



Petrofísica e litogeoquímica de formações do “Complexo Xisto- Grauváquico” (Grupo do Douro). Estudo do potencial do “xisto” para exploração como pedra natural

Sílvia Cristina Martins Aires

Doutoramento em Geociências

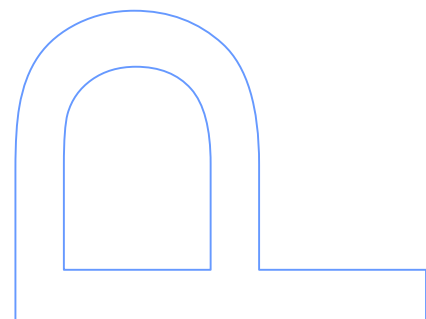
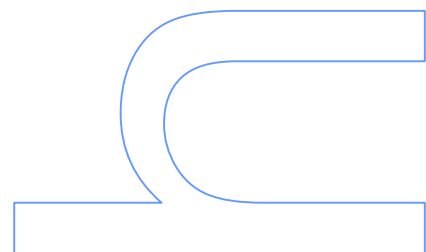
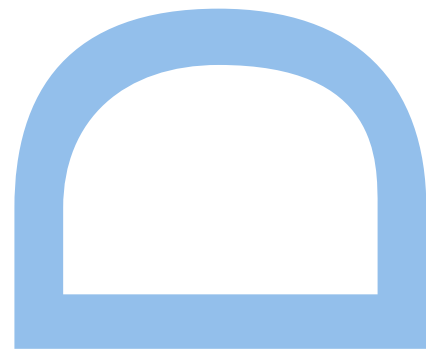
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2018

Orientador

Helena Maria Sant’Ovaia Mendes da Silva, Professora Associada, FCUP

Coorientador

Fernando Manuel Pereira de Noronha, Professor Emérito, FCUP



Este trabalho teve o apoio financeiro da Fundação para a Ciência e Tecnologia com uma bolsa individual de doutoramento, com a referência SFRH/BD/86641/2012.



Aos meus Pais e Irmão

“Douro, doiro

Aproveito estes dias para andar pelo Douro. (...)

Assar num calor a sério que põe os lagartos de boca aberta em cima dos fragedos. (...)

Gosto destas terras, deste sobe e desce. Os vales quentes e abafados, e nos cimos ser soprado pelos ventos da montanha. O xisto abrasa. Amadurecem as uvas. Eu também.”

Manuel Hermínio Monteiro *in* “Urzes”

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus orientadores, Doutora Helena Sant'Ovaia (orientadora) e Professor Doutor Fernando Noronha (coorientador), por todos os conhecimentos transmitidos, pela constante disponibilidade, motivação, apoio, compreensão, paciência e ajuda. Obrigada pela ajuda no trabalho de campo e pelo Professor ter realizado a tarefa mais dura na amostragem de ASM. À minha orientadora pela enorme e constante boa disposição e tranquilidade que sempre me transmitiu e encorajou. Ao meu coorientador, detentor de uma grande generosidade e boa disposição, com quem já trabalho desde 2008, agradeço pelo tanto que me tem ensinado. Ao pé dele a Geologia parece simples.

Muito obrigada por me acolherem, sem vocês não teria sido possível.

À Doutora Maria dos Anjos Ribeiro, pela ajuda na observação de lâminas ao microscópio e indicações relativamente à geoquímica.

À Eng.^a Cristina Carvalho, pela revisão do capítulo 8, pela disponibilização de fotografias e verbetes dos ensaios tecnológicos, pela disponibilidade, ajuda e transmissão de conhecimentos.

À Ilda Queirós pela rápida realização dos belíssimos mapas de amostragem e de lineações e foliações magnéticas.

Ao Mauro Búrcio, Geólogo da SOLICEL, por nos receber e permitir a amostragem nas explorações do Xisto Negro de Foz Côa e do Xisto Oxidado de Foz Côa.

Ao Doutor Rui Teixeira pela simpatia e amabilidade com que sempre me recebeu na UTAD e por colocar à disposição o Laboratório de Microscopia sempre que necessitei.

Ao Sr. Tito e ao Márcio Silva, funcionários do Departamento de Geologia da UTAD, pela realização das lâminas e pela simpatia, amabilidade e gentileza com que sempre me receberam.

À FCT pela bolsa de investigação que me foi atribuída e permitiu que realizasse o Doutoramento.

Ao ICT-Polo Porto, DGAOT, ao LNEG e ao CEMUP por possibilitarem a realização dos estudos efetuados.

Aos meus amigos e colegas que de algum modo me ajudaram e incentivaram ao longo deste trabalho, especialmente ao João da Cruz Correia e à Liliana Teixeira pela imensa e importantíssima ajuda no ArcGis.

À minha amiga Célia Rebelo pela ajuda a realizar a bibliografia. Pelo incentivo, apoio, amizade e cumplicidade que, mesmo com a imensa distância física, conseguimos manter há 30 anos.

À minha amiga Heloísa Corrêa Ribeiro, pela ajuda, apoio e compreensão. Obrigada por estares e por fazeres parte.

Ao Toni Miranda pelo apoio e incentivo. Obrigada pela compreensão, aceitação e respeito pelas minhas longas ausências.

À minha prima Rita Parauta pela ajuda com os índices, pelo constante incentivo, apoio, amizade e companheirismo.

Ao meu primo Davi Baptista que, a qualquer hora do dia ou da noite e mesmo que esteja no outro lado do oceano, me socorre (é a palavra ideal) sempre que tenho algum problema ou dúvida informática. Obrigada pela constante disponibilidade, apoio, carinho e amizade.

Ao meu afilhado Rafael Martins, pela ajuda no trabalho de campo na zona do Peso da Régua e do Pinhão.

Ao meu irmão, Tiago Aires, pela ajuda no trabalho de campo na zona do Peso da Régua e do Pinhão e na revisão ortográfica e dos índices.

Ao meu Pai, Domingos Aires, que me ajudou no trabalho de campo na zona de Peso da Régua e Pinhão, realizando o processo mais exigente fisicamente da amostragem para os estudos de ASM, muitas vezes depois de um longo e duro dia de trabalho.

À minha Mãe, Maria dos Anjos Martins, por todo o carinho, boa disposição, compreensão e paciência, que só uma mãe sabe dar.

Obrigada por criarem um ambiente familiar alegre, bem-disposto, tranquilo e silencioso quando necessário. Obrigada por tudo o que me deram e continuam a dar. Nem todas as palavras do mundo seriam suficientes para expressar todo o amor e gratidão que sinto por vocês.

Obrigada a todos!

Resumo

O uso, nos tempos antigos, dos “xistos” de Trás-os-Montes e Alto Douro era uma característica comum na população desta região, independentemente do estatuto social e económico familiar. Usavam os “xistos” na construção não só de casebres no meio dos montes e das vinhas, como nas suas casas de habitação, muros e pavimentos e nos esteios para vinhas. Exemplo bem significativo é o das explorações de Vila Nova de Foz Côa, que tiveram um papel importante nas vinhas durienses, pois eram de lá que saíam os esteios utilizados para o suporte das videiras.

Este estudo pretende contribuir para a caracterização tecnológica dos “xistos” como rocha ornamental bem como para a caracterização petrográfica, petrofísica e geoquímica de rochas do Grupo do Douro – “Complexo Xisto-Grauváquico”, pertencentes à Formação de Desejosa (FD) e à Formação de Pinhão (FP), contribuindo também para um conhecimento mais consolidado e integrado das diversas características geológicas das duas formações.

Tendo em conta a caracterização tecnológica dos “xistos” para rocha ornamental, foram amostradas explorações, ativas ou atualmente desativadas, de “xistos” da Região de Trás-os-Montes e Alto Douro. Todas elas exploraram rochas pertencentes ao Grupo do Douro do “Complexo Xisto-Grauváquico”, da FD e da FP. A área estudada abrange zonas dos concelhos de Peso da Régua, Alijó, Torre de Moncorvo, Alfândega da Fé e Vila Nova de Foz Côa. Salienta-se como zona importante de exploração, na atualidade, a estrutura geológica conhecida como Sinclinal do Poio, em Vila Nova de Foz Côa, onde é explorado o “Xisto de Foz Côa”, e a exploração em Alvações de Tanha. É de salientar ainda que a zona em estudo está incluída em duas áreas que estão reconhecidas pela UNESCO como Património Mundial: O “Alto Douro Vinhateiro” e a “Arte Rupestre do Vale do Rio Côa”

Todos os “xistos” estudados são rochas de grão fino, de cor cinzenta, por vezes amarelada. Os da FD exibem uma estrutura bandada devido à alternância de níveis quartzosos e argilosos com *load casts*. Microscopicamente, apresentam textura granoblástica a granolepidoblástica e revelam quartzo, mica branca, clorite, biotite, plagioclase, calcite, zircão, apatite, turmalina, epidoto, esfena e monazite. A actinolite foi observada apenas em amostras da FD e o feldspato potássico em amostras da FP. Ambas as formações apresentam minerais opacos, nomeadamente titanomagnetite,

ilmenite, pirite, pirrotite, calcopirite, galena, esfalerite, arsenopirite e magnetite, estando esta última apenas presente na FP.

Os estudos da Anisotropia da Suscetibilidade Magnética (ASM) foram realizados em 72 cilindros orientados da Formação de Pinhão e em 92 da Formação de Desejosa, obtidos em 17 e 23 locais de amostragem, respectivamente. Os valores da suscetibilidade magnética (SM) indicam que o comportamento das litologias das duas formações é paramagnético ($SM < 10^{-3}$ SI), devido à presença de silicatos com ferro. No entanto, três locais de FP e dois de FD apresentam comportamento ferromagnético com $SM > 10^{-3}$ SI, devido à presença de magnetite, titanomagnetite e/ou pirrotite. A anisotropia magnética é superior na FD, sugerindo que as suas litologias são mais anisotrópicas. A forma do elipsoide de Anisotropia da Suscetibilidade Magnética é predominantemente constrito em ambas as formações, sendo que na FD refletem as estruturas em “lápiss” (interseção da estratificação com a clivagem), materializadas nos esteios do “Xisto do Poio” ou “Xisto Negro de Foz Côa”. As lineações magnéticas são semelhantes em ambas as formações: sub-horizontais com direção WNW-ESE a NW-SE, correspondendo à lineação de interseção entre a clivagem (S1) e a estratificação (S0). As foliações magnéticas predominantes são subverticais com direção NW-SE a E-W, em ambas as formações, materializando a clivagem. Estão também presentes foliações sub-horizontais sobretudo na FD que materizam a estratificação.

Os estudos geoquímicos foram realizados em 32 amostras, 15 provenientes de FD e 17 provenientes de FP. FD é mais siliciosa, mais sódica e mais cálcica do que a FP. A Formação de Pinhão apresenta teores mais elevados em Al_2O_3 e V, o que indica envolvimento de uma componente argilosa mais abundante. As litologias da FD apresentam valores mais elevados em SiO_2 e Zr, indicando, pelo contrário, uma mais abundante componente gresosa. As duas formações revelam enriquecimento em Ag, W, Bi e As e empobrecimento em Sr comparativamente ao *Clark* e espectros de terras raras semelhantes com um enriquecimento relativo em terras raras leves.

Para definição das características tecnológicas dos “xistos”, foram estudadas rochas da FD, mais concretamente das explorações de Eucísia, Nozelos e Vila Nova de Foz Côa, e da FP, na exploração de Tanha. Os “xistos” foram submetidos a ensaios normalizados, tendo em vista o estudo da absorção em água, densidade, porosidade, resistência à compressão, ao desgaste, à flexão sob carga centrada e ao choque térmico. Face às suas características, os “xistos” estudados podem ser aplicados em alvenarias rústicas e alvenarias resistentes/pilares mas com reservas para os de Eucísia. Para pavimento com tráfego fraco, podem ser usados os de Tanha, Nozelos e

Eucísia no interior; em pavimentos para tráfego moderado a forte, os “xistos” de Foz Côa e Nozelos; nos pavimentos de tráfego forte, o Xisto Oxidado de Foz Côa. Para lintéis, podem ser usados os “xistos” de Foz Côa e os de Nozelos e Tanha. Para revestimento de paredes, podem ser usados “xistos” de Foz Côa, Nozelos e Eucísia, sendo estes dois últimos recomendados no interior. Para cobertura podem ser usados o Xisto Oxidado de Foz Côa e o de Nozelos.

Palavras-chave: Grupo do Douro, Formação de Desejosa, Formação de Pinhão, ASM, Geoquímica, Xisto, Rocha Ornamental

Abstract

The use of the slates of Trás-os-Montes and Alto Douro in ancient times was a common characteristic of the population of this region, regardless of family social and economic status. They used the slate in the construction not only in houses, but also in walls and pavements, and in the stands for vineyards. A very significant example of the explorations is the one of Vila Nova de Foz Côa, which played an important role in the Douro vineyards, as it was from there that the “esteios” using in the vines come.

This study intends to contribute to the technological characterization of slates for ornamental stone as well as for the petrographic and petrophysical characterization of rocks of the Douro Group – “Complexo Xisto-Grauváquico”, belonging to Desejosa Formation (DF) and Pinhão Formation (PF), contributing also to a more consolidated and integrated knowledge of the different geological characteristics of the two formations.

Taking into account the technological characterization of slates for ornamental stone, slates of explorations, activated or currently deactivated, of Trás-os-Montes and Alto Douro Region were sampled. All of them explored rocks belonging to Douro Group – “Complexo Xisto-Grauváquico”, belonging to Desejosa Formation and Pinhão Formation. The studied areas are located in Peso da Régua, Alijó, Alfândega da Fé, Torre de Moncorvo and Vila Nova de Foz Côa counties. Actually an important area of exploration is the geological structure known as “Sinclinal do Poio” in Vila Nova de Foz Côa where the “Xisto de Foz Côa” is explored and the exploration in Alvações de Tanha.

It should also be noted that the study area is included in two areas that are recognized by UNESCO as a World Heritage Site: the “Alto Douro Vinhateiro” and the “Arte Rupestre do Vale do Rio Côa”.

The lithologies of both formations present fine grain and grey colour, sometimes yellowish, with alternation between clay rich layers and silt rich layers, giving to the DF a banded aspect with load casts.

Microscopically, the lithologies have granoblastic to granolepidoblastic texture with quartz, white mica, biotite, plagioclase, chlorite, zircon, apatite, tourmaline, calcite, epidote, sphene, monazite and opaque minerals, such as ilmenite, pyrite, chalcopyrite,

galena, sphalerite, titanomagnetite, pyrrhotite, arsenopyrite and magnetite (only in PF). Actinolite and feldspar were only observed in DF and PF, respectively.

The studies of Anisotropy of Magnetic Susceptibility (AMS) were performed in 72 oriented core samples of PF and in 92 of DF, obtained in 17 and 23 sampling stations, respectively. The magnetic susceptibility (MS) values indicate paramagnetic behaviour to the both formations ($MS < 10^{-3}$ SI), due to the presence of iron silicates. However three sites in PF and two sites in DF present a ferromagnetic behaviour with $MS > 10^{-3}$ SI due to the presence of magnetite, titanomagnetite and/or pyrrhotite. The magnetic anisotropy is higher in DF, suggesting a strong anisotropy. The AMS ellipsoid is predominantly prolate in both formations. In DF the prolate magnetic ellipsoids reflect pencil structures (bedding and cleavage intersection), materialized in the "Xisto do Poio" or "Xisto Negro de Foz Côa". Magnetic lineations are sub-horizontal in both formations and present a WNW-ESE to NW-SE trending, corresponding to the intersection lineation (bedding and cleavage intersection) direction. Magnetic foliations are subvertical with NW-SE to E-W direction corresponding to the cleavage plane. There are also present sub-horizontal magnetic foliations in DF consistent with the bedding plane.

The geochemical study was performed in 32 samples, 15 from DF and 17 from PF. DF is more siliceous, more sodic and more calcic than the PF. PF presents higher levels in Al_2O_3 and V, indicating a great involvement of a clay component. DF has a more abundant fine sand component as indicated by the higher SiO_2 and Zr values. The formations show enrichment in Ag, W, Bi and As when compared to clark and depletion in Sr and similar rare earth spectra with a slight enrichment in Light Rare Earth Elements.

In order to define the technological characteristics of the slates, DF rocks were studied, more concretely from the Eucísia, Nozelos and Vila Nova de Foz Côa and from the PF in Tanha. The slates were submitted to standard tests for the study of water absorption, density, porosity, abrasion resistance, compressive strength, flexural strength under centre load and thermal shock.

In view of their characteristics, the studied slates can be applied to rustic masonry and resistant masonry / pillars but with reservations for those of Eucísia. For pavement with weak traffic can be used those of Tanha, Nozelos and Eucísia in the interior. In pavements for moderate to strong traffic the slates of Foz Côa and Nozelos can be used, and in the pavements of strong traffic the "Xisto Oxidado de Foz Côa" may be applied. For lintels, the slates of Foz Côa can be used and those of Nozelos and Tanha.

Foz Côa, Nozelos and Eucísia may be used for wall cladding. For roofing the “Xisto Oxidado de Foz Côa” and the one of Nozelos can be used.

Keywords: Douro Group, Desejosa Formation, Pinhão Formation, AMS, Geochemistry, Slate, Ornamental Stone

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo	iii
Abstract	vi
Índice de tabelas.....	4
Índice de figuras	8
Lista de abreviaturas.....	20
1- Introdução	25
1.1- Objetivos	27
1.2- Estado da Arte	28
2- Área de estudo	32
2.1- Localização geográfica.....	32
2.2- Enquadramento geológico	34
2.2.1- Tectónica e Metamorfismo.....	37
2.3- Complexo Xisto-Grauváquico.....	38
2.3.1- Grupo do Douro.....	39
2.3.1.1- Formação de Desejosa.....	43
2.3.1.2- Formação de Pinhão.....	45
3- Explorações estudadas	47
3.1- Explorações de Xisto Negro de Foz Côa e Xisto Oxidado ou Amarelo de Foz Côa	47
3.2- Eucísia 1	50
3.3- Eucísia 2	52
3.4- Nozelos.....	53
3.5- Tanha.....	55
4- Petrografia.....	57
4.1-Metodologia	57
4.1.1- Descrição mesoscópica.....	57
4.1.2- Descrição microscópica.....	59
4.1.2.1- Mineralogia.....	59
5- Petrofísica	68
5.1- Conceitos gerais em magnetismo	68
5.2- Propriedades magnéticas da matéria	70
5.2.1- Diamagnetismo.....	70

5.2.2- Paramagnetismo.....	71
5.2.3- Ferromagnetismo, Ferrimagnetismo, Antiferromagnetismo e Antiferromagnetismo <i>Canted</i>	72
5.3- Magnetização remanescente natural.....	75
5.3.1- Propriedades magnéticas dos grãos.....	75
5.3.2- Domínios magnéticos	75
5.3.3 - Monodomínios, Multidomínios e Pseudo-monodomínios	76
5.4- Suscetibilidade magnética.....	76
5.4.1- Anisotropia da suscetibilidade magnética (ASM)	78
5.4.2- <i>Fabric</i> magnético	79
5.5- Metodologia	80
5.5.1- Amostragem	80
5.5.2- Preparação de amostras.....	82
5.5.3- Medidas laboratoriais.....	83
5.5.3.1- Dados escalares.....	84
5.5.3.2- Dados vetoriais	85
5.6- Resultados	86
5.6.1- Dados escalares da Formação de Desejosa.....	91
5.6.2- Dados escalares da Formação de Pinhão	93
5.6.3- Dados vetoriais da Formação de Desejosa.....	96
5.6.4- Dados vetoriais da Formação de Pinhão	96
5.6.5- Análise dos dados escalares e vetoriais	110
6- Geoquímica	112
6.1- Metodologia	112
6.2- Geoquímica de Rocha Total.....	112
6.2.1- Elementos maiores	112
6.2.2- Elementos menores	122
6.2.3- Elementos de terras raras.....	130
6.2.4- Proveniência.....	138
6.2.5- Índice de meteorização química e índice de alteração química	141
6.3- Análise estatística	144

6.3.1- Matrizes de correlação.....	145
6.3.2- Análise estatística multivariada – análise em componentes principais.....	148
6.3.2.1- ACP da Formação de Desejosa	149
6.3.2.2- ACP da Formação de Pinhão	154
7- Química mineral	162
7.1- Metodologia	162
7.2- Resultados obtidos.....	162
8- Caracterização tecnológica	186
8.1- Metodologia	186
8.1.1- Normas de produto e de ensaio.....	186
8.1.2- Ensaio tecnológicos	188
8.1.2.1- Determinação da absorção de água à pressão atmosférica	189
8.1.2.2- Determinação da densidade aparente e da porosidade aberta.....	190
8.1.2.3- Determinação da resistência à compressão	192
8.1.2.4- Determinação da resistência à flexão sob carga centrada.....	194
8.1.2.5- Determinação da resistência ao desgaste - Máquina de Capon.....	196
8.1.2.6- Determinação da resistência ao envelhecimento através de choque térmico	199
8.2- Resultados dos ensaios tecnológicos.....	200
8.2.1- Determinação da absorção de água à pressão atmosférica (EN 13755)..	200
8.2.2- Determinação da densidade aparente e da porosidade aberta (EN 1936).	201
8.2.3- Determinação da resistência à compressão (EN 1926)	202
8.2.4- Determinação da resistência à flexão sob carga centrada (EN 12372)....	202
8.2.5- Determinação da resistência ao desgaste - Máquina de Capon (EN 14157).....	204
8.2.6- Determinação da resistência ao envelhecimento através de choque térmico (EN 14066)	205
8.3- Análise dos resultados	208
9- Discussão e conclusões	211
9.1- Síntese e discussão dos resultados relativos às Formações de Desejosa e de Pinhão	211
Bibliografia.....	217

Índice de tabelas

Tabela 2.1- Localização geográfica dos locais em estudo.	32
Tabela 2.2- Localização das amostras estudadas na Cartografia Geológica de Portugal.	35
Tabela 4.1- Minerais observados ao microscópio na Formação de Desejosa.	66
Tabela 4.2- Minerais observados ao microscópio na Formação de Pinhão.	67
Tabela 5.1- Tabela de valores de suscetibilidade magnética de alguns minerais (<i>in Sant'Ovaia, 1993</i>).	77
Tabela 5.2- Coordenada e cota das estações de amostragem e orientação de cada testemunho recolhido em cada estação na Formação de Desejosa.	87
Tabela 5.3- Coordenada e cota das estações de amostragem e orientação de cada testemunho recolhido em cada estação na Formação de Pinhão.	88
Tabela 5.4- Dados médios de ASM para cada estação de amostragem na Formação de Desejosa. Km: suscetibilidade magnética (SI); P, P%: anisotropia; T: parâmetro de forma; K (máx; int; min): suscetibilidade magnética (máxima; intermédia; mínima); Dec/ Inc: direção/inclinação; E12, E13, E14: 95% de ângulos de confiança correspondentes aos três eixos; N: número de amostras por estação; *: sem dados suficientes para obtenção de valores.	89
Tabela 5.5- Dados médios de ASM para cada estação de amostragem na Formação de Pinhão. Km: suscetibilidade magnética (SI); P, P%: anisotropia; T: parâmetro de forma; K (máx; int; min): suscetibilidade magnética (máxima; intermédia; mínima); Dec/ Inc: direção/inclinação; E12, E13, E14: 95% de ângulos de confiança correspondentes aos três eixos; N: número de amostras por estação.	90
Tabela 6.1- Resultados das análises químicas de rocha total para elementos maiores, mínimo, máximo e média da Formação de Desejosa, em %.	114
Tabela 6.2- Resultados das análises químicas de rocha total para elementos maiores, mínimo, máximo e média da Formação de Pinhão, em %.	115

Tabela 6.3- Normalização da composição média em elementos maiores ao NIBAS (Ugidos <i>et al.</i> , 2010) da Formação de Desejosa, da Formação de Pinhão, Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama <i>in Villaseca et al.</i> , 2014) e do Câmbrio Inferior (Ugidos <i>et al.</i> , 2003).	119
Tabela 6.4- Normalização da composição média em elementos maiores a UCC (Rudnick & Gao, 2014) da Formação de Desejosa, da Formação de Pinhão, Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama <i>in Villaseca et al.</i> , 2014), Câmbrio Inferior (Ugidos <i>et al.</i> , 2003) e NIBAS (Ugidos <i>et al.</i> , 2010).	121
Tabela 6.5- Resultados das análises químicas de rocha total para elementos menores, mínimo, máximo e média da Formação de Desejosa, em ppm.	123
Tabela 6.6- Resultados das análises químicas de rocha total para elementos menores, mínimo, máximo e média da Formação de Pinhão, em ppm.	124
Tabela 6.7- Normalização da composição média em elementos menores ao NIBAS (Ugidos <i>et al.</i> , 2010) da Formação de Desejosa, da Formação de Pinhão, do Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama <i>in Villaseca et al.</i> , 2014) e Câmbrio Inferior (Ugidos <i>et al.</i> , 2003).	127
Tabela 6.8- Normalização da composição média em elementos menores a UCC (Rudnick & Gao, 2014) da Formação de Desejosa, da Formação de Pinhão, do Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama <i>in Villaseca et al.</i> , 2014), Câmbrio Inferior (Ugidos <i>et al.</i> , 2003) e de NIBAS (Ugidos <i>et al.</i> , 2010).	129
Tabela 6.9- Resultados das análises químicas de rocha total para elementos de terras raras, mínimo, máximo e média da Formação de Desejosa, em ppm.	131
Tabela 6.10- Resultados das análises químicas de rocha total para elementos de terras raras, mínimo, máximo e média da Formação de Pinhão, em ppm.	132
Tabela 6.11- Elementos de terras raras e quocientes de ETR normalizados ao Condrito C1 (Evensen <i>et al.</i> , 1978) da Formação de Desejosa.	133
Tabela 6.12- Elementos de terras raras e quocientes de ETR normalizados ao Condrito C1 (Evensen <i>et al.</i> , 1978) da Formação de Pinhão.	134

Tabela 6.13- Médias dos elementos de terras raras e quocientes de ETR normalizados ao Condrito C1 (Evensen <i>et al.</i> , 1978) das Formações de Desejosa e Pinhão, do Sistema Central Espanhol, Câmbrico Inferior, NIBAS e UCC.	135
Tabela 6.14- Valor das razões Th/Sc, La/Sc, Th/Co, Th/Cr, V/Sc, Zr/Sc e V/La das Formações de Desejosa e de Pinhão, do Sistema Central Espanhol, Câmbrico Inferior, NIBAS, UCC, NASC e PAAS.	139
Tabela 6.15- CIW e CIA das Formações de Desejosa e de Pinhão, do Sistema Central Espanhol, Câmbrico Inferior e NIBAS, em %. CIW $((Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+Na_2O))^*100)$ e CIA $((Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O))^*100)$	142
Tabela 6.16- Matriz do coeficiente de correlação de Spearman e para $\rho < 0,01$: $> 0,641$ (***) ; $\rho < 0,05$: $> 0,514$ (**) e $\rho < 0,1$: $> 0,441$ (*) da Formação de Desejosa.	146
Tabela 6.17- Matriz do coeficiente de correlação de Spearman e para $\rho < 0,01$: $> 0,606$ (***) ; $\rho < 0,05$: $> 0,482$ (**) e $\rho < 0,1$: $> 0,412$ (*) da Formação de Pinhão.	147
Tabela 6.18- Valores próprios e percentagem de inércia explicada e acumulada dos elementos da Formação de Desejosa.	149
Tabela 6.19- Percentagem de inércia correspondente aos diferentes planos da Formação de Desejosa.	150
Tabela 6.20- Coeficiente de correlação das variáveis com os fatores da Formação de Desejosa.	150
Tabela 6.21- Coeficiente de correlação das amostras com os fatores da Formação de Desejosa.	153
Tabela 6.22- Valores próprios e percentagem de inércia explicada e acumulada dos elementos da Formação de Pinhão.	154
Tabela 6.23- Percentagem de inércia correspondente aos diferentes planos da Formação de Pinhão.	155
Tabela 6.24- Coeficiente de correlação das variáveis com os fatores da Formação de Pinhão.	156
Tabela 6.25- Coeficiente de correlação das amostras com os fatores da Formação de Pinhão.	160

Tabela 7.1- Percentagem dos elementos químicos de cada ponto analisado ao MEV e designação do respetivo mineral na amostra XNFC (Foz Côa).	166
Tabela 7.2- Percentagem dos elementos químicos de cada ponto analisado ao MEV e designação do respetivo mineral na amostra XNFC (FCNA).	170
Tabela 7.3- Percentagem dos elementos químicos de cada ponto analisado ao MEV e designação do respetivo mineral na amostra FC11.	172
Tabela 7.4- Percentagem dos elementos químicos de cada ponto analisado ao MEV e designação do respetivo mineral na amostra Euc1 (Euc12).	176
Tabela 7.5- Percentagem dos elementos químicos de cada ponto analisado ao MEV e designação do respetivo mineral na amostra Euc2 (Euc13).	180
Tabela 7.6- Percentagem dos elementos químicos de cada ponto analisado ao MEV e designação do respetivo mineral na amostra P8.	183
Tabela 8.1- Resultados do ensaio da absorção de água à pressão atmosférica, em %.	201
Tabela 8.2- Resultados do ensaio da densidade aparente, em kg/m ³ .	201
Tabela 8.3- Resultados do ensaio da porosidade aberta, em %.	201
Tabela 8.4- Resultados do ensaio da resistência à compressão, em MPa.	202
Tabela 8.5- Resultados do ensaio da resistência à flexão sob carga centrada, em MPa.	203
Tabela 8.6- Resultados do ensaio da resistência ao desgaste com máquina de Capon, em mm.	205
Tabela 8.7- Resultados do ensaio relativamente à perda média de massa, em %.	208
Tabela 8.8- Propriedades determinadas para os “xistos” de Tanha (Tan1), Xisto Negro de Foz Côa (XNFC), Xisto Oxidado de Foz Côa (XOFC), Eucísia 1 (Euc1), Eucísia 2 (Euc2) e Nozelos (Noz) (Carvalho <i>et al.</i> , 2013).	209
Tabela 8.9- Aplicabilidade das rochas de Tanha (Tan1), Xisto Negro de Foz Côa (XNFC), Xisto Oxidado de Foz Côa (XOFC), Eucísia 1 (Euc1), Eucísia 2 (Euc2) e Nozelos (Noz) (Carvalho <i>et al.</i> , 2013).	210

Índice de figuras

Figura 2.1- Localização das amostras estudadas na Região Demarcada do Douro (LNEG, modificado, pontos de localização inseridos através de ArcGis, versão 10.1).	33
Figura 2.2- Divisão estrutural atual do Maciço Ibérico, com a representação da delimitação da área em estudo (Julivert <i>et al.</i> , 1974, modificado).	34
Figura 2.3- Mapa geológico com a localização das amostras em estudo no Grupo do Douro, adaptado da Folha Norte da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:500 000, no ArcGis, versão 10.1.	36
Figura 2.4- Localização do Grupo do Douro e do Grupo das Beiras em Portugal (Dias <i>et al.</i> , 2006).	38
Figura 2.5- Estrutura do Grupo do Douro na região de Peso da Régua (<i>in</i> Dias <i>et al.</i> , 2010).	40
Figura 2.6- Estrutura do Grupo do Douro na região de Alijó (<i>in</i> Dias <i>et al.</i> , 2010).	40
Figura 2.7- Estrutura do Grupo do Douro na região de Vila Nova de Foz Côa (<i>in</i> Dias <i>et al.</i> , 2010).	41
Figura 2.8- Modelo esquemático para a Estrutura em Flor do Douro na região de Peso da Régua. Na zona axial indica-se a presença de corredores de cisalhamento esquerdo e a transição através da Faixa de Transição Santa Marta de Penaguião – Ermida (FTPE) de um setor onde a deformação é mais incipiente, para outro onde a deformação se caracteriza pela vergência para NNE (o retângulo assinalado indica a localização do setor de Peso da Régua) (Moreira <i>et al.</i> , 2010a).	42
Figura 2.9- Sucessão litoestratigráfica do Grupo do Douro (Bernardo de Sousa, 1982).	43
Figura 2.10- Coluna simplificada da Formação de Desejosa (Búrcio, 2004).	45
Figura 2.11- Coluna simplificada da Formação de Pinhão (Búrcio, 2004).	46

Figura 3.1- Mapa geológico com a localização das explorações no Grupo do Douro, adaptado da Folha Norte da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:500 000, no ArcGis, versão 10.1.	48
Figura 3.2- Vista geral (A) e de pormenor (B) de uma das explorações de Vila Nova de Foz Côa.	49
Figura 3.3- Aspeto listrado e com <i>load casts</i> do Xisto Negro de Foz Côa.	49
Figura 3.4- Projeção estereográfica dos polos das diaclases e respetivo diagrama de roseta das explorações de Vila Nova de Foz Côa.	50
Figura 3.5- Vista geral (A) e de pormenor (B) da exploração Eucísia 1.	50
Figura 3.6- “Xisto” cinzento em Eucísia 1.	51
Figura 3.7- Projeção estereográfica dos polos das diaclases e respetivo diagrama de roseta da exploração Eucísia 1.	51
Figura 3.8- Vista geral (A) e de pormenor (B) da exploração Eucísia 2.	52
Figura 3.9- “Xisto” cinzento com patine acastanhada em Eucísia 2.	52
Figura 3.10- Projeção estereográfica dos polos das diaclases e respetivo diagrama de roseta da exploração Eucísia 2.	53
Figura 3.11- Vista geral (A) e de pormenor (B) da exploração de Nozelos.	53
Figura 3.12- “Xisto” com patine acastanhada na exploração de Nozelos.	54
Figura 3.13- Projeção estereográfica dos polos das diaclases e respetivo diagrama de roseta da exploração de Nozelos.	54
Figura 3.14- Vista geral da exploração de Tanha.	55
Figura 3.15- Rocha xistenta de cor cinzenta escura e foliação pouco evidente da exploração de Tanha.	55
Figura 3.16- Projeção estereográfica dos polos das diaclases e respetivo diagrama de roseta da exploração de Tanha.	56
Figura 4.1- Aspeto mesoscópico característico das amostras da Formação de Desejosa: A) FC12, B) Tan3 e C) FC11.	58

Figura 4.2- Aspeto mesoscópico característico das amostras da Formação de Pinhão: A e B) Tan1, C e D) P5.	58
Figura 4.3- Alternância de níveis mais argilosos com níveis mais gresosos em XNFC (FD), NX.	62
Figura 4.4- <i>Load casts</i> em FC11 (FD), NX.	62
Figura 4.5- <i>Load casts</i> com quartzo e calcite em FC4 (FD), NX.	62
Figura 4.6- Quartzo heterogranular de várias dimensões com extinção ondulante e orientado, plagioclase e zircão subédrico e oval com zonamento em XNFC (FD), NX.	62
Figura 4.7- Grão de quartzo policristalino numa matriz de quartzo e biotite em P2 (FD), NX.	63
Figura 4.8- Grão de quartzo com inclusões numa matriz de quartzo e biotite em P2 (FD), N//.	63
Figura 4.9- Grãos de quartzo estirado e orientado, numa matriz constituída por mica branca, clorite e biotite em P6 (FP), N//.	63
Figura 4.10- Filonete de quartzo com extinção ondulante numa matriz de biotite cloritizada e mica branca em FS1 (FP), NX.	63
Figura 4.11- Biotite cloritizada de grande dimensão com orientação em XNFC (FD), N//.	63
Figura 4.12- Mica branca em palhetas orientadas em XNFC (FD), NX.	63
Figura 4.13- Filonetes de quartzo e cristais de biotite poicilítica numa matriz de quartzo e mica branca com clivagem de crenulação em P3 (FP), NX.	64
Figura 4.14- Cristais de biotite poicilítica sobre uma matriz de quartzo e mica branca evidenciando clivagem de crenulação, e minerais opacos em P3 (FP), NX.	64
Figura 4.15- Clorite tardia vermicular em fraturas de quartzo em P5 (FP), NX.	64
Figura 4.16- Clorite tardia vermicular em fraturas de quartzo que também estão preenchidas por óxidos em P5 (FP), N//.	64

Figura 4.17- Biotite cloritizada numa matriz de quartzo e mica branca em Tan3 (FD), NX.	64
Figura 4.18- Biotite numa matriz de quartzo e mica branca em FC15 (FP), NX.	64
Figura 4.19- Biotite com halos pleocroicos e orientada em P4 (FD), N//.	65
Figura 4.20- Clorite e minerais opacos subédricos a euédricos bem desenvolvidos que observados ao MEV foram identificados como magnetite em P8 (FP), N//.	65
Figura 4.21- Quartzo orientado circularmente à volta da calcite em XNFC (FD), NX.	65
Figura 4.22- Fratura com calcite e minerais opacos euédricos em Pi2 (FP), NX.	65
Figura 4.23- Actinolite e epídoto nas zonas mais gresosas em P4 (FD), N//.	65
Figura 4.24- Figura 4.23 em luz polarizada em P4 (FD), NX.	65
Figura 5.1- Diamagnetismo (H- campo magnético; Ji- magnetização induzida) (adaptado de Tarling & Hrouda, 1993).	70
Figura 5.2- Paramagnetismo (H- campo magnético; Ji- Magnetização induzida) (adaptado de Tarling & Hrouda, 1993).	71
Figura 5.3- Diferentes formas de magnetização (adaptado de http://www.irm.umn.edu/hg2m/hg2m_b/hg2m_b.html).	72
Figura 5.4- Curvas de magnetização induzida em função do campo aplicado para os diferentes tipos de comportamento magnético (adaptado de http://gravmag.ou.edu/mag_rock/mag_rock.html).	73
Figura 5.5- Variação da magnetização de saturação com a temperatura para a magnetite e hematite (Butler, 1992).	73
Figura 5.6- Curva de Histerese (<i>in</i> Sant'Ovaia, 1993).	74
Figura 5.7- Rotação dos momentos magnéticos ao longo da Parede de Bloch (<i>in</i> Sant'Ovaia, 1993).	76
Figura 5.8- Elipsoide de ASM, seus eixos principais e sua orientação numa amostra e no espaço (Jover, 1986 <i>in</i> Sant'Ovaia, 2000).	79

Figura 5.9- Diferentes tipos de <i>fabric</i> magnéticos (<i>in Sant'Ovaia, 2000</i>).	80
Figura 5.10- Sonda portátil para amostragem (A) e aspecto do afloramento depois de amostrado (B).	80
Figura 5.11- Material de campo para orientação das amostras.	81
Figura 5.12- Marcação das linhas que correspondem ao azimute do cilindro e do sentido do mergulho na amostra (A). Amostra para ASM orientada (B).	81
Figura 5.13- Máquina de corte.	82
Figura 5.14- Amostras orientadas e cortadas para a medição de ASM.	82
Figura 5.15- Balança de suscetibilidade magnética.	83
Figura 5.16- Posições da amostra para medição da suscetibilidade magnética.	83
Figura 5.17- Exemplo de elipsoide constrito (http://www.mathematik.tu-darmstadt.de/Math-Net/Lehrveranstaltungen/Lehrmaterial/SS2001/MCS-LAll/ell.gif).	85
Figura 5.18- Exemplo de elipsoide achatado (http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1502639&show=html).	85
Figura 5.19- Representação da lineação magnética da amostra FC11 (Formação de Desejosa) e da foliação magnética de FC15 (Formação de Pinhão) e dos respetivos valores de ASM. Em que: K= suscetibilidade magnética; P= anisotropia magnética T= parâmetro de forma; N= número de amostras; K1= Kmáx; K2= Kint; K3= Kmin.	86
Figura 5.20- Histograma de frequência da suscetibilidade magnética (Km) na Formação de Desejosa.	91
Figura 5.21- Histograma de frequência da anisotropia magnética (P%) na Formação de Desejosa.	92
Figura 5.22- Diagrama da suscetibilidade magnética (Km) <i>versus</i> anisotropia magnética (P%) na Formação de Desejosa.	92
Figura 5.23- Histograma de frequência do parâmetro de forma (T) na Formação de Desejosa.	93

Figura 5.24- Diagrama do parâmetro T <i>versus</i> anisotropia magnética (P%) na Formação de Desejosa.	93
Figura 5.25- Histograma de frequência da suscetibilidade magnética (Km) na Formação de Pinhão.	94
Figura 5.26- Histograma de frequência da anisotropia magnética (P%) na Formação de Pinhão.	94
Figura 5.27- Diagrama da suscetibilidade magnética (Km) <i>versus</i> anisotropia magnética (P%) na Formação de Pinhão, em escala logarítmica.	95
Figura 5.28- Histograma de frequência do parâmetro de forma (T) na Formação de Pinhão.	95
Figura 5.29- Diagrama do parâmetro T <i>versus</i> anisotropia magnética (P%) na Formação de Pinhão.	96
Figura 5.30- Estereogramas de <i>fabric</i> magnético de ASM para cada estação de amostragem na área de Peso da Régua (■ Kmax; ▲ Kint; ● Kmin). Mapa baseado na Folha 10-D da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.	98
Figura 5.31- Estereogramas de <i>fabric</i> magnético de ASM para cada estação de amostragem na área de Torre de Moncorvo (■ Kmax; ▲ Kint; ● Kmin). Mapa baseado na Folha 11-C da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.	99
Figura 5.32- Estereogramas de <i>fabric</i> magnético de ASM para cada estação de amostragem na área de Vila Nova de Foz Côa (■ Kmax; ▲ Kint; ● Kmin). Mapa baseado na Folha 15-A da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.	100
Figura 5.33- Estereogramas de <i>fabric</i> magnético de ASM para cada estação de amostragem na área de Eucísia (■ Kmax; ▲ Kint; ● Kmin). Mapa baseado na Folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000.	101
Figura 5.34- Mapa estrutural das lineações magnéticas e respetivas projeções estereográficas, na rede de Schmidt, na área de Peso da Régua. Mapa baseado na Folha 10-D da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.	102
Figura 5.35- Mapa estrutural das lineações magnéticas e respetivas projeções estereográficas, na rede de Schmidt, na área de Torre de Moncorvo. Mapa baseado na Folha 11-C da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.	103

- Figura 5.36- Mapa estrutural das lineações magnéticas e respetivas projeções estereográficas, na rede de Schmidt, na área de Vila Nova de Foz Côa. Mapa baseado na Folha 15-A da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.104
- Figura 5.37- Mapa estrutural das lineações magnéticas e respetivas projeções estereográficas, na rede de Schmidt, na área de Eucísia. Mapa baseado na Folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000.105
- Figura 5.38- Mapa estrutural das foliações magnéticas e respetivas projeções estereográficas, na rede de Schmidt, na área de Peso da Régua. Mapa baseado na Folha 10-D da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.106
- Figura 5.39- Mapa estrutural das foliações magnéticas e respetivas projeções estereográficas, na rede de Schmidt, na área de Torre de Moncorvo. Mapa baseado na Folha 11-C da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.107
- Figura 5.40- Mapa estrutural das foliações magnéticas e respetivas projeções estereográficas, na rede de Schmidt, na área de Vila Nova de Foz Côa. Mapa baseado na Folha 15-A da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.108
- Figura 5.41- Mapa estrutural das foliações magnéticas e respetivas projeções estereográficas, na rede de Schmidt, na área de Eucísia. Mapa baseado na Folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000.109
- Figura 5.42- Projeções estereográficas, na rede de Schmidt, das lineações magnéticas na Formação de Desejosa (A) e Formação de Pinhão (B) e de pontos referentes a lineações de interseção da estratificação com a clivagem (L1) no setor de Peso da Régua (C) (Moreira *et al.*, 2010a) e no setor de Vila Nova de Foz Côa (D) (Búrcio, 2004).111
- Figura 5.43- Projeções estereográficas, na rede de Schmidt, dos polos das foliações magnéticas na Formação de Desejosa (A) e Formação de Pinhão (B) e de pontos referentes a polos dos planos de clivagem (S1), na rede de Schmidt, no setor de Peso da Régua (C) (Moreira *et al.*, 2010a) e no setor de Vila Nova de Foz Côa (D) (Búrcio, 2004).111
- Figura 5.44- Projeções estereográficas, na rede de Schmidt, dos polos das foliações magnéticas na Formação de Desejosa (A) e Formação de Pinhão (B). Diagrama de densidades, na rede de Schmidt, de pontos referentes a polos dos planos

- deestratificação (S0) no setor de Peso da Régua (C) (Moreira *et al.*, 2010a) e no setor de Vila Nova de Foz Côa (D) (Búrcio, 2004).111
- Figura 6.1- Diagramas de variação de SiO₂, Na₂O e P₂O₅ (%) em função de Al₂O₃ (%). As zonas com maior concentração de amostras em cada uma das formações estão representadas pelos círculos.116
- Figura 6.2- Diagramas de variação de Fe₂O₃, K₂O e TiO₂ (%) em função de Al₂O₃ (%). As áreas com maior concentração de amostras em cada uma das formações estão representadas com círculos.117
- Figura 6.3- Diagramas de variação de CaO e MgO (%) em função de Al₂O₃ (%). No diagrama CaO vs Al₂O₃, as amostras com valores anómalos em CaO relativamente à média estão envolvidas por um círculo, enquanto que a linha representa a tendência dos teores em ambas as formações. No diagrama MgO vs Al₂O₃, os círculos definem zonas de maior concentração de amostras de cada uma das formações.118
- Figura 6.4- Diagrama de normalização da composição média em elementos maiores ao NIBAS (Ugidos *et al.*, 2010), em escala logarítmica, da Formação de Desejosa, da Formação de Pinhão, Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in* Villaseca *et al.*, 2014) e do Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003).120
- Figura 6.5- Diagrama de normalização da composição média em elementos maiores a UCC (Rudnick & Gao, 2014), em escala logarítmica, da Formação de Desejosa, Formação de Pinhão, Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in* Villaseca *et al.*, 2014), Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003) e NIBAS (Ugidos *et al.*, 2010).121
- Figura 6.6- Diagramas de variação de Sr e Zr (ppm) em função de Al₂O₃ (%). No diagrama Sr vs Al₂O₃, os círculos delimitam as áreas com maior concentração de amostras em cada uma das formações. No diagrama Zr vs Al₂O₃, o círculo engloba as amostras com maior teor em Zr, com exceção de FC4 que se destaca no teor. A linha representa a média deste elemento nas duas formações.125
- Figura 6.7- Diagramas de variação de V e Rb (ppm) em função de Al₂O₃ (%), com delimitação das áreas com maior concentração de amostras.126
- Figura 6.8- Diagrama de normalização da composição média em elementos menores ao NIBAS (Ugidos *et al.*, 2010), em escala logarítmica, da Formação de Desejosa, da Formação de Pinhão, do Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in* Villaseca *et al.*, 2014) e Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003).128

- Figura 6.9- Diagrama de normalização da composição média em elementos menores a UCC (Rudnick & Gao, 2014), em escala logarítmica, da Formação de Desejosa, da Formação de Pinhão, do Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in Villaseca et al.*, 2014), Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003) e de NIBAS (Ugidos *et al.*, 2010).130
- Figura 6.10- Diagrama de terras raras normalizadas ao Condrito C1 (Evensen *et al.*, 1978) da Formação de Desejosa e da Formação de Pinhão, em escala logarítmica.136
- Figura 6.11- Diagrama da média de terras raras normalizadas ao Condrito C1 (Evensen *et al.*, 1978) da Formação de Desejosa, da Formação de Pinhão, do Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in Villaseca et al.*, 2014), Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003), NIBAS (Ugidos *et al.*, 2010) e UCC (Rudnick & Gao, 2014), em escala logarítmica.137
- Figura 6.12- Diagramas de proveniência Th/Sc vs Zr/Sc e Th/Sc vs V/La da Formação de Desejosa, da Formação de Pinhão, do Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in Villaseca et al.*, 2014), do Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003), NASC (Gromet *et al.*, 1984) e PAAS (Taylor & McLennan, 1985).140
- Figura 6.13- Diagrama representativo do índice de meteorização química (CIW) das Formações de Desejosa e de Pinhão. São também apresentados os valores para o Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in Villaseca et al.*, 2014), Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003) e NIBAS (Ugidos *et al.*, 2010).143
- Figura 6.14- Diagrama representativo do índice de alteração química (CIA) das Formações de Desejosa e de Pinhão. São também apresentados os valores do Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in Villaseca et al.*, 2014), Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003) e NIBAS (Ugidos *et al.*, 2010).144
- Figura 6.15- *Scree plot* da distribuição dos valores próprios pelo número de fatores da Formação de Desejosa.149
- Figura 6.16- Círculo de correlação do plano F1/F2 da Formação de Desejosa.151
- Figura 6.17- Círculo de correlação do plano F1/F3 da Formação de Desejosa.152
- Figura 6.18- Círculo de correlação do plano F1/F4 da Formação de Desejosa.153

Figura 6.19- Representação gráfica das amostras no plano F1/F2 da Formação de Desejosa. 1- XOFC, 2- XNFC, 3- Euc1, 4- Euc2, 5- Euc2H, 6- Noz, 7- FC12, 8- P2, 9- P4, 10- P10, 11- Tan2, 12- Tan6, 13- Tan7.	154
Figura 6.20- <i>Scree plot</i> da distribuição dos valores próprios pelo número de fatores da Formação de Pinhão.	155
Figura 6.21- Círculo de correlação do plano F1/F2 da Formação de Pinhão.	157
Figura 6.22- Círculo de correlação do plano F1/F3 da Formação de Pinhão.	158
Figura 6.23- Círculo de correlação do plano F1/F4 da Formação de Pinhão.	158
Figura 6.24- Círculo de correlação do plano F1/F5 da Formação de Pinhão.	159
Figura 6.25- Representação gráfica das amostras no plano F1/F2 da Formação de Pinhão. 1- FC15, 2- FS1, 3- FS2, 4- P1, 5- P3, 6- P5, 7- P6, 8- P7, 9- P8, 10- P9, 11- Pi1, 12- Pi2, 13- Pi3, 14- Pi4, 15- Tan1, 16- Tan4, 17-Tan5.	161
Figura 7.1- Análise ao MEV de XNFC: ilmenite (Z1) e quartzo (Z2).	167
Figura 7.2- Análise ao MEV de XNFC: monazite (Z3).	167
Figura 7.3- Análise ao MEV de XNFC: silicato de Th, U e Pb (Z4 e Z5), terras raras (Z6) e pirite (Z7).	168
Figura 7.4- Análise ao MEV de XNFC: esfena (Z8) e ilmenite (Z9).	169
Figura 7.5- Análise ao MEV de XNFC: calcite (Z10), terras raras (Z11) e ilmenite (Z12).	169
Figura 7.6- Análise ao MEV de XNFC: pirrotite (Z13).	170
Figura 7.7- Análise ao MEV de XNFC: calcite (Z1), zircão (Z2) e ilmenite (Z3).	171
Figura 7.8- Análise ao MEV de XNFC: monazite (Z4).	171
Figura 7.9- Análise ao MEV de XNFC: fosfato de terras raras (Z5).	172
Figura 7.10- Análise ao MEV de XNFC: zircão zonado de forma euédrica.	173
Figura 7.11- Análise ao MEV de FC11: ilmenite (Z1), pirite (Z2) e calcopirite (Z3). ...	173

Figura 7.12- Análise ao MEV de FC11: calcopirite (Z4) e esfalerite (Z5).	174
Figura 7.13- Análise ao MEV de FC11: monazite (Z6).	174
Figura 7.14- Análise ao MEV de FC11: zircão (Z7 e Z8).	175
Figura 7.15- Análise ao MEV de FC11: biotite (Z9).	175
Figura 7.16- Análise ao MEV de Euc1: clorite (Z1), ilmenite (Z2), titanomagnetite (Z3) e monazite (Z4).	177
Figura 7.17- Análise ao MEV de Euc1: zircão (Z5) e bismuto (Z6).	178
Figura 7.18- Análise ao MEV de Euc1: monazite (Z7), titanomagnetite (Z8) e ilmenite (Z9).	178
Figura 7.19- Análise ao MEV de Euc1: fosfato de terras raras (Z10) e monazite (Z11).	179
Figura 7.20- Análise ao MEV de Euc1: monazite (Z12) e zircão (Z13).	179
Figura 7.21- Análise ao MEV de Euc2: ilmenite (Z1) e titanomagnetite (Z2).	181
Figura 7.22- Análise ao MEV de Euc2: pirite (Z3), ilmenite (Z4) e arsenopirite (Z5).	181
Figura 7.23- Análise ao MEV de Euc2: arsenopirite (Z5) e galena (Z6 e Z7).	182
Figura 7.24- Análise ao MEV de Euc2: monazite (Z8) e mineral calcossilicatado (Z9).	182
Figura 7.25- Análise ao MEV de Euc2: monazite (Z10 e Z11).	183
Figura 7.26- Análise ao MEV de P8: magnetite (Z1).	184
Figura 7.27- Análise ao MEV de P8: magnetite (Z2), monazite (Z3) e clorite (Z4).	184
Figura 7.28- Análise ao MEV de P8: magnetite (Z5).	185
Figura 8.1- Prensa hidráulica utilizada para o ensaio da resistência à compressão.	194

- Figura 8.2- Tensómetro e dispositivo de aplicação de forças centradas, usados no ensaio da resistência à flexão sob carga centrada.196
- Figura 8.3- Máquina de desgaste de Capon. A substância branca a cair é o corindo, abrasivo usado neste ensaio.198
- Figura 8.4- Provetes de Tanha (0987 RO) (A), Xisto Negro de Foz Côa (1028 RO) (B), Xisto Oxidado de Foz Côa (1027 RO)(C), Eucísia 1 (0982 RO) (D), Eucísia 2 (0983 RO) (E) e Nozelos (0980 RO) (F) depois de submetidos ao ensaio.203
- Figura 8.5- Provetes de Tanha (0987 RO) (A), Eucísia 1 (0982 RO) (B), Eucísia 2 (0983 RO) (C) e Nozelos (0980 RO) (D) depois de submetidos ao ensaio, onde é visível o desgaste sofrido.204
- Figura 8.6- Provetes de Xisto Negro de Foz Côa (1028 RO) e de Xisto Oxidado de Foz Côa (1027 RO) a serem submetidos ao ensaio. Para sofrerem choque térmico, primeiro são colocados na estufa a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ durante $(18 \pm 1) \text{ h}$ (A) e depois são imediatamente mergulhados em água a $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ durante $(6 \pm 0,5) \text{ h}$ (B).205
- Figura 8.7- Provetes antes e depois de submetidos ao ensaio. Em Tanha, Eucísia 1, Eucísia 2 e Nozelos, os provetes sem numeração romana na face de topo, correspondem aos provetes de referência, que não foram submetidos ao ensaio. No Xisto Negro de Foz Côa e no Xisto Oxidado de Foz Côa, os provetes de referência são aqueles nos quais estão colocadas as tampas de esferográfica.207

Lista de abreviaturas

A – Área; Área de carga, em mm

Ab – Absorção de água à pressão atmosférica, em %

ACP – Análise de componentes principais

A/m – Ampere por metro

ASM – Anisotropia da Suscetibilidade Magnética

b – Largura do provete, em mm

C – Constante de Curie

CEMUP – Centro de Materiais da Universidade do Porto

CEN – Comité Europeu de Normalização

CGS – Centímetro, Grama, Segundo

CIA – Índice de alteração química

CIW – Índice de meteorização química

CXG – Complexo Xisto-Grauváquico

Dec/Inc – Direção/Inclinação

DGAOT – Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território

DS – Monodomínio ou Domínio Simples

d_0 – Tamanho crítico

D1 – 1ª fase de deformação

D2 – 2ª fase de deformação

D3 – 3ª fase de deformação

EDS – Dispersão de energia

EN – Norma Europeia; Estrada Nacional

EN's – Normas Europeias

ETR – Elementos de Terras Raras

EU – União Europeia

Euc1 – Eucísia 1

Euc2 – Eucísia 2

F – Força; Força de rutura, em N

FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia

FCUP – Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

FD – Formação de Desejosa

FP – Formação de Pinhão

FTPE – Faixa de Transição Santa Marta de Penaguião

FUS-ICP – *Fusion-Inductively Coupled Plasma*

FUS-MS – *Fusion-Mass Spectrometry*

GD – Grupo do Douro

H – Campo magnético

h – Altura / espessura dos provetes, em mm

H_c – Campo Coercivo ou Campo Coercivo Intrínseco.

H_i – Campo magnético interno

H_{sat} – Campo de saturação

l – Distância infinitesimal; Intensidade; Distância entre os cutelos de apoio (vão), em mm

J – Magnetização

J_i – Magnetização induzida

J_r – Magnetização remanescente

J_s – Magnetização de saturação

K – Suscetibilidade inicial; Suscetibilidade magnética

K_m – Suscetibilidade magnética, Suscetibilidade média

K_p – Suscetibilidade paramagnética

$K_1 = K_{\max}$, $K_2 = K_{int}$ e $K_3 = K_{min}$ – Intensidades das suscetibilidades principais em cada amostra

L – Comprimento dos provetes, em mm

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

M – Momento magnético

m – Intensidade

Ma – Milhões de anos

MD – Multidomínios

m_d – Massa do provete seco, em g

m_e – Massa da amostra moída e seca (determinação da densidade real), em g

MEV – Microscópio Eletrónico de Varrimento

m_f – Massa final do provete seco depois de se submeter ao ensaio, em g

m_h – Massa do provete imerso em água destilada, em g

MI – Maciço Ibérico

M_i – Momento magnético induzido

m_o – Massa inicial do provete seco antes de se submeter ao ensaio, em g

MRN – Magnetização remanescente natural

m_s – Massa do provete saturado (após imersão em água), em g

m_1 e m_2 – Cargas magnéticas

N – Número de amostras

NASC – *North American Shale Composite*

NE- Nordeste

NIBAS – *Neoproterozoic Iberian Average Shale*

Noz – Nozelos

NW – Noroeste

N// – Nicóis paralelos

NX – Nicóis cruzados

PAAS – *Post-Archean Australian Shale*

P e P% – Anisotropia magnética

p – Porosidade total do provete, em %

pb – Densidade aparente, em kg/m³

po – Porosidade aberta do provete, em %

prh – Densidade real da água destilada, em kg/m³

PT – Pressão-Temperatura

r – Distância; Coeficiente de correlação

Ref.^a – Desgaste obtido para o material de referência, em mm

Rc – Resistência à compressão, em MPa (N/mm²)

Rf – Resistência à flexão sob carga centrada, em MPa (N/mm²)

RO – Rocha Ornamental

r_s – Coeficiente de correlação de Spearman

SI – Sistema Internacional de Unidades

SM – Suscetibilidade magnética

SZGTM – Sub-Zona Galiza-Trás-os-Montes

T – Temperatura; Parâmetro de forma

Tan1 – Tanha 1

TC – Comité Técnico

TOMAD – Trás-os-Montes e Alto Douro

TRL – Terras Raras Leves

TRP – Terras Raras Pesadas

UCC – *Upper Continental Crust*

UTAD – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

V – Velocidade

V_b – Volume aparente do provete, em mm³

V_o – Volume dos poros abertos do provete, em mm³

WG – Grupo de trabalho (Work Group)

\bar{X} – Desgaste, em mm

XOFC – Xisto Oxidado de Foz Côa

XNFC – Xisto Negro de Foz Côa

ZAOL – Zona Astúrica-Occidental-Leonesa

ZC – Zona Cantábrica

ZCI – Zona Centro-Ibérica

ZGTM – Zona Galiza-Trás-os-Montes

ZOM – Zona de Ossa-Morena

ZSP – Zona Sul-Portuguesa

\mathbf{n} – Vetor unitário perpendicular ao plano da corrente elétrica

μ_B – Magnetron de Bohr

μ_o – Permeabilidade elétrica no vácuo

θ – Constante de Weiss

e_m – Energia manetoestática

ρ – Grau de significância

Δm – Variação da massa dos provetes secos, em %

1- Introdução

O noroeste da Península Ibérica é constituído quase inteiramente por terrenos pré-paleozóicos e paleozóicos, que vão desde o Proterozóico ao Pérmico, distribuídos por duas zonas geotectónicas, a Zona Centro Ibérica e a Zona Galiza- Trás-os-Montes. Do ponto de vista tectónico, as rochas estiveram sujeitas a pelo menos três grandes orogénias: Caledónica, Varisca e Alpina.

Em termos de litologia, pode dizer-se que o NO Peninsular é constituído, essencialmente, por dois tipos de rochas: granitos e metassedimentos. Os granitos, são mais modernos, logo menos deformados e alterados e/ou fraturados. Pelo contrário, os metassedimentos são mais antigos e são mais ou menos intensamente deformados.

Os metassedimentos aparecem, no essencial, em formações geológicas antigas, que vão desde o Proterozóico ou Câmbrio inferior ao Devónico médio. Estas rochas, formaram-se a partir de sedimentos preexistentes, que foram deformados e afetados por metamorfismo orogénico.

Os metassedimentos são por isso frequentes, mas só uma pequena parte pode ou poderá vir a ser utilizada como rocha ornamental. A estrutura geológica, a intensidade de deformação, o grau de metamorfismo da rocha e o estado de fraturação do maciço rochoso são importantes para a explorabilidade e o rendimento, podendo determinar a rentabilidade ou não da jazida. As rochas xistosas ou “xistos” mais adequados possuem granularidade fina e podem ser facilmente delaminadas, isto é, divididas em finas lâminas devido à existência de planos de xistosidade (xistos) e de fissilidade e/ou clivagem ardósiana (ardósias). Para tal, os “melhores” metassedimentos ocorrem em formações geológicas que sofreram metamorfismo regional de baixo grau, na fácies dos xistos verdes e que, portanto, se apresentam pouco recristalizados.

A facilidade que apresentam as ardósias e os “xistos” para se dividirem em placas ou em lâminas foi o motivo da grande utilização pelo homem desde os tempos primitivos até à atualidade.

O uso, nos tempos antigos, dos “xistos” de Trás-os-Montes e Alto Douro era uma característica comum na população desta região, independentemente do estatuto social e económico familiar. Usavam-nos na construção não só de casebres no meio dos montes e das vinhas, como nas suas casas de habitação, muros e pavimentos e nos esteios para vinhas. Exemplo bem significativo é o das explorações de Vila Nova de

Foz Côa, que tiveram um papel importante nas vinhas do “Alto Douro Vinhateiro”, pois eram de lá que saíam os esteios utilizados para a sustentação das videiras. Nas construções, as rochas eram emparelhadas umas nas outras com adobe a cimentar os espaços entre elas, formando paredes robustas (por vezes com 1 m a 1,50 m de largura), com técnica excelentemente executada pelos pedreiros, que contribuiu para que ainda hoje se vejam muitas dessas construções em excelente estado por toda a região. Esta tendência manteve-se até às primeiras décadas do século XX. A partir de certa altura, estas rochas foram substituídas por outros materiais, na maioria artificiais, como o tijolo e o betão. Hoje em dia é visível uma vontade crescente da população em voltar a aproveitar este recurso geológico, tão abundante nesta região, não só como rocha industrial, mas principalmente como rocha ornamental.

Para além da sua beleza, facilidade de colocação e baixo valor económico, estas rochas possuem características físicas, químicas e mecânicas notáveis. Exemplos destas características são a impermeabilidade, incombustibilidade, alto grau de inalterabilidade (cor, textura, composição), resistência mecânica, durabilidade, flexibilidade, capacidade isolante (térmico e elétrico) e clivagem fácil. Todos estes elementos que transformam este recurso geológico num elemento de primeira ordem para o uso na construção e decoração também o elevam a um dos melhores e mais utilizados materiais de construção de toda a história o que se entende ser de grande potencial e mais-valia para o enriquecimento da região.

No entanto, hoje em dia é preciso conhecer o seu comportamento, uma vez colocada em obra e quando submetida a esforços, à ação dos agentes atmosféricos, à atividade humana e ao passar do tempo. O conhecimento das características e comportamento de rochas ornamentais é importante não só para poder dar a cada uma o uso mais adequado, mas também devido ao comércio, sobretudo à exportação.

A avaliação das características físicas obtém-se submetendo as amostras da rocha a uma série de ensaios que se realizam segundo as normas europeias relativas a rochas ornamentais. O Comité Europeu de Normalização (CEN), sedado em Bruxelas (<http://www.cen.eu/cen/>), tem por missão facilitar o comércio e eliminar barreiras às trocas comerciais no seio da UE. Para tal, desenvolve Normas Europeias (EN) e especificações técnicas, tendo criado, para esse efeito, Comités Técnicos (TC).

A seleção dos ensaios a executar sobre uma determinada pedra natural deve ter sempre em consideração o tipo de pedra natural, o tipo de aplicação (existem atualmente diversos produtos em pedra natural sujeitos a Marcação CE,

regulamentada nas respetivas Normas de produto) e as condições ambientais do local onde a pedra natural vai ser aplicada.

Os estudos petrográfico e geoquímico são uma mais valia no conhecimento e interpretação dos ensaios e da aplicabilidade das rochas.

O conhecimento desta realidade levou a que, previamente ao desenvolvimento desta dissertação, tivesse participado como bolsista no projeto de investigação financiado pela FCT “*SCHISTRESOURCE - Xistos como recurso – Sua caracterização e avaliação como rocha ornamental e/ou material de construção*”, em que foram estudadas as rochas xistentas das explorações da Eucísia, Nozelos, Tanha e Vila Nova de Foz Côa (Aires *et al.*, 2011; Aires *et al.*, 2012a; Aires *et al.*, 2013a, b, c). Verificámos então que as rochas das explorações de Eucísia (Euc1 e Euc2) e Nozelos (Noz), pertencentes à Formação de Desejosa (FD), apresentavam mais semelhanças com a exploração de Tanha (Tan1), que pertence à Formação de Pinhão (FP), do que com as explorações de “Xisto Negro de Foz Côa” (XNFC) e de “Xisto Oxidado de Foz Côa” (XOFC) de Vila Nova de Foz Côa (conhecidas como Predreiras do Poio) inseridas na Formação de Desejosa, suscitando o interesse e a necessidade de compreender esta relação, pelo que partimos para novo desafio. A área estudada foi alargada, abrangendo zonas dos concelhos de Peso da Régua, Alijó, Torre de Moncorvo, Alfândega da Fé e Vila Nova de Foz Côa, no sentido de melhor conhecer as características dos “xistos” das Formações de Desejosa e de Pinhão. Salienta-se como zona importante de exploração, na atualidade, a estrutura geológica conhecida como Sinclinal do Poio em Vila Nova de Foz Côa. De salientar ainda que a zona em estudo está incluída em duas áreas que estão reconhecidas pela UNESCO como Património Mundial: O “Alto Douro Vinhateiro” e a “Arte Rupestre do Vale do Rio Côa”.

1.1- Objetivos

Este estudo tem como objetivos:

- Caracterizar petrográfica e geoquimicamente as Formações de Desejosa e de Pinhão.
- Verificar se há semelhanças e diferenças características petrográficas e geoquímicas entre os “xistos” das Formações de Desejosa e de Pinhão.
- Realizar a caracterização petrofísica das formações enunciadas.

- Relacionar os estudos da Anisotropia da Suscetibilidade Magnética (ASM) nas rochas xistosas, com a caracterização litogeoquímica, sendo esta abordagem inovadora em Portugal no estudo dos metassedimentos.
- Relacionar as foliações e lineações magnéticas com dados geológicos e estruturais observados no campo.
- Identificar as diferenças e semelhanças entre as duas formações.
- Identificar as diferenças entre o Xisto Oxidado de Foz Côa e o Xisto Negro de Foz Côa.
- Compreender e justificar os diferentes comportamentos aos ensaios físico-mecânicos e de durabilidade dos “xistos”.
- Compreender e justificar as diversas aplicabilidades dos “xistos”.

Para além da contribuição para a caracterização e melhor conhecimento destas formações, estes estudos também poderão contribuir para uma melhor delimitação entre a Formação de Pinhão e a Formação de Desejosa.

1.2- Estado da Arte

A espessa sucessão metassedimentar do “Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico” (CXG), assim designada por Carrington da Costa (1950) e Carlos Teixeira (1955), foi anteriormente apelidada de “Série Xistosa das Beiras” por Nery Delgado (1908) e mais tarde, designada “Hispaniano” por Carlos Teixeira (1979). Em 1989, Silva *et al.* designaram o CXG como Super-Grupo Dúrico-Beirão e estando dividido em Grupo do Douro (a norte) e Grupo das Beiras (a sul). A passagem do Grupo do Douro para o Grupo das Beiras assenta numa linha que passa por S. João da Madeira, Viseu e Serra da Malcata, materializando o desaparecimento dos calci-turbiditos do Grupo do Douro (Oliveira *et al.*, 1992).

Em 1979a, Bernardo de Sousa definiu algumas unidades litoestratigráficas no setor Pinhão – S. João da Pesqueira – Paredes da Beira – Tabuaço:

- grauvaques e conglomerados de Castanheiro do Sul;
- xistos ardosíferos de Desejosa;

- xistos cloríticos de Pinhão (incluindo um membro de xistos cloríticos com magnetite);
- grauvaques de Rio Pinhão – Ervedosa do Douro;
- calcários cristalinos e xistos negros de Bateiras – Covas do Douro.

No mesmo ano (1979b), o mesmo autor assinalou a passagem lateral de calcários cristalinos a conglomerados na unidade dos calcários cristalinos e xistos negros de Bateiras – Covas do Douro.

Em 1981a, este autor estudou a presença de um membro constituído por xistos verdes (cloríticos) com magnetite nas Formações de Pinhão (com duas intercalações e uma terceira esporádica) e Ervedosa do Douro. Para além de cartografado, neste membro foram efetuados estudos de suscetibilidade magnética. Nos xistos cloríticos da Formação de Pinhão, os valores da suscetibilidade magnética vão desde $1,8$ a $4,2 \times 10^{-6}$ CGS. O valor médio mais frequente é de 2 a $2,5 \times 10^{-6}$ CGS. A terceira intercalação raramente ultrapassa $1,0 \times 10^{-6}$ CGS. Na Formação de Ervedosa do Douro, os valores médios vão desde $1,5$ a $2,0 \times 10^{-6}$ CGS.

A sequência do Grupo do Douro foi consagrada por Bernardo de Sousa na sua Tese de Doutoramento, em 1982, distinguindo da base para o topo as seguintes formações, em que Bateiras é a mais antiga:

- S. Domingos
- Desejosa
- Pinhão
- Rio Pinhão
- Ervedosa
- Bateiras

Esta litostratigrafia foi publicada pelo mesmo autor em 1983a.

Em 1983b, o mesmo autor aborda correlações das formações do Grupo do Douro com as formações ante-Ordovícicas da Zona Centro-Ibérica e correlaciona a Formação de Pinhão com a Formação de Aldeatejada (Salamanca). Nesse trabalho, também sugere um ambiente deposicional de fácies turbidíticas no Grupo do Douro. Devido às sequências encontradas e às associações de fácies, sugere para a bacia do Douro ambientes deposicionais do género de um leque submarino.

A idade do Grupo do Douro foi indicada como sendo Câmbrica, devido à ocorrência de trilobites na Formação de Desejosa e de icnofósseis na Formação de Pinhão (Rebelo, 1983/1985; Rebelo & Romano, 1986).

Em 1984, Bernardo de Sousa também considera provável a idade Câmbrica basal para parte do Grupo do Douro, apesar de não afastar a hipótese de parte ser também Câmbrico inferior ou médio, uma vez que alguns dos níveis carbonatados (calcários e calco-silicatadas) poderiam ser equivalentes laterais profundos turbidíticos dos calcários câmbricos (de plataforma).

Silva & Ribeiro (1985) e Silva *et al.* (1995) mostraram que algumas das formações definidas no Grupo do Douro estariam duplicadas tectonicamente devido a carreamento gravítico sinsedimentar da Sr^a. do Viso, ocorrido durante a sedimentação da Formação de Desejosa. Estes autores consideraram que este carreamento explicava a semelhança de fácies entre as Formações de Ervedosa e Pinhão e entre as Formações de Bateiras e Rio Pinhão, subdividindo a sequência inicial em dois conjuntos de unidades:

- Autóctone: Formações de Bateiras e Ervedosa do Douro;
- Alóctone: Formações de Rio Pinhão, Pinhão, Desejosa e S. Domingos.

Em 1987, Bernardo de Sousa *et al.*, elaboraram a folha 10-D Alijó da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.

Bernardo de Sousa & A. Sequeira (1989) admitem que a passagem do topo da Formação de Pinhão (FP) para a Formação de Desejosa (FD) é feita de uma forma gradual e rápida.

Cotelo Neiva (1995), no estudo realizado para a implementação da albufeira da Barragem de Foz Côa, sugere que a zona das explorações do Poio, em Vila Nova de Foz Côa, corresponde ao que designa por “Formação das Pedreiras”. Descreve a constituição da Formação das Pedreiras como um conjunto de finos leitos de metagrauvaques e/ou quartzito alternado com finas intercalações de filádio grafitoso e a da Formação de Desejosa como filádios mais ou menos grafitosos com intercalações de metagrauvaques, quartzitos, podendo ocorrer mármores e mármores dolomíticos.

Em 2000, foi publicada a Carta Geológica Simplificada do Parque Arqueológico do Vale do Côa à escala 1:80 000 e a respetiva notícia explicativa em 2001.

Romão *et al.* (2005) sugerem que a Formação de S. Domingos corresponderá a um depósito contemporâneo da atuação do carreamento da Sr^a. do Viso.

A deformação evidenciada nos metassedimentos do Grupo do Douro caracteriza-se, essencialmente, pela atuação da fase de deformação (D1), situação comum à generalidade do autóctone da ZCI (*e.g.* Ribeiro *et al.*, 1990; Dias *et al.*, 2006, 2010).

No Grupo do Douro, as explorações do “Xisto do Poio” já tinham sido mencionadas por Farinha Ramos (1985) na rubrica de “Ardósias”, na produção de esteios para vinhas. Casal Moura (2001) designou as rochas das pedreiras de Vila Nova de Foz Côa como quartzofilitos cinzento-escuros de grão fino e bastante duros. De salientar que estas rochas já fazem parte do Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas, versão *online* (ORNABASE, 2003). Ferreira Gomes & Gabriel de Almeida (2003) realizaram um estudo sobre as pedreiras do Poio e o turismo com o intuito de sensibilizar para as aplicações destas rochas.

2- Área de estudo

2.1- Localização geográfica

A área estudada abrange zonas dos concelhos de Peso da Régua, Alijó, Torre de Moncorvo, Alfândega da Fé e Vila Nova de Foz Côa e localiza-se na região de Trás-os-Montes e Alto Douro (TOMAD), no NE de Portugal. As amostras estudadas foram recolhidas a norte do Rio Douro, com exceção das amostras recolhidas no concelho de Vila Nova de Foz Côa, que se situa a sul desse rio. De salientar ainda que a zona em estudo está incluída em duas áreas que estão reconhecidas pela UNESCO como Património Mundial: o “Alto Douro Vinhateiro” e a “Arte Rupestre do Vale do Rio Côa” (Figura 2.1). Na tabela 2.1 é apresentada a localização geográfica de cada local de amostragem, identificando o Distrito, Concelho, Carta Militar de Portugal à escala 1:25 000 e as respetivas coordenadas geográficas.

Tabela 2.1- Localização geográfica dos locais em estudo.

	Distrito	Concelho	Carta Militar de Portugal (1:25 000)	Coordenadas geográficas
XOFC	Guarda	Vila Nova de Foz Côa	Vila Nova de Foz Côa – 141	N41°02'53"; W07°07'37"
XNFC	Guarda	Vila Nova de Foz Côa	Vila Nova de Foz Côa – 141	N41°03'14"; W07°07'19"
Euc1	Bragança	Alfândega da Fé	Vila Flor – 105	N41°17'56"; W07°02'11"
Euc2	Bragança	Alfândega da Fé	Vila Flor – 105	N41°17'57"; W07°02'28"
Euc2H	Bragança	Alfândega da Fé	Vila Flor – 105	N41°17'57"; W07°02'28"
Noz	Bragança	Torre de Moncorvo	Vila Flor – 105	N41°18'07"; W07°03'26"
FS1	Bragança	Torre de Moncorvo	Torre de Moncorvo – 130	N41°12'06"; W07°05'08"
FS2	Bragança	Torre de Moncorvo	Torre de Moncorvo – 130	N41°12'06"; W07°05'08"
FC4	Guarda	Vila Nova de Foz Côa	Vila Nova de Foz Côa – 141	N41°04'27"; W07°06'23"
FC11	Guarda	Vila Nova de Foz Côa	Vila Nova de Foz Côa – 141	N41°03'02"; W07°07'19"
FC12	Guarda	Vila Nova de Foz Côa	Vila Nova de Foz Côa – 141	N41°03'04"; W07°06'57"
FC15	Guarda	Vila Nova de Foz Côa	Mêda – 150	N41°59'37"; W07°01'56"
P1	Vila Real	Peso da Régua	Tabuaço – 127	N41°10'35"; W07°42'39"
P2	Vila Real	Peso da Régua	Tabuaço – 127	N41°10'42"; W07°43'50"
P3	Vila Real	Peso da Régua	Tabuaço – 127	N41°11'53"; W07°42'59"
P4	Vila Real	Peso da Régua	Tabuaço – 127	N41°12'37"; W07°41'03"
P5	Vila Real	Peso da Régua	Tabuaço – 127	N41°11'57"; W07°41'41"
P6	Vila Real	Peso da Régua	Tabuaço – 127	N41°11'29"; W07°41'07"
P7	Vila Real	Peso da Régua	Tabuaço – 127	N41°10'31"; W07°42'39"
P8	Vila Real	Peso da Régua	Tabuaço – 127	N41°10'31"; W07°42'39"
P9	Vila Real	Peso da Régua	Tabuaço – 127	N41°11'32"; W07°43'38"
P10	Vila Real	Peso da Régua	Tabuaço – 127	N41°10'15"; W07°43'36"
Pi1	Vila Real	Alijó	São João da Pesqueira –128	N41°12'42"; W07°32'25"
Pi2	Vila Real	Alijó	São João da Pesqueira –128	N41°11'50"; W07°32'34"
Pi3	Vila Real	Alijó	Alijó – 116	N41°12'22"; W07°31'55"
Pi4	Vila Real	Alijó	Alijó – 116	N41°11'58"; W07°31'45"
Tan1	Vila Real	Peso da Régua	Tabuaço – 127	N41°12'08"; W07°44'22"
Tan2	Vila Real	Peso da Régua	Tabuaço – 127	N41°10'25"; W07°44'48"
Tan4	Vila Real	Peso da Régua	Tabuaço – 127	N41°12'20"; W07°44'92"
Tan5	Vila Real	Peso da Régua	Tabuaço – 127	N41°11'14"; W07°44'11"
Tan6	Vila Real	Peso da Régua	Tabuaço – 127	N41°10'41"; W07°44'21"
Tan7	Vila Real	Peso da Régua	Tabuaço – 127	N41°11'18"; W07°44'18"

2.2- Enquadramento geológico

O Maciço Ibérico (MI) inclui o soco metamórfico herdado do orógeno Varisco e apresenta um zonamento definido por características paleogeográficas, sedimentológicas, magmáticas e tectónicas (Pereira *et al.*, 2006). Inicialmente, foram estabelecidas seis zonas tectonoestratigráficas: Zona Cantábrica, Zona Oeste-Astúrica-Leonesa, Zona Galaica-Castelhana, Zona Lusitana Oriente-Alcudiana, Zona de Ossa-Morena e Zona Sul-Portuguesa (Lotze, 1945). Posteriormente, em 1974, Julivert *et al.* consideraram que as zonas Galaico-Castelhana e Lusitana Oriental-Alcudiana deviam ser reunidas numa só, passando a constituir a Zona Centro-Ibérica (ZCI). No mesmo ano foi proposta, por A. Ribeiro, uma Subzona da ZCI, a Subzona Galiza-Trás-os-Montes (SZGTM), passando esta a ser considerada Zona Galiza-Trás-os-Montes por Farias *et al.* em 1987, ficando então definidas as seguintes zonas geotectónicas: Zona Cantábrica (ZC), Zona Astúrica-Occidental-Leonesa (ZAOL), Zona Galiza-Trás-os-Montes (ZGTM), Zona Centro-Ibérica (ZCI), Zona de Ossa-Morena (ZOM) e Zona Sul-Portuguesa (ZSP) (Figura 2.2).

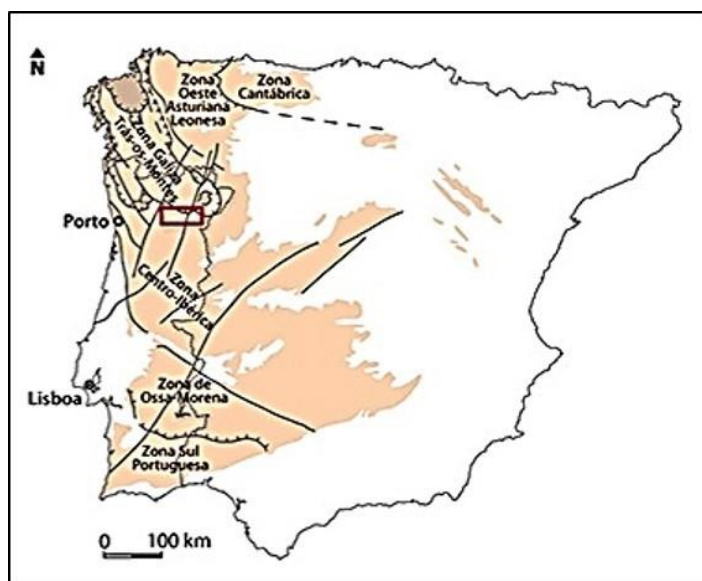


Figura 2.2- Divisão estrutural atual do Maciço Ibérico, com a representação da delimitação da área em estudo (Julivert *et al.*, 1974, modificado).




A área selecionada para estudo inclui afloramentos da Formação de Desejosa (FD) e da Formação de Pinhão (FP), pertencentes ao Grupo do Douro (GD) no Complexo Xisto-Grauváquico (CXG) (Bernardo de Sousa, 1982) e situa-se, por isso, no autóctone, na Zona Centro-Ibérica (ZCI), no setor NW do Maciço Ibérico (MI) (Figura

2.3). Os mapas de localização pormenorizada podem ser consultados no capítulo 5, nas figuras 5.30, 5.31, 5.32 e 5.33. Os locais de estudo estão inseridos nas Folhas 10-D Alijó, 11-C Torre de Moncorvo e 15-A Vila Nova de Foz Côa, escala 1:50 000 e Folha 2, escala 1:200 000, da Carta Geológica de Portugal (Tabela 2.2).

Tabela 2.2- Localização das amostras estudadas na Cartografia Geológica de Portugal.

	Folha	Escala	Formação
XOFC	15-A Vila Nova de Foz Côa	1: 50 000	Desejosa
XNFC	15-A Vila Nova de Foz Côa	1: 50 000	Desejosa
Euc1	2	1: 200 000	Desejosa
Euc2	2	1: 200 000	Desejosa
Euc2H	2	1: 200 000	Desejosa
Noz	2	1: 200 000	Desejosa
FS1	11-C Torre de Moncorvo	1: 50 000	Pinhão
FS2	11-C Torre de Moncorvo	1: 50 000	Pinhão
FC4	15-A Vila Nova de Foz Côa	1: 50 000	Desejosa
FC11	15-A Vila Nova de Foz Côa	1: 50 000	Desejosa
FC12	15-A Vila Nova de Foz Côa	1: 50 000	Desejosa
FC15	15-A Vila Nova de Foz Côa	1: 50 000	Pinhão
P1	10-D Alijó	1: 50 000	Pinhão
P2	10-D Alijó	1: 50 000	Desejosa
P3	10-D Alijó	1: 50 000	Pinhão
P4	10-D Alijó	1: 50 000	Desejosa
P5	10-D Alijó	1: 50 000	Pinhão
P6	10-D Alijó	1: 50 000	Pinhão
P7	10-D Alijó	1: 50 000	Pinhão
P8	10-D Alijó	1: 50 000	Pinhão
P9	10-D Alijó	1: 50 000	Pinhão
P10	10-D Alijó	1: 50 000	Desejosa
Pi1	10-D Alijó	1: 50 000	Pinhão
Pi2	10-D Alijó	1: 50 000	Pinhão
Pi3	10-D Alijó	1: 50 000	Pinhão
Pi4	10-D Alijó	1: 50 000	Pinhão
Tan1	10-D Alijó	1: 50 000	Pinhão
Tan2	10-D Alijó	1: 50 000	Desejosa
Tan4	10-D Alijó	1: 50 000	Pinhão
Tan5	10-D Alijó	1: 50 000	Pinhão
Tan6	10-D Alijó	1: 50 000	Desejosa
Tan7	10-D Alijó	1: 50 000	Desejosa

Legenda

-  Grupo do Douro
-  Formação de Desejosa
-  Formação de Pinhão

0 5 km

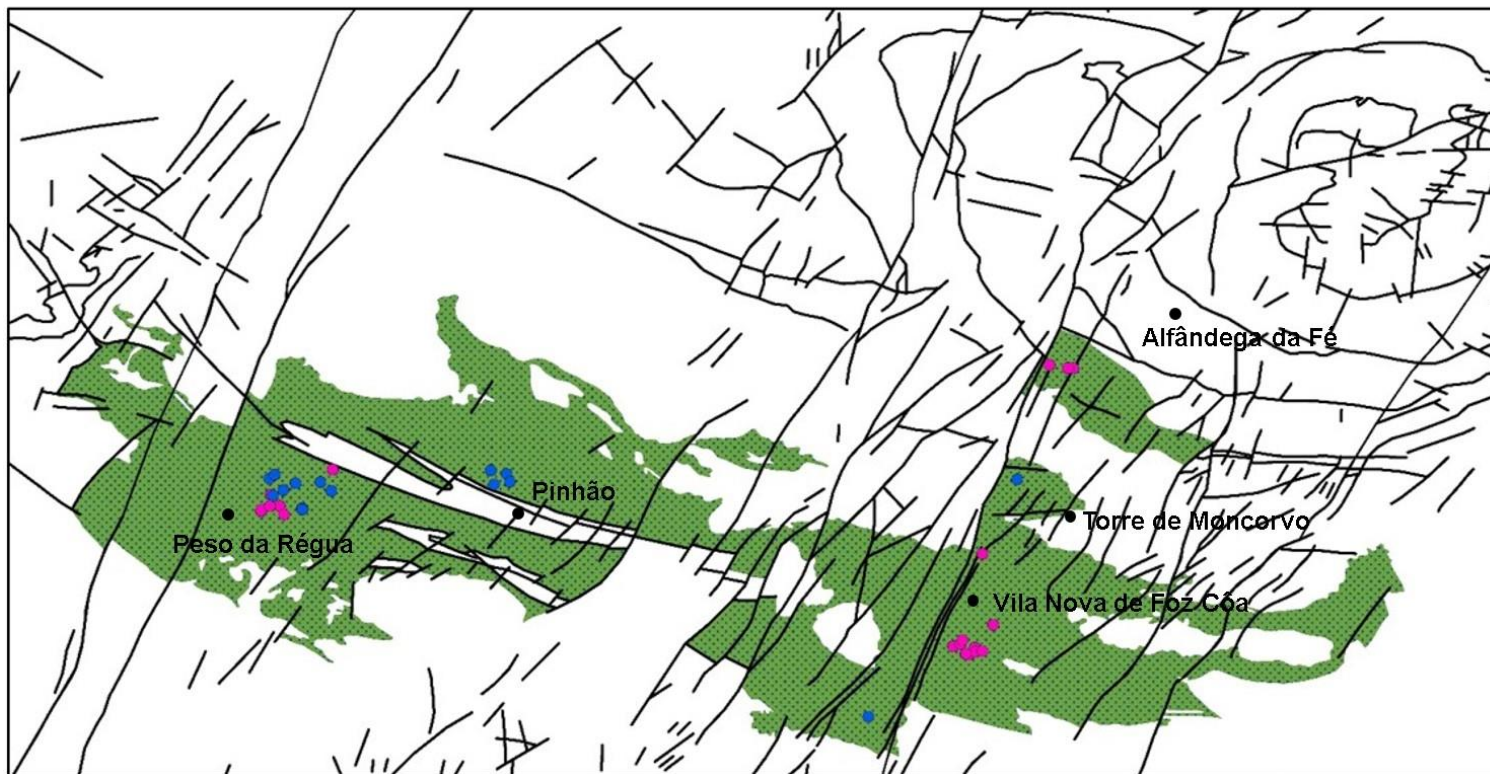



Figura 2.3- Mapa geológico com a localização das amostras em estudo no Grupo do Douro, adaptado da Folha Norte da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:500 000, no ArcGis, versão 10.1.

2.2.1- Tectónica e Metamorfismo

A Orogenia Varisca desempenhou um papel fundamental na geologia do NW Peninsular. Em TOMAD, os metassedimentos foram estruturados por uma sucessão de três fases de deformação Varisca: D1, D2 e D3 (Ribeiro, 1974; Noronha *et al.*, 1979, Dias & Ribeiro, 1994). A fase D1 é considerada como contemporânea do *flysch* do Devónico superior, a fase D2 apresenta uma idade compreendida entre o Devónico superior e o Namuriano (Serpukhoviano) e a fase D3 é intra-Vestefaliana (Pennsylvânico inferior a superior) (Ribeiro, 1974).

A primeira fase de deformação deu origem a dobramentos com orientações e vergências diferentes, conforme se trate de terrenos alóctones, parautóctones ou autóctones, embora apresente uma orientação predominante NW-SE, com plano axial vertical no autóctone e vergente no parautóctone (Pereira, *coord.*, 2006).

A área em estudo exclusivamente constituída por CXG, foi, no essencial, estruturada durante a fase D1, podendo localmente estar expressa a fase D3. D1 expressa-se por dobras isoclinais. Nesta fase houve a formação de uma xistosidade, S1.

D3 implicou dobramentos largos e de pequena amplitude, de plano axial vertical e eixo sub-horizontal. A fase D3 adveio de uma tensão máxima com orientação NE-SW e implicou dobras e também cisalhamentos, que retomaram estruturas anteriores principalmente no autóctone.

No período tardi e pós-D3 ocorreu deformação dúctil-frágil e frágil e na sua dependência desenvolveram-se sistemas conjugados de fraturas: o principal com direcção NNE-SSW e o conjugado com direcção NNW-SSE.

A evolução tectonometamórfica do NW do Maciço Ibérico caracteriza-se, geralmente, por um percurso PT prógrado, no sentido dos ponteiros do relógio, com o pico barométrico pós-D1, caracterizado por um metamorfismo do tipo Barroviano, que evolui para condições de baixa pressão e alta temperatura entre as fases de deformação D2 e D3 (Dallmeyer *et al.*, 1997; Ábalos *et al.*, 2002; Arenas & Catalán, 2003). Nos locais onde o pico térmico foi mais intenso, o reajustamento mineralógico associado eliminou as paragénese anteriores associadas ao pico barométrico.

Durante as fases D1 e D2 ocorreu um desenvolvimento do espessamento crustal, acentuado pela instalação dos mantos, permitindo condições de génese de granitos de anatexia crustal (Ortega & Ibarra, 1990; Dias & Ribeiro 1994).

Os locais em estudo correspondem a um exemplo onde o metamorfismo é de baixo grau, na fácies dos xistos verdes.

2.3- Complexo Xisto-Grauváquico

A espessa sucessão metassedimentar do Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico (CXG) (Carrington da Costa, 1950), atualmente denominado como Super-Grupo Dúrico-Beirão (Silva *et al.*, 1989), distribui-se por Portugal e Espanha.

A sucessão do CXG depositou-se em diversas condições ambientais, possibilitando a formação de turbiditos clássicos e turbiditos de ondas modificadas, além de depósitos de natureza continental, fluvial e/ou flúvio-marinha em locais restritos, durante um amplo intervalo de tempo, isto é, no final do Neoproterozóico e início do Paleozóico, estimando-se entre cerca de 565 e 550 Ma (Silva, 2005).

Em Portugal, a bacia metassedimentar do CXG distribui-se em três sub-bacias que correspondem às sequências do Grupo do Douro, com expressão cartográfica a Norte, particularmente nos terrenos que afloram ao longo do rio Douro (Bernardo de Sousa, 1982), Grupo das Beiras, a Sul de uma linha limítrofe que passa por S. João da Madeira, Viseu e Serra da Malcata, materializando o desaparecimento dos calciturbiditos do Grupo do Douro (Silva *et al.*, 1988; Oliveira *et al.*, 1992) (Figura 2.4) e Grupo de Arda-Marofa (Silva *et al.*, 1995).

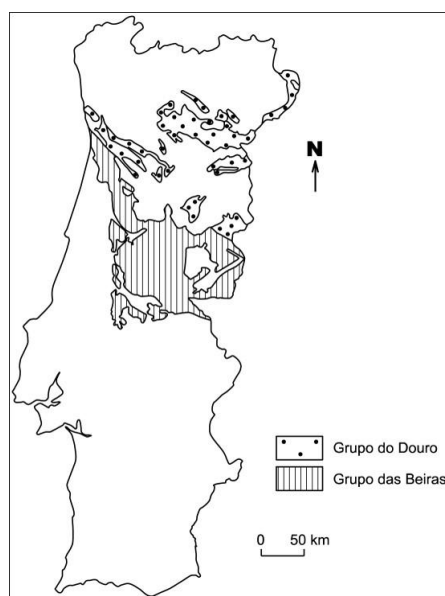


Figura 2.4- Localização do Grupo do Douro e do Grupo das Beiras em Portugal (Dias *et al.*, 2006).

Nas duas primeiras sub-bacias (Grupo do Douro e Grupo das Beiras) afloram, quase exclusivamente, turbiditos clássicos, tanto distais como proximais. Na sub-bacia do Grupo de Arda-Marofa afloram, essencialmente, turbiditos de ondas modificadas e menos frequentemente turbiditos distais e turbiditos vulcanoclásticos distais (Silva, 2005).

Segundo Silva (2013), a deposição, muitas vezes por progradação, das sequências do Grupo de Arda-Marofa que culminaram a deposição xisto-grauváquica, teria tido início durante os períodos intermédios da deposição das sucessões dos Grupos do Douro e das Beiras.

2.3.1- Grupo do Douro

A deformação evidenciada nos metassedimentos do Complexo Xisto-Grauváquico – Grupo do Douro, mais concretamente na região do Alto Douro, caracteriza-se pela atuação de uma única fase de deformação, situação comum à generalidade do autóctone da ZCI (e.g. Ribeiro *et al.*, 1990 e Dias *et al.*, 2006).

A deformação está associada à fase de deformação Varisca D1 e apresenta um comportamento bastante homogéneo na generalidade do setor norte do autóctone da ZCI.

A deformação levou à formação de uma série de dobramentos subverticais a ligeiramente vergentes para norte e nordeste com orientações E-W a ESE-WNW. A clivagem S1 é de plano axial e o estiramento é sub-horizontal a pouco inclinado ($<10^\circ$), fazendo-se segundo o eixo cinemático *b* (Ribeiro, *et al.*, 1990). No que diz respeito à intensidade da deformação, verifica-se que a fase D1 apresenta uma distribuição bastante heterogénea. Esta heterogeneidade traduz-se pela existência de setores onde os dobramentos são apertados e por outros que se caracterizam por dobramentos amplos.

No setor de Peso da Régua, são observáveis duas regiões com diferentes estilos de deformação. A zona mais setentrional apresenta-se com dobras apertadas WNW-ESE, com uma ténue vergência para NNE. A zona mais a sul exibe dobras amplas com direção semelhante à zona setentrional e planos axiais subverticais. A passagem, contínua mas rápida, entre estas duas zonas denomina-se por Faixa de Transição Santa Marta de Penaguião – Ermida (FTPE) (Dias *et al.*, 2006). Nas áreas com dobramento amplo, junto à FTPE, surgem faixas estreitas com dobras apertadas,

característica que vai diminuindo consoante o afastamento à mesma. Essas faixas possuem dimensões métricas a decamétricas, que por vezes podem ser quilométricas. Nas áreas mais deformadas é observável uma clivagem bastante penetrativa, característica que não acontece nas áreas de dobramento mais amplo (Dias *et al.*, 2010 e Moreira *et al.*, 2010a, b) (Figura 2.5).

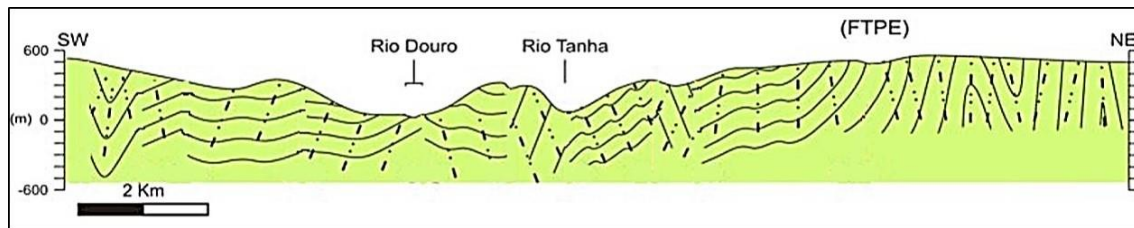


Figura 2.5- Estrutura do Grupo do Douro na região de Peso da Régua (in Dias *et al.*, 2010).

No setor de Alijó, o modelo tectónico e estrutural é semelhante ao de Peso da Régua. Nas zonas mais setentrionais observam-se áreas extensas com deformação muito incipiente, representada por dobras muito amplas. Lateralmente, passa-se muito rapidamente a áreas com dobras mais apertadas, com vergência para SSW nas zonas mais meridionais e para NNE nas zonas mais setentrionais. De acordo com o modelo descrito a nível regional, grande parte dos acidentes assinalados como cavalgamentos com direção WNW-ESSE apresentarão uma componente de desligamento esquerda associada (Dias & Ribeiro, 1994). Estes desligamentos apresentam uma expressividade mais acentuada em determinados locais, definindo assim corredores de cisalhamento com deformação mais acentuada, que alternam com outras zonas menos deformadas (Dias *et al.*, 2010 e Moreira *et al.*, 2010a, b) (Figura 2.6).

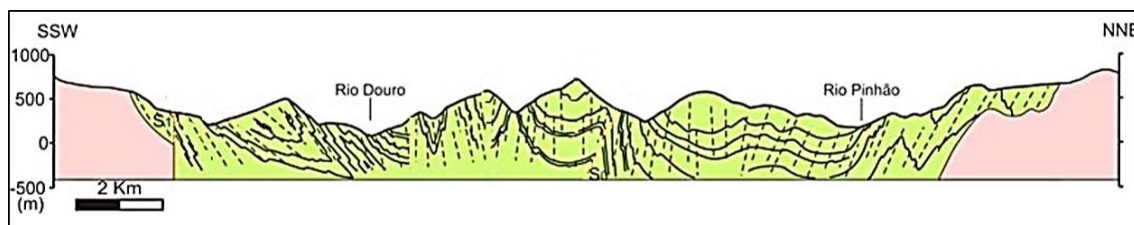


Figura 2.6- Estrutura do Grupo do Douro na região de Alijó (in Dias *et al.*, 2010).

No setor de Vila Nova de Foz Côa, observa-se que a deformação atribuível a D1 (a única que é penetrativa na região) originou uma sucessão de dobramentos de 1ª ordem, que se caracterizam por sinclinais muito amplos, separados por anticlinais muito apertados, onde as dobras secundárias de 2ª e 3ª ordem são frequentes. Assim, a região é caracterizada por uma forte partição da deformação, em que estreitas faixas profundamente deformadas (antiformas de Chão do Couce e de Vale de Moinhos) alternam com extensas regiões nas quais a deformação se traduz por ondulações fracas com comprimentos de onda quilométricos - sinclinório do Poio e sinforma de Vila Nova de Foz Côa (Búrcio, 2004; Búrcio *et al.*, 2006, Dias *et al.*, 2010 e Moreira *et al.*, 2010a, b) (Figura 2.7). É no sinclinório do Poio que estão localizadas as importantes explorações do “Xisto do Poio” onde a relação estrutural entre a estratificação (S0) e a clivagem é de perpendicularidade (Moreira *et al.*, 2010a), favorecendo a produção de esteios.

Nas faixas mais intensamente deformadas é possível também evidenciar a existência de uma componente de cisalhamento esquerda importante. O aumento da intensidade da clivagem S1 ao longo dos cisalhamentos esquerdos mostra que estes são contemporâneos do dobramento.



Figura 2.7- Estrutura do Grupo do Douro na região de Vila Nova de Foz Côa (*in* Dias *et al.*, 2010).

Verifica-se que há uma continuidade nas estruturas observáveis nas áreas em estudo, estruturas estas, que neste eixo afetam só formações do Complexo Xisto-Grauváquico. Esta continuidade lateral só é afetada pelos rejeitos esquerdos associados às falhas tardi-variscas NNE-SSW, (por exemplo Falha da Vilariça e Penacova-Régua-Verin. Este padrão de deformação D1 permite caracterizar a deformação associada à Estrutura em Flor do Douro, que neste eixo apresenta deformação menos intensa na região de Vila Nova de Foz Côa (Dias *et al.*, 2010; Moreira *et al.*, 2010a, b). A zona central da Estrutura em Flor do Douro na região a sul de Peso da Régua mostra uma estrutura complexa com uma partição de deformação acentuada (Figura 2.8).

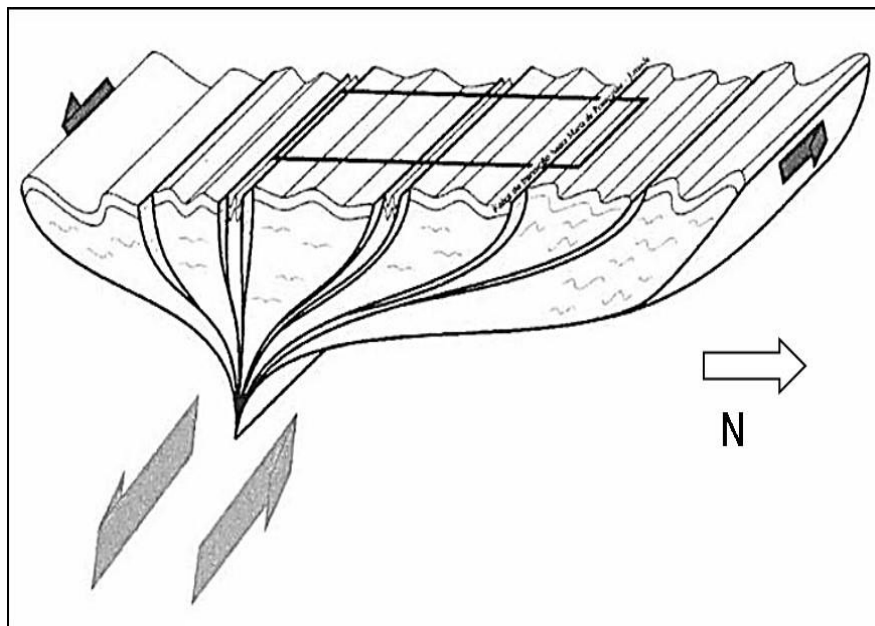


Figura 2.8- Modelo esquemático para a Estrutura em Flor do Douro na região de Peso da Régua. Na zona axial indica-se a presença de corredores de cisalhamento esquerdo e a transição através da Faixa de Transição Santa Marta de Penaguião – Ermida (FTPE) de um setor onde a deformação é mais incipiente, para outro onde a deformação se caracteriza pela vergência para NNE (o retângulo assinalado indica a localização do setor de Peso da Régua) (Moreira *et al.*, 2010a).

A coexistência lateral de faixas pouco deformadas, alternando com faixas onde a deformação é mais intensa, é de extrema importância a nível regional, uma vez que as faixas mais deformadas limitam blocos onde a fraca deformação os torna propícios para a exploração como rocha industrial e/ou ornamental. As explorações de “xistos” do Grupo do Douro estão, essencialmente, localizadas nas faixas pouco deformadas, como é o caso de Tanha e do Poio. Estas explorações são as de maior dimensão para produção de “xisto”.

O Grupo do Douro foi estruturado em seis formações, do topo para a base são: Formação de S. Domingos, Formação de Desejosa, Formação de Pinhão, Formação de Rio Pinhão, Formação de Ervedosa do Douro e Formação de Bateiras (Bernardo de Sousa, 1982) (Figura 2.9). As áreas em estudo abrangem a Formação de Desejosa e a Formação de Pinhão.

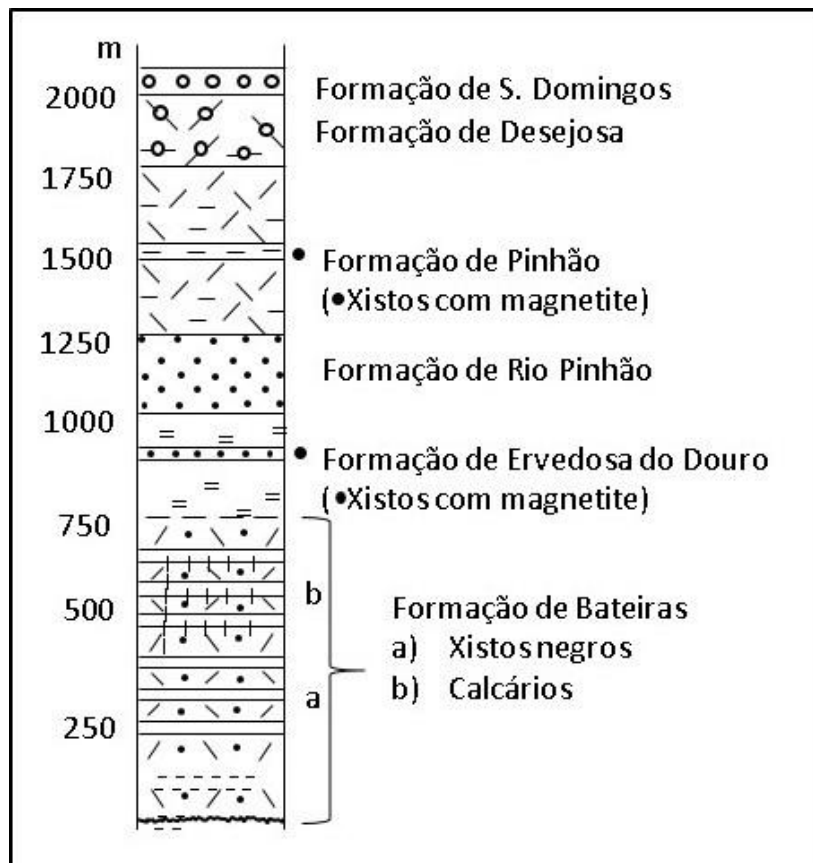


Figura 2.9- Sucessão litostratigráfica do Grupo do Douro (Bernardo de Sousa, 1982).

2.3.1.1- Formação de Desejosa

A Formação de Desejosa ocorre desde a fronteira com Espanha até às regiões de Vila Real e Peso da Régua, em abundantes manchas, sobretudo nas zonas centrais de sinclínorios ou sinclinais (Silva, 2013).

Esta formação foi definida por Bernardo de Sousa em 1982, descrevendo o perfil tipo junto à localidade com o mesmo nome e é constituída por duas litologias predominantes: metagrauvaques que apresentam cor clara e granulometria grosseira e por filitos de cor escura e granulometria muito fina (siltítica). A alternância destas litologias em finos leitos confere à formação o aspeto listrado.

A Formação de Desejosa é definida da base para o topo do seguinte modo (Bernardo de Sousa, 1982) (Figura 2.10):

- A base da formação principia-se por finas alternâncias de filitos de coloração escura (ardosíferos) com finos leitos milimétricos a centimétricos esbranquiçados (quartzosos). A granulometria é muito fina (siltítica),

encontrando-se estratificação gradada nos níveis quartzosos com passagem progressiva aos filitos escuros, definindo assim ritmos com espessuras de 0,5 a 5 cm.

- Posteriormente, cerca de 60 m acima da base, surgem intercalações de cerca de 30 a 40 m de metagrauvaques, bastante grosseiros, em bancadas que atingem os 70 cm, contendo algumas alternâncias pelíticas. Não se observam macroscopicamente estruturas internas nestas bancadas.
- A sequência continua com as mesmas características anteriores e aspeto listrado bem marcado. Raramente surgem bancadas de metagrauvaques com 30 a 40 cm de espessura exibindo, geralmente, laminação paralela. Contudo, o aspeto pelítico acentua-se e esta revela-se, talvez, a sequência mais monótona das unidades consideradas.
- Para o topo da formação observam-se também algumas bancadas metagrauváquicas com espessuras até 50 a 60 cm, por vezes carbonatadas, que se intercalam na sequência de filitos listrados.
- As estruturas sedimentares mais frequentes são figuras de carga, estratificação gradada e mais raramente, laminação oblíqua do tipo *ripple drift* (Bernardo de Sousa, 1982).

A estimativa da espessura da formação tem variado ao longo do tempo, de região para região consoante diferentes autores o que sem dúvida se deve, não só a possíveis variações laterais de fácies, mas também a um controlo estrutural deficiente da região onde foram realizadas as medições. Assim, na região de Vila Nova de Foz Côa a espessura é de 800 +/-100 m (Silva & Ribeiro, 1991), valor bastante superior aos sugeridos 250 +/- 50 m para as regiões de Alijó (Bernardo de Sousa, 1982 e Bernardo de Sousa *et al.*, 1989) e Torre de Moncorvo (Silva *et al.*, 1991).

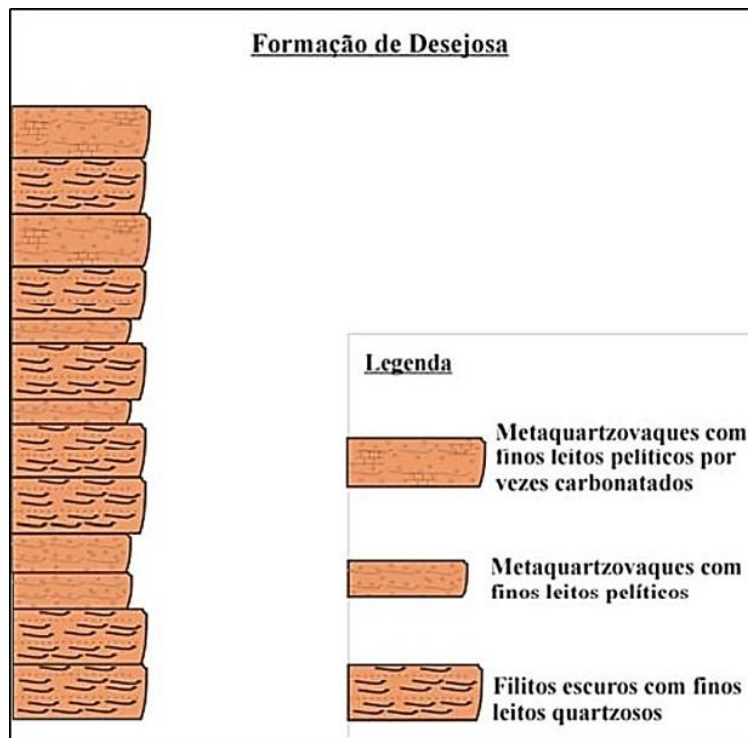


Figura 2.10- Coluna simplificada da Formação de Desejosa (Búrcio, 2004).

2.3.1.2- Formação de Pinhão

A Formação de Pinhão foi caracterizada e assim denominada por Bernardo de Sousa em 1982, após o estudo do seu perfil tipo próximo da localidade de Pinhão.

Inicia-se quando as bancadas de metagrauvaques da Formação de Rio Pinhão, geralmente com tonalidade escura, desaparecem dando lugar a uma alternância, finamente estratificada, de filitos cloríticos verdes e metaquartzovaques (Bernardo de Sousa, 1982 e Silva & Ribeiro, 1991).

A Formação de Pinhão é definida do seguinte modo (Bernardo de Sousa, 1982) (Figura 2.11):

- É uma sequência finamente estratificada de cor verde, caracterizada por uma ritmicidade constituída pela alternância de leitos psamíticos (quartzosos) e pelíticos (filitos), que correspondem ao par metaquartzovaque-filito clorítico. Essa ritmicidade é acompanhada de estruturas de laminação oblíqua e/ou convoluta.
- Estes ritmos apresentam espessura média de 10 a 20 cm e integram um conjunto homogéneo com ocorrência de magnetite nos níveis medianos da

formação. A magnetite vai acabar por conferir um aspeto levemente mosqueados aos filitos.

- São assinaladas duas intercalações destes filitos com magnetite com espessura de 20 a 40 m, com uma separação de cerca de 70 m entre elas.
- Nestes horizontes também há a ocorrência frequente de cristais de pirite, com cerca de 1,5 cm na aresta maior. Estes cristais, apresentado-se estirados e exibindo figuras de pressão, revelaram-se caraterísticos destes horizontes.
- A passagem para a formação suprajacente (Formação de Desejosa) faz-se de um modo gradual mas rápido, ocorrendo em algumas dezenas de metros (20 m). É definida quando a sucessão do Pinhão, com as caraterísticas definidas acima, dá lugar a uma sequência predominantemente pelítica de cor escura, onde se intercalam leitos psamíticos milimétricos e centimétricos esbranquiçados, que lhes conferem um aspecto listrado e marcada monotonia.

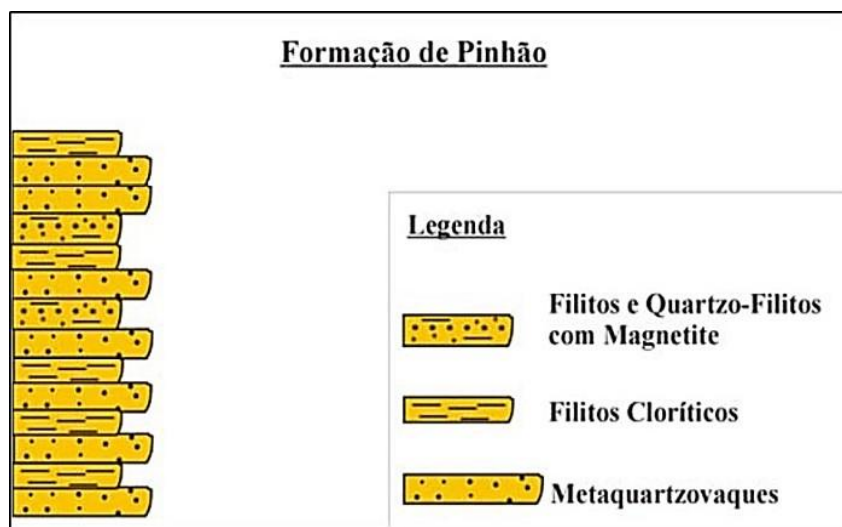


Figura 2.11- Coluna simplificada da Formação de Pinhão (Búrcio, 2004).

À semelhança do que acontece na Formação de Desejosa, também na Formação de Pinhão a estimativa da espessura tem variado ao longo do tempo. Na região de Vila Nova de Foz Côa a espessura é de 700 +/-100 m (Silva & Ribeiro, 1991), valor também bastante superior aos sugeridos 350 +/- 50 m para as regiões de Alijó (Bernardo de Sousa, 1982 e Bernardo de Sousa *et al.*, 1989) e Torre de Moncorvo (Silva & Ribeiro, 1991).

3- Explorações estudadas

Como já referimos, mereceram atenção particular as rochas xistentas de Eucísia, Nozelos, Tanha e Vila Nova de Foz Côa pois nesses locais existiam já explorações atualmente ativas, as duas últimas ou não ativas as restantes (Aires *et al.*, 2011; Aires *et al.*, 2012a; Aires *et al.*, 2013a, b, c).

Na figura 3.1, estão localizadas as explorações dos “xistos” de Eucísia (Euc1 e Euc2), Nozelos (Noz), “Xisto Negro de Foz Côa” (XNFC) e de “Xisto Oxidado de Foz Côa” (XOFC) de Vila Nova de Foz Côa (conhecidas como Pedreiras do Poio), pertencentes à Formação de Desejosa (FD), e a exploração de Tanha (Tan1), que pertence à Formação de Pinhão (FP). A área estudada foi alargada, abrangendo zonas dos concelhos de Peso da Régua, Alijó, Torre de Moncorvo, Alfândega da Fé e Vila Nova de Foz Côa, no sentido de melhor conhecer as características dos “xistos” das Formações de Desejosa e de Pinhão.

Amostras para estudo geoquímico, petrográfico e para estudo das características tecnológicas foram preferencialmente colhidas nas explorações acima referidas tendo também procedido à medição de atitudes de foliações, principais sistemas de diaclases e falhas. Os dados estruturais recolhidos foram projetados recorrendo a projeção polar e o tratamento de dados foi realizado com o *software* “Dips”, versão 6.0, da Rocscience Inc..

3.1- Explorações de Xisto Negro de Foz Côa e Xisto Oxidado ou Amarelo de Foz Côa

A rocha destas explorações caracteriza-se por ser dura e compacta, de cor cinzenta escura (XNFC), por vezes amarelada (XOFC), e apresentar clivagem fácil (Figura 3.2). Exibe aspeto listrado caracterizado pela ocorrência de leitos milimétricos gresosos finos de cor mais clara que alternam com outros argilosos mais escuros. Na base dos leitos gresosos finos são frequentemente observáveis figuras de *load cast* (Figura 3.3).

As explorações são realizadas em pedreiras com bancadas, que na maioria dos exemplos são praticamente horizontais (inclinam em geral cerca de 10° para o quadrante sul) pois a foliação é sub-horizontal. Nas frentes são facilmente observáveis litologias com figuras de carga, estratificação cruzada e laminação oblíqua.

Legenda

 Grupo do Douro

Formação de Desejosa

Formação de Pinhão

0 5 km

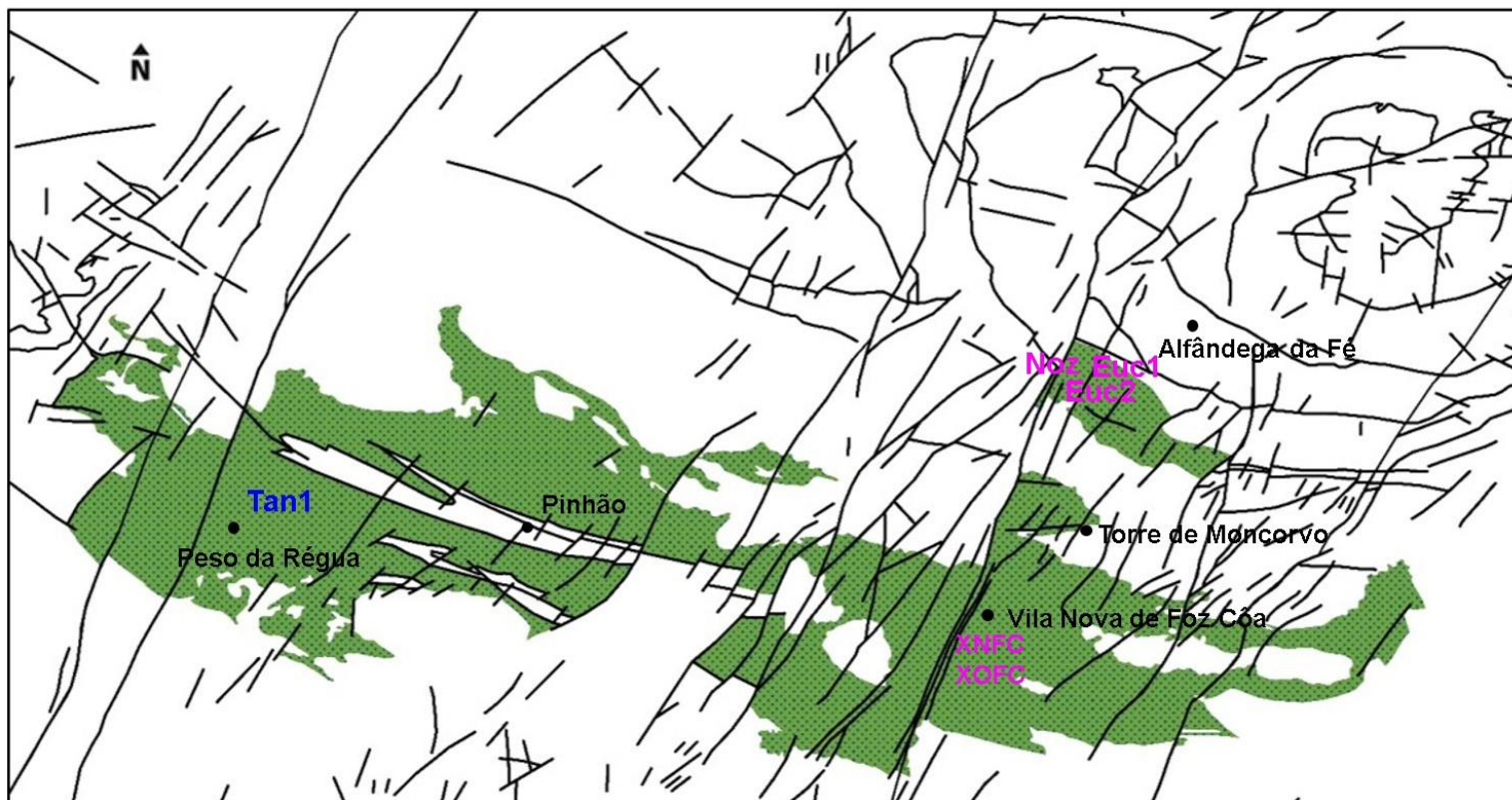
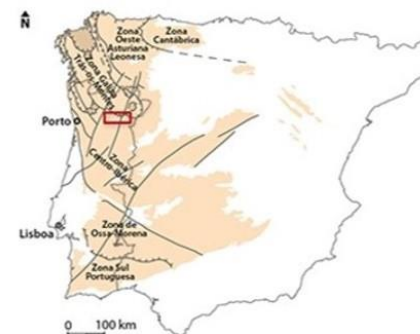


Figura 3.1- Mapa geológico com a localização das explorações no Grupo do Douro, adaptado da Folha Norte da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:500 000, no ArcGis, versão 10.1.

As superfícies de clivagem são, por vezes, mais grosseiras por se apresentarem microdobradas e ser bem nítida uma lineação de interseção S0/S1.

A fraturação é por vezes intensa, sendo de referir em particular os sistemas de fraturas e/ou falhas N30° a N60°E e N10° a N30°E com inclinação de 70°, o que pode limitar, em alguns casos, a dimensão dos blocos. Na figura 3.4 está representada a projeção estereográfica das diaclases e respetivo diagrama de roseta das explorações.

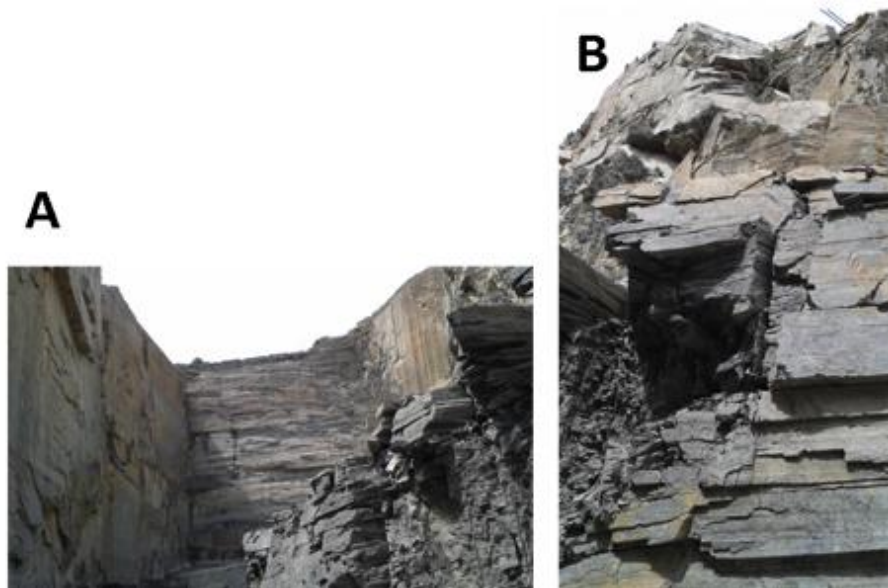


Figura 3.2- Vista geral (A) e de pormenor (B) de uma das explorações de Vila Nova de Foz Côa.

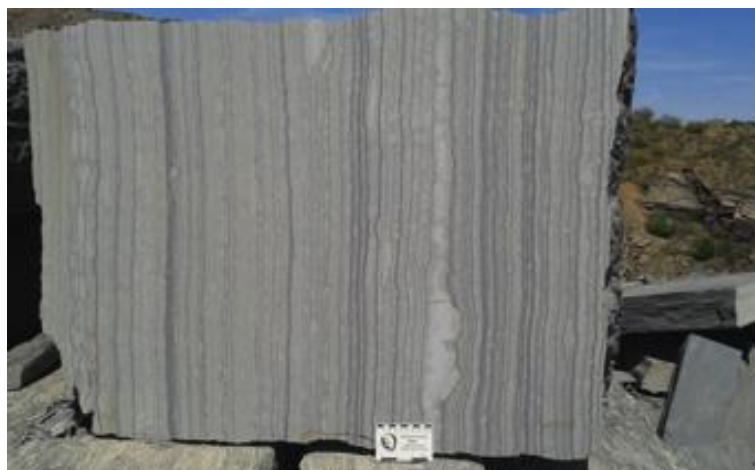


Figura 3.3- Aspeto listrado e com *load casts* do Xisto Negro de Foz Côa.

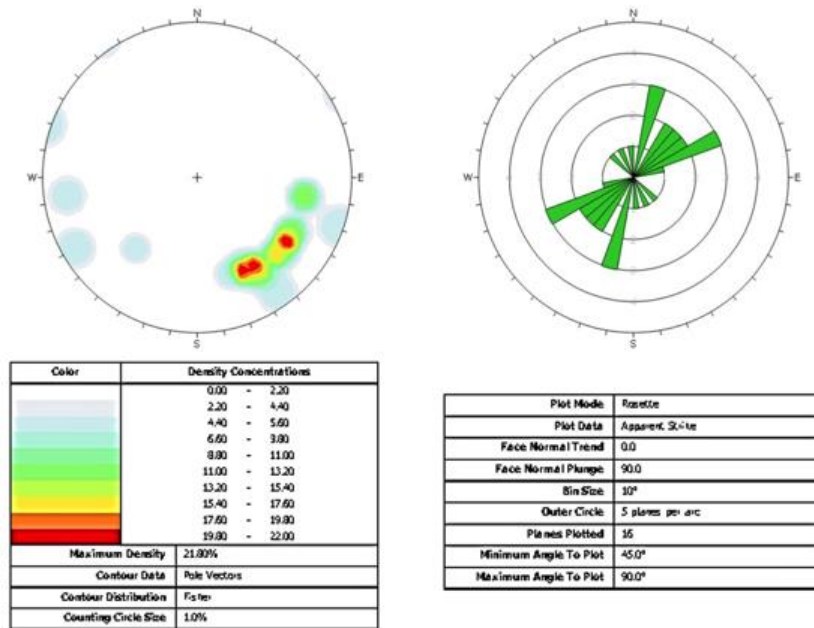


Figura 3.4- Projecção estereográfica dos polos das diaclases e respetivo diagrama de roseta das explorações de Vila Nova de Foz Côa.

3.2- Eucísia 1

Exploração situada junto da estrada nacional (N215) realizada a meia encosta com cerca de 8 metros de altura e 50 metros de comprimento (Figura 3.5). Apresenta um “xisto” de cor cinzenta com patine acastanhada, granularidade fina e foliação paralela à estratificação (N130°E; 75°NE) com bandas milimétricas, mais ou menos esverdeadas com visível alteração hidrotermal. (Figura 3.6).

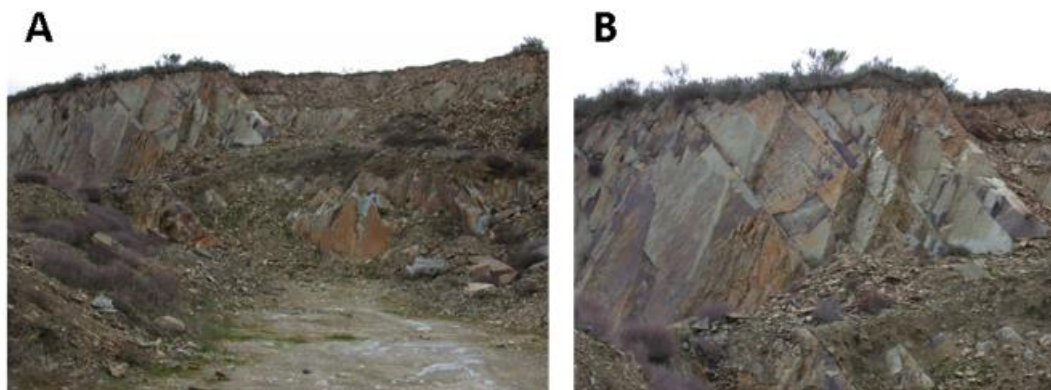


Figura 3.5- Vista geral (A) e de pormenor (B) da exploração Eucísia 1.

A foliação principal varia entre as seguintes atitudes: N130°E, 70°N; N120°E, 75°W; N150°E, 65°E e N145°E, 70°E.

Os sistemas de diaclases dominantes apresentam atitudes de N90°E a N110°E, subvertical; N20°E, subvertical, N40°E, 50°S e N35°E, 55°N. Algumas diaclases apresentam-se preenchidas por filonetes de quartzo de 3 a 4 centímetros (N110°E, subvertical; N90°E, 85°S), tal como algumas fissuras (N85°W, subvertical). O espaçamento das diaclases, em geral, é superior a 1 m. São observáveis níveis centimétricos de preenchimento caulinizado seguindo a estratificação e filonetes de quartzo, com atitude N70°W, subvertical. Na figura 3.7 está representada a projeção estereográfica das diaclases e respetivo diagrama de roseta da exploração.



Figura 3.6- “Xisto” cinzento em Eucísia 1.

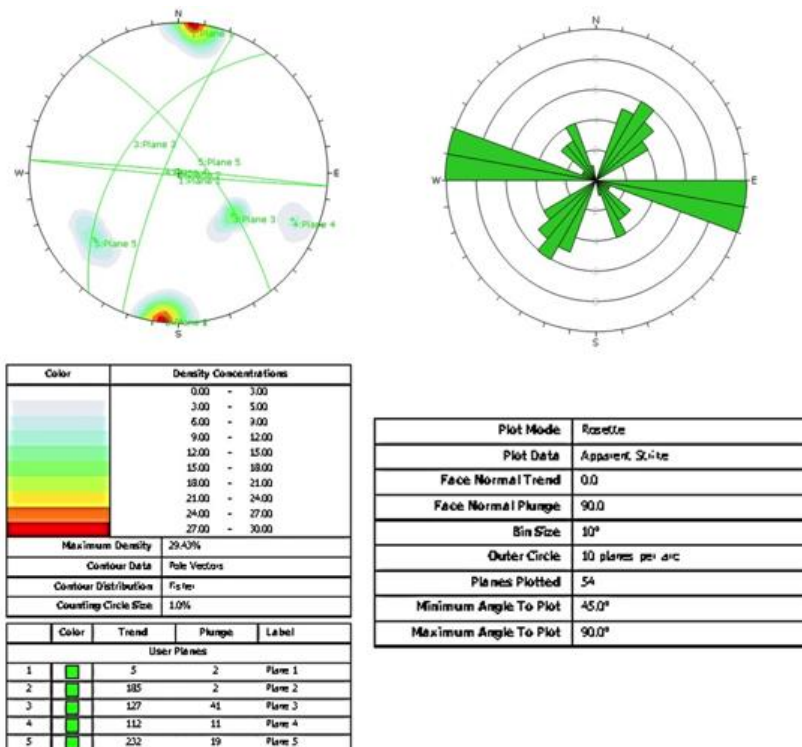


Figura 3.7- Projeção estereográfica dos polos das diaclases e respetivo diagrama de roseta da exploração Eucísia 1.

3.3- Eucísia 2

Esta exploração também se encontra à margem da estrada nacional 215, feita a meia encosta com cerca de 15 metros de altura e 20 metros de comprimento (Figura 3.8). É constituída por “xisto” cinzento com patine acastanhada, com foliação bem marcada e granularidade fina (Figura 3.9).

A foliação N135°E, 60°NE é mais ou menos paralela à estratificação.

Os sistemas mais importantes de diaclases têm atitude N40°E, 50°W e N140°E, 70°S (Figura 3.10).

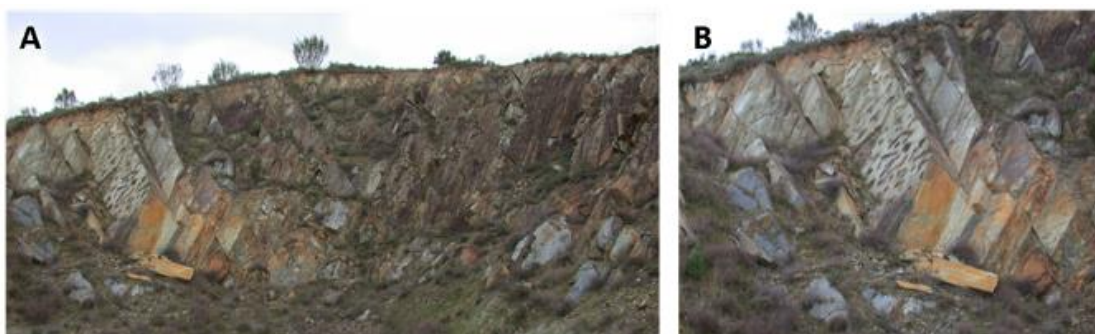


Figura 3.8- Vista geral (A) e de pormenor (B) da exploração Eucísia 2.



Figura 3.9- “Xisto” cinzento com patine acastanhada em Eucísia 2.

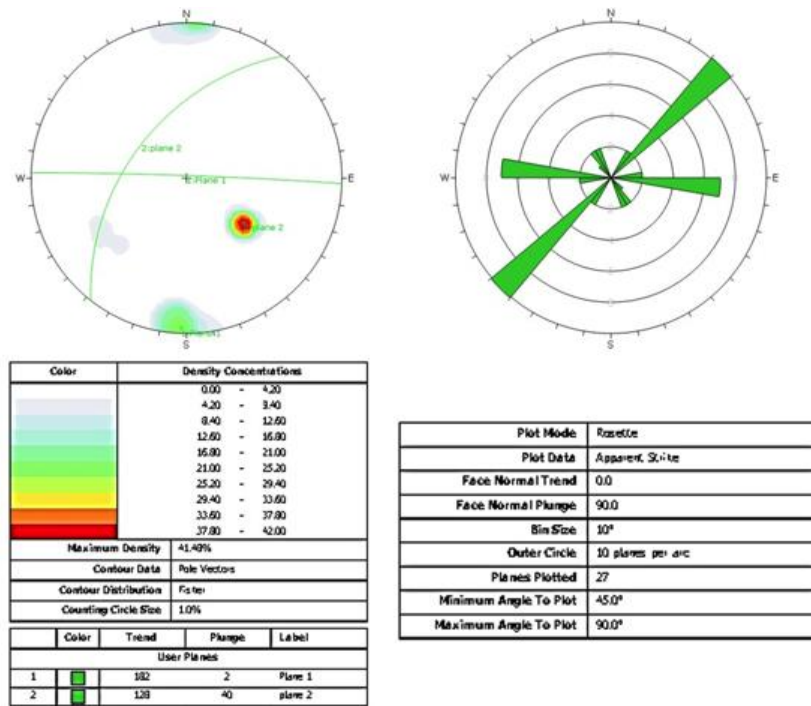


Figura 3.10- Projeção estereográfica dos polos das diaclases e respetivo diagrama de roseta da exploração Eucisia 2.

3.4- Nozelos

Pequena exploração, à margem da EN 215, realizada a meia encosta que possui uma altura de 10 metros e um comprimento de 25 metros (provável mancha de empréstimo para a construção da estrada) (Figura 3.11).

Apresenta um “xisto” clorítico esverdeado e patine acastanhada, com foliação pouco nítida e granularidade fina (Figura 3.12). Apresenta fissuras centimétricas preenchidas por calcite de atitude N135°E, 85°S e fissuras sub-horizontais preenchidas por quartzo com a atitude NS, 20°W.

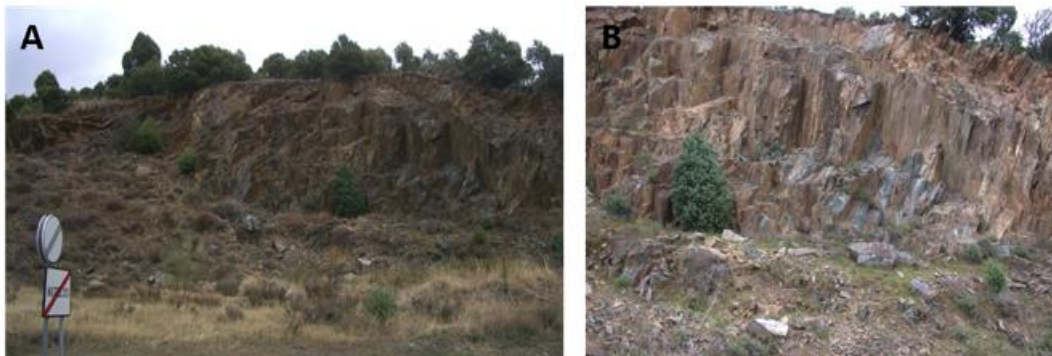


Figura 3.11- Vista geral (A) e de pormenor (B) da exploração de Nozelos.



Figura 3.12- "Xisto" com patine acastanhada na exploração de Nozelos.

É observável uma falha N70°E, vertical, preenchida por filão de quartzo com 20 centímetros de espessura e com uma caixa de 1 metro na parte superior. Na zona este, a estratificação tem a orientação N125°E, 70°N e a xistosidade N120°E, 65°W a 80°E. A parte central da exploração tem estratificação com atitude N140°E, 70°N e xistosidade de N20°E, 40°S.

São várias as diaclases, nomeadamente as que têm as seguintes atitudes: N155°E, 55°E; N20°E, 85°NW; N50°E, 30°N; N90E, 80°S; N20°E, 70°S e NS, 20°W (preenchida por quartzo) (Figura 3.13).

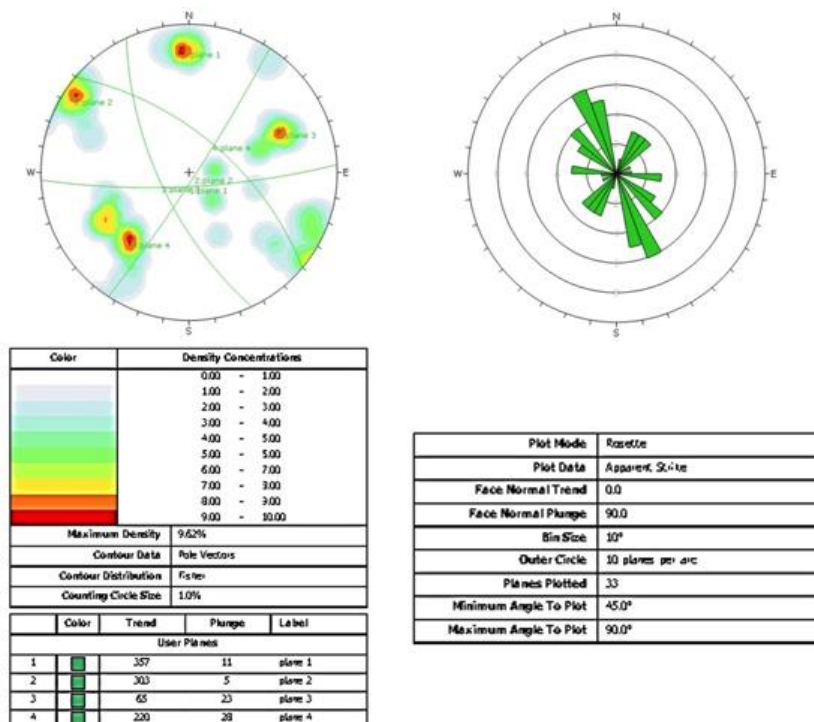


Figura 3.13- Projeção estereográfica dos polos das diaclases e respetivo diagrama de roseta da exploração de Nozelos.

3.5- Tanha

A exploração de Tanha está dividida em três patamares (Figura 3.14). A rocha xistenta possui cor cinzenta escura, sem brilho, granularidade fina, com leitos gresosos e foliação pouco evidente. A biotite, o único mineral identificável mesoscopicamente, constitui finos níveis cuja orientação determina a foliação (Figura 3.15).



Figura 3.14- Vista geral da exploração de Tanha.

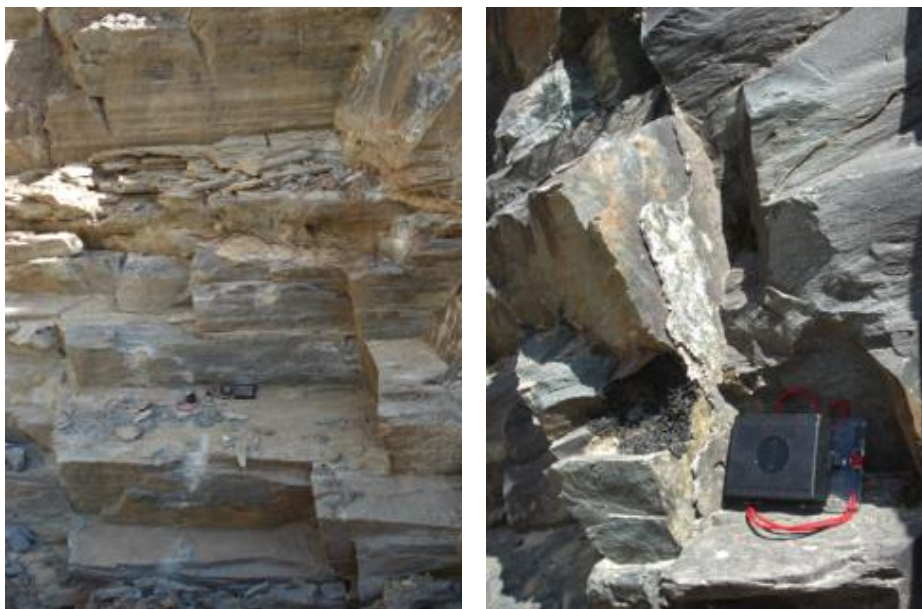


Figura 3.15- Rocha xistenta de cor cinzenta escura e foliação pouco evidente da exploração de Tanha.

Os filonetes de quartzo medidos no segundo patamar, apresentam uma orientação de N40°E, 70°NW. Também foi medida uma falha com esmagamento de atitude N70°E,

40°W, uma fratura preenchida por quartzo de N50°E, 60°W e estratificação com orientação N65°E, 20°S; N140°E, 15°E e N110°E, 10°SW. No terceiro patamar a estratificação tem atitude N130°E, 15°E.

Há abundantes filonetes de quartzo com atitude N40°E, 70°N; N148°E, 80°SW e N50°E, 60°W e falhas com atitude N48°E, 78°SE; N70°E, 40°W e N98°E, 50°E.

Foram medidas várias famílias de diaclases, nomeadamente N10°E, 72°E; N10°E, 90°; N164°E, 78°SW e N127°E, 74°W (Figura 3.16).

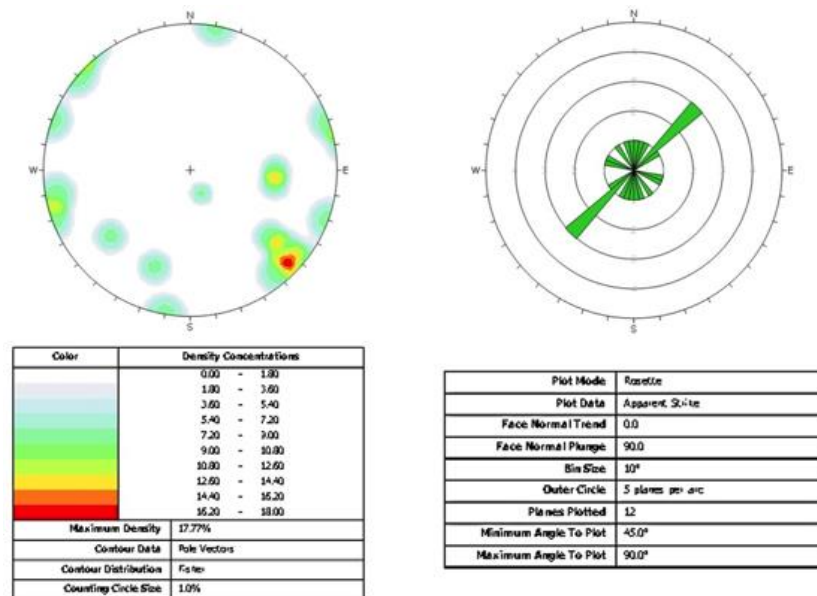


Figura 3.16- Projeção estereográfica dos polos das diaclases e respetivo diagrama de roseta da exploração de Tanha.

No conjunto das seis explorações estudadas, foram observadas quatro famílias principais de diaclases com direção NE-SW, WNW-ESSE, NNE-SSW e NNW-SSE.

4- Petrografia

4.1-Metodologia

O estudo petrográfico foi realizado em 42 lâminas delgadas polidas, 22 da Formação de Desejosa e 20 da Formação de Pinhão.

A observação microscópica foi realizada utilizando o microscópio petrográfico de luz transmitida NIKON e modelo alphaphot-2 YS2. No decorrer da observação, utilizaram-se objetivas com diferentes ampliações (4x, 10x, 20x e 40x) com o objetivo de conseguir identificar a microtextura e a composição mineralógica da rocha.

As fotografias dos aspetos particulares foram obtidas com recurso ao microscópio petrográfico de luz transmitida e refletida, da marca NIKON e modelo Eclipse E 400 POL, com uma máquina fotográfica incorporada da marca Zeiss e modelo AxioCam MRC. As fotografias ficaram registadas em formato digital através do *software* "Axio Vision 3.1". À semelhança do microscópio anterior, também neste foram usadas objetivas com várias ampliações (5x, 10x, 20x e 50x). Este estudo foi realizado no Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território (DGAOT), na FCUP.

Na identificação dos minerais opacos, devido à sua pequena dimensão, foi usado o microscópio eletrónico de varrimento (MEV) (Capítulo 7).

4.1.1- Descrição mesoscópica

As rochas da Formação de Desejosa apresentam uma cor cinzenta escura a negra (XFC) por vezes amarelada (XOFC) ou cor cinzenta clara (Euc1 e Euc2). A granularidade é muito fina, não sendo possível identificar os minerais. Por vezes é observada uma patine que confere à rocha uma coloração acastanhada, também se observando óxidos, filonetes de quartzo e foliação bem marcada. É ainda observada a alternância de níveis claros com níveis escuros, conferindo às rochas um aspeto listrado característico. Na base das zonas claras é habitual encontrar figuras sedimentares bem marcadas típicas de sequências turbidíticas, os *load casts* (Figura 4.1). A listragem é paralela ou subparalela à estratificação com bandas milimétricas mais esverdeadas (Euc1).



Figura 4.1- Aspeto mesoscópico caraterístico das amostras da Formação de Desejosa: A) FC12, B) Tan3 e C) FC11.

As rochas da Formação de Pinhão apresentam cor cinzenta escura (FS1, FS2, P7, Pi1, Pi2, Tan1, Tan4 e Tan5) ou cor cinzenta clara (FC15, P1, P3, P5, P6, P8, P9, Pi3 e Pi4), por vezes com patine acastanhada e foliação. A granularidade é muito fina, não se conseguindo observar os minerais mesoscopicamente, com exceção da biotite que marca a foliação (Figura 4.2). Também se observam óxidos e por vezes leitos gresosos.

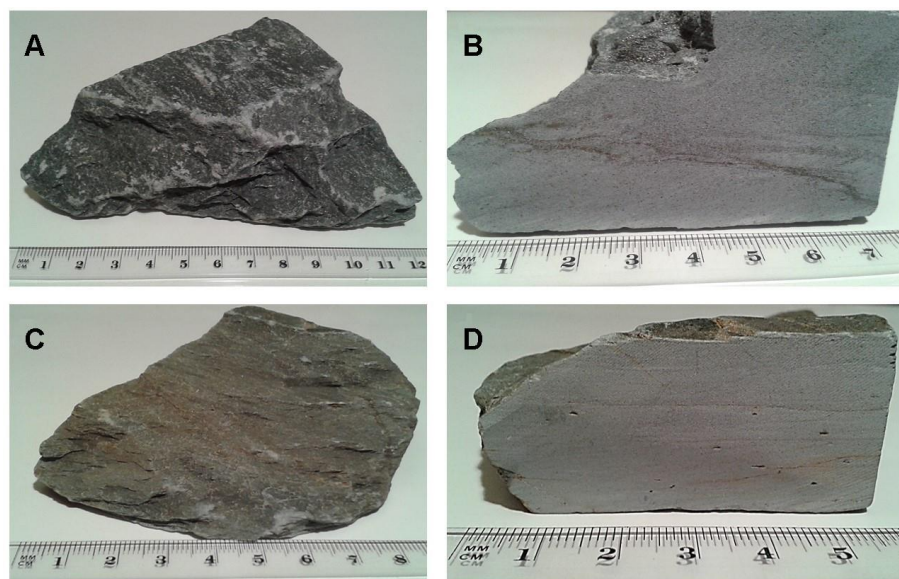


Figura 4.2- Aspeto mesoscópico caraterístico das amostras da Formação de Pinhão: A e B) Tan1, C e D) P5.

4.1.2- Descrição microscópica

Microscopicamente, ambas as formações apresentam textura granoblástica a granolepidoblástica, com foliação bem marcada pelas micas brancas. É observável clivagem diagenética paralela à estratificação e clivagem de crenulação perpendicular à estratificação bem marcada (FC11 – FD), assim como foliação crenulada oblíqua à estratificação (P1 – FP) e textura metamórfica de granularidade fina. As rochas são constituídas essencialmente por quartzo e micas brancas, indicadores de baixo grau. O aspeto bandado observado mesoscopicamente na Formação de Desejosa é conferido pela alternância entre níveis argilosos e níveis gresosos (Figura 4.3). Por vezes os níveis argilosos contornam circularmente os níveis gresosos, formando os *load casts* (Figuras 4.4 e 4.5). É possível observar quartzo, mica branca e clorite como minerais dominantes e biotite, plagioclase, zircão, apatite, turmalina, calcite, epídoto, actinolite, feldspato potássico, esfena, monazite, titanomagnetite, ilmenite, galena, arsenopirite, calcopirite, pirite, pirrotite, esfalerite, magnetite (apenas na Formação de Pinhão) e óxidos. Nas tabelas 4.1 e 4.2 são referidos os minerais observados em cada uma das amostras das Formações de Desejosa e de Pinhão, respetivamente.

4.1.2.1- Mineralogia

Quartzo

Apresenta-se em grãos de forma anédrica, subédrica e euédrica. Possui dimensões muito variáveis, apresentando-se desde fino na matriz a grosseiro no preenchimento de fraturas, nas zonas mais gresosas e nos *load casts* (Figuras 4.4 e 4.5), sendo também observada subgranulação. É observado quartzo recristalizado com aspeto limpo (Figura 4.6), monocristalino e policristalino (Figuras 4.7). Também se observa quartzo estirado orientado no sentido da foliação (Figura 4.9). Muitas vezes apresenta extinção ondulante, textura poligonal e inclusões fluídas e de outros minerais (Figura 4.8), como por exemplo de micas. Por vezes, observa-se associado a uma grande quantidade de óxidos e a contornar a plagioclase e a calcite (Figura 4.21). Na Formação de Pinhão, também se observam cristais em fraturas (Figuras 4.15), por vezes é o próprio quartzo que apresenta fraturas (FS1) (Figura 4.10), por vezes preenchidas por óxidos e clorite (P5) (Figura 4.16), sendo também observado como inclusão nas biotites.

Mica branca

As micas brancas ocorrem na matriz e marcam a foliação, por vezes com crenulação (Figuras 4.13 e 4.14). Também se observam a formarem-se junto à actinolite (P4 – FD) (Figura 4.24) e em pequenas palhetas, por vezes orientadas nos níveis mais argilosos (Figura 4.12) e outras a cortar a foliação.

Clorite

É observada em cristais pequenos na matriz e em cristais mais desenvolvidos orientados, por vezes pouco orientados e com fraturas. Ocorre a substituir a biotite, intercrescida com a mica branca, com aspeto poicilítico a crescer sobre a foliação e, por vezes, observa-se com bordos de substituição e com *kink* (Euc1 – FD, P3, Pi4 e Tan5 – FP) (Figura 4.11). Também há a ocorrência de clorite tardia, vermicular, a ocupar espaços no meio do quartzo e sem deformação (P5 – FP) (Figuras 4.15 e 4.16).

Biotite

Muitos grãos de biotite apresentam deformação, em cristais de várias dimensões (Figura 4.9), apresentando os mais desenvolvidos halos pleocroicos (Figura 4.19), textura poicilítica (Figuras 4.13 e 4.14) e inclusões de quartzo, pouco orientados ou com orientação a cortar a clivagem de crenulação (Tan1 – FP). Por vezes é contornada pela matriz (Figura 4.18). Também se observa biotite cloritizada (Figuras 4.10, 4.11 e 4.17) e biotite insipiente. Este mineral não ocorre em Euc1 e Euc2 na Formação de Desejosa, nem em P5, Pi2 e Pi3 na Formação de Pinhão.

Plagioclase

A plagioclase é detrítica e ocorre em cristais subédricos a anédricos exibindo a macla da albite (Figura 4.6). Apresenta-se recristalizada e com inclusões. Este mineral é mais abundante na Formação de Desejosa.

Feldspato potássico

O feldspato foi observado apenas na Formação de Pinhão, em P9 e Pi1, em cristais anédricos.

Calcite

Ocorrem em cristais anédricos nas zonas mais gresosas, como por exemplo nos *load casts* (FC4 – FD) (Figura 4.5), por vezes com os bordos deformados e com clivagem

(Figura 4.21) e em fraturas (Pi2 – FP) (Figura 4.22). A ocorrência deste mineral é mais frequente na Formação de Desejosa.

Epídoto

É mais abundante na Formação de Pinhão e ocorre sobretudo nas zonas mais gresosas (Figuras 4.23 e 4.24).

Esfena

Foi mais abundantemente observado na Formação de Pinhão. Ocorre em cristais subédricos orientados a anédricos (rolados).

Actinolite

Este mineral foi observado apenas na Formação de Desejosa em P4 e ocorre sobretudo nas zonas mais gresosas (Figura 4.23).

Apatite

Observada sobretudo na Formação de Desejosa, em cristais subédricos.

Turmalina

Este mineral foi observado em maior abundância na Formação de Desejosa em cristais euédricos em zonas com mais biotite ou clorite.

Zircão

O zircão ocorrem em cristais de grande esfericidade e rolamento, ovais e euédricos (XNFC, FC11 e P1 – FD), de várias dimensões. Por vezes são observados com zonamento (Figuras 4.6 e 7.10 no Capítulo 7), orientados e como inclusão sobretudo os de forma oval. Este mineral está presente em todas as amostras.

Óxidos

Os óxidos também são frequentes, tanto em fraturas, nomeadamente do quartzo (Figura 4.16), ao longo da foliação e em pontos sobretudo nas zonas mais ricas em quartzo.

Minerais opacos

Os minerais opacos estão presentes em todas as amostras e possuem variados tamanhos com forma anédrica, subédrica e euédrica. São mais frequentes nos níveis mais argilosos (Figura 4.14) e por vezes estão orientados e rodeados pela matriz, mas também ocorrem em fraturas (Figura 4.22). A análise mineralógica efetuada ao MEV permitiu identificar a ilmenite, pirite, pirrotite, calcopirite, galena, titanomagnetite, esfalerite, arsenopirite e magnetite. A magnetite está presente apenas na Formação de Pinhão e ocorre em cristais euédricos bem desenvolvidos (ver Capítulo 6) (Figura 4.20).

No estudo ao MEV também foi possível verificar a presença de minerais de terras raras, nomeadamente a monazite (ver Capítulo 7).

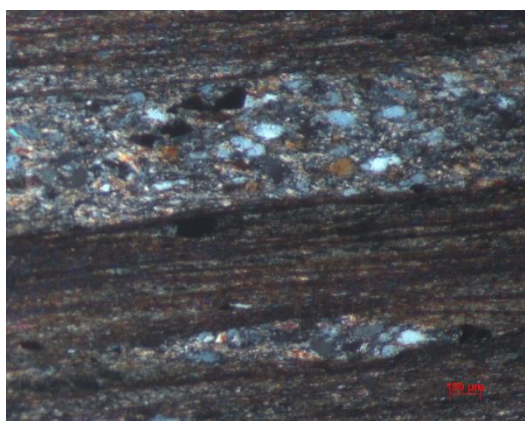


Figura 4.3- Alternância de níveis mais argilosos com níveis mais gresosos em XNFC (FD), NX.

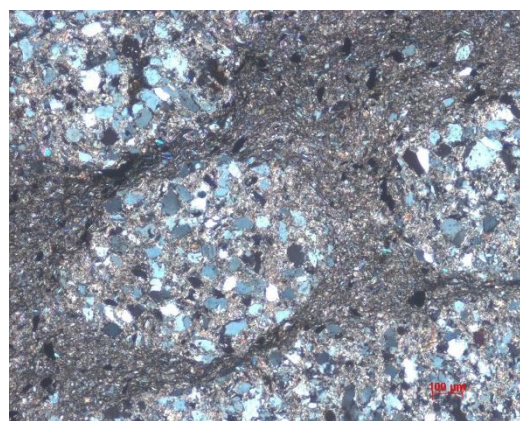


Figura 4.4- Load casts em FC11 (FD), NX.

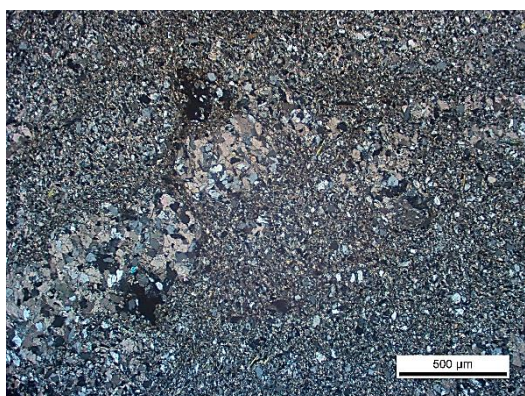


Figura 4.5- Load casts com quartzo e calcite em FC4 (FD), NX.

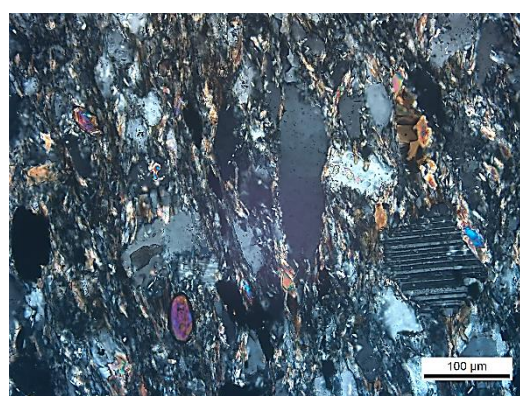


Figura 4.6- Quartzo heterogranular com extinção ondulante e orientado, plagioclase e zircão subédrico e oval com zonamento em XNFC (FD), NX.

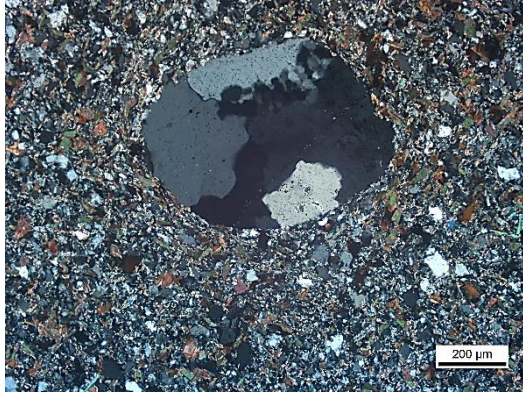


Figura 4.7- Grão de quartzo policristalino numa matriz de quartzo e biotite em P2 (FD), NX.

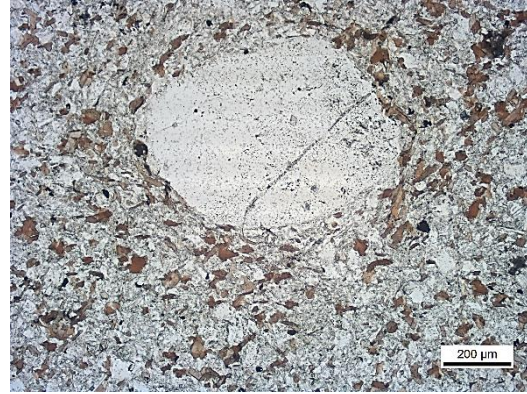


Figura 4.8- Grão de quartzo com inclusões numa matriz de quartzo e biotite em P2 (FD), N//.

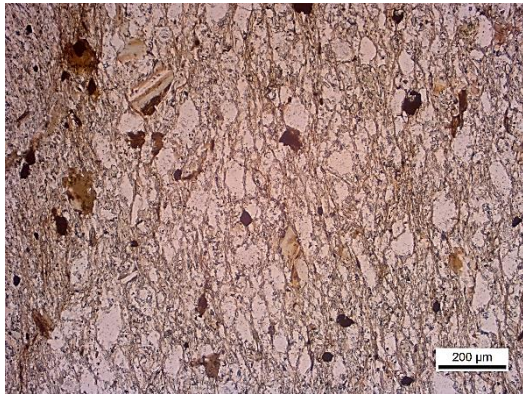


Figura 4.9- Grãos de quartzo estirado e orientado, numa matriz contituída por mica branca, clorite e biotite em P6 (FP), N//.

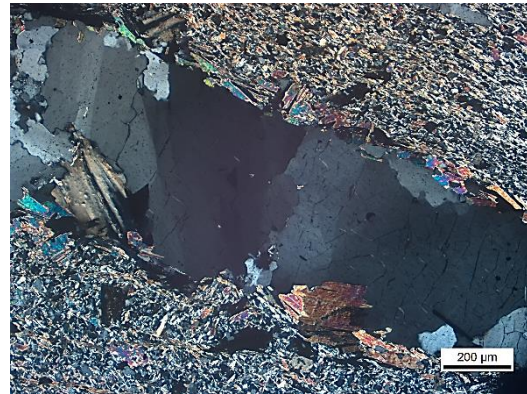


Figura 4.10- Filonete de grãos de quartzo com extinção ondulante numa matriz de biotite cloritizada e mica branca em FS1 (FP), NX.

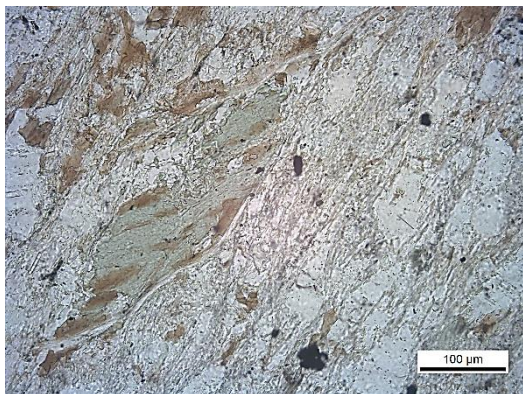


Figura 4.11- Biotite cloritizada de grande dimensão com orientação em XNFC (FD), N//.

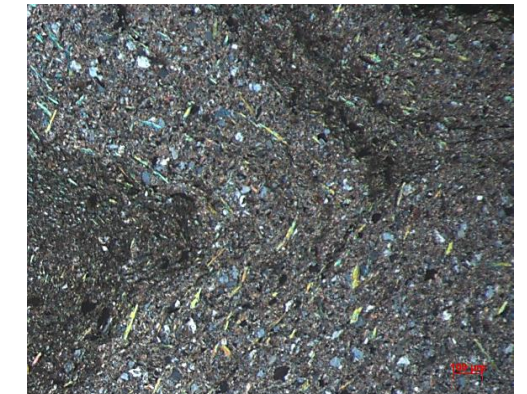


Figura 4.12- Mica branca em palhetas orientadas em XNFC (FD), NX.

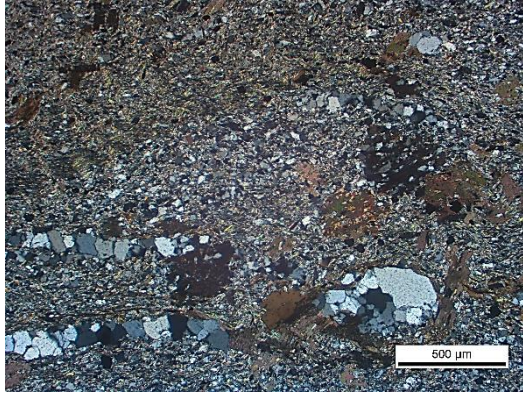


Figura 4.13- Filonetes de quartzo e cristais de biotite poicilítica numa matriz de quartzo e mica branca com clivagem de crenulação em P3 (FP), NX.

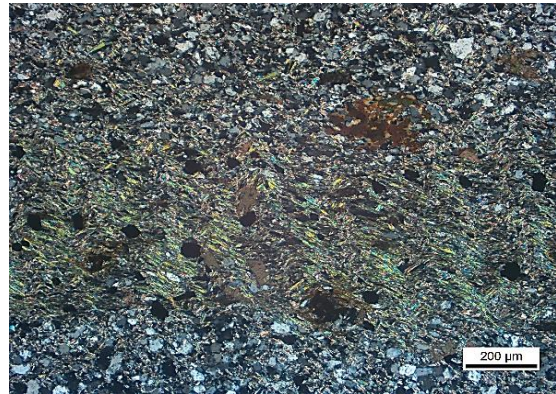


Figura 4.14- Cristais de biotite poicilítica sobre uma matriz de quartzo e mica branca evidenciando clivagem de crenulação, e minerais opacos em P3 (FP), NX.

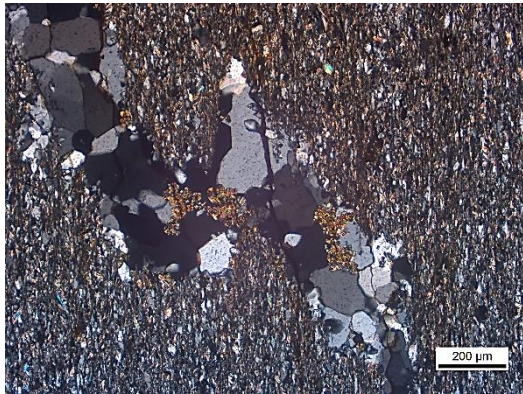


Figura 4.15- Clorite tardia vermicular em fraturas de quartzo em P5 (FP), NX.

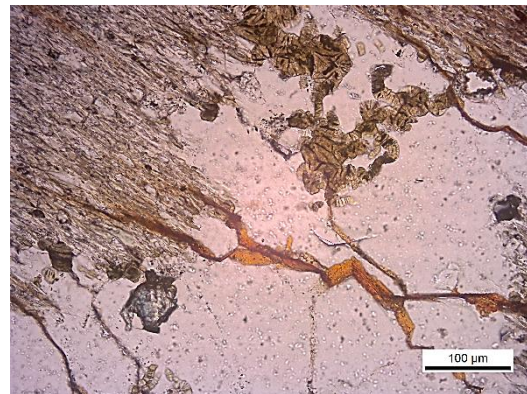


Figura 4.16- Clorite tardia vermicular em fraturas de quartzo que também estão preenchidas por óxidos em P5 (FP), N//.

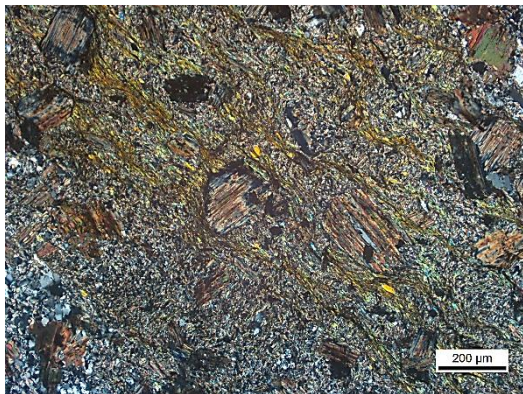


Figura 4.17- Biotite cloritizada numa matriz de quartzo e mica branca em Tan3 (FD), NX.



Figura 4.18- Biotite numa matriz de quartzo e mica branca em FC15 (FP), NX.

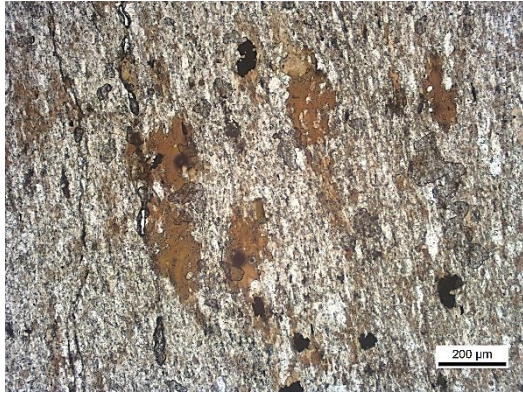


Figura 4.19- Biotite com halos pleocroicos e orientada em P4 (FD), N//.

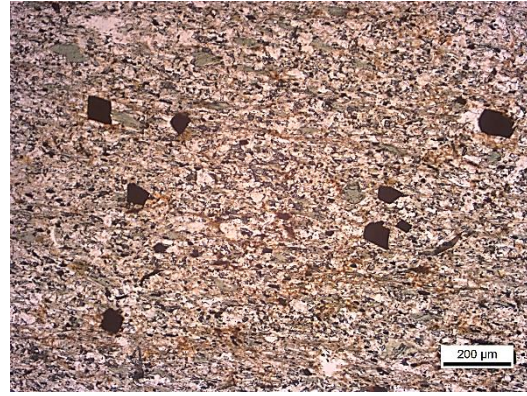


Figura 4.20- Clorite e minerais opacos subédricos a euédricos bem desenvolvidos que observados ao MEV foram identificados como magnetite em P8 (FP), N//.

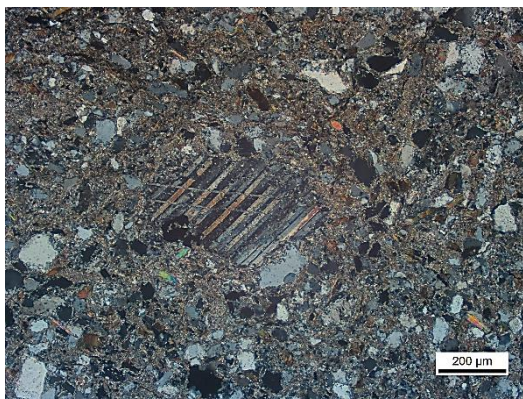


Figura 4.21- Quartzo orientado circularmente à volta da calcite em XNFC (FD), NX.

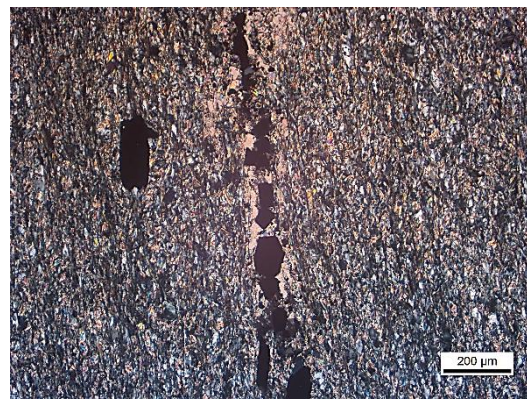


Figura 4.22- Fratura com calcite e minerais opacos euédricos em Pi2 (FP), NX.

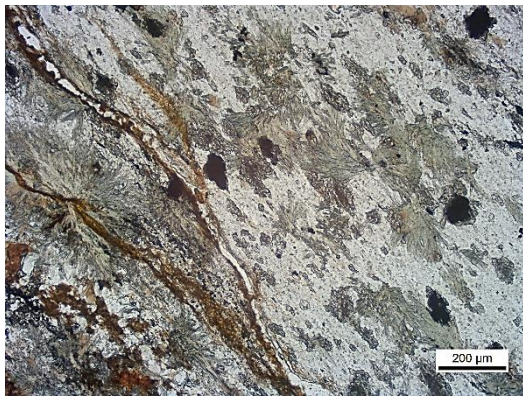


Figura 4.23- Actinolite e epídoto nas zonas mais gresosas em P4 (FD), N//.

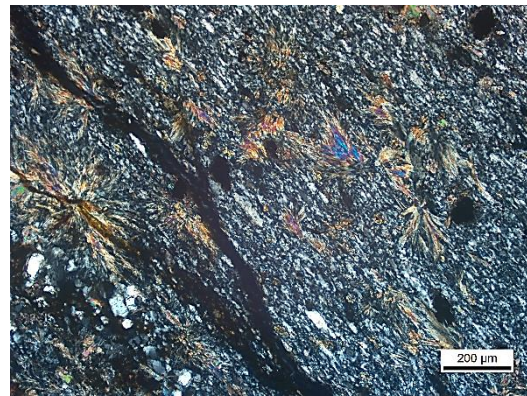


Figura 4.24- Figura 4.23 em luz polarizada em P4 (FD), NX.

Tabela 4.1- Minerais observados ao microscópio na Formação de Desejosa.

	XOFC	XNFC	Euc1	Euc2	Noz	FC 4	FC 11	FC 12	P2	P4	P10	Tan2	Tan3	Tan6	Tan7
Quartzo	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Mica Branca	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Clorite	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+
Biotite	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Plagioclase	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+			
Calcite	+	+	+	+	+	+	+	+						+	
Epídoto					+					+	+	+	+	+	+
Esfena		+			+										
Actinolite										+					
Apatite													+	+	+
Turmalina		+	+	+	+		+	+	+					+	+
Zircão	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Óxidos	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+
Minerais Opacos	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

(+ com observação)

Tabela 4.2- Minerais observados ao microscópio na Formação de Pinhão.

	FS 1	FS 2	FC 15	P1	P3	P5	P6	P7	P8	P9	Pi1	Pi2	Pi3	Pi4	Tan1	Tan4	Tan5
Quartzo	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Mica Branca	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Clorite	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Biotite	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+			+	+	+	+
Plagioclase			+				+	+	+								
Feldspato potássico										+	+						
Calcite						+					+	+					
Epídoto				+	+	+		+	+	+	+		+		+	+	+
Esfena				+		+		+	+	+	+				+		
Apatite								+									
Turmalina			+						+								
Zircão	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Óxidos			+	+	+	+	+		+	+	+		+	+		+	+
Minerais Opacos	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

(+ com observação)

5- Petrofísica

O estudo petrofísico é de particular importância, pois a anisotropia de suscetibilidade magnética (ASM) de rochas de metamorfismo de baixo grau é consideravelmente maior do que a anisotropia magnética de rochas sedimentares, porque o mecanismo de orientação dos grãos magnéticos durante o metamorfismo de baixo grau é bastante eficaz. Este processo envolve, provavelmente, rearranjo, deformação (dúctil) e recristalização reorientada de grãos magnéticos sob a influência do campo de tensões atuante durante o metamorfismo. Atingido o grau de metamorfismo de um filito, o grau de anisotropia não aumenta mais, mantendo-se os mesmos valores para um micaxisto ou para um gnaiss (Tarling & Hrouda, 1993). Nas rochas metamórficas, a foliação magnética evidencia a presença de planos estruturais sendo a direção de suscetibilidade mínima perpendicular a esses planos. A lineação magnética é geralmente paralela a estruturas lineares (Ruf *et al.*, 1988; Kligfield *et al.*, 1981; Averbuch *et al.*, 1992). Com os estudos de ASM, para além da determinação da suscetibilidade magnética que fornece informações acerca da mineralogia magnética presente, o grau de anisotropia expresso pelo parâmetro P, que relaciona a suscetibilidade máxima com a suscetibilidade mínima, permite quantificar a intensidade de deformação sofrida pelas rochas. O parâmetro T (Jelinek, 1981), indicador da forma do elipsoide de ASM (constrito ou achatado), é um reflexo do *fabric* estrutural que estas litologias apresentam.

5.1- Conceitos gerais em magnetismo

A lei fundamental em magnetismo é a “interação de Coulomb” entre cargas magnéticas. Segundo esta lei, a força (F) entre duas cargas magnéticas (m_1 e m_2) separadas por uma distância (r) é representada por:

$$F = \frac{m_1 \cdot m_2}{4 \cdot \pi \cdot \mu_0 \cdot r^2}$$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$ (permeabilidade elétrica no vácuo).

O *momento magnético* (M) pode ser definido como um par de cargas magnéticas (positiva e negativa) ou uma corrente elétrica circular. Se houver duas cargas

magnéticas, com intensidade (m) e distância infinitesimal (l) entre a carga positiva e negativa, o momento magnético é traduzido por:

$$M = m \cdot l$$

No caso da corrente elétrica circular com área (A) e intensidade (I), o momento magnético traduz-se por:

$$M = I \cdot A \cdot n$$

n é o vetor unitário perpendicular ao plano da corrente elétrica.

O *campo magnético* (H) é o espaço vetorial onde partículas com velocidade (v) são atuadas por uma força (F). A força atuante no momento magnético (M) quando é trazido para a influência do campo magnético (H), é:

$$F = M \cdot H$$

Os *materiais magnéticos* são materiais que são magnetizados por um campo magnético (H). A magnetização (J) é a soma de todos os momentos magnéticos induzidos (M_i), dividido pelo volume (V) que inclui esses momentos magnéticos:

$$J = \frac{\sum_i M_i}{V}$$

A magnetização pode ser de dois tipos:

- magnetização induzida (J_i);
- magnetização remanescente (J_r).

A *magnetização induzida* (J_i) é a magnetização que um material adquire quando é exposto ao campo magnético (H). Estes dois parâmetros estão relacionados através da suscetibilidade magnética (K):

$$J_i = K \cdot H$$

A *magnetização remanescente* (J_r) é o registo dos campos que atuaram no material. Assim, a *magnetização total* (J) é o vetor que resulta da soma da magnetização induzida (J_i) e da magnetização remanescente (J_r) (Butler, 1992).

5.2- Propriedades magnéticas da matéria

A matéria é constituída por átomos que, por sua vez, são constituídos por partículas elementares: eletrões, prótons e neutrões.

Os eletrões, para além de se movimentarem à volta do núcleo dos átomos com trajetórias orbitais, também se movimentam em torno de si próprios (movimento de *spin*). Estes movimentos vão originar momentos magnéticos; assim, teremos dois tipos de momentos cinéticos no eletrão: o momento orbital e o momento de *spin*.

A unidade fundamental do momento magnético é o Magnetrão de Bohr (μ_B) e a sua mais pequena unidade é $9,270 \times 10^{-24} \text{ Am}^2$. O Magnetrão de Bohr corresponde ao movimento orbital do eletrão na primeira orbital de Bohr do átomo de hidrogénio e ao momento magnético de *spin* para qualquer órbita (in Sant'Ovaia, 1993).

Devido a estes movimentos, a estrutura eletrónica da matéria apresentará diferentes propriedades magnéticas que serão descritas a seguir.

5.2.1- Diamagnetismo

Os materiais diamagnéticos são aqueles que adquirem uma magnetização induzida (J_i) oposta ao campo magnético interno (H_i) aplicado e que desaparece quando o material deixa de estar sob a ação desse campo (Figura 5.1).



Figura 5.1- Diamagnetismo (H - campo magnético; J_i - magnetização induzida) (adaptado de Tarling & Hrouda, 1993).

Estes materiais são constituídos por átomos com momento magnético nulo e camadas eletrónicas preenchidas e internas. A suscetibilidade diamagnética é negativa e não depende da temperatura (Butler, 1992; Tarling & Hrouda, 1993). O quartzo e a calcite são exemplos de minerais diamagnéticos.

5.2.2- Paramagnetismo

Os materiais paramagnéticos adquirem uma magnetização induzida paralela à direção do campo magnético aplicado e, tal como nos materiais diamagnéticos, esta desaparece quando esse campo deixa de ser aplicado (Figura 5.2). Este comportamento é possível porque os átomos possuem momentos magnéticos não nulos devido aos *spins* de eletrões não-emparelhados. (Butler, 1992; Tarling & Hrouda, 1993). Devido à destruição do alinhamento dos dipolos pela oscilação térmica, a suscetibilidade paramagnética é fraca, mas positiva (*in Sant'Ovaia, 1993*). Deste modo, para qualquer temperatura superior a zero, a energia térmica produz vibração na estrutura cristalina, provocando a oscilação rápida dos momentos magnéticos, obedecendo assim à “Lei de Curie-Weiss”:

$$K_p = \frac{C}{T - \theta}$$

em que K_p é a suscetibilidade paramagnética, C a constante de Curie, θ a constante de Weiss que traduz o efeito do campo molecular interno e T a temperatura (*in Sant'Ovaia, 1993*). A suscetibilidade paramagnética e a temperatura são inversamente proporcionais.

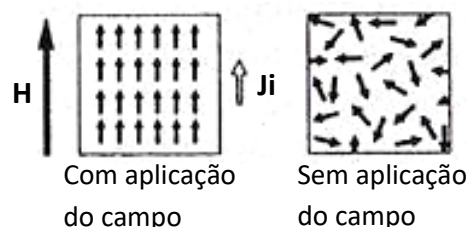


Figura 5.2- Paramagnetismo (H- campo magnético; Ji- Magnetização induzida) (adaptado de Tarling & Hrouda, 1993).

Os silicatos com os iões Fe^{2+} , Fe^{3+} e Mn^{2+} na sua estrutura, como a biotite, clorite, anfíbolos, granadas, etc., são os minerais paramagnéticos mais típicos.

5.2.3- Ferromagnetismo, Ferrimagnetismo, Antiferromagnetismo e Antiferromagnetismo *Canted*

Estes materiais possuem momento magnético independentemente da aplicação de um campo magnético, ou seja, têm um campo magnético espontâneo. A interação entre os momentos magnéticos gera a tendência para o alinhamento, criando uma ordem magnética. Este facto é explicado pelo “Princípio de Pauli”, que nos diz que dois eletrões não podem estar no mesmo estado eletrónico ao mesmo tempo. Deste modo, os momentos magnéticos tornam-se fortemente acoplados e de vários tipos, dependendo das estruturas eletrónica e cristalina (Butler, 1992).

Assim, é possível definir quatro ordens magnéticas (de curto e longo alcance) (*in* Sant’Ovaia, 1993, 2000):

- ferromagnetismo – os materiais ferromagnéticos exibem acoplamentos paralelos e no mesmo sentido entre subcamadas eletrónicas (ex: ferro) (Figura 5.3 a);
- ferrimagnetismo – os materiais ferrimagnéticos têm acoplamentos antiparalelos e com intensidade diferente entre subcamadas (ex: magnetite) (Figura 5.3 b);
- antiferromagnetismo – os acoplamentos dos materiais são antiparalelos e com intensidade igual (ex: pirrotite hexagonal) (Figura 5.3 c);
- antiferromagnetismo *canted* – os momentos magnéticos são subparalelos (ex: hematite) (Figura 5.3 d).

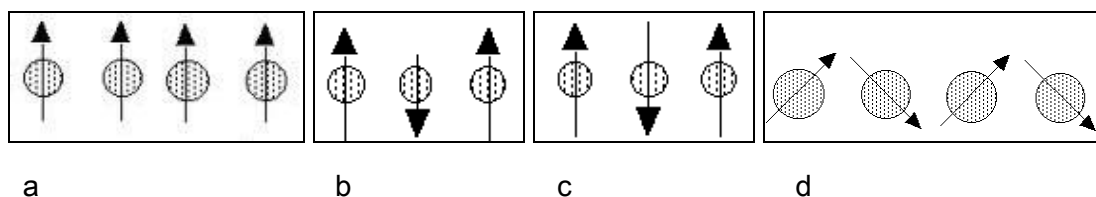


Figura 5.3- Diferentes formas de magnetização (adaptado de http://www.irm.umn.edu/hg2m/hg2m_b/hg2m_b.html).

Estes materiais possuem uma magnetização máxima, ou seja, mesmo que seja aplicado um campo magnético com um valor superior ao necessário para a magnetização, esta não irá aumentar. A isto chama-se *magnetização de saturação* (J_s) (Figura 5.4).

A temperatura influencia estes materiais, levando-os a uma magnetização nula à medida que a temperatura aumenta e atinge o ponto crítico – *Temperatura de Curie* (materiais ferro e ferrimagnéticos) e *Temperatura de Néel* (materiais antiferromagnéticos) (Figura 5.5). Acima desta temperatura passa a existir um comportamento paramagnético e diamagnético.

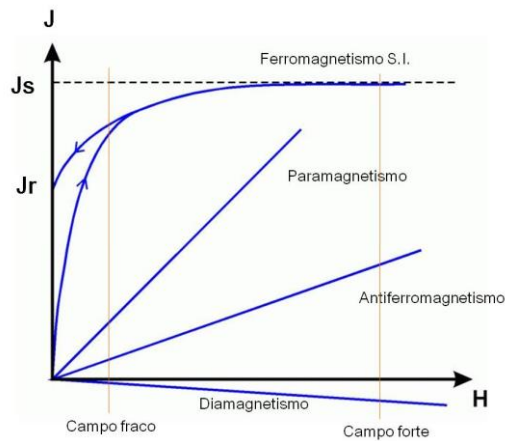


Figura 5.4- Curvas de magnetização induzida em função do campo aplicado para os diferentes tipos de comportamento magnético (adaptado de http://gravmag.ou.edu/mag_rock/mag_rock.html).

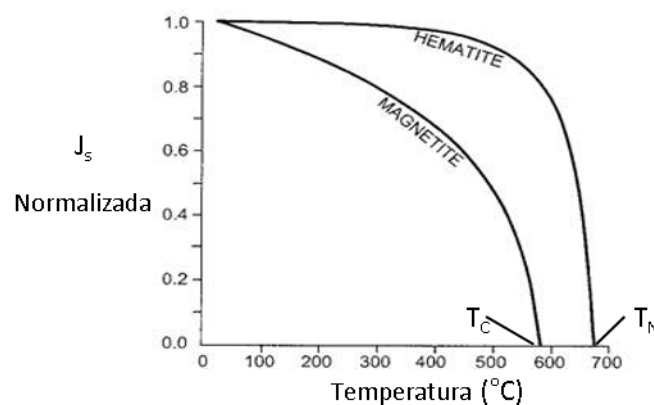


Figura 5.5- Variação da magnetização de saturação com a temperatura para a magnetite e hematite (Butler, 1992).

Quando o campo magnético é retirado, a magnetização não se anula e o material adquire o registo do campo aplicado – *magnetização remanescente* (J_r). O trajeto da magnetização enquanto função do campo magnético aplicado é a chamada *curva de histerese* (Figura 5.6).

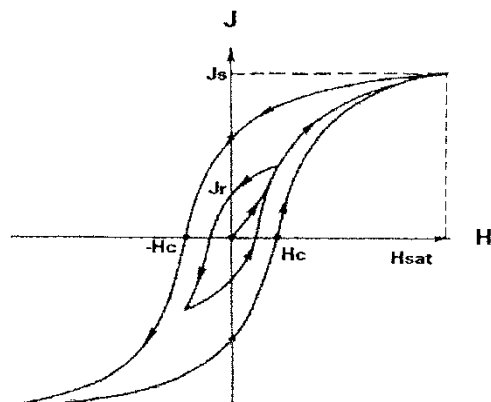


Figura 5.6- Curva de Histerese (in Sant'Ovaia, 1993).

A curva de histerese pode ser descrita por vários passos:

- a magnetização (J) aumenta com o campo aplicado (H); se entretanto o campo for reduzido a zero, a magnetização também se anula. Deste modo, esta parte da curva é reversível;
- se H continuar a aumentar, quando este for removido, J não se anulará, sendo assim adquirida uma magnetização remanescente (J_r) e fazendo irreversível esta parte da curva;
- o aumento de H na direção oposta vai reduzir a magnetização residual, fazendo com que J se torne nulo para H_c – *Campo Coercivo* ou *Campo Coercivo Intrínseco*;
- o aumento de H para um valor que seja superior ao campo de saturação (H_{sat}) não faz com que J aumente para além do valor da magnetização de saturação (J_s).

5.3- Magnetização remanescente natural

A magnetização remanescente natural (MRN) é a magnetização remanescente presente numa amostra de rocha antes de tratamento laboratorial e depende do campo geomagnético e dos processos geológicos durante a formação da rocha.

A MRN pode ser de três tipos (Butler, 1992):

- magnetização remanescente térmica – adquirida durante o arrefecimento;
- magnetização remanescente química – formada pelo crescimento dos grãos ferromagnéticos abaixo da temperatura de Curie;
- magnetização remanescente detrítica – adquirida durante a acumulação de rochas sedimentares que contêm minerais detríticos ferromagnéticos.

5.3.1- Propriedades magnéticas dos grãos

As propriedades magnéticas dos grãos cristalinos são influenciadas pela composição, perfeição da rede cristalina e tamanho do grão. Os grãos pequenos correspondem a monodomínios e os grãos grandes a multidomínios.

5.3.2- Domínios magnéticos

Num grão esférico um hemisfério terá carga livre positiva e o outro terá carga livre negativa. A energia necessária para manter esta distribuição chama-se *energia manetoestática* (e_m) (Butler, 1992). Se o grão tiver vários domínios, a energia manetoestática diminui devido à reduzida percentagem de superfície coberta por cargas magnéticas e proximidade de cargas de sinais opostos. Os *domínios magnéticos* são pequenos volumes com uma magnetização uniforme que permitem a diminuição da energia de um sistema. Como os momentos magnéticos estão alinhados na mesma direção, os domínios magnetizam-se espontaneamente até à saturação. Uma vez que os domínios adjacentes têm direções diferentes, o valor da magnetização total do grão vai estar compreendido entre zero e a saturação. Os domínios magnéticos adjacentes são separados por uma *Parede de Domínio* ou *Parede de Bloch* (Figura 5.7), ao longo da qual há uma rotação gradual dos momentos magnéticos de um domínio para o outro, no sentido transversal. As estruturas de

domínio são características dos materiais ferro, ferri e antiferromagnéticos (in Sant'Ovaia, 1993).



Figura 5.7- Rotação dos momentos magnéticos ao longo da Parede de Bloch (in Sant'Ovaia, 1993).

5.3.3 - Monodomínios, Multidomínios e Pseudo-monodomínios

Se o tamanho do grão cristalino diminui, o número de domínios magnéticos também diminui. Por vezes, o tamanho do grão é tão pequeno que a energia necessária para a formação de uma Parede de Bloch é maior do que a diminuição de energia magnetoestática que resulta da dimensão do grão em dois domínios. Como não é oportuno subdividir o grão em vários domínios, abaixo de um determinado diâmetro (*tamanho crítico* (d_0)), o grão fica apenas com um domínio – *Monodomínio* ou *Domínio Simples* (DS). Grãos que contêm vários domínios são chamados de *Multidomínios* (MD). Os grãos com tamanhos de transição entre DS e MD possuem um número baixo de monodomínios, tendo poucas Paredes de Bloch. Estes grãos têm um comportamento magnético de domínio simples – *Pseudo-monodomínios* (Butler, 1992; Sant'Ovaia, 1993).

5.4- Suscetibilidade magnética

Como referido no capítulo anterior, um material submetido a um campo magnético (H) adquire uma magnetização induzida (J_i). Estes campos estão relacionados pela suscetibilidade magnética (K):

$$J_i = K \cdot H$$

Como nos materiais diamagnéticos e paramagnéticos os efeitos do campo magnético são reversíveis, a suscetibilidade é independente da intensidade do campo, pois não há ordem magnética. No caso dos materiais ferro, ferri e antiferrimagnéticos, em que

os efeitos do campo magnético são irreversíveis, a suscetibilidade é dependente da intensidade desse campo. Porém, estes últimos materiais podem ter um comportamento reversível se os campos aplicados forem suficientemente baixos ($< \sim 1$ mT). Deste modo, a suscetibilidade é independente do campo, denominando-se suscetibilidade inicial, K (Sant'Ovaia, 1993).

Na tabela 5.1 são apresentadas as suscetibilidades magnéticas de alguns minerais diamagnéticos, paramagnéticos, ferrimagnéticos, antiferromagnéticos e antiferromagnéticos *canted*.

Tabela 5.1- Tabela de valores de suscetibilidade magnética de alguns minerais (in Sant'Ovaia, 1993).

Comportamento magnético	Minerais	Suscetibilidade magnética (SI)	Referências
Diamagnético	Galena	$-0,3 \times 10^{-4}$	Piper, 1987
	Cuprite	$-0,1 \times 10^{-4}$	"
	Calcite	$-13,8 \times 10^{-6}$	Borradaile, 1988
	Quartzo	$-13,4 \times 10^{-6}$	Hrouda, 1986
Paramagnético	Ilmenite	1,8	Borradaile, 1988
	Pirite	0,001	"
	Siderite	0,005	"
	Cromite	0,008	Piper, 1987
	Arsenopirite	0,003	"
	Calcopirite	4×10^{-4}	"
	Blenda	$0,1 - 7 \times 10^{-4}$	"
	Rútilo	$0,04 \times 10^{-4}$	"
	Cassiterite	0,001	"
	Biotite	$10 - 12,9 \times 10^{-4}$	Borradaile, 1988
	Moscovite	$1,7 \times 10^{-4}$	"
	Talco	$5,4 \times 10^{-6}$	"
	Clorite	$0,7 - 15,5 \times 10^{-4}$	"
	Horneblenda	0,009	"
	Cordierite	6×10^{-4}	Amice e Bouchez, 1989
	Granada	0,003	"
	Turmalina	9×10^{-4}	"
Montmorilunite	$0,6 \times 10^{-4}$	Piper, 1987	
Ilite	$0,4 \times 10^{-4}$	"	
Ferrimagnético	Magnetite	6,2	Borradaile, 1988
	Maghenite	3,0	"
	Titanomagnetite	0,01	"
	Pirrotite	1,5	"
Antiferromagnético	Limonite (Goetite)	0,003	"
Antiferromagnético <i>Canted</i>	Hematite	0,007	"

A análise da suscetibilidade magnética permite efetuar um número elevado de medições em pouco tempo; é uma técnica não destrutiva e as medições podem ser feitas em qualquer material.

A suscetibilidade magnética é medida num equipamento eletrónico denominado de *Balança de Suscetibilidade* ou *Ponte de Suscetibilidade*. Esta balança incorpora um medidor com um circuito elétrico que deteta alterações de indutância quando a amostra é colocada no solenoide (local onde se introduz a amostra). Estas alterações são convertidas num valor de suscetibilidade magnética (Carneiro *et al.*, 2003).

5.4.1- Anisotropia da suscetibilidade magnética (ASM)

A anisotropia da suscetibilidade magnética (ASM) é uma anisotropia magnética que concerne à variação em direção da magnetização induzida e, portanto, à dependência da suscetibilidade na direção ao longo da qual está a ser medida. Normalmente, em amostras com anisotropia magnética, a magnetização induzida não é paralela ao campo aplicado. Deste modo, esta magnetização vai ter componentes ao longo de três direções ortogonais x, y e z (Sant'Ovaia, 1993).

Se o material é anisotrópico, a suscetibilidade magnética (K) é caracterizada por um tensor de 2ª ordem de forma:

$$J_i = X_{ij}H_j \quad (i, j= 1,2,3)$$

sendo que J_i é a magnetização na direção i e H_j o campo indutor efetivo na direção j.

A superfície do tensor de ASM é representada por um elipsoide triaxial (Figura 5.8). Ao medir a magnetização induzida em três direções ortogonais, adquirem-se os termos diagonais e simétricos do tensor, obtendo-se três vetores K_{11} , K_{22} e K_{33} . A intensidade e orientação, destes vetores, no referencial geográfico, promovem os semieixos do elipsoide de ASM: $K_{11}=K_1=K_{max}$; $K_{22}=K_2=K_{int}$; $K_{33}=K_3=K_{min}$ com $K_{max} \geq K_{int} \geq K_{min}$ (in Sant'Ovaia, 2000).

As unidades do campo magnético e da magnetização induzida são A/m (ampere por metro, SI), fazendo da suscetibilidade magnética uma grandeza adimensional quando medida por volume de amostra.

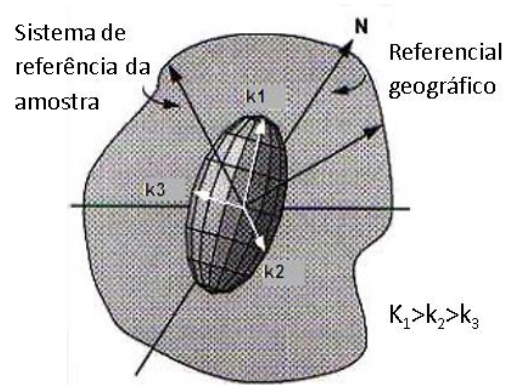


Figura 5.8- Elipsóide de ASM, seus eixos principais e sua orientação numa amostra e no espaço (Jover, 1986 *in* Sant'Ovaia, 2000).

5.4.2- *Fabric* magnético

O *fabric* magnético de uma rocha é definido pela anisotropia das propriedades dos seus minerais (Hrouda, 1982).

A biotite é um mineral importante no estudo da ASM por ser marcador da foliação magnética. As micas possuem uma forte anisotropia magnetocristalina (dependência da magnetização segundo certas direções cristalográficas) em que a suscetibilidade mínima é perpendicular ao plano basal (001) com K_{max} e K_{int} contidos no plano basal. Deste modo, o eixo K_{min} representará o polo da foliação magmática (Bouchez *et al.* 1981 *in* Sant'Ovaia, 2000) que sublinha o sub-*fabric* da biotite.

Podem ser distinguidos três tipos de *fabric*s magnéticos (Figura 5.9) (*in* Sant'Ovaia, 2000):

- planar: caraterizado por uma foliação magnética bem definida e por uma lineação magnética mal definida;
- plano-linear: caraterizado por uma foliação e uma lineação bem definidas;
- linear: caraterizado por uma lineação bem definida e uma foliação mal definida.

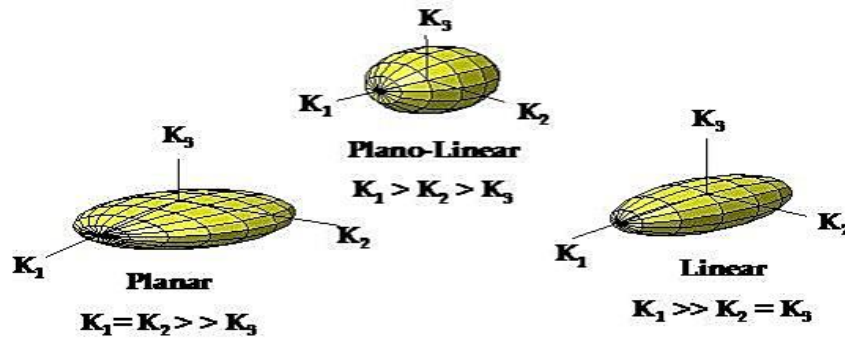


Figura 5.9- Diferentes tipos de *fabric* magnéticos (in Sant'Ovaia, 2000).

5.5- Metodologia

5.5.1- Amostragem

Em cada local de amostragem, foram recolhidos entre 3 a 6 testemunhos na Formação de Desejosa e entre 3 a 5 testemunhos na formação de Pinhão, orientados com um diâmetro de 2,5 cm. Os testemunhos foram recolhidos com recurso a uma sonda portátil, cujo amostrador é um tubo não magnético com uma terminação numa coroa diamantada. A sonda trabalha com um motor de combustão interna a dois tempos, onde é necessária uma refrigeração feita por água pressurizada por uma bomba externa manual (Figura 5.10).

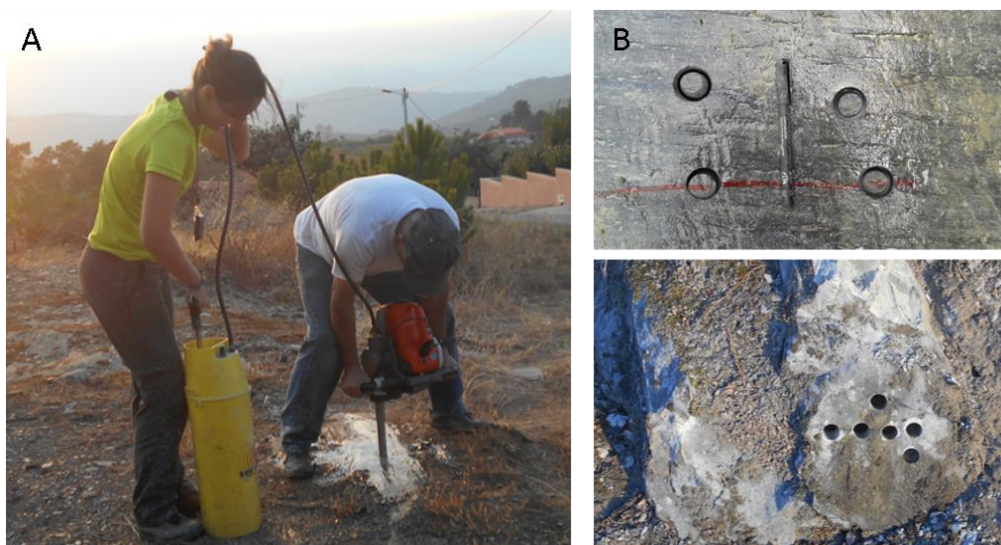


Figura 5.10- Sonda portátil para amostragem (A) e aspeto do afloramento depois de amostrado (B).

A orientação dos testemunhos foi feita antes de serem recolhidos com recurso a um inclinómetro e uma bússola (Figura 5.11).

Traçou-se na parte superior do cilindro um diâmetro em que o azimute é o plano vertical que passa pelo eixo do cilindro medido relativamente ao norte magnético. Na extremidade do diâmetro, foi traçada uma seta que indica o sentido do mergulho do testemunho. Depois disto, retirou-se a amostra, sendo, posteriormente, traçadas duas linhas que correspondem ao azimute do cilindro, ou seja, representam o traço do plano vertical que passa pelo eixo do cilindro. Na linha traçada, que corresponde à parte superior do cilindro, foram marcadas setas dirigidas no sentido do mergulho da amostra (Figura 5.12). As amostras foram recolhidas sempre em rocha fresca e *in situ*.



Figura 5.11- Material de campo para orientação das amostras.

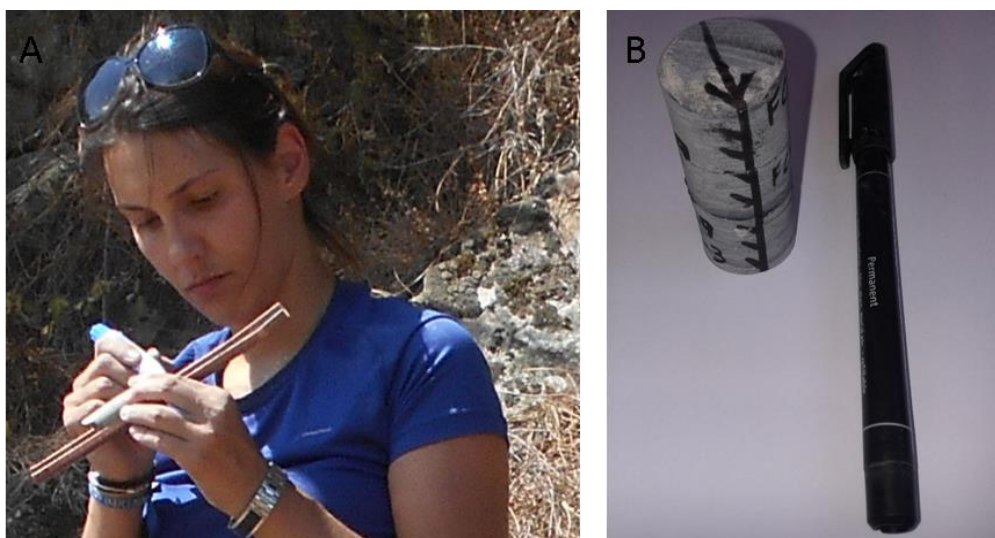


Figura 5.12- Marcação das linhas que correspondem ao azimute do cilindro e do sentido do mergulho na amostra (A).
Amostra para ASM orientada (B).

5.5.2- Preparação de amostras

No laboratório, as amostras foram cortadas perpendicularmente ao eixo em cilindros individuais de 2,2 cm de altura, obtendo-se duas a três amostras a partir de cada cilindro (Figura 5.13 e 5.14). Assim, cada estação ficou em média representada por 9 amostras na Formação de Desejosa e por 12 na Formação de Pinhão.

Os valores de suscetibilidade magnética foram medidos numa balança de suscetibilidade magnética, Modelo KLY4-S Kappabridge (Agico) da República Checa, no Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território/ Instituto das Ciências da Terra – Polo Porto (Figura 5.15).



Figura 5.13- Máquina de corte.

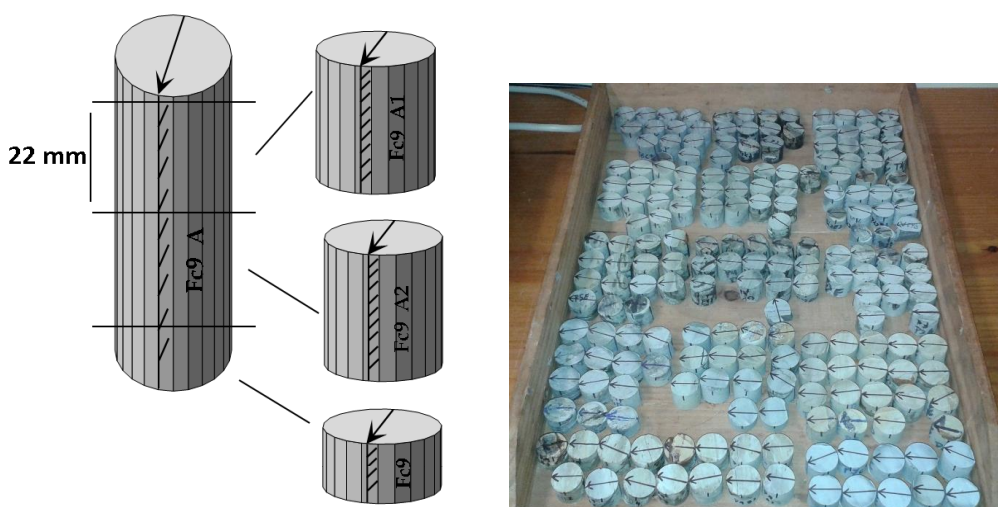


Figura 5.14- Amostras orientadas e cortadas para a medição de ASM.



Figura 5.15- Balança de suscetibilidade magnética.

As amostras foram colocadas no braço robotizado da balança segundo 4 posições mutuamente ortogonais, de tal modo que duas das direções x , y e z estão perpendiculares ao eixo de rotação (Figura 5.16). Durante a medição, esta balança cria um campo magnético com a intensidade de 300 A/m , que induz uma magnetização na amostra. O quociente entre a magnetização induzida na amostra e o campo magnético aplicado corresponde à suscetibilidade magnética que é adimensional, quando calculada para um determinado volume no sistema internacional (SI). O *software* “Sufar” versão 1.2 da Agico, específico da balança, calcula os valores da suscetibilidade para o volume que é medido e inserido para cada amostra.

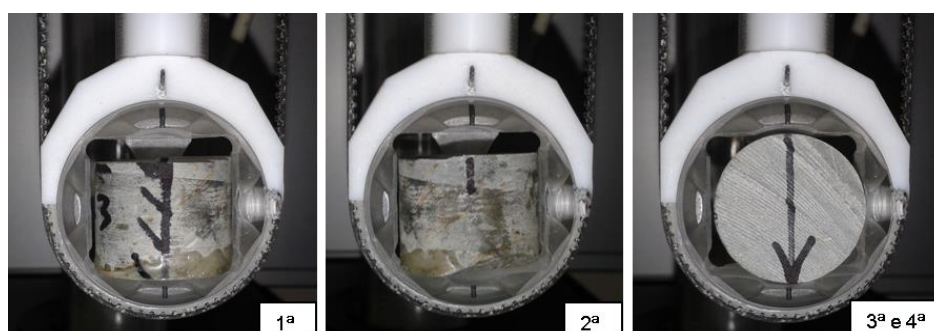


Figura 5.16- Posições da amostra para medição da suscetibilidade magnética.

5.5.3- Medidas laboratoriais

As medições de ASM são automaticamente calculadas, fornecendo parâmetros característicos do elipsoide de ASM. O *software* “Sufar” forneceu, para cada cilindro, a

intensidade e orientação dos três eixos principais, K_1 , K_2 e K_3 , no referencial geográfico e os parâmetros escalares do elipsoide de ASM:

- suscetibilidade média $K_{m1} = \frac{k_1+k_2+k_3}{3}$ (Hrouda, 1982; Tarling, 1983)
- anisotropia total $P = \frac{k_1}{k_3}$ (Nagata, 1961 *in* Sant'Ovaia, 2000)
- anisotropia linear $LS = \frac{k_1}{k_2}$ (Balsey & Buddington, 1960 *in* Sant'Ovaia, 2000)
- anisotropia planar $F = \frac{k_2}{k_3}$ (Stacey *et al.*, 1960 *in* Sant'Ovaia, 2000)
- parâmetro de forma $T = \left(\frac{2 \ln\left(\frac{k_3}{k_2}\right)}{\ln\left(\frac{k_1}{k_2}\right)} \right) - 1$ (Jelinek, 1981)

Posteriormente, esses valores foram trabalhados e calculou-se para cada estação de amostragem a respetiva média.

O tratamento de dados para cada estação de amostragem foi feito com recurso a *softwares* específicos como: “Excel”, “Stereonet” e “Anisoft 4.2” (da empresa Agico).

5.5.3.1- Dados escalares

- Suscetibilidade magnética (K)

A suscetibilidade magnética numa estação é determinada através de:

$$K = \frac{K_1 + K_2 + K_3}{3}$$

em que K_1 , K_2 e K_3 representam as intensidades das suscetibilidades principais em cada amostra.

- Anisotropia magnética (P “para” %)

$$P = \frac{K_1}{K_3}$$

ou

$$P\% = 100x \left(\frac{K_1}{K_3} - 1 \right)$$

- Parâmetro de forma

O parâmetro de forma, que indica a forma do elipsoide de ASM, foi calculado pelo parâmetro T (Jelinek, 1981).

O parâmetro de forma T é traduzido pela expressão:

$$T = \left(\frac{2 \ln \left(\frac{K_2}{K_3} \right)}{\ln \left(\frac{K_1}{K_3} \right)} \right) - 1$$

Elipsoide constrito: $-1 \leq T < 0$ (Figura 5.17).

Elipsoide achatado: $0 < T \leq 1$ (Figura 5.18).

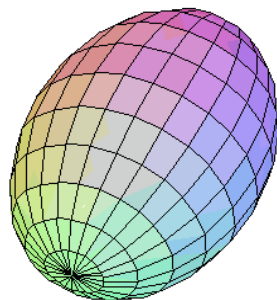


Figura 5.17- Exemplo de elipsoide constrito
(<http://www.mathematik.tu-darmstadt.de/Math-Net/Lehrveranstaltungen/Lehrmaterial/SS2001/MCS-LAI/ell.gif>).

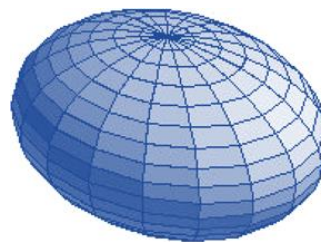


Figura 5.18- Exemplo de elipsoide achatado
(<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1502639&show=html>).

5.5.3.2- Dados vetoriais

O cálculo da média matricial de todas as amostras da estação permite obter as direções médias de K_1 e K_3 , em termos de azimuth (relativo ao norte magnético) e inclinação. Define-se assim para cada estação a lineação magnética (paralela à direção de K_1 (K_{max})) e a foliação magnética (plano perpendicular a K_3 (K_{min})) (in Sant’Ovaia, 2000) como se exemplifica na figura 5.19. Estes dados são obtidos através do *software* “Anisoft 4.2”.

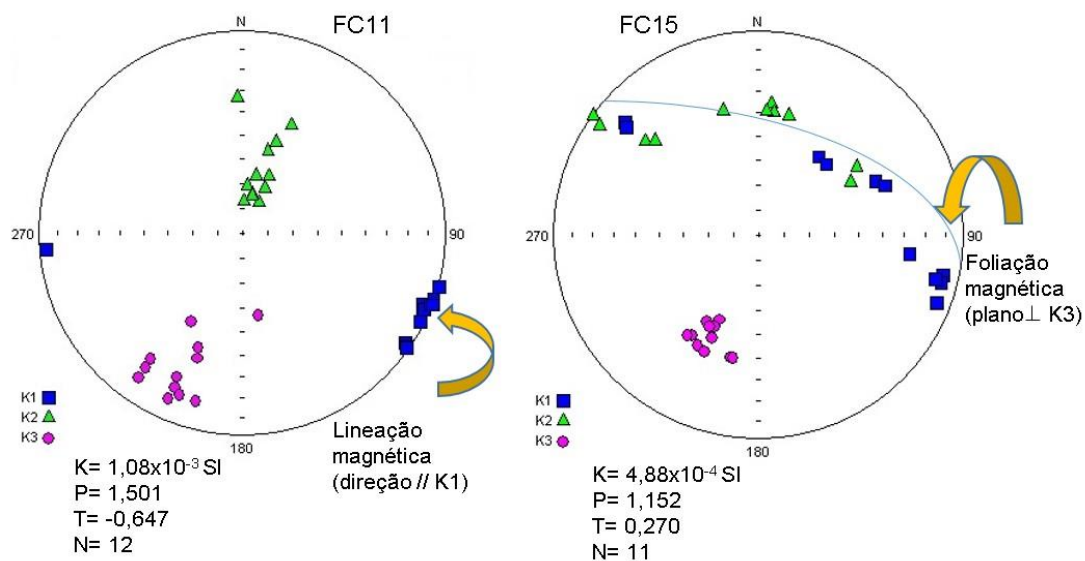


Figura 5.19- Representação da lineação magnética da amostra FC11 (Formação de Desejosa) e da foliação magnética de FC15 (Formação de Pinhão) e dos respetivos valores de ASM. Em que: K= suscetibilidade magnética; P= anisotropia magnética T= parâmetro de forma; N= número de amostras; K1= $K_{\text{máx}}$; K2= K_{int} ; K3= K_{min} .

5.6- Resultados

No caso estudado, a amostragem foi condicionada pelas condições de acesso e de segurança, pelo facto de ser uma região vinhateira e pela presença de afloramentos de rocha fresca e *in situ*. Assim, foi possível recolher 164 testemunhos em 40 estações de amostragem (Figura 5.20): 92 testemunhos em 23 estações de amostragem na Formação de Desejosa e 72 testemunhos em 17 estações de amostragem na Formação de Pinhão. Depois de os testemunhos terem sido cortados, no laboratório, com a altura de 2,2 cm, foram obtidos 223 cilindros para a Formação de Desejosa e 216 para a Formação de Pinhão.

Nas tabelas 5.2 e 5.3 estão representadas as coordenadas e cotas das estações de amostragem, assim como a orientação de cada testemunho recolhido em cada estação nas Formações de Desejosa e de Pinhão, respetivamente.

Os resultados de ASM obtidos no laboratório são apresentados nas tabelas 5.4 e 5.5.

Tabela 5.2- Coordenada e cota das estações de amostragem e orientação de cada testemunho recolhido em cada estação na Formação de Desejosa.

Amostra	Direção	Inclinação	Coordenada	Cota	Amostra	Direção	Inclinação	Coordenada	Cota
FC1 A	N352°	60°	N41°03'19"	430 m	Euc1 C	N242°	12°		
FC1 B	N340°	60°	W07°08'29"		Euc1 D	N248°	12°		
FC1 C	N340°	60°			Euc1 E	N248°	20°		
FC2 A	N312°	72°	N41°03'27"	406 m	Euc1 F	N250°	30°		
FC2 B	N324°	74°	W07°08'07"		Euc2 A	N242°	22°	N41°17'57"	420 m
FC2 C	N324°	72°			Euc2 B	N242°	22°	W07°02'28"	
FC3 A	N338°	60°	N41°03'39"	396 m	Euc2 C	N246°	24°		
FC3 B	N338°	62°	W07°08'00"		Euc2 D	N246°	28°		
FC3 C	N356°	60°			Euc2 E	N272°	32°		
FC3 D	N342°	55°			Noz A	N238°	20°	N41°18'07"	339 m
FC4 A	N058°	50°	N41°04'27"	157 m	Noz B	N240°	22°	W07°03'26"	
FC4 B	N062°	64°	W07°06'23"		Noz C	N244°	24°		
FC4 C	N088°	68°			Noz D	N246°	24°		
FC4 D	N098°	68°			BP A	N312°	60°	N41°08'11"	141 m
FC6 A	N320°	80°	N41°02'53"	376 m	BP B	N315°	62°	W07°06'57"	
FC6 B	N328°	78°	W07°07'37"		BP C	N316°	64°		
FC6 D	N317°	77°			BP D	N300°	52°		
FC7 A	N324°	78°	N41°02'54"	380 m	P2 A	N56°	38°	N41°10'42"	493 m
FC7 B	N316°	78°	W07°07'39"		P2 B	N54°	40°	W07°43'50"	
FC7 C	N308°	78°			P2 C	N52°	42°		
FC8 A	N206°	26°	N41°02'53"	381 m	P2 D	N46°	40°		
FC8 B	N206°	25°	W07°07'39"		P4 A	N076°	84°	N41°12'37"	583 m
FC8 C	N204°	18°			P4 B	N118°	86°	W07°41'03"	
FC9 A	N024°	66°	N41°03'14"	320 m	P4 C	N039°	68°		
FC9 B	N026°	62°	W07°07'19"		P4 D	N038°	70°		
FC9 C	N022°	64°			P4 E	N034°	56°		
FC9 D	N024°	64°			P10 A	N140°	84°	N41°10'15"	515 m
FC10 A	N022°	68°	N41°03'14"	326 m	P10 B	N140°	84°	W07°43'36"	
FC10 B	N026°	62°	W07°07'21"		P10 C	N128°	80°		
FC10 C	N022°	68°			P10 D	N114°	82°		
FC10 D	N030°	64°			Tan2 A	N180°	46°	N41°10'25"	186 m
FC11 A	N358°	82°	N41°03'02"	365 m	Tan2 B	N182°	44°	W07°44'48"	
FC11 B	N002°	86°	W07°07'19"		Tan2 C	N168°	46°		
FC11 C	N014°	72°			Tan2 D	N172°	48°		
FC11 D	N028°	78°			Tan3 A	N124°	02°	N41°10'26"	186 m
FC12 A	N32°	62°	N41°03'04"	290 m	Tan3 B	N124°	00°	W07°44'48"	
FC12 B	N40°	58°	W07°06'57"		Tan3 C	N124°	00°		
FC12 C	N32°	62°			Tan3 D	N124°	00°		
FC12 D	N30°	60°			Tan6 A	N022°	40°	N41°10'41"	259 m
FC12 E	N28°	64°			Tan6 B	N022°	40°	W07°44'21"	
FC13 A	N20°	72°	N41°02'56"	380 m	Tan6C	N024°	42°		
FC13 B	N20°	68°	W07°07'49"		Tan6 D	N028°	38°		
FC13 C	N339°	68°			Tan7 A	N338°	26°	N41°11'18"	259 m
FC13 D	N334°	69°			Tan7 B	N336°	26°	W07°44'18"	
Euc1 A	N242°	20°	N41°17'56"	420 m	Tan7 C	N332°	16°		
Euc1 B	N240°	12°	W07°02'11"		Tan7 D	N334°	18°		

Tabela 5.3- Coordenada e cota das estações de amostragem e orientação de cada testemunho recolhido em cada estação na Formação de Pinhão.

Amostra	Direção	Inclinação	Coordenada	Cota	Amostra	Direção	Inclinação	Coordenada	Cota
FS1 A	N138°	62°	N41°12'06"	152 m	P8 D	N046°	02°		
FS1 B	N158°	68°	W07°05'08"		P9 A	N018°	14°	N41°11'32"	445 m
FS1 C	N158°	68°			P9 B	N019°	14°	W07°43'38"	
FS1 D	N160°	70°			P9 D	N016°	10°		
FS2 A	N086°	50°			P9 F	N020°	16°		
FS2 B	N119°	62°			P9 H	N016°	10°		
FS2 C	N090°	60°			Pi1 A	N030°	22°	N41°12'42"	166 m
FC15 A	N208°	40°	N41°59'37"	327 m	Pi1 B	N030°	24°	W07°32'25"	
FC15 B	N204°	40°	W07°01'56"		Pi1 D	N032°	26°		
FC15 C	N214°	42°			Pi2 A	N098°	36°	N41°11'50"	138 m
FC15 D	N212°	42°			Pi2 B	N096°	40°	W07°32'34"	
FC15 E	N216°	40°			Pi2 C	N093°	30°		
P1 A	N072°	78°	N41°10'35"	615 m	Pi2 E	N086°	28°		
P1 B	N080°	68°	W07°42'39"		Pi3 A	N118°	14°	N41°12'22"	365 m
P1 C	N080°	72°			Pi3 B	N118°	15°	W07°31'55"	
P1 E	N070°	74°			Pi3 C	N110°	18°		
P3 A	N126°	22°	N41°11'53"	478 m	Pi3 D	N210°	02°		
P3 B	N126°	28°	W07°42'59"		Pi3 E	N010°	28°		
P3 C	N126°	20°			Pi4 A	N292°	06°	N41°11'58"	460 m
P3 F	N126°	24°			Pi4 B	N292°	08°	W07°31'45"	
P5 B	N032°	28°	N41°11'57"	583 m	Pi4 C	N290°	08°		
P5 C	N030°	28°	W07°41'41"		Pi4 D	N290°	08°		
P5 D	N030°	18°			Tan1 A	N010°	30°	N41°12'08"	266 m
P5 E	N030°	16°			Tan1 B	N008°	28°	W07°44'22"	
P6 A	N188°	02°	N41°11'29"	627 m	Tan1 C	N008°	32°		
P6 B	N182°	12°	W07°41'07"		Tan1 D	N006°	42°		
P6 C	N180°	08°			Tan1 E	N006°	44°		
P6 D	N352°	70°			Tan4 A	N034°	48°	N41°12'20"	288 m
P6 E	N346°	70°			Tan4 B	N032°	50°	W07°44'92"	
P7 A	N304°	08°	N41°10'31"	546 m	Tan4 C	N036°	52°		
P7 B	N302°	08°	W07°42'39"		Tan4 D	N038°	50°		
P7 C	N302°	34°			Tan5 A	N119°	10°	N41°11'14"	313 m
P7 D	N302°	04°			Tan5 B	N122°	08°	W07°44'11"	
P8 A	N044°	02°	N41°10'31"	546 m	Tan5 C	N124°	18°		
P8 B	N044°	02°	W07°42'39"		Tan5 D	N124°	18°		
P8 C	N046°	06°			Tan5 E	N126°	18°		

5.6.1- Dados escalares da Formação de Desejosa

Na Formação de Desejosa, a suscetibilidade magnética é típica de um comportamento paramagnético, indicando que não há presença de magnetite e que estes valores são devidos à presença de minerais paramagnéticos com ferro. No entanto, FC9 e FC11 apresentam um comportamento ferromagnético, com valores de 1020 e 1080×10^{-6} SI, respetivamente, o que aponta para a presença de minerais ferromagnéticos. Assim, os valores da suscetibilidade magnética variam entre 217 e 1080×10^{-6} SI (Tabela 5.4). A média da suscetibilidade magnética nesta formação é de 473×10^{-6} SI, sendo o intervalo $[300-400[\times 10^{-6}$ SI o mais representativo em termos de frequência de valores (Figura 5.20).

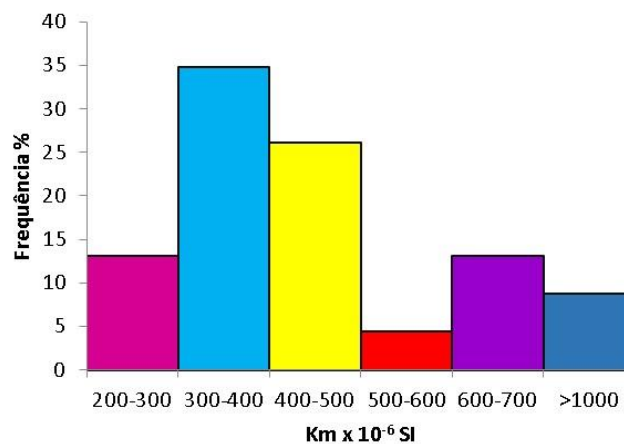


Figura 5.20- Histograma de frequência da suscetibilidade magnética (Km) na Formação de Desejosa.

O valor de P% varia entre 5,4% e 130,7%, sendo o seu valor médio 20,3% (Tabela 5.4).

Pela observação do histograma de frequência, verifica-se que a maior percentagem se encontra no intervalo inferior a 20% (Figura 5.21).

Pelo diagrama $Km \times 10^{-6}$ vs P%, podemos observar que P% aumenta à medida que os valores de Km também aumentam (Figura 5.22).

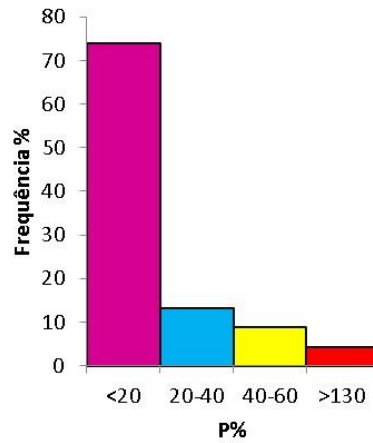


Figura 5.21- Histograma de frequência da anisotropia magnética (P%) na Formação de Desejosa.

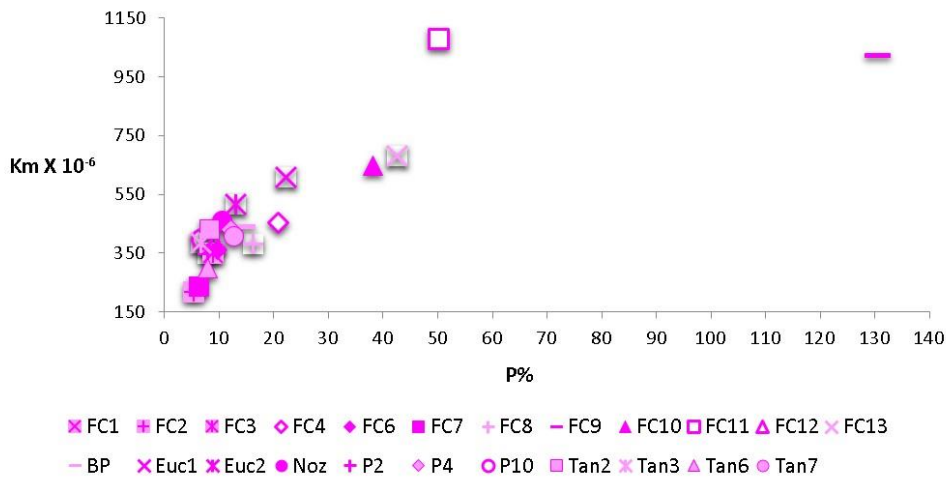


Figura 5.22- Diagrama da suscetibilidade magnética (Km) versus anisotropia magnética (P%) na Formação de Desejosa.

O local de amostragem FC9 apresenta um valor de P% muito elevado (130,7%) comparativamente a todos os outros (Tabela 5.4). Este facto poderá ser justificado pela presença de titanomagnetite e/ou pirrotite, proporcionando uma grande diferença em $K_{máx}$ e $K_{mín}$, levando ao aumento do valor de P%.

O parâmetro T é indicativo da forma do elipsoide de ASM. Assim, o elipsoide é achatado se $0 < T \leq 1$ ou é constricto se $-1 \leq T < 0$. No histograma de frequências verificamos que mais de 90% das 23 estações de amostragem analisadas se encontram no intervalo $[-1, 0[$ (Figura 5.23), o que significa que a forma do elipsoide desta formação é constricta, com exceção de duas estações de amostragem (BP e P4) que possuem elipsoides achatados (Figura 5.24).

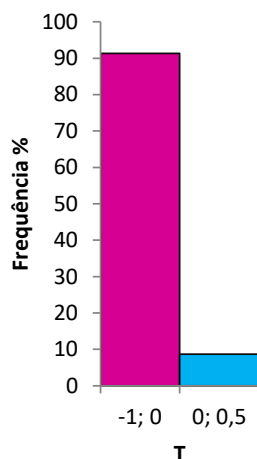


Figura 5.23- Histograma de frequência do parâmetro de forma (T) na Formação de Desejosa.

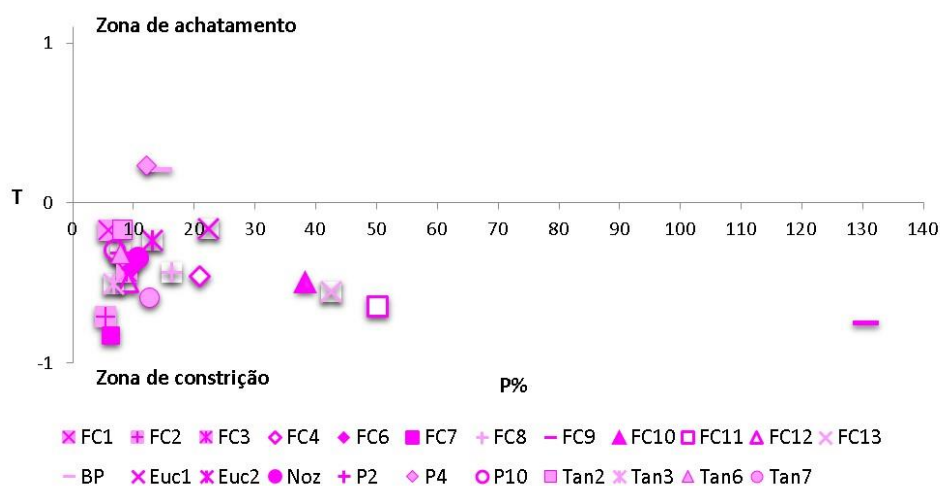


Figura 5.24- Diagrama do parâmetro T versus anisotropia magnética (P%) na Formação de Desejosa.

5.6.2- Dados escalares da Formação de Pinhão

A Formação de Pinhão apresenta uma suscetibilidade magnética típica de um comportamento paramagnético, devido à presença de minerais com ferro. No entanto, três estações de amostragem P1, P8 e Pi4 apresentam um comportamento ferromagnético, com valores de 21800, 5960 e 22800 x 10⁻⁶ SI, respetivamente, indicando a presença de magnetite. Assim, nesta formação a suscetibilidade magnética varia entre 317 e 22800 x 10⁻⁶ SI e apresenta uma média de 3367 x 10⁻⁶ SI (Tabela 5.5), sendo o intervalo [500-600[x 10⁻⁶ SI aquele que apresenta mais frequência de valores (Figura 5.25).

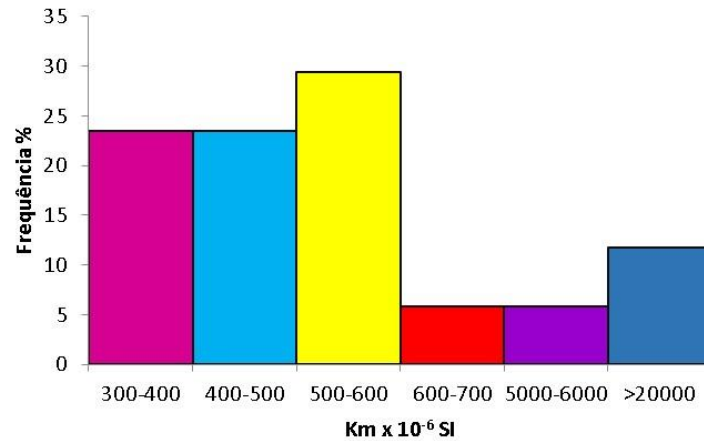


Figura 5.25- Histograma de frequência da suscetibilidade magnética (Km) na Formação de Pinhão.

O valor da suscetibilidade magnética encontrado por Bernardo de Sousa (1981) varia entre $1,0$ e $4,2 \times 10^{-6}$ CGS, variando o valor médio mais frequente entre 2 a $2,5 \times 10^{-6}$ CGS. Estes valores foram medidos com recurso ao equipamento portátil “SM-5, Digital Magnetic Susceptibility Meter”.

O valor de P% varia entre 6,8% e 26,8%, sendo o seu valor médio 16,3% (Tabela 5.5). Pela observação do histograma de frequência, verifica-se que a maior percentagem de amostras se encontra no intervalo 10% - 20% (Figura 5.26).

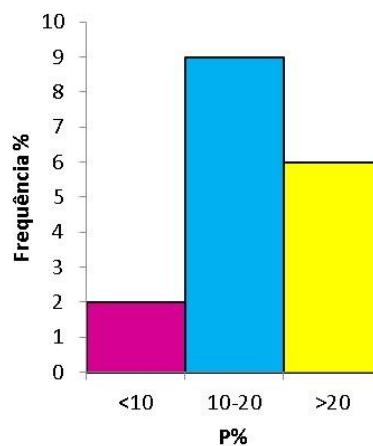


Figura 5.26- Histograma de frequência da anisotropia magnética (P%) na Formação de Pinhão.

Pelo diagrama Km vs P%, podemos observar que não há nenhuma relação direta entre o aumento de P% e o aumento de Km (Figura 5.27). Neste diagrama optou-se

por usar uma base logarítmica para poder projetar amostras com intensidades de Km muito distintas.

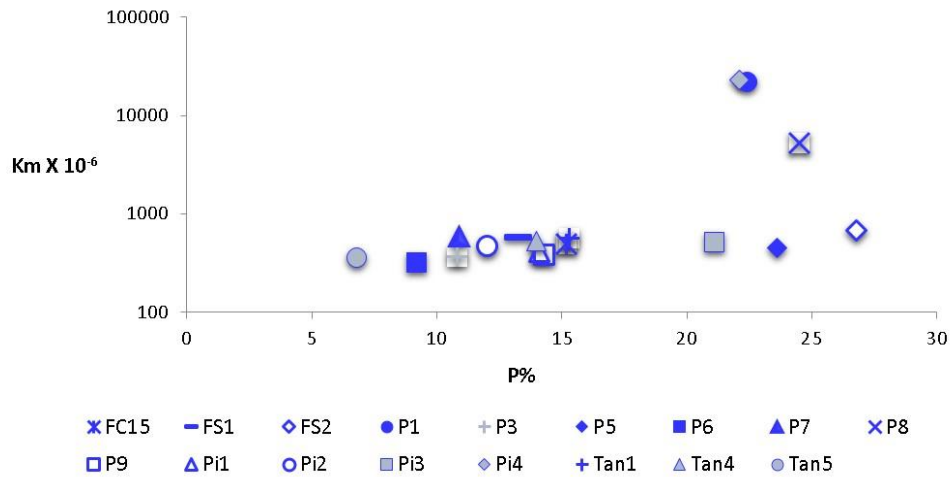


Figura 5.27- Diagrama da suscetibilidade magnética (Km) versus anisotropia magnética (P%) na Formação de Pinhão, em escala logarítmica.

No histograma de frequências verificamos que o intervalo mais representativo do parâmetro T se situa entre [0;1[com cerca de 52% das 17 estações de amostragem analisadas (Figura 5.28), o que significa que a forma do elipsoide desta formação é variável (Figura 5.29).

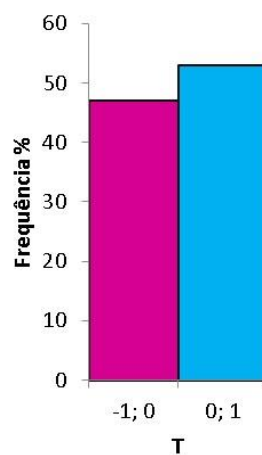


Figura 5.28- Histograma de frequência do parâmetro de forma (T) na Formação de Pinhão.

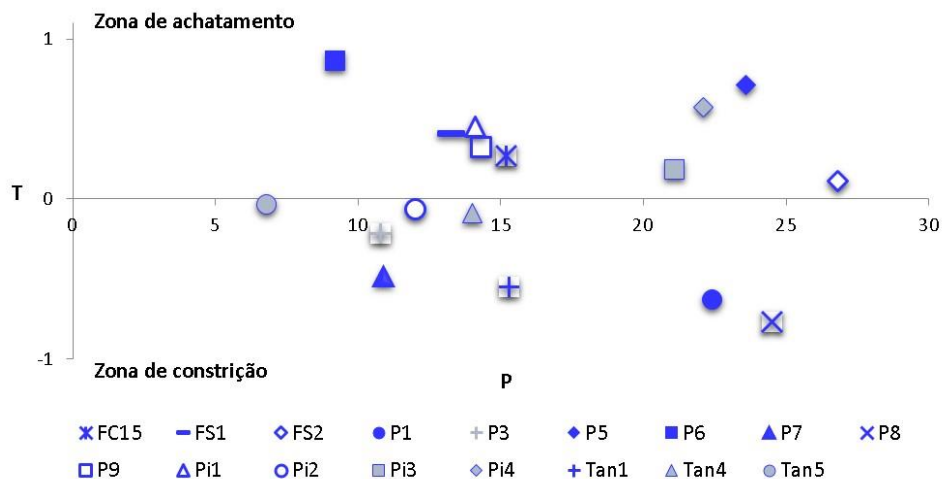


Figura 5.29- Diagrama do parâmetro T versus anisotropia magnética (P%) na Formação de Pinhão.

5.6.3- Dados vetoriais da Formação de Desejosa

O cálculo da média matricial de todas as amostras da estação permite obter as direções médias de K_1 e K_3 , em termos de azimute (relativo ao norte magnético) e inclinação. Define-se assim para cada estação a lineação magnética (paralela à direção de K_1 (Kmax)) e a foliação magnética (plano perpendicular a K_3 (Kmin)). A lineação e foliação magnéticas médias definem o *fabric* magnético.

Os resultados obtidos para a Formação de Desejosa são apresentados na tabela 5.4. Nas figuras 5.30, 5.31, 5.32 e 5.33, estão representados os estereogramas do elipsoide de ASM para cada estação de amostragem.

Os mapas estruturais das lineações magnéticas e os respetivos estereogramas (Figuras 5.34, 5.35, 5.36, 5.37) indicam que as lineações são sub-horizontais, com a maioria das inclinações inferiores a 15° (Tabela 5.4) e com direção WNE-ESE a NW-SE.

Os mapas estruturais das foliações magnéticas e os estereogramas dos polos das foliações magnéticas das figuras 5.38, 5.39, 5.40 e 5.41, assim como a tabela 5.4, mostram que as foliações possuem inclinação sub-horizontal e subvertical e direção NW-SE a E-W.

5.6.4- Dados vetoriais da Formação de Pinhão

Os resultados de K_1 (Kmáx), K_2 (Kint) e K_3 (Kmin), assim como as respetivas lineações e foliações magnéticas da Formação de Pinhão, estão apresentados na

tabela 5.5. Nas figuras 5.30, 5.31, 5.32 e 5.33, estão representados os estereogramas do elipsoide de ASM em cada estação de amostragem.

As lineações magnéticas, representadas nos mapas estruturais e respetivos diagramas, são sub-horizontais, com a maioria das inclinações inferiores a 10° (Tabela 5.5) e com direção WNW-ESSE a NW-SE (Figuras 5.34, 5.35, 5.36, 5.37).

As foliações magnéticas apresentam inclinação variável, sub-horizontal e subvertical, e direção NW-SE a E-W, como se pode verificar na tabela 5.5 e nos mapas estruturais e respetivos estereogramas dos polos das foliações magnéticas das figuras 5.38, 5.39, 5.40 e 5.41.

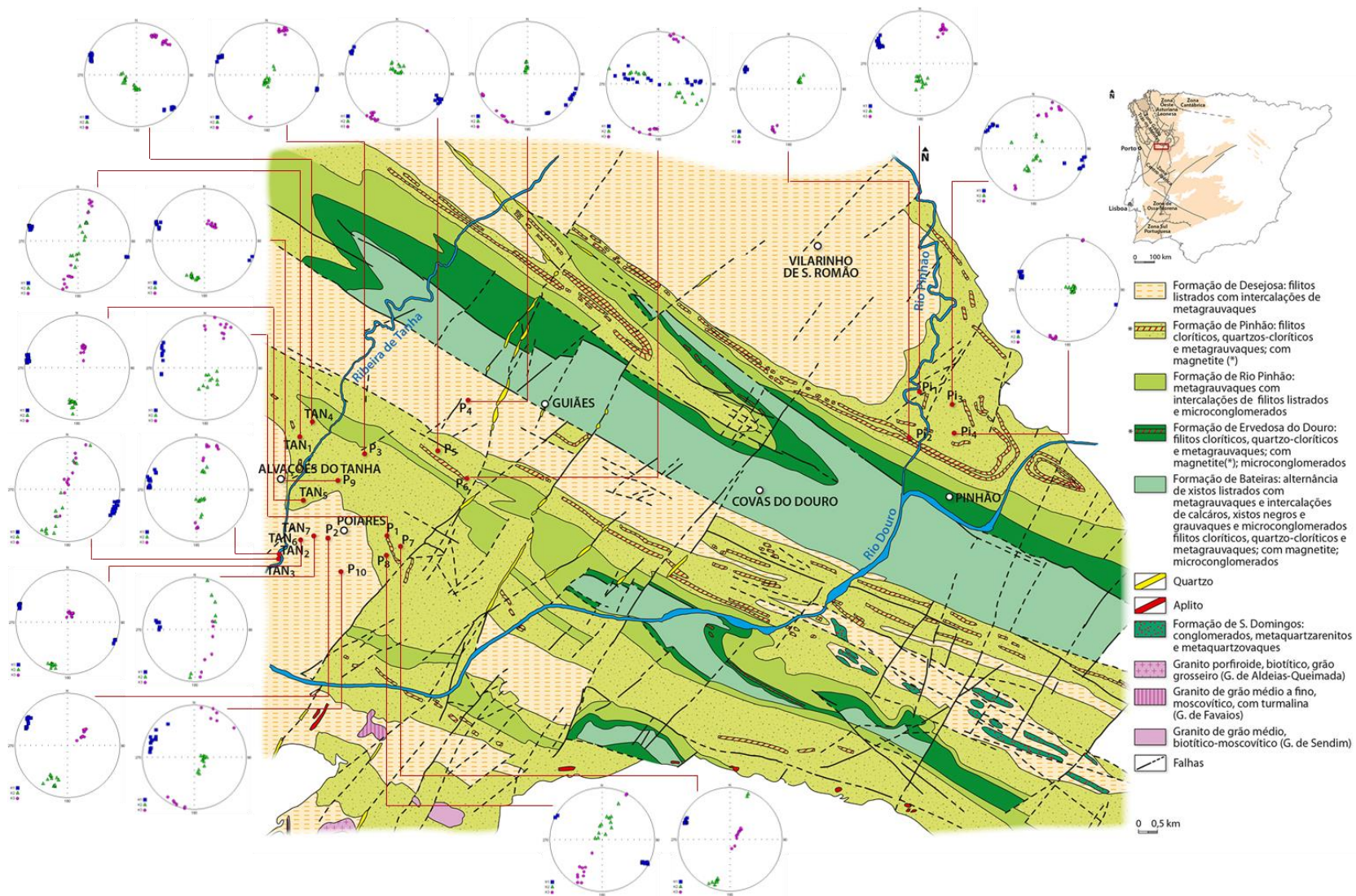


Figura 5.30- Estereogramas de *fábric* magnético de ASM para cada estação de amostragem na área de Peso da Régua (■ Kmax; ▲ Kint; ● Kmin). Mapa baseado na Folha 10-D da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.

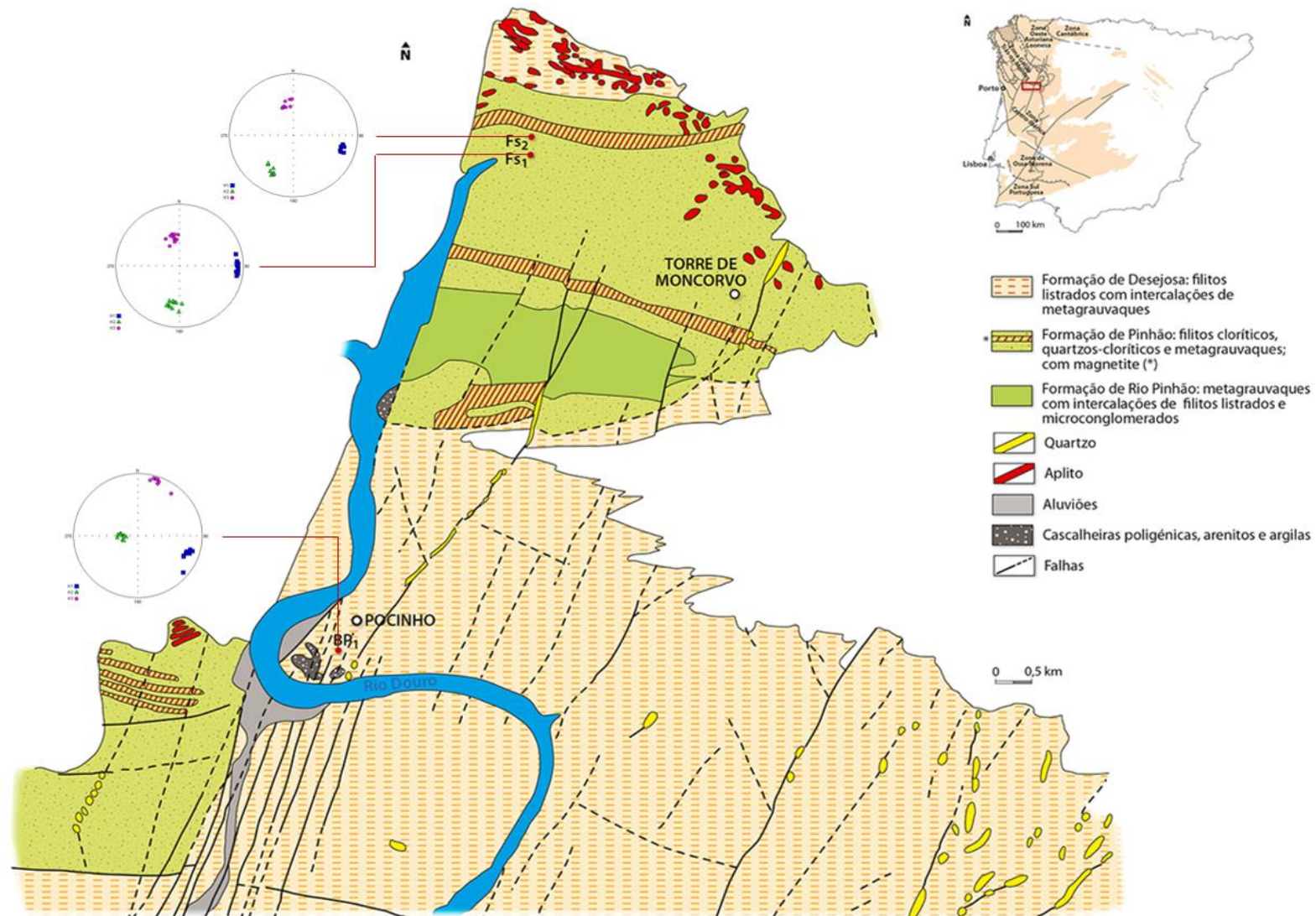


Figura 5.31- Estereogramas de *fabric* magnético de ASM para cada estação de amostragem na área de Torre de Moncorvo (■ Kmax; ▲ Kint; ● Kmin). Mapa baseado na Folha 11-C da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.

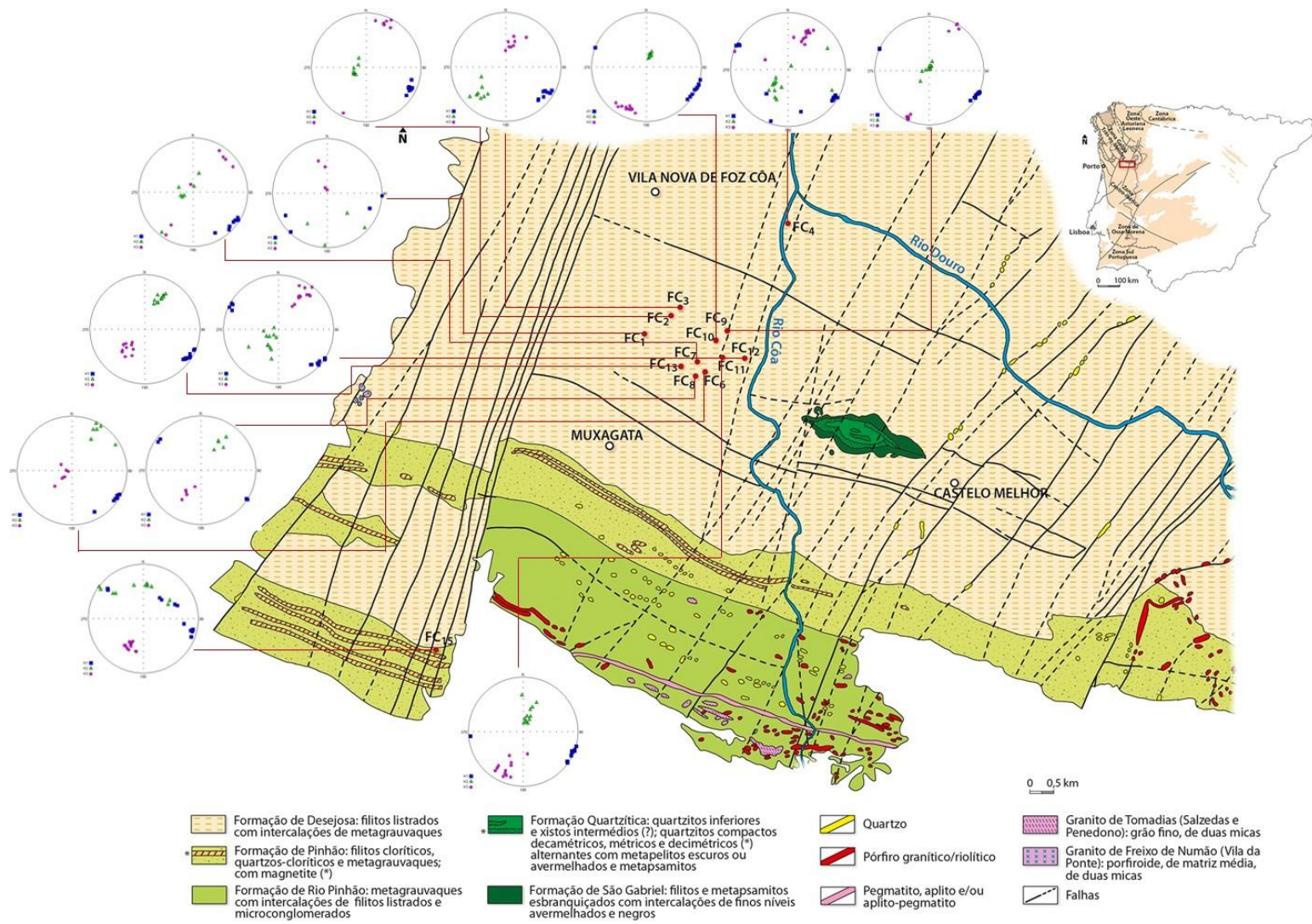


Figura 5.32- Estereogramas de *fabric* magnético de ASM para cada estação de amostragem na área de Vila Nova de Foz Côa (■ Kmax; ▲ Kint; ● Kmin). Mapa baseado na Folha 15-A da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.

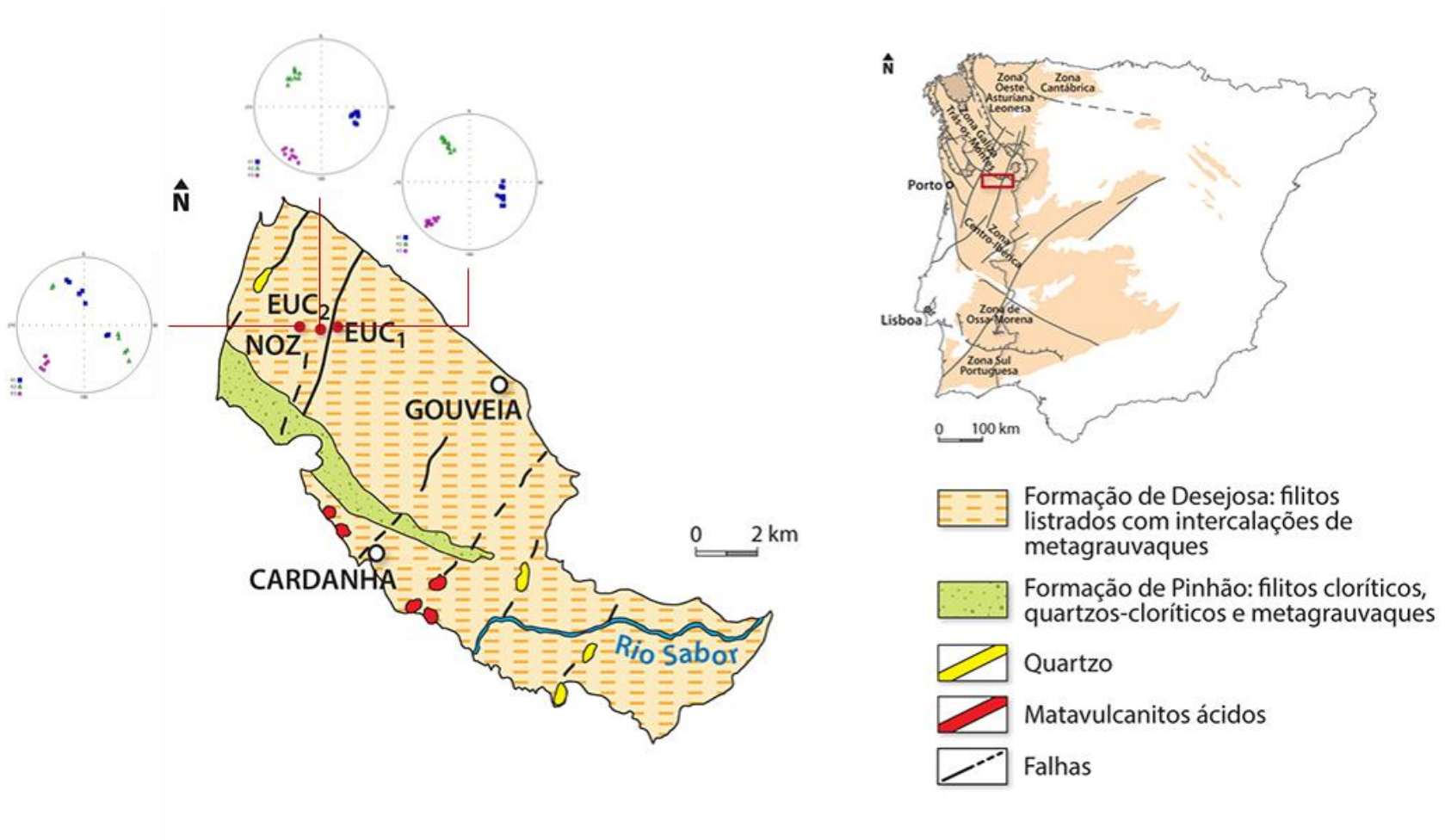


Figura 5.33- Estereogramas de *fabric* magnético de ASM para cada estação de amostragem na área de Eucisia (■ Kmax; ▲ Kint; ● Kmin). Mapa baseado na Folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000.

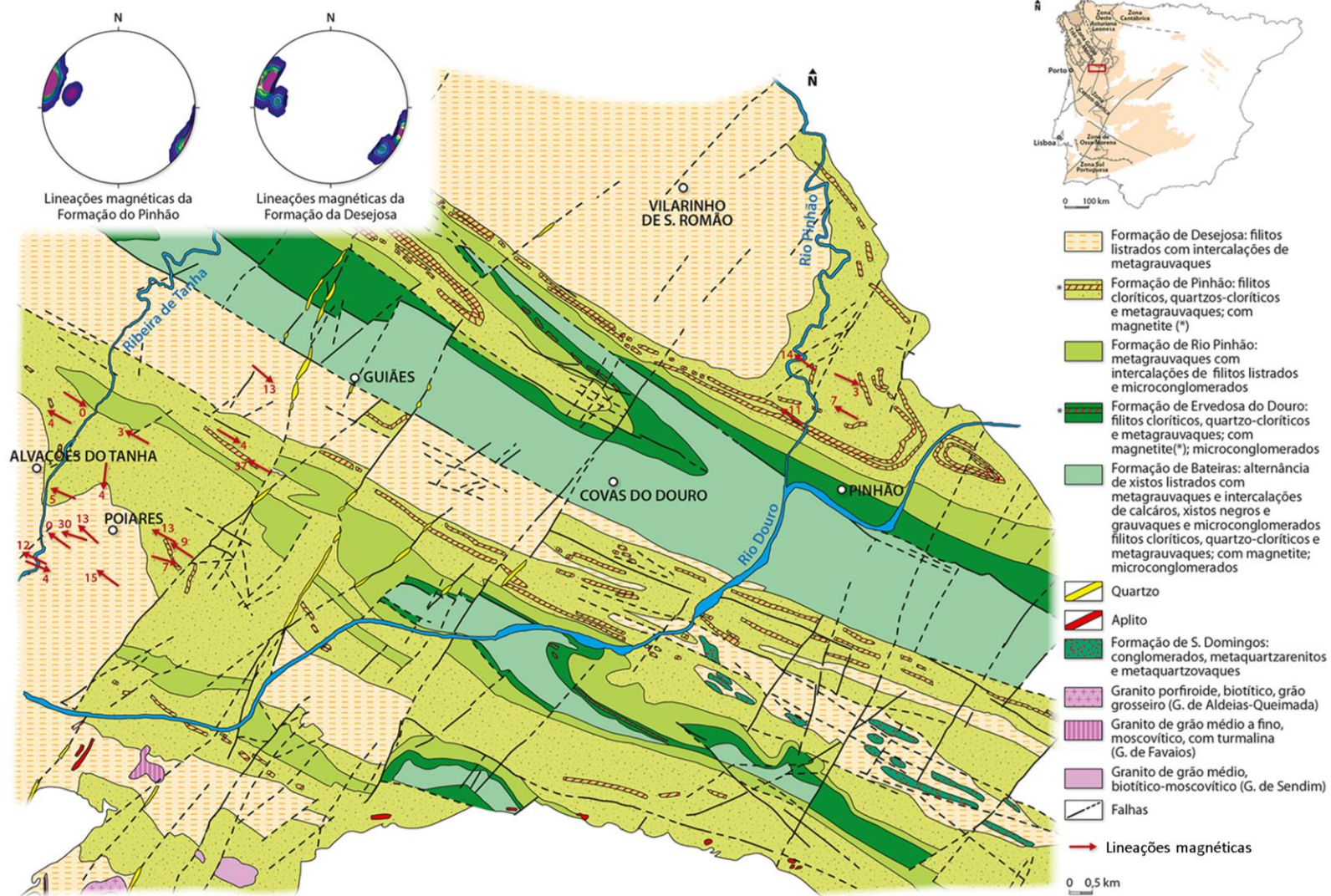


Figura 5.34- Mapa estrutural das lineações magnéticas e respetivas projeções estereográficas, na rede de Schmidt, na área de Peso da Régua. Mapa baseado na Folha 10-D da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.

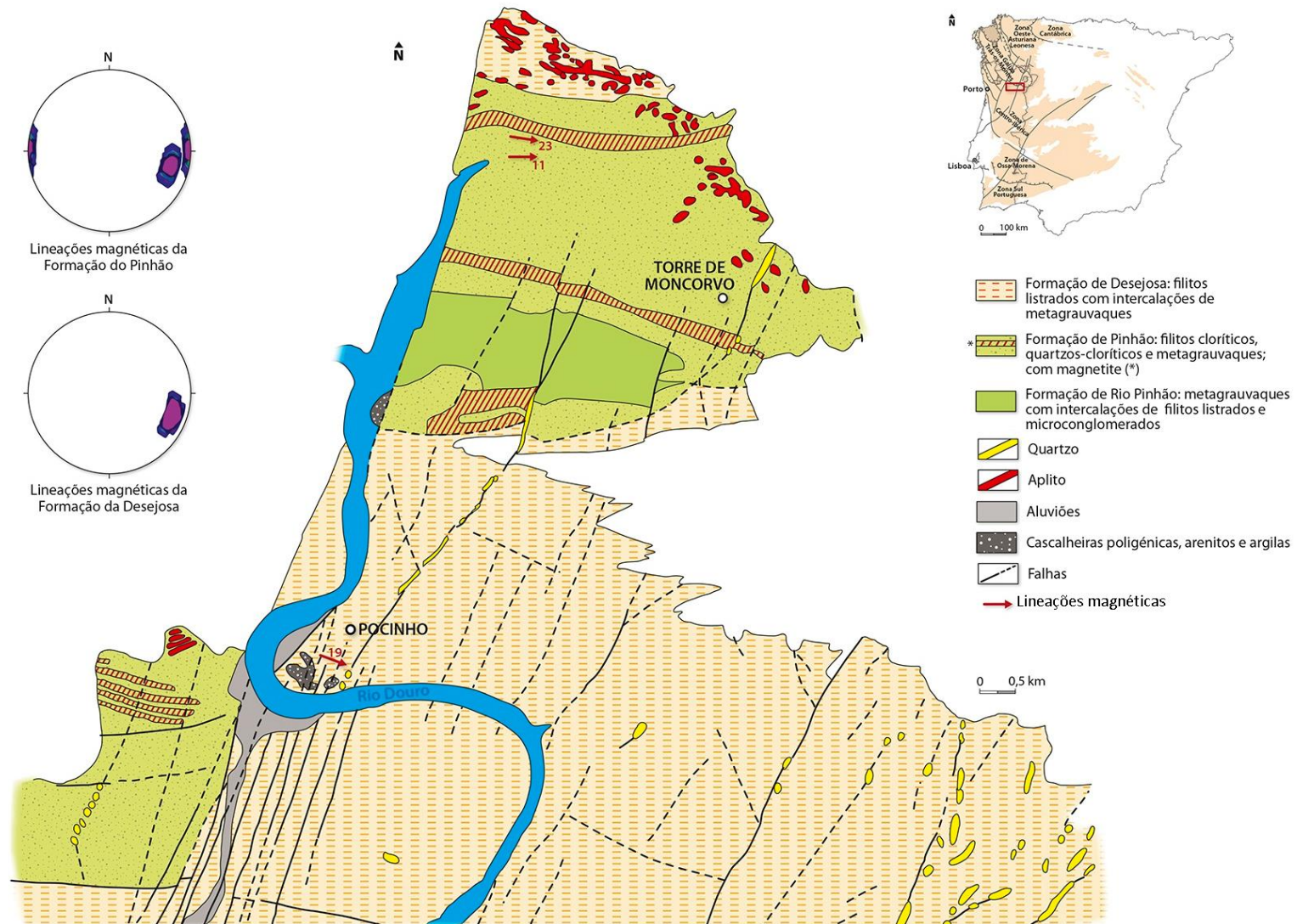


Figura 5.35- Mapa estrutural das lineações magnéticas e respetivas projeções estereográficas, na rede de Schmidt, na área de Torre de Moncorvo. Mapa baseado na Folha 11-C da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.

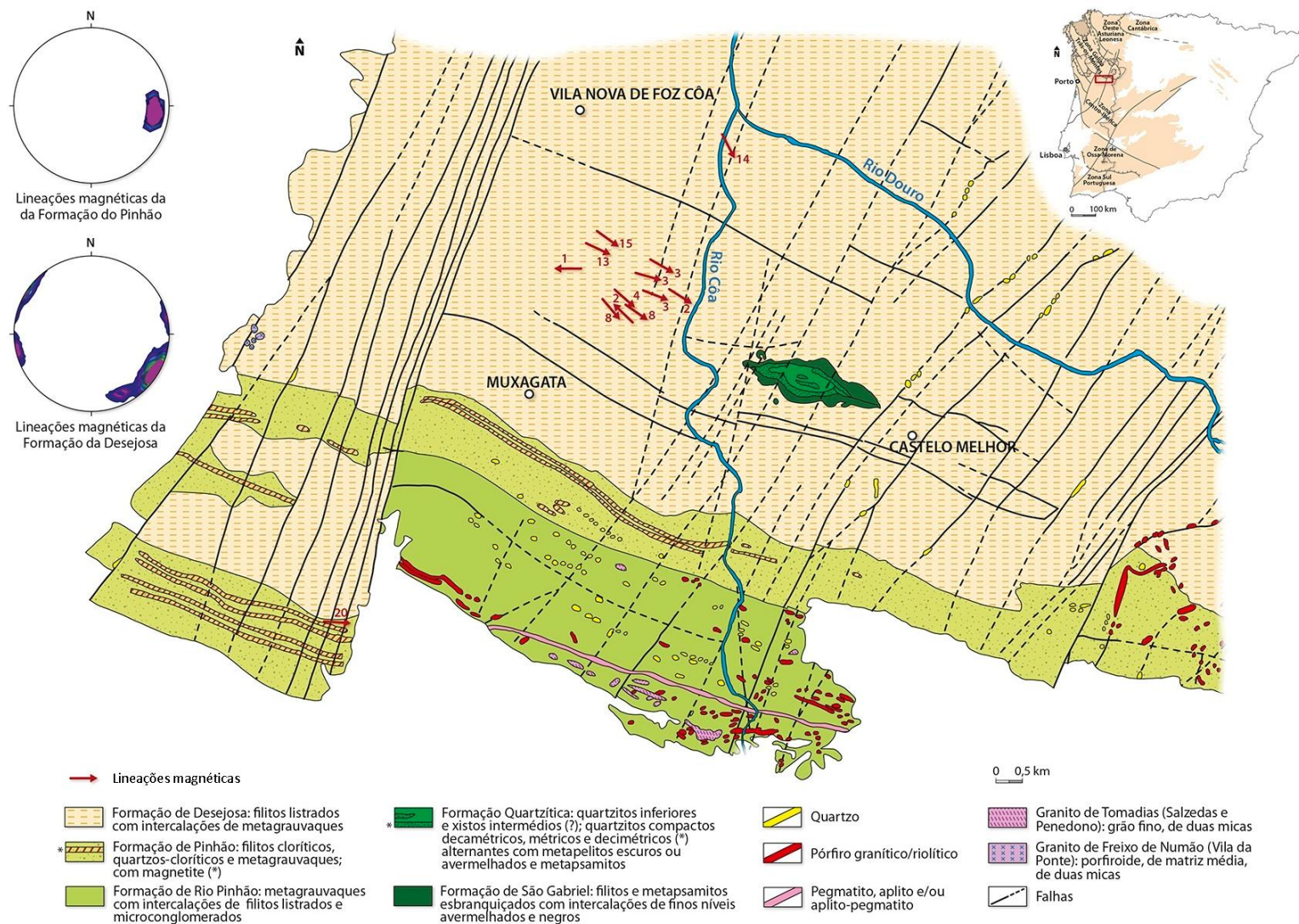


Figura 5.36- Mapa estrutural das lineações magnéticas e respetivas projeções estereográficas, na rede de Schmidt, na área de Vila Nova de Foz Côa. Mapa baseado na Folha 15-A da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.

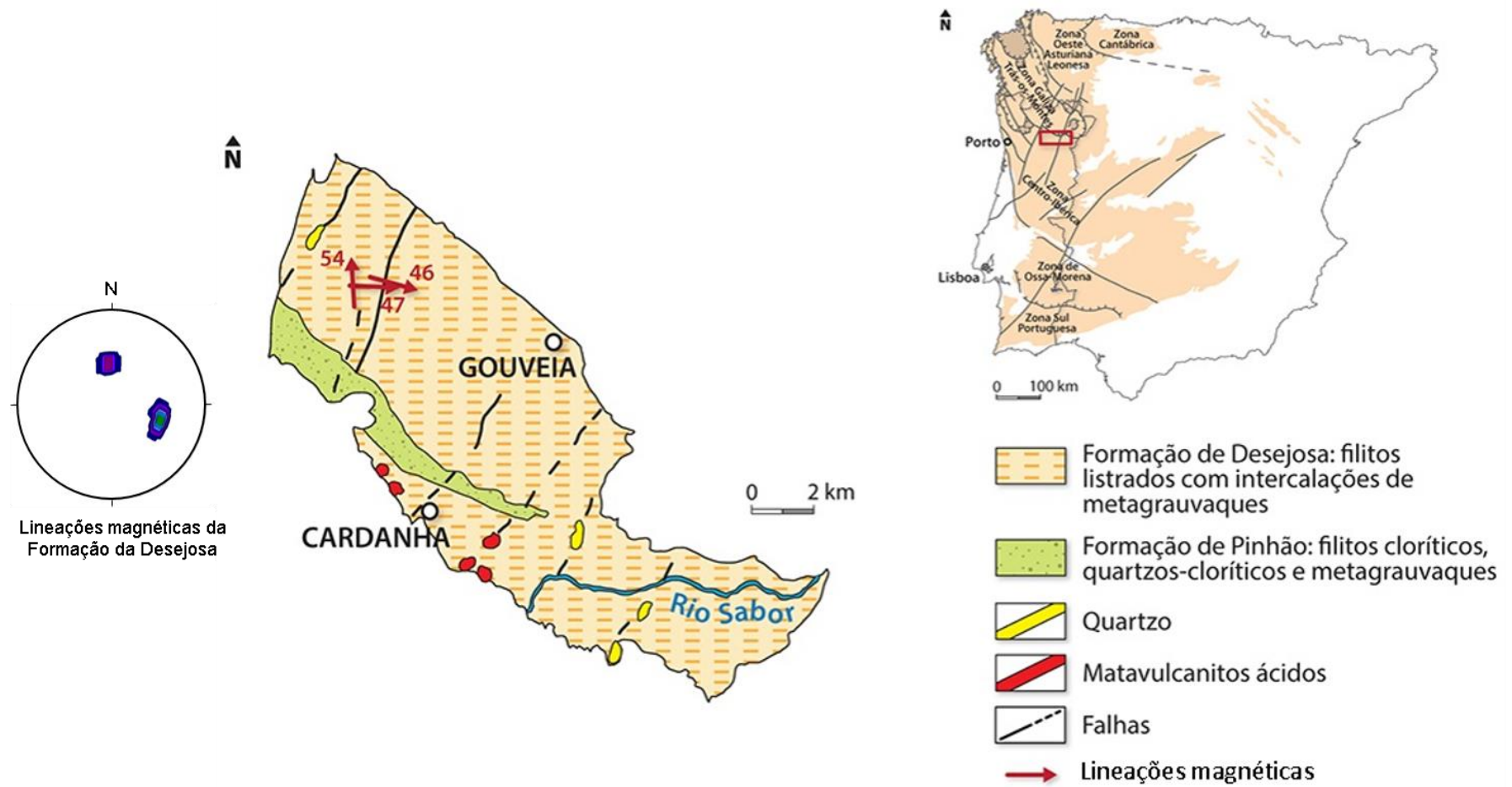


Figura 5.37- Mapa estrutural das lineações magnéticas e respetivas projeções estereográficas, na rede de Schmidt, na área de Eucisia. Mapa baseado na Folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000.

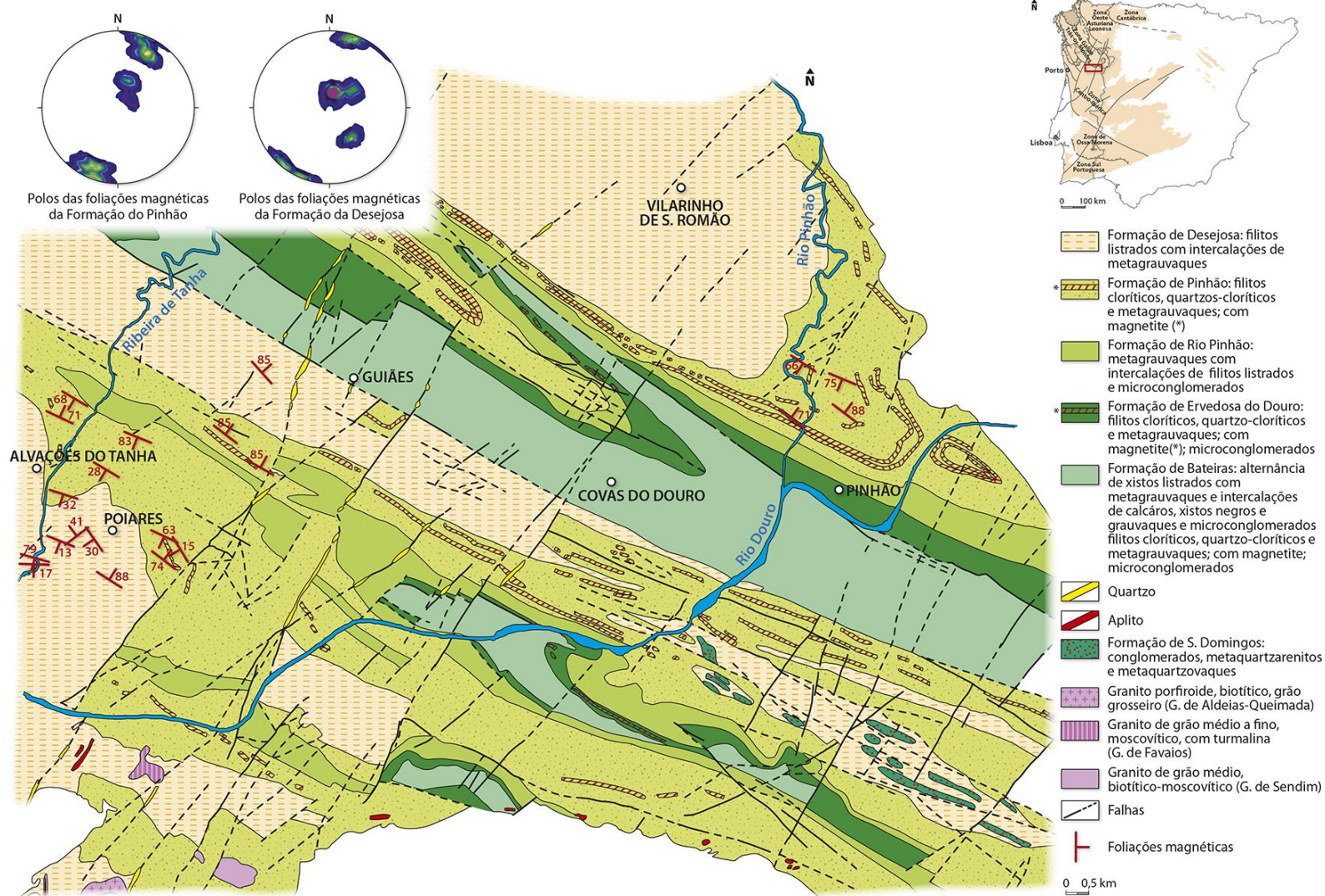


Figura 5.38- Mapa estrutural das foliações magnéticas e respetivas projeções estereográficas, na rede de Schmidt, na área de Peso da Régua. Mapa baseado na Folha 10-D da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.

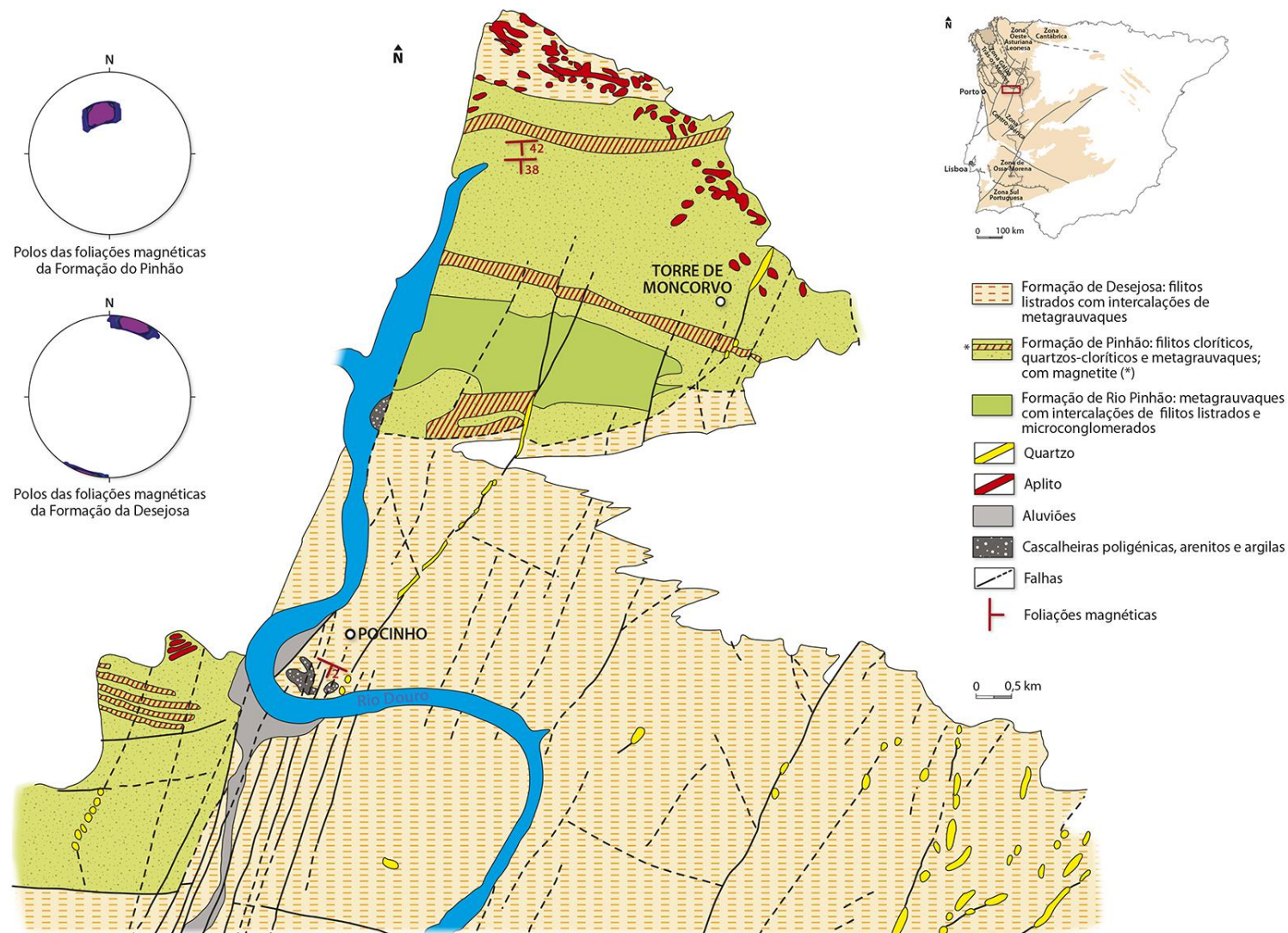


Figura 5.39- Mapa estrutural das foliações magnéticas e respetivas projeções estereográficas, na rede de Schmidt, na área de Torre de Moncorvo. Mapa baseado na Folha 11-C da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.

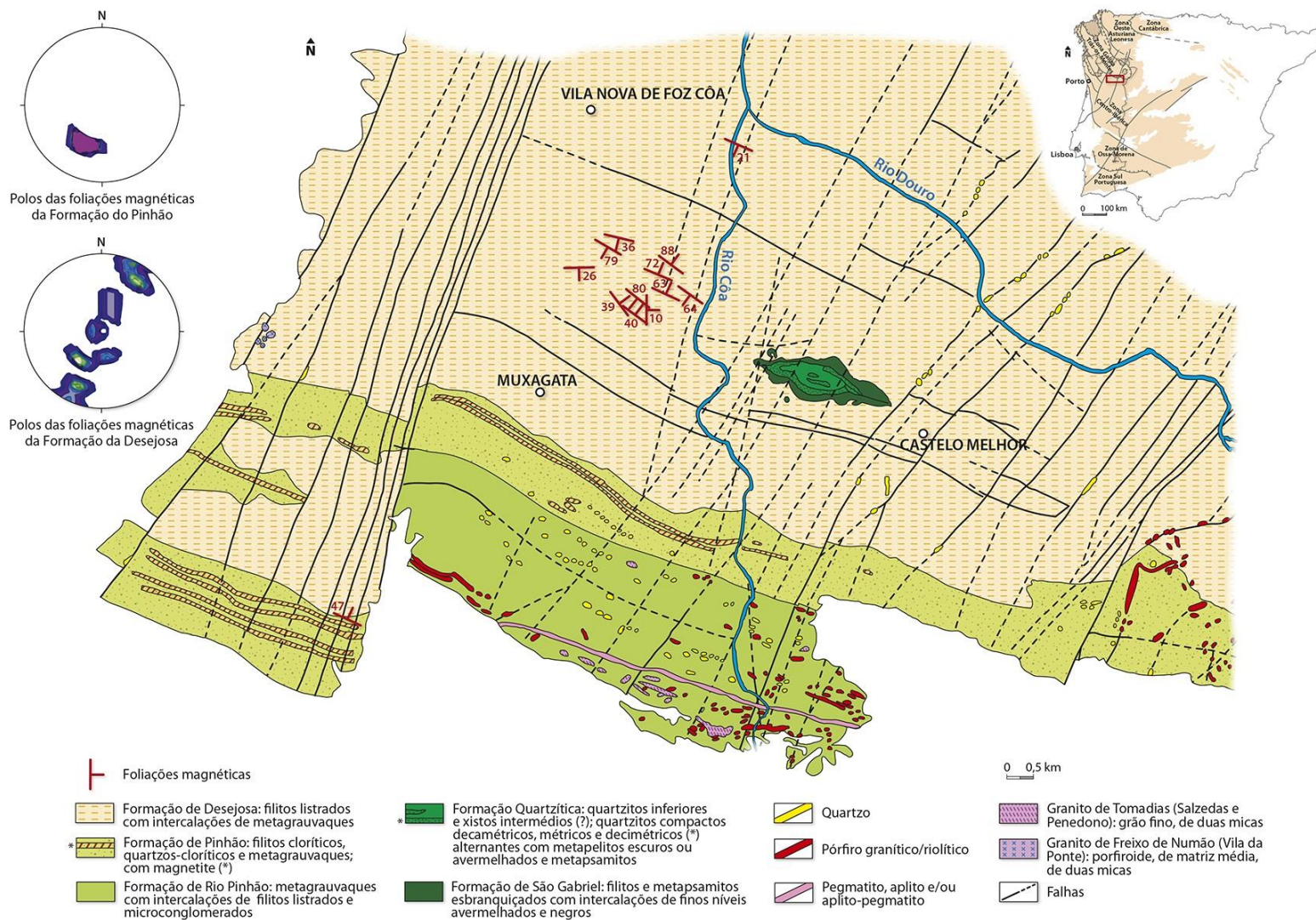


Figura 5.40- Mapa estrutural das foliações magnéticas e respetivas projeções estereográficas, na rede de Schmidt, na área de Vila Nova de Foz Côa. Mapa baseado na Folha 15-A da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.

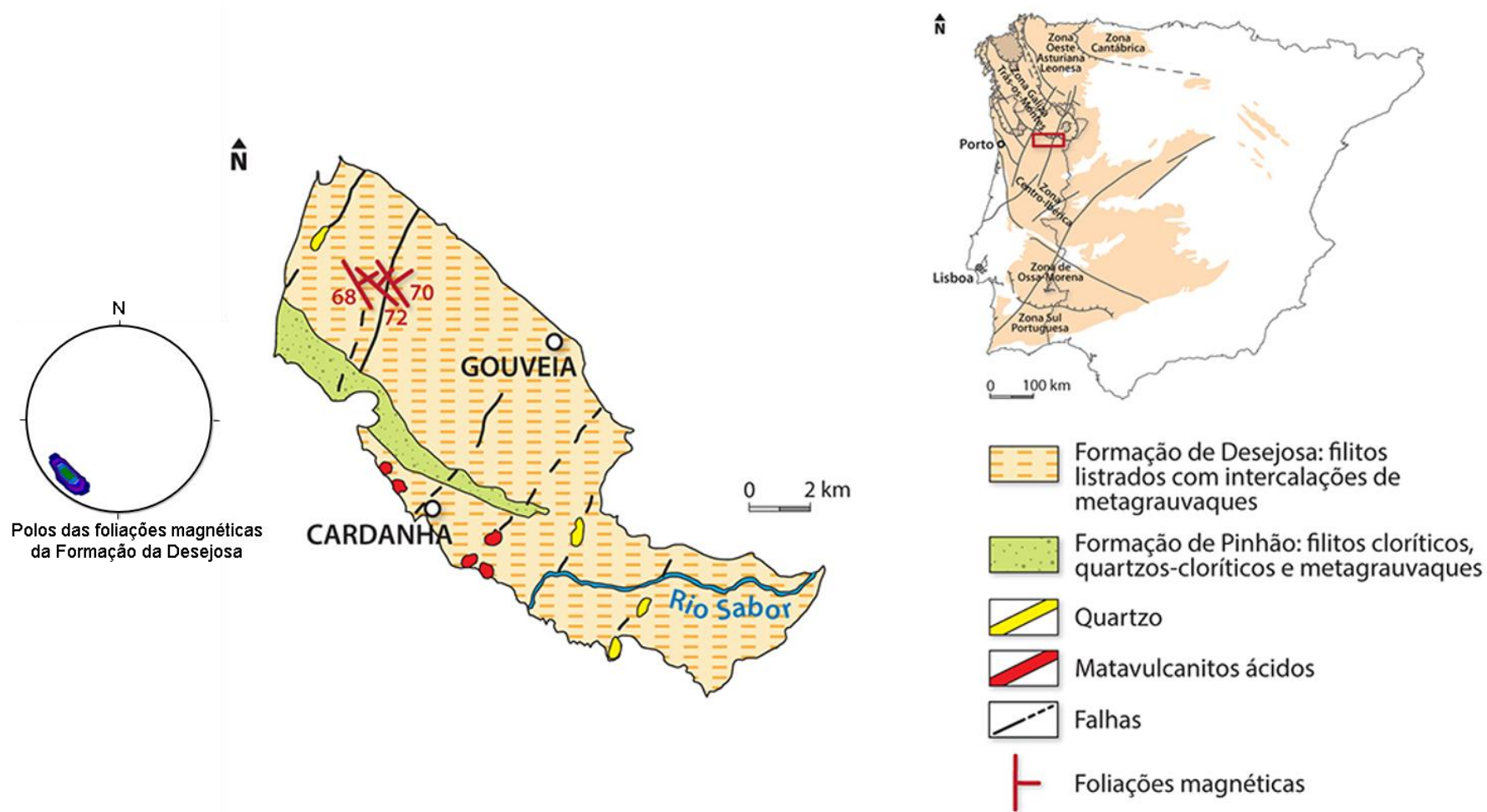


Figura 5.41- Mapa estrutural das foliações magnéticas e respetivas projeções estereográficas, na rede de Schmidt, na área de Eucisia. Mapa baseado na Folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000.

5.6.5- Análise dos dados escalares e vetoriais

Em ambas as formações, os valores da suscetibilidade magnética são típicos de um comportamento paramagnético, devido à presença de minerais com ferro como a biotite e a ilmenite. No entanto, 2 estações na Formação de Desejosa, FC9 (1020×10^{-6} SI) e FC11 (1080×10^{-6} SI), e 3 na Formação de Pinhão, P1 (21800×10^{-6} SI), P8 (5960×10^{-6} SI) e Pi4 (22800×10^{-6} SI), apresentam um comportamento ferromagnético, o que indica a presença de magnetite e/ou pirrotite. A média da suscetibilidade magnética da Formação de Desejosa é de 473×10^{-6} SI e o intervalo mais representativo situa-se entre os valores $[300-400] \times 10^{-6}$ SI. A Formação de Pinhão possui média de suscetibilidade magnética de 3367×10^{-6} SI e o intervalo mais representativo é entre os valores $[500-600] \times 10^{-6}$ SI. Quando comparadas as duas formações, a Formação de Pinhão é a formação com maior suscetibilidade magnética.

O grau da anisotropia magnética é mais elevado na Formação de Desejosa (20,3%), o que indica que esta formação possui deformação mais intensa do que a Formação de Pinhão (16,3%). Na Formação de Desejosa nota-se um crescimento proporcional de P% à medida que Km aumenta, relação que não existe em FP.

O local de amostragem FC9 (FD) apresenta um valor de P% muito elevado (130,7%) comparativamente a todos os outros. Este facto poderá ser justificado devido ao facto de a rocha ter titanomagnetite e/ou pirrotite, o que faz com que haja uma grande diferença na intensidade da suscetibilidade máxima e mínima, levando ao aumento do valor de P%. Para além disso, quando o grau de metamorfismo aumenta, o grau da anisotropia magnética também aumenta (Tarling & Hrouda, 1993).

A forma do elipsoide da Formação de Desejosa é constricta, enquanto na Formação de Pinhão é variável. Os elipsoides constrictos sugerem estruturas em lápis (materializados nos esteios) observadas no campo, que são o resultado da interseção da estratificação e a clivagem, nas zonas de charneira das dobras D1.

As lineações magnéticas correspondem à lineação de interseção (entre a clivagem S1 e a estratificação S0) e apresentam-se semelhantes em ambas as formações, sendo sub-horizontais, mergulhando moderadamente para SE, com direção WNW-ESE a NW-SE. Estes resultados estão de acordo com os registados por Moreira *et al.* (2010a) e Búrcio (2004) nos setores de Peso da Régua e Vila Nova de Foz Côa (Figura 5.42).

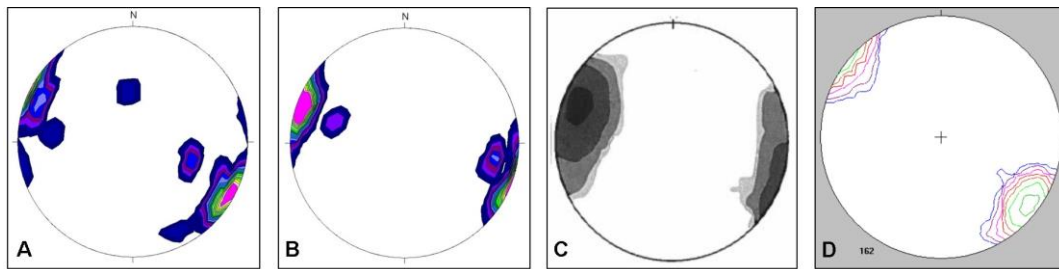


Figura 5.42- Projeções estereográficas, na rede de Schmidt, das lineações magnéticas na Formação de Desejosa (A) e Formação de Pinhão (B) e de pontos referentes a lineações de interseção da estratificação com a clivagem (L1) no setor de Peso da Régua (C) (Moreira *et al.*, 2010a) e no setor de Vila Nova de Foz Côa (D) (Búrcio, 2004).

As foliações magnéticas são paralelas aos planos de clivagem e em ambas as formações exibem inclinação variável, sub-horizontal e subvertical, com direção NW-SE a E-W. Estes dados estão de acordo com os encontrados por Moreira *et al.* (2010a) e Búrcio (2004) nos setores de Peso da Régua e de Vila Nova de Foz Côa, nos trabalhos de campo (Figura 5.43).

Nos locais onde a clivagem não é observada, os polos da foliação magnética (NE-SW) correspondem aos polos dos planos da estratificação (Figura 5.44).

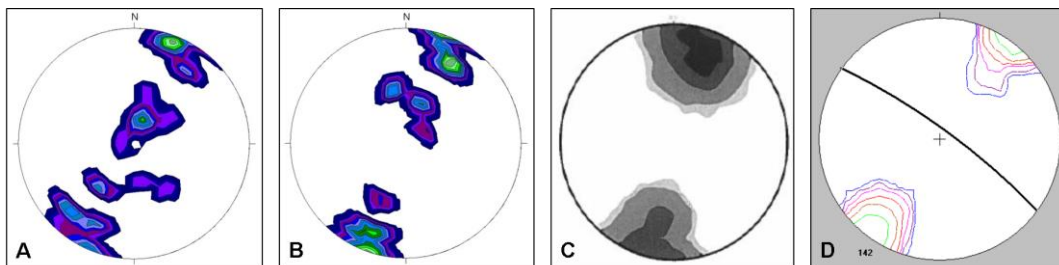


Figura 5.43- Projeções estereográficas, na rede de Schmidt, dos polos das foliações magnéticas na Formação de Desejosa (A) e Formação de Pinhão (B) e de pontos referentes a polos dos planos de clivagem (S1), na rede de Schmidt, no setor de Peso da Régua (C) (Moreira *et al.*, 2010a) e no setor de Vila Nova de Foz Côa (D) (Búrcio, 2004).

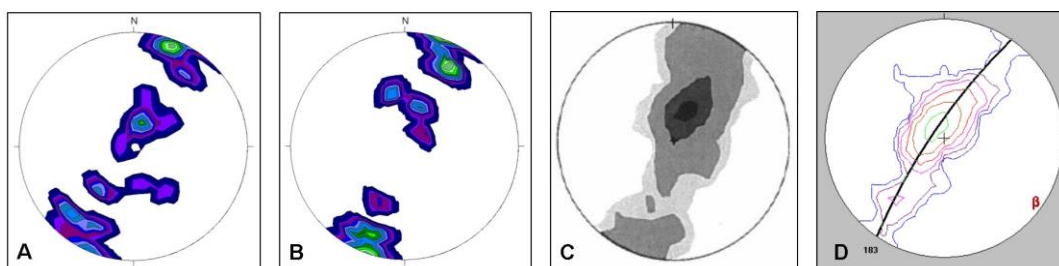


Figura 5.44- Projeções estereográficas, na rede de Schmidt, dos polos das foliações magnéticas na Formação de Desejosa (A) e Formação de Pinhão (B) e de pontos referentes a polos dos planos de estratificação (S0) no setor de Peso da Régua (C) (Moreira *et al.*, 2010a) e no setor de Vila Nova de Foz Côa (D) (Búrcio, 2004).

6- Geoquímica

6.1- Metodologia

O estudo geoquímico foi realizado em 32 amostras: 15 provenientes da Formação de Desejosa e 17 provenientes da Formação de Pinhão. Em cada local de amostragem foram recolhidos cerca de 3 kg de rocha, tendo em conta a fina granulometria das litologias.

A preparação das amostras para análise química iniciou-se pela limpeza das amostras, seguida da sua fragmentação numa prensa hidráulica, com o objetivo de obter frações de dimensão compatível com a abertura do alimentador do moinho de maxilas, onde foram britadas. Depois da homogeneização e quartilhamento, separou-se uma porção, com cerca de 250 g que, posteriormente, foi moída a uma granulometria inferior a 1 mm, num moinho de martelos. Esta quantidade de amostra foi novamente quartilhada, separando-se cerca de 100 g para moer, a cerca de 200 mesh, no moinho de ágata. Por último, extraiu-se cerca de 30 g de amostra para análise química.

As análises químicas de rocha total foram realizadas no *Activation Laboratories Ltd.*, em Ancaster, no Canadá. Os métodos usados foram FUS-ICP (*Fusion-Inductively Coupled Plasma*) para elementos maiores e alguns elementos vestigiais (Sc, Be, V, Sr, Ba, Y, Zr) e FUS-MS (*Fusion-Mass Spectrometry*) para elementos de terras raras (ETR) e Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Rb, Nb, Mo, Ag, In, Sn, Sb, Cs, Hf, Ta, W, Ti, Pb, Bi, Th, U. Os limites de deteção determinados para os diversos elementos são: 0,001% (Mn, Ti); 0,01% (Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, P); 0,05 ppm (Pr, Eu, Tm); 0,04 ppm (Lu); 0,1 ppm (La, Ce, Nd, Sm, Gg, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Ta, TI, Th, U); 0,2 ppm (In, Hf); 0,4 ppm (Bi); 0,5 ppm (Ag, Sb, Cs); 1 ppm (Sc, Be, Co, Ga, Ge, Nb, Sn, W); 2 ppm (Sr, Y, Rb, Mo); 3 ppm (Ba); 4 ppm (Zr); 5 ppm (V, As, Pb); 10 ppm (Cu); 20 ppm (Cr, Ni) e 30 ppm (Zn).

6.2- Geoquímica de Rocha Total

6.2.1- Elementos maiores

Nas tabelas 6.1 e 6.2 são apresentados os resultados das análises químicas de rocha total para elementos maiores das Formação de Desejosa e de Pinhão, respetivamente, assim como os valores mínimos, máximos e médias.

Análise dos resultados de geoquímica de elementos maiores

Ao analisar os resultados da tabela 6.1, podemos verificar que as amostras da **Formação de Desejosa** apresentam teores de SiO_2 superiores a 60%, sendo a amostra FC11 a mais rica em SiO_2 , com valor de 68,77%; pelo contrário, a amostra FC4 é a mais pobre, apresentando excepcionalmente um valor inferior a 60%, com teor de 57,94%. FC11 também é a amostra mais empobrecida em Al_2O_3 (14,74%) e Euc1 a mais enriquecida (19,72%). Os valores de $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ variam entre 3,91% (FC11) e 7,41% (Euc1). Os valores de CaO apresentam-se baixos, compreendidos entre 0,27% (FC12) e 4,73% (FC4) sendo FC4, Tan6 e P4 as amostras com teores mais altos 4,73%, 4,29% e 3,70%, respetivamente. A variação, valores máximos e mínimos, dos elementos MgO, Na_2O e K_2O está compreendida entre 1,31% (FC11) e 2,56% (Euc1) para o MgO, entre 1,56% (Tan2) e 2,60% (FC11) para o Na_2O e entre 2,60% (P4) e 4,65% (XNFC) para o K_2O . Relativamente aos restantes elementos, MnO, TiO_2 e P_2O_5 , as amostras apresentam valores inferiores a 1%.

Relativamente aos resultados da **Formação de Pinhão** (Tabela 6.2), P3 é a amostra mais rica em SiO_2 (65,84%) e a mais empobrecida em Al_2O_3 (16,60%), P6 a menos rica em sílica (57,57%) e FC15 a mais rica em Al_2O_3 (20,88%). $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$, MgO e Na_2O variam entre 5,57% (Pi4) e 8,09% (FS2) para o $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$, entre 1,74% (Pi4) e 2,79% (P7) para o MgO e entre 1,05% (FS2) e 2,24% (Pi1) para o Na_2O . Relativamente a K_2O , os teores variam entre 3,57% (P3 e P7) e 4,73% (P6), ocorrendo este último valor numa das amostras mais ricas em Al_2O_3 . Os restantes elementos MnO, CaO, TiO_2 e P_2O_5 apresentam teores inferiores a 1%.

Na figura 6.1, apresentam-se os diagramas de variação SiO_2 vs Al_2O_3 , Na_2O vs Al_2O_3 e P_2O_5 vs Al_2O_3 relativos à Formação de Desejosa e à Formação de Pinhão. Da sua análise depreende-se que a primeira formação é relativamente mais siliciosa e menos aluminosa. A mesma tendência inversa também se verifica no diagrama Na_2O vs Al_2O_3 . Relativamente a P_2O_5 , a Formação de Desejosa é também a que apresenta valores ligeiramente mais altos (0,11% a 0,20%).

Na figura 6.2 apresentam-se os diagramas de variação $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ vs Al_2O_3 , K_2O vs Al_2O_3 e TiO_2 vs Al_2O_3 relativos à Formação de Desejosa e à Formação de Pinhão. Da sua análise depreende-se que a primeira formação é menos férrica e menos aluminosa relativamente à Formação de Pinhão. A Formação de Desejosa também apresenta valores um pouco mais baixos de K_2O do que a Formação de Pinhão.

Tabela 6.1- Resultados das análises químicas de rocha total para elementos maiores, mínimo, máximo e média da Formação de Desejosa, em %.

		XOFC	XNFC	Euc1	Euc2	Euc2H	Noz	FC4	FC11	FC12	P2	P4	P10	Tan2	Tan6	Tan7	Mínimo	Máximo	Média
SiO₂	%	65,46	63,53	60,35	61,25	61,63	60,4	57,94	68,77	64,42	66,36	63,61	64,11	63,34	62,76	61,01	57,94	68,77	63,17
Al₂O₃	%	15,98	17,54	19,72	17,25	18,39	19,67	16,64	14,74	17,15	15,99	15,88	16,59	17,15	16,23	19,26	14,74	19,72	17,13
Fe₂O₃(T)	%	5,23	5,56	7,41	6,91	7,27	7,02	5,98	3,91	6,27	5,45	6,09	6,52	5,55	5,51	5,45	3,91	7,41	6,09
MnO	%	0,05	0,05	0,08	0,08	0,07	0,08	0,13	0,05	0,05	0,06	0,08	0,06	0,11	0,08	0,05	0,05	0,13	0,07
MgO	%	1,89	1,89	2,56	2,45	2,53	2,27	2,11	1,31	2,23	1,96	2,25	2,20	1,89	2,19	2,27	1,31	2,56	2,12
CaO	%	0,91	0,68	0,28	1,53	0,59	0,47	4,73	1,35	0,27	2,40	3,70	0,62	2,88	4,29	1,20	0,27	4,73	1,57
Na₂O	%	2,14	1,98	1,93	1,95	1,99	1,71	2,22	2,60	2,09	2,27	2,19	1,61	1,56	2,04	1,89	1,56	2,60	2,02
K₂O	%	4,22	4,65	3,78	3,42	3,58	4,31	3,17	3,72	4,28	3,90	2,60	4,19	3,41	3,31	4,42	2,60	4,65	3,79
TiO₂	%	0,78	0,86	0,89	0,88	0,95	0,91	0,82	0,78	0,88	0,79	0,78	0,78	0,82	0,81	0,91	0,78	0,95	0,84
P₂O₅	%	0,13	0,20	0,11	0,12	0,15	0,14	0,13	0,17	0,11	0,16	0,13	0,13	0,13	0,16	0,08	0,11	0,20	0,14
LOI	%	2,92	2,88	3,36	4,37	3,75	3,70	6,36	2,70	3,09	1,34	1,26	2,52	2,73	1,83	2,78	1,26	6,36	3,15
Total	%	99,72	99,82	100,5	100,2	100,9	100,7	100,2	100,1	100,8	100,7	98,58	99,34	99,57	99,2	99,33	98,58	100,9	100,09

Tabela 6.2- Resultados das análises químicas de rocha total para elementos maiores, mínimo, máximo e média da Formação de Pinhão, em %.

		FS1	FS2	FC15	P1	P3	P5	P6	P7	P8	P9	Pi1	Pi2	Pi3	Pi4	Tan1	Tan4	Tan5	Mínimo	Máximo	Média
SiO₂	%	59,94	60,38	57,82	60,75	65,84	60,18	57,57	59,33	58,76	60,69	61,22	58,88	58,98	65,03	61,75	59,29	60,66	57,57	65,84	60,42
Al₂O₃	%	19,93	19,29	20,88	18,93	16,60	19,82	20,49	18,31	20,31	18,52	18,86	20,41	19,39	17,47	19,07	19,35	19,4	16,60	20,88	19,24
Fe₂O₃(T)	%	7,48	8,09	7,65	6,77	5,58	6,85	6,74	7,91	7,11	7,12	5,89	7,01	6,34	5,57	6,70	7,37	5,87	5,57	8,09	6,83
MnO	%	0,08	0,07	0,13	0,05	0,05	0,05	0,05	0,09	0,06	0,07	0,07	0,10	0,09	0,03	0,05	0,08	0,05	0,03	0,13	0,07
MgO	%	2,58	2,77	2,59	2,01	1,91	2,39	2,01	2,79	2,29	2,58	2,01	2,23	2,07	1,74	2,23	2,37	2,22	1,74	2,79	2,28
CaO	%	0,93	0,47	0,24	0,15	0,34	0,24	0,18	0,37	0,14	0,26	0,44	0,38	0,40	0,31	0,42	0,32	0,98	0,14	0,98	0,39
Na₂O	%	1,62	1,05	1,46	1,51	2,04	1,46	1,22	1,82	1,30	1,37	2,24	1,65	2,08	1,90	1,95	1,77	1,91	1,05	2,24	1,67
K₂O	%	4,00	4,31	4,34	4,16	3,57	4,00	4,73	3,57	4,43	3,78	4,08	4,31	4,16	3,92	4,10	3,85	4,37	3,57	4,73	4,09
TiO₂	%	0,89	0,89	0,83	0,85	0,79	0,81	0,97	0,87	0,89	0,89	0,93	0,87	0,92	0,90	0,88	0,88	0,89	0,79	0,97	0,88
P₂O₅	%	0,14	0,14	0,10	0,10	0,10	0,14	0,08	0,11	0,09	0,11	0,10	0,12	0,11	0,09	0,13	0,13	0,17	0,08	0,17	0,12
LOI	%	3,22	3,33	3,87	3,5	2,72	3,87	4,48	3,32	4,03	3,68	3,02	3,53	3,73	3,45	2,98	3,26	4,03	2,72	4,48	3,53
Total	%	100,8	100,8	99,92	98,77	99,55	99,83	98,53	98,5	99,41	99,07	98,87	99,49	98,27	100,4	100,3	98,68	100,5	98,27	100,80	99,51

Relativamente ao TiO_2 a Formação de Pinhão regista valores mais altos quando a alumina é também maior.

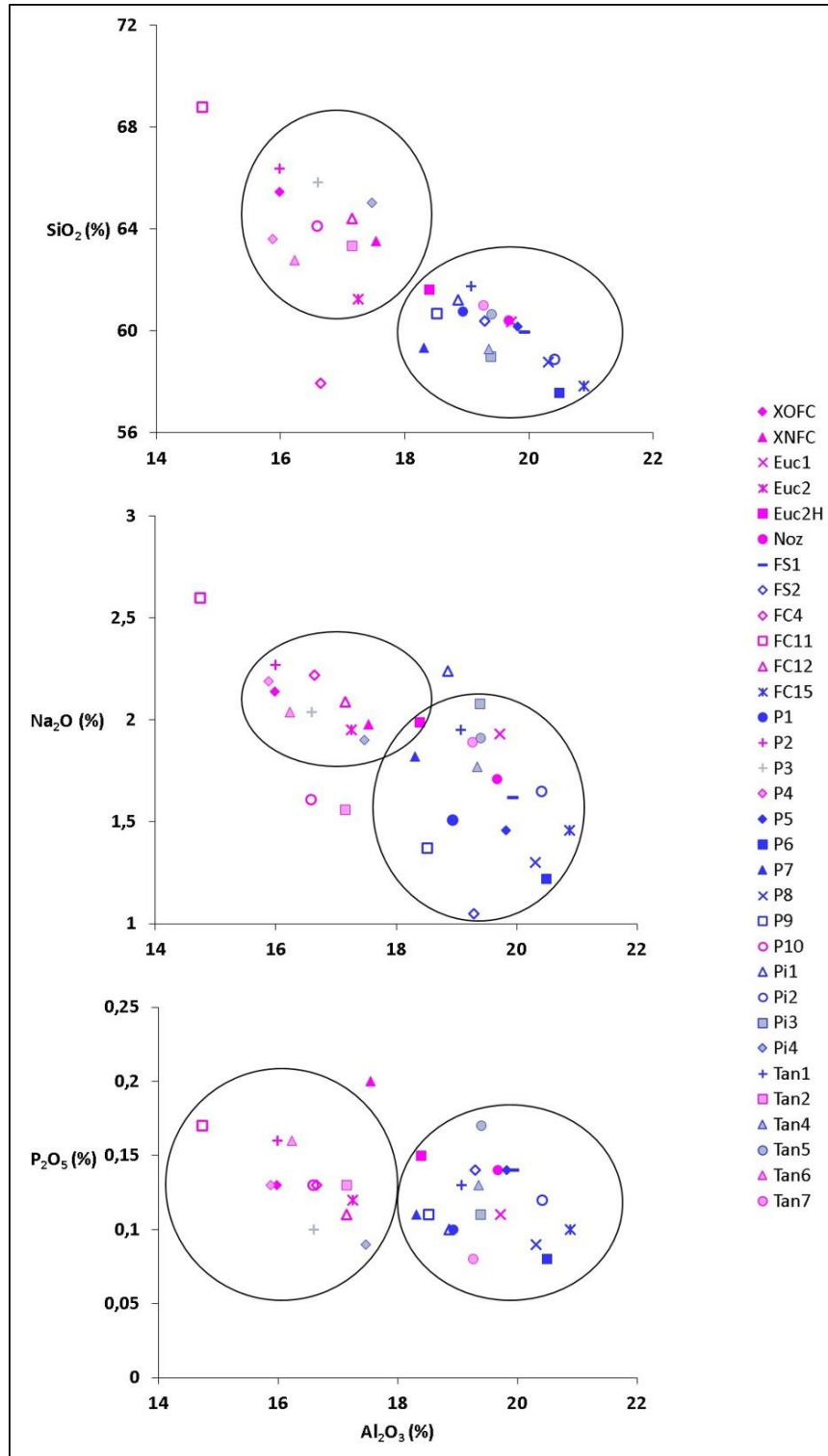


Figura 6.1- Diagramas de variação de SiO_2 , Na_2O e P_2O_5 (%) em função de Al_2O_3 (%). As zonas com maior concentração de amostras em cada uma das formações estão representadas pelos círculos.

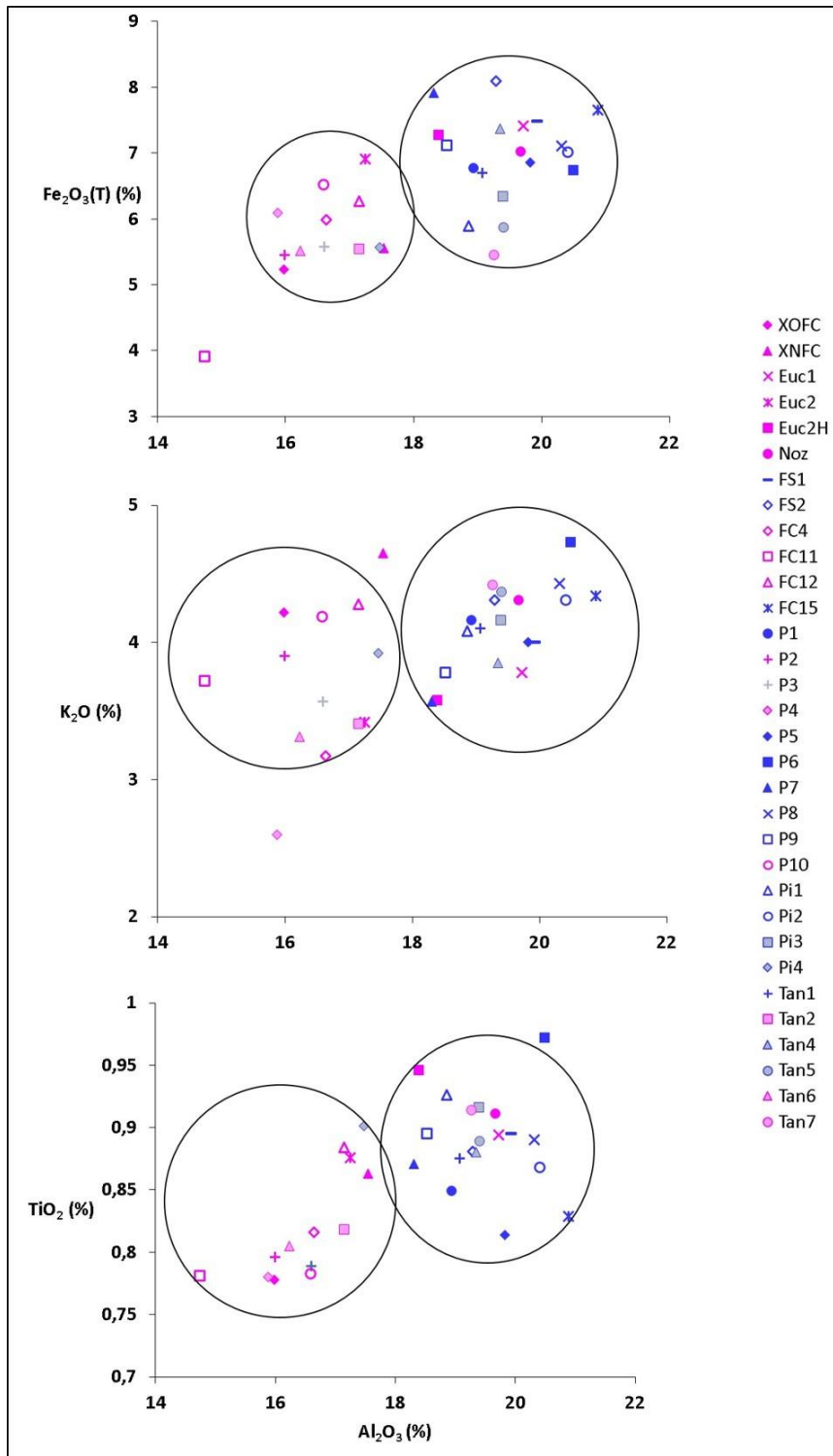


Figura 6.2- Diagramas de variação de Fe_2O_3 , K_2O e TiO_2 (%) em função de Al_2O_3 (%). As áreas com maior concentração de amostras em cada uma das formações estão representadas com círculos.

Na figura 6.3 apresentam-se os diagramas de variação CaO vs Al_2O_3 e MgO vs Al_2O_3 relativos à Formação de Desejosa e à Formação de Pinhão. Da sua análise depende-se que a primeira formação é relativamente mais cálcica e menos

aluminosa, apresentado amostras com valores positivamente anómalos em relação à média. Em relação ao MgO, a Formação de Pinhão regista valores mais altos quando a alumina é também maior. Não é apresentado o diagrama de MnO pois este não se verificou discriminante.

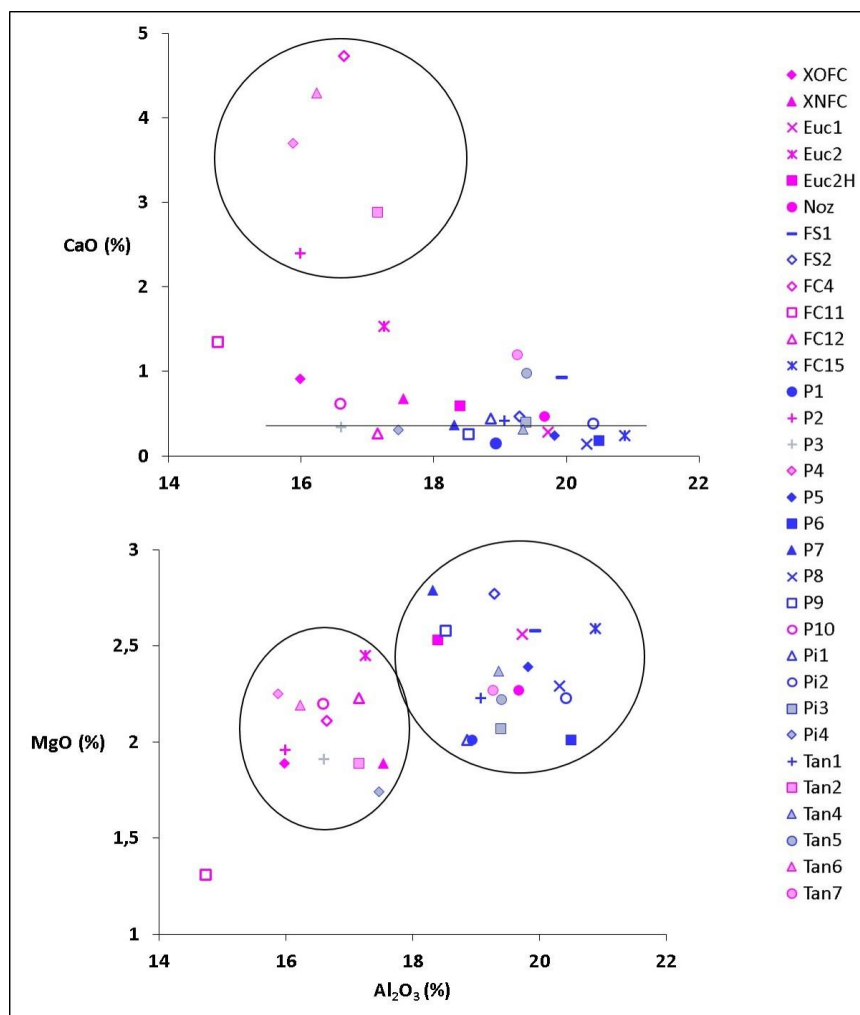


Figura 6.3- Diagramas de variação de CaO e MgO (%) em função de Al₂O₃ (%). No diagrama CaO vs Al₂O₃, as amostras com valores anómalos em CaO relativamente à média estão envolvidas por um círculo, enquanto que a linha representa a tendência dos teores em ambas as formações. No diagrama MgO vs Al₂O₃, os círculos definem zonas de maior concentração de amostras de cada uma das formações.

Apesar das diferenças entre as duas formações, é de salientar que duas amostras da Formação de Pinhão (P3 e Pi4) apresentam teores semelhantes em todos os elementos maiores aos encontrados em amostras da Formação de Desejosa. Por outro lado, amostras consideradas como pertencentes à Formação de Desejosa (Euc1, Euc2H, Noz e Tan7) apresentam valores semelhantes em todos os elementos maiores

aos encontrados em amostras da Formação de Pinhão. Este facto é evidenciado em todos os diagramas e nas tabelas 6.1 e 6.2.

Com o intuito de avaliar o grau de variação geoquímica entre as duas formações, foram realizados diagramas de normalização da média em elementos maiores ao NIBAS (*Neoproterozoic Iberian Average Shale*) (Ugidos *et al.*, 2010) (Figura 6.4) e ao UCC (*Upper Continental Crust*) (Rudnick & Gao, 2014) (Figura 6.5). Na tabela 6.3 são apresentados os teores de elementos maiores encontrados para NIBAS e os valores de normalização das médias das Formações de Desejosa e Pinhão. São também apresentados os valores da média normalizada de amostras do Sistema Central Espanhol (SCE) (área de Guadarrama *in Villaseca et al.*, 2014) e do Câmbrico Inferior. Os valores apresentados para o Câmbrico Inferior foram obtidos através do cálculo da média das amostras desta idade na Zona Centro-Ibérica (Espanha) de Ugidos *et al.*, (2003). Na tabela 6.4 são apresentados os teores médios das formações em estudo, do Sistema Central Espanhol, do Câmbrico Inferior e de NIBAS normalizados aos teores de elementos maiores encontrados para UCC.

Tabela 6.3- Normalização da composição média em elementos maiores ao NIBAS (Ugidos *et al.*, 2010) da Formação de Desejosa, da Formação de Pinhão, Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in Villaseca et al.*, 2014) e do Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003).

	Valores Normalizados				Valores de Normalização
	Formação de Desejosa	Formação de Pinhão	Sistema Central Espanhol	Câmbrico Inferior	NIBAS
SiO₂	1,06	1,02	0,99	0,99	59,47
Al₂O₃	0,99	1,00	1,03	1,03	19,19
Fe₂O₃(T)	0,81	0,92	0,97	0,96	7,39
MnO	1,80	1,76	2,75	1,73	0,04
MgO	0,79	0,84	1,07	1,03	2,71
CaO	5,96	1,33	2,28	1,43	0,29
Na₂O	1,08	0,90	0,67	0,70	1,85
K₂O	1,06	1,14	1,04	1,06	3,59
TiO₂	0,90	0,93	0,90	0,86	0,94
P₂O₅	0,66	0,56	0,48	0,89	0,21

O diagrama de normalização da figura 6.4, indica que as variações mais acentuadas nas duas formações em estudo são o enriquecimento em MnO e CaO, em relação à média dos restantes elementos, assim como o empobrecimento em P₂O₅. Ainda que as médias apresentem valores próximos, tal não se verifica em CaO, que apresenta um teor significativamente mais elevado na Formação de Desejosa. Este facto deve-se à presença, na Formação de Desejosa, de amostras que se revelam positivamente anómalas em CaO (FC4, P2, P4, Tan2 e Tan6), com teores acima de 2% (Figura 6.3). O enriquecimento em MnO e CaO também se verifica nas amostras do Sistema Central Espanhol e do Câmbrico Inferior. À semelhança do que acontece nas Formações de Desejosa e de Pinhão, amostras do Sistema Central Espanhol e do Câmbrico Inferior também apresentam empobrecimento em P₂O₅ e em Na₂O.

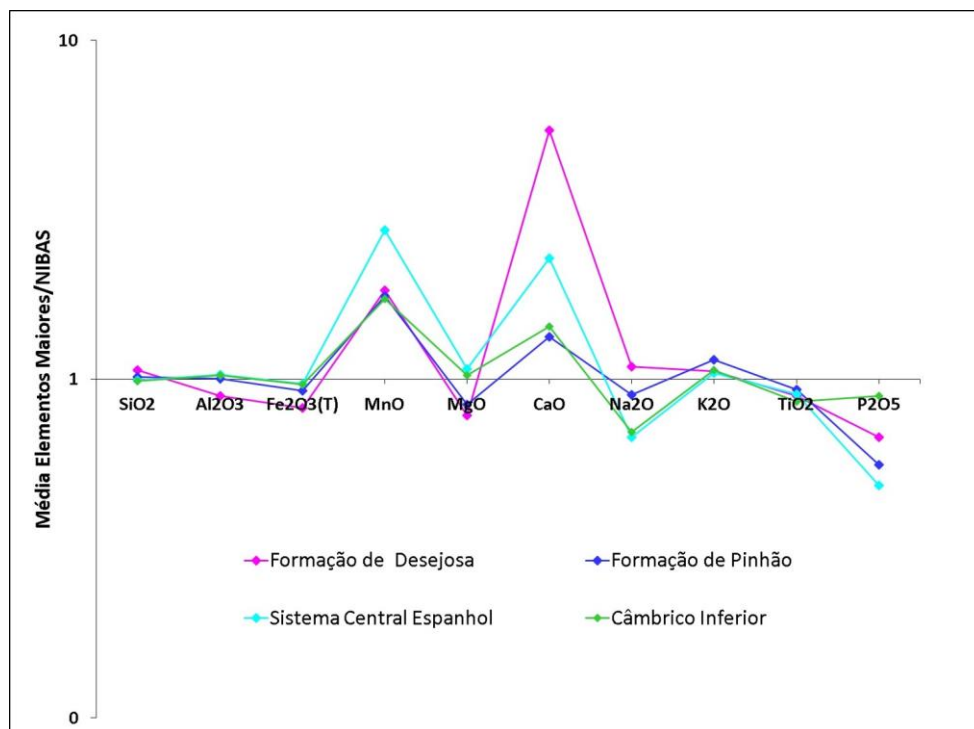


Figura 6.4- Diagrama de normalização da composição média em elementos maiores ao NIBAS (Ugidos *et al.*, 2010), em escala logarítmica, da Formação de Desejosa, da Formação de Pinhão, Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in* Villaseca *et al.*, 2014) e do Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003).

O diagrama de normalização da figura 6.5, indica que as variações mais acentuadas nas duas formações em estudo, comparativamente a UCC são o empobrecimento em MnO e CaO, em relação à média dos restantes elementos.

Tabela 6.4- Normalização da composição média em elementos maiores a UCC (Rudnick & Gao, 2014) da Formação de Desejosa, da Formação de Pinhão, Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in* Villaseca *et al.*, 2014), Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003) e NIBAS (Ugidos *et al.*, 2010).

	Valores Normalizados					Valores de Normalização
	Formação de Desejosa	Formação de Pinhão	Sistema Central Espanhol	Câmbrico Inferior	NIBAS	UCC
SiO ₂	0,95	0,91	0,88	0,88	0,89	66,60
Al ₂ O ₃	1,11	1,25	1,28	1,28	1,25	15,40
Fe ₂ O ₃ (T)	1,21	1,36	1,42	1,41	1,47	5,04
MnO	0,70	0,70	1,10	0,69	0,40	0,10
MgO	0,85	0,92	1,17	1,12	1,09	2,48
CaO	0,44	0,11	0,18	0,12	0,08	3,59
Na ₂ O	0,62	0,51	0,38	0,40	0,57	3,27
K ₂ O	1,35	1,46	1,34	1,36	1,28	2,80
TiO ₂	1,31	1,38	1,33	1,26	1,47	0,64
P ₂ O ₅	0,93	0,80	0,67	1,23	1,37	0,15

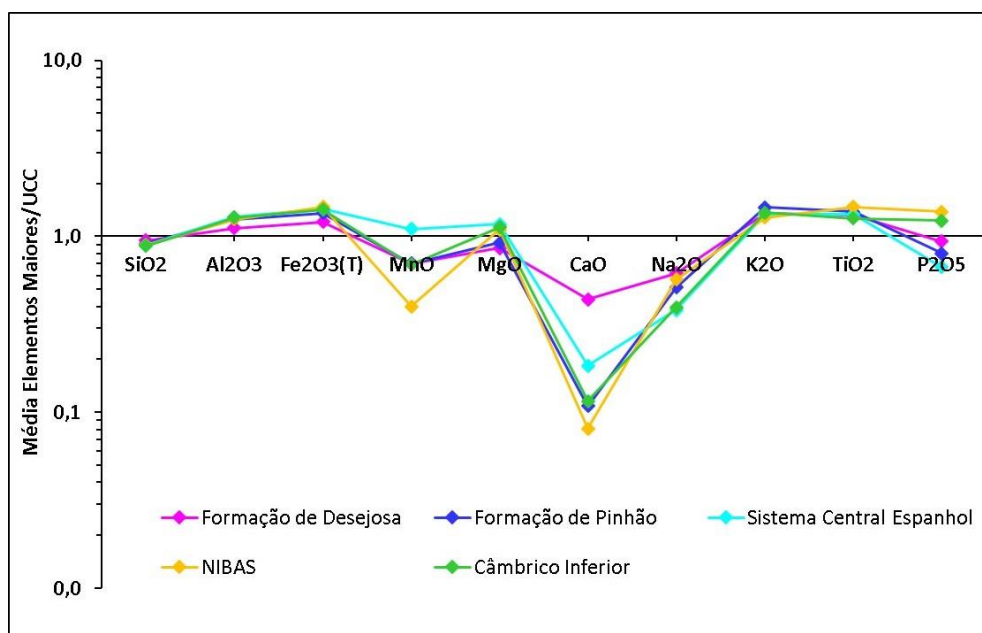


Figura 6.5- Diagrama de normalização da composição média em elementos maiores a UCC (Rudnick & Gao, 2014), em escala logarítmica, da Formação de Desejosa, Formação de Pinhão, Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in* Villaseca *et al.*, 2014), Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003) e NIBAS (Ugidos *et al.*, 2010).

6.2.2- Elementos menores

Nas tabelas 6.5 e 6.6 são apresentados os teores das análises químicas de rocha total para os elementos menores das Formações de Desejosa e de Pinhão, respetivamente, assim como os seus mínimos, máximos e médias.

Análise dos resultados da geoquímica de elementos menores

Relativamente aos teores dos elementos menores da **Formação de Desejosa** (Tabela 6.5), são de salientar os elementos Ba, Zr, Cr, Rb, Zn, Cs, W, Ag e Sr uma vez que os restantes elementos apresentam teores idênticos entre as diferentes amostras e comparáveis à composição da crosta superior (*Upper Continental Crust – UCC*) (Rudnick & Gao, 2014).

O Ba está compreendido entre 601 ppm (Euc2) e 957 ppm (XNFC), Zr entre 146 ppm (Euc1) e 470 ppm (FC11), Cr varia entre 100 ppm (FC4) e 230 ppm (P4), Rb varia entre 136 ppm (FC4 e P4) e 204 ppm (Tan7), o Zn varia entre 50 ppm (FC11) e 100 ppm (Euc1, Euc2 e Euc2H), Cs varia entre 4,8 ppm (Euc2H) e 14,9 ppm (Tan7), o W varia entre 2 ppm (em várias amostras) e 8 ppm (P4), a Ag varia entre 0,5 ppm (Euc1) e 2,1 ppm (FC11) e finalmente o Sr varia entre 119 ppm (Noz) e 374 ppm (FC4).

Em relação aos teores dos elementos menores da **Formação de Pinhão** (Tabela 6.6) são de destacar os do Ba, Cr, Zn, Rb, Ga, Cs, W, Ag e Sr.

O Ba varia de 607 ppm (P7) a 1053 ppm (Pi1), o Cr de 80 ppm (P3) a 140 ppm (FS1, FS2, e Pi1), o Zn de 80 ppm (P3) a 120 ppm (P7), Rb varia entre 168 ppm (P3) a 213 ppm (P1), Ga varia entre 23 ppm (P3) a 29 ppm (P6 e Pi2), o Cs entre 6,6 ppm (FC15) a 14,9 ppm (FS2), W varia entre 2 ppm (em várias amostras) e 9 ppm (P1), a Ag varia entre < 5 ppm (Pi4) e 0,9 ppm (P3) e o Sr varia entre 83 ppm (P6) e 179 ppm (FS1).

Os diagramas de variação Sr vs Al_2O_3 e Zr vs Al_2O_3 da figura 6.6 mostram que as amostras mais empobrecidas em Al_2O_3 são as que se apresentam mais enriquecidas nos elementos Sr e Zr.

Nos diagramas de variação V vs Al_2O_3 e Rb vs Al_2O_3 (Figura 6.7), verifica-se uma correlação positiva, isto é, quanto mais aluminosas, mais ricas são as amostras em V e Rb, permitindo assim uma discriminação entre as amostras da Formação de Desejosa das da Formação de Pinhão.

Tabela 6.5- Resultados das análises químicas de rocha total para elementos menores, mínimo, máximo e média da Formação de Desejosa, em ppm.

	XOFC	XNFC	Euc1	Euc2	Euc2H	Noz	FC4	FC11	FC12	P2	P4	P10	Tan2	Tan6	Tan7	Mínimo	Máximo	Média
Sc ppm	12	14	17	15	16	16	14	10	15	12	13	13	14	13	16	10	17	14,00
Be ppm	3	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	4	3	4	3,53
V ppm	87	92	119	109	114	108	91	66	104	80	86	92	88	82	114	66	119	95,47
Ba ppm	917	957	703	601	633	822	622	791	889	794	604	767	782	809	878	601	957	771,27
Sr ppm	189	193	157	194	162	119	374	236	149	334	271	166	274	322	219	119	374	223,93
Y ppm	30	33	25	28	28	30	31	31	29	26	26	20	26	29	26	20	33	27,87
Zr ppm	274	393	146	179	169	171	161	470	263	255	209	183	200	290	164	146	470	235,13
Cr ppm	130	140	110	110	110	120	100	130	120	160	230	130	190	150	110	100	230	136,00
Co ppm	12	12	16	16	14	15	13	8	15	12	15	10	14	14	6	6	16	12,80
Ni ppm	40	40	40	40	40	40	30	30	30	50	60	30	50	50	20	20	60	39,33
Cu ppm	20	20	30	30	20	20	20	10	20	20	30	40	30	20	10	10	40	22,67
Zn ppm	80	70	100	100	100	90	80	50	90	80	90	80	80	90	70	50	100	83,33
Ga ppm	22	22	27	24	24	26	21	18	24	22	21	23	24	22	25	18	27	23,00
Ge ppm	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	3	2,20
As ppm	< 5	9	9	8	8	10	< 5	7	8	< 5	7	< 5	9	< 5	< 5	7	10	8,33
Rb ppm	164	172	168	151	149	185	136	142	168	178	136	187	155	173	204	136	204	164,53
Nb ppm	11	13	14	14	14	14	12	11	14	16	17	16	16	16	18	11	18	14,40
Mo ppm	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	3	4	2	4	2	2	2	4	2,83
Ag ppm	1,4	1,8	0,5	0,7	0,7	0,8	0,6	2,1	1,3	0,9	0,9	0,7	0,6	0,8	0,7	0,5	2,1	0,97
In ppm	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	*	*	*
Sn ppm	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	4	4	6	4	4	2	6	3,33
Sb ppm	< 0.5	1	< 0.5	< 0.5	0,6	< 0.5	0,5	0,6	1,5	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,5	1,5	0,79
Cs ppm	8,8	6,8	5,9	4,9	4,8	5,1	5,1	8,3	6,3	7,9	7,7	9,2	8,5	10,9	14,9	4,8	14,9	7,67
Hf ppm	6,5	9,2	4,1	4,3	4,3	4,4	4,2	11	6,7	7,1	6,1	5,2	5,5	7,7	5	4,1	11	6,09
Ta ppm	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,2	1,4	1,34
W ppm	3	3	2	2	2	2	2	3	2	7	8	5	7	5	5	2	8	3,87
Tl ppm	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,8	0,7	0,8	0,9	0,6	0,9	0,70
Pb ppm	20	17	8	16	17	20	17	18	18	20	21	25	20	26	17	8	26	18,67
Bi ppm	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	0,4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	0,4	0,4	0,40
Th ppm	16,9	20,7	17,2	16,7	17,5	17,5	14,9	21,4	18,5	15,3	15,3	15,2	15,4	17,1	15,1	14,9	21,4	16,98
U ppm	6,5	6,9	3,5	3,1	3,1	3,6	2,6	5,5	4,4	3,1	2,7	2,8	3	2,9	3,9	2,6	6,9	3,84

* Sem significado

Tabela 6.6- Resultados das análises químicas de rocha total para elementos menores, mínimo, máximo e média da Formação de Pinhão, em ppm.

	FS1	FS2	FC15	P1	P3	P5	P6	P7	P8	P9	Pi1	Pi2	Pi3	Pi4	Tan1	Tan4	Tan5	Mínimo	Máximo	Média
Sc ppm	16	15	18	15	12	17	18	16	17	16	15	17	16	14	15	16	17	12	18	15,88
Be ppm	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	5	4,06
V ppm	106	101	116	104	79	110	126	104	115	105	106	109	106	96	99	111	116	79	126	106,41
Ba ppm	782	724	801	810	701	634	837	607	755	639	1053	921	780	716	795	726	1025	607	1053	782,71
Sr ppm	179	120	102	115	142	91	83	153	99	93	165	169	150	110	128	130	177	83	179	129,76
Y ppm	28	28	26	24	20	28	30	30	24	27	28	28	26	19	30	26	27	19	30	26,41
Zr ppm	157	149	117	168	221	149	197	165	158	157	168	158	169	275	162	152	151	117	275	169,00
Cr ppm	140	140	100	100	80	100	110	110	100	110	140	130	100	90	110	110	100	80	140	110,00
Co ppm	16	16	15	15	10	9	11	18	16	9	14	18	15	13	14	16	10	9	18	13,82
Ni ppm	40	50	40	40	30	40	40	50	40	40	40	50	40	40	40	50	30	30	50	41,18
Cu ppm	30	30	30	20	20	30	20	50	20	20	20	30	20	20	20	20	20	20	50	24,71
Zn ppm	100	110	110	100	80	110	100	120	100	100	110	110	100	90	100	100	90	80	120	101,76
Ga ppm	26	25	29	27	23	28	29	27	28	26	28	29	27	25	25	27	26	23	29	26,76
Ge ppm	2	2	2	3	2	2	2	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	2	3	2,53
As ppm	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	9	24	< 5	< 5	21	< 5	< 5	< 5	< 5	6	< 5	13	6	24	14,60
Rb ppm	179	199	173	213	168	180	197	177	212	175	174	199	197	184	169	183	202	168	213	187,12
Nb ppm	14	14	13	18	17	16	18	18	19	18	18	17	19	19	13	18	17	13	19	16,82
Mo ppm	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	2	2	2,00
Ag ppm	0,6	0,7	0,6	0,7	0,9	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	< 0,5	0,5	0,8	0,7	0,8	0,6	0,5	0,5	0,9	0,66
In ppm	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	*	*	*
Sn ppm	3	3	3	4	3	5	5	4	4	4	5	4	4	4	3	4	5	3	5	3,94
Sb ppm	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,8	0,8	0,7	0,8	1,1	0,9	0,9	0,7	0,8	0,9	0,9	< 0,5	0,8	0,7	0,7	1,1	0,83
Cs ppm	11,3	14,9	6,6	10	7,7	8,3	9,8	9,4	10,3	7,2	7	8,7	9,4	9,1	8	7,3	14,2	6,6	14,9	9,36
Hf ppm	3,9	3,7	3,2	5	6,3	4,8	5,7	5,3	4,7	4,8	4,8	4,6	5,2	7,5	4,2	4,7	4,6	3,3	7,5	4,88
Ta ppm	1,4	1,3	1,4	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,5	1,5	1,7	1,4	1,5	1,5	1,3	1,7	1,48
W ppm	2	3	2	9	5	5	6	5	5	5	6	6	6	4	3	6	8	2	9	5,06
Tl ppm	0,8	0,9	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,9	0,78
Pb ppm	21	17	20	17	17	15	16	15	20	24	11	14	25	23	21	22	14	11	25	18,35
Bi ppm	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,6	< 0,4	0,6	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,8	< 0,4	0,4	< 0,4	0,4	0,8	0,6
Th ppm	16,8	15,9	16,7	16,7	15	16,3	17,1	16,6	17,6	17,3	18	17,6	17,3	18,4	17	17,3	16,5	15	18,4	16,95
U ppm	3,4	3,3	3,2	2,4	2,9	3,5	4	2,6	2,7	3,3	2,6	3,3	3,2	2,7	3,3	3,2	3,1	2,4	4	3,1

* Sem significado

Sendo a Formação de Pinhão mais aluminosa e mais enriquecida nestes elementos, estes dados vêm comprovar que esta formação tem uma maior componente argilosa do que a Formação de Desejosa.

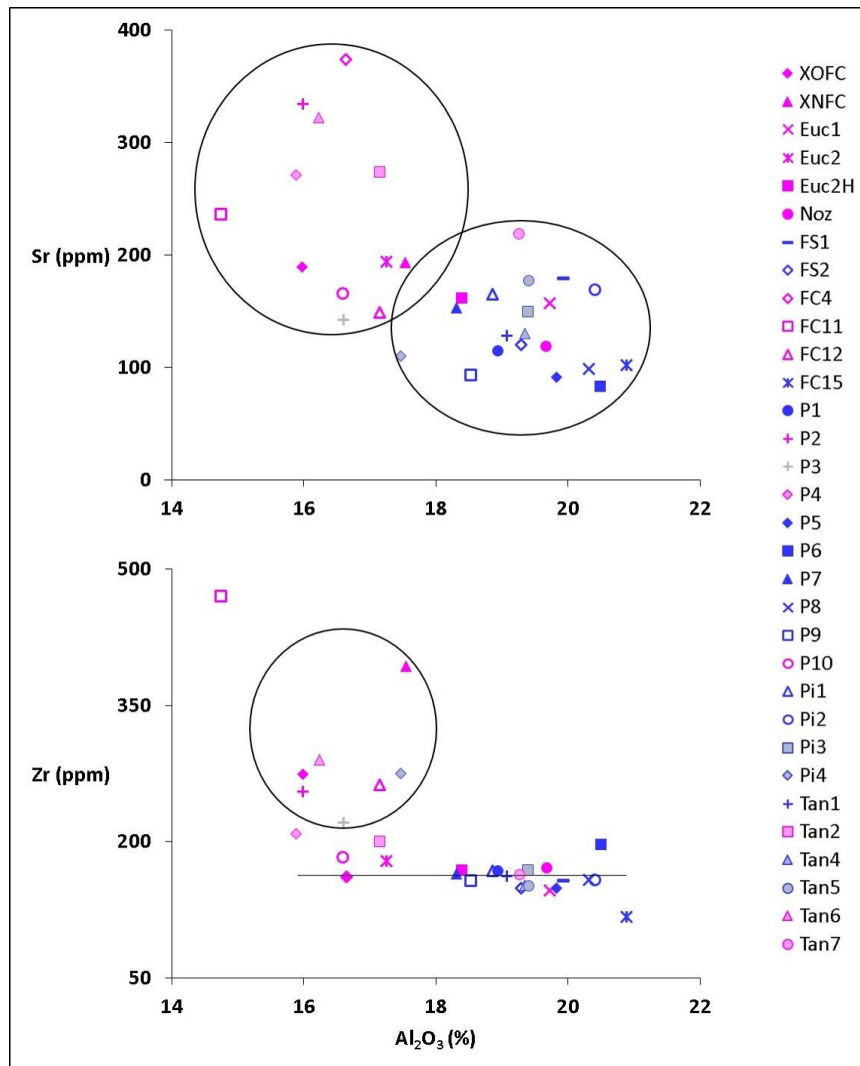


Figura 6.6- Diagramas de variação de Sr e Zr (ppm) em função de Al₂O₃ (%). No diagrama Sr vs Al₂O₃, os círculos delimitam as áreas com maior concentração de amostras em cada uma das formações. No diagrama Zr vs Al₂O₃, o círculo engloba as amostras com maior teor em Zr, com exceção de FC4 que se destaca no teor. A linha representa a média deste elemento nas duas formações.

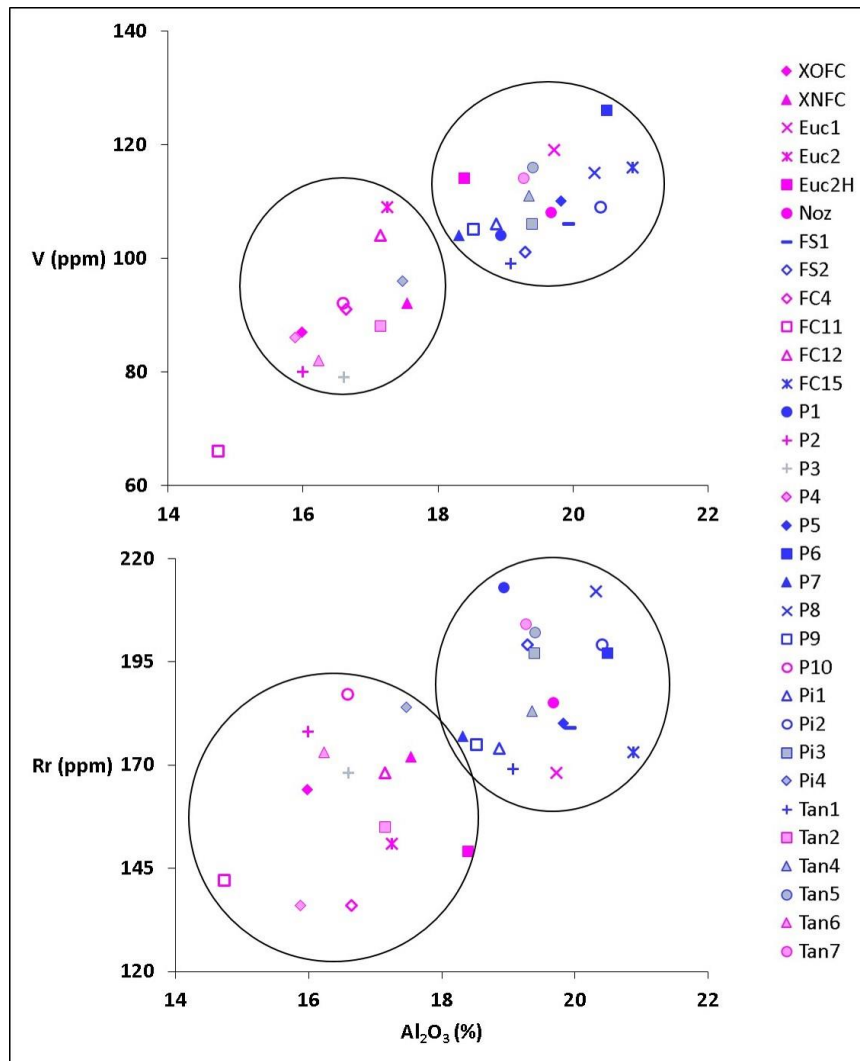


Figura 6.7- Diagramas de variação de V e Rb (ppm) em função de Al_2O_3 (%), com delimitação das áreas com maior concentração de amostras.

Para avaliar o grau de variação geoquímica entre as formações relativamente aos elementos menores, as suas médias foram normalizadas em relação ao NIBAS (Tabela 6.7). À semelhança do efetuado para os elementos maiores, também foram normalizadas as médias dos elementos menores do Sistema Central Espanhol e do Câmbrico Inferior. Na tabela 6.8 são apresentadas as médias dos elementos menores, incluindo os elementos terras raras (ETR), das Formações de Desejosa e de Pinhão, do Sistema Central Espanhol, Câmbrico Inferior e Nibas, normalizadas a UCC. Os valores das análises químicas de rocha total para elementos de terras raras, assim como o seu total, mínimos, máximos e médias, da Formação de Desejosa e da Formação de Pinhão, podem ser consultados nas tabelas 6.9 e 6.10, respetivamente, no ponto 6.2.3.

Tabela 6.7- Normalização da composição média em elementos menores ao NIBAS (Ugidos *et al.*, 2010) da Formação de Desejosa, da Formação de Pinhão, do Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in* Villaseca *et al.*, 2014) e Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003).

	Valores Normalizados				Valores de Normalização
	Formação de Desejosa	Formação de Pinhão	Sistema Central Espanhol	Câmbrico Inferior	NIBAS
V	0,69	0,77	0,87	0,90	138,00
Ba	1,19	1,21	1,07	1,10	647,00
Sr	2,80	1,62	1,73	1,15	80,00
Y	0,77	0,73	0,76	1,20	36,00
Zr	1,08	0,78	0,79	0,80	217,00
Cr	1,20	0,97	0,97	0,94	113,00
Co	0,80	0,86	1,00	1,10	16,00
Ni	0,89	0,94	0,68	1,10	44,00
Rb	1,31	1,49	1,17	1,24	126
Nb	1,09	1,27	1,21	1,04	13,2
La	1,23	1,26	1,26	1,13	39,5
Ce	1,18	1,12	1,20	1,01	81,2
Pr	1,10	1,12	1,05	1,11	9,89
Nd	1,03	1,05	0,96	1,11	38,7
Sm	0,94	0,96	0,90	1,09	8,01
Eu	0,83	0,89	0,77	1,10	1,69
Gd	0,88	0,90	0,82	1,13	6,75
Tb	0,87	0,89	0,83	1,14	1,04
Dy	0,86	0,85	0,75	1,13	6,17
Ho	0,78	0,80	0,72	1,18	1,27
Er	0,85	0,85	0,75	1,13	3,45
Tm	0,82	0,81	0,81	1,11	0,54
Yb	0,80	0,77	0,75	1,09	3,6
Lu	0,80	0,76	0,78	1,07	0,55
Hf	1,03	0,83	0,73	0,81	5,9
Ta	1,10	1,22	1,07	*	1,22
Th	1,35	1,35	1,13	1,07	12,6
U	1,04	0,84	0,85	0,99	3,7

* Sem valor

O diagrama de normalização ao NIBAS (Figura 6.8) assinala variações mais acentuadas em Sr, Rb, La e Th, evidenciando enriquecimento, sendo que a Formação de Desejosa apresenta um enriquecimento mais elevado em Sr do que a Formação de Pinhão. O Sistema Central Espanhol apresenta um perfil semelhante ao das formações de Desejosa e de Pinhão. O Câmbrico Inferior exibe maior enriquecimento nas terras raras.

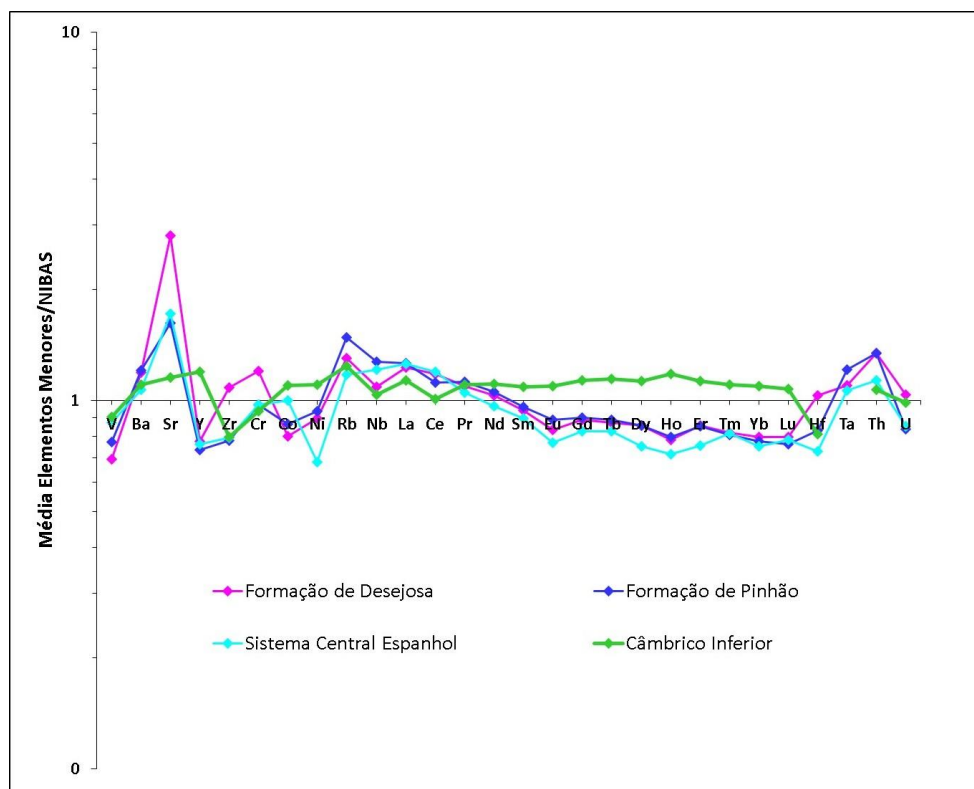


Figura 6.8- Diagrama de normalização da composição média em elementos menores ao NIBAS (Ugidos *et al.*, 2010), em escala logarítmica, da Formação de Desejosa, da Formação de Pinhão, do Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in* Villaseca *et al.*, 2014) e Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003).

O diagrama de normalização à UCC das médias dos elementos menores (Figura 6.9) revela teores semelhantes nas duas formações em estudo, sendo de referir o empobrecimento em Sr e o enriquecimento em As, W e Bi. Neste diagrama, também se observa uma variação muito acentuada em Ag, evidenciando um enriquecimento elevado na Formação de Desejosa e na Formação de Pinhão, ambos mais elevados do que em UCC. Apesar de o Sistema Central Espanhol, o Câmbrico Inferior e NIBAS não apresentarem teores em vários elementos, mostram-se semelhantes aos das

Formações de Desejosa e de Pinhão nos restantes elementos. Contudo, NIBAS e Câmbrico Inferior mostram-se um pouco mais enriquecidos nas terras raras.

Tabela 6.8- Normalização da composição média em elementos menores a UCC (Rudnick & Gao, 2014) da Formação de Desejosa, da Formação de Pinhão, do Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in* Villaseca *et al.*, 2014), Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003) e de NIBAS (Ugidos *et al.*, 2010).

	Valores Normalizados					Valores de Normalização
	Formação de Desejosa	Formação de Pinhão	Sistema Central Espanhol	Câmbrico Inferior	NIBAS	UCC
Sc	1,00	1,13	1,29	*	*	14,00
Be	1,68	1,93	*	*	*	2,10
V	0,98	1,10	1,24	1,29	1,42	97,00
Ba	1,23	1,25	1,10	1,14	1,03	628,00
Sr	0,70	0,41	0,43	0,29	0,25	320,00
Y	1,33	1,26	1,30	2,05	1,71	21,00
Zr	1,22	0,88	0,89	0,89	1,12	193,00
Cr	1,48	1,20	1,20	1,15	1,23	92,00
Co	0,74	0,80	0,92	1,02	0,92	17,30
Ni	0,84	0,88	0,64	1,03	0,94	47,00
Cu	0,81	0,88	*	*	*	28,00
Zn	1,24	1,52	*	*	*	67,00
Ga	1,31	1,53	1,66	*	*	17,50
Ge	1,57	1,81	*	*	*	1,40
As	1,74	3,04	*	*	*	4,80
Rb	1,96	2,23	1,76	1,86	1,50	84,00
Nb	1,20	1,40	1,33	1,14	1,10	12,00
Mo	2,57	1,82	*	*	*	1,10
Ag	19,40	13,20	*	*	*	0,05
In	*	*	*	*	*	0,06
Sn	1,59	1,88	*	*	*	2,10
Sb	1,98	2,08	*	*	*	0,40
Cs	1,57	1,91	*	*	*	4,90
La	1,56	1,61	1,60	1,44	1,27	31,00
Ce	1,53	1,44	1,54	1,30	1,29	63,00
Pr	1,53	1,57	1,46	1,54	1,39	7,10
Nd	1,48	1,51	1,38	1,59	1,43	27,00
Sm	1,60	1,64	1,53	1,85	1,70	4,70
Eu	1,41	1,50	1,30	1,85	1,69	1,00
Gd	1,49	1,52	1,39	1,91	1,69	4,00
Tb	1,30	1,31	1,23	1,70	1,49	0,70
Dy	1,35	1,35	1,19	1,78	1,58	3,90
Ho	1,19	1,22	1,10	1,81	1,53	0,83
Er	1,28	1,28	1,13	1,69	1,50	2,30
Tm	1,47	1,47	1,47	1,99	1,80	0,30
Yb	1,46	1,42	1,38	2,01	1,84	1,96
Lu	1,42	1,35	1,39	1,90	1,77	0,31
Hf	1,15	0,92	0,81	0,90	1,11	5,30
Ta	1,49	1,64	1,44	*	1,36	0,90
W	2,04	2,66	*	*	*	1,90
Tl	0,78	0,87	*	*	*	0,90
Pb	1,10	1,08	1,12	*	*	17,00
Bi	2,50	3,75	*	*	*	0,16
Th	1,62	1,61	1,36	1,28	1,20	10,50
U	1,42	1,15	1,17	1,35	1,37	2,70

* Sem valor

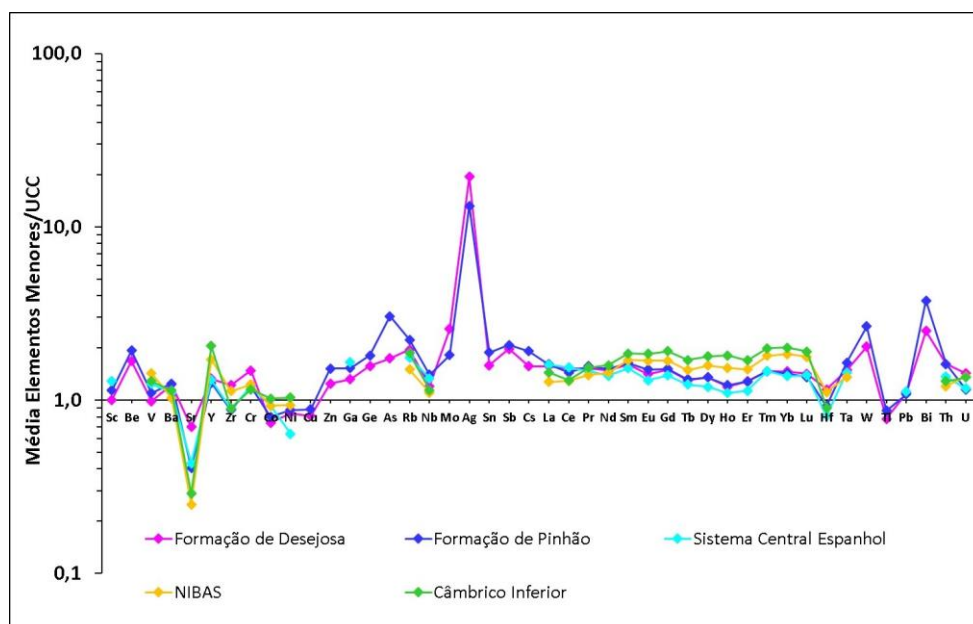


Figura 6.9- Diagrama de normalização da composição média em elementos menores a UCC (Rudnick & Gao, 2014), em escala logarítmica, da Formação de Desejosa, da Formação de Pinhão, do Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama in Villaseca *et al.*, 2014), Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003) e de NIBAS (Ugidos *et al.*, 2010).

6.2.3- Elementos de terras raras

Nas tabelas 6.9 e 6.10 são apresentados os valores das análises químicas de rocha total para elementos de terras raras (ETR), assim como o seu total, mínimos, máximos e médias, da Formação de Desejosa e da Formação de Pinhão, respetivamente. Nas tabelas 6.11 e 6.12 apresentam-se os valores normalizados de ETR, o total e os quocientes La/Lu^* , La/Lb^* , La/Sm^* , EU/EU^* , Gd/Lu^* e Gd/Yb^* .

Análise da variação da geoquímica das terras raras

Na tabela 6.13 apresentam-se os valores médios normalizados de ETR, o total e os quocientes La/Lu^* , La/Lb^* , La/Sm^* , EU/EU^* , Gd/Lu^* e Gd/Yb^* relativos às duas formações em estudo, ao Sistema Central Espanhol, Câmbrico Inferior, NIBAS e UCC.

Os ETR, assim como as suas médias, foram normalizados em relação à composição média do Condrito C1 segundo Evensen *et al.* (1978) (Tabela 6.13).

Ao longo do transporte e erosão, as terras raras são transportadas, fundamentalmente, em suspensão e são absorvidas pelas partículas argilosas, o que pode levar à sua quase total transferência da fonte para o sedimento, o que leva à caracterização da composição média da área-mãe (Taylor & McLennan, 1985).

Tabela 6.9- Resultados das análises químicas de rocha total para elementos de terras raras, mínimo, máximo e média da Formação de Desejosa, em ppm.

		XOFC	XNFC	EUC1	EUC2	EUC2H	NOZ	FC4	FC11	FC12	P2	P4	P10	Tan2	Tan6	Tan7	Mínimo	Máximo	Média
La	ppm	49,3	53,8	51	49,5	53	53,4	46,9	53,2	49,2	45,2	46,8	39,4	42,5	51,2	43,1	39,4	53,8	48,5
Ce	ppm	97,4	106	92,9	94,4	100	103	89,2	107	101	90,5	95	75,2	92,2	97,7	100	75,2	107	96,1
Pr	ppm	10,8	11,9	10,6	10,7	11,4	11,5	10,1	11,9	10,8	10,3	10,4	8,76	9,74	11,5	12,2	8,76	12,2	10,84
Nd	ppm	39,7	44,4	39,1	39,1	42,6	43	36,8	45	40,4	38,7	38,7	31,5	34,5	42,3	44,8	31,5	45	40,04
Sm	ppm	7,4	8,2	7,1	7,4	7,5	8,1	6,9	8,6	7,5	7,5	7,5	6	6,9	8	8,3	6	8,6	7,53
Eu	ppm	1,49	1,48	1,31	1,4	1,38	1,54	1,29	1,53	1,36	1,45	1,42	1,09	1,34	1,49	1,51	1,09	1,54	1,41
Gd	ppm	6	6,4	5,8	6,1	6,1	6,1	5,6	6,7	6	6	6,1	4,4	5,3	6,9	6,1	4,4	6,9	5,97
Tb	ppm	0,9	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1	0,9	0,9	0,9	0,7	0,9	1	0,9	0,7	1	0,91
Dy	ppm	5,4	5,8	4,9	5,2	5,2	5,4	5	5,7	5,6	5,2	5,4	4,2	5,2	6	5	4,2	6	5,28
Ho	ppm	1	1,1	0,9	1	1	1	0,9	1,1	1,1	1	1	0,8	1	1,1	0,9	0,8	1,1	0,99
Er	ppm	3	3,3	2,6	2,9	2,9	3	2,7	3,3	3,2	2,9	2,8	2,4	3,1	3,3	2,8	2,4	3,3	2,95
Tm	ppm	0,44	0,47	0,37	0,43	0,43	0,45	0,4	0,49	0,49	0,43	0,46	0,36	0,48	0,51	0,42	0,36	0,51	0,44
Yb	ppm	2,9	3,1	2,4	2,9	2,8	2,8	2,6	3,2	3,3	2,8	2,8	2,5	3	3,2	2,7	2,4	3,3	2,87
Lu	ppm	0,44	0,47	0,38	0,45	0,42	0,43	0,41	0,53	0,49	0,42	0,42	0,37	0,46	0,5	0,38	0,37	0,53	0,44
Total	ppm	226,2	247,4	220,3	222,4	235,6	240,6	209,7	249,3	231,3	213,3	219,7	177,7	206,6	234,7	229,1	177,7	249,3	224,26

Tabela 6.10- Resultados das análises químicas de rocha total para elementos de terras raras, mínimo, máximo e média da Formação de Pinhão, em ppm.

		FS1	FS2	FC15	P1	P3	P5	P6	P7	P8	P9	Pi1	Pi2	Pi3	Pi4	TAN1	Tan4	Tan5	Mínimo	Máximo	Média
La	ppm	51,6	48,5	42,2	41,9	36,4	56,3	62,3	74,2	48,9	54,2	47,4	59,4	44,1	39,5	57,5	48,4	35,7	35,7	74,2	49,91
Ce	ppm	96,1	89,3	78,9	79	47	113	83,5	138	88,3	105	94,1	114	83,6	85,3	108	92,5	50,6	47	138	90,95
Pr	ppm	11	10,4	9,39	9,5	8,59	12,9	14,2	16	10,9	12,2	10,8	13,2	9,51	8,97	12,5	10,6	8,41	8,41	16	11,12
Nd	ppm	40,4	38	34,4	33	31,4	48,1	52,4	60,7	38,4	45,2	38,6	47,1	36	32,3	46,5	39,4	31,9	31,4	60,7	40,81
Sm	ppm	7,4	7,1	6,5	6,7	6,1	9,1	9,7	11,7	7,2	8,6	6,9	8,7	6,8	6,1	8,4	7,6	6,2	6,1	11,7	7,69
Eu	ppm	1,47	1,25	1,37	1,32	1,25	1,73	1,92	2,42	1,34	1,64	1,34	1,72	1,32	1,19	1,51	1,44	1,29	1,19	2,42	1,50
Gd	ppm	5,8	5,7	4,9	5,1	4,6	7	7,7	9,1	5,5	6,8	6	6,7	5,8	4,4	6,4	6	5,6	4,4	9,1	6,06
Tb	ppm	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	1,1	1,1	1,2	0,9	1	1	1	0,9	0,7	1	0,9	0,8	0,7	1,2	0,92
Dy	ppm	5	5,1	4,8	4,9	4,1	5,9	6,3	6,6	4,9	5,6	5,6	6	5,2	3,9	5,3	5,3	5,1	3,9	6,6	5,27
Ho	ppm	1	1	0,9	0,9	0,8	1,1	1,2	1,2	1	1,1	1,1	1,1	1	0,8	1	1	1	0,8	1,2	1,01
Er	ppm	2,9	2,6	2,7	2,8	2,4	3,3	3,5	3,3	2,8	3,2	3,1	3,2	2,9	2,3	3	2,9	3	2,3	3,5	2,94
Tm	ppm	0,42	0,38	0,41	0,42	0,36	0,47	0,5	0,49	0,42	0,49	0,49	0,47	0,44	0,37	0,43	0,43	0,42	0,36	0,5	0,44
Yb	ppm	2,7	2,5	2,6	2,7	2,3	3,1	3,3	3,1	2,6	3	3	2,8	2,9	2,5	2,7	2,9	2,7	2,3	3,3	2,79
Lu	ppm	0,4	0,39	0,4	0,43	0,34	0,45	0,47	0,46	0,4	0,43	0,45	0,44	0,4	0,39	0,44	0,45	0,39	0,34	0,47	0,42
Total	ppm	227,1	213,1	190,3	189,5	146,3	263,6	248,1	328,5	213,6	248,5	219,9	265,8	200,9	188,7	254,7	219,8	153,1	146,3	328,5	221,8

Tabela 6.11- Elementos de terras raras e quocientes de ETR normalizados ao Condrito C1 (Evensen *et al.*, 1978) da Formação de Desejosa.

	XOFC	XNFC	Euc1	Euc2	Euc2H	Noz	FC4	FC11	FC12	P2	P4	P10	Tan2	Tan6	Tan7
La	201,55	219,95	208,50	202,37	216,68	218,32	191,74	217,50	201,14	184,79	191,33	161,08	173,75	209,32	176,21
Ce	152,69	166,17	145,63	147,99	156,76	161,47	139,83	167,74	158,33	141,87	148,93	117,89	144,54	153,16	156,76
Pr	112,07	123,48	109,99	111,03	118,29	119,33	104,80	123,48	112,07	106,88	107,92	90,90	101,07	119,33	126,60
Nd	83,79	93,71	82,52	82,52	89,91	90,76	77,67	94,98	85,27	81,68	81,68	66,48	72,82	89,28	94,55
Sm	48,05	53,25	46,10	48,05	48,70	52,60	44,81	55,84	48,70	48,70	48,70	38,96	44,81	51,95	53,90
Eu	25,68	25,51	22,58	24,13	23,78	26,54	22,23	26,37	23,44	24,99	24,47	18,79	23,10	25,68	26,03
Gd	29,37	31,33	28,39	29,86	29,86	29,86	27,41	32,79	29,37	29,37	29,86	21,54	25,94	33,77	29,86
Tb	24,03	26,70	24,03	24,03	24,03	24,03	24,03	26,70	24,03	24,03	24,03	18,69	24,03	26,70	24,03
Dy	21,25	22,83	19,28	20,46	20,46	21,25	19,68	22,43	22,04	20,46	21,25	16,53	20,46	23,61	19,68
Ho	17,64	19,40	15,87	17,64	17,64	17,64	15,87	19,40	19,40	17,64	17,64	14,11	17,64	19,40	15,87
Er	18,07	19,88	15,66	17,47	17,47	18,07	16,27	19,88	19,28	17,47	16,87	14,46	18,67	19,88	16,87
Tm	17,18	18,35	14,45	16,79	16,79	17,57	15,62	19,13	19,13	16,79	17,96	14,06	18,74	19,91	16,40
Yb	17,57	18,78	14,54	17,57	16,96	16,96	15,75	19,38	19,99	16,96	16,96	15,14	18,17	19,38	16,35
Lu	17,33	18,51	14,97	17,72	16,54	16,94	16,15	20,87	19,30	16,54	16,54	14,57	18,12	19,69	14,97
Total	584,72	637,89	554,03	575,26	597,21	613,01	540,12	649,01	600,35	563,39	572,81	462,11	548,10	621,76	611,86
La/Lu*	11,63	11,88	13,93	11,42	13,10	12,89	11,87	10,42	10,42	11,17	11,57	11,05	9,59	10,63	11,77
La/Yb*	11,47	11,71	14,34	11,52	12,78	12,87	12,18	11,22	10,06	10,90	11,28	10,64	9,56	10,80	10,77
La/Sm*	4,19	4,13	4,52	4,21	4,45	4,15	4,28	3,89	4,13	3,79	3,93	4,13	3,88	4,03	3,27
Eu/Eu*	0,68	0,62	0,62	0,64	0,62	0,67	0,63	0,62	0,62	0,66	0,64	0,65	0,68	0,61	0,65
Gd/Lu*	1,69	1,69	1,90	1,68	1,80	1,76	1,70	1,57	1,52	1,78	1,80	1,48	1,43	1,72	1,99
Gd/Yb*	1,67	1,67	1,95	1,70	1,76	1,76	1,74	1,69	1,47	1,73	1,76	1,42	1,43	1,74	1,83

$$\text{Eu/Eu}^* = \text{Eu}_N / ((\text{Sm}_N * \text{Gd}_N)^{0.5})$$

Tabela 6.12- Elementos de terras raras e quocientes de ETR normalizados ao Condrito C1 (Evensen *et al.*, 1978) da Formação de Pinhão.

	FS1	FS2	FC15	P1	P3	P5	P6	P7	P8	P9	Pi1	Pi2	Pi3	Pi4	Tan1	Tan4	Tan5
La	210,96	198,28	172,53	171,30	148,81	230,17	254,70	303,35	199,92	221,59	193,79	242,85	180,29	161,49	235,08	197,87	145,95
Ce	150,65	139,99	123,69	123,84	73,68	177,14	130,90	216,33	138,42	164,60	147,52	178,71	131,06	133,72	169,31	145,01	79,32
Pr	114,14	107,92	97,44	98,58	89,14	133,86	147,35	166,03	113,11	126,60	112,07	136,97	98,68	93,08	129,71	109,99	87,27
Nd	85,27	80,20	72,60	69,65	66,27	101,52	110,60	128,11	81,05	95,40	81,47	99,41	75,98	68,17	98,14	83,16	67,33
Sm	48,05	46,10	42,21	43,51	39,61	59,09	62,99	75,97	46,75	55,84	44,81	56,49	44,16	39,61	54,55	49,35	40,26
Eu	25,34	21,54	23,61	22,75	21,54	29,82	33,09	41,71	23,10	28,27	23,10	29,64	22,75	20,51	26,03	24,82	22,23
Gd	28,39	27,90	23,98	24,96	22,52	34,26	37,69	44,54	26,92	33,28	29,37	32,79	28,39	21,54	31,33	29,37	27,41
Tb	24,03	24,03	21,36	21,36	18,69	29,37	29,37	32,04	24,03	26,70	26,70	26,70	24,03	18,69	26,70	24,03	21,36
Dy	19,68	20,07	18,89	19,28	16,14	23,22	24,79	25,97	19,28	22,04	22,04	23,61	20,46	15,35	20,86	20,86	20,07
Ho	17,64	17,64	15,87	15,87	14,11	19,40	21,16	21,16	17,64	19,40	19,40	19,40	17,64	14,11	17,64	17,64	17,64
Er	17,47	15,66	16,27	16,87	14,46	19,88	21,08	19,88	16,87	19,28	18,67	19,28	17,47	13,86	18,07	17,47	18,07
Tm	16,40	14,84	16,01	16,40	14,06	18,35	19,52	19,13	16,40	19,13	19,13	18,35	17,18	14,45	16,79	16,79	16,40
Yb	16,35	15,14	15,75	16,35	13,93	18,78	19,99	18,78	15,75	18,17	18,17	16,96	17,57	15,14	16,35	17,57	16,35
Lu	15,75	15,36	15,75	16,94	13,39	17,72	18,51	18,12	15,75	16,94	17,72	17,33	15,75	15,36	17,33	17,72	15,36
Total	579,16	546,40	503,43	506,37	417,53	682,42	677,05	827,79	555,07	645,65	580,16	675,66	531,12	483,58	642,80	573,77	449,08
La/Lu*	13,39	12,91	10,95	10,11	11,11	12,99	13,76	16,74	12,69	13,08	10,93	14,01	11,44	10,51	13,57	11,16	9,50
La/Yb*	12,90	13,09	10,96	10,47	10,68	12,26	12,74	16,16	12,69	12,19	10,66	14,32	10,26	10,66	14,37	11,27	8,92
La/Sm*	4,39	4,30	4,09	3,94	3,76	3,90	4,04	3,99	4,28	3,97	4,33	4,30	4,08	4,08	4,31	4,01	3,63
Eu/Eu*	0,69	0,60	0,74	0,69	0,72	0,66	0,68	0,72	0,65	0,66	0,64	0,69	0,64	0,70	0,63	0,65	0,67
Gd/Lu*	1,80	1,82	1,52	1,47	1,68	1,93	2,04	2,46	1,71	1,97	1,66	1,89	1,80	1,40	1,81	1,66	1,78
Gd/Yb*	1,74	1,84	1,52	1,53	1,62	1,82	1,89	2,37	1,71	1,83	1,62	1,93	1,62	1,42	1,92	1,67	1,68

$$\text{Eu/Eu}^* = \text{Eu}_N / ((\text{Sm}_N + \text{Gd}_N)^{0,5})$$

Tabela 6.13- Médias dos elementos de terras raras e quocientes de ETR normalizados ao Condrito C1 (Evensen *et al.*, 1978) das Formações de Desejosa e Pinhão, do Sistema Central Espanhol, Câmbrico Inferior, NIBAS e UCC.

	Valores Normalizados						Valores de Normalização
	Formação de Desejosa	Formação de Pinhão	Sistema Central Espanhol	Câmbrico Inferior	NIBAS	UCC	Condrito C1
La	198,28	204,05	202,78	183,09	161,59	126,74	0,24
Ce	150,65	142,58	152,37	128,29	127,26	98,76	0,64
Pr	112,48	115,41	107,92	113,45	102,60	73,67	0,10
Nd	84,51	86,14	78,73	90,50	81,59	56,99	0,47
Sm	48,87	49,96	46,62	56,57	51,99	30,52	0,15
Eu	24,22	25,87	22,41	31,91	29,06	17,24	0,06
Gd	29,24	29,69	27,21	37,46	33,05	19,58	0,20
Tb	24,21	24,66	22,96	31,75	27,74	18,69	0,04
Dy	20,78	20,74	18,26	27,37	24,27	15,35	0,25
Ho	17,52	17,84	16,05	26,43	22,43	14,64	0,06
Er	17,75	17,68	17,68	23,45	20,80	13,86	0,17
Tm	17,26	17,02	17,18	23,31	21,14	11,71	0,03
Yb	17,36	16,89	16,35	23,83	21,84	11,87	0,17
Lu	17,25	16,52	16,94	23,25	21,66	12,21	0,03
Total	780,39	785,06	761,45	820,66	747,03	521,82	
La/Lu*	11,49	12,35	11,97	7,88	7,46	10,38	
La/Yb*	11,42	12,08	12,40	7,68	7,40	10,68	
La/Sm*	4,06	4,08	4,35	3,24	3,11	4,15	
Eu/Eu*	0,64	0,67	0,63	0,69	0,70	0,71	
Gd/Lu*	1,69	1,80	1,61	1,61	1,53	1,60	
Gd/Yb*	1,68	1,76	1,66	1,57	1,51	1,65	

$$Eu/Eu^* = Eu_N / ((Sm_N + Gd_N)^{0.5})$$

Ainda que o zircão possa ser responsável por um enriquecimento em terras raras pesadas (TRP) (Taylor *et al.*, 1986), as argilas acabam por ser mais importantes como portadoras das terras raras do que os minerais pesados, nos sedimentos finos (Condie, 1991).

As formações revelam uma concentração de ETR, entre 177,68 ppm (P10) e 249,25 ppm (FC11) na Formação de Desejosa e entre 146,34 ppm (P3) e 328,47 ppm (P7) na Formação de Pinhão (Tabelas 6.9 e 6.10, respetivamente).

O diagrama de ETR normalizadas (Figura 6.10) exhibe espectros muito semelhantes em ambas as formações, com um enriquecimento relativo nas terras raras leves (TRL) em relação às TRP, anomalia negativa em Eu e anomalia positiva em Gd.

O espectro da amostra P7 (Formação de Pinhão) indica um leve enriquecimento em ETR relativamente às restantes amostras, de ambas as formações. As amostras P3 e Tan5, pertencentes à Formação de Pinhão, apresentam anomalia negativa em Ce, o que poderá ser devido a uma sedimentação marinha em condições ambientais oxidantes (McLennan, 1989), pois ocorre a depleção de Ce, na passagem de Ce^{3+} para Ce^{4+} por oxidação.

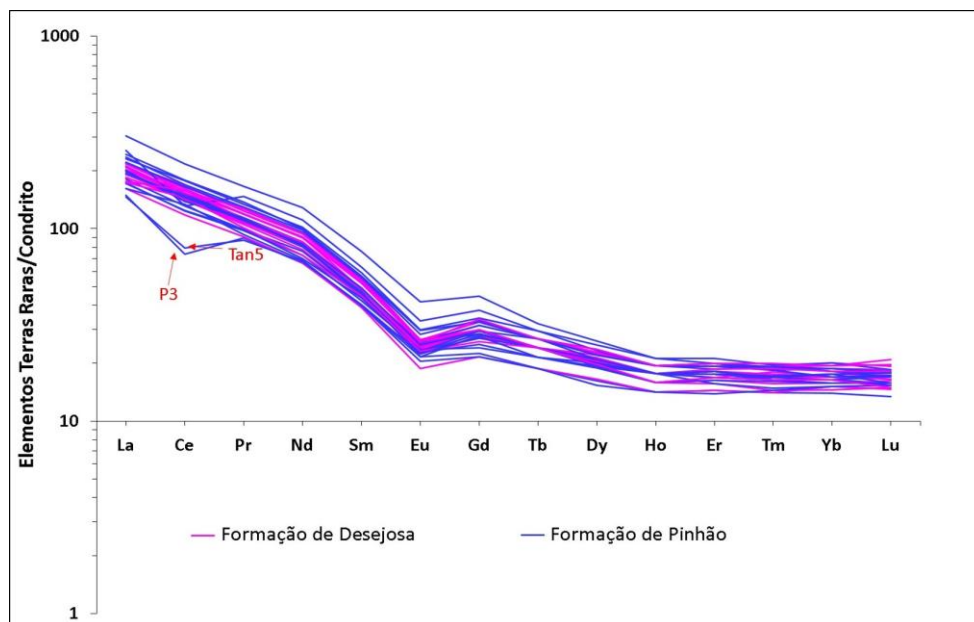


Figura 6.10- Diagrama de terras raras normalizadas ao Condrito C1 (Evensen *et al.*, 1978) da Formação de Desejosa e da Formação de Pinhão, em escala logarítmica.

O fracionamento em TRP apresenta valores normais para as rochas sedimentares ($Gd/Yb^* = 1,0$ a $2,0$) (McLennan, 1989) na Formação de Desejosa, variando entre 1,42 (P10) e 1,95 (Euc1). Na Formação de Pinhão, o fracionamento em TRP varia entre 1,42 (Pi4) e 2,37 (P7), sendo esta última a única que excede o valor considerado normal para as rochas sedimentares. O fracionamento das TRL (La/Sm^*) varia na Formação de Desejosa entre 3,27 em Tan7 e 4,52 em Euc1. Na Formação de Pinhão, o fracionamento de TRL varia entre 3,63 em Tan5 e 4,39 em FS1. O fracionamento do Eu (Eu/Eu^*) varia entre 0,61 (Tan6) e 0,68 (XOFC e Tan2), na Formação de Desejosa, e entre 0,60 (FS2) e 0,74 (FC15), na Formação de Pinhão (Tabelas 6.11 e 6.12).

O diagrama das médias de ETR normalizadas (Figura 6.11) exibe espectros muito semelhantes, com um enriquecimento relativo nas TRL em relação às TRP, anomalia negativa em Eu e anomalia positiva em Gd. Os espectros correspondentes ao NIBAS e ao Câmbrico Inferior apresentam-se um pouco mais enriquecidos em TRP do que os restantes espectros. O espectro de UCC apresenta-se mais empobrecido nas TRP e TRL.

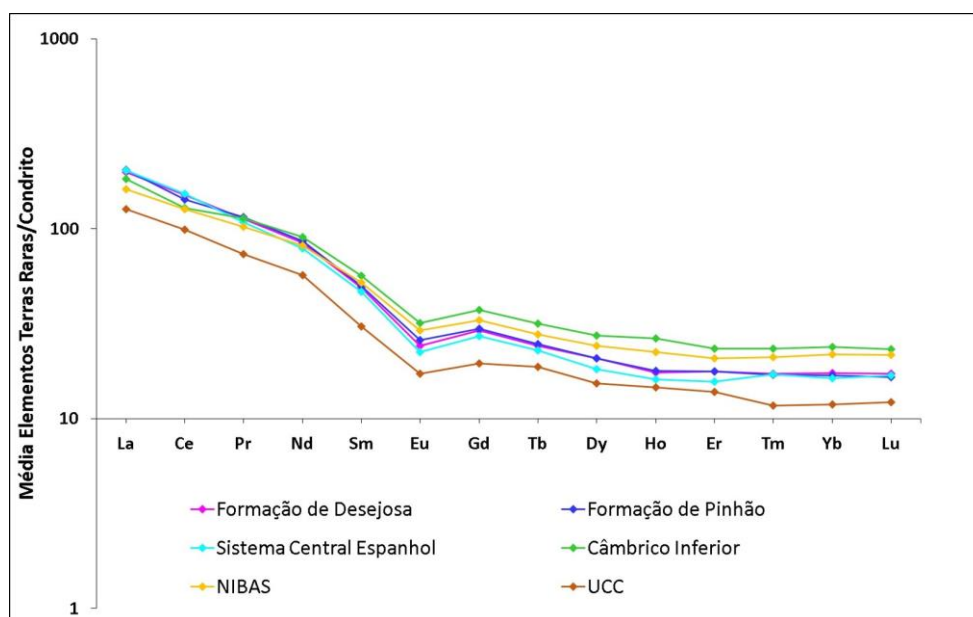


Figura 6.11- Diagrama da média de terras raras normalizadas ao Condrito C1 (Evensen *et al.*, 1978) da Formação de Desejosa, da Formação de Pinhão, do Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in* Villaseca *et al.*, 2014), Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003), NIBAS (Ugidos *et al.*, 2010) e UCC (Rudnick & Gao, 2014), em escala logarítmica.

O fracionamento das médias em TRP também apresenta valores normais para as rochas sedimentares ($Gd/Yb^* = 1,0$ a $2,0$) (McLennan, 1989), com valores de 1,68 e

1,76 nas Formações de Desejosa e Pinhão, respetivamente, de 1,66 no Sistema Central Espanhol, 1,57 no Câmbrico Inferior, 1,51 em NIBAS e 1,65 em UCC. O fracionamento das médias das TRL (La/Sm*) apresenta valores de 4,06 e 4,08 nas Formações de Desejosa e Pinhão, respetivamente, 4,35 no Sistema Central Espanhol, 3,24 no Câmbrico Inferior, 3,11 em NIBAS e 4,15 em UCC. O fracionamento das médias do Eu (Eu/Eu*) tem valores de 0,64 na Formação de Desejosa, 0,67 na Formação de Pinhão, 0,63 no Sistema Central Espanhol, 0,69 no Câmbrico Inferior, 0,70 em NIBAS e 0,71 em UCC (Tabela 6.13).

6.2.4- Proveniência

Os elementos Sc, Cr, Co, Ni, V e Cu estão mais concentrados em rochas de fonte básica do que em rochas de fonte ácida. Destes elementos, o Sc é o elemento mais imóvel e que ao não ser afetado pela diagénese nem pelo metamorfismo, acaba por refletir a geoquímica da área-mãe (McLennan *et al.*, 1990; Eriksson *et al.*, 1992; Cullers *et al.*, 1997). Os elementos La, Th e Zr são os elementos mais concentrados em rochas de fonte ácida. Como os elementos Th, Sc, Co, Cr e as terras raras são os elementos mais imóveis durante a sedimentogénese, diagénese e metamorfismo, estes elementos acabam por ser os mais utilizados na determinação da proveniência das rochas detríticas (Bhatia & Crook, 1986; Cullers *et al.*, 1979; Wronkiewicz & Condie, 1990). Assim, as razões entre os elementos como Th/Sc, La/Sc, Th/Co, Th/Cr, V/Sc, Zr/Sc, V/La (Tabela 6.14), Eu/Eu* e La/Yb* (Tabelas 6.11, 6.12 e 6.13) vão ser bons indicadores da fonte (Bhatia & Crook, 1986; Cullers *et al.*, 1997; Cullers *et al.*, 1988; Cullers, 1994; Cox *et al.*, 1995), apesar de durante a alteração e o transporte poderem sofrer algum fracionamento (Rollinson, 1993).

Os valores obtidos para as razões Th/Sc, La/Sc, Th/Co, V/Sc e Zr/Sc são superiores na Formação de Desejosa com valores médios de 1,24; 3,53; 1,43; 6,80 e 17,80, respetivamente, enquanto a Formação de Pinhão apresenta valores médios de 1,08; 3,14; 1,32; 6,71; e 11,01, respetivamente. Os valores obtidos para as razões Th/Cr, V/La, Eu/Eu* e La/Yb* são superiores na Formação de Pinhão, apresentando valores médios de 0,16; 2,20; 0,67 e 12,08, respetivamente, enquanto a Formação de Desejosa apresenta valores médios de 0,13; 1,99; 0,64 e 11,42, respetivamente. Os valores das razões Th/Sc, La/Sc, Th/Co, Th/Cr, Eu/Eu* e La/Yb*, em ambas as formações, são correlacionáveis com os valores obtidos por Cullers (1994, 2000) e Cullers *et al.* (1988) para rochas ácidas.

Tabela 6.14- Valor das razões Th/Sc, La/Sc, Th/Co, Th/Cr, V/Sc, Zr/Sc e V/La das Formações de Desejosa e de Pinhão, do Sistema Central Espanhol, Câmbrio Inferior, NIBAS, UCC, NASC e PAAS.

	Amostras	Th/Sc	La/Sc	Th/Co	Th/Cr	V/Sc	Zr/Sc	V/La
Formação de Desejosa	XOFC	1,41	4,11	1,41	0,13	7,25	22,83	1,76
	XNFC	1,48	3,84	1,73	0,15	6,57	28,07	1,71
	Euc1	1,01	3,00	1,08	0,16	7,00	8,59	2,33
	Euc2	1,11	3,30	1,04	0,15	7,27	11,93	2,20
	Euc2H	1,09	3,31	1,25	0,16	7,13	10,56	2,15
	Noz	1,09	3,34	1,17	0,15	6,75	10,69	2,02
	FC4	1,06	3,35	1,15	0,15	6,50	11,50	1,94
	FC11	2,14	5,32	2,68	0,16	6,60	47,00	1,24
	FC12	1,23	3,28	1,23	0,15	6,93	17,53	2,11
	P2	1,28	3,77	1,28	0,10	6,67	21,25	1,77
	P4	1,18	3,60	1,02	0,07	6,62	16,08	1,84
	P10	1,17	3,03	1,52	0,12	7,08	14,08	2,34
	Tan2	1,10	3,04	1,10	0,08	6,29	14,29	2,07
	Tan6	1,32	3,94	1,22	0,11	6,31	22,31	1,60
	Tan7	0,94	2,69	2,52	0,14	7,13	10,25	2,65
Média	1,24	3,53	1,43	0,13	6,80	17,80	1,99	
Formação de Pinhão	FS1	1,05	3,23	1,05	0,12	6,63	9,81	2,05
	FS2	1,06	3,23	0,99	0,11	6,73	9,93	2,08
	FC15	0,93	2,34	1,11	0,17	6,44	6,50	2,75
	P1	1,11	2,79	1,11	0,17	6,93	11,20	2,48
	P3	1,25	3,03	1,50	0,19	6,58	18,42	2,17
	P5	0,96	3,31	1,81	0,16	6,47	8,76	1,95
	P6	0,95	3,46	1,55	0,16	7,00	10,94	2,02
	P7	1,04	4,64	0,92	0,15	6,50	10,31	1,40
	P8	1,04	2,88	1,10	0,18	6,76	9,29	2,35
	P9	1,08	3,39	1,92	0,16	6,56	9,81	1,94
	Pi1	1,20	3,16	1,29	0,13	7,07	11,20	2,24
	Pi2	1,04	3,49	0,98	0,14	6,41	9,29	1,84
	Pi3	1,08	2,76	1,15	0,17	6,63	10,56	2,40
	Pi4	1,31	2,82	1,42	0,20	6,86	19,64	2,43
	Tan1	1,13	3,83	1,21	0,15	6,60	10,80	1,72
Tan4	1,08	3,03	1,08	0,16	6,94	9,50	2,29	
Tan5	0,97	2,10	1,65	0,17	6,82	8,88	3,25	
Média	1,08	3,14	1,32	0,16	6,71	11,01	2,20	
Valores de Comparação	Sistema Central Espanhol	0,79	2,76	0,89	0,13	6,67	9,56	2,42
	Câmbrio Inferior	*	0,76	0,13	*	1,38	*	0,76
	NIBAS	*	0,79	0,11	*	1,57	*	0,79
	UCC	0,75	2,21	0,61	0,11	6,93	13,79	3,13
	NASC	0,83	2,09	0,48	0,10	8,72	13,42	4,18
PAAS	0,91	2,38	0,63	0,13	9,38	13,13	3,93	

*sem valor

Os diagramas de proveniência Th/Sc vs Zr/Sc e Th/Sc vs V/La da figura 6.12 indicam que a Formação de Desejosa tem uma fonte mais ácida, exibindo valores mais elevados nas razões Th/Sc e Zr/Sc e mais baixos na razão V/La, do que a Formação de Pinhão. Entre as amostras da Formação de Desejosa, FC11 é aquela que possui a fonte mais ácida. A fonte do Sistema Central Espanhol, de UCC, NASC (*North American Shale Composite*) (Gromet *et al.*, 1984) e PAAS (*Post-Archean Australian Shale*) (Taylor & Mclennan, 1985), apresenta-se menos ácida do que a da Formação de Pinhão.

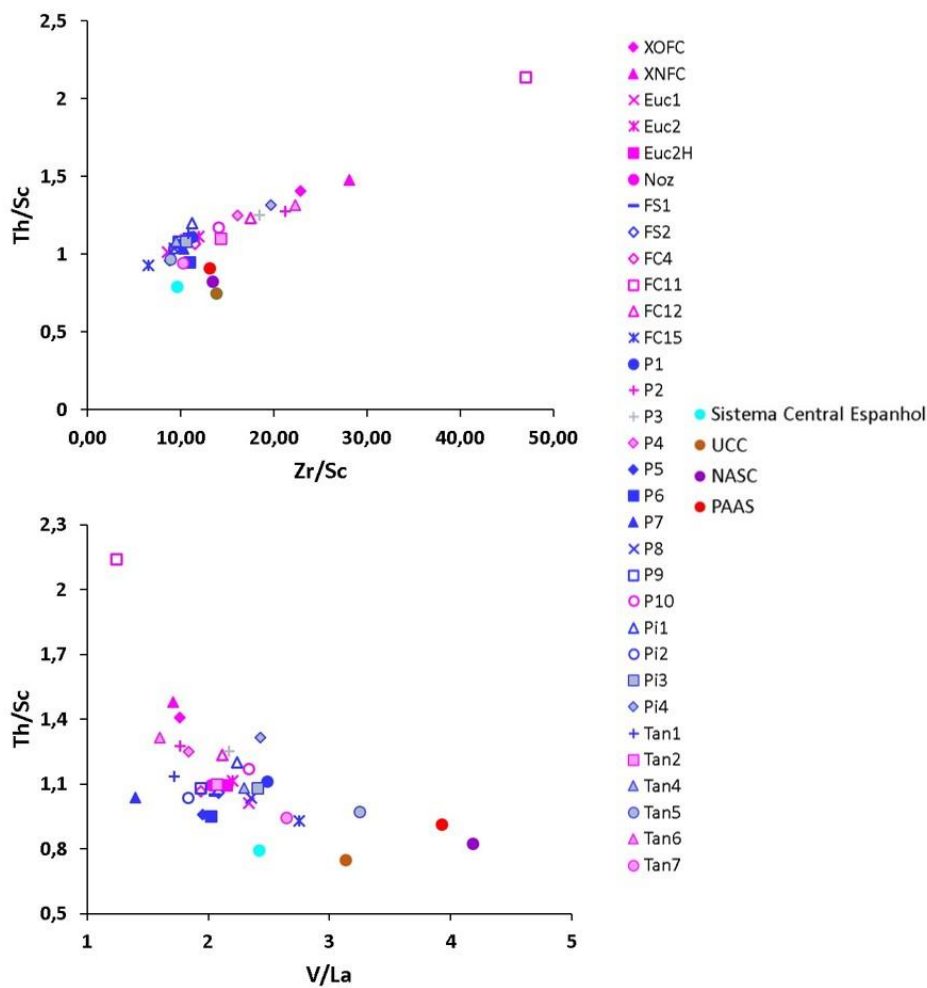


Figura 6.12- Diagramas de proveniência Th/Sc vs Zr/Sc e Th/Sc vs V/La da Formação de Desejosa, da Formação de Pinhão, do Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in* Villaseca *et al.*, 2014), do Câmbrio Inferior (Ugidos *et al.*, 2003), NASC (Gromet *et al.*, 1984) e PAAS (Taylor & Mclennan, 1985).

Nestes diagramas não se utilizam como comparação os dados referentes ao NIBAS e ao Câmbrio Inferior por estes não apresentarem resultados analíticos para Sc.

Estes dados indicam que as Formações de Desejosa e de Pinhão têm a mesma proveniência (rochas ácidas ou rochas crustais). Também se verifica que há semelhanças entre as formações estudadas e o Sistema Central Espanhol.

6.2.5- Índice de meteorização química e índice de alteração química

Um dos fatores que mais controla a diferenciação geoquímica durante a evolução sedimentar é o grau de meteorização que ocorre na área-mãe (Nesbitt & Young, 1982; Wronkiewicz & Condie, 1987; McLennan *et al.*, 1990; Fedo *et al.*, 1996; Nesbitt *et al.*, 1996). A meteorização é acompanhada por um fracionamento químico que é diretamente relacionado com o diferente comportamento e mobilidade dos elementos. Assim, durante este processo, os elementos Al, Ti, Rb e Ba são fixados na fração residual argilosa e os elementos Na, Ca e Sr são lixiviados. Os elementos K e Mg são lixiviados na zona de alteração, mas são absorvidos pelas argilas devido a trocas iônicas na zona de sedimentação (Bourguignon, 1988; Kronberg *et al.*, 1987; Harnois, 1988). Relativamente ao Fe, o seu comportamento é influenciado sobretudo pelas condições de oxidação-redução do meio, pois o Fe^{3+} é menos solúvel do que o Fe^{2+} (Harnois, 1988).

Sendo os efeitos geoquímicos do metamorfismo e da diagénese mínimos em comparação com os efeitos que resultam da sedimentogénese, o grau de alteração das rochas de que resultaram os sedimentos que originaram uma formação metassedimentar pode ser deduzido considerando as composições relativas de elementos maiores móveis e imóveis, na fração detrítica dessas litologias (Wronkiewicz & Condie, 1987).

O índice de meteorização química (*Chemical Index of Weathering* – CIW) considera a razão entre os elementos móveis (CaO e Na₂O) e o mais imóvel (Al₂O₃): $(Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+Na_2O))*100$ (Harnois, 1988).

O índice de alteração química (*Chemical Alteration Index* – CIA) insere o K₂O no cálculo $((Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O))*100)$ (Nesbitt & Young, 1982).

Os valores de CIW e CIA das formações em estudo, do Sistema Central Espanhol, Câmbrico Inferior e Nibas, estão indicados na tabela 6.15.

O teor em SiO₂ de um sedimento detrítico é um parâmetro representativo do *sorting* sedimentar e da seleção mineralógica que o acompanha (Beetsma, 1995), conjugado

com o valor de CIW e de CIA, dará uma indicação da maturidade química dos sedimentos originais das litologias metassedimentares.

Tabela 6.15- CIW e CIA das Formações de Desejosa e de Pinhão, do Sistema Central Espanhol, Câmbrico Inferior, e NIBAS, em %. CIW $((Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+Na_2O))^*100)$ e CIA $((Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O))^*100)$.

	Amostras		CIW	CIA
Formação de Desejosa	XOFC	%	83,97	68,73
	XNFC	%	86,83	70,58
	Euc1	%	89,92	76,70
	Euc2	%	83,21	71,43
	Euc2H	%	87,70	74,91
	Noz	%	90,02	75,19
	FC4	%	70,54	62,18
	FC11	%	78,87	65,77
	FC12	%	87,90	72,09
	P2	%	77,40	65,11
	P4	%	72,94	65,16
	P10	%	88,15	72,10
	Tan2	%	79,43	68,60
	Tan6	%	71,94	62,74
	Tan7	%	86,17	71,95
	Média	%	82,33	69,55
Formação de Pinhão	FS1	%	88,66	75,26
	FS2	%	92,70	76,79
	FC15	%	92,47	77,56
	P1	%	91,94	76,48
	P3	%	87,46	73,61
	P5	%	92,10	77,66
	P6	%	93,60	76,97
	P7	%	89,32	76,07
	P8	%	93,38	77,58
	P9	%	91,91	77,39
	Pi1	%	87,56	73,61
	Pi2	%	90,95	76,30
	Pi3	%	88,66	74,49
	Pi4	%	88,77	74,03
	Tan1	%	88,95	74,67
	Tan4	%	90,25	76,51
	Tan5	%	87,03	72,77
	Média	%	90,34	75,75
Valores de Comparação	Sistema Central Espanhol	%	91,19	77,77
	Câmbrico Inferior	%	92,03	78,14
	NIBAS	%	89,95	77,00

Na figura 6.13 verifica-se que CIW é mais elevado na Formação de Pinhão do que na Formação de Desejosa, logo FP resultou de uma fonte que sofreu maior meteorização química. Na Formação de Pinhão, este índice varia entre 87,03% (Tan5) e 93,60% (P6), com uma média de 90,34%, enquanto que a Formação de Desejosa tem valores de CIW com um intervalo mais variável, entre 70,54% (FC4) e 90,02% (Noz) e média de 82,33%. A Formação de Pinhão possui valores idênticos ao Sistema Central Espanhol, ao Câmbrico Inferior e a Nibas a partir de 90%.

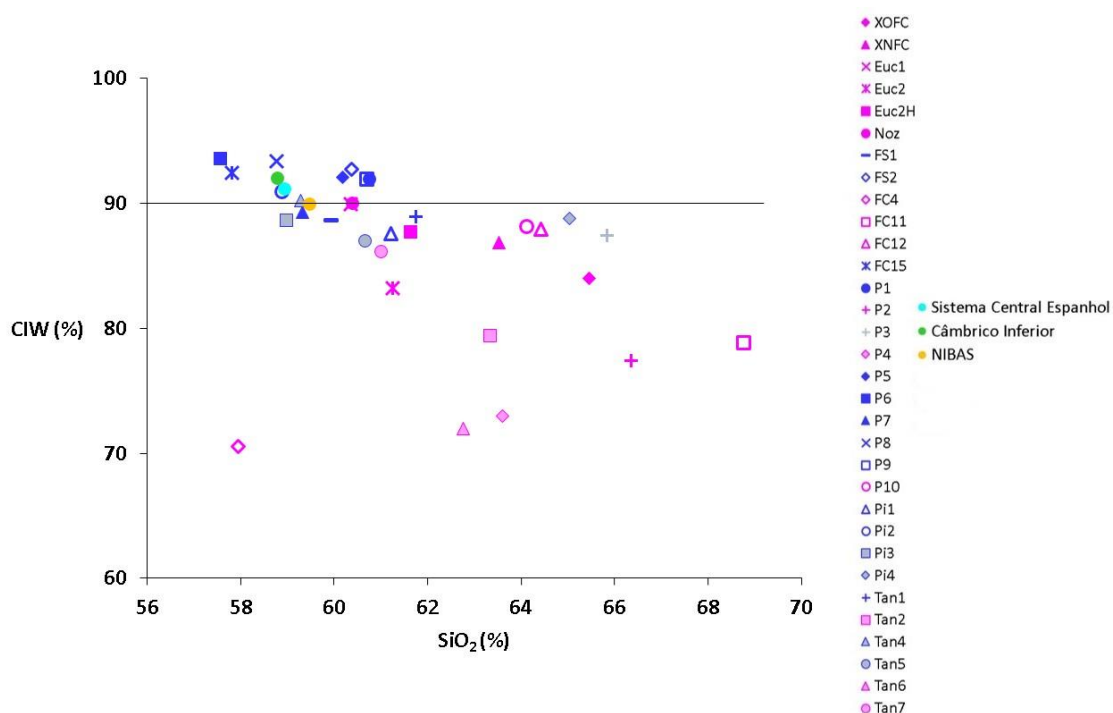


Figura 6.13- Diagrama representativo do índice de meteorização química (CIW) das Formações de Desejosa e de Pinhão. São também apresentados os valores para o Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in* Villaseca *et al.*, 2014), Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003) e NIBAS (Ugidos *et al.*, 2010).

Os valores de CIA apresentam-se mais baixos do que CIW devido à inserção de K_2O no cálculo de CIA, que faz baixar o seu valor: $((Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O))^*100)$.

Na figura 6.14 verifica-se que CIA é mais elevado na Formação de Pinhão do que na Formação de Desejosa, o que está de acordo com a maior quantidade de fração argilosa existente na Formação de Pinhão. Os valores deste índice na Formação de Pinhão variam entre 72,77% (Tan5) e 77,66% (P5), com uma média de 75,75%. Na Formação de Desejosa o CIA varia entre 62,18% (FC4) e 76,70% (Euc1) e apresenta

média de 69,55%. A Formação de Pinhão possui valores idênticos ao Sistema Central Espanhol, ao Câmbrico Inferior e a NIBAS a partir de 75%.

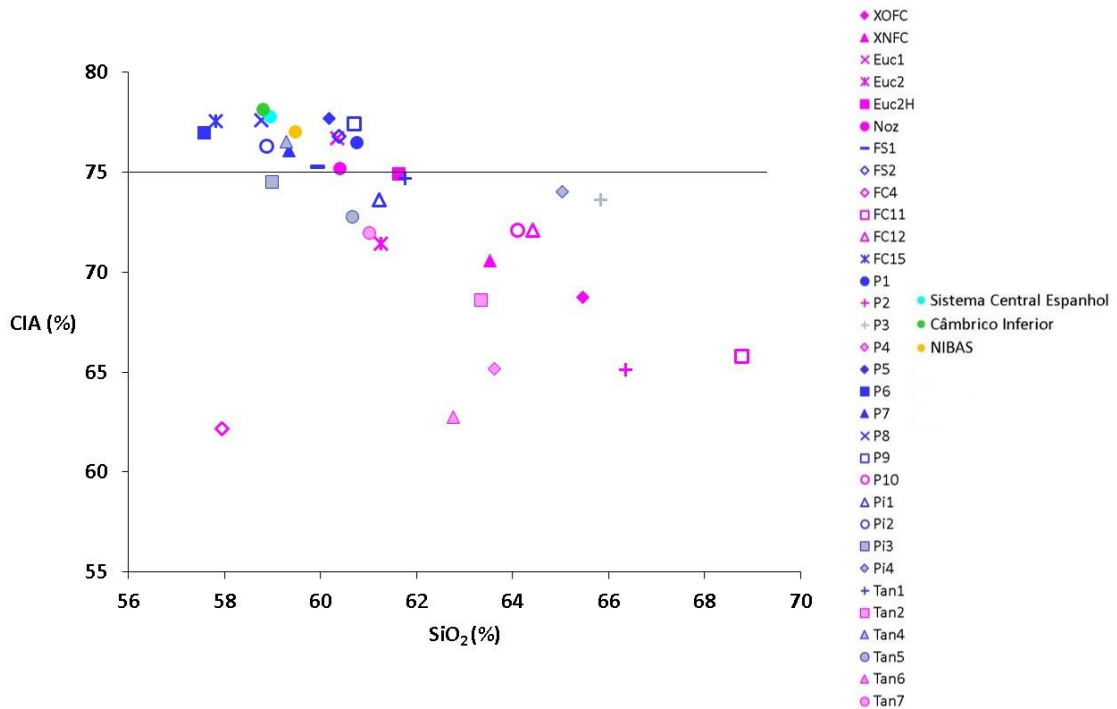


Figura 6.14- Diagrama representativo do índice de alteração química (CIA) das Formações de Desejosa e de Pinhão. São também apresentados os valores do Sistema Central Espanhol (área de Guadarrama *in* Villaseca *et al.*, 2014), Câmbrico Inferior (Ugidos *et al.*, 2003) e NIBAS (Ugidos *et al.*, 2010).

O grau de diferenciação sedimentar que ocorreu desde a rocha mãe é semelhante nas duas formações em estudo, assim como no Sistema Central Espanhol, Câmbrico Inferior e NIBAS, diferindo no *sorting* que é superior na Formação de Desejosa.

6.3- Análise estatística

Os dados geoquímicos de rocha total, dos elementos maiores e alguns elementos menores, da Formação de Desejosa e da Formação de Pinhão foram analisados estatisticamente através de análise multivariada utilizando o método de análise de componentes principais (ACP). Os elementos menores selecionados são os que consideramos importantes na classificação destas rochas e que mostram anomalias.

Também foram realizadas matrizes de correlação para analisar o coeficiente de correlação (r) entre duas variáveis, para diferentes graus de grau de significância ($\rho < 0,01$; $\rho < 0,05$ e $\rho < 0,1$) (Rohlf & Sokal, 1981).

Este estudo foi realizado recorrendo ao programa “Andad 7.12”.

6.3.1- Matrizes de correlação

Os valores das matrizes de correlação estão limitados entre -1 e 1 e não apresentam unidade de medida. Se o valor de r for nulo, as variáveis não são correlacionáveis. Os valores positivos indicam uma relação linear direta entre os pares de variáveis, os valores negativos significam uma relação linear inversa. Quanto mais perto de 1, mais forte é a correlação positiva. Nas matrizes apresentadas, é utilizado o coeficiente de correlação de Spearman (r_s).

Os valores do coeficiente de Spearman e do grau de significância para $\rho < 0,01$; $\rho < 0,05$ e $\rho < 0,1$ da **Formação de Desejosa** são apresentados na tabela 6.16.

Os pares com grau de correlação fortemente significativa na, Formação de Desejosa, são os que possuem grau de significância para $\rho < 0,01$: $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$, SiO_2/Sc , SiO_2/V , SiO_2/Zr , SiO_2/Ag , $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Sc}$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{V}$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Zr}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})/\text{MgO}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})/\text{Sc}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})/\text{V}$, $\text{MnO}/\text{K}_2\text{O}$, MnO/Ag , MgO/TiO_2 , MgO/Sc , MgO/V , MgO/Zr , $\text{CaO}/\text{K}_2\text{O}$, CaO/Zr , $\text{K}_2\text{O}/\text{Rb}$, TiO_2/Sc , TiO_2/V , Sc/V , Sc/Zr , Sc/Cr , V/Sr , V/Zr , V/Cr , Zr/Cr , Cr/W e Ce/Th .

Os valores do coeficiente de Spearman e do grau de significância para $\rho < 0,01$; $\rho < 0,05$ e $\rho < 0,1$ na **Formação de Pinhão** são apresentados na tabela 6.17.

Os pares com grau de correlação fortemente significativa, na Formação de Pinhão, são os pares que possuem grau de significância para $\rho < 0,01$: $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, SiO_2/Sc , SiO_2/V , $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Sc}$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{V}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})/\text{MnO}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})/\text{MgO}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})/\text{Na}_2\text{O}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})/\text{Zr}$, MnO/MgO , MgO/Zr , $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$, CaO/Sr , $\text{Na}_2\text{O}/\text{Sr}$, $\text{K}_2\text{O}/\text{V}$, TiO_2/Th , $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Zr}$ e Sc/V .

6.3.2- Análise estatística multivariada – análise em componentes principais

A análise fatorial determina o menor número de fatores ou produtos que podem ser multiplicados simultaneamente e que explicam uma determinada tabela ou matriz de correlação. Compreende uma série de técnicas estatísticas que permitem reduzir um conjunto inicial de variáveis, sem que na solução encontrada ocorra uma perda significativa da informação nele contida.

A ACP transforma um conjunto de variáveis iniciais correlacionadas entre si, num novo conjunto de variáveis ortogonais ou não correlacionadas (componentes principais), que resultam de combinações lineares do conjunto inicial. Cada combinação linear é calculada por ordem decrescente de importância e explica o máximo possível da variância (inércia) não explicada; cada uma é ortogonal a qualquer outra combinação, logo o conjunto de todas as combinações encontradas é único (solução única).

O objetivo mais imediato da ACP é verificar se existe um pequeno número das primeiras componentes principais que seja responsável por explicar uma proporção elevada da variação total associada ao conjunto original. Assim, devem-se escolher os primeiros eixos que expliquem uma percentagem razoável da nuvem (> 80%), desprezar os eixos cujos valores próprios são menores do que 1 e desprezar os eixos com números de ordem superiores àquele que inicia a estabilização dos valores próprios do *scree plot*.

São considerados 10 fatores de variáveis que correspondem aos elementos maiores e 10 fatores correspondentes aos elementos menores de cada uma das formações em estudo, para o cálculo dos respetivos valores próprios, de percentagem de inércia explicada e de percentagem de inércia acumulada. Devido ao grande número de informação, torna-se necessário reduzir o número de eixos.

Os fatores das variáveis representam coeficientes de correlação linear com cada um dos componentes principais. As variáveis envolvidas neste tipo de estudo podem ser representadas num círculo de correlação de centro 0 e raio 1, estando duas componentes principais representadas em dois diâmetros ortogonais (Cuney *et al.*, 1985). Quando uma variável é projetada próxima da circunferência, esta tem forte importância numa ou nas duas componentes principais, dependendo se estiver mais próxima de uma das componentes ou equidistante dos dois eixos. Quando duas variáveis são projetadas próximas da circunferência são independentes uma da outra

se estiverem posicionadas em ângulo reto. Duas variáveis projetadas diametralmente opostas não são correlacionadas. Quando as variáveis são projetadas próximas do centro, estas serão independentes relativamente às componentes principais.

Nos fatores por amostra, o componente principal considerado é mais importante quanto mais positivo for o valor (> 1) ou quanto mais negativo (< -1), os valores que estejam entre 1 e -1 terão pouca importância.

6.3.2.1- ACP da Formação de Desejosa

Na tabela 6.18, que corresponde à Formação de Desejosa, é possível observar que os 4 primeiros eixos explicam mais de 80% (85,30%) da inércia da nuvem. Neste estudo foram retiradas as amostras FC4 e FC11 por se mostrarem anómalas em relação à média das restantes amostras.

O *scree plot* (Figura 6.15) indica que os valores próprios começam a estabilizar a partir do valor próprio 4.

Tabela 6.18- Valores próprios e percentagem de inércia explicada e acumulada dos elementos da Formação de Desejosa.

Nº de Fatores	Valor Próprio	% Inércia Explicada	% Inércia Acumulada
1	8,53	42,64	42,64
2	4,84	24,18	66,81
3	2,32	11,60	78,41
4	1,38	6,88	85,29
5	1,28	6,41	91,70
6	0,66	3,31	95,01
7	0,35	1,75	96,76
Critério	> 1	$> 80\%$	

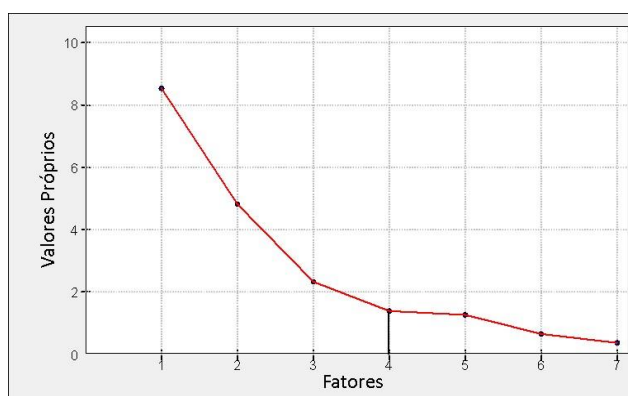


Figura 6.15- *Scree plot* da distribuição dos valores próprios pelo número de fatores da Formação de Desejosa.

Tendo em conta estes dados, consideraram-se 4 eixos para os cálculos envolvidos na ACP. Tendo em conta a percentagem de inércia dos diferentes planos, foram estudados 3 planos de correlação: F1/F2, F1/F3 e F1/F4 (Tabela 6.19).

Tabela 6.19- Percentagem de inércia correspondente aos diferentes planos da Formação de Desejosa.

Planos	% Inércia
F1/F2	66,81
F1/F3	54,24
F1/F4	49,52

Na tabela 6.20 encontram-se as coordenadas das variáveis para cada fator que nos indicam o coeficiente de correlação das variáveis com os fatores. Da sua análise é possível concluir o seguinte:

- Os elementos SiO₂, CaO, Sr, Cr e W estão correlacionados positivamente com o eixo 1 (coeficiente de correlação superior a 0,5).
- Zr apresenta correlação positiva com os eixos 1 e 2 e Ce com os eixos 2 e 3.
- K₂O possui correlação positiva com o eixo 2 e correlação negativa com o eixo 3.
- Os elementos Al₂O₃, Fe₂O₃(T), MgO, TiO₂, Sc e V estão correlacionados negativamente com o eixo 1.
- Mn apresenta correlação negativa com o eixo 2 e Rb com o eixo 3.

Tabela 6.20- Coeficiente de correlação das variáveis com os fatores da Formação de Desejosa.

Variáveis	Eixos Fatoriais			
	F1	F2	F3	F4
SiO ₂	0,80	0,32	-0,21	0,34
Al ₂ O	-0,90	-0,04	-0,04	-0,37
Fe ₂ O ₃ (T)	-0,75	-0,32	0,27	0,32
MnO	0,13	-0,77	0,29	-0,31
MgO	-0,73	-0,43	0,25	0,31
CaO	0,73	-0,45	0,27	-0,27
Na ₂ O	0,35	0,30	0,39	0,43
K ₂ O	-0,35	0,74	-0,54	-0,14
TiO ₂	-0,89	0,11	0,21	-0,20
P ₂ O ₅	0,41	0,46	0,40	-0,17
Sc	-0,93	-0,14	0,16	-0,21
V	-0,97	-0,09	0,05	0,04
Sr	0,80	-0,28	0,07	-0,25
Zr	0,54	0,77	0,21	-0,14
Cr	0,78	-0,35	0,26	-0,16
Rb	-0,23	0,29	-0,77	-0,34
Ag	0,30	0,90	0,16	0,06
Ce	-0,25	0,51	0,55	-0,40
W	0,77	-0,45	-0,18	-0,22
Th	-0,27	0,77	0,48	-0,09

No plano F1/F2 está representada mais de metade da informação (inércia de 66,81%). Neste plano estão bem representados os elementos TiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$, MgO , V , Sc , Ag , Zr , SiO_2 , Sr , Cr , CaO e W , com proximidade ao círculo de correlações, estando mal representados os restantes elementos (Figura 6.16).

Os elementos SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$, V , Sc , Sr e Cr estão representados no eixo F1. Este eixo corresponde à diferenciação geoquímica que acompanha o processo sedimentar, definindo um polo silicioso e um polo argiloso.

Os elementos TiO_2 , Al_2O_3 , V e Sc estão correlacionados entre si, assim como $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ e MgO , não sendo correlacionáveis com SiO_2 , Sr , Cr , W e CaO . Os elementos Sr , Cr , W e CaO estão correlacionados entre si.

O eixo F2 explica os elementos K_2O , MnO , Th , Ag , Ce e Rb , não havendo correlação entre MnO e os restantes elementos.

Existe correlação entre Th e K_2O e os elementos MnO e SiO_2 são independentes um do outro.

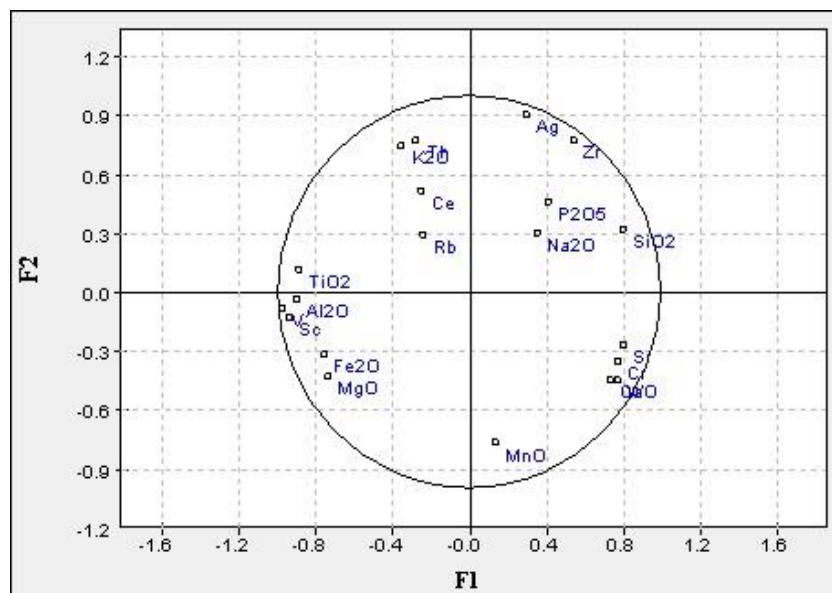


Figura 6.16- Círculo de correlação do plano F1/F2 da Formação de Desejosa.

Ao plano F1/F3 corresponde 54,24% de inércia e estão bem representados os elementos Rb e os mesmos elementos que no plano F1/F2, com exceção dos elementos Zr e Ag .

Os elementos representados no eixo F1 são SiO_2 , Sr, Cr, W, CaO, Zr, Ag, TiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$, V, MgO e Sc. Os elementos TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO, Sc e V estão correlacionados entre si, tendo uma correlação negativa com os restantes elementos do eixo F1. O CaO está correlacionado com Cr e SiO_2 com W. Os elementos P_2O_5 e Na_2O são correlacionáveis.

O eixo F3 explica os elementos K_2O , Th, MnO, Rb e Ce. O Ce e Th estão correlacionados e juntamente com MnO, não são correlacionáveis com K_2O e Rb (Figura 6.17).

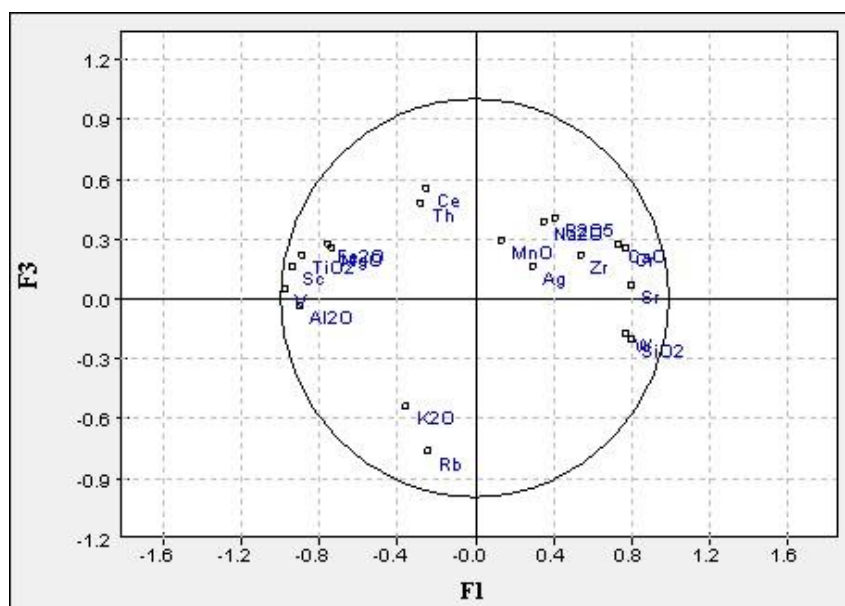


Figura 6.17- Círculo de correlação do plano F1/F3 da Formação de Desejosa.

O plano F1/F4 representa 49,52% de inércia e estão bem representados os mesmos elementos referidos nos planos anteriores, com exceção de Rb, Ag e Zr.

No eixo F1 estão representados os grupos V, Th, K_2O , TiO_2 , Sc, MgO e $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$, que não são correlacionáveis com Ag, Zr, Cr e P_2O_5 , CaO, W e Sr, também representados neste eixo.

No eixo F4 está representado MnO. São correlacionáveis entre si os elementos $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ / MgO, TiO_2 / Sc, Cr/ CaO/ W/ Sr, Th/ K_2O e Rb/ Ce (Figura 6.18).

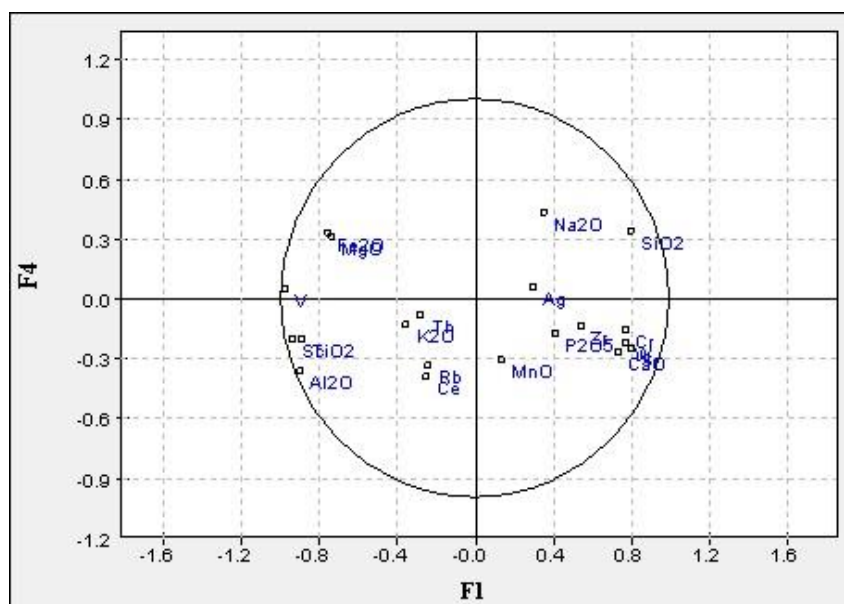


Figura 6.18- Círculo de correlação do plano F1/F4 da Formação de Desejosa.

Na tabela 6.21, são apresentados os coeficientes de correlação das amostras com os fatores e, na figura 6.19, a representação gráfica do plano F1/F2. Os restantes planos não são representados por apresentarem valores entre 1 e -1.

Tabela 6.21- Coeficiente de correlação das amostras com os fatores da Formação de Desejosa.

		Eixos Fatoriais			
	Amostras	F1	F2	F3	F4
1	XOFC	0,52	0,58	-0,19	0,30
2	XNFC	0,19	1,19	0,28	-0,29
3	Euc1	-0,98	-0,36	0,09	0,09
4	Euc2	-0,42	-0,31	0,24	0,23
5	Euc2H	-0,75	-0,10	0,42	0,18
6	Noz	-0,84	0,06	-0,02	-0,30
7	FC12	-0,29	0,54	0,04	0,25
8	P2	0,95	0,05	-0,22	0,09
9	P4	0,86	-0,63	0,46	0,16
10	P10	0,11	-0,23	-0,73	0,29
11	Tan2	0,55	-0,63	-0,04	-0,45
12	Tan6	0,67	-0,10	0,22	-0,23
13	Tan7	-0,58	-0,06	-0,55	-0,32

Da análise da tabela e da figura observa-se que no plano F1/ F2, XNFC apresenta valor > 1 no eixo F2, o que indica que XNFC é o que apresenta, de um modo geral,

valores mais elevados nos elementos representados no eixo F2 (elementos K_2O , Th, Ag, Ce e Rb), com exceção para MnO que é uma das amostras com menor teor (Figura 6.16). As restantes amostras apresentam valores entre -1 e 1.

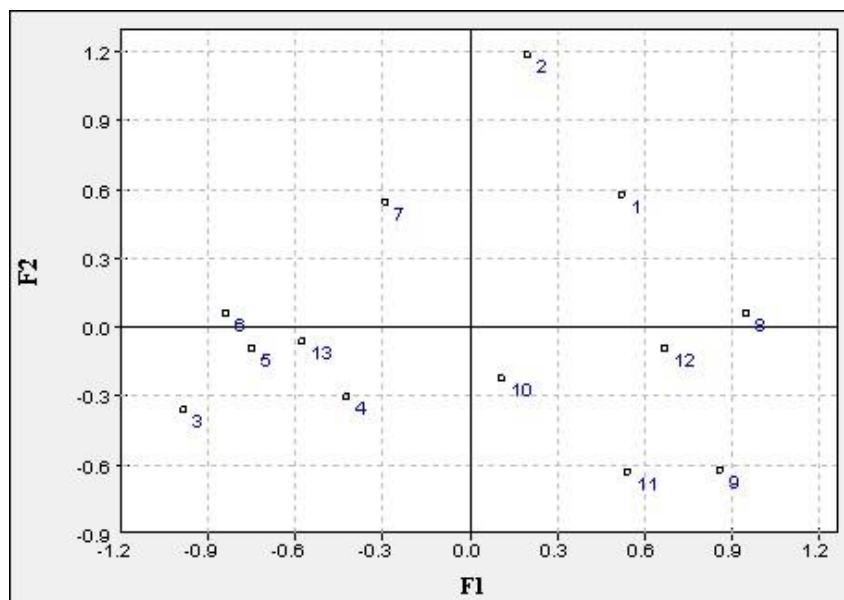


Figura 6.19- Representação gráfica das amostras no plano F1/F2 da Formação de Desejosa. 1- XOFC, 2- XNFC, 3- Euc1, 4- Euc2, 5- Euc2H, 6- Noz, 7- FC12, 8- P2, 9- P4, 10- P10, 11- Tan2, 12- Tan6, 13- Tan7.

6.3.2.2- ACP da Formação de Pinhão

Relativamente à Formação de Pinhão, na tabela 6.22, é possível observar que os 5 primeiros eixos explicam mais de 80% (82,17%) da inércia da nuvem.

Tabela 6.22- Valores próprios e percentagem de inércia explicada e acumulada dos elementos da Formação de Pinhão.

Nº de Fatores	Valor Próprio	% Inércia Explicada	% Inércia Acumulada
1	6,72	33,62	33,62
2	3,57	17,87	51,49
3	2,85	14,27	65,76
4	2,04	10,18	75,94
5	1,25	6,23	82,17
6	1,04	5,21	87,38
7	0,79	3,97	91,36
Critério	> 1	> 80%	

O *scree plot* (Figura 6.20) indica que os valores próprios começam a estabilizar a partir do valor próprio 5.



Figura 6.20- *Scree plot* da distribuição dos valores próprios pelo número de fatores da Formação de Pinhão.

Tendo em conta estes dados, consideraram-se 5 eixos para os cálculos envolvidos na ACP. Tendo em conta a percentagem de inércia dos diferentes planos, foram estudados 4 planos de correlação: F1/F2, F1/F3, F1/F4, F1/F5 (Tabela 6.23).

Tabela 6.23- Percentagem de inércia correspondente aos diferentes planos da Formação de Pinhão.

Planos	% Inércia
F1/F2	51,49
F1/F3	47,89
F1/F4	43,80
F1/F5	39,85

Na tabela 6.24 encontram-se as coordenadas das variáveis para cada fator que nos indicam o coeficiente de correlação das variáveis com os fatores. Da sua análise é possível concluir o seguinte:

- Os elementos SiO_2 e Zr estão correlacionados com o eixo 1 (coeficiente de correlação superior a 0,5).
- Ag está correlacionado com os eixos 1 e 3.
- Na_2O está correlacionado com o eixo 1 e correlacionado negativamente com o eixo 3.

- Rb e K₂O estão correlacionados com o eixo 2, este último também está correlacionado negativamente com o eixo 1.
- Os elementos Al₂O₃, Fe₂O₃(T), MnO, MgO, Sc, V e Cr estão correlacionados negativamente com o eixo 1.
- MgO e P₂O₅ apresentam correlação negativa com o eixo 2.
- CaO e Sr têm correlação negativa com o eixo 3.
- Ce e Th correlacionam-se negativamente com o eixo 4.

Tabela 6.24- Coeficiente de correlação das variáveis com os fatores da Formação de Pinhão.

Variáveis	Eixos Fatoriais				
	F1	F2	F3	F4	F5
SiO ₂	0,94	-0,12	-0,04	0,00	-0,18
Al ₂ O	-0,91	0,18	-0,03	0,12	0,06
Fe ₂ O	-0,72	-0,40	0,45	-0,03	-0,14
MnO	-0,58	-0,38	0,05	-0,22	0,45
MgO	-0,61	-0,65	0,30	0,04	-0,12
CaO	-0,04	-0,49	-0,71	0,29	-0,27
Na ₂ O	0,57	-0,19	-0,56	-0,26	0,41
K ₂ O	-0,59	0,59	-0,16	0,29	-0,20
TiO ₂	-0,32	0,47	-0,43	-0,39	-0,42
P ₂ O ₅	-0,19	-0,58	-0,40	0,49	-0,13
Sc	-0,90	0,23	-0,03	0,05	0,18
V	-0,84	0,41	-0,16	0,05	0,09
Sr	0,09	-0,50	-0,77	0,03	0,10
Zr	0,76	0,39	-0,04	-0,27	-0,28
Cr	-0,53	-0,36	-0,35	-0,28	-0,43
Rb	-0,32	0,58	-0,17	0,42	-0,11
Ag	0,51	0,15	0,53	0,25	-0,17
Ce	-0,41	-0,29	0,19	-0,63	-0,01
W	0,11	0,48	-0,39	0,28	0,39
Th	-0,20	0,45	-0,34	-0,70	0,00

No plano F1/F2 está representada cerca de metade da informação (inércia de 51,49%). Os elementos SiO₂, Zr, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃(T), Sc, V e K₂O estão bem representados neste plano, com proximidade ao círculo de correlações (Figura 6.21).

Os elementos SiO₂, Ag e Na₂O estão bem representados no eixo F1 e não são correlacionáveis com os elementos correlacionáveis Sc e Al₂O₃, também

representados no eixo F1. Este eixo corresponde à diferenciação geoquímica que acompanha o processo sedimentar, definindo um polo silicioso e um polo argiloso.

Existe correlação entre os seguintes elementos: TiO_2 / Rb/ Th, CaO/ Sr e $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ / MnO/ Cr/ Ce.

O eixo F2 explica os elementos TiO_2 , W, Rb e Th que não são correlacionáveis com os elementos CaO, Sr e P_2O_5 , também representados neste eixo.

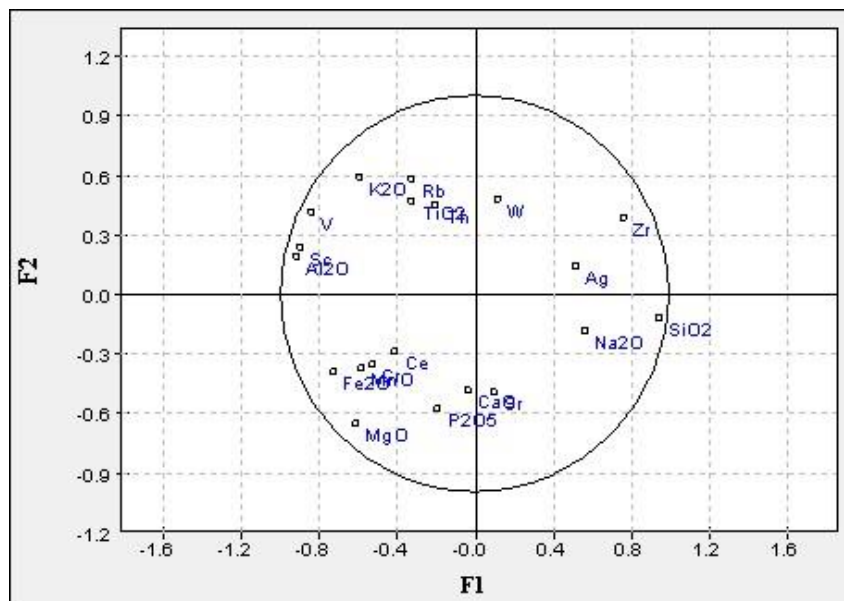


Figura 6.21- Círculo de correlação do plano F1/F2 da Formação de Pinhão.

Ao plano F1/F3 corresponde 47,89% de inércia e estão bem representados os elementos SiO_2 , Zr, $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$, Al_2O_3 , Sc e V (Figura 6.22).

Os elementos K_2O e MnO são correlacionáveis. Os elementos SiO_2 , Zr, Al_2O_3 , Sc, V, K_2O , Rb, Ce, MgO, Cr e MnO estão representados no eixo F1. Os elementos SiO_2 e Zr são correlacionáveis e não são correlacionáveis com Al_2O_3 , Sc, V, K_2O , Rb, Ce, MgO, Cr e MnO.

Os elementos CaO, Sr, W, Th, TiO_2 e P_2O_5 estão representados no eixo F3. Os elementos Al_2O_3 / Sc/ V, CaO/ Sr e Th/ P_2O_5 apresentam correlação.

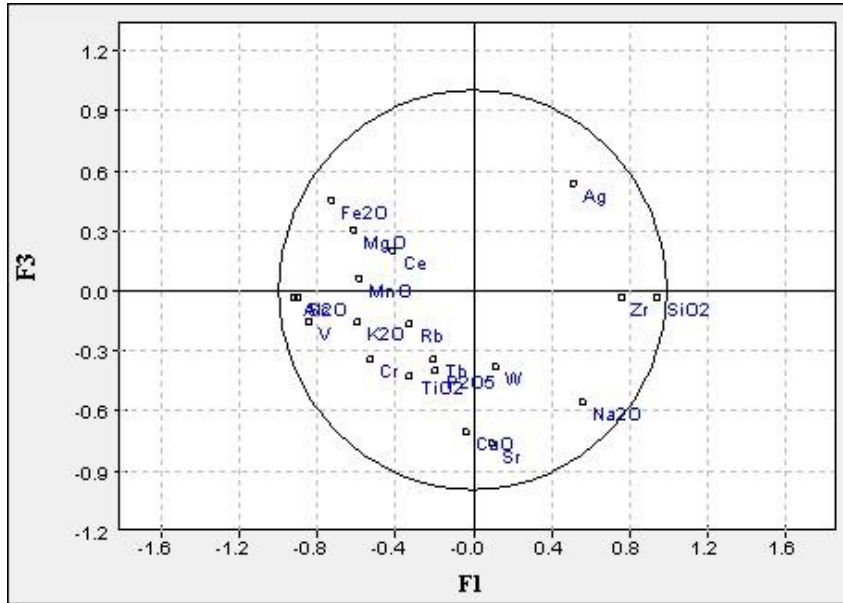


Figura 6.22- Círculo de correlação do plano F1/F3 da Formação de Pinhão.

O plano F1/F4 (Figura 6.23) representa 39,85% de inércia e estão bem representados os elementos SiO₂, Cr, Al₂O₃, Sc e V. Estes elementos estão bem representados no eixo F1, tal como Zr, Na₂O, Ag, Fe₂O₃(T), MgO, MnO e K₂O.

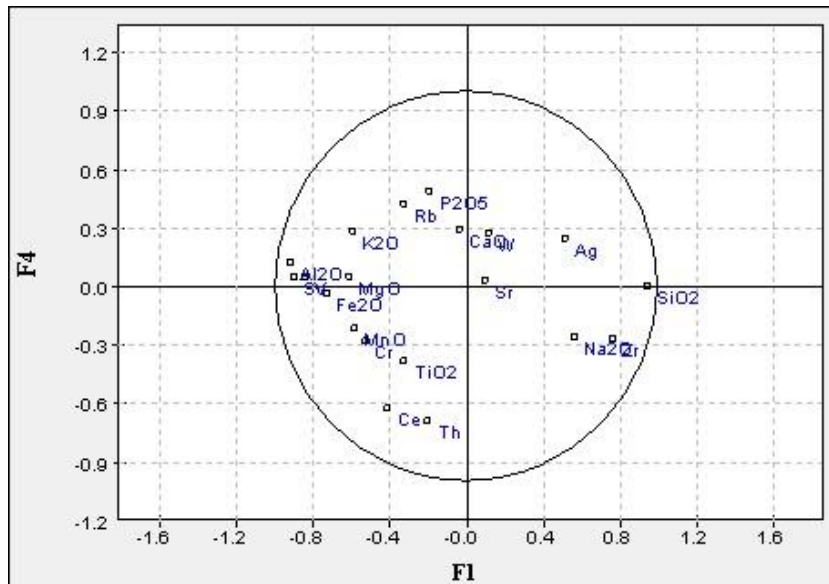


Figura 6.23- Círculo de correlação do plano F1/F4 da Formação de Pinhão.

Os elementos P_2O_5 , Rb, CaO, W, TiO_2 , Th e Ce estão representados no eixo F4. Os elementos P_2O_5 / Rb e CaO/ W são correlacionáveis e são anticorrelacionáveis com os restantes elementos que estão representados no eixo F4. Os elementos Al_2O_3 / Sc/ V/ $Fe_2O_3(T)$ / MgO e MnO/ Cr são correlacionáveis e não são correlacionáveis com os elementos SiO_2 , Zr, Ag e Na_2O . Neste plano o Sr mostra-se independente, apresentando valores próximos do centro (Figura 6.23).

O plano F1/F5 representa 39,85% de inércia e estão bem representados os elementos SiO_2 , Zr, Sc, V e Al_2O_3 (Figura 6.24).

No eixo F1, estão representados os elementos SiO_2 , Zr e Ag que não são correlacionáveis com os elementos Th, Ce, Rb, Sc, V, Al_2O_3 , $Fe_2O_3(T)$, MgO, K_2O e P_2O_5 , também representados neste eixo.

No eixo F5, estão representados os elementos CaO e TiO_2 que são anticorrelacionáveis com W, também representado neste eixo. Os elementos Sc/ V/ Al_2O_3 , $Fe_2O_3(T)$ / MgO/ K_2O e Rb/ P_2O_5 são correlacionáveis.

À semelhança do plano anterior, neste plano o Sr também se mostra independente, com representação próxima do centro (Figura 6.24).

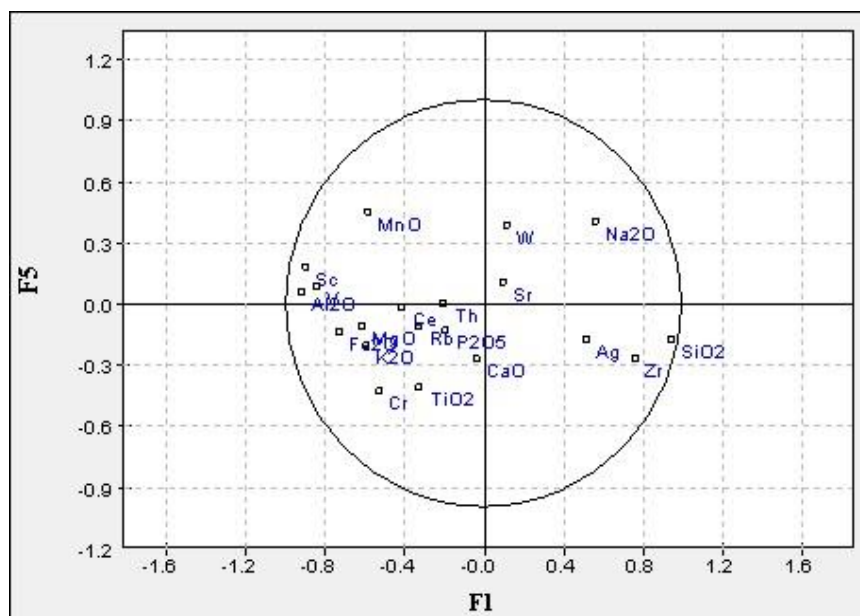


Figura 6.24- Círculo de correlação do plano F1/F5 da Formação de Pinhão.

Na tabela 6.25, são apresentados os coeficientes de correlação das amostras com os fatores e, na figura 6.25, a representação gráfica do plano F1/F2. Os restantes planos não são representados por os seus valores se situarem entre 1 e -1.

Tabela 6.25- Coeficiente de correlação das amostras com os fatores da Formação de Pinhão.

		Eixos Fatoriais				
	Amostras	F1	F2	F3	F4	F5
1	FC15	-0,74	-0,18	0,50	0,04	0,39
2	FS 1	-0,34	-0,68	-0,35	-0,03	-0,38
3	FS 2	-0,37	-0,40	0,30	0,33	-0,61
4	P1	0,23	0,47	0,13	0,33	0,16
5	P3	1,68	-0,29	0,32	0,37	0,13
6	P5	-0,16	-0,13	0,35	0,19	0,15
7	P6	-0,51	0,99	0,12	-0,02	-0,26
8	P7	-0,13	-0,59	0,19	-0,37	0,18
9	P8	-0,41	0,59	0,29	0,08	-0,05
10	P9	-0,06	-0,11	0,31	-0,26	-0,06
11	Pi1	0,13	0,00	-0,70	-0,55	0,09
12	Pi2	-0,52	-0,03	-0,32	-0,16	0,18
13	Pi3	0,06	0,22	-0,22	-0,02	0,23
14	Pi4	1,08	0,50	-0,06	-0,48	-0,26
15	Tan1	0,29	-0,25	0,09	-0,13	-0,16
16	Tan4	-0,18	-0,13	-0,03	-0,07	0,19
17	Tan5	-0,05	0,02	-0,92	0,74	0,06

Da análise da tabela e da figura, observa-se que no plano F1/F2, P3 e Pi4 são as amostras com mais significado no eixo F1 com valores > 1, correlacionando-se com os elementos representados no eixo F1 (SiO_2 , Ag, Na_2O , Sc e Al_2O_3) (Figura 6.21). Estas amostras são as que possuem teor mais elevado em SiO_2 e mais baixo em Al_2O_3 . Estas amostras também apresentam, no geral, valores mais elevados em Ag (P3 e Pi4), Na_2O (P3) e Sc (Pi4).

As restantes amostras apresentam valores entre -1 e 1, no entanto, P6 é a amostra que tem mais significado no eixo F2, apresentando valor próximo de 1, correlacionando-se com os elementos representados neste eixo (Figura 6.21). P6 é a que apresenta teor mais elevado em TiO_2 e menor em Sr. De um modo geral apresenta teores mais elevados em W, Th e P_2O_5 e é uma das amostras com teor mais baixo em CaO.

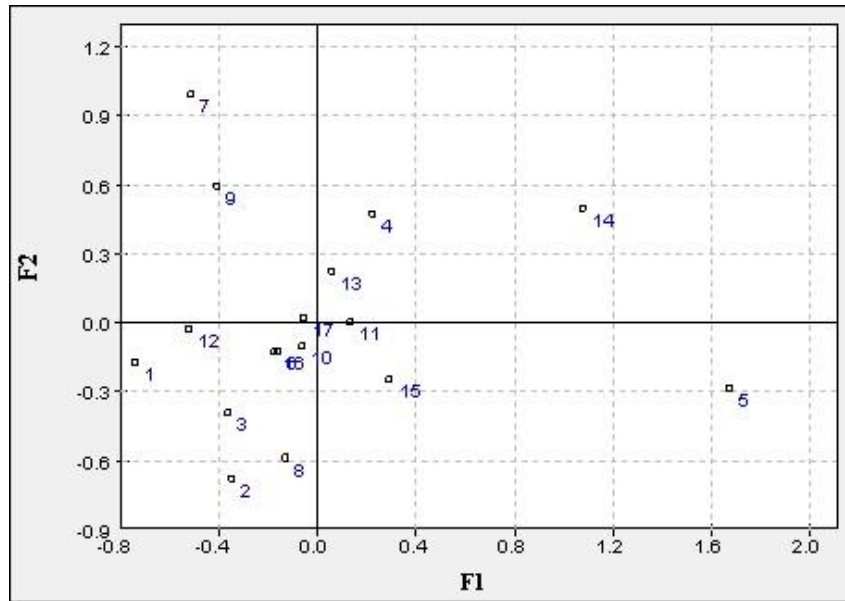


Figura 6.25- Representação gráfica das amostras no plano F1/F2 da Formação de Pinhão. 1- FC15, 2- FS1, 3- FS2, 4- P1, 5- P3, 6- P5, 7- P6, 8- P7, 9- P8, 10- P9, 11- Pi1, 12- Pi2, 13- Pi3, 14- Pi4, 15- Tan1, 16- Tan4, 17-Tan5.

7- Química mineral

7.1- Metodologia

Com o objetivo de identificar alguns minerais, recorreu-se ao estudo de microscopia eletrónica de varrimento (MEV) e microanálise por raios X, utilizando o Microscópio Eletrónico de Varrimento ambiental, de alta resolução (*Schottky*), com Microanálise por Raios X e Análise de Padrões de Difração de Elétrões Retrodondidos: FEI Quanta 400FEG ESEM / EDAX Genesis X4M. Este exame foi realizado no Laboratório de Microscopia Eletrónica de Varrimento e Microanálise por Raios X, no Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP).

Neste estudo, foram utilizadas lâminas delgadas polidas de XNFC, FC11, Euc1, Euc2 da Formação de Desejosa e P8 da Formação de Pinhão, revestidas com filme de carbono de 20 nanómetros, por vaporização, utilizando o equipamento JEOL JEE – 4X Vacuum Evaporator. Selecionaram-se estas amostras pois, no estudo petrográfico, foram detetados, em grande abundância, minerais opacos metálicos de pequena dimensão e finamente dispersos.

7.2- Resultados obtidos

Para além da identificação de minerais metálicos e de aspetos pouco perceptíveis ao microscópio petrográfico de luz polarizada transmitida e refletida, o MEV permitiu fazer uma análise quantitativa, incluindo a identificação dos elementos presentes num ponto ou região, a avaliação da sua importância relativa e a caracterização da sua distribuição espacial.

Nas tabelas 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5 e 7.6, são apresentadas as percentagens dos elementos químicos correspondentes aos pontos analisados, os respetivos espectros e a designação do respetivo mineral, em cada amostra.

A observação ao MEV permitiu identificar os seguintes minerais:

Ilmenite

Foi observada em todas as amostras, exceto em P8. Ocorre orientada, na matriz, no sentido da foliação da rocha e nas áreas mais argilosas que contornam os *load casts*

(Figura 7.11 (Z1)). Por vezes apresenta inclusões de quartzo (Figura 7.1 (Z1)) e de titanomagnetite (Figura 7.21 (Z1)). É observada a contactar com o quartzo, clorite (Figura 7.16 (Z2)), titanomagnetite (Figura 7.18 (Z9)) e com a pirite (Figura 7.22 (Z4)). Este mineral possui forma subédrica, por vezes rolada e várias dimensões (Figuras 7.4 (Z9), 7.5 (Z12) e 7.7 (Z3)).

Pirite

A pirite foi observada em XNFC, a nuclear em volta de terras raras, criando uma estrutura de *snow ball* (Figura 7.3 (Z7)), em FC11 nas áreas mais gresosas que correspondem aos *load casts* (Figura 7.11 (Z2)) e em Euc2 a contactar com a arsenopirite e com inclusões de ilmenite (Figura 7.22 (Z3)). Este mineral apresenta forma subédrica a anédrica e tamanho de várias dimensões.

Esfena

A esfena foi observada em XNFC e apresenta-se subédrica e orientada no sentido da foliação (Figura 7.4 (Z8)).

Calcopirite

Em FC11 foi observada calcopirite de forma anédrica nas áreas mais gresosas que correspondem aos *load casts* (Figura 7.11 (Z3)) e de forma subédrica junto à esfalerite (Figura 7.12 (Z4)).

Titanomagnetite

Este mineral foi observado na forma subédrica a contactar com a clorite (Figura 7.16 (Z3)) e com a ilmenite (Figura 7.18 (Z8)) em Euc1 e incluso na ilmenite em Euc2 (Figura 7.21 (Z2)).

Esfalerite

Apresenta forma anédrica junto à calcopirite em FC11 (Figura 7.12 (Z5)).

Pirrotite

Observada em XNFC na forma anédrica e orientada numa área de granularidade mais grosseira do que a matriz (Figura 7.6 (Z13)).

Arsenopirite

De forma euédrica a subédrica, a arsenopirite ocorre como inclusão na pirite (Figura 7.22 (Z5)) e com inclusões de galena (Figura 7.23 (Z6 e Z7)) em Euc2.

Galena

Ocorre como inclusão na arsenopirite em Euc2 (Figura 7.23 (Z6 e Z7)).

Magnetite

A magnetite foi observada apenas em P8. Apresenta cristais de forma euédrica a subédrica maiores do que a matriz, com inclusões e a ser contornada pela clorite (Figuras 7.26 (Z1), 7.27 (Z2) e 7.28 (Z5)).

Terras raras / Monazite

Os minerais de terras raras revelaram-se abundantes neste estudo, sobretudo em XNFC, Euc1 e Euc2. Em XNFC foram observados na forma anédrica a contornar um silicato e por sua vez a serem contornados por pirite (Figura 7.3 (Z6)) e com orientação da foliação junto à calcite (Figura 7.5 (Z11)). Também foram observados fosfatos de terras raras euédricos a anédricos, por vezes como inclusões (Figuras 7.9 (Z5) e 7.19 (Z10)).

Dentro dos minerais de terra raras foi possível identificar a monazite, aparentemente detritica, em todas as amostras, apresentando forma anédrica, por vezes com orientação segundo a foliação (Figuras 7.2 (Z3), 7.8 (Z4), 7.16 (Z4), 7.18 (Z7), 7.20 (Z12), 7.24 (Z8) e 7.25 (Z10 e Z11)). Ocorre várias vezes junto à ilmenite (Figuras 7.13 (Z6)) e a contactar com a clorite (Figura 7.27 (Z3)) e como inclusão (Figura 7.19 (Z11)).

Zircão

O zircão apresenta forma oval em XNFC (Figura 7.7 (Z6)), FC11 (Figura 7.14 (Z7)) e Euc1 (Figura 7.17 (Z5)), onde por vezes é observado como inclusão (Figura 7.20 (Z13)). Também ocorre na forma euédrica em FC11 (Figura 7.14 (Z8)) e em XNFC onde é possível observar o zonamento do cristal (Figura 7.10).

Para além da identificação destes minerais, também se observou, em XNFC, o quartzo como inclusão na ilmenite (Figura 7.1 (Z2)), silicatos de Th, U e Pb a serem contornados por minerais de terras raras e pirite, originando uma estrutura em *snow ball* (Figura 7.3 (Z4 e Z5)) e calcite anédrica (Figura 7.7 (Z1)) orientada a contactar com minerais de terras raras (Figura 7.5 (Z10)).

Em FC11 foi observada a biotite (Figura 7.15 (Z9)), clorite com clivagem bem visível de dimensões maiores do que a matriz, a contactar com a ilmenite e a titanomagnetite (Figura 7.16 (Z1)). A clorite também foi observada em P8 a contactar com a magnetite e a monazite (Figura 7.27 (Z4)).

Em Euc2 observaram-se cristais anédricos de um mineral calcossilicatado junto a cristais de monazite (Figura 7.24 (Z9)).

Tabela 7.1- Percentagem dos elementos químicos de cada ponto analisado ao MEV e designação do respetivo mineral na amostra XNFC (Foz Côa).

		Formação de Desejosa													
		Z1		Z2		Z3		Z4		Z5		Z6		Z7	
	%	C	4,29	C	6,03	C	8,80	C	4,53	C	3,86	C	12,07	C	10,08
	%	Ti	30,14	Si	41,88	Si	0,70	Si	3,97	Si	4,43	Ca	1,60	Fe	45,54
	%	Mn	2,63	Ti	3,78	P	12,38	P	0,75	P	0,63	La	18,07	S	44,38
	%	Fe	33,22	Fe	2,91	La	13,62	Th	27,52	Zr	2,39	Ce	28,17		
	%	O	29,72	O	45,39	Ce	26,70	U	10,09	Th	29,19	Nd	14,04		
	%					Nd	9,80	Ca	0,67	U	6,74	O	26,04		
	%					O	28	Pb	34,71	Ca	0,75				
	%							O	17,75	Pb	32,87				
	%									O	19,15				
	%	Total	100		100		100		100		100		100		100
XNFC (Foz Côa)		Ilmenite		Quartzo		Monazite		Silicato de Th, U e Pb		Silicato de Th, U e Pb		Terras raras		Pirite	
		Z8		Z9		Z10		Z11		Z12		Z13			
	%	C	4,94	C	4,18	C	18,54	C	15,38	C	4,24	C	9,58		
	%	Al	1,86	Ti	30,22	Al	2,47	Al	2,25	Ti	30,75	Fe	55,27		
	%	Si	16,36	Mn	2,24	Si	4,38	Si	4,16	Mn	2,78	S	35,15		
	%	Ca	20,71	Fe	33,33	Ca	31,75	K	0,41	Fe	33,32	C	9,58		
	%	Ti	21,31	O	30,04	Mn	0,97	Ca	4,79	O	28,91				
	%	O	34,83			Fe	3,01	La	11,00						
	%					O	38,88	Ce	23,64						
	%							Nd	9,20						
%							O	29,19							
%	Total	100		100		100		100		100		100			
		Titanite		Ilmenite		Calcite		Terras raras		Ilmenite		Pirrotite			

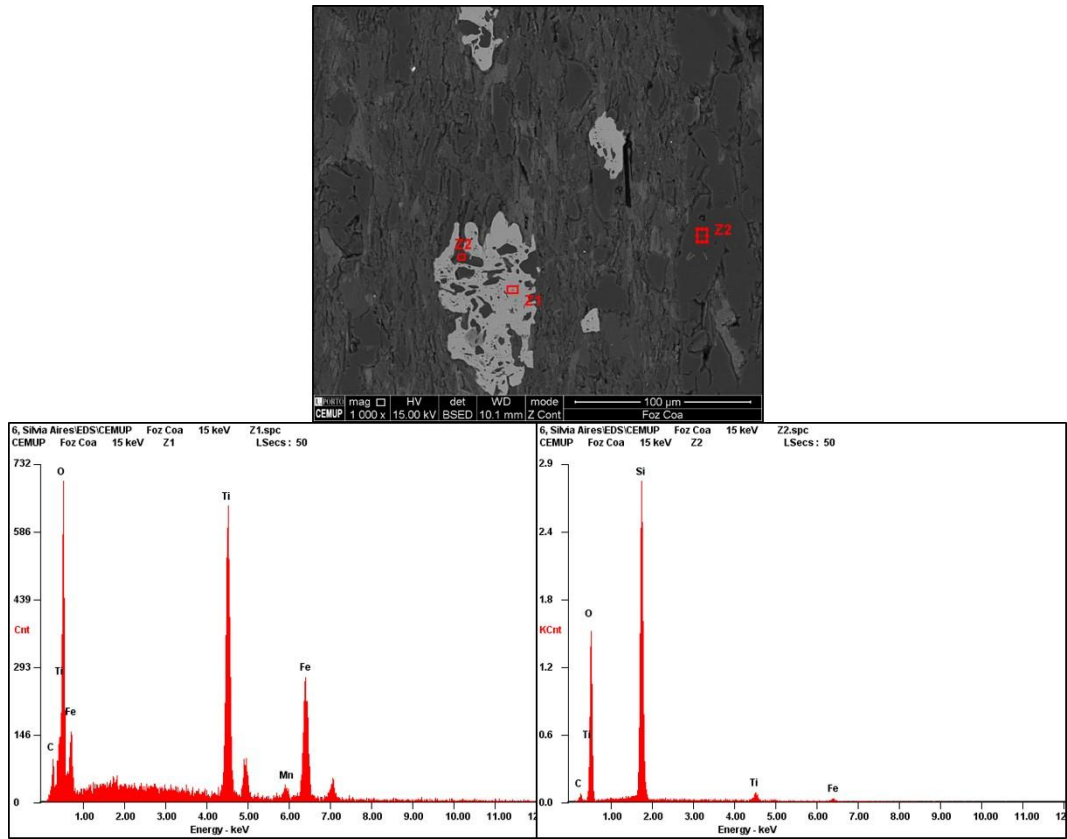


Figura 7.1- Análise ao MEV de XNFC: ilmenite (Z1) e quartzo (Z2).

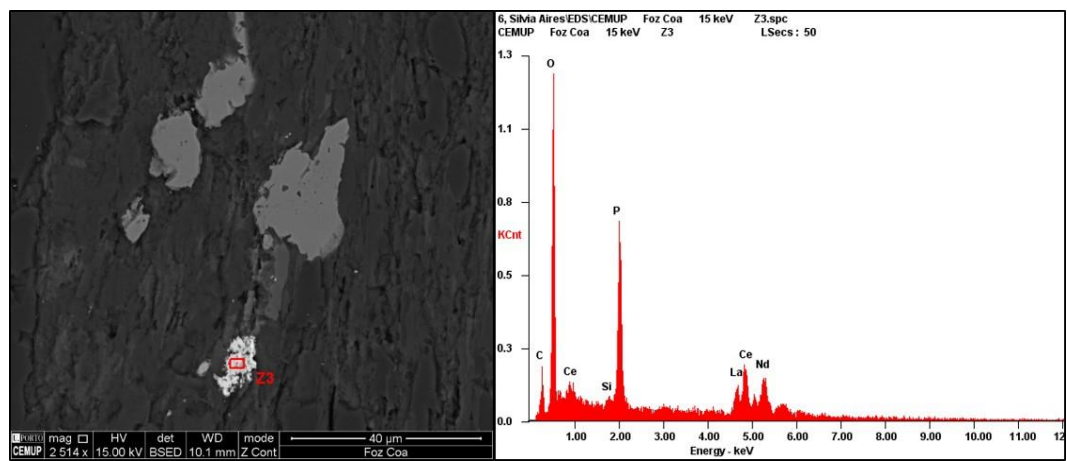


Figura 7.2- Análise ao MEV de XNFC: monazite (Z3).

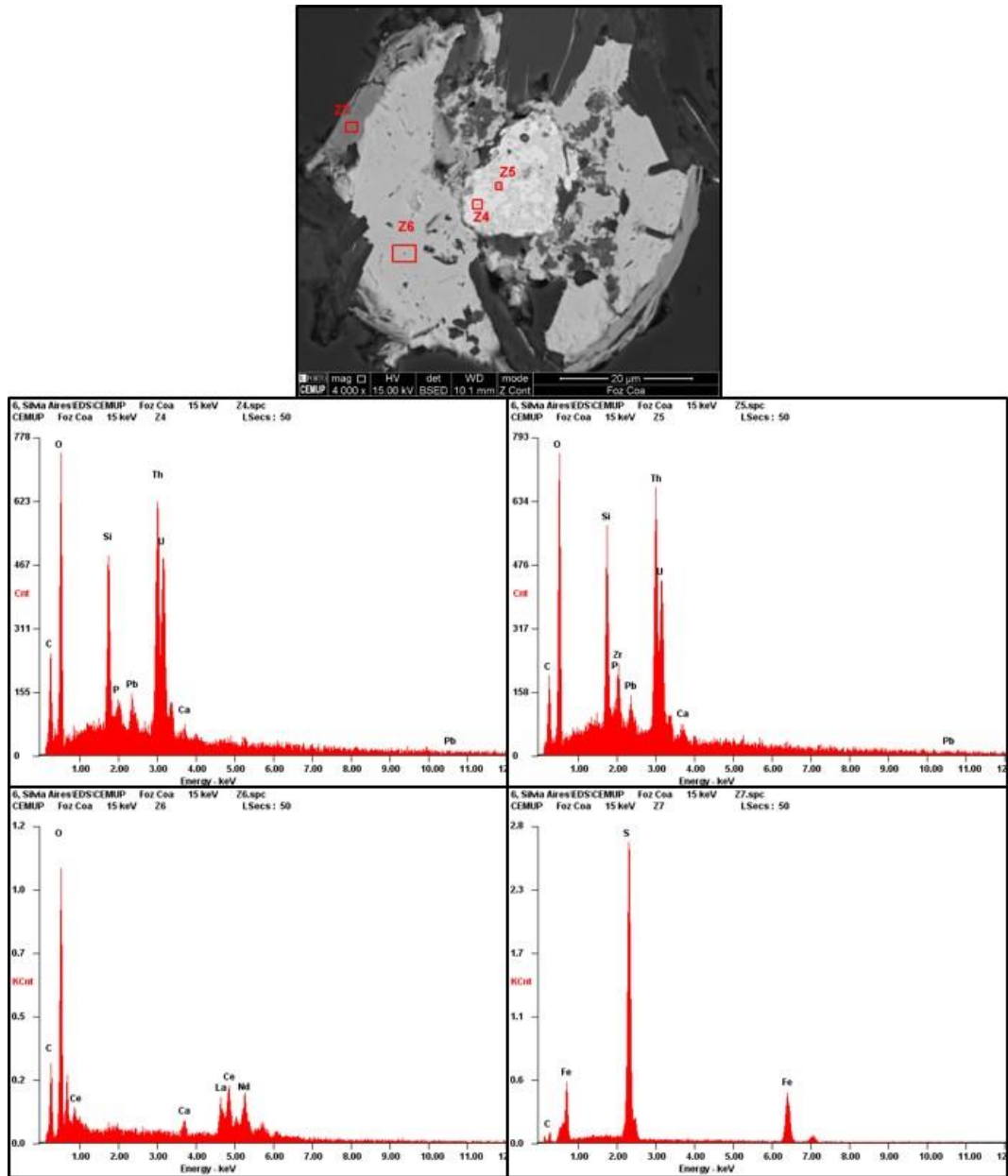


Figura 7.3- Análise ao MEV de XNFC: silicato de Th, U e Pb (Z4 e Z5), terras raras (Z6) e pirite (Z7).

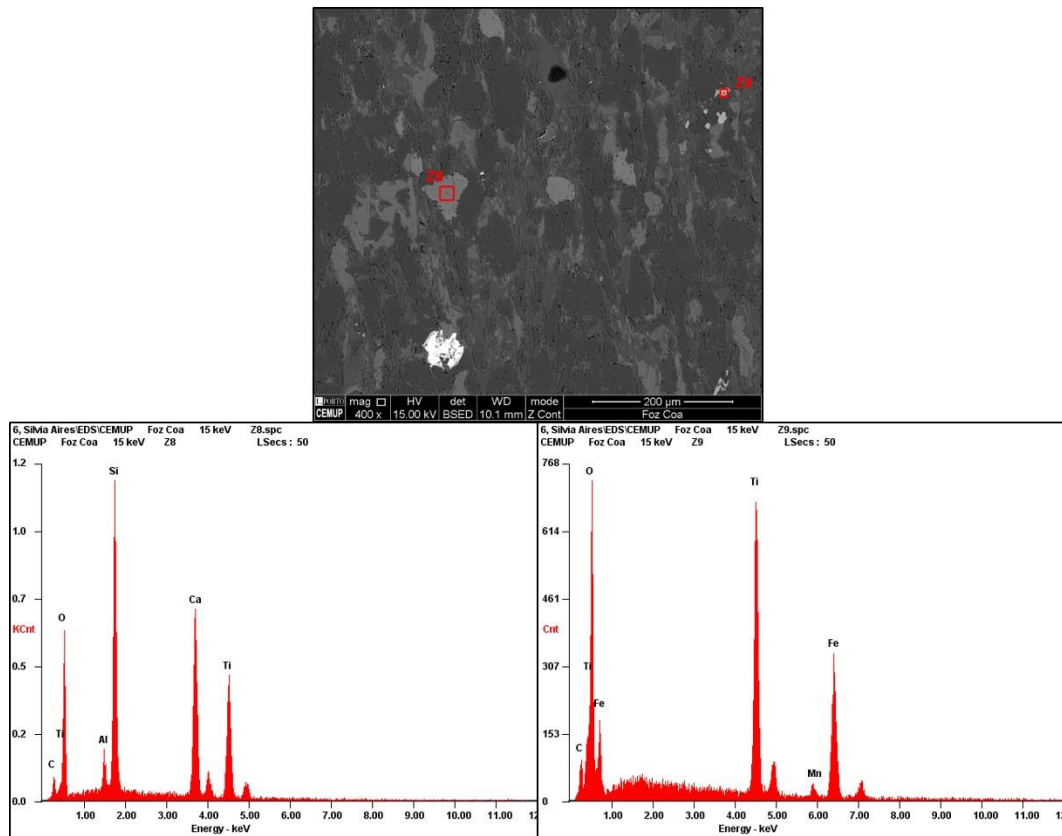


Figura 7.4- Análise ao MEV de XNFC: esfena (Z8) e ilmenite (Z9).

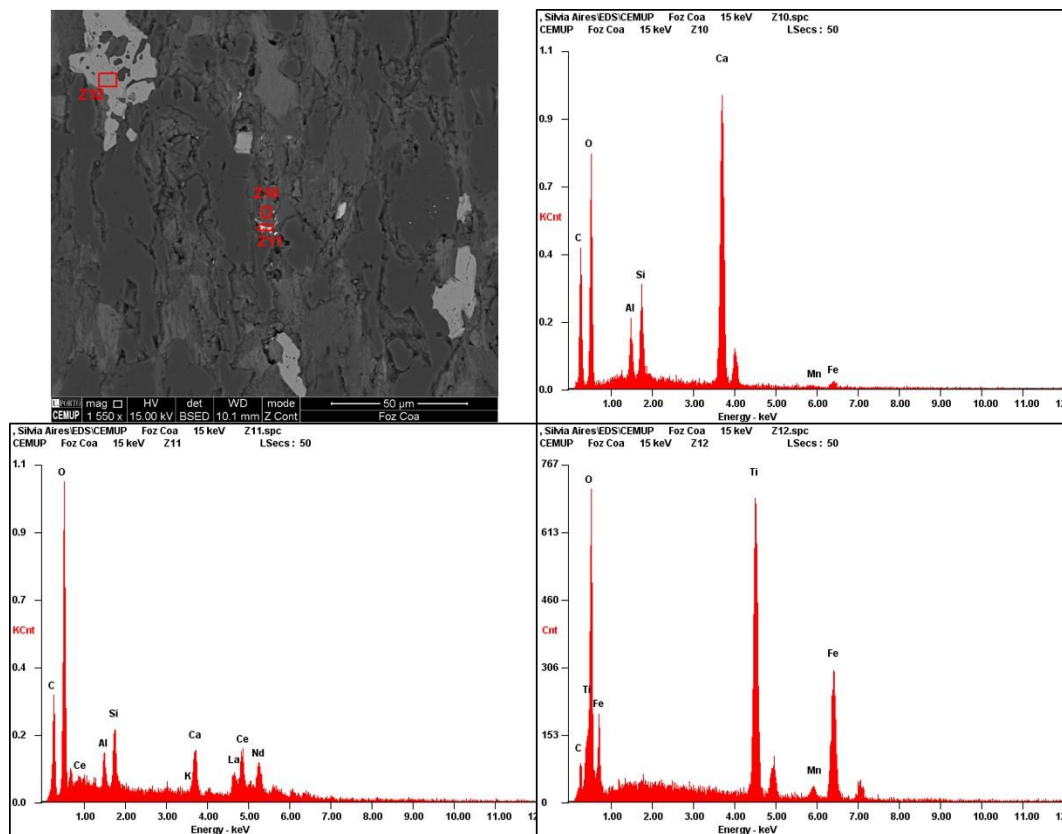


Figura 7.5- Análise ao MEV de XNFC: calcite (Z10), terras raras (Z11) e ilmenite (Z12).

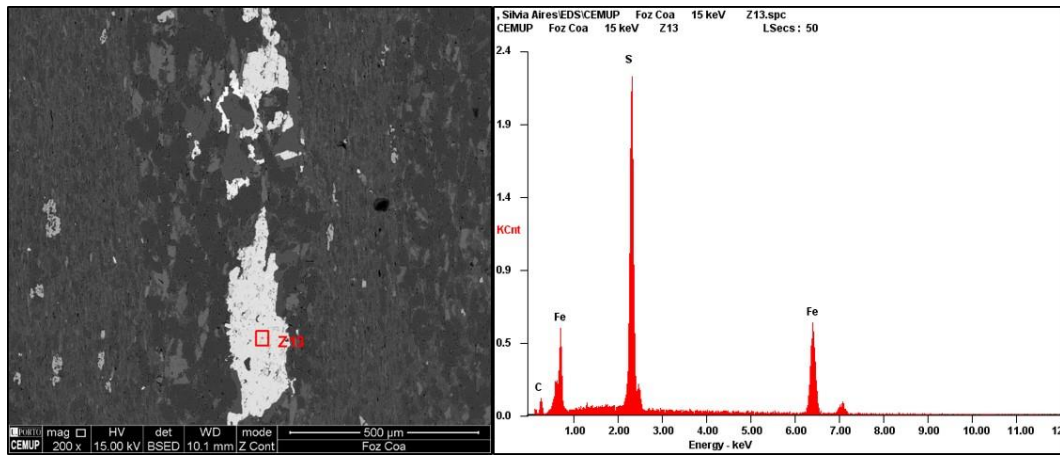


Figura 7.6- Análise ao MEV de XNFC: pirrotite (Z13).

Tabela 7.2- Percentagem dos elementos químicos de cada ponto analisado ao MEV e designação do respetivo mineral na amostra XNFC (FCNA).

Formação de Desejosa											
		Z1		Z2		Z3		Z4		Z5	
XNFC (FCNA)	%	C	14,47	Si	17,06	Ti	31,05	Mg	1,31	C	13,16
	%	Mg	0,93	Zr	50,74	Mn	2,12	Al	1,83	Al	1,79
	%	Al	0,51	O	32,2	Fe	36,33	Si	3,32	P	12,05
	%	Si	0,77			O	30,49	P	13,29	Dy	4,73
	%	Ca	37,63					La	14,5	Co	1,26
	%	Fe	1,72					Ce	30,34	Y	39,3
	%	O	43,97					Fe	4,3	O	27,71
	%							O	31,12		
	%	Total	100		100		100		100		100
		Calcite		Zircão		Ilmenite		Monazite		Fosfato de terras raras	

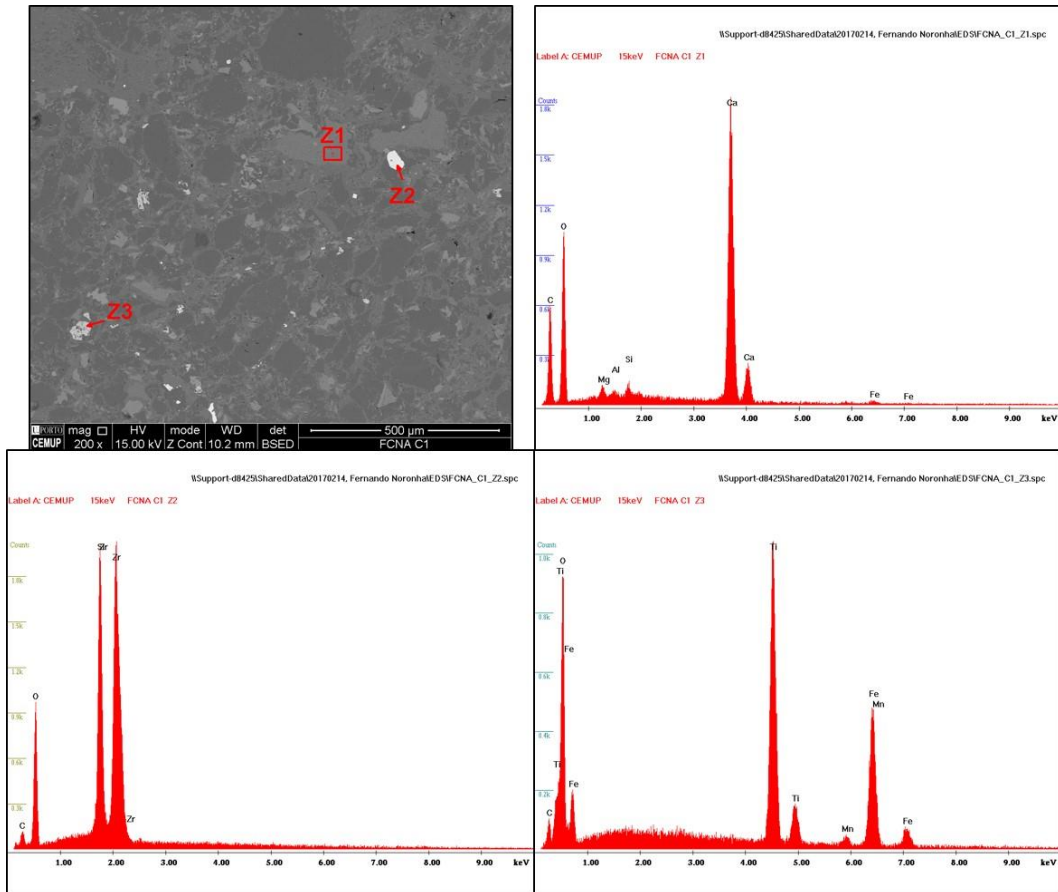


Figura 7.7- Análise ao MEV de XNFC: calcite (Z1), zircão (Z2) e ilmenite (Z3).

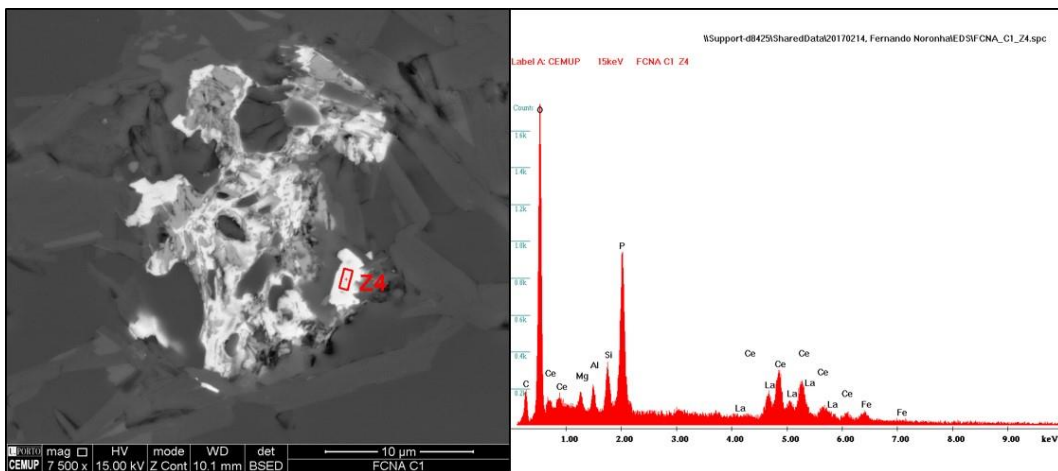


Figura 7.8- Análise ao MEV de XNFC: monazite (Z4).

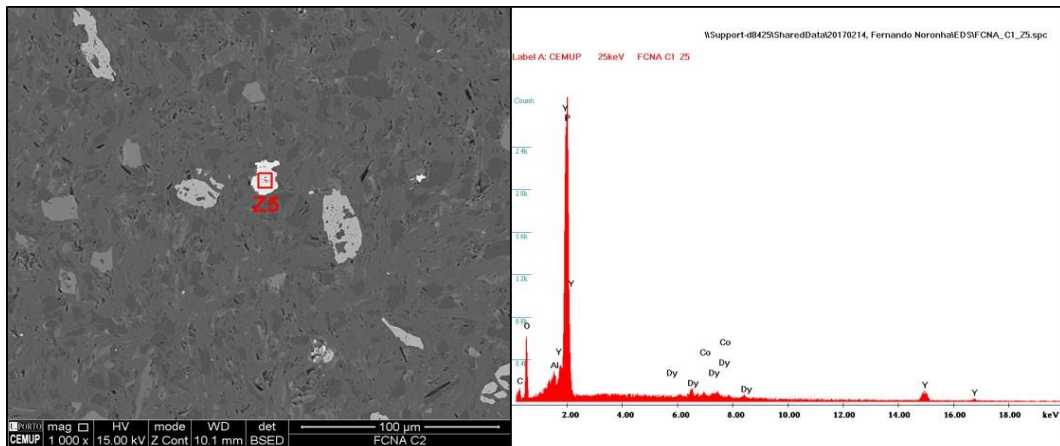


Figura 7.9- Análise ao MEV de XNFC: fosfato de terras raras (Z5).

Tabela 7.3- Percentagem dos elementos químicos de cada ponto analisado ao MEV e designação do respetivo mineral na amostra FC11.

Formação de Desejosa											
		Z1		Z2		Z3		Z4		Z5	
	%	Ti	31,18	Fe	46,87	Si	0,51	Fe	30,05	S	32,78
	%	Mn	1,47	S	53,13	S	33,61	Cu	34,39	Fe	6,68
	%	Fe	36,38			Fe	29,66	S	35,56	Zn	59,03
	%	O	30,97			Cu	33,65			O	1,51
	%					O	2,57				
	%	Total	100		100		100		100		100
			Ilmenite		Pirite		Calcopirite		Calcopirite		Esfalerite
		Z6		Z7		Z8		Z9			
FC11	%	Al	1,18	Al	0,81	Si	16,99	Mg	1,62		
	%	Si	1,54	Si	12,6	Zr	50,79	Al	16,63		
	%	P	13,09	Zr	40,54	O	32,22	Si	24,85		
	%	K	0,67	Th	2,32			K	9,46		
	%	La	13,9	U	1,33			Fe	3,63		
	%	Ce	27,87	Ca	1,89			O	43,8		
	%	Nd	12,07	Fe	2,7						
	%	Fe	1,73	O	37,81						
	%	O	27,95								
	%	Total	100		100		100		100		
			Monazite		Zircão		Zircão		Biotite		

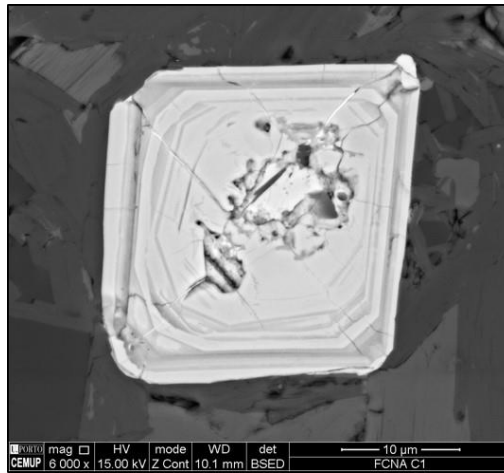


Figura 7.10- Análise ao MEV de XNFC: zircão zonado de forma euédrica.

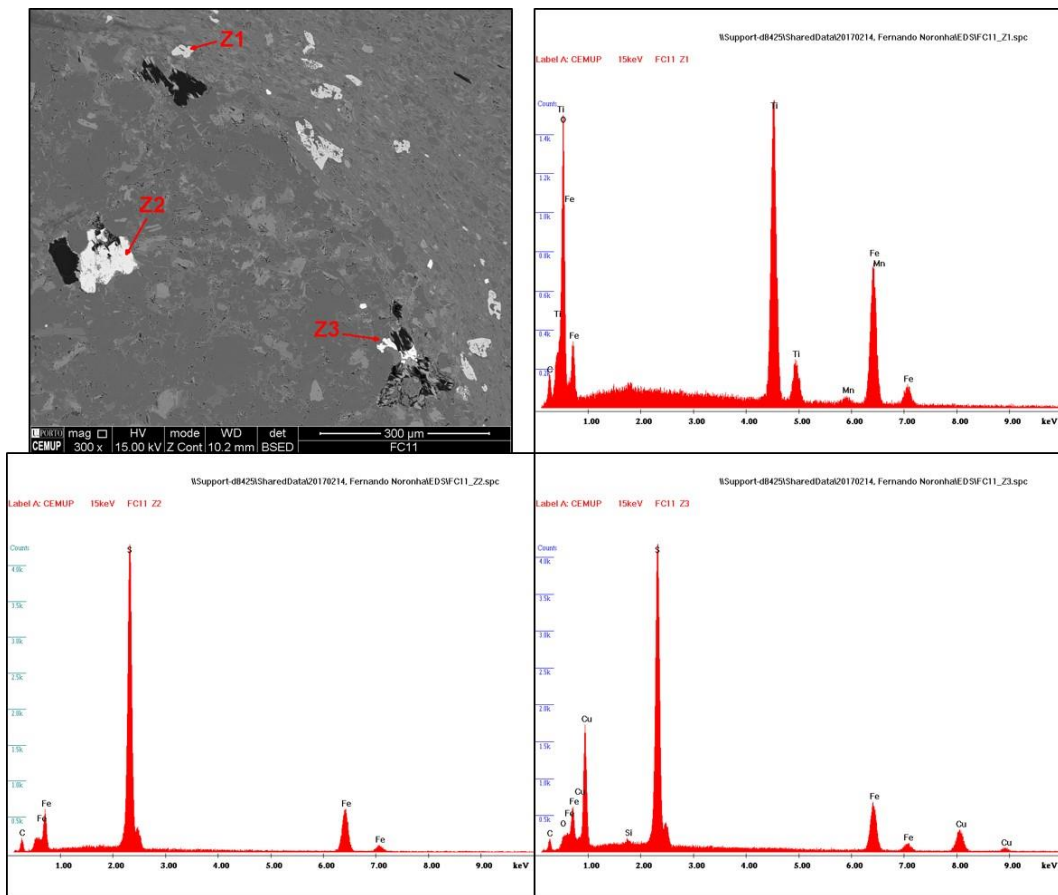


Figura 7.11- Análise ao MEV de FC11: ilmenite (Z1), pirite (Z2) e calcopirite (Z3).

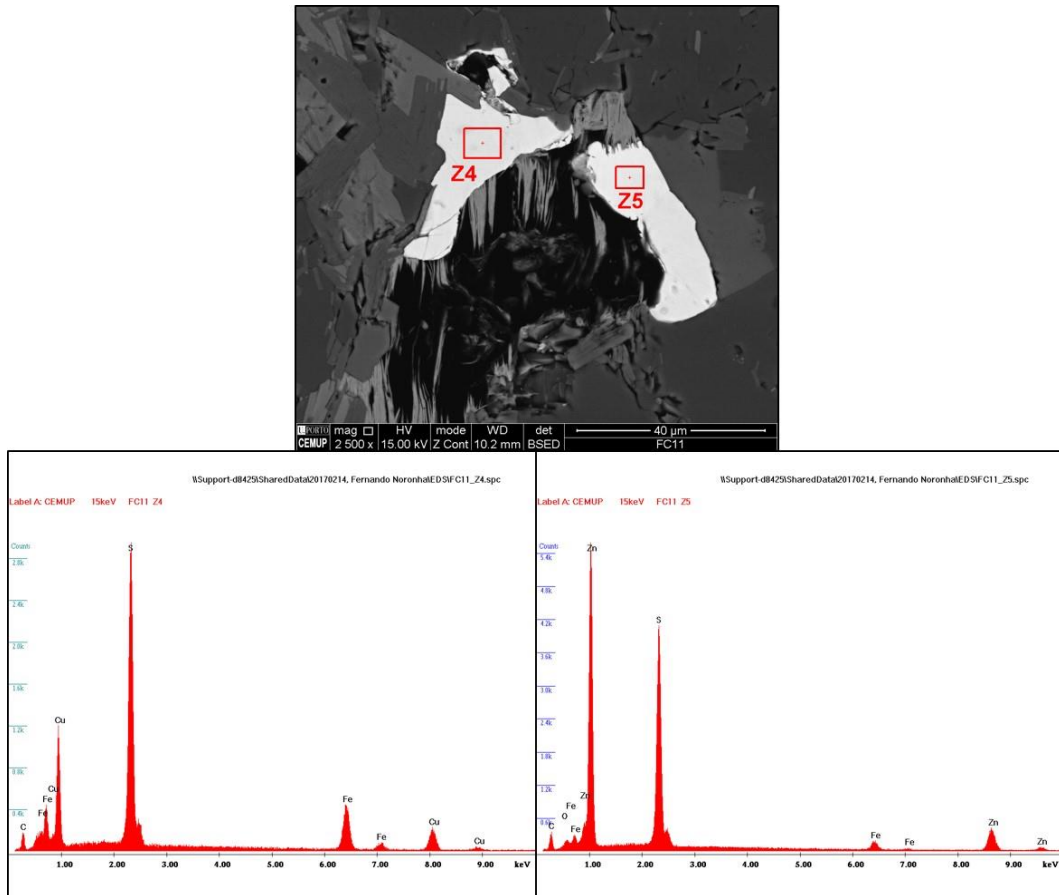


Figura 7.12- Análise ao MEV de FC11: calcopirite (Z4) e esfalerite (Z5).

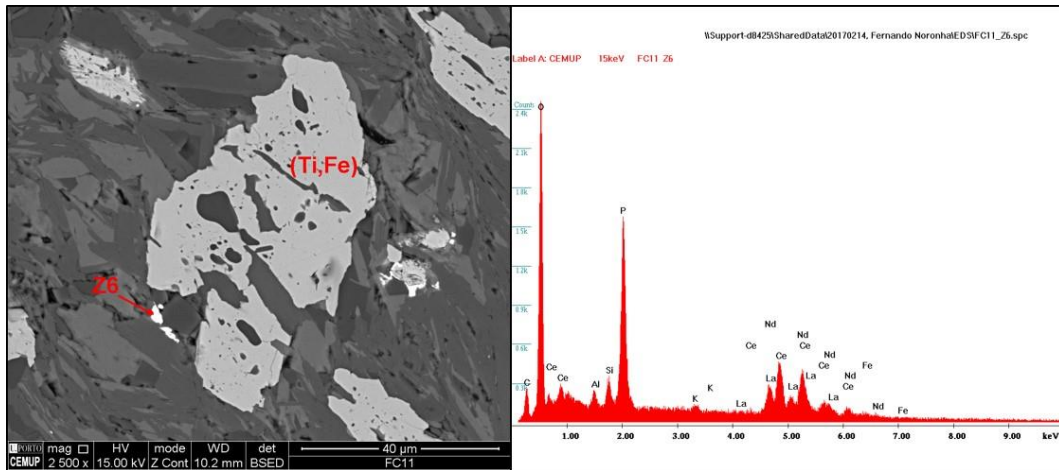


Figura 7.13- Análise ao MEV de FC11: monazite (Z6).

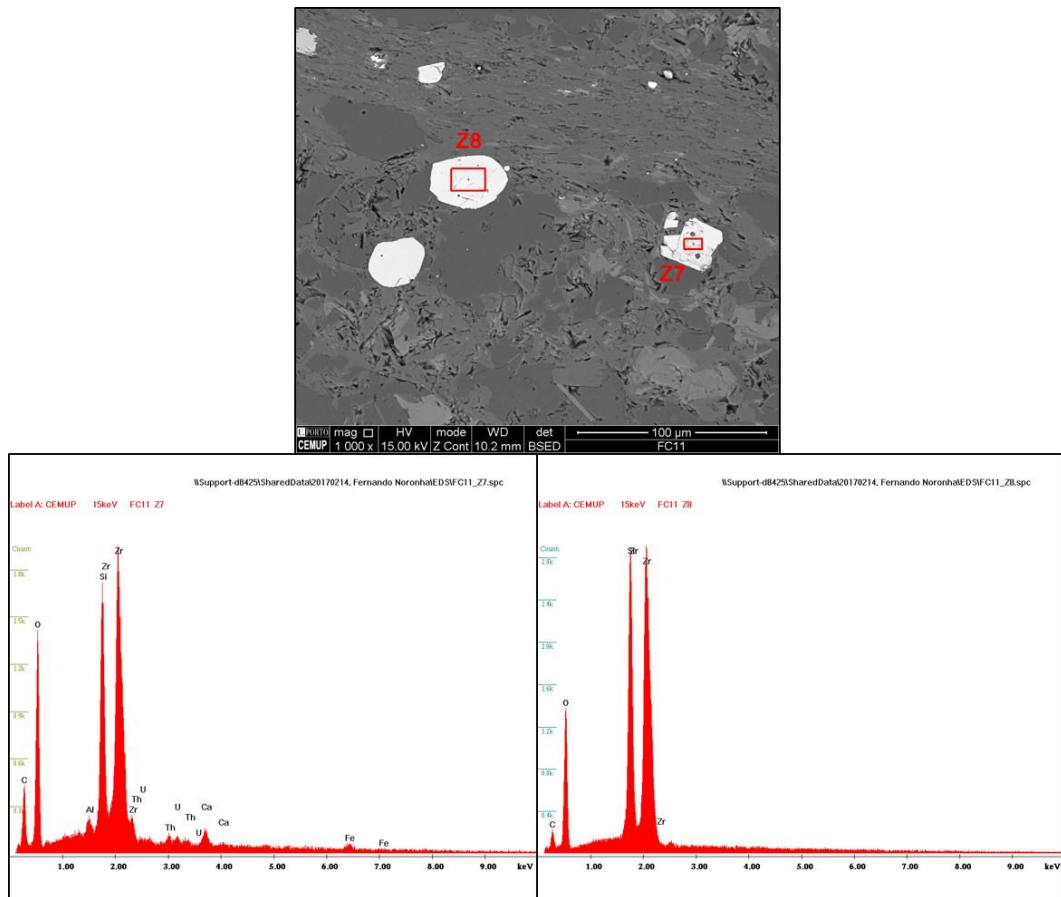


Figura 7.14- Análise ao MEV de FC11: zircão (Z7 e Z8).

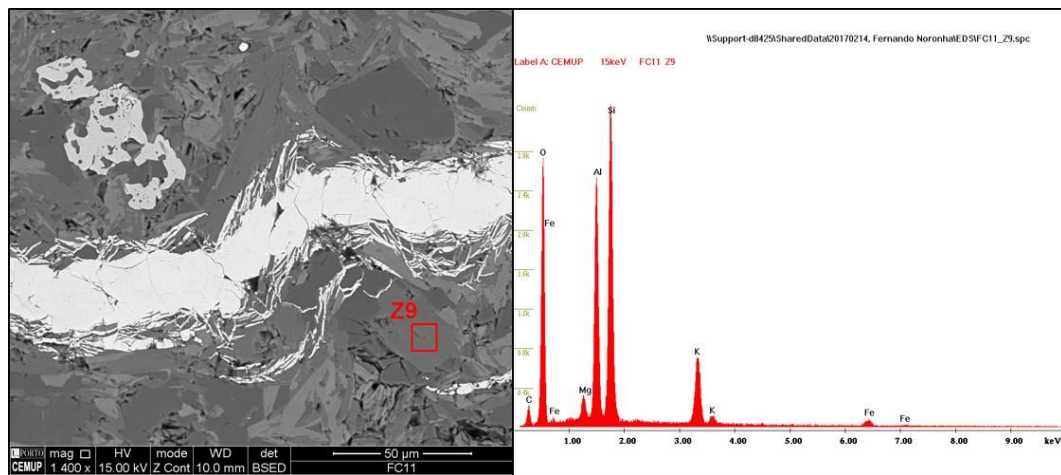


Figura 7.15- Análise ao MEV de FC11: biotite (Z9).

Tabela 7.4- Percentagem dos elementos químicos de cada ponto analisado ao MEV e designação do respetivo mineral na amostra Euc1 (Euc12).

Formação de Desejosa									
		Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	
Euc1 (Euc12)	%	C 5,8	C 3,82	C 3,99	C 8,12	C 29,83	B 2,18	C 9,78	
	%	Mg 6,85	Ti 31,29	Al 0,57	P 12,33	Si 12,14	C 3,88	P 12,14	
	%	Al 11,71	Mn 1,89	Si 0,9	La 13,95	Zr 34,96	Al 1,74	La 13,48	
	%	Si 12,91	Fe 32,86	Ti 57,76	Ce 25,99	O 23,07	Si 3,64	Ce 27,39	
	%	K 0,75	O 30,14	O 36,78	Nd 11,79		K 0,67	Nd 9,35	
	%	Fe 20,36			O 27,82		Bi 79,38	O 27,87	
	%	O 41,63					O 8,51		
	%	Total 100	100	100	100	100	100	100	
		Clorite	Ilmenite	Titanomagnetite	Monazite	Zircão	Bismuto	Monazite	
		Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	Z13		
%	C 13,22	C 8,54	C 10,41	C 10,85	C 8,34	C 9,04			
%	Si 0,53	Ti 30,52	Si 7,51	Si 4,69	Si 0,6	Si 17,85			
%	Ti 54,3	Mn 2,32	Y 27,85	P 10,65	P 12,5	Zr 40,97			
%	O 31,94	Fe 32,05	P 10,74	La 11,11	Th 3,47	O 32,15			
%		O 26,58	Gd 3,58	Ce 24,59	La 12,1				
%			Dy 6,12	Pr 2,76	Ce 24,74				
%			Er 3,65	Nd 11,46	Pr 1,81				
%			O 30,13	O 23,9	Nd 10,47				
%					O 25,97				
%	Total 100	100	100	100	100	100	100		
		Titanomagnetite	Ilmenite	Fosfato de terras raras	Monazite	Monazite	Zircão		

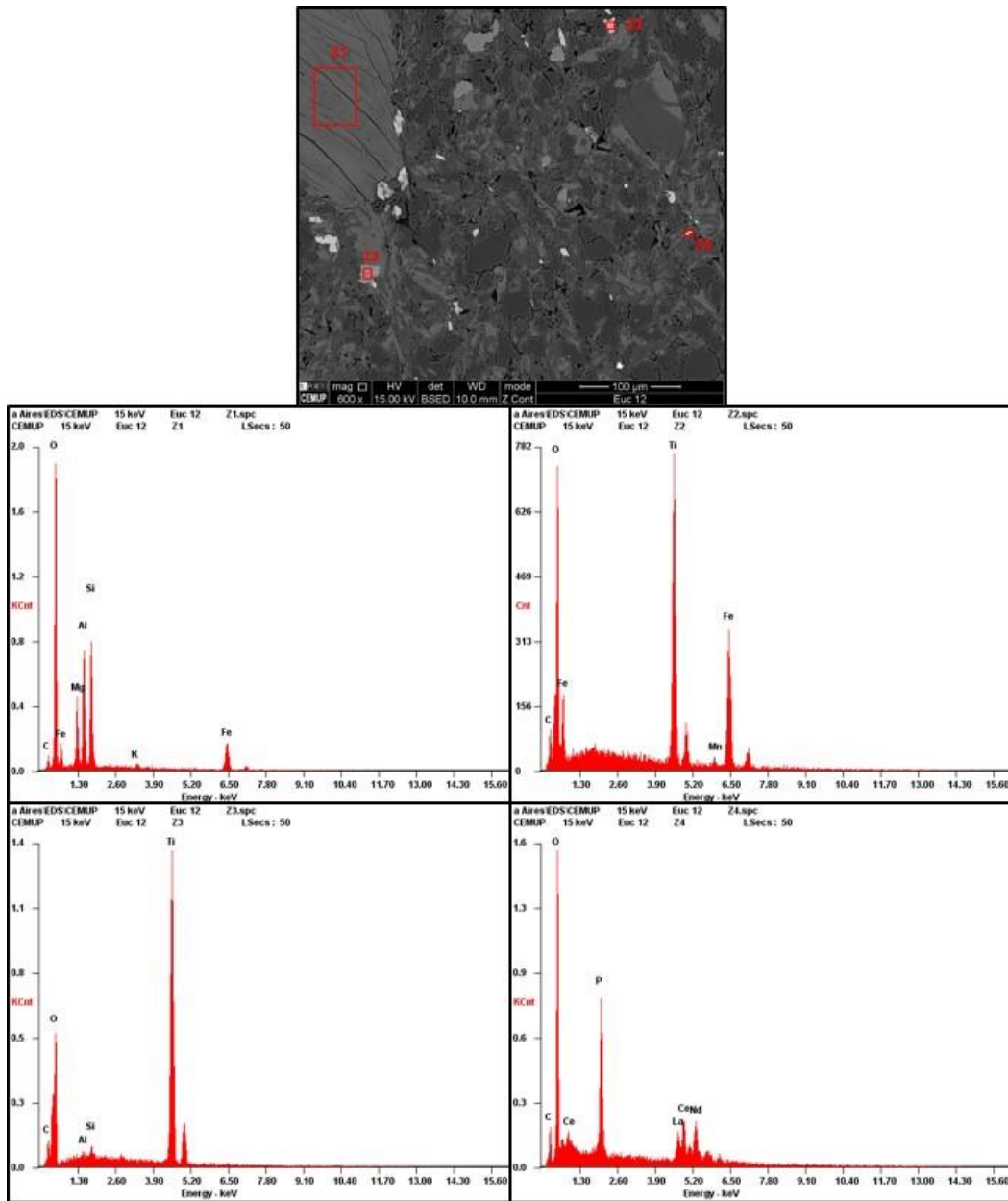


Figura 7.16- Análise ao MEV de Euc1: clorite (Z1), ilmenite (Z2), titanomagnetite (Z3) e monazite (Z4).

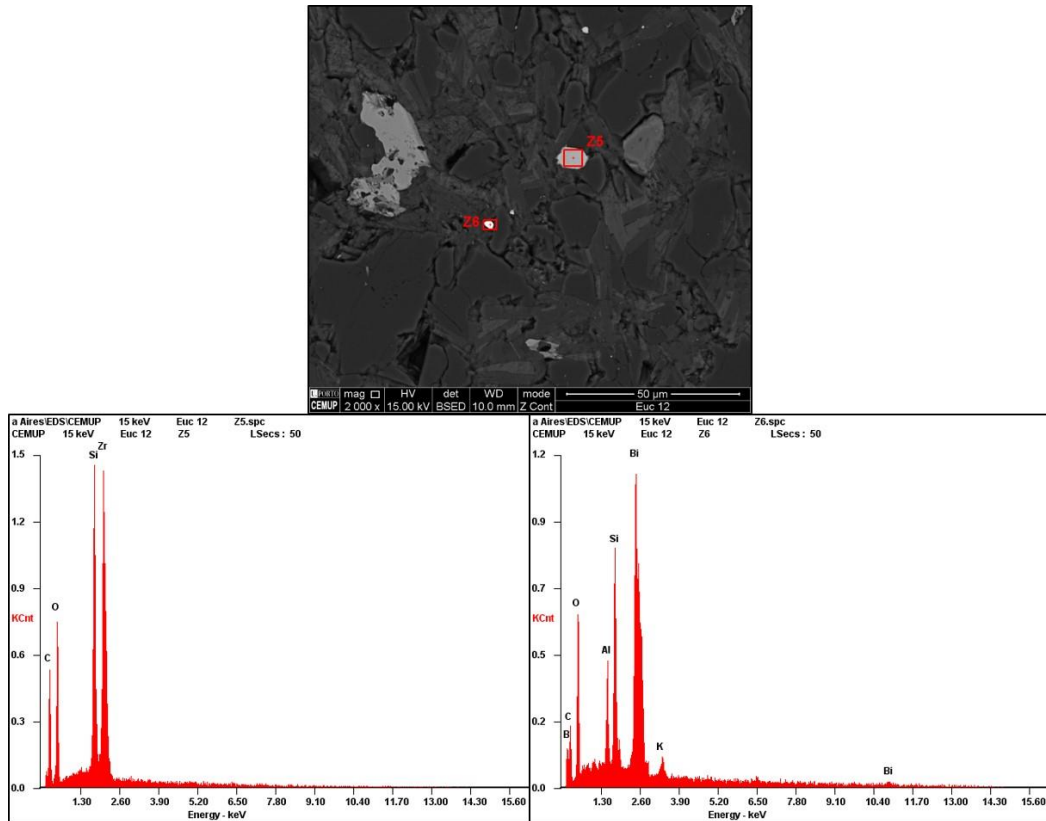


Figura 7.17- Análise ao MEV de Euc1: zircão (Z5) e bismuto (Z6).

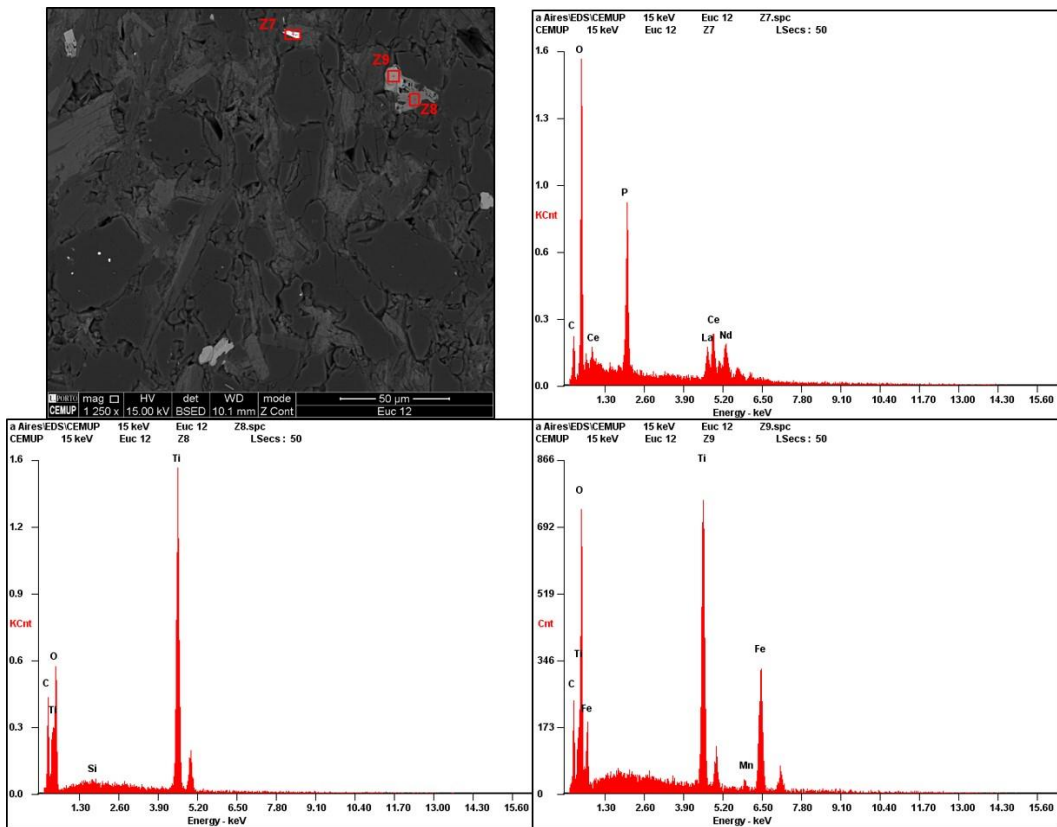


Figura 7.18- Análise ao MEV de Euc1: monazite (Z7), titanomagnetite (Z8) e ilmenite (Z9).

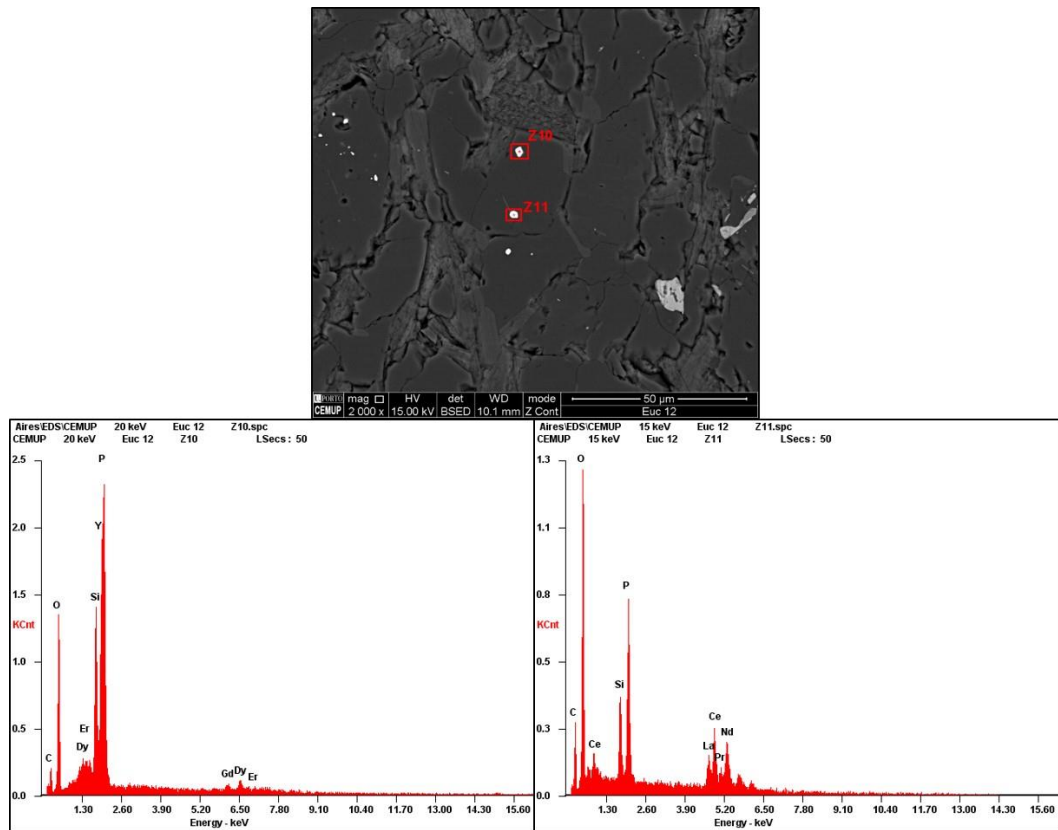


Figura 7.19- Análise ao MEV de Euc1: fosfato de terras raras (Z10) e monazite (Z11).

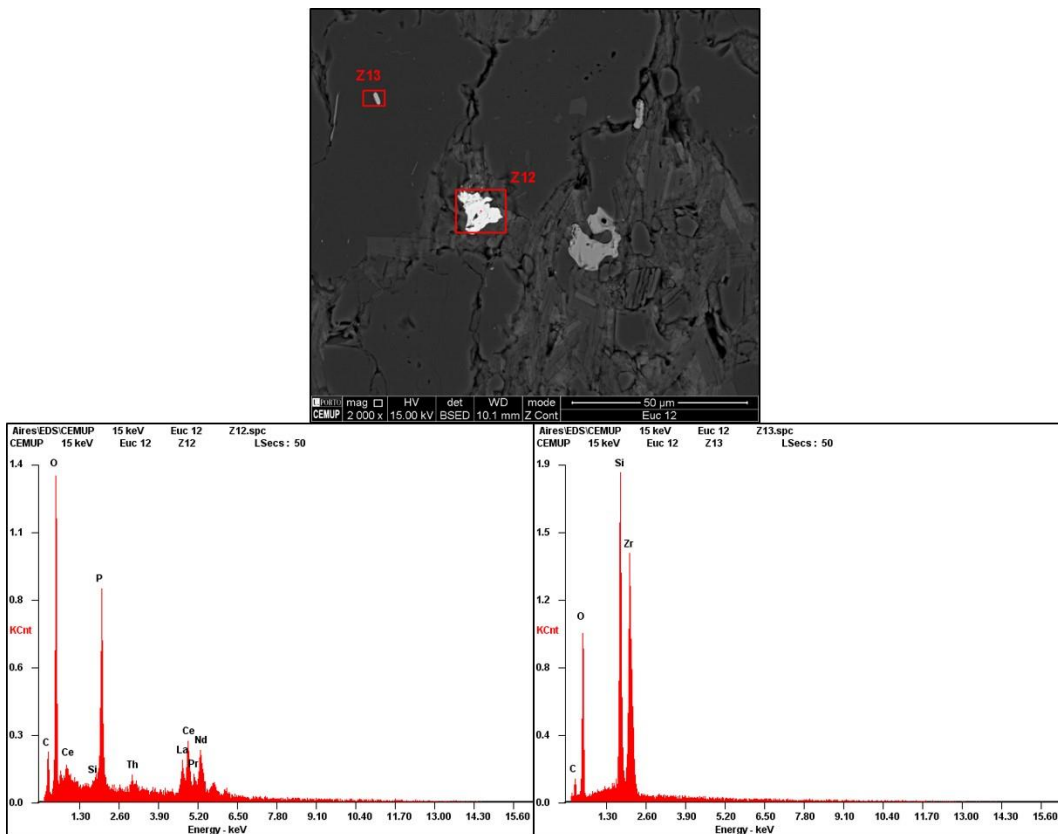


Figura 7.20- Análise ao MEV de Euc1: monazite (Z12) e zircão (Z13).

Tabela 7.5- Percentagem dos elementos químicos de cada ponto analisado ao MEV e designação do respetivo mineral na amostra Euc2 (Euc13).

Formação de Desejosa							
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	
Euc2 (Euc13)	%	C 4,6	C 4,12	C 9,05	C 4,14	C 10,21	C 6,17
	%	Ti 30,69	Si 0,52	S 36,4	Ti 30,32	S 16,03	As 2,61
	%	Mn 1,74	Ti 57,64	Fe 54,56	Mn 2,02	Fe 4,96	S 1,28
	%	Fe 33,64	Fe 2,4		Fe 34,49	Co 21,43	Ca 0,31
	%	O 29,32	O 35,31		O 29,04	Ni 3,36	Ti 1,33
	%					As 44	Fe 2,14
	%						Co 0,41
	%						Pb 82,35
	%						O 3,4
	%	Total 100	100	100	100	100	100
		Ilmenite	Titanomagnetite	Pirite	Ilmenite	Arsenopirite	Galena
	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11		
%	C 8,18	C 8,54	C 5,65	C 11,6	C 15,04		
%	As 9,14	Si 30,52	Al 10,53	F 3,02	F 4,14		
%	S 5,06	P 2,32	Si 16,27	Al 0,84	Al 0,93		
%	Fe 2,43	La 32,05	Ca 7,63	Si 3,9	Si 5,3		
%	Co 3,83	Ce 26,58	La 4,83	P 5,13	Ca 4,76		
%	Ni 0,85	Nd	Ce 9,51	Ca 3,21	La 11,29		
%	Pb 70,52	O	Fe 9,64	La 11,19	Ce 20,93		
%			O 35,94	Ce 22,69	Nd 9,96		
%				Nd 7,93	O 27,65		
%				O 30,5			
%	Total 100	100	100	100	100		
	Galena	Monazite	Mineral calcossilicatado	Monazite	Mineral calcossilicatado		

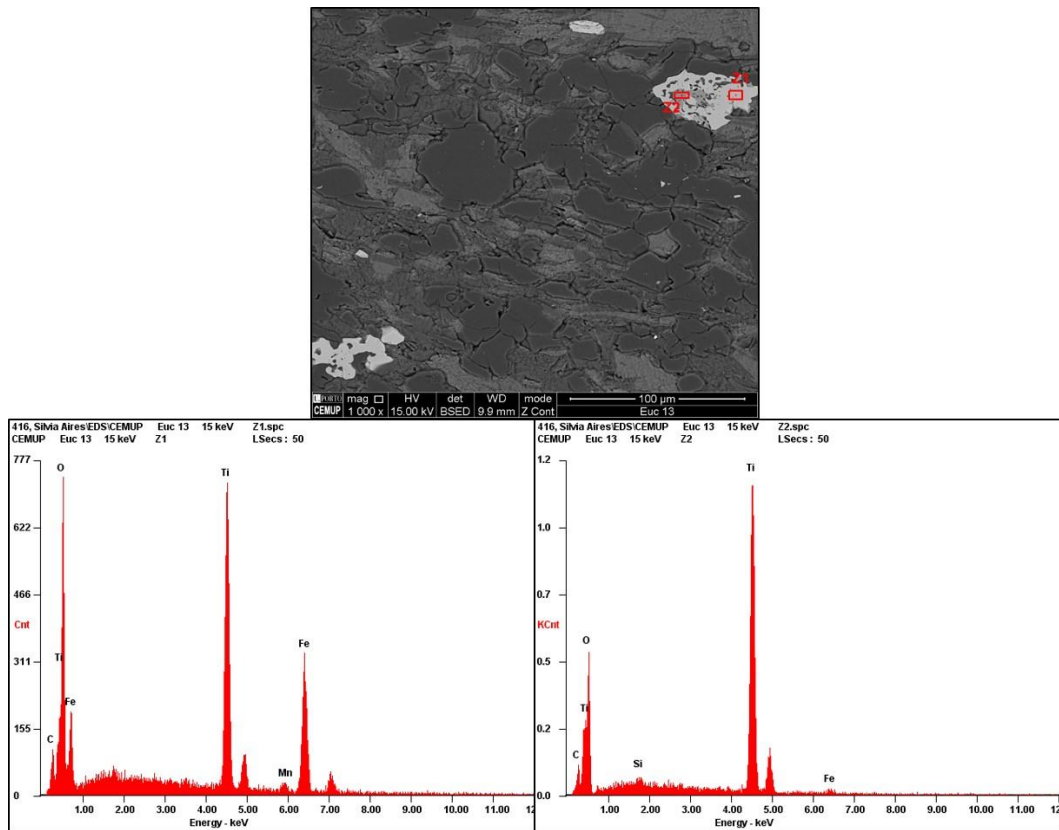


Figura 7.21- Análise ao MEV de Euc2: ilmenite (Z1) e titanomagnetite (Z2).

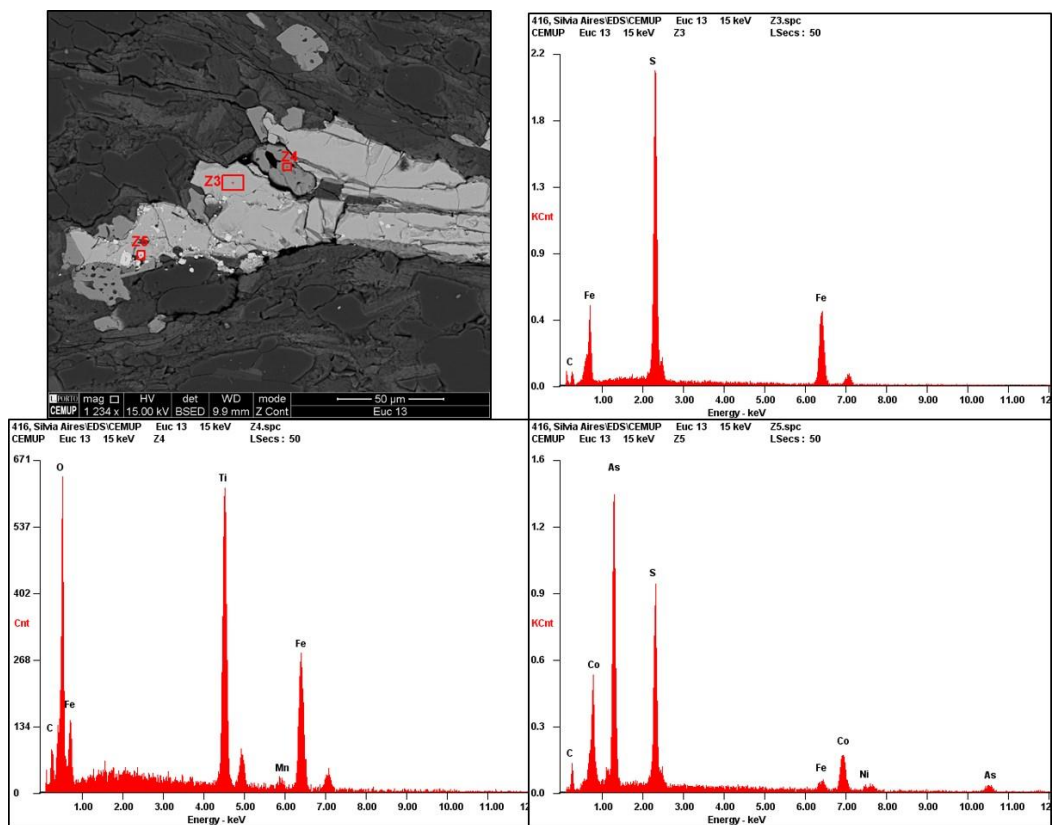


Figura 7.22- Análise ao MEV de Euc2: pirite (Z3), ilmenite (Z4) e arsenopirite (Z5).

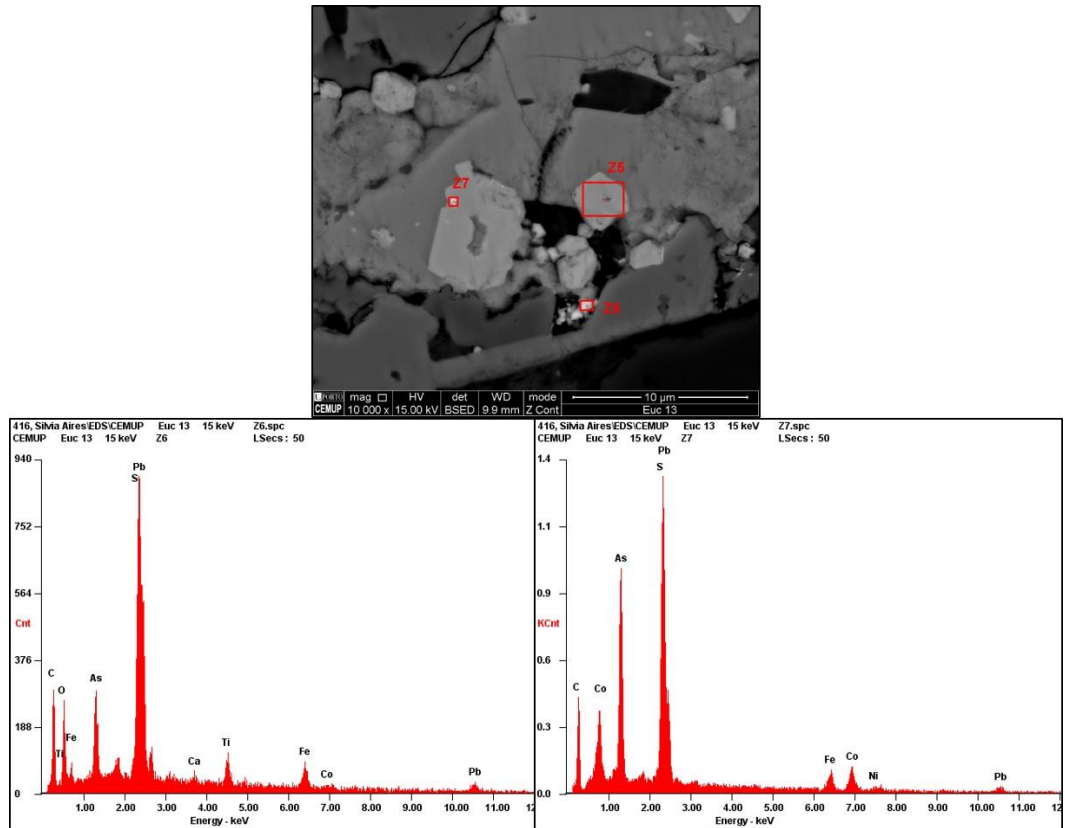


Figura 7.23- Análise ao MEV de Euc2: arsenopirite (Z5) e galena (Z6 e Z7).

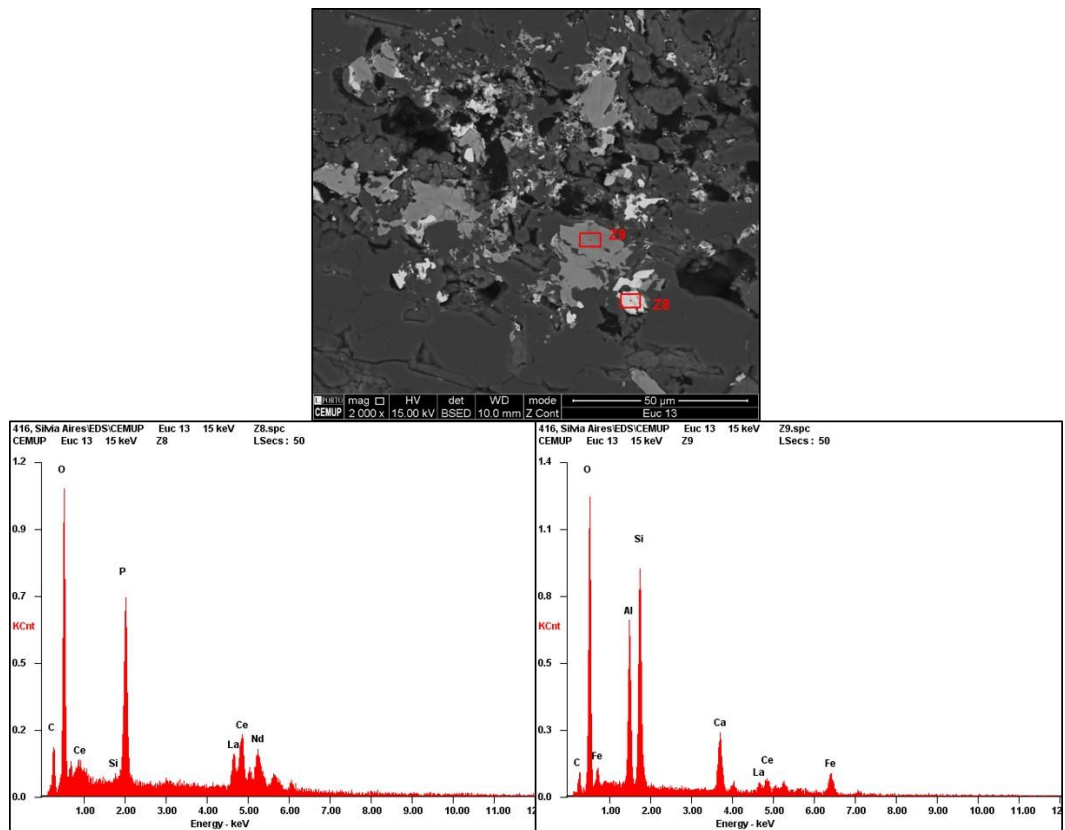


Figura 7.24- Análise ao MEV de Euc2: monazite (Z8) e mineral calcocilicatado (Z9).

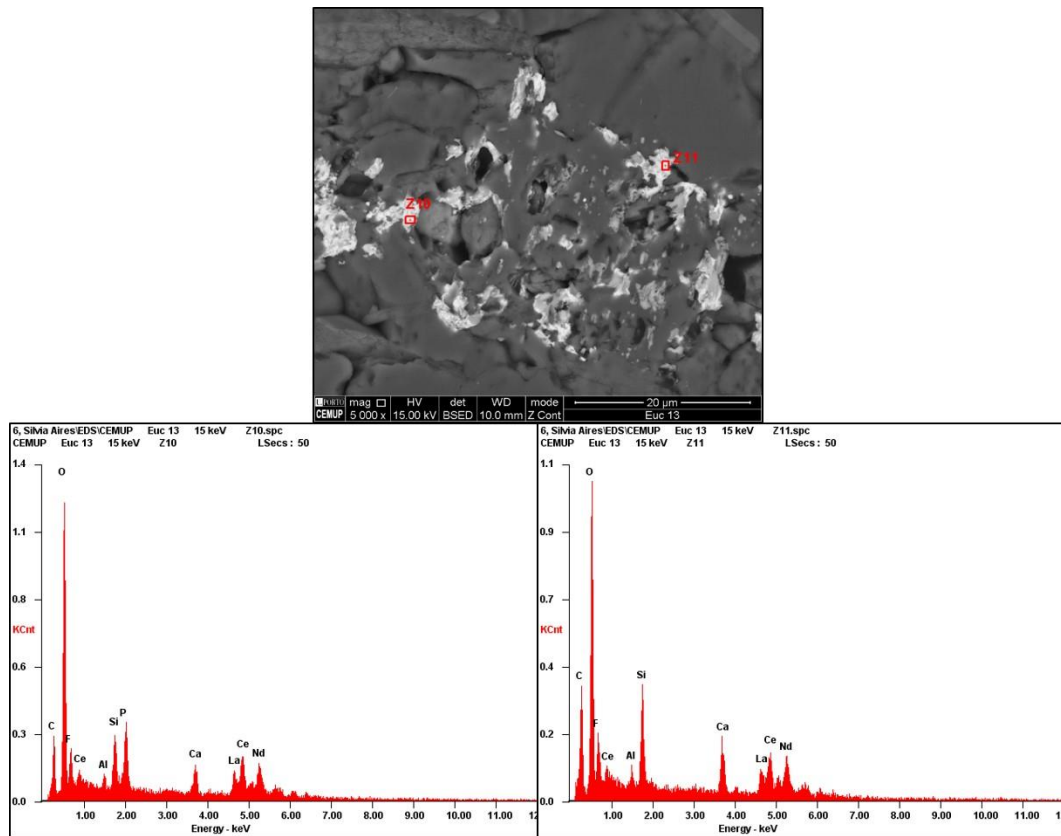


Figura 7.25- Análise ao MEV de Euc2: monazite (Z10 e Z11).

Tabela 7.6- Percentagem dos elementos químicos de cada ponto analisado ao MEV e designação do respetivo mineral na amostra P8.

Formação de Pinhão											
		Z1		Z2		Z3		Z4		Z5	
P8	%	Fe	73,68	Al	7,96	Al	5,25	Mg	2,01	Fe	73,43
	%	O	26,32	Si	4,33	Si	4,77	Al	18,52	O	26,57
	%			P	1,18	P	8,97	Si	20,65		
	%			Fe	45,07	Th	5,3	K	0,85		
	%			O	41,46	U	1,1	Fe	7,27		
	%					Ca	0,88	O	50,69		
	%					La	9,1				
	%					Ce	3,42				
	%					Nd	10,01				
	%					Fe	9,89				
%					O	41,31					
%	Total		100		100		100		100		100
		Magnetite		Magnetite		Monazite		Clorite		Magnetite	

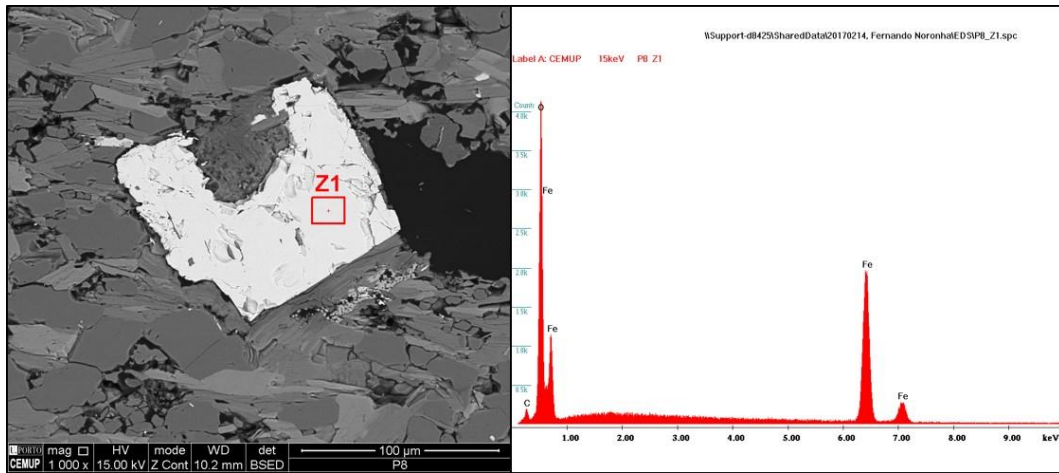


Figura 7.26- Análise ao MEV de P8: magnetite (Z1).

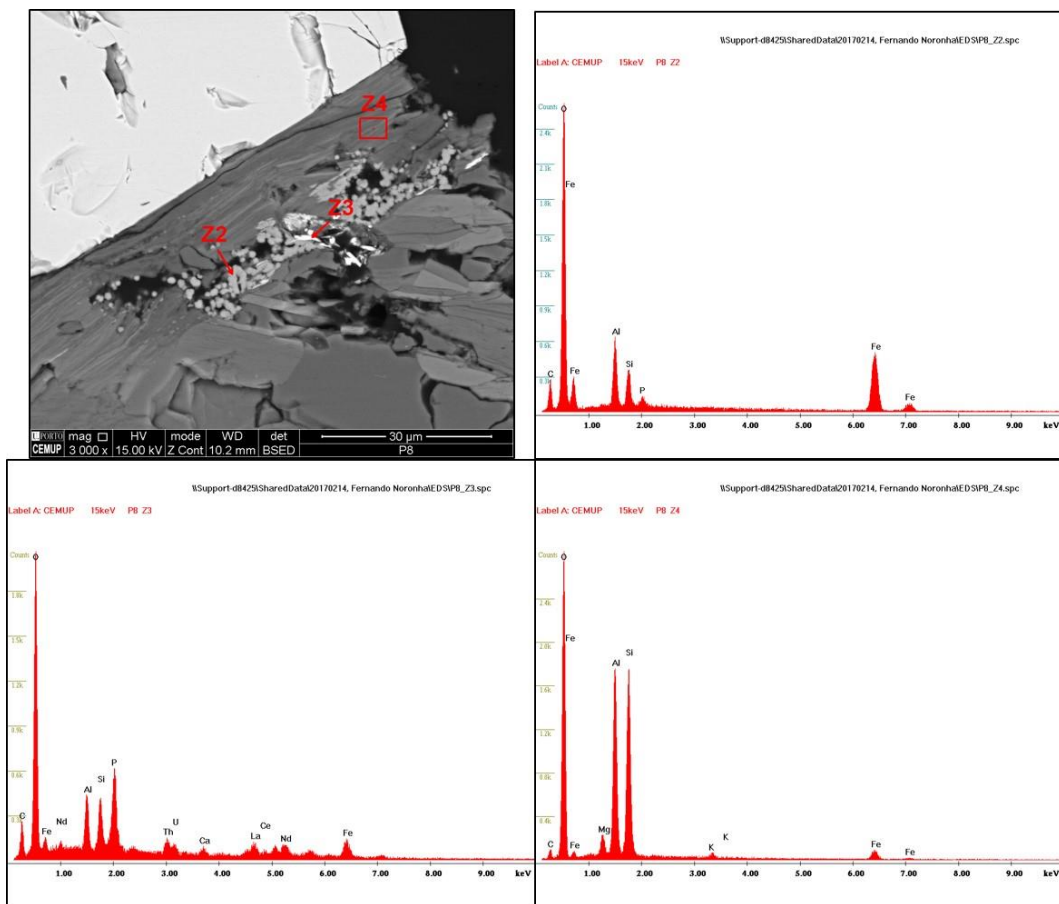


Figura 7.27- Análise ao MEV de P8: magnetite (Z2), monazite (Z3) e clorite (Z4).

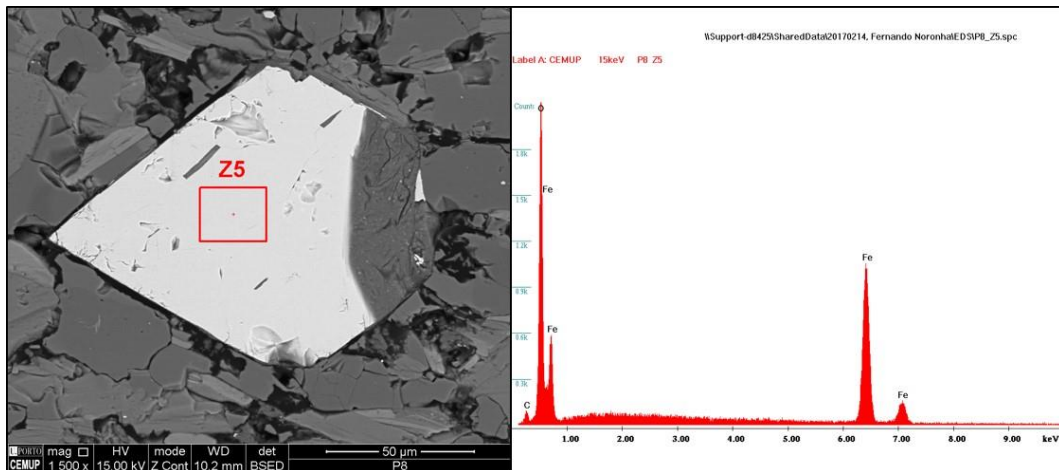


Figura 7.28- Análise ao MEV de P8: magnetite (Z5).

Na observação petrográfica verificou-se a presença de minerais metálicos, sobretudo na Formação de Desejosa.

Na observação ao MEV confirmou-se que a magnetite só ocorre na Formação de Pinhão (P8), embora se tenha observado titanomagnetite na Formação de Desejosa.

Em FC11 existe alteração hidrotermal por silicificação e presença de sulfuretos como a calcopirite, esfalerite e pirite.

Este estudo também permitiu verificar a presença frequente de fosfatos de terras raras, nomeadamente a monazite que poderá ser responsável pelas anomalias encontradas em Ce.

No XNFC, além da pirite, foi observada esfena e pirrotite (responsável pelo comportamento ferromagnético desta amostra).

8- Caraterização tecnológica

O estudo de caraterização tecnológica foi realizado com o objetivo de caraterizar explorações de “xistos” que ocorrem em Trás-os-Montes e Alto Douro, tendo em vista a utilização como rocha ornamental. Assim, dos ensaios existentes no âmbito da pedra natural, foram selecionados os que se considerou serem os mais importantes para a caraterização dos “xistos”. O facto de algumas explorações estarem inativas (Eucísia 1, Eucísia 2 e Nozelos) impossibilitou a recolha de massas de volume adequado ao volume médio de um bloco extraído industrialmente. Devido às restrições relativamente ao volume de amostra disponível, em alguns casos apenas foi possível ensaiar provetes de menor dimensão, ou em número inferior aos indicados nas normas europeias que regulamentam os ensaios.

8.1- Metodologia

8.1.1- Normas de produto e de ensaio

A determinação da aplicabilidade das rochas com fins ornamentais e/ou material de construção requer a sua caraterização tecnológica, através da realização de ensaios que determinam parâmetros físicos, mecânicos e de durabilidade das rochas.

Estes ensaios realizaram-se segundo as Normas Europeias (EN) referentes a rochas ornamentais, desenvolvidas pelo Comité Europeu de Normalização (CEN), com sede em Bruxelas, através de Comités Técnicos (TC). Estes comités são constituídos por membros de todos os países da União Europeia (EU) que tenham atividade profissional desenvolvida nas áreas dos seus domínios de atuação (<http://www.cen.eu>).

Os Comités Técnicos que desenvolvem e elaboram as EN's relativas à pedra natural e aos seus produtos são os seguintes:

- CEN/TC 125 – Alvenaria;
- CEN/TC 128 – Produtos para cobertura de telhados com assentamento descontínuo e produtos para revestimento de paredes;
- CEN/TC 178 – Unidades para pavimentação e lancis;
- CEN/TC 246 – Pedras naturais.

Os comités técnicos estão divididos em grupos de trabalho (WG) que elaboram e reveem as normas europeias de um subdomínio específico. O CEN/TC 246 divide-se em:

- CEN/TC 246/WG 1 – Terminologia, classificação e caraterísticas;
- CEN/TC 246/WG 2 – Métodos de ensaio;
- CEN/TC 246/WG 3 – Especificações dos produtos;
- CEN/TC 246/WG 4 – Pedra aglomerada.

Nas rochas estudadas foram aplicadas as seguintes normas de produto:

- EN 771-6 – Requisitos para unidades de alvenaria Parte 6: Unidades de alvenaria em pedra natural (TC 125);
- EN 1341 – Lajes de pedra natural para pavimentos exteriores – Requisitos e métodos de ensaio (TC 178);
- EN 1342 – Cubos e paralelepípedos de pedra natural para pavimentos exteriores – Requisitos e métodos de ensaio (TC 178);
- EN 1343 – Guias de pedra natural para pavimentos exteriores – Requisitos e métodos de ensaio (TC 178);
- EN 1469 – Produtos em pedra natural – Placas para revestimento de paredes – Requisitos (TC 246);
- EN 12057 – Produtos em pedra natural – Ladrilhos modulares – Requisitos (TC 246);
- EN 12058 – Produtos em pedra natural – Placas para pavimentos e degraus – Requisitos (TC 246);
- EN 12059 – Produtos em pedra natural – Trabalhos de cantaria dimensionada – Requisitos (TC 246).

Relativamente aos ensaios realizados, as normas são as seguintes:

- EN 1926 – Métodos de ensaio para pedra natural – Determinação da resistência à compressão uniaxial;

- EN 1936 – Métodos de ensaio para pedra natural – Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades aberta e total;
- EN 12372 – Métodos de ensaio para pedra natural – Determinação da resistência à flexão sob carga centrada;
- EN 13755 – Métodos de ensaio para pedra natural – Determinação da absorção de água à pressão atmosférica;
- EN 14066 – Métodos de ensaio para pedra natural – Determinação da resistência ao envelhecimento por choque térmico;
- EN 14157 – Métodos de ensaio para pedra natural – Determinação da resistência ao desgaste.

8.1.2- Ensaio tecnológicos

As rochas estudadas foram submetidas aos ensaios considerados essenciais à sua caracterização físico-mecânica, durabilidade e definição da sua utilização.

Para caracterizar as propriedades físicas foram realizados os seguintes ensaios físicos:

- Determinação da absorção de água à pressão atmosférica;
- Determinação da densidade aparente e da porosidade aberta.

Para qualificar a resistência mecânica realizaram-se os seguintes ensaios mecânicos:

- Determinação da resistência à compressão;
- Determinação da resistência à flexão sob carga centrada.

A averiguação da resistência ao envelhecimento das rochas foi realizada através dos ensaios de durabilidade, o primeiro tendo em conta uma das aplicações mais comuns para este tipo de rochas – pavimentos – e o segundo considerando quer as condições climáticas prevaletentes no nosso país, quer a suscetibilidade destas rochas a este ensaio, face às suas características estruturais, texturais e mineralógicas:

- Determinação da resistência ao desgaste;
- Determinação da resistência ao envelhecimento por choque térmico.

Os ensaios foram realizados no Setor de Caraterização de Rochas do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) de São Mamede de Infesta, em amostras das explorações Tanha (Formação de Pinhão), Xisto Negro de Foz Côa, Xisto Oxidado de Foz Côa, Eucísia 1, Eucísia 2 e Nozelos (Formação de Desejosa).

8.1.2.1- Determinação da absorção de água à pressão atmosférica

O objetivo deste ensaio foi determinar o teor de humidade atingido por cada amostra de “xisto” depois de imersa em água, até à sua saturação. Este ensaio aplica-se a materiais rochosos, de forma cúbica, prismática, ou cilíndrica, que não sofram desagregação por imersão prolongada em água.

Para a realização deste ensaio foram utilizados os seguintes materiais:

- Recipiente de base plana;
- Suportes não oxidáveis e não absorventes;
- Estufa ventilada;
- Balança com a exatidão de 0,01g;
- Exsicador contendo sílica gel;
- Pano;
- Água.

Ensaíram-se 6 provetes de cada exploração, exceto para Nozelos, para a qual o menor volume amostrado apenas permitiu o corte de 5 provetes. Os provetes apresentavam formato cúbico, com dimensões aproximadas das suas arestas de 5 cm, de modo a cumprir os seguintes requisitos dimensionais da respetiva norma europeia:

$$\text{volume aparente} \geq 60 \text{ mm}^3$$

$$0,08\text{mm}^{-1} \leq \frac{\text{Área}}{\text{Volume aparente}} \leq 0,20\text{mm}^{-1}$$

Os provetes foram secos até massa constante na estufa ventilada regulada para a temperatura de $(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Considerou-se ter sido atingida massa constante quando a diferença de massa entre duas pesagens sucessivas, efetuadas com um intervalo de $(24 \pm 2) \text{ h}$, não foi superior a 0,1% relativamente à massa inicial (para arrefecimento dos provetes utilizou-se o exsicador contendo a sílica gel). Registou-se a massa seca

(md) dos provetes e colocaram-se estes no recipiente de imersão sobre os suportes não oxidáveis e não absorventes. Juntou-se água corrente em três fases. Na primeira fase juntou-se água até metade da altura dos provetes; na segunda fase, (60 ± 5) min depois da primeira, adicionou-se água até $3/4$ da altura dos provetes; na terceira fase, (60 ± 5) min depois da segunda, adicionou-se água até que o nível da água atingiu (25 ± 5) mm acima do topo dos provetes. Aguardou-se 48h e efetuou-se a primeira pesagem saturada, tendo-se previamente limpadado as faces de cada provete com o pano húmido, para eliminar a água superficial adsorvida. Repetiu-se esta operação, a cada 24h, até ter sido atingida massa constante (de acordo com os mesmos critérios que para a operação de secagem) e registou-se a massa saturada (ms) de cada provete.

A absorção de água (A_b) de cada provete foi calculada através da seguinte fórmula:

$$A_b = \frac{ms - md}{md} \times 100 (\%)$$

A absorção de água de cada rocha foi obtida através do cálculo da média aritmética dos valores de absorção de água calculados para cada provete. O resultado foi arredondado às décimas. Determinou-se, ainda, o desvio padrão das absorções individuais.

8.1.2.2- Determinação da densidade aparente e da porosidade aberta

Este ensaio teve como objetivo determinar a densidade aparente (p_b) e a porosidade (p_o) das amostras de cada exploração. O ensaio é aplicado, tal como o anterior, a materiais rochosos, de forma cúbica, prismática, ou cilíndrica, que não sofram desagregação por imersão prolongada em água.

Na execução deste ensaio, além da estufa, da balança, do exsicador, dos suportes não oxidáveis e não absorventes e do pano referidos no ensaio anterior, foram ainda necessários:

- Sistema de vácuo constituído por uma bomba, por um recipiente para manter um vácuo de $(-2,0 \pm 0,7)$ kPa que corresponde a (-15 ± 5) mm de Hg e por um vacuómetro para controlo do vácuo;

- Dispositivo para efetuar pesagens hidrostáticas;
- Água destilada;
- Termómetro.

Na execução deste ensaio utilizaram-se os mesmos provetes cúbicos utilizados no ensaio anterior (6 para todas as explorações estudadas, exceto para Nozelos, para a qual só foi possível ensaiar 5). Estes provetes cumprem os requisitos dimensionais exigidos pela norma deste ensaio:

$$\text{volume aparente} \geq 60 \text{ mm}^3$$

$$0,08\text{mm}^{-1} \leq \frac{\text{Área}}{\text{Volume aparente}} \leq 0,20\text{mm}^{-1}$$

Os provetes foram secos até massa constante, tal como no ensaio anterior, na estufa ventilada, regulada para uma temperatura de $(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$ (para o arrefecimento dos provetes utilizou-se o exsicador contendo sílica gel).

Após a pesagem e o registo da massa seca (md) dos provetes, estes foram colocados dentro do recipiente de vácuo, sobre os suportes não oxidáveis e não absorventes. Colocou-se a tampa de selagem do recipiente e com o recurso à bomba de vácuo, diminuiu-se gradualmente a pressão dentro do recipiente, até aos $(-2,0 \pm 0,7) \text{ kPa}$. Manteve-se o vácuo durante $(2\text{h} \pm 24 \text{ min})$ para eliminação do ar contido nos poros da rocha. Ainda com os provetes sob vácuo, adicionou-se a água destilada, até à sua completa imersão, com um caudal que permitiu cumprir os 15 minutos, de tempo mínimo, estipulados pela norma europeia, para que o nível da água ascenda da base ao topo dos provetes. Logo após a imersão total, restabeleceu-se a pressão normal dentro do recipiente e os provetes foram deixados imersos durante um período de $(24 \pm 2) \text{ h}$. Ao fim deste tempo, determinou-se e registou-se o peso imerso (mh) de cada provete, recorrendo-se ao dispositivo para pesagens hidrostáticas. O peso saturado (ms) de cada provete foi igualmente determinado e registado, após remoção da água superficial com um pano húmido, seguido imediatamente por pesagem. Por fim, registou-se a temperatura da água destilada, com o auxílio do termómetro.

Determinou-se a densidade aparente e a porosidade aberta, de cada provete, através das seguintes equações:

- Densidade aparente (ρ_b) (kg/m^3)

$$\rho_b = \frac{m_d}{m_s - m_z} \times \rho_{rh}$$

Nota: ρ_{rh} é a densidade real da água destilada. De acordo com a norma europeia, a 20°C o seu valor é de 998 kg/m³, sempre que a temperatura registada diferiu de 20°C, utilizaram-se valores tabelados da água destilada, para diferentes temperaturas (Weast, 1983-1984).

- Porosidade aberta (ρ_o) (%)

$$\rho_o = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_z} \times 100$$

A densidade aparente e a porosidade aberta de cada rocha foram obtidas através do cálculo das médias aritméticas dos valores da densidade aparente e da porosidade aberta calculados para cada provete. O resultado da densidade aparente foi arredondado às dezenas e o da porosidade aberta foi arredondado às décimas, de acordo com as indicações normativas. Determinaram-se, ainda, os desvios padrões das densidades aparentes e das porosidades abertas individuais.

8.1.2.3- Determinação da resistência à compressão

Determinar o valor máximo de tensão de compressão uniaxial de um provete de “xisto”, a partir do qual tem lugar a respetiva rutura, foi o objetivo deste ensaio. A aplicação deste ensaio é feita em provetes de material rochoso de forma cúbica ou cilíndrica.

Os equipamentos utilizados para este ensaio foram os seguintes:

- Estufa ventilada;
- Balança com exatidão de 0,1g;
- Paquímetro com exatidão de 0,05 mm;
- Trincha;
- Prensa hidráulica;
- Local com temperatura controlada, regulada para (20 ± 10) °C.

Na execução deste ensaio foram utilizados provetes cúbicos, com (50 ± 5) mm de aresta e acabamento simplesmente serrado. Quanto ao seu número, foi de 10 para o

Xisto Negro de Foz Côa, Xisto Oxidado de Foz Côa e Eucísia 1. Para as restantes explorações, face ao menor volume amostrado, ensaiaram-se: 9 provetes para Tanha, 6 provetes para Eucísia 2 e 5 provetes para Nozelos.

As faces de carga foram paralelas aos planos de xistosidade, uma vez que os produtos obtidos a partir de rochas xistentas são sempre serrados com a face vista, após aplicação, paralela à xistosidade.

Os provetes foram secos até massa constante na estufa ventilada, regulada para a temperatura de (70 ± 5) °C. O provetes foram deixados a arrefecer na sala de ensaio, até atingirem o equilíbrio térmico com a temperatura daquele local.

A área de carga (A), de cada provete, foi determinada através de quatro medições com o paquímetro. A largura do provete foi medida junto à sua base e junto ao seu topo. Procedeu-se de igual modo para o comprimento do provete. Com os valores registados em milímetros, calcularam-se as médias aritméticas das medições da largura e das medições do comprimento. A área de carga, de cada provete, foi calculada a partir das médias da sua largura e do seu comprimento.

Também se efetuou uma medição no centro geométrico das faces que definem a altura do provete, apenas para controlo das tolerâncias dimensionais estabelecidas pela norma, uma vez que esta dimensão não foi necessária para os cálculos.

Com o auxílio da trincha, limpavam-se os pratos da prensa e as faces de carga do provete. Centrou-se este, cuidadosamente, no prato inferior da prensa. . Aproximou-se a face superior do provete do prato superior da prensa, até ficarem, praticamente, em contacto. Levou-se o registo da força a zero e aplicou-se sobre o provete uma carga, a uma taxa uniforme de $(1 \pm 0,5)$ MPa/s, até que ocorreu a sua rutura (Figura 8.1) e registou-se o valor da força de rutura (F), em N. Esta operação foi repetida para os restantes provetes.

O valor da resistência à compressão (R_c), para cada provete, foi determinado através da seguinte fórmula:

$$R_c = \frac{F}{A}$$

A resistência à compressão de cada provete foi expressa em MPa (N/mm^2), e arredondada para, pelo menos, dois algarismos significativos. A resistência à compressão de cada “xisto” foi obtida através do cálculo da média aritmética dos

valores da resistência à compressão calculados para cada provete. O resultado foi arredondado para 1 MPa. Determinou-se, ainda, o desvio padrão das compressões individuais.



Figura 8.1- Prensa hidráulica utilizada para o ensaio da resistência à compressão.

8.1.2.4- Determinação da resistência à flexão sob carga centrada

O objetivo deste ensaio foi determinar a resistência mecânica à flexão sob carga centrada (R_f) em provetes das amostras dos “xistos” de forma paralelepípeda e secções retangulares, ou quadradas. Funciona como um ensaio de identificação ou como um ensaio tecnológico sobre elementos de construção que se destinam a ser utilizados em condições de solicitação à flexão.

Os equipamentos utilizados foram os seguintes:

- Estufa ventilada;
- Paquímetro com exatidão de 0,05 mm;
- Trincha;
- Tensómetro contendo um dispositivo de aplicação de forças centradas, no provete, constituído por dois cutelos inferiores, de apoio do provete e por um cutelo superior, de carga;
- Local com temperatura controlada, regulada para $(20 \pm 10) ^\circ\text{C}$.

Na realização deste ensaio foram utilizados 10 provetes para Tanha, Xisto Negro de Foz Côa e Xisto Oxidado de Foz Côa. Para as restantes explorações, face ao menor

volume amostrado, utilizou-se um número inferior: 7 provetes para Eucísia 1 e 3 provetes para Eucísia 2 e Nozelos.

Quanto às dimensões dos provetes, para o Xisto Negro de Foz Côa e para o Xisto Oxidado de Foz Côa, foi possível utilizar as dimensões preferenciais definidas pela norma: (50 x 50 x 300) mm. Estas explorações estão em atividade contínua e numa zona pouco deformada, possibilitando a extração de rocha com as dimensões suficientes para a obtenção dos provetes necessários aos ensaios. O facto de Tanha, apesar de ser uma exploração ativa, estar localizada numa zona mais deformada e Eucísia 1, Eucísia 2 e Nozelos serem explorações inativas, levou a uma restrição relativamente ao volume amostrado, fazendo com que tenham sido utilizados provetes com as menores dimensões permitidas pela norma: (25 x 50 x 150) mm. Em qualquer dos casos, as faces dos provetes apresentavam um acabamento simplesmente serrado.

Os provetes foram secos até massa constante na estufa ventilada regulada para uma temperatura de (70 ± 5) °C. Os provetes foram deixados a arrefecer na sala de ensaio, até atingirem o equilíbrio térmico com a temperatura daquele local. Para facilitar o alinhamento dos provetes em relação a todos os cutelos (apoio e carga), marcou-se com tinta indelével o meio do comprimento do provete na face superior, local de contacto com o cutelo de carga. De igual modo, na face inferior do provete, marcaram-se os locais de contacto com os cutelos de apoio, através de duas linhas.

A distância entre os cutelos de apoio (vão) tem que ser cinco vezes a medida da espessura do provete. Esta foi ajustada para a dimensão nominal de 250 mm, antes da execução dos ensaios dos provetes dos “xistos” de Vila Nova de Foz Côa. Nos ensaios dos restantes “xistos”, o vão foi previamente ajustado para a dimensão nominal de 125 mm. Os vãos (l) foram medidos com o paquímetro e as suas dimensões reais foram registadas. Com o auxílio da trincha, limpam-se todos os cutelos do tensómetro, assim como as faces do provete em contacto com os mesmos. Alinhou-se e centrou-se o provete, cuidadosamente, nos dois cutelos de apoio, de modo a que o cutelo de carga ficasse a meio do provete. Aproximou-se a face superior do provete do cutelo de carga, até ficarem quase em contacto. Levou-se o registo da força a zero e aplicou-se uma força a uma taxa de carga $(0,25 \pm 0,05)$ MPa/s, através de ajuste prévio da velocidade de subida dos cutelos de apoio (Figura 8.2) até que ocorreu a rutura do provete. Registou-se a força de rutura (F) em N e mediu-se e registou-se, em milímetros, a largura (b) e a espessura (h) de cada provete junto ao

plano de fratura. Estas operações foram repetidas para os restantes provetes ensaiados.

A fórmula usada para calcular a resistência à flexão sob carga centrada (R_f), de cada provete, foi a seguinte:

$$R_f = \frac{3 \times F \times I}{2 \times b \times h^2}$$

Os valores obtidos são apresentados em MPa.

A resistência à flexão sob carga centrada de cada “xisto” foi obtida através do cálculo da média aritmética dos valores das flexões calculados para cada provete. O resultado foi arredondado às décimas. Também foi determinado o desvio padrão das flexões individuais.



Figura 8.2- Tensómetro e dispositivo de aplicação de forças centradas, usados no ensaio da resistência à flexão sob carga centrada.

8.1.2.5- Determinação da resistência ao desgaste - Máquina de Capon

O objetivo deste ensaio foi determinar a resistência ao desgaste a seco dos provetes de “xisto” sob a forma de placas, por abrasão, utilizando um material abrasivo específico.

Os equipamentos e materiais utilizados foram os seguintes:

- Máquina de desgaste de Capon (Figura 8.3), constituída por:
 - Disco de abrasão de aço com (200 ± 1) mm de diâmetro e (70 ± 1) mm de largura;
 - Funil de carga munido de válvula para controlo da saída do abrasivo e cunha para o seu direcionamento;
 - Porta-provetes amovível;
 - Contrapeso com cerca de 14 kg;
 - Controlador para definição do número de rotações a executar e contagem das mesmas;
- Abrasivo: corindo (alumina branca fundida, com granulometria de acordo com a norma 80 FEPA42F1984);
- Material de referência: Calcário “Marbre du Boulonnais”;
- Estufa ventilada;
- Trincha;
- Anilina preta;
- Régua e transferidor;
- Lápis de dureza 7H;
- Paquímetro.

Para este ensaio utilizaram-se 6 provetes para Tanha, Xisto Negro de Foz Côa e Xisto Oxidado de Foz Côa. Para as restantes explorações, tendo em conta o menor volume amostrado, utilizaram-se: 5 provetes para Nozelos e 4 provetes para Eucísia 1 e Eucísia 2. Foram ensaiadas faces com acabamento simplesmente serrado e com áreas compreendidas entre (88×71) mm e (150×150) mm.

Os provetes foram secos até massa constante numa estufa ventilada à temperatura de (70 ± 5) °C e deixados a arrefecer até atingirem a temperatura ambiente do laboratório. As superfícies a ensaiar foram escovadas com trincha e pintadas com anilina diluída em água quente e deixadas a secar.

Fixou-se o provete no porta-provetes da máquina de desgaste de Capon. Por ação do contrapeso, pressionou-se a superfície a ensaiar contra o disco de abrasão. Abriu-se a válvula do funil contendo o abrasivo e, simultaneamente, acionou-se o movimento do disco de abrasão. Este concluiu 75 rotações em (60 ± 3) segundos. No decurso da rotação, o caudal da queda do abrasivo, no contacto entre o disco e a superfície

ensaiada foi igual ou superior a 2,5 l e o abrasivo foi renovado a cada 3 ensaios. Estas operações foram repetidas para os restantes provetes.

Em cada provete, foi delimitada a calote produzida, com recurso ao lápis 7H, régua e transferidor. O desgaste corresponde à altura da calote, medida a meio da sua largura. Efetuou-se esta medição, com o auxílio do paquímetro e registou-se o valor em milímetros e arredondado às décimas. Calculou-se o desgaste correspondente a cada “xisto” (\bar{X}), calculando a média aritmética do desgaste obtido em cada provete. O resultado foi arredondado às décimas.

A resistência ao desgaste de cada “xisto” foi calculada corrigindo o desgaste de cada um, face ao desgaste obtido para o material de referência, através da seguinte fórmula:

$$\bar{X} - (Ref.^a - 20)$$

Na equação, “Ref.^a” corresponde ao desgaste obtido para o material de referência, em milímetros e com arredondamento às décimas. A máquina de desgaste de Capon foi previamente ajustada, atuando-se sobre a massa do contrapeso, de modo a obter-se, para o material de referência, um desgaste médio (em 3 calotes) situado no intervalo $(20,0 \pm 0,5)$ mm. O valor da resistência ao desgaste de cada “xisto” foi apresentado arredondado aos 0,5 mm.



Figura 8.3- Máquina de desgaste de Capon. A substância branca a cair é o corindo, abrasivo usado neste ensaio.

8.1.2.6- Determinação da resistência ao envelhecimento através de choque térmico

O objetivo deste ensaio foi avaliar as possíveis modificações provocadas em provetes das amostras depois de submetidas a súbitas diferenças de temperatura (choque térmico). O ensaio é realizado em provetes de material rochoso sob a forma de placas.

Os equipamentos utilizados neste ensaio foram os seguintes:

- Estufa;
- Recipiente coberto com base plana, contendo pequenos suportes não oxidáveis e não absorventes;
- Balança com exatidão de 0,1 g.

Para a realização deste ensaio e pelo mesmo motivo que nos ensaios anteriores, foi necessário reduzir o número de provetes ensaiados para alguma das explorações relativamente ao estabelecido pela norma. Assim, só para o Xisto Negro de Foz Côa e para o Xisto Oxidado de Foz Côa foram ensaiados 6 provetes. Foram ensaiados: 5 provetes para Tanha; 4 provetes para Eucísia 1 e Eucísia 2; 3 provetes para Nozelos. As dimensões dos provetes também tiveram que ser menores que as estipuladas pela norma. Para o Xisto Negro de Foz Côa e o Xisto Oxidado de Foz Côa, os provetes apresentavam as dimensões de (95 x 95 x 30) mm. Os provetes das restantes explorações apresentavam cerca de 25 mm de espessura e áreas superficiais de: (105 x 55) mm para Tanha, (100 x 60) mm para Eucísia 1, (100 x 50) mm para Eucísia 2 e (120 x 60) mm para Nozelos. Em todos os provetes, o acabamento superficial era simplesmente serrado.

Os provetes foram secos até massa constante na estufa ventilada à temperatura de (105 ± 5) °C.

O ensaio começou pela pesagem dos provetes e registo da sua massa inicial (m_0). Seguiu-se uma inspeção visual à superfície de cada provete, com anotação dos aspetos relevantes observados (manchas, pontuações, fissuras, orifícios, etc.). Por fim, foi efetuado um registo fotográfico do conjunto dos provetes a ensaiar, colocados ao lado uns dos outros. No meio destes, foi colocado o provete de referência, que não iria ser ensaiado, para comparação com o registo fotográfico final. Os provetes foram submetidos a 20 ciclos, com a duração de 24 h por ciclo. Cada ciclo foi constituído pelas seguintes fases:

- (18 ± 1) h – provetes na estufa à temperatura (105 ± 5) °C;
- $(6 \pm 0,5)$ h – provetes imersos em água destilada, à temperatura de (20 ± 5) °C.

Após o vigésimo ciclo, os provetes foram secos, novamente, na estufa à temperatura de (105 ± 5) °C, até massa constante, e procedeu-se à sua pesagem e registo da massa final (mf). Foi efetuada nova inspeção visual à superfície de cada provete e comparação com o provete de referência. As alterações ocorridas foram anotadas e procedeu-se ao registo fotográfico final, nos mesmos moldes que o registo inicial.

Calculou-se a variação da massa de cada provete (Δm), através da seguinte equação:

$$\Delta m = \frac{mf - m_0}{m_0} \times 100$$

A variação da massa, de cada “xisto”, foi determinada através do cálculo da média aritmética da Δm da totalidade dos provetes ensaiados.

8.2- Resultados dos ensaios tecnológicos

As amostras das explorações designadas como Tanha, Xisto Negro de Foz Côa, Xisto Oxidado de Foz Côa, Eucísia 1, Eucísia 2 e Nozelos, estão definidas como 0987 RO, 1028 RO, 1027 RO, 0982 RO, 0983 RO e 0980 RO, respetivamente.

8.2.1- Determinação da absorção de água à pressão atmosférica (EN 13755)

As rochas com absorção de água $> 6,0\%$ não devem ser aplicadas no exterior, seja em pavimentos, degraus ou no revestimento de paredes, exceto sob condições muito favoráveis. Em aplicações exteriores de zonas húmidas recomenda-se a aplicação de rochas com absorção de água $\leq 0,6\%$, quer para pavimentos ou para o revestimento de paredes. As rochas que apresentarem valores de absorção de água até $3,0\%$, inclusive, podem ser aplicadas em alvenarias expostas. Em circunstâncias particulares de aplicação, poderão ser utilizadas, no fabrico de alvenarias, rochas que apresentem valores de absorção de água compreendidos entre $3,0$ e $6,0\%$ (Carvalho *et al.*, 2013). Na tabela 8.1 são apresentados os resultados da média e desvio padrão de cada uma das amostras estudadas.

Tabela 8.1- Resultados do ensaio da absorção de água à pressão atmosférica, em %.

	Amostras		Média	Desvio Padrão
Formação de Pinhão	Tanha	%	0,5	0,08
	Xisto Negro de Foz Côa	%	0,2	0,00
Formação de Desejosa	Xisto Oxidado de Foz Côa	%	0,5	0,03
	Eucísia 1	%	1,2	0,07
	Eucísia 2	%	1,6	0,10
	Nozelos	%	0,6	0,02

8.2.2- Determinação da densidade aparente e da porosidade aberta (EN 1936)

Nas tabelas 8.2 e 8.3 estão os resultados da média e desvio padrão da densidade aparente e da porosidade aberta, respetivamente.

Tabela 8.2- Resultados do ensaio da densidade aparente, em kg/m³.

	Amostras		Média	Desvio Padrão
Formação de Pinhão	Tanha	kg/m ³	2760	6,08
	Xisto Negro de Foz Côa	kg/m ³	2760	2,10
Formação de Desejosa	Xisto Oxidado de Foz Côa	kg/m ³	2700	11,01
	Eucísia 1	kg/m ³	2520	5,15
	Eucísia 2	kg/m ³	2670	5,73
	Nozelos	kg/m ³	2740	2,03

Tabela 8.3- Resultados do ensaio da porosidade aberta, em %.

	Amostras		Média	Desvio Padrão
Formação de Pinhão	Tanha	%	1,3	0,16
	Xisto Negro de Foz Côa	%	0,4	0,01
Formação de Desejosa	Xisto Oxidado de Foz Côa	%	1,1	0,08
	Eucísia 1	%	9,3	0,12
	Eucísia 2	%	3,9	0,26
	Nozelos	%	1,3	0,07

A aplicação em pavimentos e revestimentos de paredes exteriores em zonas húmidas deve ser feita com o recurso a rochas que apresentem porosidade aberta $\leq 3,0\%$. Para

outras utilizações, os valores podem ir até 10,0%. Acima deste valor as rochas só devem ser aplicadas em exteriores, em condições propícias (Carvalho *et al.*, 2013).

8.2.3- Determinação da resistência à compressão (EN 1926)

A avaliação dos resultados deste ensaio é efetuada através da divisão dos produtos em duas categorias: os que, quando aplicados, irão suportar cargas (paredes, pilares, etc.) e os que não estarão sujeitos a cargas (muros e outras paredes não portantes). Para a primeira categoria, recomenda-se a utilização de rochas com resistência à compressão: ≥ 60 MPa para produtos com acabamento superficial amaciado ou serrado; ≥ 40 MPa para produtos com acabamento superficial clivado. Para produtos não portantes, recomenda-se o uso de rochas com resistência à compressão ≥ 20 MPa, qualquer que seja o acabamento superficial (Carvalho *et al.*, 2013). Na tabela 8.4 estão representados os valores da média, desvio padrão, valor máximo e valor mínimo.

Tabela 8.4- Resultados do ensaio da resistência à compressão, em MPa.

	Amostras		Média	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo
Formação de Pinhão	Tanha	MPa	110	8	116,5	88,5
	Xisto Negro de Foz Côa	MPa	114	13	133,3	92,8
Formação de Desejosa	Xisto Oxidado de Foz Côa	MPa	136	14	157,7	116,0
	Eucísia 1	MPa	53	6	58,0	42,8
	Eucísia 2	MPa	51	3	54,3	49,0
	Nozelos	MPa	78	9	90,5	69,7

8.2.4- Determinação da resistência à flexão sob carga centrada (EN 12372)

Na figura 8.4, estão apresentados os provetes das amostras depois de serem submetidos ao ensaio. Para o uso em elementos portantes, recomenda-se a utilização de “xistos” que apresentem resistências à flexão sob carga centrada ≥ 30 MPa (plano de força perpendicular à xistosidade). Para “xistos” utilizados no fabrico de placas para pavimentos e outras aplicações, o valor mínimo recomendado é 10 MPa (Carvalho *et al.*, 2013). Na tabela 8.5 estão representados os valores da média, desvio padrão e valores máximo e mínimo.

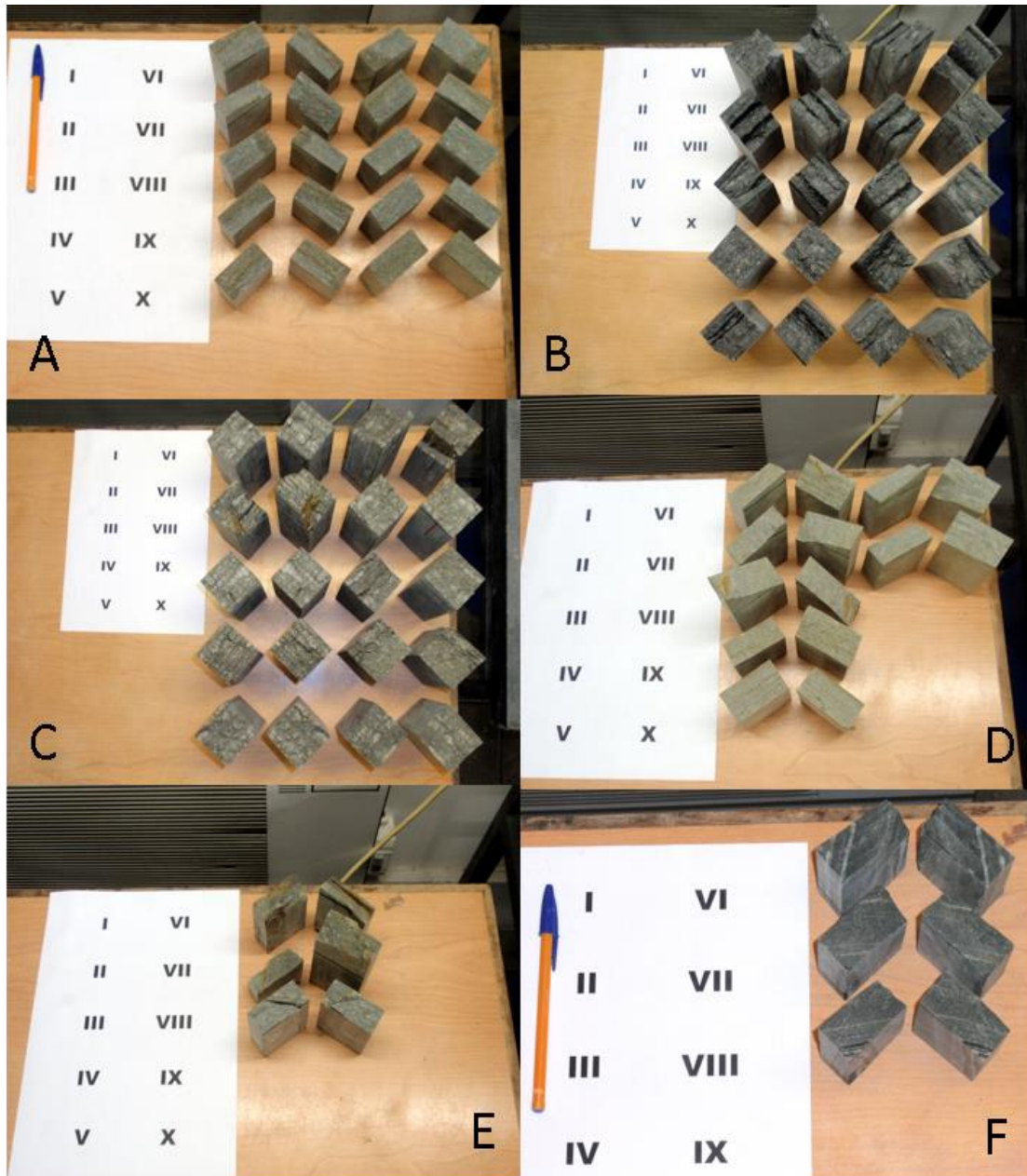


Figura 8.4- Provetes de Tanha (0987 RO) (A), Xisto Negro de Foz Côa (1028 RO) (B), Xisto Oxidado de Foz Côa (1027 RO)(C), Eucísia 1 (0982 RO) (D), Eucísia 2 (0983 RO) (E) e Nozelos (0980 RO) (F) depois de submetidos ao ensaio.

Tabela 8.5- Resultados do ensaio da resistência à flexão sob carga centrada, em MPa.

Amostras		Média	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo
Formação de Pinhão	Tanha	MPa 42,9	3,6	49,3	36,8
	Xisto Negro de Foz Côa	MPa 61,0	16,8	86,9	27,6
Formação de Desejosa	Xisto Oxidado de Foz Côa	MPa 45,5	2,1	47,5	41,9
	Eucísia 1	MPa 16,3	0,5	17,0	15,7
	Eucísia 2	MPa 9,8	1,2	11,1	8,9
	Nozelos	MPa 40,1	3,8	44,6	37,6

8.2.5-Determinação da resistência ao desgaste - Máquina de Capon (EN 14157)

Na figura 8.5, estão os provetes de Tanha, Eucísia 1, Eucísia 2 e Nozelos, depois de serem submetidos ao ensaio, onde se pode ver a superfície pintada com anilina desgastada, já com as marcações com as quais se mediu o desgaste.

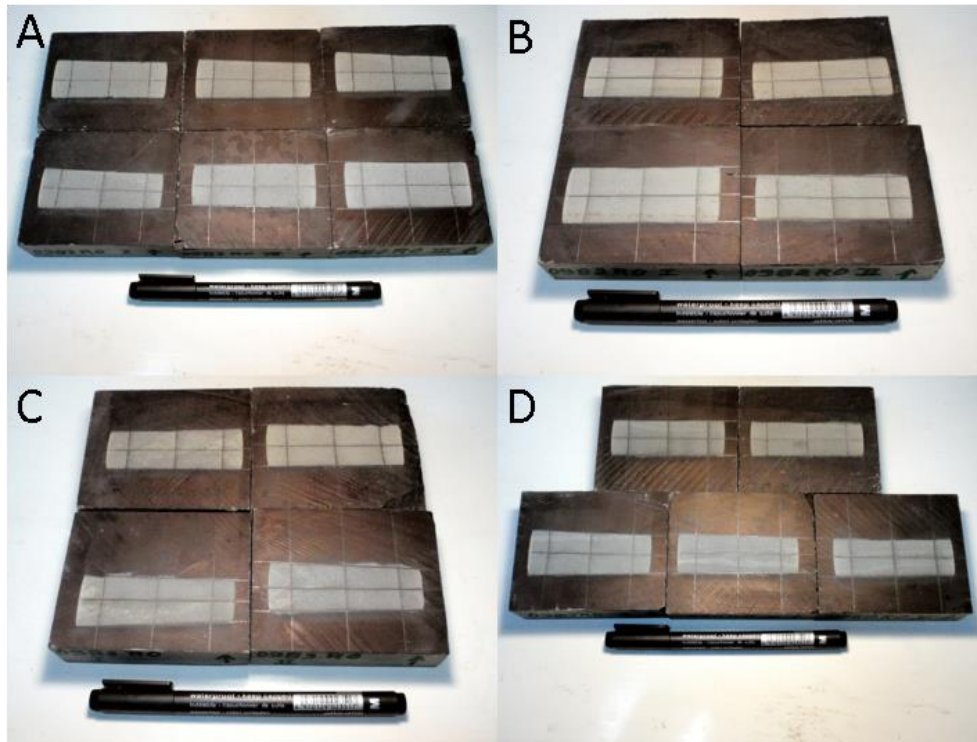


Figura 8.5- Provetes de Tanha (0987 RO) (A), Eucísia 1 (0982 RO) (B), Eucísia 2 (0983 RO) (C) e Nozelos (0980 RO) (D) depois de submetidos ao ensaio, onde é visível o desgaste sofrido.

As rochas a serem utilizadas no fabrico de produtos a aplicar em pavimentos devem apresentar uma resistência ao desgaste, com a máquina de Capon de acordo com a intensidade do tráfego esperado (Carvalho *et al.*, 2013):

- Tráfego intenso, uso público: $\leq 18,0$ mm;
- Tráfego forte, uso público: $\leq 19,5$ mm;
- Tráfego forte a moderado, uso coletivo: $\leq 21,5$ mm;
- Tráfego moderado, uso coletivo: $\leq 24,5$ mm;
- Tráfego fraco, uso privado: $\leq 30,0$ mm.

Na tabela 8.6 estão os resultados da média e do desvio padrão.

Tabela 8.6- Resultados do ensaio da resistência ao desgaste com máquina de Capon, em mm.

	Amostras		Média	Desvio Padrão
Formação de Pinhão	Tanha	mm	26,5	1,6
	Xisto Negro de Foz Côa	mm	22,0	1,9
	Xisto Oxidado de Foz Côa	mm	20,0	0,7
Formação de Desejosa	Eucísia 1	mm	26,0	2,9
	Eucísia 2	mm	24,5	1,8
	Nozelos	mm	24,5	1,2

8.2.6- Determinação da resistência ao envelhecimento através de choque térmico (EN 14066)

No final dos 20 ciclos de choque térmico (Figuras 8.6 e 8.7), as rochas não devem apresentar esfoliação, fissuração ou outras modificações estruturais ou de coloração relevantes. O resultado da perda média de massa encontra-se na tabela 8.7. O ensaio foi realizado em provetes de material rochoso sob a forma de placas.

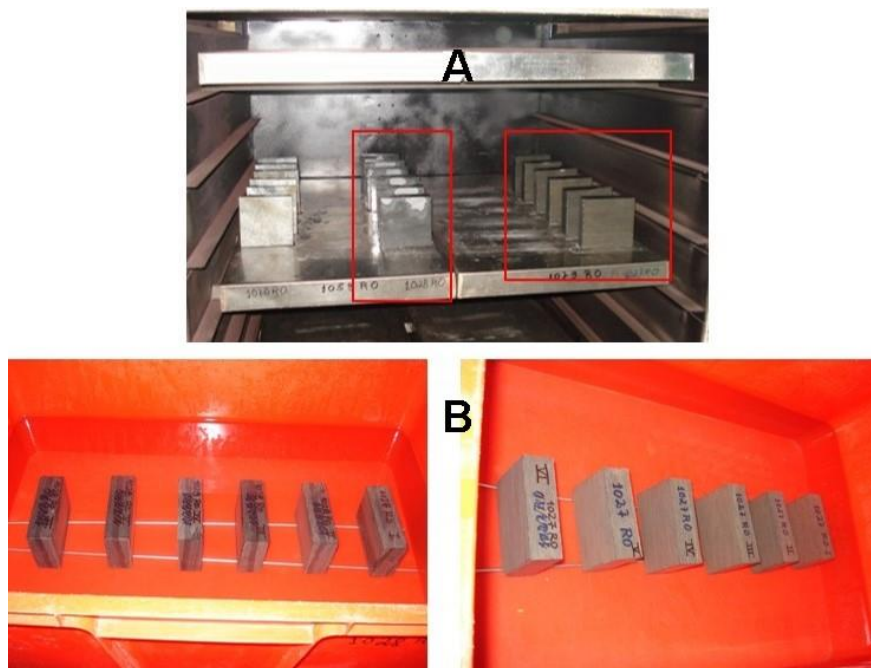


Figura 8.6- Provetes de Xisto Negro de Foz Côa (1028 RO) e de Xisto Oxidado de Foz Côa (1027 RO) a serem submetidos ao ensaio. Para sofrerem choque térmico, primeiro são colocados na estufa a (105 ± 5) °C durante (18 ± 1) h (A) e depois são imediatamente mergulhados em água a (20 ± 5) °C durante $(6 \pm 0,5)$ h (B).

No final dos 20 ciclos de choque térmico, os provetes apresentam as seguintes características (Figura 8.7):

- Tanha

Nos provetes II, IV e V, uma grande parte da sua superfície encontra-se repleta de inúmeras pontuações e manchas de óxido de ferro.

- Xisto Negro de Foz Côa

Os provetes apresentam pontuações de óxidos de ferro acompanhadas por algumas manchas de escorrência. As pontuações concentram-se nos níveis mais claros e acompanham o desenvolvimento destes, são alongadas e raramente ultrapassam os 2-2,5 mm de comprimento por 1 mm de espessura.

- Xisto Oxidado de Foz Côa

Todos os provetes mantiveram, na generalidade, a mesma aparência visual que apresentavam antes do início do ensaio. São observáveis alguns pontos de óxido de ferro e algumas fissuras por vezes com oxidação, que já existiam antes do ensaio de choque térmico, não tendo sido provocadas por este.

- Eucísia 1

Todos os provetes aparentam estar ligeiramente mais escuros do que antes do início do ensaio, facto não observável no registo fotográfico, e com alguns pontos e manchas de oxidação, já existentes antes do ensaio de choque térmico.

- Eucísia 2

São observáveis alguns pontos de oxidação, fissura e alguma perda de material, aspetos já existentes antes do ensaio de choque térmico. O provete II fissurou em dois pedaços através de um plano de clivagem no nono ciclo de choque térmico.

- Nozelos

Todos os provetes mantiveram, na generalidade, a mesma aparência visual que apresentavam antes do início do ensaio.

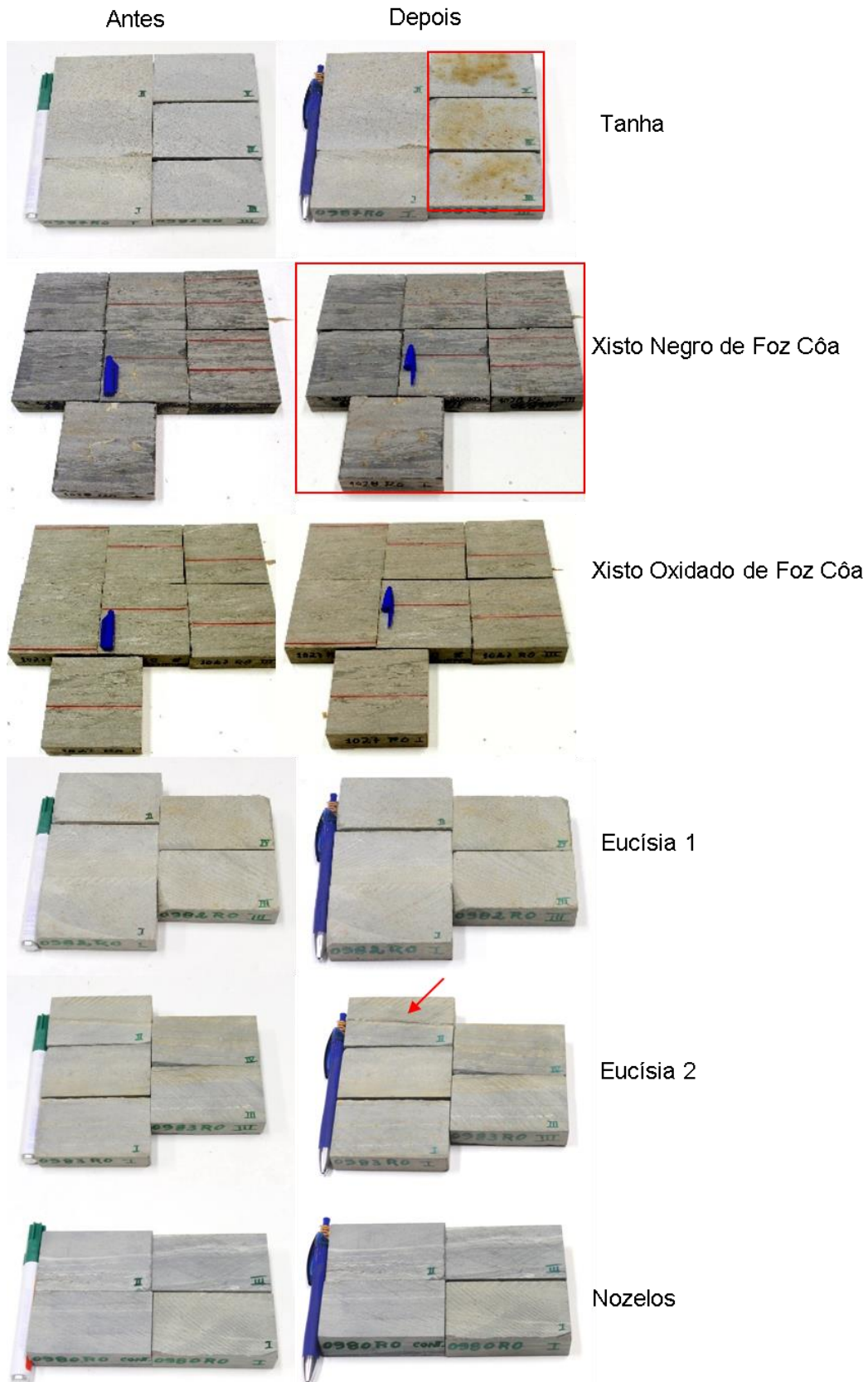


Figura 8.7- Provetes antes e depois de submetidos ao ensaio. Em Tanha, Eucísia 1, Eucísia 2 e Nozelos, os provetes sem numeração romana na face de topo, correspondem aos provetes de referência, que não foram submetidos ao ensaio. No Xisto Negro de Foz Côa e no Xisto Oxidado de Foz Côa, os provetes de referência são aqueles nos quais estão colocadas as tampas de esferográfica.

Tabela 8.7- Resultados do ensaio relativamente à perda média de massa, em %.

Amostras		Perda média de massa	
Formação de Pinhão	Tanha	%	-0,01
	Xisto Negro de Foz Côa	%	0,02
	Xisto Oxidado de Foz Côa	%	0,03
Formação de Desejosa	Eucísia 1	%	-0,01
	Eucísia 2	%	0,09
	Nozelos	%	0,02

8.3- Análise dos resultados

Os ensaios da porosidade aberta e da absorção de água à pressão atmosférica são diretamente proporcionais entre si e inversamente proporcionais à densidade aparente e estão relacionados com a alteração da rocha. Quanto maior a componente gresosa, maior a resistência à compressão, à flexão sob carga centrada e ao desgaste com máquina de Capon. O envelhecimento através de choque térmico tem em conta fragilidades macroscópicas das rochas e características petrográficas, como a presença de sulfuretos que podem oxidar. No entanto, os resultados apresentam alguns casos particulares, onde foi necessário avaliar outros aspetos que justificassem essas variações. Também é importante ter em conta que o facto de por vezes não ter sido possível recolher amostras que proporcionassem a quantidade de provetes necessários e com as dimensões ideais e em algumas explorações não haver atividade, dificultando a amostragem de rocha fresca, poderá ter tido alguma influência nos baixos resultados, sobretudo em Eucísia 1, Eucísia 2 e Nozelos.

Ao analisar os resultados dos ensaios, verifica-se que as rochas de Eucísia 1 e 2 são as que absorvem mais água, são as menos densas e possuem uma porosidade aberta mais elevada, devido a apresentarem maior alteração. Estas rochas também possuem menor resistência à compressão e à flexão sob carga centrada, devido à maior componente argilosa. Nozelos, apesar de possuir maior componente argilosa e de ser um pouco mais alterada comparativamente a Tanha e aos Xistos Negro e Oxidado de Foz Côa, também apresenta menor resistência à compressão e menor densidade.

Tanha e Eucísia 1, Eucísia 2 e Nozelos são as menos resistentes ao desgaste na máquina de Capon, por possuírem maior componente argilosa comparativamente aos Xistos Negro e Oxidado de Foz Côa. Por outro lado, o Xisto Oxidado de Foz Côa, por possuir maior teor em SiO_2 , é o mais resistente a este ensaio.

O Xisto Negro de Foz Côa é o que absorve menos água, possui uma porosidade aberta mais baixa, maior densidade e é o mais resistente à flexão sob carga centrada. Tanha também apresenta densidade igual ao Xisto Negro de Foz Côa pelo mesmo motivo, no entanto possui valores de porosidade e absorção mais elevados que poderá ser devido a maior grau de alteração. O Xisto Oxidado de Foz Côa é o mais resistente à compressão, devido à maior componente gresosa e, comparativamente ao Xisto Negro de Foz Côa, apresenta maior porosidade, maior absorção de água e menor densidade, o que pode ser devido ao facto de esta rocha por vezes se apresentar um pouco mais alterada.

No fim do ensaio de resistência ao envelhecimento por choque térmico, nas amostras de Tanha e de Xisto Negro de Foz Côa verificaram-se pontuações de óxido de ferro, sobretudo em 3 provetes, dos 5 ensaiados, em Tanha, devido à presença, mais abundante, de sulfuretos. No caso do XNFC, essas pontuações ocorreram sobretudo em zonas mais claras o que está de acordo com a observação microscópica de sulfuretos e óxidos mais abundantes nas zonas quartzosas. Um dos provetes de Eucísia 2 fraturou em dois pedaços, sensivelmente a meio do número total de ciclos executado, levando à maior perda de massa. Quanto a Eucísia 1, todos os provetes ensaiados estão mais escuros, quando se compara a sua cor com a do provete de referência, apesar de este facto não ser visível no registo fotográfico. Os provetes de Nozelos e do Xisto Oxidado de Foz Côa mantiveram, na generalidade, a mesma aparência visual que apresentavam antes do início do ensaio. Na tabela 8.8 encontram-se as propriedades determinadas para os “xistos” das explorações.

Tabela 8.8- Propriedades determinadas para os “xistos” de Tanha (Tan1), Xisto Negro de Foz Côa (XNFC), Xisto Oxidado de Foz Côa (XOFC), Eucísia 1 (Euc1), Eucísia 2 (Euc2) e Nozelos (Noz) (Carvalho *et al.*, 2013).

Ensaio	Formação de Pinhão	Formação de Desejosa				
	Tan1 0987RO	XNFC 1028RO	XOFC 1027RO	Euc1 0982RO	Euc2 0983RO	Noz 0980RO
Absorção de água à pressão atmosférica (%)	0,5	0,2	0,5	1,2	1,6	0,6
Densidade aparente (kg/m ³)	2760	2760	2700	2520	2670	2740
Porosidade aberta (%)	1,3	0,4	1,1	9,3	3,9	1,3
Resistência à compressão (MPa)	110	114	136	53	51	78
Resistência à flexão sob carga centrada (MPa)	42,9	61	45,5	16,3	9,8	40,1
Resistência ao desgaste com a máquina de Capon (mm)	26,5	22	20	26	24,5	24,5
Resistência ao envelhecimento através de choque térmico (%)	-0,01	0,02	0,03	-0,01	0,09	0,02

Depois de analisar os resultados individual e globalmente, foi possível definir as aplicabilidades de cada rocha, apresentadas na tabela 8.9.

Tabela 8.9- Aplicabilidade das rochas (+) de Tanha (Tan1), Xisto Negro de Foz Côa (XNFC), Xisto Oxidado de Foz Côa (XOFC), Eucísia 1 (Euc1), Eucísia 2 (Euc2) e Nozelos (Noz) (Carvalho *et al.*, 2013).

Produtos	Formação de Pinhão	Formação de Desejosa				
	Tan1 0987RO	XNFC 1028RO	XOFC 1027RO	Euc1 0982RO	Euc2 0983RO	Noz 0980RO
Alvenarias rústicas	+	+	+	+	+	+
Alvenarias portantes/ Pilares	+	+	+	com reservas	com reservas	+
Pavimento para tráfego fraco	+	+	+	interior		+
Pavimento para tráfego moderado		+	+			+
Pavimento para tráfego moderado a forte			+			
Lintéis	interior	interior	+			+
Revestimento de paredes		+	+	interior	Interior	+
Coberturas descontínuas *			+			+

* Para avaliar esta gama de produtos, deve-se recorrer aos métodos de ensaio estabelecidos na EN 12326-2.

9- Discussão e conclusões

O estudo realizado no âmbito desta dissertação permitiu as conclusões que seguidamente se apresentam e que dão resposta aos objetivos do trabalho enunciados previamente.

9.1- Síntese e discussão dos resultados relativos às Formações de Desejosa e de Pinhão

Mesoscopicamente, a Formação de Desejosa e a Formação de Pinhão apresentam cor cinzenta, por vezes amarelada, devido à presença de uma patine. Texturalmente apresentam grão muito fino, o que impossibilita a identificação de minerais à vista desarmada. No entanto, na Formação de Pinhão, por vezes é possível identificar a biotite a marcar a foliação. A Formação de Desejosa tem a particularidade de exibir uma estrutura bandada devido à alternância de níveis escuros com níveis claros. Na base das zonas claras, é habitual encontrar *load casts* bem marcados, figuras sedimentares típicas de sequências turbidíticas. É visível a presença de uma foliação em ambas as formações que, nas zonas de charneira das antifomas, é perpendicular à estratificação.

Do ponto de vista petrográfico, ambas as formações apresentam mineralogia semelhante com associação de quartzo, mica branca e clorite como minerais dominantes. Também apresentam biotite, zircão, apatite, turmalina, calcite, plagioclase, epidoto, esfena e minerais opacos. A actinolite apenas foi observada na Formação de Desejosa e o feldspato potássico na Formação de Pinhão. A presença abundante de calcite poderá ser devido a restos de lama carbonatada e fragmentos de rocha calcária nas litologias, sobretudo na Formação de Desejosa, próximas de zonas de falha. Relativamente aos minerais opacos, foram identificados ao MEV titanomagnetite, ilmenite, galena, arsenopirite, calcopirite, pirite, esfalerite e pirrotite. Também foi identificada a magnetite apenas na Formação de Pinhão, facto comprovado pela observação ao MEV. Para além destes minerais, estas formações também se revelaram abundantes em minerais de terras raras, nomeadamente a monazite, observada ao MEV. Ambas as formações apresentam textura granoblástica a granolepidoblástica, por vezes também se observando uma clivagem de crenulação. Na Formação de Desejosa, o bandado observado mesoscopicamente também é visível ao microscópio sendo marcado pela alternância entre níveis mais gresosos e níveis mais argilosos.

A existência de alteração hidrotermal foi verificada na amostra FC11 da Formação de Desejosa, que se situa próxima de uma falha. Esta alteração é caracterizada por silicificação e presença de sulfuretos como a calcopirite, esfalerite e pirite, observados ao MEV.

Os valores da suscetibilidade magnética (K_m) obtidos para ambas as formações indicam um comportamento paramagnético com $K_m < 10^{-3}$ SI. Os minerais responsáveis por este comportamento são essencialmente a biotite, a clorite e a ilmenite. Contudo, em três locais da Formação de Pinhão, foram registados comportamentos ferromagnéticos com valores de $K_m > 10^{-3}$ SI, devido à presença de magnetite e titanomagnetite. A Formação de Desejosa também apresentou dois locais com comportamento ferromagnético, devido à presença de titanomagnetite. Estes comportamentos ferromagnéticos, pontualmente presentes em ambas as formações, são devido à presença não só dos minerais referidos e observados ao MEV, como também devido à presença de pirrotite.

A análise ao MEV permitiu identificar a presença de titanomagnetite em algumas amostras (Euc1 e Euc2), contudo, apesar disso, apresentam $K_m < 10^{-3}$ SI. Isto pode ser explicado pelo facto de na solução sólida Magnetite-Ulvoespinela ($1/3\text{Fe}_2\text{TiO}_4$) a substituição progressiva do ferro por titânio conduzir ao decréscimo da suscetibilidade magnética. A titanomagnetite passa de um comportamento ferromagnético a paramagnético, quando atinge a ulvoespinela, que é o extremo da solução sólida. Os valores de K_m nas amostras com comportamento ferromagnético da Formação de Desejosa são sempre mais baixos que os das amostras da Formação de Pinhão. Este facto também é explicado pela presença de titanomagnetite em FD e magnetite em FP.

O grau da anisotropia magnética ($P\%$) é mais elevado na Formação de Desejosa, indicando que esta formação possui uma anisotropia mais marcada do que a Formação de Pinhão. Esta anisotropia é marcada sobretudo pela fina estratificação que poderá ter sido acentuada pela deformação.

A forma do elipsoide da Formação de Desejosa é constricta, enquanto na Formação de Pinhão apresenta forma variável. Os elipsoides constrictos refletem o *fabric* linear observado no campo, nomeadamente as estruturas em lápis, resultantes da interseção da estratificação (S_0) com a clivagem S_1 , nas zonas axiais das dobras D_1 . Estas estruturas em lápis são materializadas pelos esteios utilizados no suporte das vinhas e que são produzidos a partir do “Xisto Negro de Foz Côa” ou “Xisto do Poio” nas explorações de Vila Nova de Foz Côa, na Formação de Desejosa.

As lineações magnéticas correspondem à lineação de interseção (entre a clivagem S1 e a estratificação S0) e apresentam-se semelhantes em ambas as formações, sendo sub-horizontais, mergulhando moderadamente para SE, com direção WNW-ESE a NW-SE. As foliações magnéticas são paralelas aos planos de clivagem e em ambas as formações exibem inclinação variável, sub-horizontal e subvertical, com direção NW-SE a E-W. Estes dados estão de acordo com o que é observado no campo. Nos locais onde a clivagem não é observada, os polos da foliação magnética (NE-SW) correspondem aos polos dos planos da estratificação.

Do ponto de vista geoquímico, as amostras da Formação de Pinhão apresentam teores mais elevados em Al_2O_3 e em V, o que aponta para um maior envolvimento numa componente pelítica e um caráter mais imaturo dos protólitos. A Formação de Desejosa apresenta uma componente gresosa mais abundante, como indicam os valores mais elevados em SiO_2 e Zr. Esta formação é também mais rica em CaO devido à presença de calcite observada ao microscópio e em Na_2O , devido à presença de plagioclase. A Formação de Pinhão é mais rica em Fe_2O_3 e em K_2O , o que se atribui à presença de feldspato potássico.

A existência de amostras da Formação de Pinhão (P3 e P4), cujas características geoquímicas se enquadram nas da Formação de Desejosa, e a existência de amostras da Formação de Desejosa (Euc1, Euc2H, Noz e Tan7), cujas características geoquímicas se enquadram nas da Formação de Pinhão, sugerem a existência de uma transição gradual da Formação de Pinhão para a Formação de Desejosa. Esta transição gradual já tinha sido proposta previamente por outros autores.

Quando comparadas as composições médias dos elementos maiores ao NIBAS, observa-se que as duas formações são mais enriquecidas em MnO e CaO e mais empobrecidas em P_2O_5 . Estas características estão também presentes em amostras do Sistema Central Espanhol (SCE) e do Câmbrio Inferior. Quando comparadas ao *Clark* (UCC), as duas formações são mais empobrecidas em MnO e CaO. Estas características são comuns também, no caso do CaO, ao Sistema Central Espanhol e no caso do MnO, ao Câmbrio Inferior.

Os elementos Ba, Zr, Cr, Rb, Zn, Cs, W, Ag e Sr apresentam teores consideravelmente diferentes do *Clark*. A Formação de Desejosa é mais rica nos elementos Zr, Cr e Ag, quando comparada com a Formação de Pinhão. A Formação de Pinhão apresenta-se mais rica nos elementos Ba, Zn, Rb e Cs.

Quando comparadas as duas formações, em termos de elementos menores, com o NIBAS verifica-se um enriquecimento de Sr, Rb, La e Th. A Formação de Desejosa é mais rica em Sr do que a Formação de Pinhão. Ambas as formações apresentam um perfil em elementos menores semelhante ao do Sistema Central Espanhol. O conjunto de características geoquímicas está de acordo com uma correlação das formações do Grupo do Douro com as do Sistema Central Espanhol e não com o Grupo das Beiras.

As duas formações, quando comparadas ao *Clark* (UCC), revelam-se semelhantes entre si. No entanto, apresentam ambas empobrecimento em Sr e enriquecimento em As, W e Bi. É de salientar que ambas as formações apresentam enriquecimento em Ag.

Ambas as formações estudadas possuem teores idênticos relativamente aos elementos de terras raras. A Formação de Desejosa possui concentração média de elementos de terras raras um pouco mais elevada do que a Formação de Pinhão. O fracionamento das médias em terras raras pesadas e das terras raras leves apresenta valores normais para as rochas sedimentares e são semelhantes nas duas formações. O fracionamento de terras raras leves mais elevado do que o fracionamento de terras raras pesadas é justificado pela presença de fosfatos de terras raras, nomeadamente a monazite.

O diagrama de normalização ao Condrito C1 dos elementos de terras raras exhibe espectros muito semelhantes em ambas as formações, com um enriquecimento relativo nas terras raras leves em relação às terras raras pesadas. Também se observa anomalia negativa em Eu e anomalia positiva em Gd. Observaram-se anomalias negativas em Ce que podem estar associadas à presença frequente de fosfatos de terras raras, nomeadamente a monazite.

Os espectros de ambas as formações são semelhantes ao espectro do Sistema Central Espanhol em todos os diagramas normalizados.

As razões Th/Sc, La/Sc, Th/Co, Th/Cr, V/Sc, Zr/Sc, V/La, Eu/Eu* e La/Yb* indicam que a Formação de Desejosa tem uma fonte mais ácida do que a Formação de Pinhão e, de entre as amostras da Formação de Desejosa, FC11 é aquela que possui a fonte mais ácida. No entanto, ambas as formações têm proveniência de rochas ácidas ou crustais, tal como o Sistema Central Espanhol. Este facto é também verificado nos diagramas de proveniência Th/Sc vs Zr/Sc e Th/Sc vs V/La.

O CIW é mais elevado na Formação de Pinhão do que na Formação de Desejosa, indicando que FP resultou de uma fonte que sofreu maior meteorização química. O CIA também é mais elevado na Formação de Pinhão do que na Formação de Desejosa, o que está de acordo com a maior quantidade de fração argilosa existente na Formação de Pinhão. O grau de diferenciação sedimentar que ocorreu desde a rocha mãe é semelhante nas duas formações em estudo, assim como no Sistema Central Espanhol, Câmbrico Inferior e NIBAS, diferindo no *sorting* que é superior na Formação de Desejosa. Apesar de as Formações de Desejosa e de Pinhão terem proveniência de rochas ácidas, o CIW é diferente devido, possivelmente, a uma alteração no clima.

O facto de ambas as formações apresentarem espectros e teores semelhantes ao Sistema Central Espanhol, pode também indicar que as formações em estudo são equivalentes, em Portugal, a formações do SCE.

Relativamente às explorações em análise, apenas a de Tanha e as de Vila Nova de Foz Côa estão ativas. O facto da exploração de Tanha estar num local estruturalmente mais afetado faz com que não seja possível extrair grandes blocos de rocha, sendo explorada, essencialmente, para brita e pedra para construção de muros. No caso das explorações de Vila Nova de Foz Côa, que se situam num local onde a estrutura é menos deformada (Sinclínio do Poio), possibilitando a extração de grandes blocos que posteriormente são preparados para serem usados como rocha ornamental, a relação estrutural de perpendicularidade entre a estratificação (S0) e a clivagem favorece, por seu lado, a produção de esteios.

Os ensaios físico-mecânicos e de durabilidade indicam que as rochas de Eucísia (FD) são as que absorvem mais água, são menos densas e possuem uma porosidade aberta mais elevada. Estes resultados são consequência da alteração mais elevada destas rochas comparativamente às das restantes explorações. Estas rochas também são as que se apresentam menos resistentes à compressão e à flexão sob carga centrada, devido à maior componente argilosa. Nozelos, devido à maior componente argilosa e à maior alteração, comparativamente a Tanha e aos Xistos Negro e Oxidado de Foz Côa, também apresenta menor resistência à compressão e é um pouco menos densa.

Os “xistos” de Tanha, Eucísia e Nozelos são os menos resistentes ao desgaste na máquina de Capon, devido à menor quantidade da componente quartzosa e maior

componente argilosa, relativamente aos “xistos” de Foz Côa. Porém, o Xisto Oxidado de Foz Côa é o mais resistente a este ensaio, por ser o mais silicioso.

O Xisto Negro de Foz Côa é o que absorve menos água, possui uma porosidade aberta mais baixa e maior densidade e é o mais resistente à flexão sob carga centrada. Tanha também apresenta densidade igual ao Xisto Negro de Foz Côa, no entanto possui valores de porosidade e absorção mais elevados, o que poderá ser devido a níveis mais alterados. O Xisto Oxidado de Foz Côa é o mais resistente à compressão, devido à maior componente gresosa e, comparativamente ao Xisto Negro de Foz Côa, apresenta maior porosidade, maior absorção de água e menor densidade, o que pode ser devido ao facto de esta rocha por vezes se apresentar um pouco mais alterada. Relativamente à resistência ao envelhecimento por choque térmico, nas amostras de Tanha e de Xisto Negro de Foz Côa desenvolveram-se pontuações de óxido de ferro, devido à oxidação de sulfuretos.

Face às suas características tecnológicas os “xistos” estudados podem ser aplicados em alvenarias rústicas e alvenarias resistentes/pilares mas com reservas para os de Eucísia. Para pavimento com tráfego fraco podem ser usados os de Tanha, Nozelos e Eucísia no interior. Em pavimentos para tráfego moderado a forte, os “xistos” de Foz Côa e Nozelos; no de tráfego forte, o Xisto Oxidado de Foz Côa. Para lintéis podem ser usados os “xistos” de Foz Côa e os de Nozelos e Tanha. Para revestimento de paredes podem ser usados os “xistos” de Foz Côa, Nozelos e Eucísia, sendo estas duas últimas recomendadas no interior. Para cobertura, podem ser usados o Xisto Oxidado de Foz Côa e o de Nozelos.

Em suma, os dados petrográficos, geoquímicos e petrofísicos indicam que as duas formações apresentam características gerais semelhantes, resultado de um enquadramento genético análogo e que a passagem da Formação de Pinhão à Formação de Desejosa é feita numa forma gradual. As diferenças pontuais encontradas em algumas amostras podem ser justificadas por processos hidrotermais tardios em zonas de fratura de orientação NNE-SSW.

A discriminação entre as duas formações é feita essencialmente do ponto de vista da análise mesoscópica e textural, sem esquecer, no entanto, o comportamento físico-mecânico e de durabilidade distinto que cada formação apresenta devido às características de deformação estrutural, à maior ou menor alteração da rocha e à ocorrência de minerais mais ou menos resistentes que também influenciam a composição química, levando a diferentes resultados nos ensaios e por consequência, a diferentes aplicações.

Bibliografia

- ÁBALOS, B., 1992. Cinemática y mecanismos en regimen de transpresion. Evolución estructural y metamórfica de la zona de cizalla dúctil de BadajozCórdoba. Labor. Xeol. Laxe, Série Nova Terra, Edicios do Castro, Sada, A Coruña, 6: 1-430.
- ÁBALOS, B., Carreras, J., Druguet, E., Viruete, J.E., Pugnaire, M.T.G., Alvarez, S.L., Quesada, C., Fernández, L.R.R. & Gil-Ibarguchi J.I., 2002. Variscan and Pre-Variscan Tectonics. *In*: Gibbons, W. & Moreno, M.T. (eds.), The Geology of Spain. Geological Society, London, Special Publication, vol. XX, pp. 155-183.
- AIRES, S., Carvalho, C., Noronha, F., Ramos, J.F., Moura, C., Sant'Ovaia, H. & Sousa, M., 2011. Os Xistos do "Complexo Xisto-Grauváquico – Grupo do Douro". Potencial como Recurso Geológico. The Schists of "Complexo Xisto-Grauváquico – Grupo do Douro". As potential Geological Resource. VI Seminário de Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território, Vila Real, p. 159-165.
- AIRES, S., Noronha, F., Carvalho, C., Casal Moura, A. & Farinha Ramos, J., 2012. The Example of the Quartzite from the "Upper Quartzite Formation" from Trás-os-Montes and Alto Douro (Northern Portugal). Its Characterization to Use as Natural Stone. Proceedings of Global Stone Congress 2012, ISSN: 1013-9826, Borba, Alentejo, Portugal, 8 pp.
- AIRES, S., Noronha, F., Carvalho, C., Farinha Ramos, J. & Casal Moura, A., 2012a. Os "xistos" do Grupo do Douro como recurso geológico. The slates from Grupo do Douro as a geological resource. II Congresso de Jovens Investigadores em Geociências, LEG, Estremoz, 4 pp.
- AIRES, S., Noronha, F., Carvalho, C., Casal Moura, A. & Farinha Ramos, J., 2013. The Example of the Quartzite from the "Upper Quartzite Formation" from Trás-os-Montes and Alto Douro (Northern Portugal). Its Characterization to Use as Natural Stone. Key Engineering Materials, ISSN: 1662-9795, 1013-9826, Vol. 548, p. 212-219, doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.548.212. Online available since 2013/Apr/10 at www.scientific.net © (2013) Trans Tech Publications, Switzerland.
- AIRES, S., Carvalho, C. & Noronha, F., 2013a. Eucísia schist a natural stone from Northern Portugal. Geophysical Research Abstracts Vol. 15, EGU2013-PREVIEW, 2013 EGU General Assembly 2013 © Author(s) 2013. CC Attribution 3.0 License.

- AIRES, S., Sant'Ovaia, H. & Noronha, F., 2013b. A Anisotropia da Suscetibilidade Magnética no estudo da caracterização dos "Xistos de Foz Côa". Colóquio – ASM, Tectónica, (Paleo)magnetismo dos materiais. Coimbra. p. 55.
- AIRES, S., Sant'Ovaia, H., Noronha, F., Carvalho, C. & Búrcio, M., 2013c. Characterization of "Xisto de Foz Côa" a typical natural stone from northern Portugal. Mineral Deposit Research for a High-Tech World, Vols. 1-4, pp 1788-1791.
- AIRES, S., Sant'Ovaia, H., Noronha, F., Carvalho, C. & Búrcio, M., 2013c. Characterization of "Xisto de Foz Côa" a typical natural stone from Northern Portugal. SGA congress, Uppsala, 4 pp.
- AMICE, M. & Bouchez, J.L., 1989. Susceptibilité magnétique et zonation du batholite granitique de Cabeza de Araya (Extremadura, Espagne). *In*: Sant'Ovaia, H., 1993. Características magnéticas dos granitóides biotíticos pós-tectónicos de Vila Pouca de Aguiar. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (Provas de Aptidão Pedagógica), 67 pp.
- ANCHUELA, Ó.P., Imaz, A.G. y Juan, P., 2012. Distribución de fábricas magnéticas, ASM, a escala regional en el Pirineo Meridional. Distribution of magnetic fabric (MAS) at regional scale in the Southern Pyrenees. VIII Congreso Geológico de España, Oviedo. Geo-temas 13, p. 1172-1175.
- ARENAS, R. & Catalán, J.R.M. 2003. Low-P metamorphism following a Barrovian-type evolution. Complex tectonic controls for a common transition, as deduced in the Mondoñedo thrust sheet (NW Iberian Massif). Elsevier, Tectonophysics, 365: 143-164.
- AVERBUCH, O., Lamotte, D.F. & Kissel, C., 1992. Magnetic fabric as a structural indicator of the deformation path within a fold-thrust structure: a test case from the Corbières (NE Pyrenees). Journal Struct. Geol. 14(4): 461-474.
- BALSEY, J.R. & Buddington, A.F., 1960. Magnetic susceptibility anisotropy and fabric of some Adirondack granites and orthogneisses. *In*: Sant'Ovaia, H., 2000. O maciço granítico pós-tectónico de Vila Pouca de Aguiar. Estudo petro-estrutural e mecanismo de instalação. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto / Université Paul Sabatier Toulouse III, Porto / Toulouse. Tese de Doutoramento, 314 pp.
- BAPTISTA, J., 1998. Estudo neotectónico da Zona de Falha Penacova-Régua-Verín. Tese de Doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 346 pp.
- BARTH, M.G., McDonough, W.F. & Rudnick, R.L., 2000. Tracking the budget of Nb and Ta in the continental crust. Elsevier, Chemical Geology 165: 197–213.

- BAU, M. & Dulski, P., 1996. Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman iron-formations, Transvaal Supergroup, South Africa. Elsevier, Precambrian Research 79, p. 37-55.
- BHATIA, M.R. & Crook, K.A.W., 1986. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. Contributions to Mineralogy and Petrology 92:181-193.
- BEA, F., 1996. Residence of REE, Y, Th and U in Granites and Crust Protoliths; Implications for the Chemistry of Crustal Melts. Journal of Petrology, volume 37, number 3, p. 521-552.
- BEETSMA, J.J., 1995. The Late Proterozoic/Paleozoic and Hercynian crustal evolution of the Iberian Massif, N Portugal. PhD thesis, Vrije University, Netherlands, 223 pp.
- BERNARDO DE SOUSA, M., 1979. Complexo Xisto-Grauváquico do Douro: II – Os conglomerados de Trevões (S. João da Pesqueira, NE Portugal) e seu significado estratigráfico. Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol., Universidade de Coimbra, nº 88, p. 39-44.
- BERNARDO DE SOUSA, M., 1979a. O Complexo Xisto-Grauváquico do Douro: I – Características litoestratigráficas. Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol., Universidade de Coimbra, nº 88, p. 31-37.
- BERNARDO DE SOUSA, M., 1981. Complexo xisto-grauváquico do Douro: A Formação de Bateiras - fácies, ocorrência e significado litoestratigráfico. Cuadernos Geologia Ibérica, v.7. Madrid, p. 645-651.
- BERNARDO DE SOUSA, M., 1981a. Complexo Xisto-Grauváquico do Douro: - Os xistos cloríticos com magnetite e seu valor estratigráfico. Com. dos Serv. Geol. de Portugal. Tomo 67, fasc.1, p. 53-55.
- BERNARDO DE SOUSA, M., 1982. Litoestratigrafia e estrutura do Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico – Grupo do Douro (NE Portugal). Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra, Portugal, 222 p.
- BERNARDO DE SOUSA, M., 1983a. Litoestratigrafia do CXG - Grupo do Douro (NE de Portugal). Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol., Universidade de Coimbra, nº. 95, p. 3-63.
- BERNARDO DE SOUSA, M., 1983b. Considerações paleogeográficas e ensaio de correlação das formações ante-ordovícicas da Zona Centro-Ibérica. Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol., Universidade de Coimbra, nº. 95, p. 65-98.

- BERNARDO DE SOUSA, M., 1984 Considerações sobre a estratigrafia do Complexo Xisto-Grauváquico (CXG) e sua relação com o Paleozoico Inferior. Cuadernos Geología Ibérica, Madrid, v. 9, p. 9-36.
- BERNARDO DE SOUSA, M., 1985. Perspectiva sobre os conhecimentos actuais do Complexo-Xisto Grauváquico de Portugal. Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra, nº 100, p. 1-16.
- BERNARDO DE SOUSA, M., 1987. Relações cronológicas do metamorfismo regional versus metamorfismo de contacto na região de Tabuaço – Pinhão – S. João da Pesqueira. Mem. Mus. Labor. Miner. Geol., Fac. Ciências do Porto, Nº 1, p. 369-382.
- BERNARDO DE SOUSA, M., Sequeira, A.D., Coteló Neiva, J., Neiva, A. & Azevedo, M., Colaboração de Ferreira, N., 1987. Folha 10-D Alijó da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000. Serviços Geológicos de Portugal.
- BERNARDO DE SOUSA, M. & Sequeira, A.J.D., 1989. Notícia Explicativa da Folha 10-D Alijó. Serviços Geológicos de Portugal, 59 pp.
- BIEDERMANN, A.R., Koch, C.B., Lorenz, W.E.A. & Hirt, A.M., 2014. Low-temperature magnetic anisotropy in micas and chlorite. Elsevier, Tectonophysics 629: 63–74.
- BOLLE, O., Charlier, B., Bascou, J., Diot, H. & McEnroe, S.A., 2014. Anisotropy of magnetic susceptibility versus lattice- and shape-preferred orientation in the Lac Tio hemo-ilmenite ore body (Grenville province, Quebec). Elsevier, Tectonophysics 629 p 87-108.
- BORRADAILE, G.J. & Tarling, D.H., 1981. The influence of deformation mechanisms on magnetic fabrics in weakly deformed rocks. Elsevier, Tectonophysics 77: 151-168.
- BORRADAILE, G.J., 1988. Magnetic susceptibility, petrofabrics and strain: a review. *In*: Sant'Ovaia, H., 1993. Características magnéticas dos granitóides biotíticos pós-tectónicos de Vila Pouca de Aguiar. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (Provas de Aptidão Pedagógica), 67 pp.
- BORRADAILE, G.J. & Sarvas, P., 1990. Magnetic susceptibility in slates: structural, mineralogical and lithological influences. Elsevier, Tectonophysics 172: 215-222.
- BORRADAILE, G.J. & Jackson, M., 2004. Anisotropy of magnetic susceptibility (AMS): magnetic petrofabrics of deformed rocks. *In*: Martín-Hernández, F., Lüneburg, C.M, Aubourg, C. & Jackson, M. (eds.) 2004. Magnetic Fabric: Methods and Applications. Geological Society, London, Special Publications, 238, p. 299-360.

- BOUCHEZ, J.L., Guillet, P. & Chevalier, F., 1981. Structures d'écoulement liés à la mise en place du granite de Guérande (Loire-Atlantique, France). *In*: Sant'Ovaia, H., 2000. O maciço granítico pós-tectónico de Vila Pouca de Aguiar. Estudo petro-estrutural e mecanismo de instalação, 314 pp. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto / Université Paul Sabatier Toulouse III, Porto / Toulouse. Tese de Doutoramento.
- BOUCHEZ, J.L., Bernier, S., Rochette, P. & Guineberteau, B., 1987. Log des susceptibilités magnétiques et anisotropies de susceptibilité dans le granite de Beauvoir: conséquences pour sa mise en place. *Géologie de la France*, BRGM, 2-3: 223-232.
- BOURGUIGNON, A., 1988. Origine des formations paraderivées et orthoderivées acides du Limousin Central. Une source possible pour les leucogranites uranifères, 185 pp. Université. Claude Bernard, Lyon I. (Tese).
- BÚRCIO, M., 2004. Controle estrutural da localização de pedreiras de esteios de xisto para vinhas em Vila Nova de Foz Côa. Tese de Mestrado não publicada. Universidade de Évora, 65 pp.
- BÚRCIO, M., 2006. Comportamento mecânico dos xistos do Poio (região de Vila Nova de Foz Côa) em ensaios de compressão; a influência da orogenia varisca. Mechanical behavior of the Poio slates (Vila Nova de Foz Côa region) under compression; the influence of the variscan orogeny. Livro de Actas do VII Congresso Nacional Geologia, Estremoz, p. 995-998.
- BÚRCIO, M., Dias, R. & Machado, I.L., 2006. Partição da deformação na região de Vila Nova de Foz Côa. Livro de Actas do VII Congresso Nacional Geologia, Estremoz, P. 57-60.
- BUTLER, R.K., 1992. Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geological Terranes. Electronic edition, 1998. 238 pp.
- CABRAL, J., 1993. Neotectónica de Portugal continental. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, 265 pp.
- CAMPOSINHOS, R.S. & Lello, J.C., 2010. Partial safety factors in dimension stone design. Global Stone Congress, Alicante, Paper S4-02, 5 pp.
- CARNEIRO, A.O., Touse, A.T. & Baffa, O., 2003. Avaliação da susceptibilidade magnética usando uma balança analítica. *Quim. Nova*, 26: 6, p. 952-956.
- CARRINGTON DA COSTA, J. 1950. Notícia sobre uma carta geológica do Buçaco, de Nery Delgado. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Serviços Geológicos de Portugal, 27 pp.
- CARVALHO, C., Aires, S., Noronha, F., Casal Moura, A. & Farinha Ramos, J., 2012. "Schist" from Trás-osMontes and Alto Douro (NE of Portugal): Potential Use as

- Natural Stone. Proceedings of Global Stone Congress 2012, ISSN: 1013-9826, Borba, Alentejo, Portugal, 7 pp.
- CARVALHO, C., Noronha, F., Aires, S., Casal Moura, A. & Ramos, F., 2013. "Schist" from Trás-os-Montes and Alto Douro (NE of Portugal) – Potential use as Natural Stone. *Key Engineering Materials* Vol. 548, pp 205-211, ISSN: 1662-9795, 1013-9826, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.548.205. Online available since 2013/Apr/10 at www.scientific.net © (2013) Trans Tech Publications, Switzerland.
- CARVALHO, J.M.F., Carvalho, C.I., Lisboa, J.V., Casal Moura, A. & Leite, M.M., 2013. Portuguese ornamental stones. *Associação Portuguesa de Gólogos, GEONOVAS* Nº 26: 15-22.
- CASAL MOURA, A., 2001. A pedra natural ornamental em Portugal - Nota breve. *Boletim de Minas, I.G.M. (Ed.), Lisboa, Vol. 38, nº 3, p. 161-177.*
- CASAL MOURA, A., 2006. Especificações para a Pedra Natural - Contributos para a Selecção e para o Dimensionamento. *Boletim de Minas, 41 (2), p. 121-159.*
- CHADIMA, Hansen, A., Hirt, A.M., Hroudá, K. & Siemes, H., 2004. Phyllosilicate preferred orientation as a control of magnetic fabric: evidence from neutron texture, goniometry and low and high-field magnetic anisotropy (Se Rhenohercynian Zone of Bohemian Massif). *In: Martín-Hernández, F., Lüneburg, C.M, Aubourg, C. & Jackson, M. (eds.), 2004. Magnetic Fabric: Methods and Applications. Geological Society, London, Special Publications, 238, p. 362-380.*
- COKE, C., 2000. Litoestratigrafia do Ordovícico inferior do ramo sul da Serra do Marão, norte de Portugal. *Comum. Inst. Geol. e Mineiro, t. 87, p. 13-34.*
- COKE, C., 2000. Evolução Geodinâmica do Ramo Sul da Serra do Marão; um caso de deformação progressiva em orógenos transpressivos. Tese de Doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 330 pp.
- COKE, C., Pires, C.A.C., Sá, A.A. & Ribeiro, A., 2001. O Vulcanismo na transição Câmbrico/Ordovícico da Zona Centro Ibérica na região de Trás-os-Montes (NE Portugal) como elemento de referência estratigráfica. *Volcanism as a stratigraphical reference element in the Cambrian/Ordovician transition of the Central-Iberian Zone in Trás-os-Montes region (Northern Portugal). Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña. Vol. 26, p. 121-136. ISSN: 0213-4497.*
- COKE, C. & Santos, V., 2012. Geologia estrutural na caracterização do comportamento geotécnico da escavação do túnel do marão. CD de actas do XIII Congresso Nacional de Geotecnia: pensar e construir com a natureza uma visão para a engenharia – Conhecer os Geomateriais, 157, 16 pp.

- CONDIE, K.C., 1991. Another look at rare earth elements in shales. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55: 2537-2531.
- CONDIE, K.C., 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chem. Geol.*, v.104: 1-37.
- COTELO NEIVA, J.M., 1980. *Geologia do Aproveitamento Hidroeléctrico de Foz Côa. Aproveitamento Hidroeléctrico do Rio Côa Escalão de Foz Côa Projecto Base. Vol. VI. Estudos Geológicos e Geotécnicos. EDP – Electricidade de Portugal, S.A.*
- COTELO NEIVA, J.M., Correia de Sousa, A. & Braga da Cruz, A., 1982. Étude géologique et géotechnique du site du Barrage de Foz Côa. XIV Cong. Des Grands Barrages, Rio de Janeiro, p. 1229-1246.
- COTELO NEIVA, J.M., 1995. O Complexo Xisto-Grauváquico da região da futura albufeira da barragem de Foz Côa. *Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Memória nº 4*, p. 355-360. ISSN: 0871-1607.
- COX, R., Lowe, D., Cullers, R.L., 1995. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the Southwestern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, p. 2919-2940.
- CULLERS, R.L., Chaudhurst, S., Kilbane, N. & Koch, R., 1979. Rare earth in size fractions and sedimentary rocks of Pennsylvanian-Permian age from the mid-continent of the U.S.A. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43: 1285-1301.
- CULLERS, R.L., Basu, A., Suttner, L., 1988. Geochemical signature of provenance in sand-size material in soils and stream sediments near the Tobacco Root batholith. Montana, USA. *Chemical Geology*, 70, p. 335-348.
- CULLERS, R.L., 1994. The chemical signature of source rocks in size fractions of Holocene stream sediment derived from metamorphic rocks in the wet mountains region. Colorado, USA. *Chemical Geology*, 111, p. 327-343.
- CULLERS, R.L., Bock, B. & Guidotti, C., 1997. Element distributions and neodymium isotopic compositions of Silurian metasediments, Western Main, U.S.A: Redistribution of the rare earth elements. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61, 9: 1847-1861.
- CULLERS, R.L., 2000. The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies. *Lithos*, 51, p. 181-203.
- CUNNEY, M., Friedrich, M. & Drin, N., 1985. Traitement par l'analyse statistique de données multivariées sur le complexe de Brame-St Sylvestre-St.Goussand

- (Limousin - France) différenciation magmatique et polygenisme. Data processing in geochemistry and in engineering geology, *Sei. Terre, Sér. Inf. Géol.*, 23: 1-25.
- DALLMEYER, R.D., Martínez Catalán, J.R., Arenas, R., Ibarguchi, J.I.G., Alonso, G.G., Farias, P., Bastida, F. & Aller, J., 1997. Diachronous Variscan tectonothermal activity in the NW Iberian Massif: Evidence from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of regional fabrics. *Elsevier, Tectonophysics*, v. 277, p. 307-337.
- DEBACKER, T.N., Robion, P. & Sintubin, M., 2004. The anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) in low-grade, cleaved polytictic rocks: influence of cleavage/bedding angle and type and relative orientation of magnetic carriers. *In: Martín-Hernández, F., Lüneburg, C.M, Aubourg, C. & Jackson, M. (eds.), 2004. Magnetic Fabric: Methods and Applications. Geological Society, London, Special Publications*, 238, p. 77-107.
- DELGADO, J.P.N., 1908. Système Silurique du Portugal. Étude de stratigraphie paléontologique. *Mem. Com. Serv. Geol. Portugal*. 245 pp.
- DIAS, R., 1994. Regimes de deformação no autóctone da zona Centro-Ibérica: importância para a compreensão da génese do arco Ibero-Armoricano. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, 278 pp.
- DIAS, R. & Ribeiro, A., 1994. Constriction in a transpressive region; an example in the Iberian branch of the Ibero-Armorican Arc. *Journal of Structural Geology*, 16 (11): 1545-1554.
- DIAS, R., 1998. Estrutura varisca do autóctone do terreno ibérico português; uma herança precâmblica. *Comum. Inst. Geol. e Mineiro*, t. 85, p. 29-38.
- Dias, R., Mateus, A. & Ribeiro, A., 2003. Strain partitioning in transpressive shear zones in the southern branch of the Variscan-Armorican arc. *Geodinamica Acta*, 16, p. 119-129.
- DIAS, R., Coke, C. & Ribeiro, A., 2006. Da deformação na Serra do Marão ao zonamento do autóctone da Zona Centro Ibérica. *In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. e Kulberg, J. (Eds.), Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*, p.35-61. Évora: Univ. Évora. ISBN: 972-778-094-6.
- DIAS, R., Coke, C. & Moreira, N., 2010. Deformação Varisca heterogénea no eixo Marão – Foz Côa (autóctone da Zona Centro Ibérica); implicações para a estrutura regional. VIII Congresso. *Nac.Geologia, Univ. Minho, Portugal*, ISSN 1645-0388 Volume 11 – nº 15. *Revista Electrónica de Ciências da Terra, Geosciences On-line Journal*, e –Terra, Volume 11 *Geologia Estrutural e Tectónica*, nº 15. <http://e-terra.geopor.pt>. 4 pp., ISSN 1645-0388.

- DIAS, R., Ribeiro, A., Romão, J., Coke, C. & Moreira, N., 2016. A review of the arcuate structures in the Iberian Variscides; constraints and genetic models. Elsevier, Tectonophysics, Volume 681, p. 170-194.
- EGERTON, R.F., 2007. Physical principles of electron microscopy. An introduction to TEM, SEM and EAM. Springer, 202 pp.
- EN 1341 – 2001: Slabs of natural stone for external paving - Requirements and test methods.
- EN 1342 – 2001: Setts of natural stone for external paving - Requirements and test methods.
- EN 1343 – 2001: Kerbs of natural stone for external paving - Requirements and test methods.
- EN 14066 – 2003: Natural stone test methods. Determination of resistance to ageing by thermal shock.
- EN 12057 – 2004: Natural stone products - Modular tiles – Requirements.
- EN 12058 – 2004: Natural stone products - Slabs for floors and stairs – Requirements.
- EN 14157 – 2004: Natural stones. Determination of abrasion resistance.
- EN 1469 – 2004: Natural stone products - Slabs for cladding – Requirements.
- EN 1926 – 2006: Natural stone test methods. Determination of uniaxial compressive strength.
- EN 1936 – 2006: Natural stone test methods. Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity.
- EN 12372 – 2007: Natural stone test methods. Determination of flexural strength under concentrated load.
- EN 12059 – 2008: Natural stone products - Dimensional stone work – Requirements.
- EN 13755 – 2008: Natural stone test methods. Determination of water absorption at atmospheric pressure.
- EN 12326-2 – 2011: Slate and stone for discontinuous roofing and external cladding. Methods of test for slate and carbonate slate.
- EN 771-6 – 2005: Specification for masonry units - Part 6: Natural stone masonry units.
- ERIKSON, K.A., Taylor, S.R. & Korsh, R.J., 1992. Geochemistry of 1,8-1,68 Ga mudstones and siltstones from the Mount Isa Inlier, Queensland, Australia: provenance and tectonic implications. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56: 899-909.
- EVENSEN, N.M., Hamilton, P.J. & O`Nions, R.K., 1978. Rare-earth abundances in chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 42, p. 1199-1212.

- FARINHA RAMOS, J.M., 1985. Matérias primas não metálicas de Portugal. Contribuição para o seu conhecimento. Geonovas nº8/9, Lisboa, p. 69-91.
- FERNANDES, P., Jorge, R.C.G.S., Rodrigues, B., Pereira, Z. & Oliveira, J.T., 2010. Caracterização Geoquímica da Formação da Brejeira (Grupo do Flysch do Baixo Alentejo): Resultados Preliminares. Geochemistry of the Brejeira Formation (Baixo Alentejo Flysch Group): Preliminary Results. X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa XVI Semana de Geoquímica, p. 293-299.
- FERREIRA GOMES, L.M. & Gabriel de Almeida, P., 2003. As Pedreiras do Poio (Foz Côa) – A Região e o Turismo. “A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos” vol. 1, Geologia de Engenharia, coord. de Martim Portugal V. Ferreira. Coimbra – Imprensa da Universidade, p. 299-316.
- FLINN, D., 1962. On folding during three dimensional progressive deformations. Quarterly Journal of the Geological Society, volume 18, p. 385-428. © Geological Society of London 1962.
- JELINEK, V., 1981. Characterization of the magnetic fabric of rocks. Elsevier, Tectonophysics 79, p. 63-67.
- FEDO, C.M., Eriksson, K.A. & Krogstad, E.J., 1996. Geochemistry of shales from the Archean (-3.0 Ga) Buhwa Greenstone Belt, Zimbabwe: Implications for provenance and source-area weathering. Geochim. Cosmochim. Acta, 60:1751-1763.
- FRASCÁ, M.H., 2001. Qualificação de rochas ornamentais e para revestimento de edificações: caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade. Curso integrado no I Simpósio brasileiro de Rochas Ornamentais / II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, Anais do Museu Geológico da Bahia, Brasil, p. 128-134.
- GARCIA, A.V., 1951. Emprego da ardósia como material de construção. Publ. nº 15 do LNEC, Lisboa, 65 pp.
- GARCÍA-LASANTA, C., Olivia-Urcia, B., Román-Berdiel, T.Y Casas-Sainz, A., 2012. Aportación de la fábrica magnética y el análisis de estructuras frágiles al conocimiento de la evolución mesozoica en la Cuenca de Cameros Contribution to the understanding of the Mesozoic evolution in the Cameros basin from magnetic fabric and brittle mesostructures. VIII Congreso Geológico de España, Oviedo. Geo-temas 13, p. 1144-1147.
- GIL-IMAZ, A. & Barbero, L., 2004. Anisotropy of magnetic susceptibility in the Montes de Toledo area (Hercynian Iberian Belt, Spain) and its petrostructural significance. *In*: Martín-Hernández, F., Lüneburg, C.M, Aubourg, C. & Jackson,

- M. (eds.) 2004. *Magnetic Fabric: Methods and Applications*. Geological Society, London, Special Publications, 238, p. 381-394.
- GOLDSTEIN, J.I., Newbury, D.E., Echlin, P., Joy, D.C., Fiori, C. & Lifshin, E., 1981. *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. A text for Biologists, Materials Scientists and Geologists*. Plenum Press, 673 pp.
- GOLDSTEIN, J.I., Newbury, D.E., Joy, D.C., Lyman, C.E., Echlin, P., Lifshin, P., Lifshin, E., Sawyer, L.C. & Michael, J.R., 2003. *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis*. Kluwer Academic, Plenum Publishers, 689 pp.
- GÓMEZ-FERNÁNDEZ, F., Ward, C.R. & Bauluz, B., 2009. Caracterización de pizarras comerciales del NO de España a partir de DRX, microscopia electrónica (EMPA, SEM, TEM) y FRX. XRD, electron microscopy (EMPA, SEM, TEM) and XRF characterization of roofing slates from NW Spain. *Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe, Coruña, Vol. 34*: 127-142.
- GOODHEW, P.J., Humphreys, J. & Beanland, R., 2001. *Electron microscopy and analysis*. Taylor & Francis, third edition, 251 pp.
- GOMES, C. & Sant'Ovaia, H., 2011. Modelos de anisotropia da susceptibilidade magnética versus modelação de processos geológicos. *Modelação de Sistemas Geológicos: Homenagem ao Professor Manuel Maria Godinho*. Imprensa da Universidade de Coimbra, Laboratório de Radioactividade Natural da Universidade de Coimbra, p. 237-246.
- GROMET, L.P., Dymek, R.F., Haskin, L.A. & Korotev, R.L., 1984. The "North American shale composite": Its compilation, major and trace element characteristics. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol.48, p. 2469-2482.
- GRUNDY, P.J. & Jones, G.A., 1976. *Electron microscopy in the study of materials. The Structures and Properties of Solids*, volume 7, Publisher: Edward Arnold, London, 174 pp.
- HAHA, M.B., Gallucci, E., Guidoum, A. & Scrivener, K.L., 2007. Relation of expansion due to alkali silica reaction to the degree of reaction measured by SEM image analysis. *Cement and Concrete Research*, 37, p. 1206-1214.
- HARNOIS, L., 1988. The CIW index: a new chemical index of weathering. *Elsevier, Sedimentary Geology* 55: 319-322.
- HIRT, A.M., Julivert, M. & Soldevila, J., 2000. Magnetic fabric and deformation in the Navia – Alto Sil slate belt, northwestern Spain. *Elsevier, Tectonophysics* 320, p. 1-16.
- HROUDA, F., 1982. Magnetic anisotropy of rocks and its application in geology and geophysics. *Geophys. Surv.* 5: 37-82.

- HROUDA, F., 1986. The effect of quartz on the magnetic anisotropy of quartzite. *In*: Sant'Ovaia, H., 1993. Características magnéticas dos granitóides biotíticos pós-tectónicos de Vila Pouca de Aguiar. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (Provas de Aptidão Pedagógica), 67 pp.
- HOBBS, D.W. (editor), 1988. Alkali-silica reaction in concrete. Thomas Telford Ltd. London, 183 pp.
- HU, Z. & Gao, S., 2008. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update. Elsevier, Chemical Geology 253: 205–221.
- IGLÉSIAS, M., Ribeiro, M.L. & Ribeiro, A., 1983. La interpretación aloctonista de la estructura del Noroeste Peninsular. *In*: J.A. Comba (Coord.), Livro Jubilar de J.M. Rios, Tomo I: 459-467.
- IMAZ, A.G., Anchuela, Ó.P. y Pérez, J.G., 2012. Caracterización de factores que afectan al desarrollo de esquistosidad a partir del análisis de ASM: el caso de la esquistosidad alpina del Permo-Trías de la Sierra de Espadán (Castellón, España). Characterization of factors affecting the cleavage development from the ASM analysis: a case from the alpine cleavage-related folds of Permo-Triassic series from the Espadán Range (Castellón, Spain). VIII Congreso Geológico de España, Oviedo. Geo-temas 13, p. 1148-1151.
- JELINEK, V., 1981. Characterization of the magnetic fabric of rocks. Elsevier, Tectonophysics, 79: 63-67.
- JOVER, O., 1986. Les massifs granitiques de Guerét et du Nord-Millevalches (Massif Central Français): analyse structurale et modèle de mise en place. Thèse, 233 pp, Université de Nantes. *In*: Sant'Ovaia, H., 2000. O maciço granítico pós-tectónico de Vila Pouca de Aguiar. Estudo petro-estrutural e mecanismo de instalação, 314 pp. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto / Université Paul Sabatier Toulouse III, Porto / Toulouse. Tese de Doutoramento.
- JULIVERT, M., Fontbote, J.M., Ribeiro, A. & Nabais Conde, L.E., 1972. Mapa Tectónico da Península Ibérica Y Baleares, Escala 1:1 000 000 e Memória explicativa (1974), 1-113. Instituto Geológico y Minero de España.
- KĄDZIAŁKO-HOFMOKL, M., Mazur, S., Werner, T. & Kruczyk, J., 2004. Relationships between magnetic and structural fabric revealed by Variscan basement rocks subject to heterogeneous deformation – a case study from the Kłodzko Metamorphic Complex, Central Sudetes, Poland. *In*: Martín-Hernández, F., Lüneburg, C.M, Aubourg, C. & Jackson, M. (eds.) 2004. Magnetic Fabric: Methods and Applications. Geological Society, London, Special Publications, 238, p. 475-491.

- KLIGFIELD, R., Owens, W.H. & Lowrie, W., 1981. Magnetic susceptibility anisotropy, strain and progressive deformation in Permian sediments from the maritime Alps (France). *Earth Planet. Sci. Letters* 55: 181-189.
- KRONBERG, B.J., Nesbitt, H.W. & Fyfe, W.S., 1987. Mobilities of alkalis, alkaline earths and halogens during weathering. *Chem. Geol.*, 60, 114: 41-45.
- LNEG, 2014. Carta Geológica da Região Demarcada do Douro. Base topográfica adaptada da Carta Topográfica de Portugal 1:200 000, Folha 2. Revisão científica de Eurico Pereira.
- LOTZ, F., 1945. Zur Gliderung der Varisziden in der Iberischen Meseta. *Geotekt. Forsch.*, 6: 78-92. (Trad. J. M. Ríos, 1950). Observaciones a respecto de la división de los variscides de la Meseta Ibérica. *Publicaciones Extranjeras sobre Geología de España*, Instituto Lucas Mallada, 5, 27: 149-160.
- MAIOR, Visconde de Villa, 1876. O Douro Ilustrado. Livr. Universal Magalhães e Moniz, Porto, 226 pp.
- MARCÉN, M., Casas-Sainz, A., Román-Berdiel, T., Oliva-Urcia, B. & Soto, R., 2016. Relación entre Fábricas Magnéticas (ASM) y dirección de transporte: Cabalgamiento de Gavarnie, Zona Axial, Pirineos. Relationship between Magnetic Fabrics and tectonic transport direction: The Gavarnie Thrust, Axial Zone, Pyrenees. IX Congreso Geológico de España, *GeoTemas Volume: 16 (1): 841-844*, Huelva.
- MARTINEZ, F.J., Julivert, M., Sebastian, A., Arboleya, M.L. & Ibarguchi, J.I., 1988. Structural and thermal evolution of high-grade areas in the north-western parts of the Iberian Massif. *Amer. J. Sci.*, 288, p. 969-996.
- McLENNAN, S.M., 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. *In: Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. Rev. Miner.*, 21: 169-200.
- McLENNAN, S.M., Taylor, S.R, McCulloch, M.T. & Maynard, J.B., 1990. Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: Crustal evolution and plate tectonic associations. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54: 2015-2050.
- MEIRELES, C., 1997. Descoberta de Scyphocrinoides em xistos carbonosos de Guadramil (NE transmontano). *In: C.C. Pires, M.E.P. Gomes e C. Coke (Coords.), XIV Reunião de Geologia do Oeste Peninsular, UTAD*, p. 297-299.
- MOREIRA, N., Búrcio, M., Dias, R. & Coke, R. 2010a. Partição da deformação Varisca nos sectores de Peso da Régua e Vila Nova de Foz Côa (autóctone da Zona Centro Ibérica). *Comunicações Geológicas*, t 97, p. 147-162.
- MOREIRA, N., Dias & R., Coke, R., 2010b. Partição da deformação Varisca na região de Peso da Régua (autóctone da zona Centro Ibérica): a influência dos

- cisalhamentos esquerdos WNW-ESE. *Revista Electrónica de Ciências da Terra, Geosciences On-line Journal, e-Terra, Volume 11 Geologia Estrutural e Tectónica*, nº 16. <http://e-terra.geopor.pt>. 4 pp., ISSN 1645-0388.
- NAGATA, T., 1961. Rock magnetism. *In: Sant'Ovaia, H., 2000. O maciço granítico pós-tectónico de Vila Pouca de Aguiar. Estudo petro-estrutural e mecanismo de instalação*, 314 pp. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto/ Universite Paul Sabatier Toulouse III, Porto / Toulouse. Tese de Doutoramento.
- NAKAMURA, N. & Borradaile, G.J., 2004. Metamorphic control of magnetic susceptibility and magnetic fabrics: a 3-D projection. *In: Martín-Hernández, F., Lüneburg, C.M, Aubourg, C. & Jackson, M. (eds.) 2004. Magnetic Fabric: Methods and Applications. Geological Society, London, Special Publications, 238, p. 61-68.*
- NESBITT, H.W. & Young, G.M., 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, vol. 299, p. 715-717.
- NESBITT, H.W., Young, G.M., McLennan, S.M. & Keays, R.R., 1996. Effects of chemical weathering and sorting on the petrogenesis of siliciclastic sediments, with implications for provenance studies. *J. Geol*, 104: 525-542.
- NORONHA, F., Ramos, J.M.F., Rebelo, J.A., Ribeiro, A. & Ribeiro, M.L., 1979. Essai de corrélation des phases de déformation hercynienne dans le Nord-Ouest Péninsulaire. *Boletim Sociedade Geológica de Portugal*, XXI: 227-237.
- NORONHA, F., 1988. Mineralizações. *Geonovas*, vol. 10: 37-54.
- NORONHA, F., Sousa, M., Carvalho, C., Casal Moura, A. & Farinha Ramos, J., 2010a. "Schistose" Rocks as a Resource. *Global Stone Congress, Alicante, Paper S1-06*, 5 pp.
- NORONHA, F., Sousa, M., Carvalho, C., Ribeiro, M.A, Casal Moura, A. & Farinha Ramos, J., 2010b. Rochas xistentas de Trás-os-Montes como recurso. Schistose stones of trás-os-Montes as a resource. *VIII Congresso Nacional de Geologia, Braga, GEOTIC – Sociedade Geológica de Portugal, e-Terra: Revista Electrónica de Ciências da Terra, ISSN 1645-0388*, 4 pp.
- NORONHA, F., Aires, S., Carvalho, C., Ramos, J.F., Moura, C., Moura, R., Sant'Ovaia, H. & Ramos, V., 2011. Os Xistos como Recurso. O caso de Trás-os-Montes e Alto Douro. Schist as resource. The example of Trás-os-Montes e Alto Douro. *VI Seminário de Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território, UTAD*, p. 167- 174.
- NORONHA, F., Carvalho, C., Aires, S., Casal Moura, A. & Farinha Ramos, J., 2012. Characterization of "Xisto" as a Way to Promote its Use as Natural Stone.

- Proceedings of Global Stone Congress 2012, ISSN: 1013-9826, Borba, Alentejo, Portugal, 8 pp.
- NORONHA, F., Carvalho, C., Aires, S., Casal Moura, A. & Farinha Ramos, J., 2013. Characterization of "Xisto" as a Way to Promote its Use as Natural Stone. *Key Engineering Materials* Vol. 548, p 197-204, ISSN: 1662-9795, 1013-9826, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.548.197. Online available since 2013/Apr/10 at www.scientific.net © (2013) Trans Tech Publications, Switzerland.
- OLIVEIRA, J.T., Pereira, E., Ramalho, M., Antunes, M.T. & Monteiro, J.H. (Coords.), 1992. Carta Geológica de Portugal, Folha norte, escala 1:500 000. Serviços Geológicos de Portugal.
- OLIVEIRA, J.T., Pereira, E., Piçarra, J., Young, T. & Romano, M. 1992. O Paleozóico inferior de Portugal: síntese da estratigrafia e da evolução paleogeográfica. *In: Gutiérrez-Marco, J. C., Saavedra, J., Rábano, J. (Eds.). Paleozóico Inferior de Ibero-América. Universidade Extremadura, 359-375 p.*
- ORNABASE, 2003. Base de Dados do Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas. Versão online (<http://www.igm.pt/almanaque>) GeoAlmanaque / Rochas Ornamentais Portuguesas / ORNINDEX / Empresas Exploradoras.
- ORTEGA, L.A. & Ibarra, I.G., 1990. The genesis of late Hercynian granitoids from Galicia (NW Spain): Inferences from REE studies. *Journal of Geology*, 98, p. 189-211.
- PARÉS, J.M. & Pluijm, B.A. van der, 2002. Evaluating magnetic lineations (MAS) in deformed rocks. *Elsevier, Tectonophysics* 350: 283-298.
- PEARCE, J.A. & Cann, J.R., 1971. Ophiolite origin investigated by discriminant analysis using Ti, Zr and Y. *Earth and Planetary Science Letters* 12, p. 339-349. North-Holland Publishing Company.
- PEREIRA, E., 1987. Estudo geológico-estrutural da região de Celorico de Basto e sua interpretação geodinâmica. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 274 pp. Tese de Doutoramento.
- PEREIRA, E. (Coord), 2000. Folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000. Instituto Geológico e Mineiro, Portugal.
- PEREIRA, E. (Coord), 2006. Notícia Explicativa da Folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000. INETI, Lisboa, 119 pp.
- PIPER, J.D.A., 1987. Palaeomagnetism and the Continental Crust. *In: Sant'Ovaia, H., 1993. Características magnéticas dos granitóides biotíticos pós-tectónicos de Vila Pouca de Aguiar. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (Provas de Aptidão Pedagógica), 67 pp.*

- PLANAUSKY, N., Bekker, A., Rouxel, O.J., Kamber, B., Hofmann, A., Knudsen, A. & Lyons, T.W., 2010. Rare Earth Element and yttrium compositions of Archean and Paleoproterozoic Fe formations revisited: New perspectives on the significance and mechanisms of deposition. Elsevier, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74: 6387–6405.
- POKORNÝ, J., Suza, P., & Hrouda, F., 2004. Anisotropy of magnetic susceptibility of rocks measured in variable weak magnetic fields using the KLY-4S Kappabridge. *In: Martín-Hernández, F., Lüneburg, C.M, Aubourg, C. & Jackson, M. (eds.) 2004. Magnetic Fabric: Methods and Applications. Geological Society, London, Special Publications, 238, p. 69-76.*
- PUPIN, J.P., 1980. Zircon and Granit Petrology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 73: 207-220.
- REBELO DE ANDRADE, J.P, 1848. Distrito Vinhateiro do Alto Douro. *In: Rebelo, J.A., 1999. As Cartas Geológicas ao Serviço do Desenvolvimento. Instituto Geológico e Mineiro, versão online no site do LNEG:*
http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/cartas
- REBELO, J.A., 1983/1985. Contribuição para o conhecimento da base do Ordovício em Portugal – Região de Moncorvo. *Bol. Solc. Geol. Portugal, Lisboa, 22, p. 267-271.*
- REBELO, J.A. & Romano, M., 1986. A contribution to the lithostratigraphy and palaeontology of the Lower Palaeozoic rocks of the Moncorvo region, Northeast Portugal. *Comunicações Serviços Geológicos Portugal, 72(1/2): 45-58.*
- REBELO, J.A., 1999. *As Cartas Geológicas ao Serviço do Desenvolvimento. Instituto Geológico e Mineiro, versão online no site do LNEG:*
http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/cartas
- RIBEIRO, A., Cramez, C., Silva, L.C. & Macedo, J., 1962. Nota sobre a geologia da Serra do Marão. *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal, Vol. XIV, Fasc. II-III, p. 151-172.*
- RIBEIRO, A., 1974. Contribution à l` étude tectonique de Trás-Os-Montes Oriental. *Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal, 24, 168 pp.*
- RIBEIRO, A., Pereira, E. & Dias, R., 1990. Structure in the Northwest of the Iberian Peninsul. Edited by R.D. Dallmeyer & E. Martinez-Garcia, *in: Pre-Mesozoic Geology of Iberia, p. 220-236. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.*
- RIBEIRO, M.A.M., 1998. Estudo litogeoquímico das formações metassedimentares encaixantes e Trás-os-Montes Ocidental: implicações metalogénicas. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 231 pp.

- RIBEIRO, M.L. & Silva, A.F., 2000. Carta Geológica Simplificada do Parque Arqueológico do Vale do Côa à escala 1:80 000. Instituto Geológico e Mineiro e Parque Arqueológico Vale do Côa.
- RIBEIRO, M.L., 2001. Notícia Explicativa da Carta Geológica Simplificada do Parque Arqueológico do Vale do Côa à escala 1:80 000. Instituto Geológico e Mineiro e Parque Arqueológico do Vale do Côa, 72 pp.
- RIBEIRO, A., Munhá, J., Dias, R., Mateus, A., Pereira, E., Ribeiro, M.L., Fonseca, P., Araújo, A., Oliveira T., Romão, J., Chaminé, H., Coke, C. & Pedro, J., 2007. Geodynamic evolution of SW Europe Variscides, *Tectonics* 26, TC6009, doi: 10.1029/2006TC002058, 24 pp.
- RIBEIRO, A., Munhá, J., Mateus, A., Fonseca, P., Pereira, E., Noronha, F., Romão J., Rodrigues, J. Castro, P., Meireles, C. & Ferreira, N., 2009. Mechanics of thick-skinned Variscan overprinting of Cadomian basement (Iberian Variscides). *Mécanique de la réactivation tectonique profonde du socle Cadomien au cycle Varisque en Ibérie*. Elsevier, *Comptes Rendus Geoscience*, Volume 341, Issues 2-3, p. 127-139.
- ROCHETTE, P., 1987. Magnetic susceptibility of the rock matrix related to magnetic fabric studies. *Journal Struct. Geol.* 9 (8): 1015-1020.
- ROHLF, F.J., & Sokal, R.R., 1981. Comparing numerical taxonomic studies. *Syst. Zool.* 30: 459-490.
- ROLLINSON, H., 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Group Limited, London, 344 pp.
- ROMÃO, J., Coke, C., Dias, R. & Ribeiro, A., 2005. Transient inversion during the opening stage of the Wilson cycle «Sardic phase» in the Iberian Variscides – Stratigraphic and tectonic record. *Geodinamica Acta*. V. 18:2, p. 115-129.
- ROMÃO, J., Metodiev, D., Dias, R. & Ribeiro, A., 2013. Evolução geodinâmica dos sectores meridionais da Zona Centro-Ibérica. *In*: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J.C., (Eds). *Geologia de Portugal: Volume 1 - Geologia Pré-Mesozóica de Portugal*. Escolar Editora (1ª edição). Lisboa. p. 205 – 257.
- RUDNICK, R.L. & Fountain, D.M., 1995. Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective. *Rev Geophys* 33:267–309.
- RUDNICK, R.L. & Gao, S., 2003. Composition of the Continental Crust. Elsevier, *Treatise on Geochemistry*, Volume 3. Executive Editors: Heinrich D. Holland and Karl K. Turekian. 659 pp., p. 1-64.
- RUDNICK, R.L. & Gao, S., 2014. Composition of the Continental Crust. *In*: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier, *Treatise on Geochemistry*, 2nd edition, volume 4, p. 1-51.

- RUF, A.S., Naruk, S.J., Butler, R.F. & Calderone, G.J., 1988. Strain and magnetic fabric in the Santa Catalina and Pinaleno Mountains metamorphic core complex mylonite zones, Arizona. *Tectonics* 7(2): 235-248.
- SÁ COIXÃO, A.N.E. & Trabulo, A.A.R., 1995. Por Terras do Conselho de Foz Côa. Subsídios para a sua História – Estudo e Inventário do seu Património. Edição da C. M.de Vila Nova de Foz Côa, 451 pp.
- SÁ, C.P.M., 2006. Caracterização morfológica, microestrutural e microanalítica de materiais por: microscopia electrónica de varrimento – SEM e microanálise por raios X - EPMA: EDS/WDS. Centro de Materiais da Universidade do Porto. 60 pp.
- SAN JOSÉ, M.A., Pieren, A.P., Garcia-Hidalgo, J.F., Villas, L., Herranz, P., Pelaez, J.R. & Perejon, A., 1990. Central Iberian Zone. Autochthonous sequences: Ante-Ordovician Stratigraphy. *In*: Dallmeyer, R.D., Martínez Garcia, E. (Eds.). *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, p. 147-159.
- SÁNCHEZ, E., Pueyo, E.L., Bausa, J., Beamud, E., Ramón, M.J., Oliva, B. y Pocoví, A., 2012. Geometría no-coaxial del anticlinal de Santo Domingo (Pirineo occidental) deducida de la fábrica magnética (ASM). Non-coaxial geometry of the Santo Domingo anticline (Western Pyrenees) deduced from the magnetic ASM ellipsoid. VIII Congreso Geológico de España, Oviedo. *Geo-temas* 13, p. 1188-1191.
- SANT'OVAIA, H., 1993. Características magnéticas dos granitóides biotíticos pós-tectónicos de Vila Pouca de Aguiar. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (Provas de Aptidão Pedagógica), 67 pp.
- SANT'OVAIA, H., 2000. O maciço granítico pós-tectónico de Vila Pouca de Aguiar. Estudo petro-estrutural e mecanismo de instalação. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto / Universite Paul Sabatier Toulouse III, Porto / Toulouse. Tese de Doutoramento, 314 pp.
- SANT'OVAIA, H., Nogueira, P., Carrilho Lopes, J., Gomes, C., Ribeiro, M.A., Martins, H.C.B., Dória, A., Cruz, C., Lopes, L., Sardinha, R., Rocha, A. & Noronha, F., 2014. Building up of a nested granite intrusion: magnetic fabric, gravity modelling and fluid inclusion planes studies in Santa Eulália Plutonic Complex (Ossa Morena Zone, Portugal). *Geological Magazine*, Volume 152, Issue 4, p. 648-667. Cambridge University Press 2014, doi: 10.1017/S0016756814000569.
- SCRIVENER, K.L., Patel, H.H., Pratt, P.L. & Parrott, L.J., 1987. Analysis of phases in cement paste using backscattered electron images, methanol adsorption and thermogravimetric analysis. *Microstructural Development during the Hydration of Cement*, Proc. Mat. Res. Soc. Symp., p. 67-76.

- SCRIVENER, K.L. & Gartner, E.M., 1988. Microstructure gradient in cement paste around aggregate particles, bonding in cementitious composites. S. Mindess, S.P. Shah (Eds.), Mater. Res. Soc. Symp. Proc., Pittsburgh, Vol. 114, p. 77-86.
- SCRIVENER, K.L., 2004. Backscattered electron imaging of cementitious microstructures: understanding and quantification. Cem. Concr. Compos. 26 (8), p. 935-945.
- SCHILLING, J., Zajac, M., Evans, R., Johnston, T., White, W., Devine, J.D. & Kingsley, R., 1983. Petrologic and Geochemical variations along the Mid-Atlantic Ridge from 29°N to 73°N. Amer. J. of Sci., 283, pp. 510-586.
- SHADMON, A., 1996. STONE: An introduction. Practical Action, 2nd edition, 168pp.
- SILVA, J.M.V., 1983. Estudo mineralógico da argila e do limo de solos derivados de granitos, xistos e rochas básicas da região de Trás-os-Montes. Garcia de Orta, Série de Estudos Agronómicos, vol. 10, nº 1 e 2, p. 27-36.
- SILVA, A.F. & Ribeiro, A., 1985. Thrust Tectonics of Sardinian Age in the Alto Douro Region (Northeastern Portugal). Com. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 71(2), p. 151-157.
- SILVA, A.F., Rebelo, J.A. & Ribeiro, M.L., Colaboração de Ribeiro, A. & Cabral, J., 1988. Folha 11-C Torre de Moncorvo da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000. Serviços Geológicos de Portugal.
- SILVA, A.F., Rebelo, J.A. & Ribeiro, M.L., 1989. Notícia Explicativa da Folha 11-C Torre de Moncorvo da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000. Serviços Geológicos de Portugal, 65 pp.
- SILVA, A., Ribeiro, A. & Ribeiro, M.L., 1990. Folha 15-A Vila Nova de Foz Côa da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000. Serviços Geológicos de Portugal.
- SILVA, A. & Ribeiro, M.L., 1991. Notícia Explicativa da Folha 15-A Vila Nova de Foz Côa da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000. Serviços Geológicos de Portugal, 52 pp.
- SILVA, A.F., Romão, J.M.C, Sequeira, A.J.D. & Oliveira, J.T., 1995. A sucessão litoestratigráfica ante-ordovícica na Zona Centro-Ibérica (ZCI), em Portugal: Ensaio de interpretação com base nos dados actuais. XIII Reunión de Geología del Oeste Peninsular, RGOP/PICG, 319-320, Univ. Salamanca, 1, p. 71-72.
- SILVA, A., 2005. Litoestratigrafia e Estrutura do Supergrupo Dúrico – Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico). Rel. Inéd. Inst. Nac. Eng. Tec. Inov. (INETI) / Lab. Nac. Energ. Geol (LNEG), Lisboa, 473 pp.
- SILVA, S.I.P.F., 2007. Estudo geoquímico de metabasitos da ZOM e da ZCI aflorantes na região Centro-Norte de Portugal. Tese de Mestrado, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 180 pp.

- SILVA, A., 2013. A Litoestratigrafia e Estrutura do Supergrupo Dúrico – Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico), em Portugal, e sua correlação com as correspondentes sucessões em Espanha. *Boletim de Mina*, 48 (2), 176 pp.
- SOLICEL, 2003. Catálogo. Sociedade do Centro Industrial de Esteios de Lousa, Lda. Vila Nova de Foz Côa. 6 pp.
- STACEY, F.D., Joplin, G. & Lindsay, J., 1960. Magnetic anisotropy and fabric of some foliated rocks from S.E. Australia. *In: Sant’Ovaia, H., 2000. O maciço granítico pós-tectónico de Vila Pouca de Aguiar. Estudo petro-estrutural e mecanismo de instalação*, 314 pp. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto / Universite Paul Sabatier Toulouse III, Porto / Toulouse. Tese de Doutoramento.
- SWAMY, R.N. (Ed.), 1992. *The Alkali-Silica Reaction in Concrete*. Blackie and Son Ltd., London, 336 pp.
- TARLING, D.H., 1983. *Palaeomagnetism: Principles and Applications in Geology, Geophysics and Archaeology*. Chapman and Hall, London, 379 pp.
- TARLING, D.H. & Hrouda, F., 1993. *The magnetic anisotropy of rocks*. Chapman & Hall, London. 213 pp.
- TAYLOR, S.R. & McLennan, S.M., 1981. The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences* 301 (1461):398-399.
- TAYLOR, S.R. & McLennan, S.M., 1985. The continental crust: its composition and evolution. Na examination of the geochemical record preserved in the sedimentary rocks. Blackwell Scientific Publ., London. 312 pp.
- TAYLOR, S.R., Ridnick, R.L., McLennan, S.M., Eriksson, K.A., 1986. Rare earth elements patterns in Archean high-grade metasediments and their tectonic significance. *Geochimica et Cosmochimica. Acta*, 50: 2267-2270.
- TEIXEIRA, C., 1955. *Notas sobre a geologia de Portugal: O Complexo Xisto-Grauváquico Ante-Ordivícico*. Porto Editora, Lisboa, 50 pp.
- TEIXEIRA, C., 1979. Le Precambrien de Portugal. *C. R. Somm. Soe. Geol. France*, Paris, vol. 1979, fasc. 5-6, p. 228-230.
- TEIXEIRA, C., 1981. *Geologia de Portugal. Precâmbrico, Paleozóico*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1, 629 pp.
- UGIDOS, J.M., 1990. Granites as a paradigm of genetic processes of granitic rocks: I-types vs S-types. *In: R.D. Dallmeyer e E. Martinez Garcia (Eds.), Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, p. 189-206. Springer-Verlag, Berlin.
- UGIDOS, J.M., Valladares, M.I., Recio, C., Rogers, G., Fallick, A.E. & Stephens, W.E., 1997. Provenance of Upper Precambrian-Lower Cambrian shales in the Central

- Iberian Zone, Spain: evidence from a chemical and isotopic study. Elsevier, Chemical Geology 136: 55-70.
- UGIDOS, J.M., Valladares, M.I., Barba, P. & Ellam, R.M., 2003. The Upper Neoproterozoic–Lower Cambrian of the Central Iberian Zone, Spain: Chemical and isotopic (Sm-Nd) evidence that the sedimentary succession records an inverted stratigraphy of its source. Elsevier, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 67, Nº 14, p. 2615-2629.
- UGIDOS, J.M., Sánchez-Santos, J.M., Barba, P. & Valladares, M.I., 2010. Upper Neoproterozoic series in the Central Iberia, Cantabrian and West Asturian Leonese Zones (Spain): Geochemical data and statistical results as evidence for a shared homogenised source area. *Precambrian Research* 178, p. 51-58.
- VALCÁRCEL, M., Soto, R., Muñoz, J.A., Oliva-Urcia, B. y Beamud, E., 2012. Estructuración de un cinturón de pliegues-falla a partir de ASM (Sierra de Altomira – Cuenca de Loranca, España). Structuring of a thrust-fold belt from ASM (Sierra de Altomira - Loranca Basin, Spain). VIII Congreso Geológico de España, Oviedo. *Geo-temas* 13, 370.
- VILLASECA, C., Merino, E., Oyarzun, R., Orejana, D., Pérez-Soba, C. & Chicharro, E., 2014. Contrasting chemical and isotopic signatures from Neoproterozoic metasedimentary rocks in the Central Iberian Zone (Spain) of pre-Variscan Europe: Implications for terrane analysis and Early Ordovician magmatic belts. Elsevier, *Precambrian Research* 245: 131-145.
- WALL, H. & Warr, L.N, 2004. Oblique magnetic fabric in siderite-bearing petilic rocks of the Upper Carboniferous culm Basin, SW England: an indicator for palaeo-fluid migration?. *In: Martín-Hernández, F., Lüneburg, C.M, Aubourg, C. & Jackson, M. (eds.) 2004. Magnetic Fabric: Methods and Applications. Geological Society, London, Special Publications, 238, p. 493-507.*
- WEAST, R.C., 1913. *Handbook of Chemistry and Physics*. CRC press, 64th edition (1983-1984), Boca Raton, Florida.
- WEDEPOHL, K.H., 1995. The composition of the continental crust. Elsevier, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59 (7):1217-1232.
- WINKLER, E.M., 1997. *Stone in Architecture: Properties, Durability*. Springer-Verlag (Ed.), 3^a Ed., Berlin, 314 pp.
- WRONKIEWICZ, D.J. & Condie, K.C., 1987. Geochemistry of Archean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: Source-area, weathering and provenance. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51: 2401-2416.
- YANAGI, T., 2011. Chapter 2- Chemical Composition of Continental Crust and the Primitive Mantle. *In: Arc Volcano of Japan. Generation of Continental Crust*

from the Mantle. Lecture Notes in Earth Sciences, 136, p. 9-17, 123 pp. DOI
10.1007/978-4-431-53996-4_2.

Páginas da *web* consultadas

<http://www.cen.eu>

http://www.irm.umn.edu/hg2m/hg2m_b/hg2m_b.html

http://gravmag.ou.edu/mag_rock/mag_rock.html

<http://www.mathematik.tu-darmstadt.de/Math->

[Net/Lehrveranstaltungen/Lehrmaterial/SS2001/MCS-LAI/ell.gif](http://www.mathematik.tu-darmstadt.de/Math-Net/Lehrveranstaltungen/Lehrmaterial/SS2001/MCS-LAI/ell.gif)

<http://mse.iastate.edu/microscopy/home.html>

http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/electroninteractions.html

http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/SEM.html

<http://web.utk.edu/~prack/MSE%20300/SEM.pdf>

<http://www.dbio.uevora.pt/jaraujo/biocel/metecnicas.htm>

<http://www.purdue.edu/REM/rs/graphics/sem2.gif>

<http://www2.eng.cam.ac.uk/~bcb/history.htm>

<http://www4.nau.edu/microanalysis/Microprobe-SEM/images%5CInteraction>