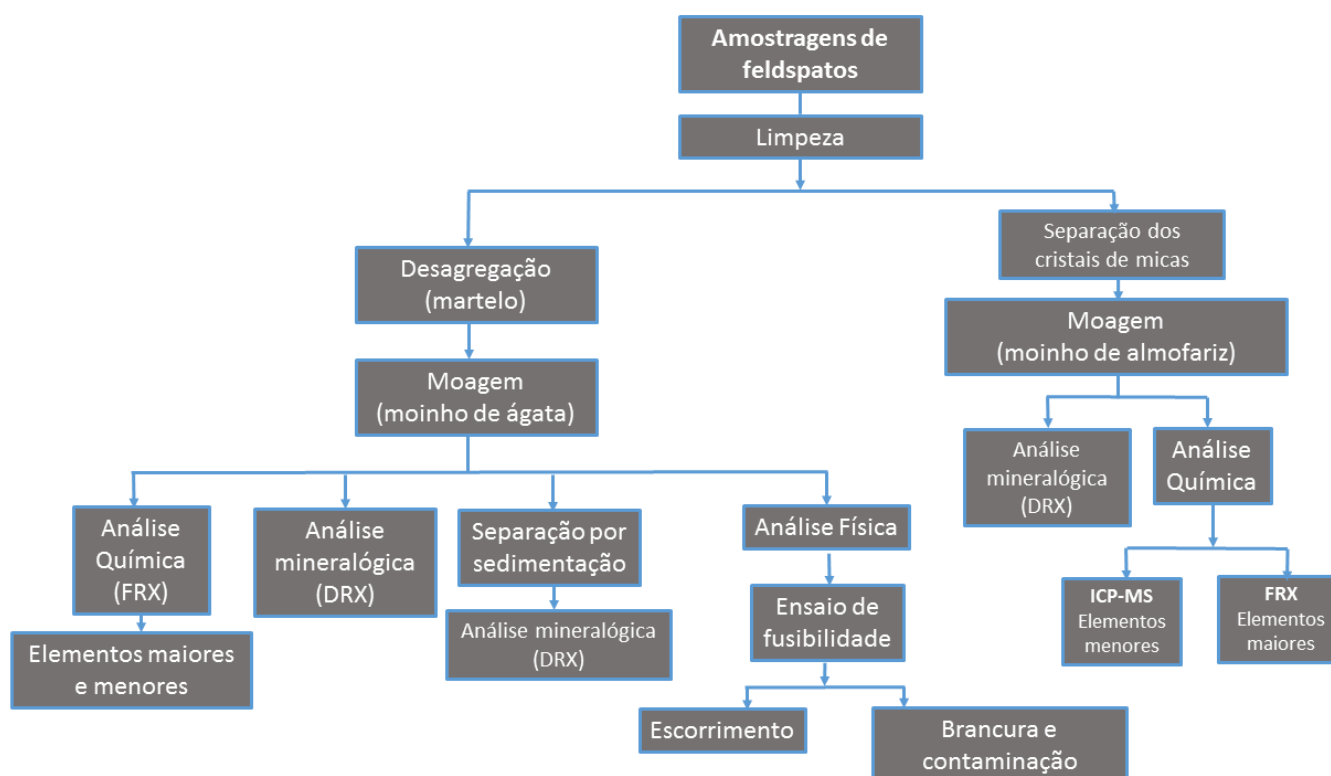


Figura 15. Esquema representativo da preparação das amostras.

3.2.3. Análise química

Segundo Gomes (1988), as análises químicas fornecem informações essenciais relativamente à caracterização prévia e ao entendimento do comportamento dos minerais. Conforme o mesmo autor, quando as quantidades relativas e as características de espécies minerais presentes são desconhecidas, os resultados das análises químicas, devem ser analisados juntamente com outros resultados de análises de caracterização de minerais.

3.2.3.1. Perda ao rubro ou perda de peso por calcinação (LOI)

A perda ao rubro corresponde à quantidade de água perdida por desidratação, à combustão da matéria orgânica ou então ao desenvolvimento de outros voláteis (Gomes, 1988).

A análise da perda ao rubro, foi efetuada de acordo com o seguinte procedimento experimental:

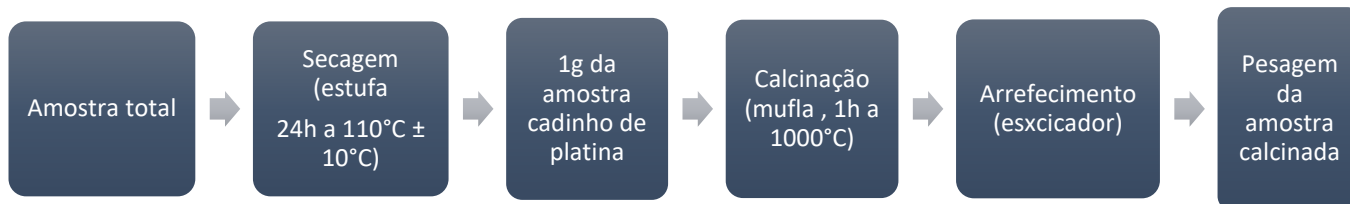


Figura 16. Procedimento experimental para a determinação da perda ao rubro.

A perda ao rubro (PR) expressa em % e, é determinada a partir da equação (7):

$$PR = \frac{p_s - p_c}{p_s} \times 100\% \quad (7)$$

onde,

p_s – peso da amostra seca (g);

p_c – peso da amostra calcinada (g).

3.2.3.2. Espectrometria de Fluorescência de raios-X (FRX)

A fluorescência de raios-X é uma ferramenta analítica usada para análises químicas qualitativa e quantitativa não destrutiva, de elementos químicos maiores e traços, procedentes de rochas, minerais, sedimentos e fluídos que possuem número atômico superior a 9 ($Z > 9$) e, concentrações compreendidas entre 100% e alguns ppm. O seu princípio de funcionamento, consta na libertação de uma energia secundária em forma de raios-X fluorescentes, originada da interação dos átomos de uma dada amostra com os feixes de raios-X emitidos (Gomes, 1988).

Esta análise requer que os materiais analisados sejam reduzidos a pó. O material em pó, é depois prensado em pastilha, quando a quantidade for ≥ 10 gramas, ou então fundido (disco fundido), com o auxílio de um fundente adequado, para amostras de quantidade ≥ 1 grama.

Nesta dissertação, foram executadas as técnicas do disco prensado (Figura 17) para as amostras totais e do disco fundido (Figura 17) para as amostras de micas.

A análise química foi realizada de acordo com o procedimento interno do Laboratório de Raios-X da Universidade de Aveiro, num equipamento *Phillips Automatic Bead Machine Perl'X3* que possui uma fornalha controlada por um microprocessador.



Figura 17. Procedimento experimental para a execução de um disco prensado.

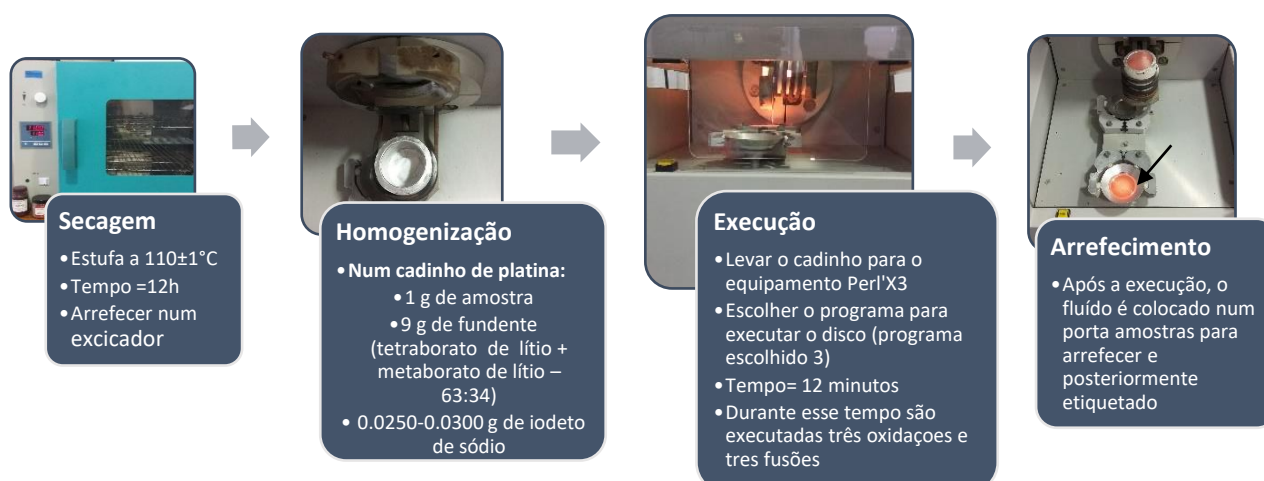


Figura 18. Procedimento experimental para a execução de um disco fundido.

A análise por fluorescência de raios-X não é um método analítico absoluto, por isso, a determinação da concentração de um elemento químico de uma dada amostra, através deste método é efetuada a partir da comparação entre a intensidade da radiação emitida pelo elemento químico que se pretende analisar, com a intensidade da radiação emitida pelo mesmo elemento químico existente em quantidade conhecida numa amostra padrão (Gomes, 1988). A concentração é determinada a partir da equação (8):

$$\frac{I_{sp}}{I_{sr}} = K \frac{C_{sp}}{C_{sr}} \quad (8)$$

Onde:

I_{sp} – Intensidade da risca do espectro da amostra a ser analisada, característica de um determinado elemento químico;

I_{sr} – Intensidade da risca do espectro da amostra de referência, característica do mesmo elemento químico;

K – Constante;

C_{sp} – Concentração do elemento químico na amostra padrão;

C_{sr} – Concentração do mesmo elemento químico na amostra de referência.

Os elementos traços da amostra de micas, foram determinados a partir da análise de espectrometria de massa com plasma indutivo acoplado (ICP-MS), isto porque, a FRX não permite determinar elementos traços existentes numa dada amostra quando a análise é executada em pastilha fundida.

3.2.3.3. Análise de espectrometria de massas com plasma indutivo acoplado (ICP-MS)

O método ICP-MS, é um procedimento analítico de elevada precisão e exatidão, utilizado para executar análises isotópica e de elementos traços. A análise ICP-MS, é realizada através da extração de iões do plasma por entre uma abertura redimensionada, bombardeada e focada por uma lente iónica que existe no interior de um sistema de vácuo, dentro do espectrómetro de massa (Rollinson, 1993). Este método requer uma quantidade reduzida de amostras (< 1g). Antes de efetuar as análises ICP-MS, as amostras de micas foram atacadas com água régia por micro-ondas.

3.2.3.4. Análise Microscópica (SEM)

O princípio de funcionamento do microscópio eletrónico, é semelhante ao princípio da fluorescência de raios-X, diferindo apenas no feixe de emissão, e que neste caso se trata de um feixe de eletrões (Rollinson, 1993).

O aparelho utilizado, consta num Microscópio eletrónico de varrimento (SEM), analítico de alta resolução de emissão *Schottky* (SE), da marca *Hitachi*, modelo SU-70.

Este método foi utilizado para analisar as características químicas e morfológicas das micas em estudo, através de imagens obtidas no SEM e interpretação de microanálises de dispersão de raios-X (EDS), efetuados em pontos estratégicos da amostra. Os resultados das análises químicas (EDS), permitiram determinar os cálculos da fórmula cristaloquímica de cada um dos pontos analisados, para a identificação do mineral específico.

Antes da análise microscópica, as amostras foram colocadas num porta-amostras, sobre uma fita isoladora de cobre e posteriormente inseridas num evaporador térmico compacto para a deposição de carbono (para obtenção de imagens com melhor definição). As amostras foram analisadas segundo a ordem representada na figura 19.



Figura 19. Amostras usadas para a análise microscópica. Os números dentro do porta-amostras, indicam a referência de cada ponto de amostragem e os números fora do porta-amostras indicam a sequência de análise de cada porta-amostras.

3.2.3.5. Cálculo da fórmula cristaloquímica

Para o cálculo da fórmula cristaloquímica, efetuaram-se os seguintes procedimentos:

1. Multiplicou-se (M) o número total de catiões de cada elemento pelo número de carga correspondente e, somaram-se (S) os resultados obtidos;
2. Determinou-se o fator de proporção (FP), através da razão entre a S e a carga teórica total da mica/ilite, que é igual a 22 (S/22);
3. Determinaram-se os números de carga de cada elemento, através da razão M/FP. A soma de todas as cargas tem que ser igual a 22.
4. Por fim, dividiu-se o número de carga de cada elemento pelos respectivos catiões para a correção do número de cargas. Os números de cargas obtidos são utilizados para escrever a fórmula cristaloquímica de cada ponto.

As amostras estudadas possuem os picos (060) típico das micas/ilites, que correspondem a aproximadamente 1.48 – 1.51 Å e 1.51 – 1.54 Å para as estruturas dioctaédrica e trioctaédrica, respetivamente. Os catiões de Fe constantes do cálculo da fórmula cristaloquímica, variam de acordo com tipo de estrutura, isto é, os catiões Fe^{3+} e Fe^{2+} correspondem respetivamente às estruturas dioctaédrica e trioctaédrica.

Para transcrever a fórmula cristaloquímica, há que ter em conta uma sequência de atribuição das cargas, isto é, primeiro são atribuídos aos tetraedros (usualmente Si^{4+} e

Al³⁺) seguindo os octaedros (usualmente Al³⁺, Fe³⁺/Fe²⁺ e Mg²⁺) e por último os catiões de troca (usualmente K⁺, Ca²⁺, Mn, Na⁺) (M. Onal, 2006).

O número de iões para Si⁴⁺ na camada tetraédrica tem que ser igual a 4, caso contrário, complementa-se a diferença com iões de Al³⁺, até obter 4 cargas na camada tetraédrica. Os restantes catiões de Al³⁺ são atribuídos à camada octaédrica, juntamente com os iões de Fe³⁺/Fe²⁺ e Mg²⁺.

3.2.4. Análise mineralógica

3.2.4.1. Difração de raios-X (DRX)

A DRX é uma técnica de análise rápida, versátil e não destrutiva, que compreende a identificação e a quantificação de fases cristalinas, obtenção de parâmetros cristalográficos/estruturais, determinação da cristalinidade, estudo de filmes finos, textura, análises não ambientais e análises a temperaturas elevadas para acompanhamento de transformações de fases.

O princípio de funcionamento da DRX, consta na dispersão de ondas eletromagnéticas, provocada pela interação entre um feixe monocromático de raios-X incidente de ângulo (θ) e comprimento de onda (λ), com os átomos constituintes dum material alvo cristalino, que se encontra distribuído em planos paralelos, separados por uma distância (d). A difração de ondas eletromagnéticas, produz uma interferência construtiva quando as condições satisfazem a lei de *Bragg* (9) (Figura 20):

$$\lambda = 2 \frac{d_{hkl} \sin(\theta)}{n} \quad (9)$$

Onde:

d_{hkl} – afastamento entre o conjunto de planos hkl do cristal;

θ – ângulo formado entre os raios do feixe incidente e os planos atômicos (ijk) refletoras do cristal;

λ – comprimento de onda dos raios-X;

n – Ordem da difração.

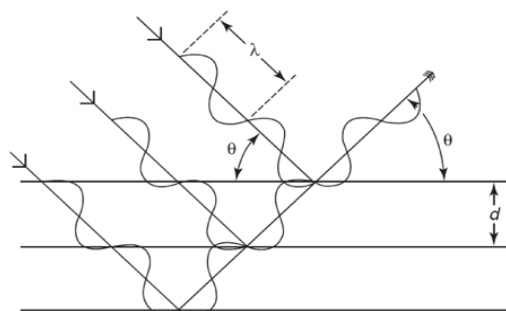


Figura 20. Princípio da difração de raio-X numa estrutura cristalina.

Para a obtenção dos difractogramas da fração total e micas utilizou-se um difractómetro Modelo: X'Pert-Pro MPD Philips/Panalytical, com gerador: PW3040, goniómetro: PW3050/60, utilizando a radiação: $K\alpha$ Cu ($\lambda=1,5405\text{\AA}$), com as seguintes condições de operacionalidade: corrente: 30 mA; tensão: 50 KV; *scan speed*: 0,02 %/segundo. Efetuou-se um varrimento de 4° a 70° (2θ) para os feldspatos e 4° a 50° (2θ) para a análise das amostras de mica.

A interpretação dos difractogramas foi efetuada com base nos ficheiros JCPDS (*Joint Commite for Powder Diffraction Standards*) e a base de dados ICDD PDF4+ 2016, onde são encontradas várias informações de difractogramas, tais como os valores da intensidade e dos d_{hkl} , de mais de 2000 tipos de minerais, sendo complementadas com outros dados de difractogramas presentes nas tabelas do livro editado por Brindley e Brown (1980).

Para a execução da análise mineralógica utilizou-se ~1 grama de amostra previamente preparada (ver o esquema da figura 15). A amostra foi posteriormente introduzida e ligeiramente comprimida (de modo a não se conferir uma orientação preferencial dos cristais) num porta-amostras de alumínio de base móvel do difractómetro de raios-X, (ver o esquema da figura 21). De seguida, os porta-amostras foram encaixados no suporte de porta-amostras e posteriormente conduzidos para o difractómetro de raios-X para a possível análise. Este procedimento foi repetido para as oito amostras totais e de micas.

Foram também realizadas, análises de DRX para a fração $< 2 \mu\text{m}$, determinadas a partir da separação granulométrica por sedimentação de acordo com a lei de *Stokes*. Esta análise foi efetuada com o intuito de fazer uma análise comparativa entre a quantidade de minerais existentes na fração total e a quantidade de minerais existentes na fração $< 2 \mu\text{m}$.



Figura 21. Procedimento experimental para a execução da técnica da difração de raios-X.

3.2.4.2. Separação por sedimentação – Lei de Stokes

A separação por sedimentação (Figura 22), foi executada de acordo com os seguintes procedimentos:

1. Adicionaram-se 5 gramas de amostra (feldspato), num copo de plástico graduado;
2. 200 ml de água destilada;
3. 4 a 5 gotas de hexametáfosfato de sódio (1%);
4. Agitar a mistura durante 1 minuto, utilizando um aparelho de ultrassons;
5. Verter a mistura numa proveta de $V= 250$ ml;
6. Adicionar água destilada até os 250 ml e, deixar em repouso durante 8 horas.

O tempo de repouso (8 horas), é o tempo estimado em função da temperatura do laboratório, para obter partículas com diâmetro esférico $\leq 2\mu\text{m}$ para uma queda de 10 centímetros. Após 8 horas em repouso, foram retirados para um copo de vidro graduado, os primeiros 10 centímetros da proveta e, de seguida levados para estufa a 60°C até a evaporação completa da água. Ao fim de cada 8 horas, repetia-se o procedimento 6 e agitava-se a amostra. Este procedimento foi repetido até se obter uma quantidade suficiente (~ 1 grama), para execução da análise DRX.



Figura 22. Procedimento experimental para a execução da lei de Stokes.

3.2.4.3. Análise semiquantitativa

Para a semiquantificação dos resultados obtidos através da DRX, calculou-se a área específica do triângulo correspondente a picos de maior intensidade de cada mineral presente na amostra e, de seguida foram divididas pelos respetivos poderes refletores, tendo em conta a radiação utilizada ($K\alpha$ Cu). No final, somaram-se todas as áreas e, a quantidade de minerais presentes em (%) foi determinada a partir da regra de três simples:

$$\begin{aligned} 0.94 \text{ cm}^2 &\leftrightarrow 100\% \\ 0.89 \text{ cm}^2 &\leftrightarrow \% \text{ do mineral} \end{aligned}$$

0.94 cm² – soma total das áreas de todos os minerais presentes;

0.89 cm² – área de um mineral específico.

Os poderes refletores utilizados, correspondem aos poderes refletores empregados no laboratório de DRX do departamento de Geociências da Universidade de Aveiro (Tabela 5).

Tabela 5. Poder refletor dos minerais presentes nas amostras em estudo, de acordo com a intensidade dos picos.

Mineral	d(Å)	Poder refletor	d(hkl)
Feldspato potássico	3.26 – 3.23	1	220, 002
Plagioclase	3.19 – 3.16	1	040, 002
Quartzo	3.34	2	101
Quartzo	4.25	0.5	100
Moscovite	9.95 – 10.06	0.5	002

Para uma melhor caracterização mineralógica dos minerais em estudo, calculou-se o índice de cristalinidade, a partir da medição da largura, a meia altura, do espaçamento (Å) do máximo de difração característico de cada mineral (ver d(hkl) da tabela 5). O índice de cristalinidade é inversamente proporcional a cristalinidade, ou seja, quanto menor o valor do índice de cristalinidade de um mineral, maior será a sua cristalinidade.

3.3. Ensaio cerâmico

3.3.1. Ensaio de fusibilidade

Os principais objetivos da execução deste ensaio, são:

- Avaliar o grau de fusibilidade das amostras de feldspato;
- Avaliar o grau de brancura e contaminação das amostras de feldspato.

Antes da execução do ensaio há que certificar-se de que o grau de moagem é igual em todas as amostras a serem analisadas (admite-se qualquer fração, desde que as amostras estejam em forma de pó).

Para a execução do ensaio cerâmico, utilizou-se um suporte em cerâmica, designado de plano inclinado pela empresa onde o ensaio foi executado, levando em conta os seguintes procedimentos:

1. Secar as amostras à 110°C até obter um peso constante;
2. Pesar 2 gramas de cada amostra;
3. Homogeneizar as amostras;
4. Colocar as amostras camada a camada no orifício de escoamento do plano inclinado, com este deitado numa mesa estável;
5. Compactar as amostras com os dedos e depois com a espátula;
6. Fechar a saída do *container* da amostra com uma espátula, para evitar a saída da mesma;
7. Depois de cheio o container, o plano inclinado é colocado em pé com muito cuidado para não verter a amostra;
8. Leva-se a cozer, à temperatura de 1350°C.

Para a determinação do grau de brancura e contaminação, foram seguidos os mesmos procedimentos acima descritos, diferenciando apenas na quantidade das amostras (4 gramas) e no tipo de suporte cerâmico, que neste caso foi um prato de porcelana.

Capítulo 4

Resultados e Discussão

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Prospecção Geofísica

Segundo Dickson e Scott (1997), uma rocha com teores médios de $K > 2.5\%$, $U > 3$ ppm e $Th > 15$ ppm pode ser considerada granítica, félsica extrusiva, intermédia- extrusiva ou xisto. Neste trabalho as concentrações médias de K, Th e U (Tabela 6), apresentam-se dentro dos valores limites identificados por Dickson e Scott (1997), estando, neste caso, associadas a rochas ígneas intrusivas (granitos e pegmatitos).

Na região em estudo as concentrações médias (ver tabela 6) são superiores às concentrações de referência K (~2.35%), Th (~12 ppm) e U (~3 ppm) para a crosta terrestre, descritos por Dickson e Scott (1997), o que pode ser devido a anomalias geológicas locais, em particular à presença de corpos pegmatíticos abundantes em feldspatos que são ricos em K.

Tabela 6. Concentração média dos elementos radioativos K, U e Th em cada ponto de ocorrência de pegmatitos.

	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
Quinta da carrasqueira de Baixo	2.9	9.4	10.4
Quinta da Carrasqueira	3.4	10.3	12.5
Quinta da Carrasqueira de Cima I	3.3	9.4	15.2
Quinta da Corujeirinha	3.7	12.2	22.8
Poço Palheiros de Cima	3.2	11.5	15.7
Poço Palheiros de Baixo	2.9	10.4	12.8
Quinta da Carrasqueira de Cima II	3.9	12.9	17.1
Pinheiro	3.1	9.3	16

Nas figura 23, figura 24 e figura 25 (em cima), encontram-se representadas respetivamente as concentrações do K (%), U (ppm), Th (ppm) e a concentração total (cps), ao longo dos perfis efetuados. Da análise destas figuras observa-se que as concentrações dos radioelementos se encontram distribuídas de forma heterogénea, onde locais de elevadas concentrações de K poderão estar relacionadas a corpos pegmatíticos existentes nesta região.

4.1.1. Quinta da Carrasqueira de Baixo

Os resultados obtidos no local 1, Quinta da Carrasqueira de Baixo, demonstram que a maior concentração do K se encontra a NW dos perfis efetuados (Figura 23), indicando que se existir um corpo pegmatítico nesta região, este encontrar-se-á alongado para NW do perfil. Não foi observada nenhuma variação significativa de U, Th (Figura 24) e radiação total (Figura 25) nesta zona.

4.1.2. Quinta da Carrasqueira

Na pedreira do local 2, Quinta da Carrasqueira, a concentração do K mais elevada encontra-se a meio do perfil (Figura 23), correspondendo a localização do corpo pegmatítico desta região. Foi também observado a NW do perfil, no mesmo ponto de medição, elevada concentração de U e da radiação total entre o cruzamento do perfil e a linha de água existente no local (ver figura 24 e figura 25). Este comportamento pode ser concordante às fraturas conhecidas nesta direção. Nesta zona, não se observou nenhuma variação relevante em relação ao elemento radioativo Th (Figura 24).

4.1.3. Quinta da Carrasqueira de Cima I

Considerando os valores obtidos nos perfis W-E e N-S efetuados no local 3, pedreira da Quinta da Carrasqueira de Cima I (ver figura 23), estes parecem indicar que a bancada se prolonga para nascente (E), mas é de realçar que a certificação deste padrão só será possível após estudos posteriores, uma vez que os dados obtidos não possibilitam assegurar esta hipótese. Um outro fator adicional a esta suposição, são as baixas concentrações de Th, U (Figura 24) e da radiação total (Figura 25) obtidas na mesma direção. Verifica-se na mesma pedreira, a N do perfil, uma pequena alteração na concentração do K (ver figura 23), juntamente com um ligeiro aumento da concentração do U, Th e radiação total (ver figura 24 e figura 25), podendo estar associado à circulação de água que cruza este perfil.

4.1.4. Quinta da Corujeirinha

Na pedreira do local 4, Quinta da Corujeirinha, as concentrações do K (Figura 23) mais elevadas, encontram-se a meio do perfil efetuado e coincidem com a localização do corpo pegmatítico desta região. São também observadas elevadas concentrações de U, Th e

radiação total (Figura 24 e figura 25), podendo neste caso estar associadas a anomalias geológicas desta região.

4.1.5. Poço Palheiros (Cima e Baixo)

A pedreira do local 5, Poço Palheiros de cima, apresenta uma banda de maior concentração de K que se alonga para NW (Figura 23), que é coerente com a localização do pegmatito observado nesta zona. As concentrações de Th e radiação total (Figura 24 e figura 25), apresentam um padrão semelhante ao da distribuição do K, podendo ser um indicador de alterações geológicas ocorridas no local. O U neste ponto (Figura 24), apresenta uma distribuição heterogénea, onde os teores mais elevados podem estar relacionados a corpos graníticos existentes no local.

Na pedreira de Poço Palheiros de baixo, 5.1, observa-se uma variação de Th, U e radiação total (Figura 24 e figura 25) em relação à pedreira de cima, sendo estes essencialmente baixos. Há uma certa variação do K (figura 23), estando esses associados a uma gama de valores notável para indicação da existência de um corpo pegmatítico nesta região.

4.1.6. Quinta da Carrasqueira de Cima II

Na Quinta da Carrasqueira de Cima II, local 6, face aos resultados, as medições obtidas parecem indicar existência de corpo pegmatítico, embora este não tenha sido observado à superfície. As elevadas concentrações de K (Figura 23) são observadas principalmente a E do perfil, o que pode indicar que havendo um corpo pegmatítico nesta zona, poderá estar posicionado no sentido N-S em relação ao perfil. Observa-se também variações de U e Th (Figura 24) e principalmente da radiação total (Figura 25), podendo estas indicar a presença de anomalias geológicas no local.

4.1.7. Pinheiro

A pedreira de Pinheiro, representada no local 7, apresenta uma distribuição heterogénea, não sendo possível obter uma resposta clara do corpo pegmatito assinalado. As concentrações de U, Th e radiação total (ver figura 24 e figura 25) são relativamente baixas, excetuando a região após o cruzamento do perfil com a circulação da água (ver figura 25 e Figura 26).

As elevadas concentrações de U, radiação total e Th observadas podem, em geral, estar associadas à alteração da estrutura geológica desta região, o que não foi possível atestar, devido à informação cartográfica limitada da área de estudo.

Ainda assim, é de se revelar a eficácia do método radiométrico utilizado na Prospecção em pegmatitos, sendo que este apresentou uma resposta positiva perante a deteção de corpos pegmatíticos, e em relação à variação da orientação das anomalias, tendo como respetivos exemplos (Figura 23), as pedreiras da Quinta da Carrasqueira (local 2), Quinta da Corujeirinha (local 4) e Quinta da Carrasqueira de cima II (local 6), e a pedreira da Quinta da Carrasqueira de Cima I (local 3).

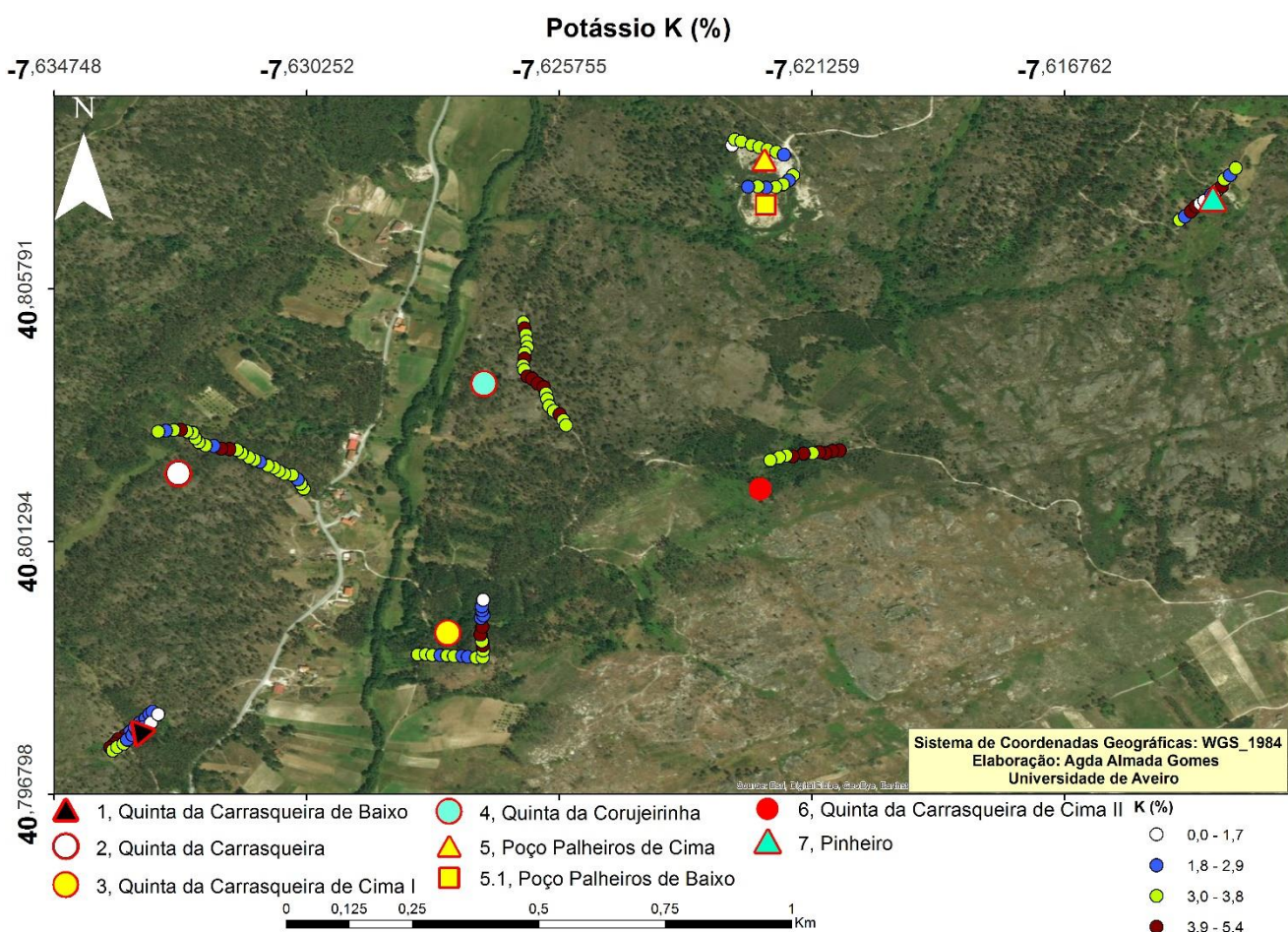


Figura 23. Representação das medidas da concentração do K (%) obtidas ao longo dos perfis de medições.

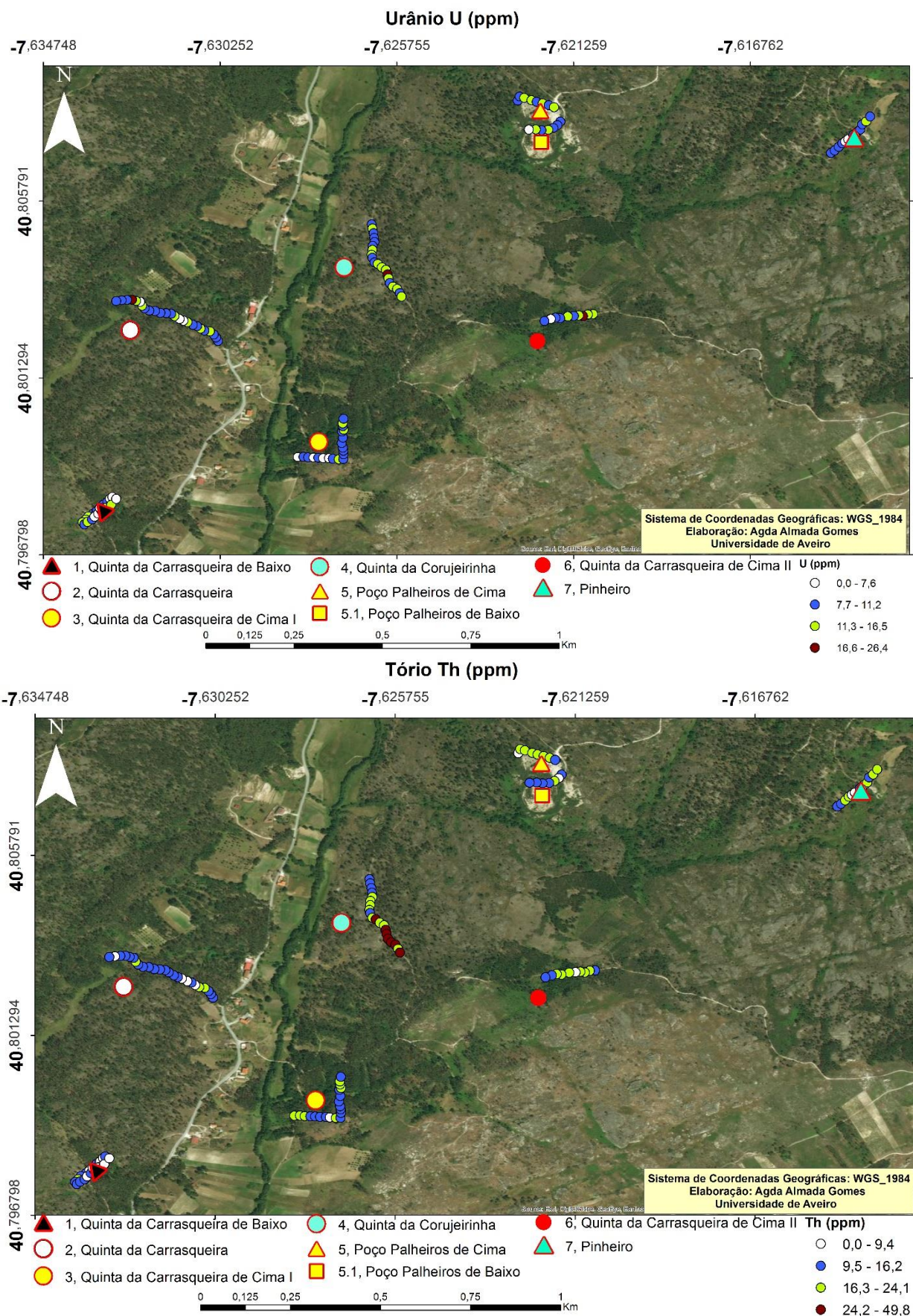


Figura 24. Equivalente a figura 23 para a concentração de U (ppm).e Th (cps).

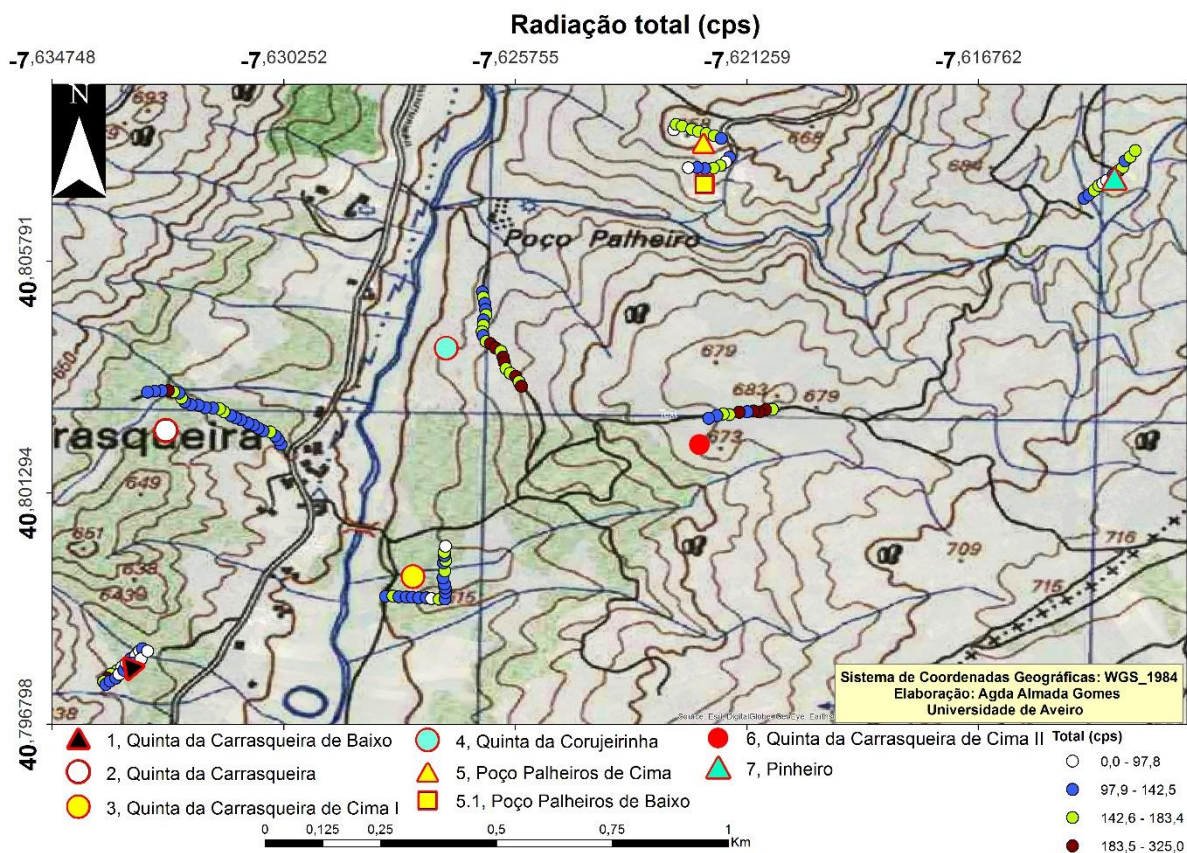
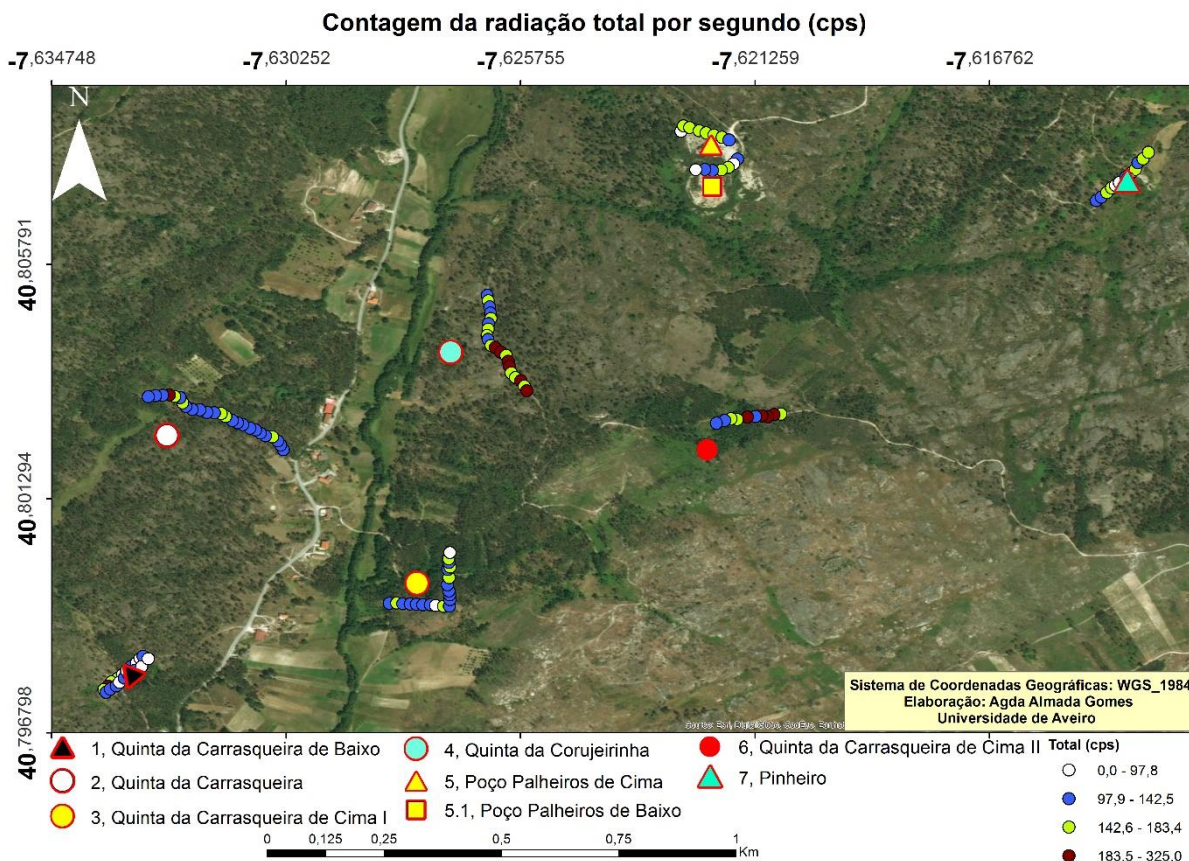


Figura 25. Equivalente a figura 23 para a radiação total (cps) e no mapa topográfico (em baixo).

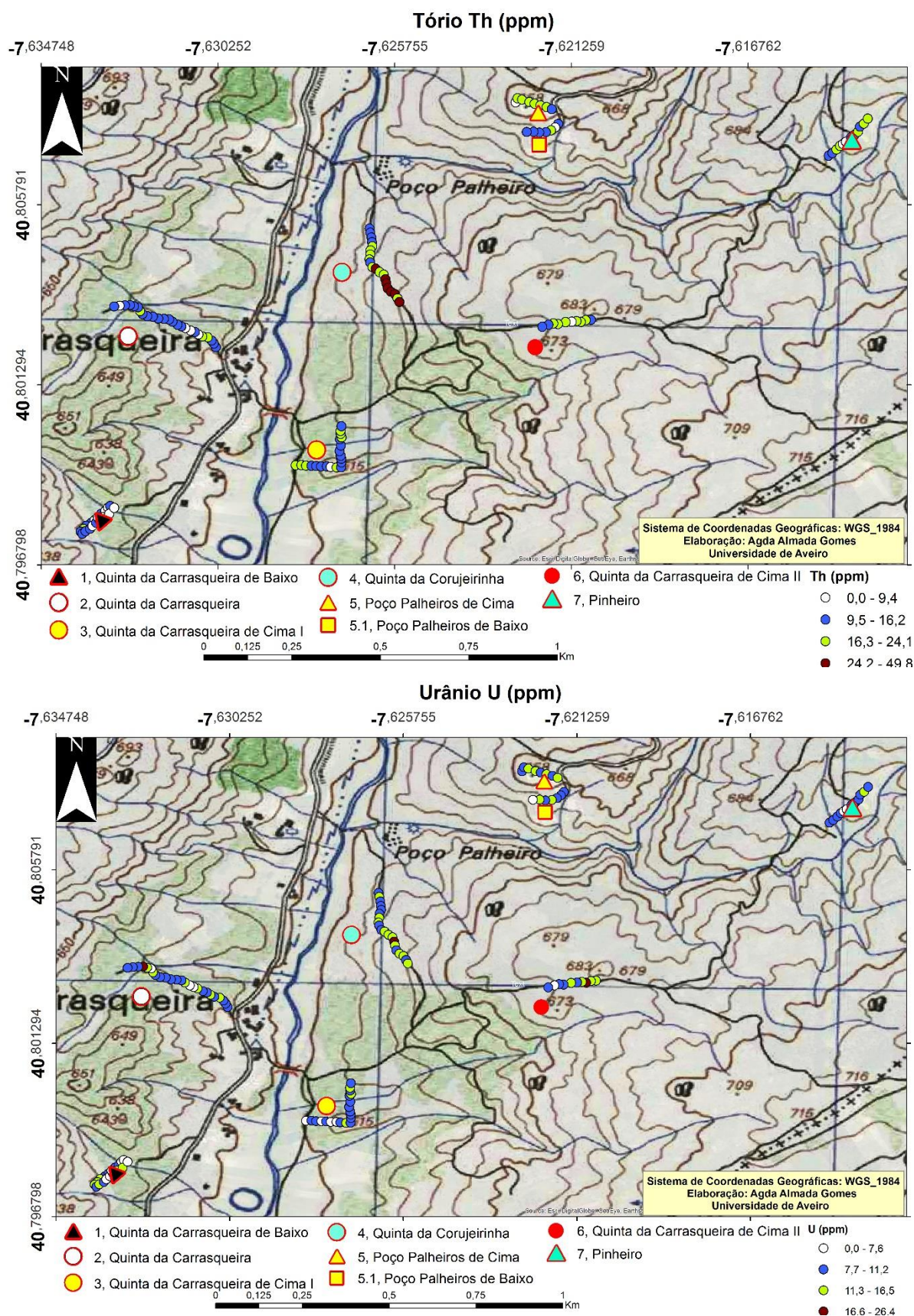


Figura 26. Equivalente figura 23, para a concentração do U(ppm) e Th (ppm), na carta topográfica.

4.2. Caracterização química e mineralógica

4.2.1. Análise química (FRX) – fração total

Tabela 7. Resultados obtidos da espectrometria de fluorescência de raios-X da amostra total.

(%)	Locais de amostragem							
	1	2	3	4	5	5.1	6	7
Na₂O	0,456	2,983	2,243	3,014	1,987	2,959	7,064	2,796
MgO	0,229	0,137	0,487	0,099	0,117	0,098	0,246	0,167
Al₂O₃	18,334	19,211	21,378	18,893	16,955	18,841	21,997	17,060
SiO₂	62,782	62,694	61,038	63,280	66,760	62,849	57,841	67,559
P₂O₅	0,204	0,545	0,391	0,354	0,314	0,395	0,548	0,337
SO₃	0,021	0,009	0,011	0,009	0,010	0,007	0,013	0,006
Cl	nd	nd	0,009	nd	0,006	nd	nd	0,010
K₂O	16,887	13,764	12,788	13,773	12,610	13,637	2,165	11,208
CaO	0,140	0,066	0,041	0,062	0,230	0,071	0,405	0,064
TiO₂	nd	nd	0,009	nd	nd	nd	0,012	nd
MnO	QMen ores	QMen ores	QMen ores	QMen ores	QMen ores	QMen ores	0,026	QMen ores
Fe₂O₃	0,121	0,049	0,107	0,041	0,253	0,100	0,530	0,111
Rb	0,145	0,163	0,164	0,088	0,127	0,103	0,039	0,095
Ba	0,040	QMen ores	QMen ores	0,011	QMen ores	0,029	QMen ores	QMen ores
LOI	0,620	0,370	1,320	0,360	0,600	0,890	9,060	0,570
K₂O/Na₂O	37,03	4,61	5,70	4,57	6,35	4,61	0,31	4,01
Na₂O+K₂O	17,34	16,75	15,03	16,79	14,60	16,60	9,23	14

Da análise da tabela 7, verifica-se que os feldspatos da região de estudo são compostos essencialmente por SiO₂, Al₂O₃ e K₂O e, apresentam uma razão K₂O/Na₂O > 3:1, indicando que os feldspatos têm um elevado teor de potássio, portanto estes são essencialmente potássicos. A amostra da região 6 (Quinta da Carrasqueira de Cima II), difere-se das restantes amostras, por apresentar elevado teor de Na₂O, aproximando-se mais da composição química da plagioclase sódica (Tabela 8). A razão K₂O/Na₂O < 1%, confirma o facto de esta amostra ser uma plagioclase sódica, por apresentar teor de Na₂O superior a K₂O. Verifica-se que a razão k₂O/Na₂O do ponto 6 é muito baixa (< 1:1), o que significa dizer que o uso deste feldspato na cerâmica, pode causar um menor fluxo da

massa cerâmica e conseqüentemente a distorção da mesma durante a queima (Tavares *et al.*, 2005).

Tabela 8. Composição química teórica do feldspato potássico e plagioclase sódica.
Fonte: *Webminerals*

	K₂O	Na₂O	CaO	Al₂O₃	SiO₂
	(%)				
Feldspato potássico (microclina e ortoclase) K ₂ O Al ₂ O ₃ 6SiO ₂	16.9			18.3	64.8
Plagioclase sódica (albita) Na ₂ O Al ₂ O ₃ 6SiO ₂		11.2		20.35	67.4

A tabela 9 representa os diferentes teores de elementos constituintes do feldspato utilizados na indústria cerâmica e de vidro.

Tabela 9. Composição química específica do feldspato utilizado na indústria cerâmica e vidro, segundo Kyonka e Cook (1954) e Silva, Cunha e Marinho (1996).

	SiO₂	Al₂O₃	K₂O	Na₂O	Fe₂O₃	MgO	CaO	TiO₂	Na₂O+K₂O	LOI
Cerâmica e vidro	65-75	15-21	0.5-13.5	2-9	0.02-0.4	<0.5	0.1-2.5	<0.2	≥ 13	< 0.5

Foram também definidos, teores máximos de Fe₂O₃ admitidos na composição do feldspato, para os diferentes tipos de vidro e cerâmica (Tabela 10).

Tabela 10. Concentração do Fe₂O₃ requerido em feldspatos para o uso na indústria cerâmica e de vidro. Adaptado de Ariffin (2003).

Tipos de vidro e materiais cerâmicos	% Fe₂O₃
Vidro branco para revestimento	< 0.3
Vidro colorido para revestimento	< 0.5
Vidro liso	< 0.6 e < 0.08 (preferível)
Frascos de vidro	< 1
Cerâmica branca	< 0.5
Tijolo cerâmico	< 1

Comparando os resultados da análise química obtidos neste trabalho, com os requisitos propostos por Ariffin (2003) e os dados da tabela 9, verifica-se que a maioria dos

feldspatos analisados possuem uma composição química adequada para o uso na indústria, essencialmente na cerâmica e vidro, isentando o feldspato da amostra 6 que apresentou um teor de Fe_2O_3 (que é um elemento impróprio para a cerâmica branca) acima da média e um elevado teor de LOI o que poderá diminuir a viscosidade do corpo cerâmico, e conseqüentemente conduzir ao excesso de fluidez. Além destes fatores, a amostra 6 demonstrou ter um baixo teor de alcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 10\%$), indicando a baixa capacidade para atuar como fundente. Contudo, pode dizer-se que a baixa concentração de SiO_2 e elevada concentração de LOI na amostra 6 podem igualmente estar relacionada à presença de hidróxidos existentes na matriz deste feldspato.

Da análise dos elementos traços (Tabela 17 do anexo 2), verifica-se que as amostras não possuem teores significativos dos mesmos, o que pode indicar a ausência de minerais acessórios e/ou elementos raros nos feldspatos em estudo.

Sendo assim, pode-se dizer que dependendo da composição química, os feldspatos desta região podem ser proveitosos para o uso na indústria cerâmica e de vidro. Porém, estes resultados, não são suficientes para apurar a capacidade destes feldspatos para o uso na indústria da cerâmica e vidro, sendo por isso realizadas outros ensaios, tal como o ensaio cerâmico.

4.2.2. Análise mineralógica (DRX) – fração total

4.2.2.1. Análise semiquantitativa

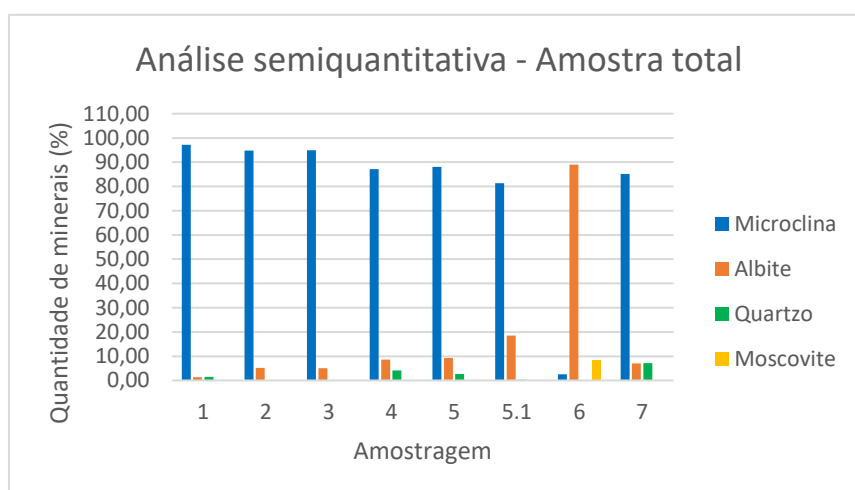


Figura 27. Resultados da análise semiquantitativa da amostra total.

Os difratogramas obtidos da amostra total (Figura 56 e Figura 57 – Anexo 5), demonstraram que a microclina é o mineral predominante na maioria das amostras, compreendendo mais de 80% da composição destas, exceto na amostra 6, onde predomina a albite, abrangendo ~85% da composição total da amostra (Figura 27). Esses resultados são coerentes com os resultados obtidos na análise química, dado que, a microclina e a albite são os principais minerais do grupo do feldspato potássico e plagioclase sódica, respetivamente.

Face aos resultados obtidos, os feldspatos da região em estudo indicam ter uma boa estrutura mineralógica para o uso na indústria cerâmica, uma vez que estes são constituídos essencialmente por microclina, que segundo Fiori, Fabbri e Ravaglioli (1989), é a mais utilizada nesta indústria por evitar elevadas deformações no produto durante a sinterização.

4.2.3. Análise mineralógica (DRX) da fração < 2 µm

4.2.3.1. Análise semiquantitativa da fração < 2µm

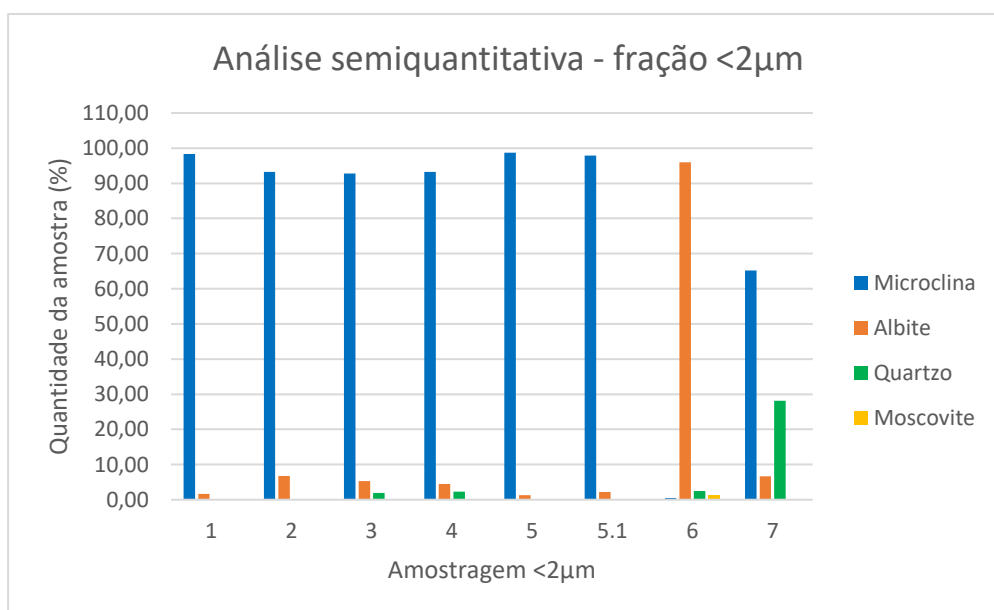


Figura 28. Resultados da análise semiquantitativa da fração < 2µm.

Os difratogramas da fração < 2µm encontram-se representados nas figura 58 e figura 59 do Anexo 5. Comparando os resultados da análise semiquantitativa obtida para a fração < 2µm (Figura 28) face a amostra total (Figura 27), verifica-se que não houve nenhuma alteração significativa, o que significa dizer que ao reduzir a granulometria da amostra

não ocorre nenhuma alteração reveladora na composição mineralógica das amostras. Nas amostras em que predominavam os feldspatos potássicos, estes continuam a ser predominantes, mas há uma tendência para uma diminuição relativa da percentagem da albita em algumas amostras (4, 5, 5.1) quando se reduz a granulometria. Na amostra 6 houve uma diminuição significativa da percentagem da microclina e uma pequena concentração do quartzo.

Assim sendo, conclui-se que os resultados da análise química e mineralógica são coerentes com os trabalhos realizados por Anderson (2012); Černý (1992); London (2013); Shigley e Kampf (1982), onde diz que as reservas naturais de pegmatitos contém feldspatos essencialmente potássicos (microclina e ortóclase) e raramente plagioclase sódica (albita).

O índice de cristalinidade é correspondente ao inverso da cristalinidade, ou seja, quanto menor o índice de cristalinidade de um mineral, maior será a sua cristalinidade.

Da análise dos índices de cristalinidade da tabela 11, verifica-se que os índices de cristalinidade são mais elevados para as amostras global em comparação com a fração <math><2\mu\text{m}</math>, indicando neste caso, que ao reduzir a fração granulométrica, esses minerais apresentam melhor ordem estrutural. Observa-se em ambos os casos, que os minerais da albite têm cristalinidade mais elevada em relação a microclina em todas as amostras onde a microclina é predominante e, vice-versa, indicando também que a cristalinidade é inversamente proporcional a intensidade e a área do pico.

Tabela 11. Índices de cristalinidade de M – Moscovite, A – Albite, Q – Quartzo e Msc – Moscovite.

	Amostras	M	A	Q	Msc
	1	0,22	0,01	0,007	
	2	0,11	0,06		
	3	0,20	0,02		
Fração inicial	4	0,19	0,07	0,007	
	5	0,23	0,07	0,012	
	5.1	0,21	0,08		
	6	0,02	0,27		0,04
	7	0,20	0,03	0,013	
Fração <math><2\mu\text{m}</math>	1	0,21	0,004		
	2	0,07	0,04		
	3	0,07	0,03	0,01	
	4	0,11	0,02	0,005	

Amostras	M	A	Q	Msc
5	0,15	0,02		
5.1	0,08	0,02		
6		0,35	0,007	0,013
7	0,11	0,02	0,06	

4.2.4. Análise química (FRX) – Micas

Tabela 12. Resultados da análise química (FRX)

Locais de Amostragem	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	LOI (%)
1	45,970	34,690	2,660	0,090	0,620	0,010	0,270	10,540	0,350	0,050	4,750
2	45,620	34,460	3,080	0,100	0,490	0,010	0,300	10,500	0,210	0,050	5,190
3	46,380	33,020	3,810	0,100	0,770	0,000	nd	11,090	0,370	0,010	4,520
4	45,600	34,900	2,450	0,050	0,640	0,000	0,300	10,390	0,450	0,040	5,170
5	45,560	34,000	3,220	0,090	0,440	0,010	0,220	10,200	0,470	0,050	5,750
5.1	47,330	32,610	4,180	0,160	0,250	0,030	0,120	10,260	0,240	0,100	4,730
6	46,190	34,210	3,230	0,100	0,450	0,010	0,150	10,520	0,240	0,050	4,840
7	46,100	34,570	3,360	0,080	0,150	0,000	0,160	10,500	0,140	0,060	4,880

Tabela 13. Composição química teórica da moscovite e biotite. Fonte: *Webminerals*

	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
	(%)				
Moscovite					
$(Si_3^{4+} Al^{3+})(Al_2^{3+})K^+O_{10}^-(OH^-F^2)_2$	11.81			38.36	45.21
Biotite					
$(Si_3^{4+} Al^{3+})(Mg^+Fe^{2+})K^+O_{10}^-(OH^-F^2)_2$	10.86	8.29	23.24	11.76	41.58

Nas tabela 12 e tabela 13, encontram-se representados respectivamente, os resultados da composição química teórica das micas da região em estudo e a composição química teórica da moscovite e biotite.

Da análise da tabela 12, observa-se que as micas analisadas são compostas essencialmente por SiO₂, Al₂O₃ e K₂O, constituindo cerca de 91% da composição total, com teores aproximados aos da composição teórica da moscovite (ver tabela 13), indicando ser essencialmente moscovites. Outros fatores adicionais desta afirmação, são baixas as

concentrações de MgO e elevada razão ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$) (Tabela 14), indicando a predominância do alumínio face ao óxido de ferro. No entanto, os teores de Fe_2O_3 obtidos podem estar relacionados à presença de pequenas partículas de biotite nas amostras.

Os resultados das relações $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ e $\text{K}_2\text{O}/\text{Si}_2\text{O}$ (Tabela 14) demonstram que o teor de K_2O não é controlado pela variação de Al_2O , Si_2O e Fe_2O_3 , uma vez que nem todas as amostras que contém K_2O contém maior teor de Al_2O , Si_2O e Fe_2O_3 , e vice-versa.

Tabela 14. Relação entre K_2O e Al_2O , Si_2O e Fe_2O_3 .

Locais de amostragem	$\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}/\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{K}_2\text{O}/\text{Si}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}/\text{Fe}_2\text{O}_3$
1	0,304	3,962	0,229	13,041
2	0,305	3,409	0,230	11,188
3	0,336	2,911	0,239	8,667
4	0,298	4,241	0,228	14,245
5	0,300	3,168	0,224	7,801
5.1	0,315	2,455	0,217	10,559
6	0,308	3,257	0,228	10,591
7	0,304	3,125	0,228	10,289

4.2.4.1. Análise ICP-MS

Os resultados da análise ICP-MS (Tabela 18 – Anexo 2) indicaram que as concentrações mais elevadas encontradas nas micas são de K e Al, não sendo observados teores significativos de Fe e Mg, indicando assim, a predominância dos elementos integrantes da moscovite.

Sublinha-se que as amostras não apresentam concentrações significativas de elementos traços, apontando deste modo a inexistência de concentrações significantes de elementos com valores económicos nas amostras de micas em estudo.

4.2.5. Análise mineralógica (DRX) – Micas

Determinam-se as estruturas cristalinas da moscovite e biotite, como sendo dioctaédrica e trioctaédrica respetivamente. Cada uma destas estruturas é composta por diferentes estruturas cristalinas com a mesma composição química, designadas de polítipos. Fazem

parte deste grupo, as estruturas 1M, 2M₁ e 3T, sendo a 2M₁ e 1M consideradas as mais abundantes em moscovite e biotite, respetivamente (Brindley e Brown, 1980).

Assim sendo, foram realizadas análises de DRX das micas, para a identificação dos minerais constituintes, bem como os diferentes polítipos presentes. Os resultados obtidos encontram-se representados nas figura 60 e figura 61 do Anexo 5.

Da análise dos resultados, verifica-se que as amostras são constituídas unicamente por moscovite de estrutura cristalina 2M₁. Este resultado coincide com a análise química efetuada e corrobora com Brindley e Brown (1980), onde diz que a estrutura 2M₁ é a estrutura predominante da moscovite.

Apesar das amostras serem constituídas pela mesma estrutura cristalina, estas não compartilham o mesmo grau de cristalinidade. De acordo com os valores de índice de cristalinidade da tabela 15, as amostras 2 e 7 apresentam menor índice de cristalinidade, portanto, são mais cristalinos em comparação com as restantes amostras.

Tabela 15. Índice de cristalinidade (Ic) das amostras de moscovite.

Locais de amostragem	1	2	3	4	5	5,1	6	7
Ic	0,26	0,12	0,26	0,26	0,22	0,25	0,26	0,13

Anteriormente relacionou-se o teor de Fe₂O₃ obtido na análise química, com partículas de biotite que poderão estar presentes na amostra, porém não foram detetados biotite na DRX, o que pode indicar presença de cristais amorfos e não cristalinos.

4.2.6. Análise microscópica – SEM

4.2.6.1. Porta-amostras 1

Na figura 29 encontram-se representadas as amostras analisadas no porta-amostras 1.

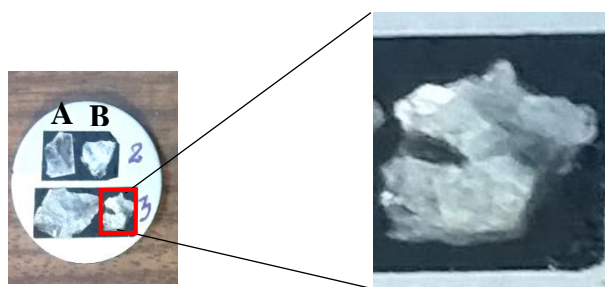


Figura 29. Amostras analisadas no porta-amostras 1.

As imagens obtidas através da SEM das amostras A e B do ponto 2, encontram-se representadas respetivamente na figura 30. Ambas apresentam uma estrutura homogénea folhada, característica da estrutura da moscovite.

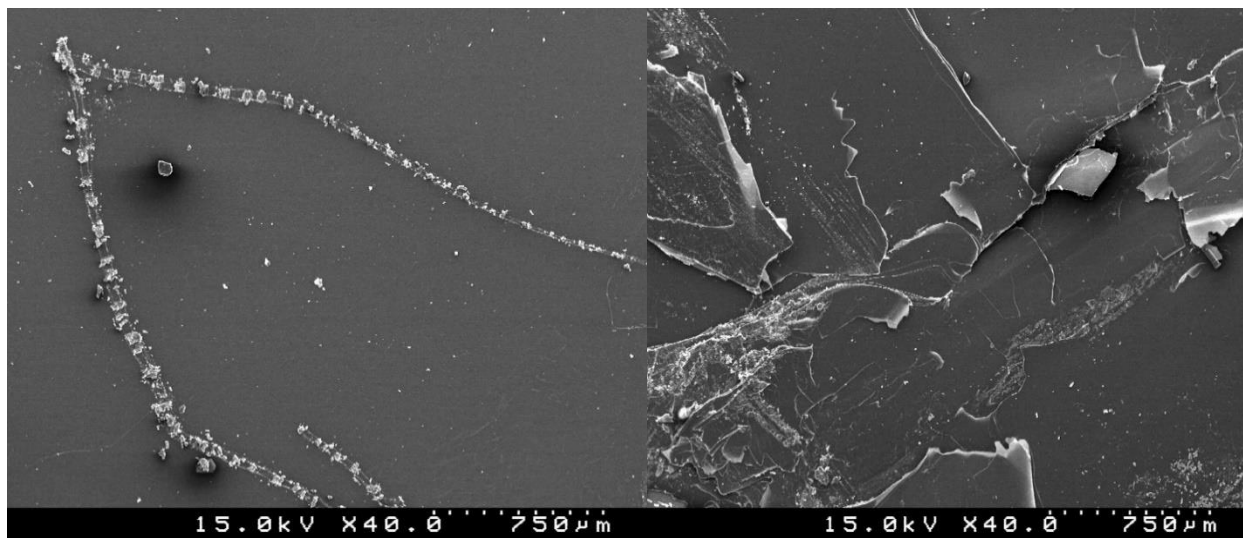


Figura 30. Imagens das amostras A e B do ponto 2, obtida a partir do SEM.

Os resultados da amostra 3, demonstraram que esta tem uma estrutura homogénea, com exceção do grão contornado (Figura 31). Desta feita, foram efetuadas análises químicas nos dois diferentes pontos, para verificar se há variações significativas na composição química entre os dois pontos.

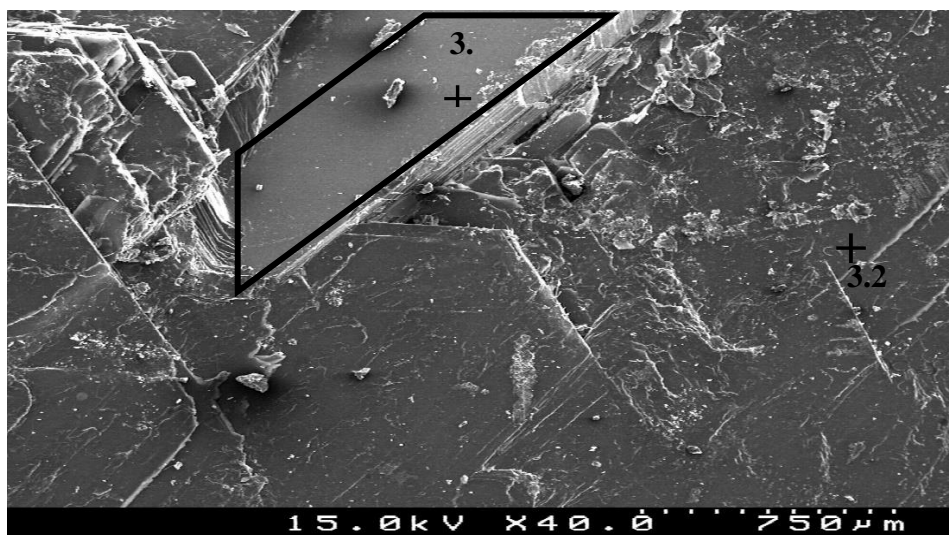


Figura 31. Imagem obtida para a amostra do ponto 3. +: indica os pontos onde foram feitas as análises químicas (EDS).

Os resultados obtidos (Figura 50 – Anexo 3) indicaram que os dois pontos analisados (3.1 e 3.2) são constituídos essencialmente por K, Si e Al, sendo a maior concentração detetada no ponto 3.1, onde também foi detetada uma pequena fração de Fe.

4.2.6.2. Porta-amostras 2

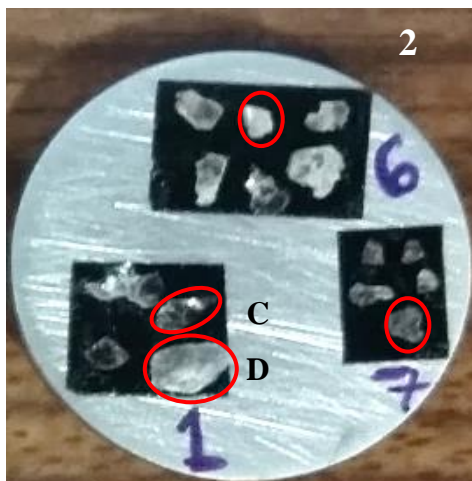


Figura 32. Representação das amostras analisadas, no porta-amostras 2.

Na figura 32 encontram-se representadas as amostras analisadas no porta-amostra 2. A figura 33, traduz os resultados obtidos para as amostras 6 e 7, onde foram efetuadas análises químicas em cada um dos pontos representados na mesma.

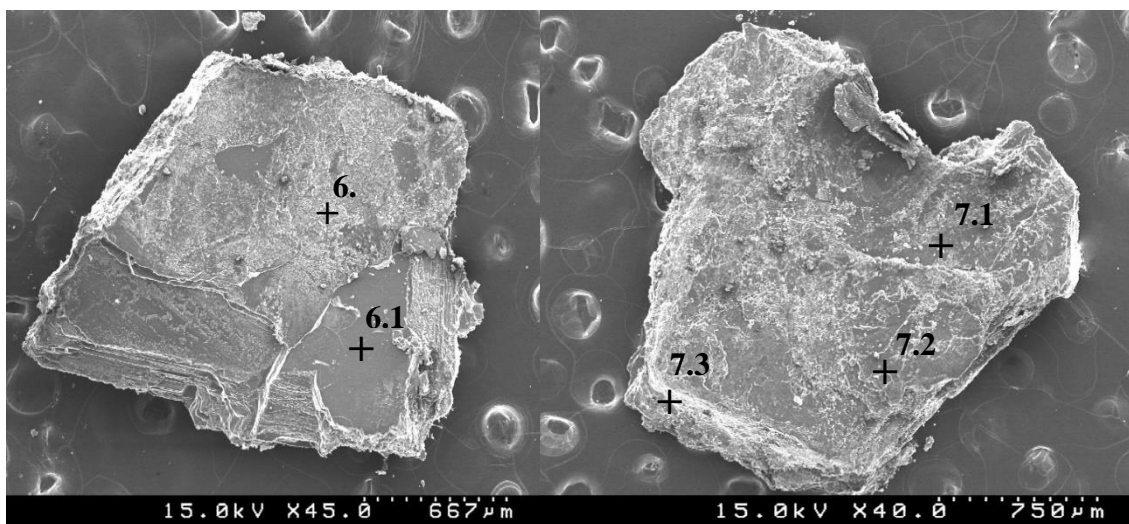


Figura 33. Imagem representativa das amostras analisadas do ponto 6 à esquerda e 7 à direita. +: indica os pontos onde foram efetuadas as análises químicas.

A amostra do ponto 6, também demonstrou ter uma estrutura homogênea, sendo os pontos analisados (Figura 52 – Anexo 3), constituídos essencialmente por Si, K, elevados teores de Al, com uma baixa concentração de Na e Fe, no 6.1 e Mg no 6.2. O elevado teor de Al obtido neste ponto pode estar relacionado ao alumínio proveniente do porta-amostras.

As análises químicas efetuadas na amostra 7 demonstraram que:

- O 7.1 (Figura 53 – Anexo 3), é composto essencialmente por Al, Si, K e uma percentagem reduzida de Fe e Mg;
- O 7.2 (Figura 53 – Anexo 3), é constituído essencialmente por Si e Al. Neste ponto houve uma diminuição significativa de K e um aumento de Fe, face ao 7.1. Observa-se também a presença de uma pequena proporção de Mn.
- A composição química do 7.3 (Figura 54 – Anexo 3), aproxima-se mais da composição química do 7.2, sendo neste observado ausência do Mn e maior concentração de K.

A amostra 7 por sua vez, também apresenta uma estrutura homogênea. A composição química dos três pontos analisados (Figura 33) demonstraram ser idênticas, diferindo apenas nas concentrações dos elementos entre cada ponto.

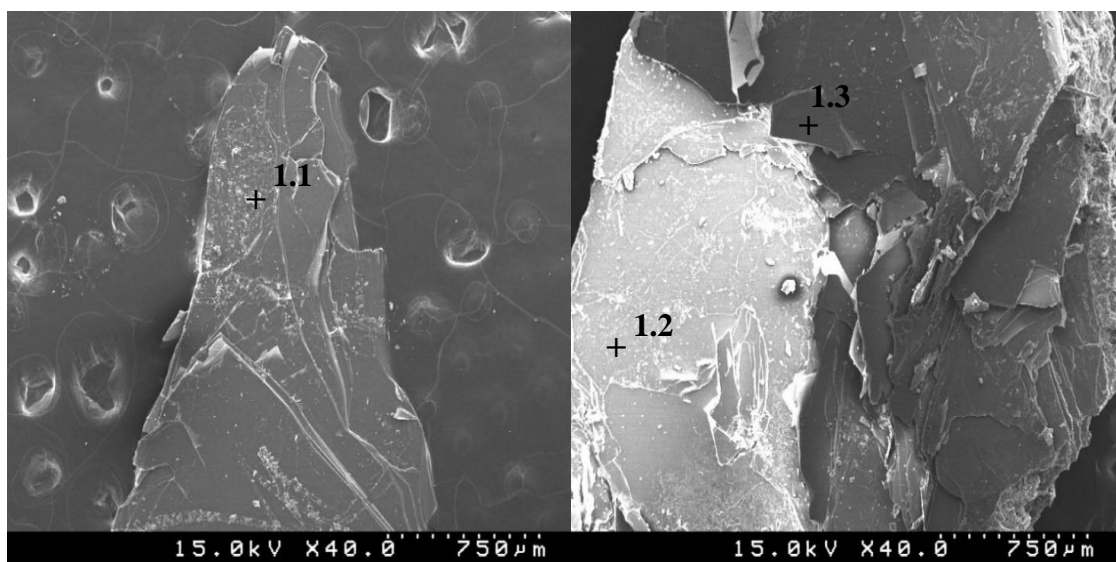


Figura 34. Imagem representativa das amostras analisadas do ponto 1. À esquerda encontra-se representada a amostra C e à direita, a amostra D (ver Figura 32).

As imagens obtidas da análise do ponto 1 (C e D), encontram-se representadas na figura 34. Foram efetuadas análises químicas nos três pontos assinalados nas imagens, estas por

sua vez demonstraram compartilhar da mesma composição química (Figura 54 e figura 55 – Anexo 3), sendo constituídos essencialmente por Al, Si, K e vestígios de Na, Mg e Fe.

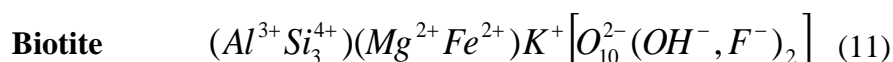
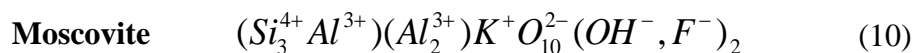
Das análises obtidas na SEM, verifica-se que as amostras apresentam no global uma textura cristalina homogénea foliada, característica de minerais de micas.

Embora já se tenha identificado a moscovite como sendo o mineral dominante, foram determinados cálculos da fórmula cristaloquímica para uma identificação mineralógica mais apurada.

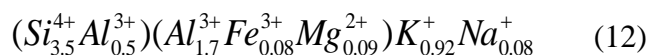
4.2.6.3. Fórmula cristaloquímica

Os cálculos efetuados e os resultados obtidos, encontram-se representados respetivamente nas tabela 19, tabela 20, tabela 21 e tabela 22 do Anexo 4. Os resultados permitiram a determinação da fórmula estrutural para a possível identificação do mineral analisado.

As amostras analisadas, correspondem a minerais pertencentes ao grupo das micas, que de acordo com os resultados obtidos na DRX, FRX demonstraram ser moscovites com algumas partículas de biotites. Sendo assim, apresentaram-se as fórmulas químicas teóricas da moscovite e biotite (10) e (11) para a possível comparação com as fórmulas cristaloquímica determinadas:



Por exemplo, a fórmula cristaloquímica do 1.1 (Figura 54 – Anexo 4) escreve-se da seguinte forma:



Comparando as fórmulas (10) e (11) com o resultado obtido (12), verifica-se que está próximo da fórmula química da moscovite, indicando, assim, que o mineral específico deste ponto é a moscovite.

Na tabela 16 encontram-se representadas as restantes fórmulas cristaloquímica obtidas, bem como os respetivos minerais identificados.

Tabela 16. Fórmulas cristalóquímica das análises químicas (EDS) efetuadas em cada amostra e os respetivos minerais.

Análises EDS	Fórmula química*	Identificação do mineral
1.2	$(Si_{3.76}^{4+} Al_{0.24}^{3+})(Al_{1.3}^{3+} Fe_{0.26}^{3+} Mg_{0.22}^{2+})K_{0.96}^{+} Na_{0.13}^{+}$	Moscovite
1.3	$(Si_{3.46}^{4+} Al_{0.54}^{3+})(Al_{1.63}^{3+} Fe_{0.15}^{3+} Mg_{0.13}^{2+})K_{0.84}^{+} Na_{0.08}^{+}$	Moscovite
3.1	$(Si_{3.66}^{4+} Al_{0.34}^{3+})(Al_{1.56}^{3+} Fe_{0.28}^{3+} Mg_{0.18}^{2+})K_{0.74}^{+}$	Moscovite
3.2	$(Si_{3.6}^{4+} Al_{0.4}^{3+})(Al_{1.7}^{3+} Mg_{0.13}^{2+})K_{1.03}^{+}$	Moscovite
6.1	$(Si_{3.52}^{4+} Al_{0.48}^{3+})(Al_{1.67}^{3+} Fe_{0.18}^{3+})K_{0.8}^{+} Na_{0.17}^{+}$	Moscovite
6.2	$(Si_{3.65}^{4+} Al_{0.35}^{3+})(Al_{1.95}^{3+} Mg_{0.05}^{2+})Mg_{0.27}^{2+} K_{0.16}^{+}$	Moscovite
7.1	$(Si_{3.52}^{4+} Al_{0.48}^{3+})(Al_{1.64}^{3+} Fe_{0.14}^{3+} Mg_{0.12}^{2+})K_{0.9}^{+}$	Moscovite
7.2	$(Si_{2.88}^{4+} Al_{1.12}^{3+})(Al_{0.83}^{3+} Fe_{1.17}^{2+})Fe_{0.03}^{2+} Mg_{0.35}^{2+} K_{0.12}^{+} Mn_{0.07}^{+}$	Biotite
7.3	$(Si_{3.05}^{4+} Al_{0.95}^{3+})(Al_1^{3+} Fe_1^{2+})Fe_{0.03}^{2+} Mg_{0.29}^{2+} K_{0.25}^{+}$	Biotite

*: apenas os catiões

As fórmulas químicas obtidas a partir dos resultados da análise química (EDS), demonstraram que a maior parte dos pontos analisados indicaram a presença da moscovite, exceto os pontos 7.2 e 7.3 que demonstraram ter uma estrutura aproximada da biotite, por apresentarem um elevado teor de Fe^{2+} , embora não tenha sido identificados teores significativos de Mg e Fe na FRX e nem picos correspondentes a biotite na DRX nestas amostras.

4.3. Ensaio cerâmico

4.3.1. Ensaio de fusibilidade

O ensaio de fusibilidade foi executado em seis amostras de feldspato, compreendendo os feldspatos dos locais 1, 2, 3 e 4, por terem apresentado maior teor de alcalis, alumina e teores significativos de sílica. A amostra 6 foi analisada, por exibir elevado teor de alumina e, principalmente por ser a única plagioclase sódica. Ao contrário das restantes amostras, a 5 apresenta teores baixos de alumina e alcalis e, elevada concentração de sílica (ver tabela 7). Assim sendo, a amostra 5 foi utilizada de modo a verificar a influência da concentração dos elementos químicos no ensaio de fusibilidade.

Os resultados do ensaio de fusibilidade efetuados a 1350°C, determinaram o grau de escorrimento e, avaliação qualitativa do grau de brancura e contaminação.

4.3.1.1. Escorrimento

Quanto ao grau de escorrimento, os resultados obtidos indicaram que, as amostras 2, 3 e 4 (Figura 35) apresentaram um excelente grau de fusibilidade, enquanto que as amostras 1 e 5 (Figura 36) indicam requerer uma temperatura de fusão mais elevada, o que consequentemente elimina a hipótese de serem candidatos para a indústria da cerâmica, uma vez que quanto menor o ponto de fusão de um fundente, melhor. O baixo grau de fusibilidade, pode também estar diretamente relacionado ao elevado teor de sílica presente na amostra 5.

A plagioclase sódica é caracterizada por ter um ponto de fusão baixo (~1170°C) e repentino, indicando uma rápida fusibilidade e contração da matéria-prima em função da temperatura, resultando num produto final de baixa viscosidade (Fernandes, 2006).

Face às características expostas, pode explicar-se o fato do resultado da amostra 6 (Figura 37), apresentar um elevado grau de escorrimento e, consequentemente, baixa viscosidade (elevada fluidez). O excesso de fluidez também pode estar relacionado ao elevado teor de perda por ignição (LOI) (Tabela 7), que pode contribuir para fuga de voláteis e fluídos da estrutura do mineral (Tavares *et al.*, 2005).



Figura 35. Resultado da análise de escurimento das amostras 2, 3 e 4.



Figura 36. Resultado do ensaio de escurimento das amostras 5 e 1.



Figura 37. Resultado do ensaio de escurimento da amostra 6.

4.3.1.2. Grau de brancura e contaminação

Em termos da avaliação do grau de brancura e contaminação, as amostras 2 e 3 (Figura 38) demonstraram ter maior pureza face às restantes amostras, visto que apresentam uma cor branca uniforme, sendo a amostra 3 inibida de quaisquer manchas, demonstrando ser uma matéria-prima de melhor qualidade em relação às restantes. A amostra 6 (Figura 39), apresenta maior grau de impureza, indicando presença de contaminantes (óxidos de ferro).



Figura 38. Resultado da avaliação qualitativa do grau de brancura e contaminação das amostras 2, 3 e 4.



Figura 39. Resultado da avaliação qualitativa do grau de brancura e contaminação das amostras 1 e 5.



Figura 40. Resultado da avaliação qualitativa do grau de brancura e contaminação da amostra 6.

Assim sendo, conclui-se que os resultados obtidos demonstraram que as amostras 2, 3 e 4, são de grande interesse para a indústria de porcelana, devido ao excelente grau de pureza, brancura e escorrimento, sobrelevando a amostra 3 que apresentou ser de melhor qualidade.

As amostras 1 e 5 demonstraram ter uma cor branca homogênea com poucas manchas, porém, estas não são de grande interesse para a indústria cerâmica, por apresentarem um baixo grau de fusibilidade, contrariando, assim, um dos principais objetivos do uso dos feldspatos na indústria cerâmica.

A amostra 6 (Figura 37 e Figura 40), apresentou uma cor mais escura (imprópria para cerâmica de louça branca), elevado grau de contaminação e baixa viscosidade, o que pode causar danos no corpo cerâmico. Estes fatores contribuem para exclusão deste feldspato na indústria cerâmica, assegurando, assim, a suposição feita em 4.2.1. Contudo, a mesma pode ser utilizada em revestimento e/ou pavimento, uma vez que estes são sinterizados a baixas temperaturas e não requerem formatos específicos, que exigem maior solidez do material. Segundo Fernandes (2006), no fabrico de pavimento, o feldspato é usado apenas para formar uma pequena quantidade de fase vítrea de modo a garantir as ligações entre partículas para aumentar a resistência mecânica. Neste caso, a plagioclase sódica, é mais indicada por ter menor viscosidade e temperatura de fusão comparada com o feldspato potássico.

Capítulo 5

Conclusões

5. CONCLUSÕES

Este trabalho foi realizado com o intuito de avaliar a utilização da prospeção geofísica e caracterizar os corpos pegmatitos da região de Ferreira de Aves – Sátão, distrito de Viseu. Ao fim do trabalho realizado conclui-se que:

- Os corpos pegmatíticos estudados encontram-se organizados em bancadas, subhorizontais;
- O método radiométrico utilizado na prospeção de pegmatitos, demonstrou ser promissor na deteção dos mesmos e, na identificação da variação das anomalias de ^{40}K com a direção dos perfis efetuados, tendo como exemplos respetivos, as pedreiras da Quinta da Corujeirinha e da Quinta da Carrasqueira de Baixo. O método radiométrico também demonstrou a capacidade de deteção de corpos pegmatíticos não aflorante (Quinta da Carrasqueira de Cima II);
- As concentrações de U e Th na zona de estudo são heterogéneas, apresentando elevados valores relativamente às concentrações dos mesmos para a crosta terrestre, provavelmente ligadas à presença de acidentes estruturais na região;
- Os resultados obtidos, demonstraram que os pegmatitos da região em estudo são constituídos essencialmente por feldspato potássico (microclina), moscovite e quartzo, sendo a região 6 (Quinta da Carrasqueira de Cima II) constituída por plagioclase sódica (albite), moscovite e Quartzo;
- Os resultados obtidos, indicaram que as micas da região em estudo são constituídas essencialmente por elementos comuns, integrantes dos minerais de moscovite e biotite, portanto inibidas de quaisquer outros elementos de valor económico;
- Os feldspatos da região 2, 3 e da 4 demonstraram ser as mais adequadas para a utilização na indústria cerâmica, por apresentarem baixo grau de contaminação, melhor grau de fusibilidade e brancura, características essenciais requeridas nos principais setores da cerâmica (louças brancas, incluindo louças sanitárias);

- As amostras 1 e 5 não foram consideradas de grande interesse por terem apresentado um baixo grau de fusibilidade, dispensando assim a utilização na indústria cerâmica.
- A amostra 6 apresentou um elevado grau de escorrimento indicando baixa viscosidade. Também apresentou um elevado grau de contaminação, onde são visíveis quantidades excessivas de óxidos de ferro, eliminando a hipótese de poderem ser utilizadas nas indústrias cerâmicas. Contudo, demonstrou ser um bom candidato para aplicação no fabrico de pavimentos/revestimento.

A amostra 3 demonstrou ter um elevado grau de pureza. Esta por sua vez corresponde ao corpo pegmatítico da Quinta da Carrasqueira de Cima I (Figura 43 – Anexo I), que é um pegmatito de grande dimensão, o que significa dizer que a extração deste para o uso na indústria, pode vir a ser economicamente viável.

5.1. Propostas para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros sugerem-se:

- A execução da cartografia detalhada da região em estudo, para identificação da possível relação existente entre estruturas geológicas locais e os elementos radioativos (U e Th);
- Cartografia radiométrica de toda a região em estudo numa malha apertada para investigar a continuidade dos depósitos pegmatíticos;
- Executar um processo de separação dos minerais de feldspato mais apurado, para obtenção de melhores resultados no ensaio cerâmico.

Referências Bibliográficas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C. - Valorisation of Pegmatite Deposits in Environmental Conditioned Areas. Em **Granitic Pegmatites: The State of the Art**. Porto, Portugal : Internal Symposium, 2007
- ANDERSON, J. Lawford - Cold Pegmatites. **Elements**. . ISSN 1811-5209. 8:4 (2012) 248–249. doi: 10.2113/gselements.8.4.248.
- ARIFFIN, Kamar. S. - The Properties of Feldspars and their use in whitewares. **Mineral Perindustrian**. 3:425 (2003) 1–16.
- AZEVEDO, M. Rosário *et al.* - Origin and emplacement of syn-orogenic Variscan granitoids in Iberia the Beiras massif. **Journal of the Virtual Explorer**. . ISSN 14418126. 19:7 (2005) 10. doi: 10.3809/jvirtex.2005.00115.
- AZEVEDO, Maria; AGUADO, Beatriz - Origem e instalação de Granitóides Variscos na Zona Centro-Ibérica. Em DIAS, R. *et al.* (Eds.) - **Geologia Pré-mesozóica de Portugal**. [S.l.] : Escolar Ed, 2013v. 1. p. 377–402.
- BRINDLEY, G. W.; BROWN, George - Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. **Mineralogical Society Monograph**. London. 5 (1980) 305–356.
- CARVALHO, Jorge M. F.; FARINHA, João A. L. B. - Lithium potentialities in Northern Portugal. **17th Industrial Minerals International Congress, Barcelona**. 3:17 (2004) 11.
- CARVALHO, José Martins *et al.* - Prospeção hidrogeológica da Área do sistema hidrotermal das Caldas da Cavaca (Aguiar da Beira, Portugal central): implicações na gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Em RUBIO, RAFAEL FERNÁNDEZ; MORENO, IRENE ZAFIRA; HERRANZ, MARÍA TERESA GRANDE (Eds.) - **Foro Ibérico sobre Aguas Envasadas y Balnearios**. Madrid : Aneabe Anbal, 2005
- ČERNÝ, P. - Geochemical and petrogenetic features of mineralization in rare-element granitic pegmatites in the light of current research. **Applied Geochemistry**. . ISSN 08832927. 7:5 (1992) 393–416. doi: 10.1016/0883-2927(92)90002-K.
- ČERNÝ, P.; ERCIT, T. S. - The Classification of Granitic Pegmatites Revisited. **The Canadian Mineralogist**. 43:6 (2005) 2005–2026. doi: 10.2113/gscanmin.43.6.2005.
- ČERNÝ, Petr - Rare-element Granitic Pegmatites. Part I: Anatomy and Internal Evolution

of Pegmatites Deposits. **Geoscience Canada**. Manitoba. 18:2 (1991) 19.

ČERNÝ, Petr; LONDON, David; NOVÁK, Milan - Granitic pegmatites as reflections of their sources. **Elements**. . ISSN 18115209. 8:4 (2012) 289–294. doi: 2113/gselements.8.4.289.

COSTA, Maria Mafalda Canas Portela - **Geoquímica de granitóides de Pera Velha – Vila Nova de Paiva – Ferreira de Aves**. [S.l.] : Universidade de Aveiro, 2006

COSTA, Maria Mafalda Canas Portela - **Geoquímica dos Granitóides de Aguiar da Beira, Norte de Portugal**. [S.l.] : Universidade de Aveiro, 2011

DIAS, R. *et al.* - Da deformação na Serra do Marão ao zonamento do autóctone da Zona Centro-Ibérica. Em **Geologia de Portugal no contexto da Ibérica**. [S.l.] : Universidade de Évora, 2006. p. 35–61.

DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. - Interpretation of aerial gamma-ray surveys - adding the geochemical factors. **Journal of Australian Geology and Geophysics (AGSO)** . . ISSN 13201271. 17:2 (1997) 187–200.

DILL, Harald G. - Pegmatites and aplites: Their genetic and applied ore geology. **Ore Geology Reviews**. Hannover. . ISSN 01691368. 69 (2015) 417–561. doi: 10.1016/j.oregeorev.2015.02.022.

DINIS, Paulo Manuel Da Costa Fernandes - **Prospecção, pesquisa e caracterização de pegmatitos em Pinheiro - Aguiar da Beira**. [S.l.] : Universidade de Aveiro, 1999

FARIAS, P. *et al.* - Aportaciones al conocimiento de la litoestratigrafia y estrutura de Galicia Central. **IX Reunión sobre a Geologia do Oeste Peninsular**. Porto, Portugal. 1 (1987) 411–431.

FERNANDES, José Augusto De Abreu Peixoto - **Potencialidades dos depósitos pegmatíticos de quartzo e de feldspato em Portugal**. [S.l.] : Universidade de Aveiro, 2006

FERREIRA, António Miguel Pereira Jorge - Caracterização de Portugal Continental. Dados Geoquímicos de Base de Sedimentos Fluviais de Amostragem de Baixa Densidade de Portugal Continental: Estudo de Factores de Variação Regional. **LNEG**. 2 (2000) 19–61.

FIORI, C.; FABBRI, B.; RAVAGLIOLI, A. - **Materie Prime Ceramiche - Tecniche**

- analitiche e indagini di laboratorio.** 2. ed. Faenza : Faenza Editrice, 1989
- GINSBURG, A.; TIMOFEYEV, L.; FELDMAN, L. G. - Principles of Geology of the Granite Pegmatites. Em **Russian**. Moscow : Nedra, 1979
- GLOVER, Alexander S.; ROGERS, William Z.; BARTON, James E. - Granitic pegmatites: Storehouses of industrial minerals. **Elements**. . ISSN 18115209. 8:4 (2012) 269–273. doi: 10.2113/gselements.8.4.269.
- GOMES, Celso Figueiredo - **Argilas: o que são e para que servem**. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian, 1988. ISBN 9723100274, 9789723100273.
- HANSEN, D. A. - **Geological applications. Manual for Portable Gamma-ray Spectrometers**. Toronto : Exploranium G.S Limited, 1975
- IAEA, Internacional Atomic Energy Agency - Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. **Nuclear Fuel and Materials Section**. Vienna. 5 (2003) 179.
- JOHNSON, Stanley S. - Radioactivity Surveys. **Division of Mineral Resources**. 25:2 (1979) 12.
- JULIVERT, M. *et al.* - **Mapa Tectonico de la Peninsula Iberica y Baleares, escala 1/100 000**. Madrid : Claudio Coello, 1974
- KYONKA, Joseph C.; COOK, Ralph L. - The Properties of Feldspars and Their Use in Whitewares. **University of Illinois Bulletin**. 51:38 (1954) 42.
- LIMA, A. M. C.; VIEIRA, R. C.; ALMEIDA, C. - Caracterização científica e tecnológica dos aplitopegmatitos com elementos raros da região de Almendra-Barca de Alva (Nordeste de Portugal): possíveis implicações no domínio sócio-económico. Em **Livro de Actas do III Seminário Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território**. Vila Real : UTAD, 2003. p. 35–42.
- LNEG - **Mineral Potential of Portugal** [Em linha], atual. 1998. [Consult. 15 abr. 2017]. Disponível em WWW:<URL:http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/potential/texto>.
- LONDON, David - Granitic pegmatites: An assessment of current concepts and directions for the future. **Lithos**. . ISSN 00244937. 80:1–4 SPEC. ISS. (2005) 281–303. doi: 10.1016/j.lithos.2004.02.009.

LONDON, David - **Pegmatites**. 10. ed. [S.l.] : Mineralogical Association of Canada, 2008

LONDON, David - A petrologic assessment of internal zonation in granitic pegmatites. **Lithos**. . ISSN 00244937. 184–187 (2013) 74–104. doi: 10.1016/j.lithos.2013.10.025.

LONDON, David; KONTAK, Daniel J. - Granitic pegmatites: Scientific wonders and economic bonanzas. **Elements**. . ISSN 18115209. 8:4 (2012) 257–261. doi: 10.2113/gselements.8.4.257.

LOTZE, F. - **Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta**. Berlin : Geotektonische Forschungen, 1945

M. ONAL - Determination of Chemical Formula of a Smectite. **Communications, Series B: Chemistry and Chemical Engineering**. 52:2 (2006) 1–6.

MARTÍNEZ CATALÁN, J.; ARENAS, R.; DIEZ BALDA, M. - Extension y metamorfismo de baja presión en el Manto de Mondoñedo. Em VERA, J. (Ed.) - **Geología de España**. Madrid : SGE-IGME, 2004. p. 58–59.

MILSOM, John; ERIKSEN, Asger - Radiometric Surveys. Em **Field Geophysics** [Em linha]. 4th. ed. Chichester, Uk : Willey, John and Sons Ltd, 2011 Disponível em WWW:<URL:<http://dx.doi.org/10.1002/9780470972311.ch4>>. ISBN 9780470972311. p. 85–96.

OLIVEIRA, J. *et al.* - O Paleozóico Inferior de Portugal: síntese da estratigrafia e da evolução paleogeográfica. Em GUTIÉRREZ-MARCO, J. C.; SAAVEDRA, J.; RÁBANO, I. (Eds.) - **Paleozoico Inferior de Ibero-América**. [S.l.] : Universidade de Extremadura, 1992. p. 359–375.

RIBEIRO, Vanessa B.; LOURO, Vinicius H. A.; MANTOVANI, Marta S. M. - Geophysical study of the Sertãozinho, Rio Aguapeí and Nova anomalies (SW of Mato Grosso, Brazil). Em **13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society** [Em linha]. Rio de Janeiro : Sociedade Brasileira de Geofísica, 2013 Disponível em WWW:<URL:<http://library.seg.org/doi/abs/10.1190/sbgf2013-146>>.

ROLLINSON, Hugh. R. - **Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation (Longman Geochemistry)**. 1st. ed. London : Routledge, 1993

RS-230 BGO Super-SPEC - [Em linha], atual. 2007. [Consult. 1 jan. 2017]. Disponível

em WWW:<URL:http://www.radiationsolutions.ca/index.php?id=78>.

SHIEVES, R. B. K.; FORD, K. L.; CHARBONNEAU, B. W. - Applications of Gamma ray spectrometric/magnetic/VLF-EM surveys. Em **Geological survey of Canada Workshop Manual**. 2nd. ed. Ottawa : Natural Resources Canada, 1995. p. 82.

SHIGLEY, James E.; KAMPF, Anthony R. - Gem-Bearing Pegmatites: A Review. **Gems & Gemology**. . ISSN 0016-626X. 20:2 (1982) 64–77. doi: 10.5741/GEMS.20.2.64.

SILVA, E. F. A.; CUNHA, J. C.; MARINHO, M. M. - Pegmatitos da região de Itambé, Bahia: geologia de potencialidade económica. **Série Arquivos Abertos**. 10 (1996) 30.

SINERGEO, Lda; MINHO, Universidade De - **Projeto de Prospeção, análise distanciada e deteção remota de pegmatitos**. [S.l.] : Sinergéo-Soluções Aplicadas em Geologia, Hidrogeologia e Ambiente, 2003

STILLING, Andrew; ČERNÝ, Petr; VANSTONE, Peter J. - The Tanco pegmatite at Bernic Lake, Manitoba. XVI. Zonal and bulk compositions and their petrogenetic significance. **Canadian Mineralogist**. . ISSN 00084476. 44:3 (2006) 599–623. doi: 10.2113/gscanmin.44.3.599.

TAVARES, Sergio Túlio De Pinho *et al.* - A Importância da Caracterização Química e Mineralógica do Feldspato para a sua Utilização na Indústria Cerâmica e Vidreira. **Cerâmica Industrial**. 10:4 (2005) 22–27.

TEIXEIRA, Carlos; MEDEIROS, A.Cândido; FERNANDES, A.Peinador - **Carta geológica de Portugal na escala de 1/50000: Notícia explicativa da folha 14-D: Aguiar da Beira**. Lisboa : Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, 1972

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. - Radioactivity Method. Em **Applied Geophysics**. 2nd. ed. [S.l.] : Press Syndicate of the University of Cambridge, 1990. ISBN 0521326931. p. 611–644.

TRABULO, L. C.; GOMES, Leal. C.; NUNES, Lopes. J. - Enquadramento Geológico, estrutura e paragéneses do grupo Pegmatítico de Senhora de Assunção - Aguiar da Beira - Centro de Portugal. **Faculdade de Ciências Museu e Laboratório Geológico**. Universidade do Porto. 4 (1995) 837–841.

ANEXO 1 – PEGMATITOS DA REGIÃO DE ESTUDO

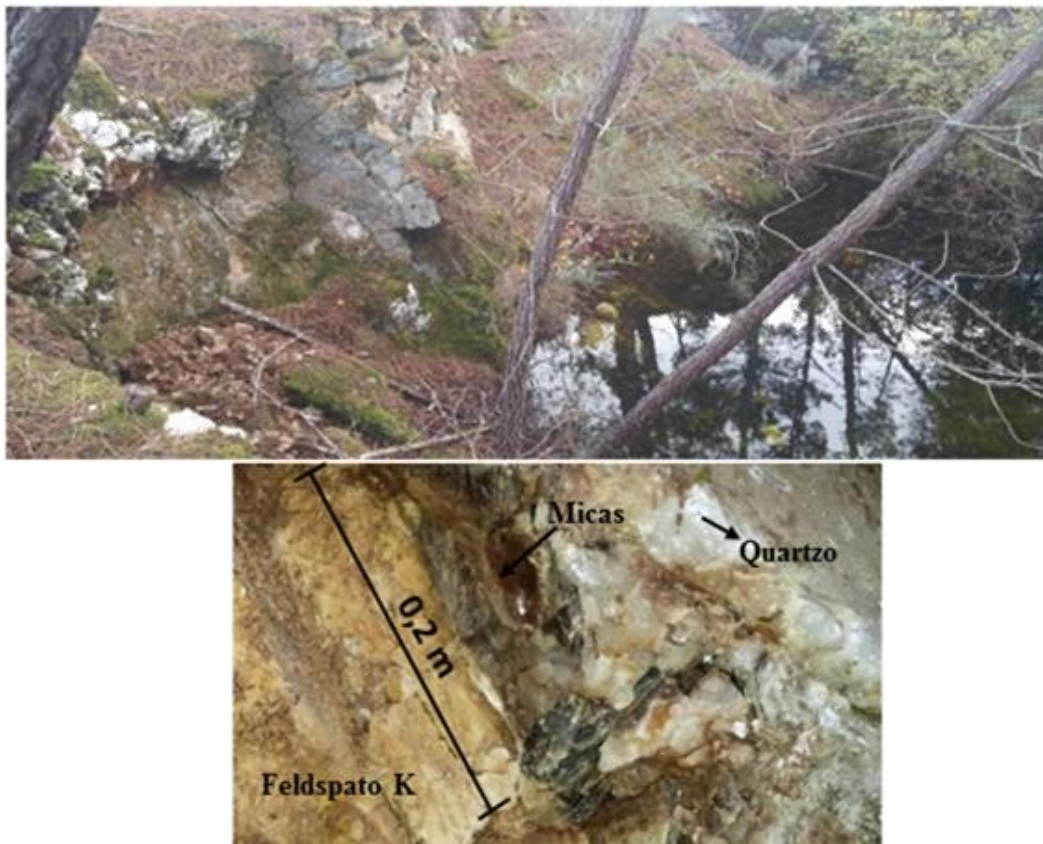


Figura 41. Pegmatito da Quinta da Carrasqueira de Baixo.



Figura 42. Pegmatitos da Quinta da Carrasqueira.



Figura 43. Corpo pegmatítico da Quinta da Carrasqueira de Cima I.



Figura 44. Pegmatito da Quinta da Corujeirinha.



Figura 45. Quartzo do Pegmatito da Quinta da Corujeirinha.



Figura 46. Pegmatito de Poço Palheiros (pedreira de cima).



Figura 47. Pegmatito de Poço Palheiros, pedreira de baixo.



Figura 48. Pegmatito da Quinta da Carrasqueira de Cima II.



Figura 49. Pegmatito de Pinheiro.

ANEXO 2 – ELEMENTOS TRAÇOS DOS FELDSPATOS E MICAS

Tabela 17. Resultados da análise química dos elementos traços dos feldspatos.

(ppm)	1	2	3	4	5	5C	6	7
Sc	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cr	5,3	4,3	8,8	4,3	8,1	12,9	6,1	16,7
Mn	41,3	19,5	26,6	15,5	29,3	53,6	QMaiores	25,2
Co	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ni	3,7	ND	2,4	ND	ND	ND	ND	ND
Cu	7,5	3,2	3,8	4,6	ND	8,2	31,2	ND
Zn	9,5	1,4	ND	ND	2,7	4,9	15,9	1,6
Ga	11,9	18,6	19,3	17,3	17,3	12,7	33,9	15,2
Ge	ND	1,6	1,5	ND	ND	ND	2,1	ND
As	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Se	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,9	ND
Br	2,7	2,4	4,2	1,5	3,8	4,9	4,2	1,8
Sr	32,7	8,5	8,1	31,7	44,4	14,4	21,3	11,9
Y	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2,0	ND
Zr	ND	ND	ND	ND	ND	8,0	25,5	0,9
Nb	ND	ND	ND	ND	ND	1,9	85,0	1,1
Mo	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,9
Ag	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sn	7,1	17,7	17,1	12,5	14,2	9,9	34,9	12,1
Sb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Te	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
I	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cs	28,7	34,2	44,1	12,7	19,3	14,8	35,5	25,4
Ba	QMaiores	25,1	59,1	QMaiores	QMaiores	41,3	9,1	34,8
La	ND	ND	15,1	ND	ND	ND	ND	ND
Ce	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nd	ND	ND	17,9	ND	ND	ND	ND	ND

Anexo 2

Sm	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Yb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hf	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ta	ND	ND	ND	ND	ND	ND	72,8	ND
W	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4,9	ND
Tl	8,9	8,5	7,6	4,2	5,9	7,0	ND	4,7
Pb	19,9	29,9	38,2	46,6	49,5	9,8	11,2	28,6
Bi	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Th	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,4	ND
U	1,9	3,0	1,8	2,5	3,3	1,7	5,9	3,0

Tabela 18. Resultados da análise ICP-MS das micas.

mg/kg = ppm	Limite de deteção	1	2	3	4	5	5.1	6	7
Li	0,1	103	363	258	379	215	147	261	89
Be	0,1	4	6	7	5	4	3	4	2
Na	10	4146	3902	2299	2838	2673	2506	2567	1945
Mg	3	1363	1594	2180	1733	1117	1014	982	495
Al	4	54300	78621	70523	75992	65816	54774	57047	32460
K	15	27840	39149	41212	32816	31201	26009	28667	17587
Ca	42	45	52	45	91	17	44	30	24
V	0,02	7,8	1,8	4,4	2,4	0,2	0,5	0,2	0,1
Cr	0,02	0,7	0,2	0,7	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Mn	0,5	263	319	322	156	196	103	203	158
Fe	1	4851	8257	9073	6132	6006	4328	4604	3221
Co	0,02	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1
Ni	0,1	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	1
Cu	0,01	1,2	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	2	<DL
Zn	0,1	24	55	62	29	30	19	30	14
As	0,4	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL
Mo	0,03	0,20	0,09	0,02	0,12	0,11	0,14	0,08	0,11
Ag	0,001	0,01	0,01	0,004	0,01	0,01	0,01	0,002	0,01
Cd	0,01	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL
Sn	0,02	2,2	8,9	18,4	10,7	3,7	2,8	1,7	0,6
Sb	0,01	0,01	<DL	<DL	0,01	0,13	<DL	<DL	<DL
Ba	0,1	42	16	59	15	7	14	11	3
W	0,002	6	10	6	5	7	6	4	3
Tl	0,003	2	3	3	2	2	1	2	1
Pb	0,02	2	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL
Th	0,01	0,2	0,2	0,1	0,1	<DL	0,0	0,4	0,0

1%=10 000 ppm

ANEXO 3 – ANÁLISES QUÍMICAS EDS

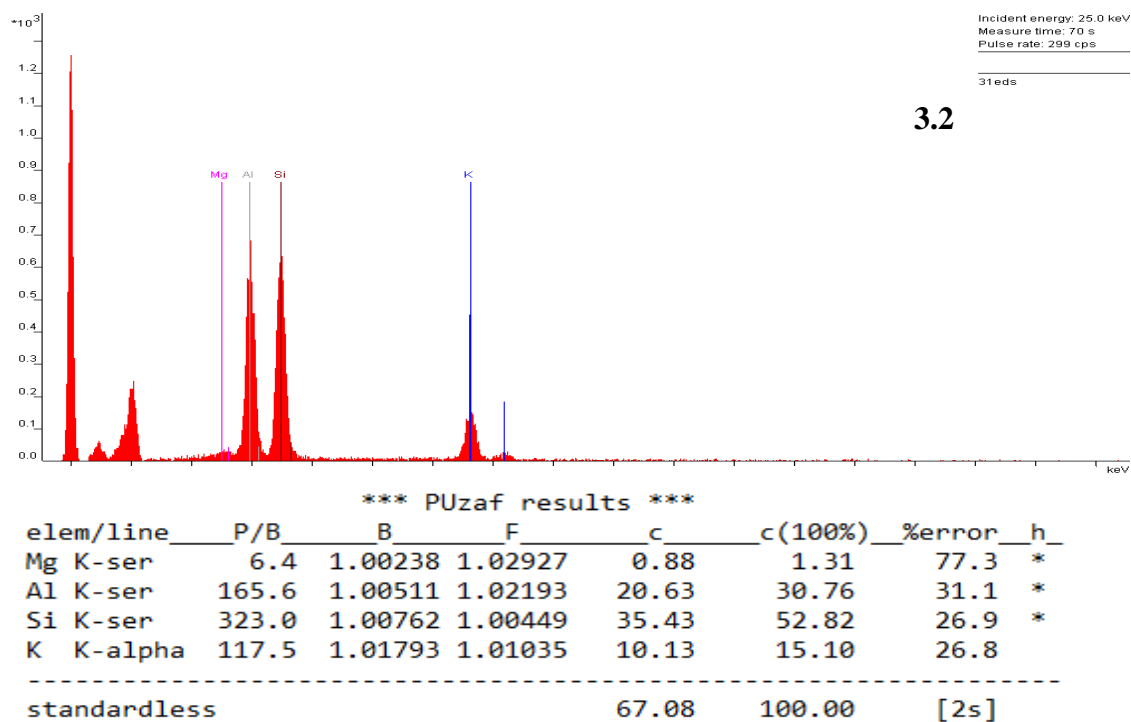
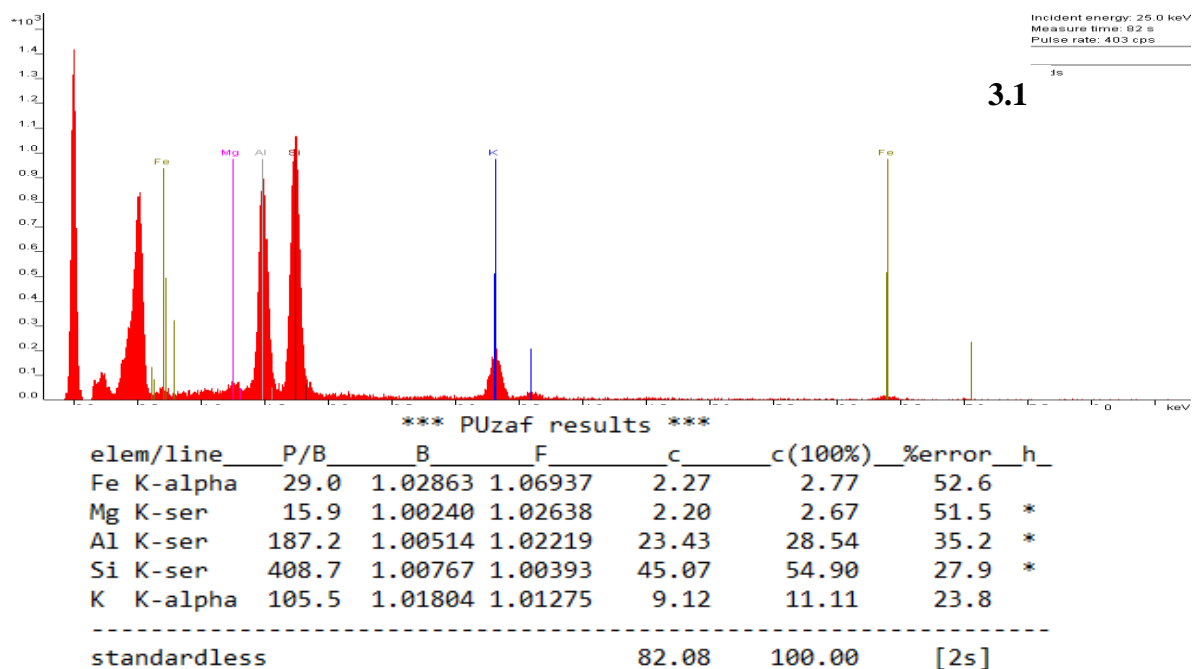
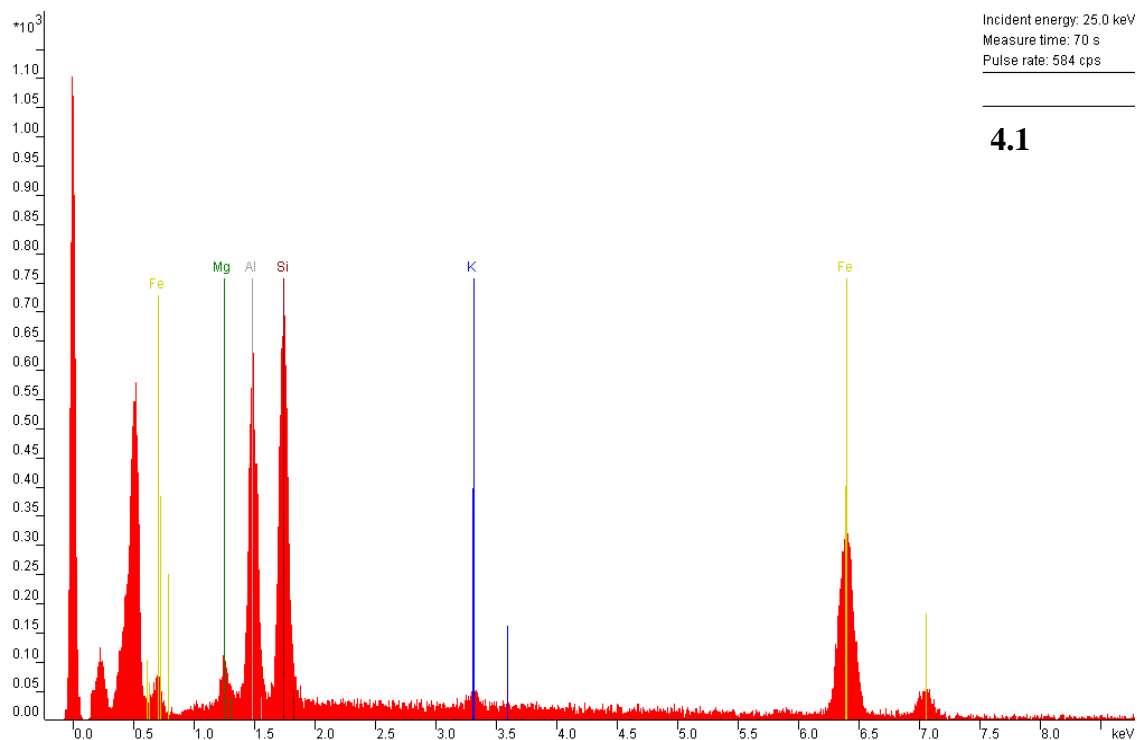


Figura 50. Espectros obtidos da microanálise de raios-X por EDS realizadas no ponto 3.1 e 3.2. Nas tabelas encontram-se definidos os elementos analisados.



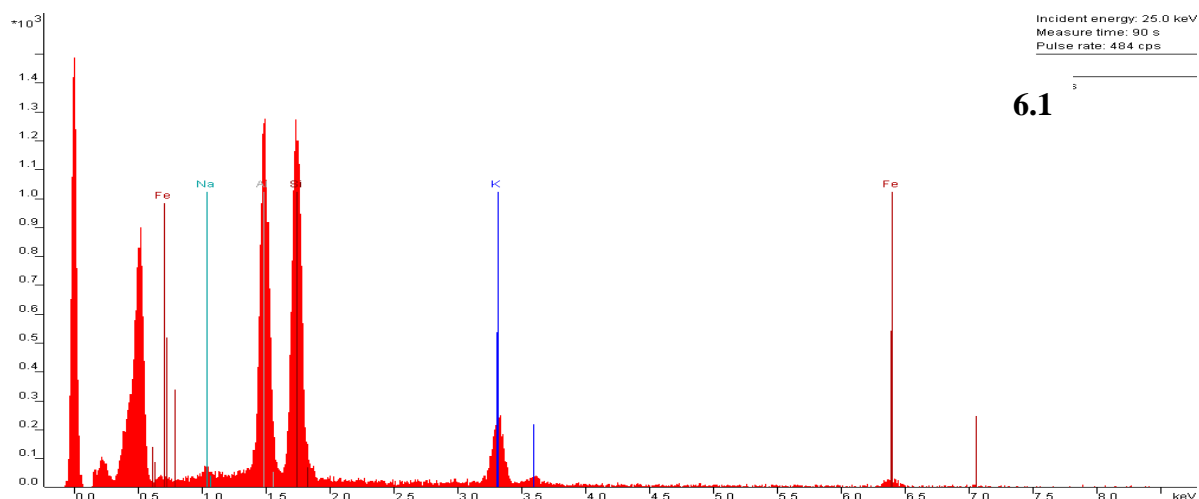
4.1

*** PUzaf results ***

elem/line	P/B	B	F	c	c(100%)	%error	h
Fe K-alpha	214.6	1.03423	1.03473	20.92	41.88	22.1	
Mg K-ser	12.1	1.00286	1.01026	1.98	3.97	36.6	*
Al K-ser	75.3	1.00614	1.01064	11.23	22.47	22.6	*
Si K-ser	117.6	1.00917	1.00561	15.27	30.56	18.7	*
K K-alpha	5.6	1.02156	1.04987	0.55	1.11	57.4	

standardless				49.96	100.00		[2s]

Figura 51. Equivalente a Figura 50, para a análise do 4.1.

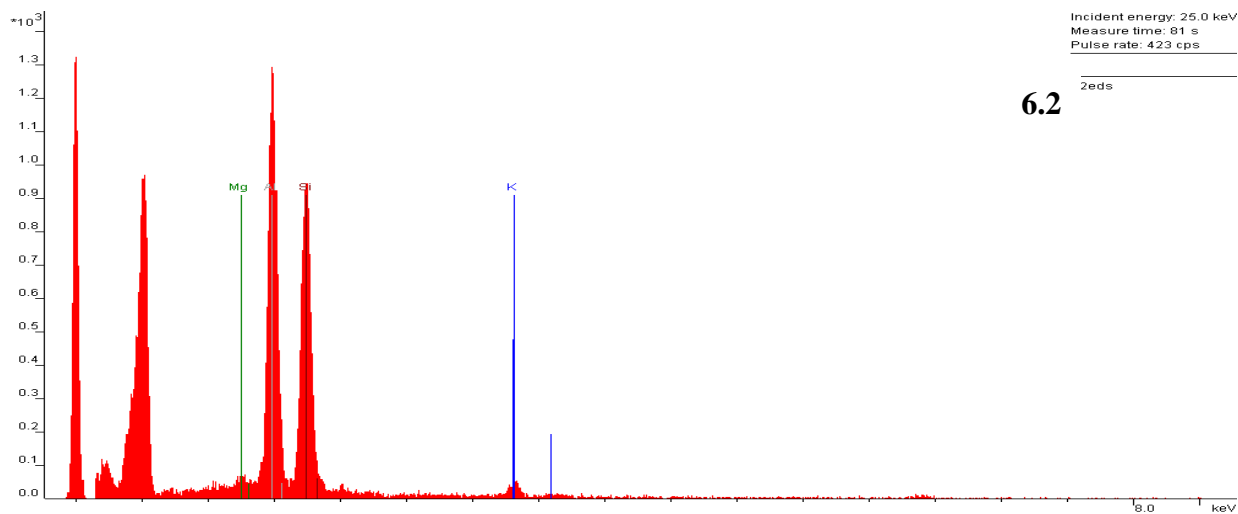


6.1

*** PUzaf results ***

elem/line	P/B	B	F	c	c(100%)	%error	h
Fe K-alpha	24.4	1.02857	1.06973	1.90	2.58	48.1	
Na K-ser	11.3	0.99941	1.01416	1.86	2.52	50.7	*
Al K-ser	186.6	1.00513	1.02034	23.30	31.54	31.4	*
Si K-ser	347.3	1.00765	1.00407	38.13	51.63	24.9	*
K K-alpha	100.7	1.01800	1.01259	8.66	11.73	21.2	

standardless				73.86	100.00		[2s]



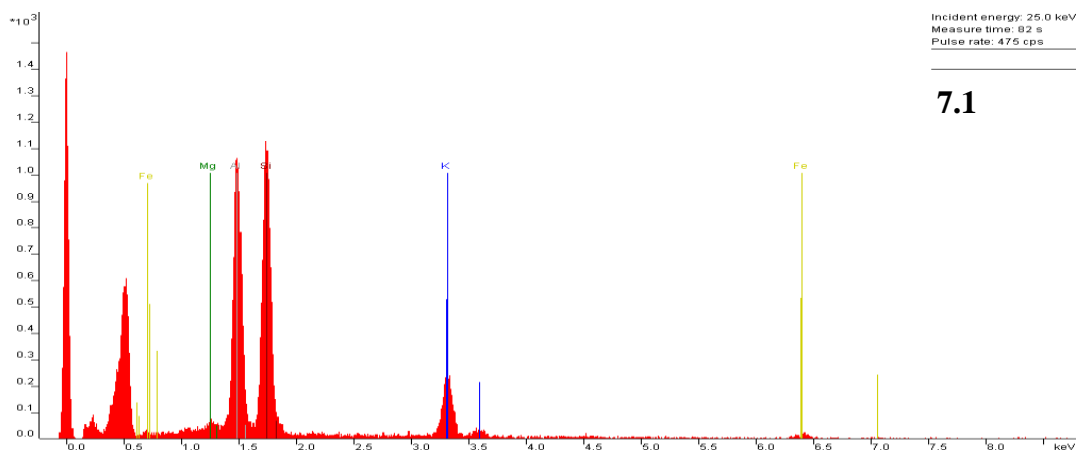
6.2

*** PUzaf results ***

elem/line	P/B	B	F	c	c(100%)	%error	h
Mg K-ser	13.0	1.00230	1.03505	1.70	2.25	55.2	*
Al K-ser	230.9	1.00493	1.02120	27.73	36.80	36.7	*
Si K-ser	415.2	1.00736	1.00225	43.95	58.32	27.4	*
K K-alpha	24.0	1.01731	1.01192	1.98	2.63	35.6	

standardless				75.36	100.00		[2s]

Figura 52. Equivalente a figura 50, para a análise do 6.1 e 6.2.

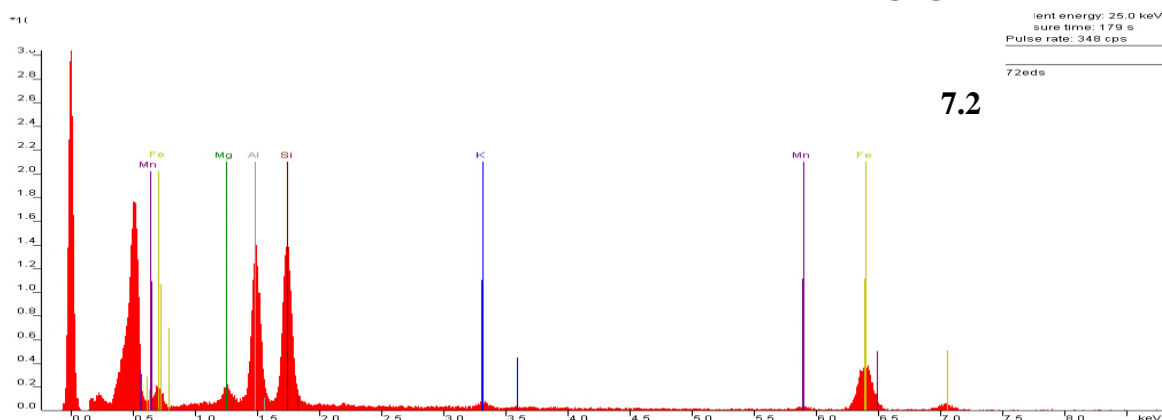


7.1

*** PUzaf results ***

elem/line	P/B	B	F	c	c(100%)	%error	h
Fe K-alpha	17.9	1.02865	1.06997	1.40	2.04	52.6	
Mg K-ser	8.8	1.00240	1.02744	1.21	1.76	48.5	*
Al K-ser	171.3	1.00514	1.02067	21.47	31.22	26.6	*
Si K-ser	322.8	1.00767	1.00428	35.59	51.77	22.5	*
K K-alpha	105.0	1.01804	1.01197	9.08	13.21	21.3	

standardless				68.75	100.00		[2s]



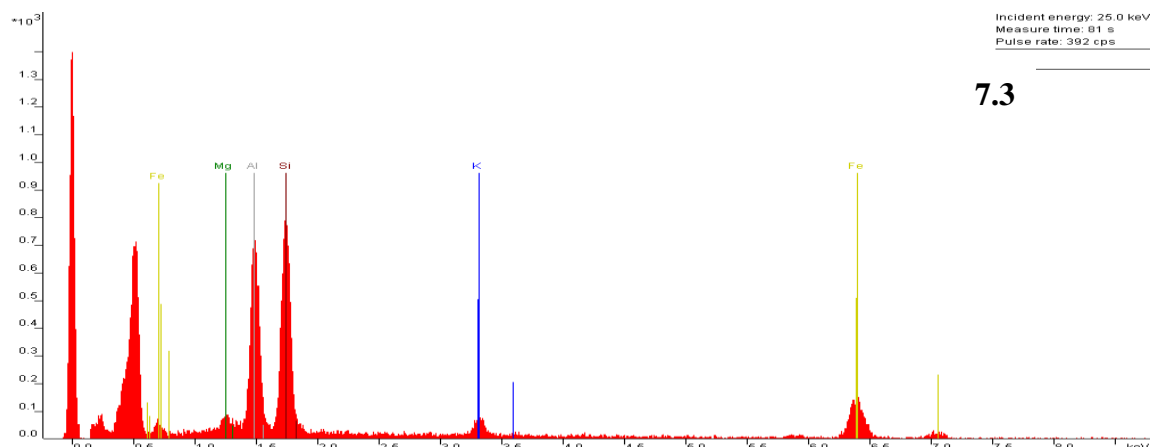
7.2

*** PUzaf results ***

elem/line	P/B	B	F	c	c(100%)	%error	h
Fe K-alpha	178.5	1.03171	1.04260	15.89	25.06	24.3	
Mg K-ser	20.2	1.00265	1.01436	3.07	4.84	32.6	*
Al K-ser	124.8	1.00569	1.01332	17.22	27.16	22.9	*
Si K-ser	211.5	1.00849	1.00431	25.50	40.23	19.2	*
K K-alpha	11.8	1.01997	1.03487	1.10	1.73	38.8	
Mn K-alpha	7.2	1.03025	1.08527	0.62	0.97	71.5	

standardless				63.39	100.00		[2s]

Figura 53. Equivalente a figura 50, para a análise do 7.1 e 7.2.

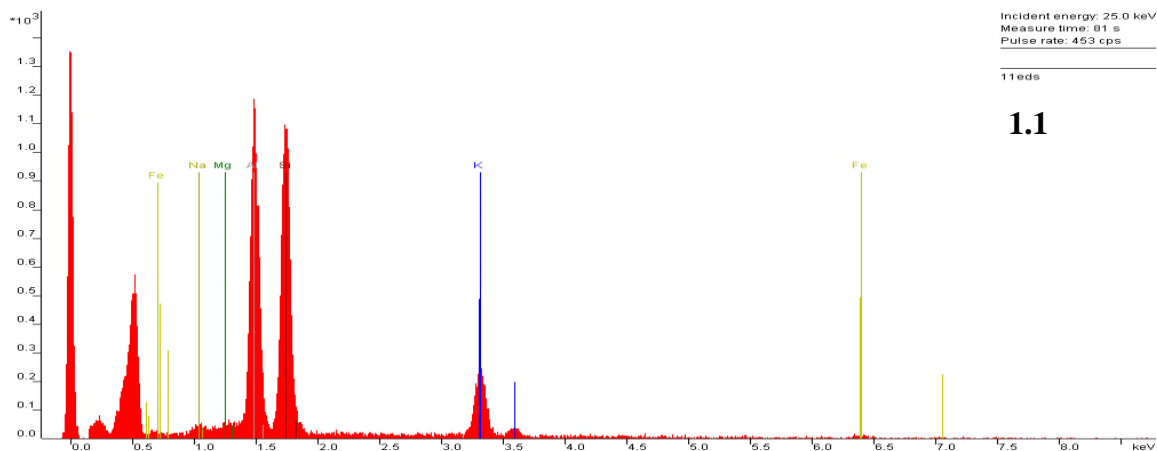


7.3

*** PUzaf results ***

elem/line	P/B	B	F	c	c(100%)	%error	h
Fe K-alpha	143.1	1.03120	1.04526	12.50	21.84	27.6	
Mg K-ser	15.4	1.00261	1.01585	2.31	4.03	37.3	*
Al K-ser	115.9	1.00560	1.01458	15.74	27.50	24.0	*
Si K-ser	207.2	1.00836	1.00420	24.63	43.05	20.2	*
K K-alpha	22.2	1.01965	1.02999	2.05	3.58	29.7	

standardless				57.22	100.00		[2s]



1.1

*** PUzaf results ***

elem/line	P/B	B	F	c	c(100%)	%error	h
Fe K-alpha	8.8	1.02846	1.07239	0.69	1.14	80.8	
Na K-ser	4.5	0.99941	1.01501	0.74	1.23	69.2	*
Mg K-ser	5.6	1.00238	1.02805	0.76	1.27	58.6	*
Al K-ser	154.6	1.00511	1.02033	19.25	31.99	25.8	*
Si K-ser	280.5	1.00762	1.00427	30.71	51.02	21.6	*
K K-alpha	93.5	1.01793	1.01136	8.04	13.36	20.6	

standardless				60.19	100.00		[2s]

Figura 54. Equivalente a figura 50, para a análise do 7.3 e 1.1.

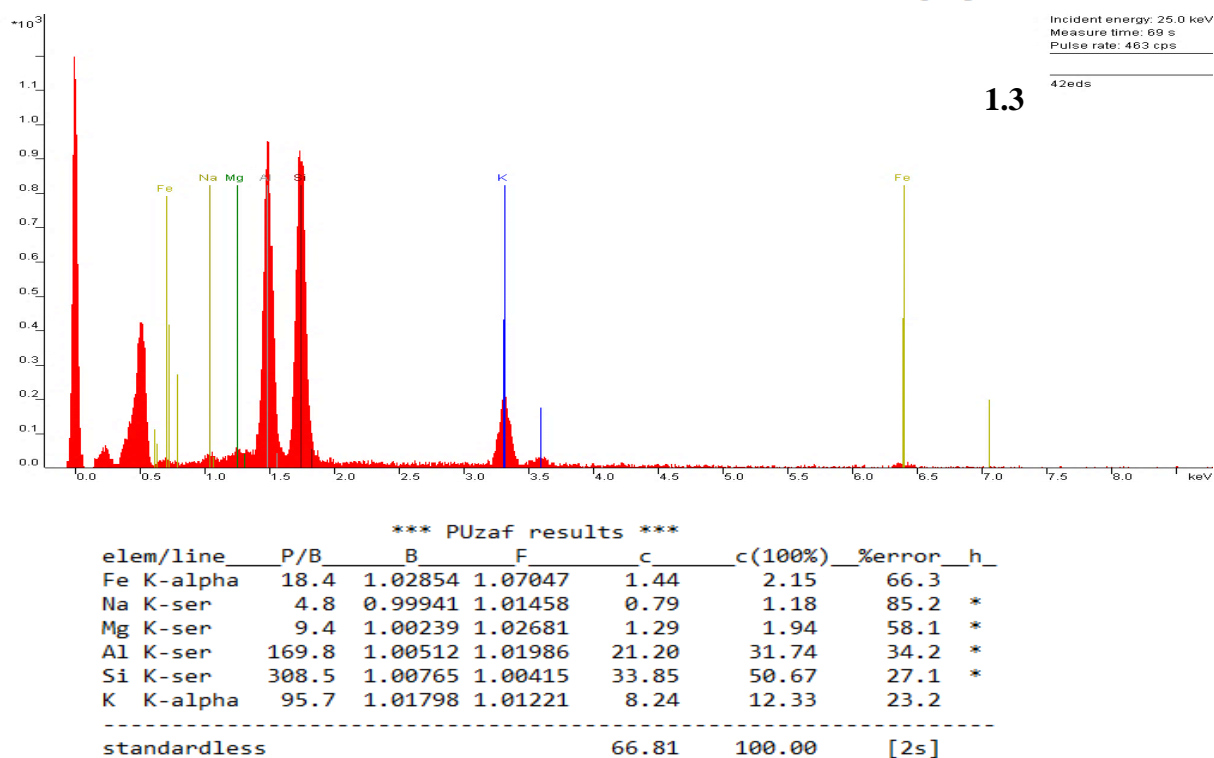
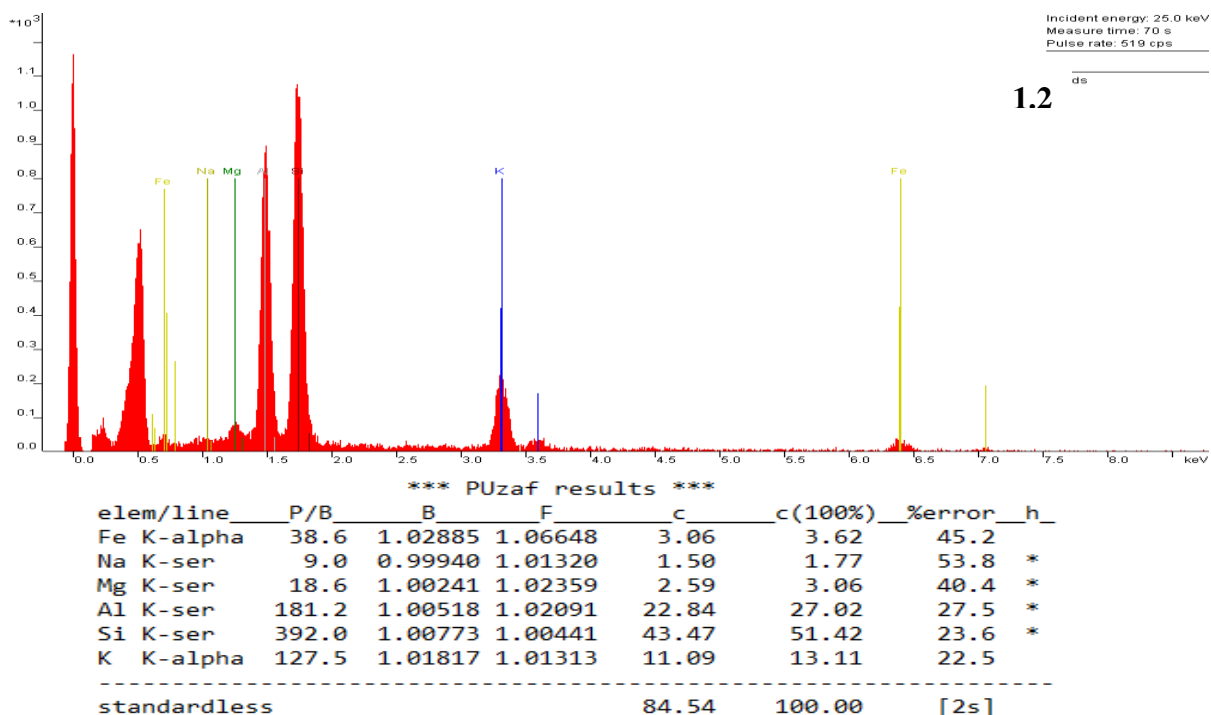


Figura 55. Equivalente a figura 50, para análise do 1.2 e 1.3.

ANEXO 4 – CÁLCULO DA FÓRMULA CRISTALOQUÍMICA

Tabela 19. Cálculos de carga dos catiões dos pontos 1.1, 1.2 e 1.3 da amostra 1.

d(060)=1.5021		Dioctaédrica (Fe ³⁺)		
1.1				
	Proporção dos catiões (Pc)	Carga catiões *Pc (M)	M/FP (NC)	NC/CC
Fe	1,14	3,42	0,23	0,08
Na	1,23	1,23	0,08	0,08
Mg	1,27	2,54	0,17	0,09
Al	31,99	95,97	6,59	2,20
Si	51,02	204,08	14,00	3,50
K	13,36	13,36	0,92	0,92
		S= 320,6	22	
FP=S/22	14,57			
1.2				
Fe	3,62	10,86	0,79	0,26
Na	1,77	1,77	0,13	0,13
Mg	3,06	6,12	0,45	0,22
Al	21,02	63,06	4,62	1,54
Si	51,42	205,68	15,05	3,76
K	13,11	13,11	0,96	0,96
		S= 300,6	22	
FP=S/22	13,66			
1.3				
Fe	2,15	6,45	0,44	0,15
Na	1,18	1,18	0,08	0,08
Mg	1,94	3,88	0,27	0,13
Al	31,74	95,22	6,51	2,17
Si	50,67	202,68	13,86	3,46
K	12,33	12,33	0,84	0,84
		S= 321,74	22	
FP=S/22	14,62			
NC – número de carga		FP – fator de proporção		
CC – carga dos catiões		S – Soma		

Tabela 20. Cálculos de carga dos catiões dos pontos 3.1 e 3.2 da amostra 3.

d(060)=1.508		Dioctaédrica (Fe ³⁺)		
3.1				
	Proporção dos catiões (Pc)	Carga catiões *Pc (M)	M/FP (NC)	NC/CC
Fe	2,77	5,54	0,37	0,19
Mg	2,67	5,34	0,36	0,18
Al	28,54	85,62	5,76	1,92
Si	54,9	219,6	14,76	3,69
K	11,11	11,11	0,75	0,75
S= 327,21			22	
FP=S/22	14,87			
3.2				
Mg	1,31	2,62	0,18	0,09
Al	30,76	92,28	6,32	2,11
Si	52,82	211,28	14,47	3,62
K	15,1	15,1	1,03	1,03
S= 321,28			22	
FP=S/22	14,60			
NC – número de carga	FP – fator de proporção			
CC – carga dos catiões	S – Soma			

Tabela 21. Cálculos de carga dos catiões dos pontos 6.1 e 6.2 da amostra 6.

d(060)=1.503		Dioctaédrica (Fe ³⁺)		
6.1				
	Proporção dos catiões (Pc)	Carga catiões *Pc (M)	M/FP (NC)	NC/CC
Fe	2,58	7,74	0,53	0,18
Na	2,52	2,52	0,17	0,17
Al	31,54	94,62	6,44	2,15
Si	51,63	206,52	14,06	3,52
K	11,73	11,73	0,80	0,80
S= 323,13			22	
FP=S/22	14,69			
6.2				
Mg	2,52	5,04	0,32	0,32
Al	36,8	110,4	6,91	2,30
Si	58,32	233,28	14,61	3,65
K	2,63	2,63	0,16	0,16
S= 351,35			22	
FP=S/22	15,97			
NC – número de carga	FP – fator de proporção			
CC – carga dos catiões	S – Soma			

Tabela 22. Cálculos da carga dos cátions dos pontos 7.1, 7.2 e 7.3 da amostra 7.

d(060)=1.5016		Dioctaédrica (Fe³⁺)		
7.1				
	Proporção dos cátions (Pc)	Carga cátions *Pc (M)	M/FP (NC)	NC/CC
Fe	2,04	6,12	0,42	0,14
Mg	1,76	3,52	0,24	0,12
Al	31,22	93,66	6,37	2,12
Si	51,77	207,08	14,08	3,52
K	13,21	13,21	0,90	0,90
		S= 323,59	22	
FP=S/22	14,71			
7.2 (Fe²⁺)				
Fe	50,12	3,59	1,20	50,12
Mg	9,68	0,69	0,35	9,68
Al	81,51	5,84	1,95	81,51
Si	160,92	11,54	2,88	160,92
K	1,73	0,12	0,12	1,73
Mn	2,91	0,21	0,07	2,91
		S= 306,87	22	
FP=S/22	13,95			
7.3 (Fe²⁺)				
Fe	43,68	3,10	1,03	43,68
Mg	8,06	0,57	0,29	8,06
Al	82,5	5,85	1,95	82,5
Si	172,2	12,22	3,05	172,2
K	3,58	0,25	0,25	3,58
		S= 310,02	22	
FP=S/22	14,1			
NC – número de carga		FP – fator de proporção		
CC – carga dos cátions		S – Soma		

ANEXO 5 – DIFRACTOGRAMAS OBTIDOS DA ANÁLISE DRX

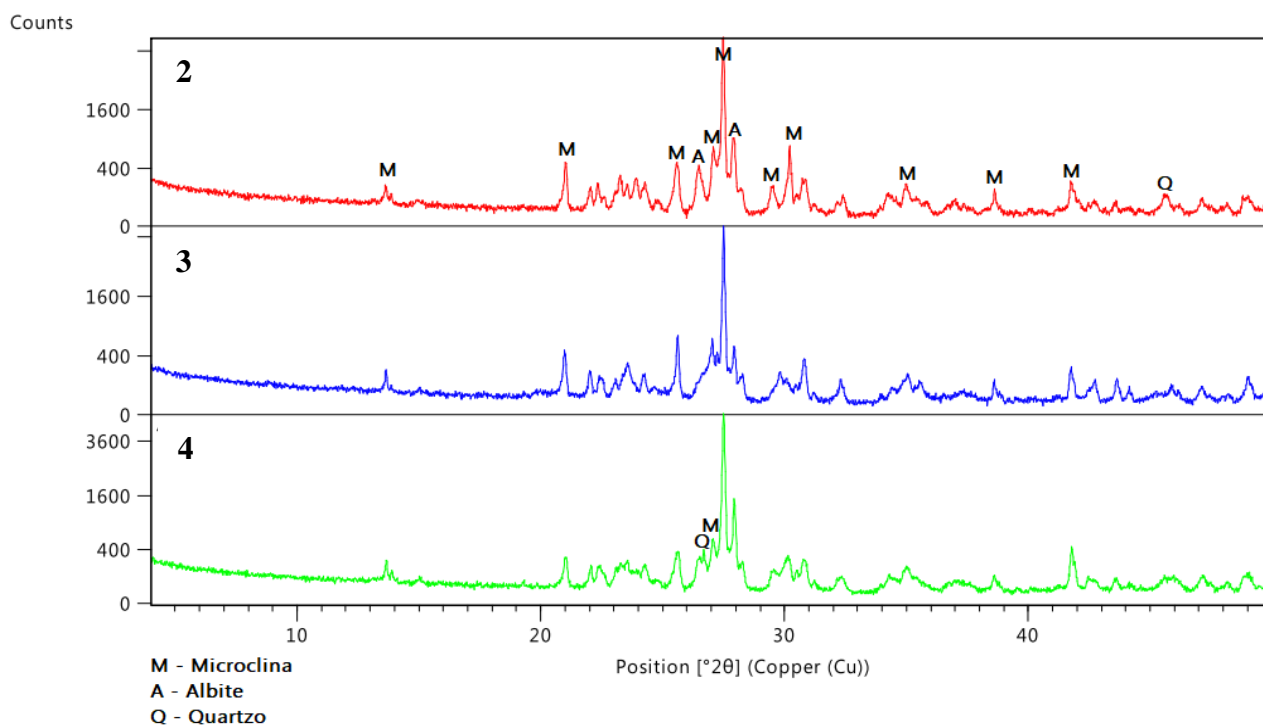
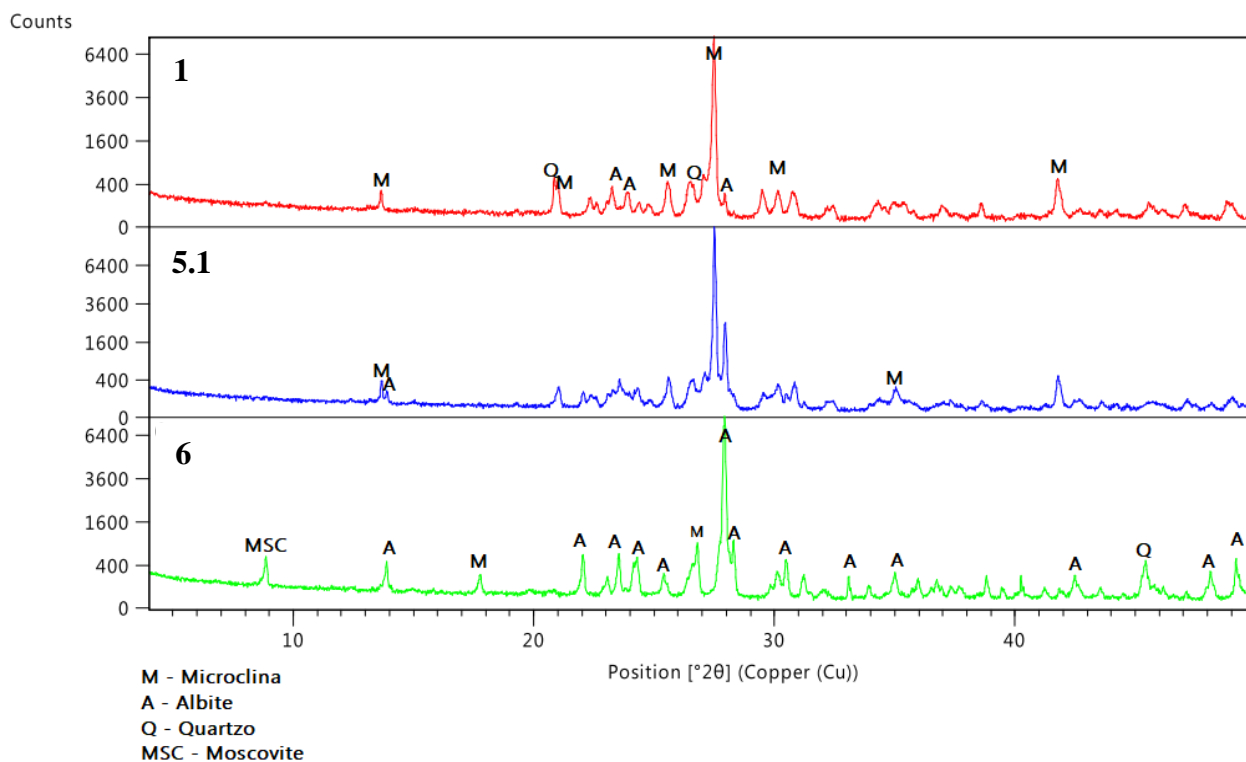


Figura 56. Difractograma das amostras total 1, 5.1 e 5 (em cima) e 2, 3 e 4 (em baixo).

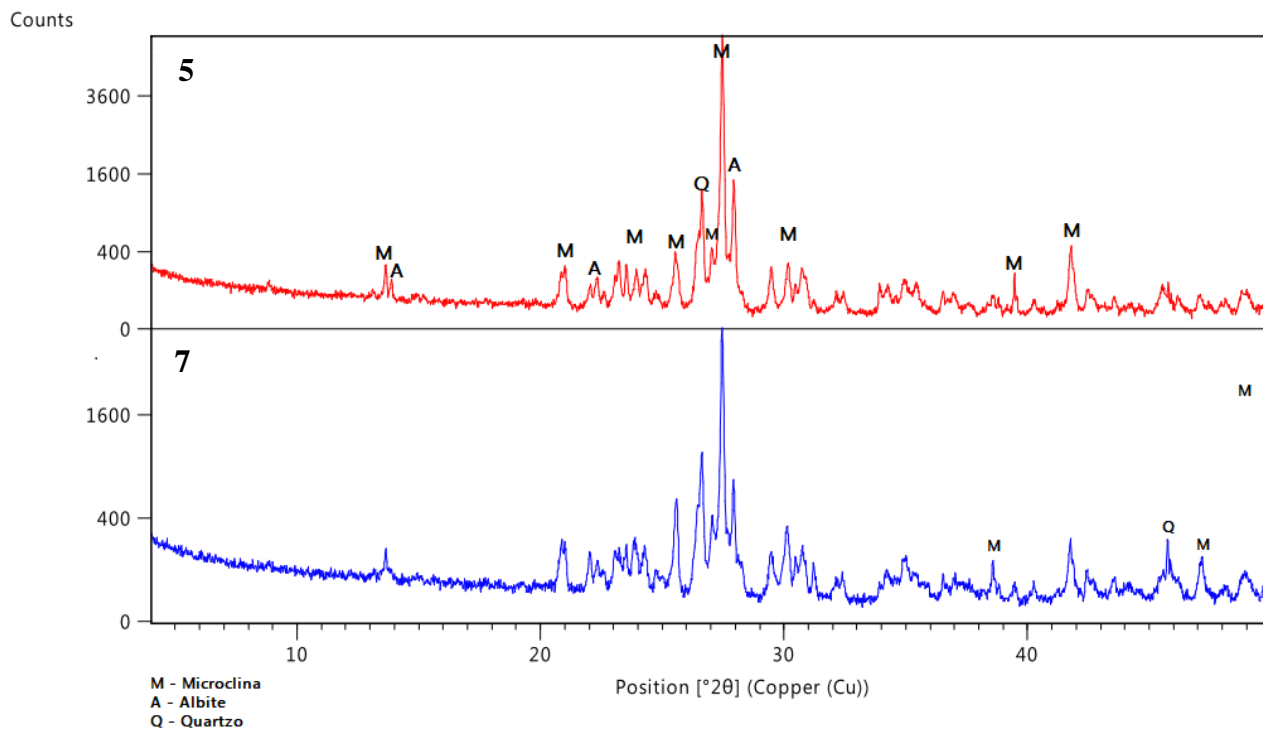


Figura 57. Difratograma das amostras total 5 e 7.

Difratogramas da fração <math> < 2\mu\text{m}</math>

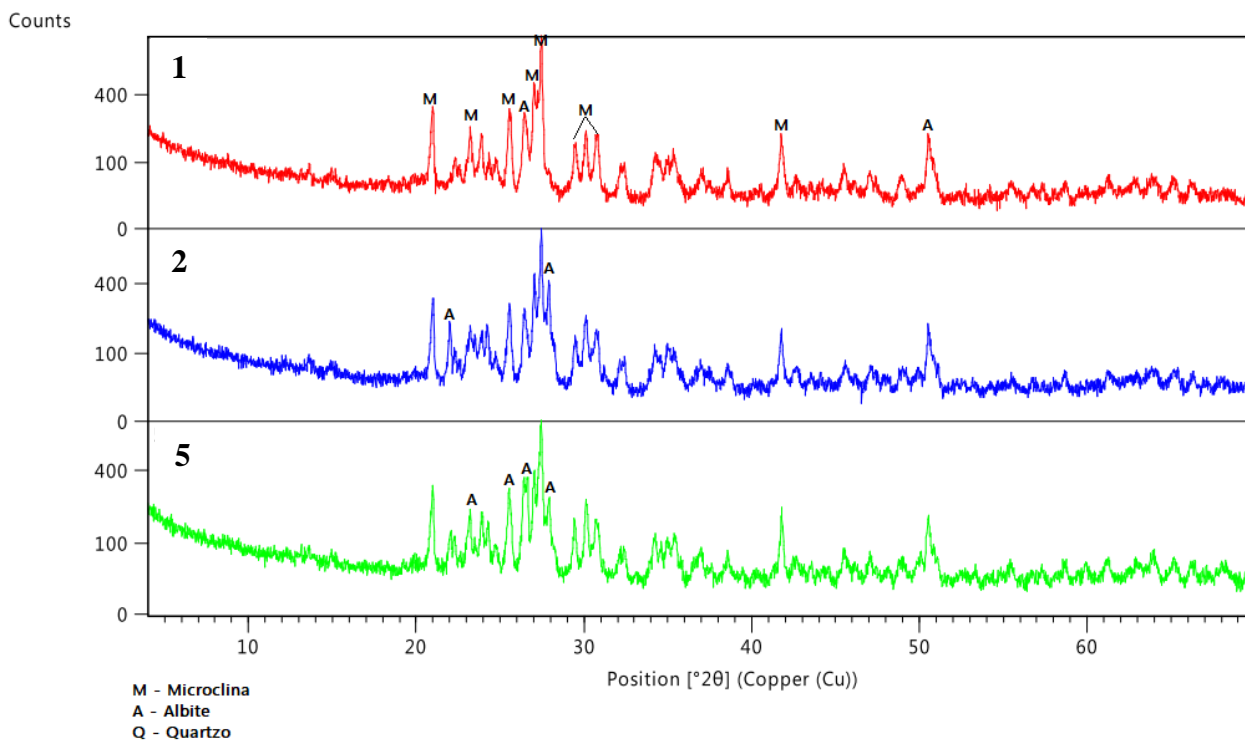


Figura 58. Difratogramas da fração <math> < 2\mu\text{m}</math> das amostras 1, 2 e 5.

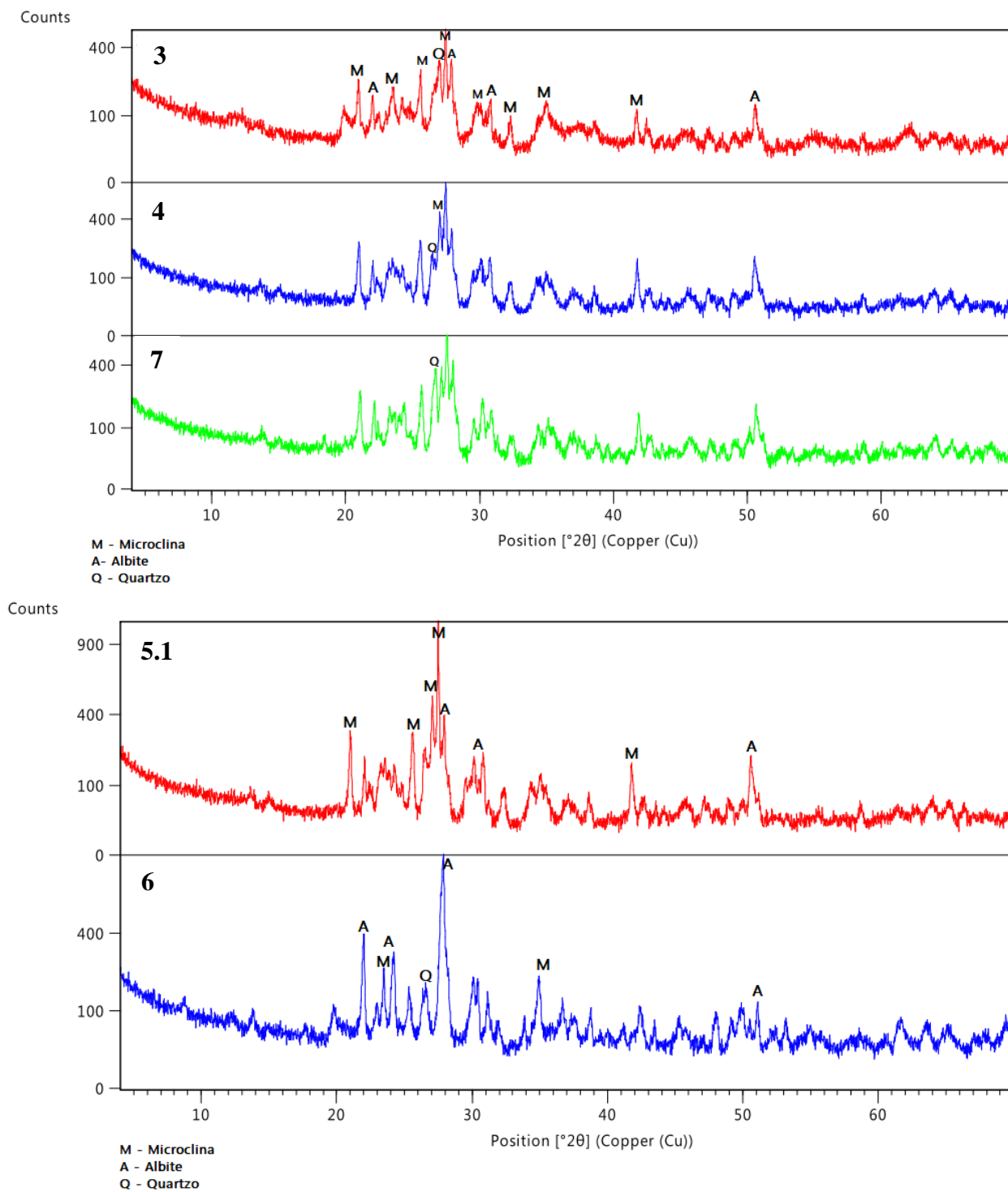
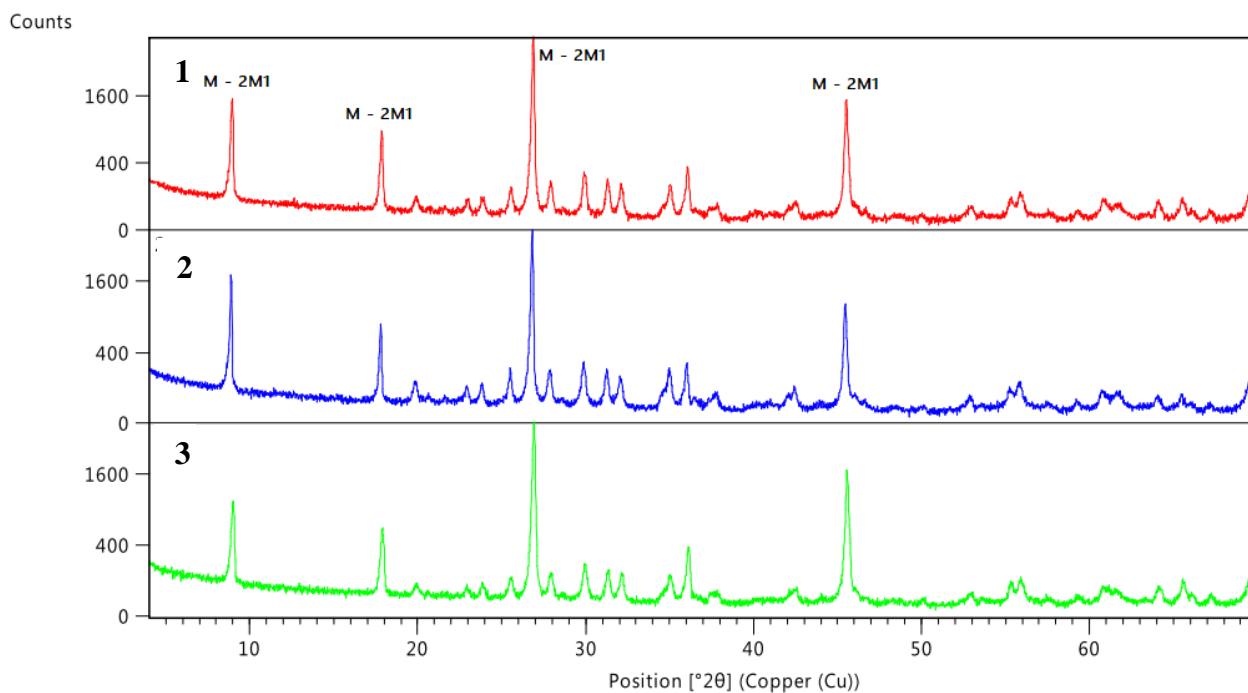
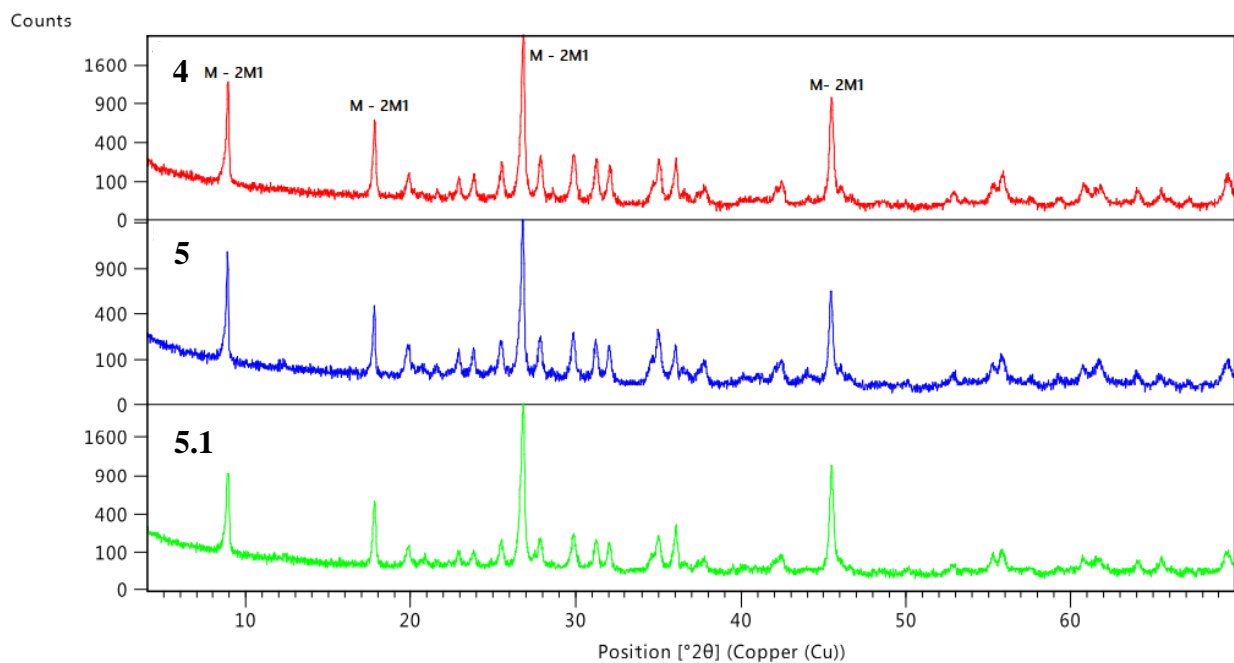


Figura 59. Difractogramas da fração < 2µm das amostras 3, 4, 7 (em cima), 5.1 e 6 (em baixo).

Difratogramas das amostras de micas



M - Moscovite
2M1 - estrutura monoclinica da Moscovite



M - Moscovite
2M1 - estrutura monoclinica da moscovite

Figura 60. Difratogramas das amostras de micas, 1, 2 e 3 (em cima) e 4, 5 e 5.1 (em baixo).

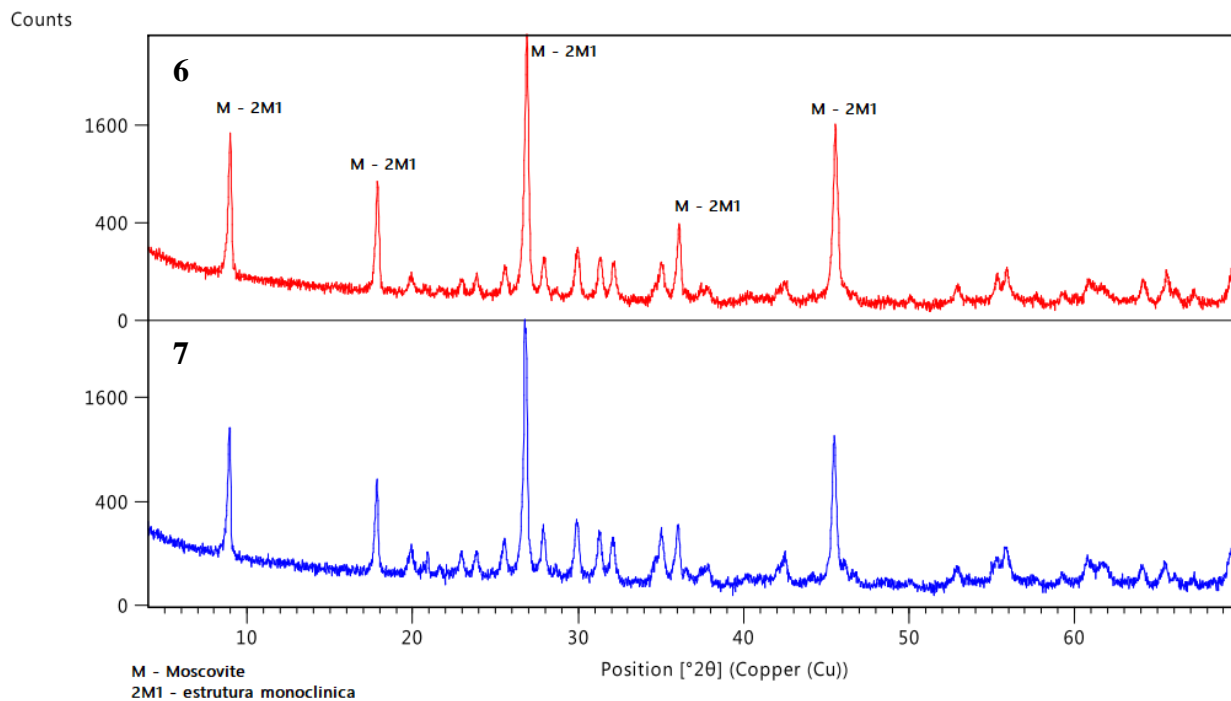


Figura 61. Difractogramas das amostras de micas 6 e 7.