

Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Geológica

Dissertação

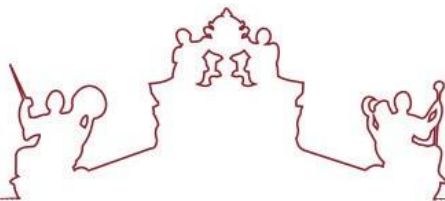
**Caracterização Geoquímica, Mineralógica e Petrográfica da
Mina de Mociços**

Sandro do Rosário Pita Vicente

Orientador(es) | **Pedro Miguel Madureira Pimenta Nogueira**

João Manuel Xavier de Matos

Évora 2020



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Geológica

Dissertação

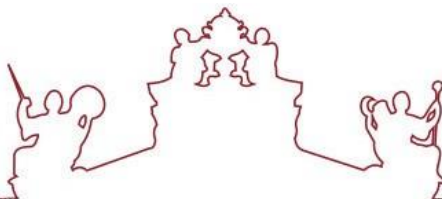
**Caracterização Geoquímica, Mineralógica e Petrográfica da
Mina de Mociços**

Sandro do Rosário Pita Vicente

Orientador(es) | **Pedro Miguel Madureira Pimenta Nogueira**

João Manuel Xavier de Matos

Évora 2020



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Isabel Maria Ratola Duarte (Universidade de Évora)

Vogais | João Manuel Xavier de Matos (Laboratório Nacional de Energia e Geologia) (Orientador)
Maria dos Anjos Marques Ribeiro (Universidade do Porto) (Arguente)

Évora 2020



Aos meus pais,
a quem tudo devo.

*“Not I, nor anyone else can travel that road for you,
You must travel it by yourself.
It is not far, it is within reach,
Perhaps you have been on it since you were born and did not Know.
Perhaps it is everywhere – on water and land.”*

Walt Whitman

ÍNDICE GERAL

Índice geral.....	I
Índice de figuras	V
Índice de tabelas	IX
Índice de estampas	XI
Agradecimentos	XII
Abreviaturas, siglas e acrónimos.....	XIV
Resumo	XV
Abstract	XVI
Capítulo 1 - Introdução	3
1.1 Localização	3
1.2 Notas históricas	4
1.3 Enquadramento geológico	9
1.3.1 Enquadramento geológico da ZOM.....	9
1.3.1.1 Paleogeografia e litoestratigrafia	9
1.3.1.2 Tectónica	11
1.3.2 Enquadramento geológico do setor Estremoz-Barrancos	12
1.3.3 Enquadramento geológico da mina de Mociços.....	18
1.4 Enquadramento metalogénico.....	20
1.4.1 Classificação por faixas das mineralizações da ZOM	20
1.4.2 Mineralizações na faixa Sousel-Barrancos.....	23
1.4.3 Mineralização da mina de Mociços	24

Capítulo 2 - Metodologias	27
2.1 Introdução	27
2.2 Amostragem	27
2.3 Preparação laboratorial e caracterização macroscópica	28
2.3.1 Processamento de amostra e análise macroscópica.....	28
2.3.2 Produção de lâminas delgadas	29
2.3.3 Produção de superfícies polidas	30
2.4 Análise petrográfica.....	31
2.5 Química mineral	32
2.5.1 SEM do Laboratório de Microscopia Eletrônica.....	32
2.5.2 SEM-EDS do Laboratório Hércules	32
2.6 Geoquímica de solos.....	33
Capítulo 3 - Geoquímica de Solos.....	37
3.1 Introdução	37
3.2 Geoquímica de solos regional para o Cu e Zn.....	37
3.2.1 Análise exploratória de dados	37
3.2.2 <i>Threshold</i> e fundo regional	40
3.2.3 Mapas regionais de isotores.....	40
3.3 Geoquímica de solos local para o Cu e Zn.....	42
3.3.1 Análise exploratória de dados	42
3.3.2 <i>Threshold</i> e fundo local	45
3.3.3 Mapas locais de isotores.....	45
3.4 Geoquímica de solos local para o As, Cd, Cr, Co, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V.....	47
3.4.1 Análise estatística univariada	47
3.4.2 <i>Threshold</i> e fundo local	49
3.4.3 Análise estatística bivariada	51
3.4.4 Análise estatística multivariada	52

Capítulo 4 - Petrografia e mineralogia	57
4.1 Introdução	57
4.2 Unidades metassedimentares	59
4.2.1 Formação de Colorada - Psamitos micáceos.....	59
4.2.2 Formação dos Xistos com Nódulos - Liditos e xistos negros.....	63
4.2.3 Formação de Colorada - Xistos siliciosos.....	67
4.3 Estruturas filonianas	70
4.3.1 Episódio I: fase do quartzo de exsudação	71
4.3.2 Episódio II: fase do quartzo leitoso.....	73
4.3.3 Episódio III: fase do quartzo em pente, dos carbonatos e da calcopirite	76
4.3.4 Episódio IV: fases tardias	81
4.4 Interpretação paragenética	86
Capítulo 5 - Discussão de Resultados.....	89
5.1 Geoquímica de solos.....	89
5.2 Petrografia e mineralogia.....	93
Capítulo 6 - Conclusões.....	103
Capítulo 7 - Trabalhos futuros	107
Bibliografia	111
Anexos	118
Anexo I - Mapas antigos de Mociços	
Anexo II - Sequências estratigráficas esquemáticas e mapa geológico	
Anexo III - Mapas metalogénicos	
Anexo IV - Descrição de amostras, lâminas delgadas e superfícies polidas	
Anexo V - Fichas petrográficas	
Anexo VI - Fichas metalográficas	

Anexo VII - Análises no SEM-EDS

Anexo VIII - Dados da geoquímica de solos

Anexo IX - Mapas da geoquímica de solos

Anexo X - Análise estatística univariada, bivariada e multivariada

Anexo XI - Trabalhos publicados

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Sítio da Cova do Monge, onde ocorreu exploração a céu aberto do filão mineralizado, com deposição de material no flanco leste da encosta. Em segundo plano, albufeira da barragem do Alqueva no rio Guadiana.....	3
Figura 1.2 - Localização geográfica da mina de Mociços e respetiva rede viária simplificada (Sistema de Coordenadas PT-TM06/ETRS89).	4
Figura 1.3 - Modelo 3D da área envolvente à mina de Mociços, com a localização do monte da Granja (A), sítio da Defesa da Granja (B), sítio da Cova do Monge (C) e monte dos Massiços (D) de acordo com Cabral (1869).	5
Figura 1.4 - Principais setores da Zona de Ossa-Morena (Araújo <i>et al.</i> , 2013).....	9
Figura 1.5 - Sequência estratigráfica geral do setor de Estremoz-Barrancos (adaptado de Oliveira <i>et al.</i> , 1991). Sem escala vertical.....	15
Figura 1.6 - Geologia da área de Barrancos (Araújo <i>et al.</i> , 2013). Legenda: a-Formação de Terena; b- Formação dos Xistos Raiados; c-Formação do Monte das Russianas; d-Formação dos Xistos com Nódulos; e-Formação de Colorada; f-Formação dos xistos com <i>Phyllodocites</i> ; g-Formação de Barrancos; h-Formação de Ossa; i-Formação do Fatuquedo; j-Complexo Ígneo de Barrancos ; k-setor de Montemor-Ficalho ; l-falha, carregamento de Sto. Aleixo da Restauração.	15
Figura 1.7 - Sequência estratigráfica esquemática do Anticlinal de Estremoz (adaptado de Oliveira <i>et al.</i> , 1991). Sem escala vertical.....	17
Figura 1.8 - Geologia da área de Estremoz (adaptado de Araújo <i>et al.</i> , 2013). A- Antiforma de Estremoz; B- Antiforma de Ferrarias; C- Complexo Ígneo de Barrancos.	17
Figura 1.9 - Mapa geológico simplificado da região de Mociços (adaptado de Leal <i>et al.</i> , 1980 e Borrego, 2009; Sistema de Coordenadas PT-TM06/ETRS89).	19
Figura 1.10 - Faixas com potencial mineiro e mapa geológico simplificado da ZOM em território Português (adaptado de Tornos <i>et al.</i> , 2004). Geologia: 1- Cobertura sedimentar Cenozoica; 2- Sequências metassedimentares do Devónico superior; 3- Sequências metassedimentares e metavulcânicas do Ordovícico-Silúrico; 4- Sequências metassedimentares (incluindo calcários dolomíticos metamorfizados) e metavulcânicas do Câmbrico; 5-Sequências metassedimentares e metavulcânicas do Proterozoico; 6- Gabros (e dioritos) e rochas ultramáficas (Paleozoico inferior até ao Varisco); 7-Rochas granitóides indiferenciadas do Varisco e tardi-Varisco. Terrenos oceânicos exóticos; 8- Complexo Ofiolítico de Beja-Acebuches (COBA); 9- Grupo Pulo do Lobo (rochas metassedimentares e metavulcânicas); 10- Rochas metassedimentares da Zona Centro Ibérica; 11- Rochas metassedimentares e metavulcânicas da Zona Sul-Portuguesa.	21

Figura 1.11 - Mapa geológico simplificado da ZOM em território Português, com as faixas com potencial mineiro (adaptado de Mateus <i>et al.</i> , 2013).....	21
Figura 1.12 - Mapa geológico simplificado da ZOM em território Espanhol, com as faixas com potencial mineiro (adaptado de Tornos <i>et al.</i> , 2004). Geologia: 1- Sequência Pré-Cadomiana; 2- Complexo Cadomiano Sin-Orogénico; 3- Rochas relacionadas com rift Câmbrico; 4- Plataformas sedimentares estáveis (Ordovícico-Silúrico); 5- Bacias Variscas; 6- Sedimentos Pós-Varisco; 7- Rochas plutónicas.....	22
Figura 3.1 - Histograma de densidade de frequência da concentração de Cu de carácter regional, com representação da linha de densidade (amplitude das classes: 100 ppm).....	39
Figura 3.2 - <i>Boxplot</i> dos dados de concentração de Cu de carácter regional.	39
Figura 3.3 - Gráfico Q-Q dos dados de concentração de Cu de carácter regional.....	39
Figura 3.4 - Histograma de densidade de frequência de concentração em Zn de carácter regional, com representação da linha de densidade (amplitude das classes: 10 ppm).	39
Figura 3.5 - <i>Boxplot</i> dos dados de concentração de Zn de carácter regional.....	39
Figura 3.6 - Gráfico Q-Q dos dados de concentração de Zn de carácter regional.....	39
Figura 3.7 - Mapa de isoteores para a concentração em Cu (ppm) de carácter regional, com a cartografia dos filões de quartzo e da Formação dos Xistos com Nódulos (Sistema de Coordenadas: ETRS89/Portugal TM06).	41
Figura 3.8 - Mapa de isoteores para a concentração em Zn (ppm), de carácter regional, com a cartografia dos filões de quartzo e da Formação dos Xistos com Nódulos (Sistema de Coordenadas: ETRS89/Portugal TM06).	42
Figura 3.9 - Histograma de densidade de frequência da concentração de Cu de carácter local (amplitude da classe: 100 ppm).....	44
Figura 3.10 - <i>Boxplot</i> dos dados de concentração de Cu de carácter local.....	44
Figura 3.11 - Gráfico Q-Q dos dados de concentração de Cu de carácter local.....	44
Figura 3.12 - Histograma de densidade de frequência da concentração em Zn do solo de carácter local (amplitude da classe: 10 ppm).....	44
Figura 3.13 - <i>Boxplot</i> dos dados de concentração de Zn de carácter local.....	44
Figura 3.14 - Gráfico Q-Q dos dados de concentração de Zn de carácter local.	44
Figura 3.15 - Mapa de isoteores para a concentração em Cu (ppm) de carácter local (Sistema de Coordenadas: ETRS89/Portugal TM06).	46
Figura 3.16 - Mapa de isoteores para a concentração em Zn (ppm) de carácter local (Sistema de Coordenadas: ETRS89/Portugal TM06).	47
Figura 3.17 - Matriz de correlação de geoquímica de solos do projeto ZOM-3D (n=177) de acordo com o coeficiente de correlação de <i>Pearson</i> , obtido para os elementos As, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V e Zn.....	52

Figura 3.18 - Dendrograma relativo à geoquímica de solos do projeto ZOM-3D (n=177), com os <i>clusters</i> e os elementos isolados, correspondentes a uma distância de $1-R^2=0,3$	53
Figura 4.1 - Perfil simplificado da sondagem SD.M4 com a localização das amostras estudadas. A tracejado indica-se as secções com perda significativa de testemunho.....	57
Figura 4.2 - Psamitos micáceos (Fm. de Colorada) intersetados pela sondagem SD.M4. A) Amostra SD.4-01, pouco alterada, onde observam-se alternâncias de níveis psamíticos boudinados e níveis pelíticos, assim como óxidos de ferro; B) Amostra SD.4-08 mais deformada que a anterior, com profusão de óxidos de ferro; C) Amostra SD.4-13, definida por alternâncias entre níveis psamíticos e níveis pelíticos, observando-se veios de quartzo leitoso deformados; D) Amostra SD.4-37, onde se destacam filonetes de carbonatos com uma orientação oblíqua ao bandado composicional.....	59
Figura 4.3 - Testemunhos da sondagem SD.M4, correspondente aos liditos e xistos negros (Fm. dos Xistos com Nódulos). A) Amostra SD.4-21, onde observa-se a intercalação entre níveis psamíticos e níveis carbonosos silicificados, estes últimos com forte deformação; B) Amostra SD.4-23, a qual apresenta um filonete de carbonatos de espessura milimétrica, orientado obliquamente ao bandado composicional; C) Amostra SD.4-24, caracterizada por fendas de tração preenchidas por carbonatos.	63
Figura 4.4 - Testemunhos da sondagem SD.M4 correspondentes à fácies recristalizada dos psamíticos micáceos (Fm. de Colorada). A) Amostra SD.4-32, definida por um bandado composicional incipiente e uma textura semelhante a um material cerâmico fosco. Apresenta veios de carbonatos oblíquos e paralelos ao bandado composicional; B) Amostra SD.4-33, caracterizada por um elevado grau de silicificação, observando-se uma textura brechóide na metade superior, e um bandado composicional incipiente na metade inferior, cortado por veios de carbonatos.	67
Figura 4.5 - Testemunhos e fragmentos da sondagem SD.M4, ilustrativos das estruturas filonianas que cortam as rochas encaixantes. A) Amostra SD.4-25, correspondente a um fragmento isolado de quartzo leitoso com intrusão de carbonatos; B) Amostra SD.4-05, onde observa-se dois veios centimétricos de quartzo leitoso oblíquos entre si, a cortar os liditos e xistos negros (Fm. dos Xistos com Nódulos); C) Amostra SD.4-31A, onde identifica-se carbonatos com tons amarelados a intruir um filão de quartzo leitoso; D) Amostra SD.4-34, onde no limite superior observa-se um veio de carbonatos com cor esbranquiçada e alaranjada, o qual contacta com uma zona definida por uma textura brechóide.	70
Figura 4.6 - Filão de quartzo da mina de Mociços, aflorante no limite sul da corta da mina. Fotografia orientada segundo a direção W-E.....	73
Figura 4.7 - Clastos das brechas observadas no filão principal, constituídos por óxidos e hidróxidos de Fe, a partir dos quais observa-se o desenvolvimento do quartzo em pente.....	76

Figura 4.8 - Imagens de elétrons retrodifundidos obtidos na microsonda eletrônica (A), e mapa composicional combinado para o Fe, Ni e Cu (B). A área analisada pode ser observada na estampa 8-B.	77
Figura 4.9 - Imagens de elétrons retrodifundidos obtidos na microsonda eletrônica (A), e mapa composicional combinado para o Mg, Si, S e Cu, centrado na py III e na cpy disseminada em carbonatos da superfície polida SD.4-12A#S1 (B). A área analisada pode ser observada na estampa 8-C.	77
Figura 4.10 - Imagem de elétrons retrodifundidos obtidos na microsonda eletrônica (A), e mapa composicional combinado de Mg e Fe (B), para os carbonatos que constituem o veio identificado na superfície polida SD.4-19B#S1.	78
Figura 4.11 - Fendas de tração preenchidas na sua totalidade por óxidos e hidróxidos de Fe.	81
Figura 4.12 - Imagem de elétrons retrodifundidos obtidos na microsonda eletrônica (A), e mapa composicional combinado de S e Cu (B), para a calcopirite com inclusão de pirite e com óxidos de Cu em fraturas intragranulares. Este caso verifica-se nos veios de carbonatos da superfície polida SD.4-30#S4.	82
Figura 4.13 - Fragmento de quartzo leitoso com diversas cavidades onde são identificados óxidos e hidróxidos de Fe. Observa-se uma capa de malaquite que cobre os óxidos e hidróxidos de Fe.	82
Figura 4.14 - Imagem de elétrons retrodifundidos obtidos na microsonda eletrônica (A), e mapa composicional combinado para o K, Mn e Fe (B), para a análise centrada em óxidos de Mn identificados na superfície polida SD.4-15#S1, correspondente aos psamitos micáceos (Fm. de Colorada).	83
Figura 4.15 - Quadro paragenético da mina de Mociços (I- Episódio I: fase do quartzo de exsudação; II- Episódio II: fase do quartzo leitoso; III- Episódio III: fase do quartzo em pente, dos carbonatos e da calcopirite; IV- Episódio IV: fases tardias; qz - Quartzo; sd - Siderite; dol - Dolomite; ab - Albite; py - Pirite; tnt - Tenantite; ttr - Tetraedrite; cpy - Calcopirite; ox de Fe - Óxidos de Fe; ox de Cu - Óxidos de Cu; mlc - Malaquite; ox de Mn - Óxidos de Mn.).	86
Figura 5.1 - Mapa de anomalias de <i>Bouger</i> para a região de Mociços. Dados do SFM e interpolação do projeto ZOM-3D. O filão principal de Mociços encontra-se assinalado com a linha a tracejado (Oliveira <i>et al.</i> , 2017).	95
Figura 5.2 - Secção esquemática da estrutura filoniana de Mociços e respetivas zonas, comparativamente ao modelo teórico de um enriquecimento supergénico (Guilbert & Park, 1986; Robb, 2005). A figura não se encontra à escala.	97
Figura 5.3 - Representação esquemática do modelo proposto por Mateus <i>et al.</i> (2013).	98
Figura 5.4 - Representação esquemática do modelo proposto por Maia <i>et al.</i> (2019a).	98

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 - Minas de pirite e calcopirite em exploração entre 1852 e 1888, localizadas na Zona Ossa-Morena (ZOM) e na Faixa Piritosa, com indicação da respetiva origem de capitais (adaptado de Guimarães, 2001).....	5
Tabela 1.2 - Informações técnicas das sondagens efetuadas na antiga freguesia do Rosário (Alandroal), na década de 1980 pelo SFM (base de dados do LNEG, 2016). Mhg e Phg- Coordenadas M e P no sistema Hayford-Gauss, Mmil e Pmil – coordenadas M e P no sistema do IGEO (militares).	8
Tabela 3.1 - Síntese da estatística descritiva para a concentração de Cu e Zn da campanha de geoquímica de solos do SFM, datada de 1974.....	37
Tabela 3.2 - <i>Threshold</i> e fundo geoquímico de Cu e Zn da campanha de geoquímica de solos do SFM, datada de 1974.	40
Tabela 3.3 - Síntese da estatística descritiva para a concentração de Cu e Zn da campanha de geoquímica de solos da ZOM-3D, datada de 2017.	42
Tabela 3.4 - <i>Threshold</i> e fundo geoquímico de Cu e Zn da campanha de geoquímica de solos da ZOM3D, datada de 2017.....	45
Tabela 3.5 - Síntese da estatística descritiva para as concentrações de As, Cd, Cr, Co, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V da campanha de geoquímica de solos da ZOM-3D, datada de 2017.	48
Tabela 3.6 - <i>Threshold</i> e fundo geoquímico local para o As, Cd, Cr, Co, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti e V da campanha de geoquímica de solos da ZOM-3D, datada de 2017.	51
Tabela 3.7 - Pares de elementos com correlações excelentes de acordo com o valor de $r > 0,8$	52
Tabela 4.1 - Log da sondagem SD.M4 efetuado por Vitor Oliveira em 1982.....	58
Tabela 4.2 - Composições químicas obtidas nas análises pontuais efetuadas em pirite (py III) e calcopirite (cpy), disseminadas em siderite.....	77
Tabela 4.3 - Composições químicas obtidas para 3 análises pontuais efetuadas em carbonatos do grupo da dolomite, apresentados na tabela 4.6.....	78
Tabela 4.4 - Análises pontuais efetuadas a sulfossais (tenantite-tetraedrite) identificados como inclusões em calcopirite da superfície polida SD.4-19B#S1.	78
Tabela 5.1 - Concentração de fundo regional para o Cu e Zn envolvente à mina de Mociços, comparativamente aos valores da mina S. Domingos (Luz, 2011), do campo mineiro de Neves Corvo (Batista, 2003) e dos valores médios para solos (Reimann & Caritat, 1998).	89
Tabela 5.2 - Concentração de fundo local para o Cu e Zn na mina de Mociços, comparativamente aos valores da mina S. Domingos (Luz, 2011) e aos valores médios para solos (Reimann & Caritat, 1998).	90

Tabela 5.3 - Fundo geoquímico local da mina de Mociços para o As, Cd, Cr, Co, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti e V, comparativamente às concentrações médias para solos de Reimann & Caritat (1998) e respetivo IE obtido.	91
Tabela 5.4 - Pares de elementos $r > 0,8$ e com $R^2 > 0,7$	92

ÍNDICE DE ESTAMPAS

Estampa 1 - Microfotografias da unidade dos Psamitos micáceos: A) SD.4-03#L2.1 NC 5X; B) SD.4-10#L1.21 NP 10X; C) SD.4-14A#L1.3 NC 10X; D) SD.4-15#L2.5 NP 5X; E) SD.4-15#L1.4 NC 5X; F) SD.4-09A#L1.4 NP 5X.....	61
Estampa 2 - Microfotografias da unidade dos Psamitos micáceos: A) SD.4-26#L1.16 NP 5X; B) SD.4-08#L1.7 NC 0.8X; C) SD.4-08#L1.4 NC 5X; D) SD.4-10#L1.24 NP 10X; E) SD.4-16#L1.3 NC 5X; F) SD.4-18B#L1.7 NC 0.8X.	62
Estampa 3 - Microfotografias da unidade dos Liditos e xistos negros: A) SD.4-20#L1.1 NC 5X; B) SD.4-21#L1.13 NP 10X; C) SD.4-21#S1.1 NP 10X; D) SD.4-21#L1.4 NC 0.8X; E) SD.4-21#L1.3 NC 5X; F) SD.4-06#L1.3 NP 5X.....	65
Estampa 4 - Microfotografias da unidade dos Liditos e xistos negros: A) SD.4-21#S4.5 NP 20X; B) SD.4-23#L1.11 NC 5X; C) SD.4-21#S4.2 NP 20X; D) SD.4-21#S4.10 NP 10X; E) SD.4-05A#L1.14 NC 5X; F) SD.4-24#L1.3 NC 0.8X.....	66
Estampa 5 - Microfotografias da unidade dos Xistos siliciosos: A) SD.4-32#L1.8 NC 0.8X; B) SD.4-33#L1.1 NC 5X; C) SD.4-33#L1.10 NC 5X; D) SD.4-33#L1.7 NC 0.8X; E) SD.4-32#S4.3 NP 20X; F) SD.4-32#S4.2 NP 20X.....	69
Estampa 6 - Microfotografias do Episódio I: A) SD.4-07B#L1.5 NC 5X; B) SD.4-11A#L1.1 NC 5X; C) SD.4-11A#L1.4 NC 0.8X; D) SD.4-29#L1.1 NC 0.8X; E) SD.4-11A#L1.2 NP 5X; F) SD.4-11A#L1.3 NP 5X.	72
Estampa 7 - Microfotografias do Episódio II: A) SD.4-06#L1.2 NC 0.8X; B) SD.4-18B#L1.4 NC 0.8X; C) SD.4-12B#L1.6 NC 0.8X; D) SD.4-15#L1.9 NC 5X; E) SD.4-05A#S1.12 NP 10X; F) SD.4-27#S1.6 NP 10X.....	75
Estampa 8 - Microfotografias do Episódio III: A) SD.4-33#L1.10 NC 5X; B) SD.4-19B#S1.5 NP 10X; C) SD.4-12A#S1.18 NP 20X; D) SD.4-31B#L1.2 NC 5X; E) SD.4-29#L1.9 NC 5X; F) SD.4-34B#L1.7 NC 0.8X.....	79
Estampa 9 - Microfotografias do Episódio III: A) SD.4-24#L1.11 NC 5X; B) SD.4-12A#L1.11 NC 0.8X; C) SD.4-11A#L1.9 NC 5X; D) SD.4-30#S2.8 NP 20X; E) SD.4-19B#S3.21 NP 20X; F) SD.4-19B#S2.9 NP 10X.	80
Estampa 10 - Microfotografias do Episódio IV: A) SD.4-23#L1.7 NC 5X; B) SD.4-19B#L1.8 NC 0.8X; C) SD.4-23#L1.13 NC 0.8X; D) SD.4-07A#S1.8 NP 10X; E) SD.4-11A#S1.2 NP 20X; F) SD.4-04B#S1.1 NP 10X.	84
Estampa 11 - Microfotografias do Episódio IV: A) SD.4-19A#S2.5 NP 10X; B) SD.4-12C#S1.5 NP 20X; C) SD.4-12A#S1.16 NP 20X; D) SD.4-15#S1.5 NP 20X; E) SD.4-09A#S1.8 NC 20X; F) SD.4-03#L1.1 NC 5X.	85

AGRADECIMENTOS

Após a finalização da minha dissertação de mestrado gostaria de imortalizar, nas linhas seguintes, todos aqueles que, especialmente ao longo dos últimos anos, caminharam comigo ao longo desta jornada.

Em primeiro lugar o meu humilde e sincero agradecimento ao Professor Doutor Pedro Nogueira, pela orientação científica da presente dissertação, em particular pela paciência e dedicação demonstrada para comigo. Muito me marcou a oportunidade concedida no início do meu percurso académico, para o desenvolvimento de trabalhos de investigação extracurriculares, os quais me conduziram, de certa forma, até à presente dissertação. Tem para além do meu agradecimento, a minha eterna amizade e admiração.

Aos bolsiros da Equipa ZOM-3D, Diogo Ramalho, João Matos, José Roseiro, Rui Oliveira, Miguel Maia, Noel Moreira, Paula Afonso e Pedro Mendes o meu muito obrigado pela vossa amizade. Fomos a definição de equipa, com um verdadeiro espírito de entreajuda e companheirismo nas mais diversas tarefas de amostragem, trabalhos de campo, trabalhos laboratoriais e escrita de artigos. Fica o desafio de, no futuro, reunirmos a equipa para recordar, entre outras, as participações nos congressos, as saídas de campo, o acampamento de Mociços, e as longas horas no laboratório 024 e na fase 3.

Ao coorientador, Professor João Xavier Matos, agradeço todas as sugestões e correções efetuadas, tanto a esta dissertação como aos artigos publicados durante o seu desenvolvimento. Saliento, ainda, a sua crucial colaboração e da sua equipa nas saídas de campo, bem como na cedência de documentos históricos do arquivo do LNEG, entre os quais incluem-se os mapas de Mociços gentilmente organizados pelo Pedro Gonçalves. Aproveito, também, para agradecer a esta instituição o acesso à sondagem SD.M4, a qual constitui a base do estudo petrográfico, e sem a qual não seria possível a determinação da génese da mineralização cuprífera de Mociços.

Ao Professor Doutor António Araújo e ao Professor Doutor Jorge Pedro, o meu reconhecimento e gratidão pela colaboração nas saídas de campo, pela cedência de bibliografia e pelas dúvidas esclarecidas.

Ao Laboratório Hércules da Universidade de Évora, na pessoa do Professor Doutor José Mirão, agradeço a possibilidade de efetuar diversas análises no SEM-EDS, que em muito enriqueceram cientificamente a presente dissertação.

Uma palavra de agradecimento à Sandra Velez, técnica do Laboratório do Departamento de Geociências, com quem aprendi primeiramente a produzir lâminas delgadas e que, após vários anos de outras colaborações, culminou com a responsabilidade do aperfeiçoamento do processo de produção de lâminas delgadas do Laboratório de Mineralogia do Departamento de Geociências da Universidade de Évora, através da aplicação da *Logitech PM5*, sob orientação do Professor Doutor Pedro Nogueira. Da experiência adquirida resultou a produção exímia das lâminas delgadas utilizadas

na presente dissertação. Uma palavra adicional de agradecimento à Paula Afonso, pela partilha de todo o seu conhecimento e experiência na produção de superfícies polidas necessárias para o estudo metalográfico.

Uma palavra de carinho e saudade aos meus eternos amigos de licenciatura, Ana Miguel Pinto, Rita Furtado e Rui Batista, que apesar da vida ter seguido o seu rumo possamos recordar de coração cheio o nosso percurso académico. Aos meus companheiros do Grupo Académico Seistetos, com quem partilhei o gosto pela música e os palcos por esse Portugal fora, um grande abraço a todos. Apesar de ter sido de forma indireta, todos vós tiveram um papel nesta jornada e, por isso, estou-vos grato.

Ao Doutor Engenheiro João Baptista, o meu muito obrigado pelo constante incentivo à escrita e finalização da dissertação, após iniciar a minha carreira profissional na ilha da Madeira em 2018, e pela cedência do escritório no Infante para escrita da minha dissertação, onde elaborei 2/3 de todo o conteúdo da mesma.

Termino, dedicando estas linhas com amor aos meus pais, Margarida Pita e Avelino Vicente, a quem devo o dom da vida e tudo aquilo que a sua educação me concedeu. Que esta dissertação seja também vossa.

Obrigado a todos por fazerem parte do meu caminho!

Ribeira Brava, 21 de junho de 2020

Sandro Vicente

ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

ACB: *Arronches-Cordoba Belt*

CIB: Complexo Ígneo de Barrancos

CM: Caminho municipal

COBA: Complexo Ofiolítico de Beja-Acebuchos

CVSCE: Complexo Vulcano-Sedimentar-Carbonatado de Estremoz

EAB: *Évora-Aracena Belt*

ER: Estrada regional

EM: Estrada municipal

eq. w: *Equivalent weight*

FRX-P: Fluorescência de Raio-X Portátil

g: Gramas

IDW: *Inverse Distance Weighting*

IE: Índice de Enriquecimento

IF: Inclusões fluidas

Kg: Quilogramas

LNEG: Laboratório Nacional de Energia e Geologia

min: Minutos

NA: *Not available*

NEB: *North Eastern Belt*

OMB: *Olivença-Monesterio Belt*

ppm: Partes por milhão

r: Coeficiente de correlação de *Pearson*

R: *The R Project for Statistical Computing*

RPM: Rotações por minuto

R²: Coeficiente de determinação

SCB: *South-Central Belt*

SEM-EDS: Microscopia Eletrónica de Varrimento com Espectrometria Dispersiva de Energia

SFM: Serviço de Fomento Mineiro

wt %: weight percent

ZCI: Zona Centro-Ibérica

ZOM: Zona de Ossa-Morena

ZOM-3D: Modelos metalogénicos 3D da zona de Ossa Morena: valorização dos recursos minerais do Alentejo

ZSP: Zona Sul-Portuguesa

ab: Albite

apy: Arsenopirite

cpy: Calcopirite

dol: Dolomite

gdt: Gersdorffite

mlc: Malaquite

ox de Fe: Óxidos de Ferro

ox de Cu: Óxidos de Cobre

ox de Mn: Óxidos de Mn

py I: Pirite do episódio I

py II: Pirite do episódio IIb

py III: Pirite do episódio III

qz: Quartzo

qz I: Quartzo do episódio I

qz IIa: Quartzo do subepisódio IIa

qz IIb: Quartzo do subepisódio IIb

qz III: Quartzo do episódio III

qz IV: Quartzo do episódio IV

sd: Siderite

tnt: Tenantite

ttr: Tetraedrite

RESUMO

Palavras-chave: Zona de Ossa-Morena, Estruturas Filonianas de Cobre, Mineralogia, Geoquímica, Recursos Minerais

A antiga mina de Mociços, explorada na primeira metade do século XX, localiza-se na Zona de Ossa-Morena, no setor tectonoestratigráfico de Estremoz-Barrancos e na faixa metalogénica de Sousel-Barrancos. A estrutura filoniana mineralizada apresenta uma possança máxima de 5 m e uma extensão de 1 km, aproximadamente, sendo definida por uma direção N15°W, 80E. O também designado filão da Granja está inserido numa estrutura em sinclinal e tem como encaixante não só a Formação de Xistos com Nódulos (Silúrico), como também a Formação de Colorada (topo do Ordovícico). Esta intrusão filoniana é considerada como tardi-varisca considerando as características de ocorrência em regime frágil.

A geoquímica de solos efetuada permitiu calcular o fundo geoquímico regional de Mociços, o qual é definido por 20 ppm para o Cu e por 10 ppm para o Zn. Relativamente ao fundo geoquímico local, verificou-se para o Cu e Zn um valor de 148 ppm e 36 ppm, respetivamente. Face os valores médios globais em solos, o resultado obtido para o Cu é seis vezes superior ao valor médio global no caso do fundo local, verificando-se um défice em ambos os casos para Zn.

A interpolação através da Ponderação pelo Inverso da Distância, permitiu a obtenção de mapas de isotores de Cu e Zn em solos. No mapa de Cu de carácter regional foi possível identificar tores compreendidos entre 89 ppm e 10 000 ppm, localizados na área envolvente à estrutura filoniana de Mociços, assim como uma aparente correlação entre a distribuição espacial da Formação dos Xistos com Nódulos e a posição espacial de concentrações de Cu anómalas, de direção NW-SE.

O estudo petrográfico teve por base a sondagem SD.M4, constituída por amostras de psamitos micáceos, correspondentes à Formação de Colorada; e liditos e xistos negros, correlacionáveis com a Formação dos Xistos com Nódulos. Adicionalmente, nos níveis a muro do veio de quartzo principal, verificou-se a ocorrência de um litótipo correspondente a uma fácies recristalizada dos psamíticos micáceos.

A análise petrográfica permitiu a identificação de 4 episódios de circulação de fluidos e a constatação de que a mineralização cuprífera de Mociços, inserida no episódio III, é definida por $sd \pm cpy \pm py \text{ III} \pm tnt-ttr$. Nas litologias encaixantes identificam-se processos de alteração hidrotermal, predominando a silicificação e a carbonatação. Relativamente às estruturas filonianas de quartzo, estas apresentam cloritização e albitização, as quais privilegiam, de certa forma, a origem magmática apresentada por Maia *et al.* (2019b). Por outro lado, confirma-se o carácter multifásico da mineralização proposto por Mateus *et al.* (2013), bem como a existência de uma fase de idade tardi-varisca responsável pela mineralização cuprífera.

ABSTRACT

Keywords: Ossa-Morena Zone, Vein-Type Copper Deposit, Mineralogy, Geochemistry, Mineral Resources

The Mociços mine, exploited in the first half of the last century, is located in the Ossa-Morena Zone, more specifically in the tectonostratigraphic sector of Estremoz-Barrancos and Sousel-Barrancos metallogenic belt. This vein-type copper deposit is defined by an orientation of N15°W, 80E and features 5 m maximum width, as well as a 1-kilometer extension, approximately. Furthermore, the designated Granja vein is placed in a syncline and has two surrounding formations, Xistos com Nódulos Formation (Silurian) and Colorada Formation (upper Ordovician). In addition, this vein is considered as Late Variscan taking into account the brittle deformation characteristics.

The soil geochemical survey allowed the measurement of regional background, which is defined by 20 ppm for Cu and 10 ppm for Zn. In addition, the local background values obtained for Cu and Zn where, respectively, 148 ppm and 36 ppm. A comparison with the mean value for global soil concentration shows that not only the Cu value in Mociços is six times higher than the normal in a local scale, but also the Zn value shows a deficit in both regional and local scale.

The application of Inverse Distance Weighting enables the creation of Cu and Zn geochemical maps for the study area. Above all, on the Cu regional map it was possible to identify soil concentrations between 89 ppm and 10 000 ppm, specifically in the area around the main vein. In addition, a correlation between the Xistos com Nódulos formation and the Cu anomalous values was noticeable, with a NW-SE direction.

The petrography study focused on the SD.M4 drilling, which intersected micaceous psammities, equivalent to Colorada Formation; and lydites and black shales, correlated with Xistos com Nódulos Formation. Furthermore, in the underlying levels of the quartz vein a lithotype was identified that corresponds to recrystallized facies of the micaceous psammities.

The petrography analysis allowed the identification of 4 fluid circulation stages. Therefore, the copper mineralization from Mociços is placed in the 3rd stage and is defined by $sd \pm cpy \pm py$ $III \pm tnt-ttr$. Moreover, on the surrounding lithologies occur processes of hydrothermal alteration, mainly silicification and carbonation. In the case of the quartz veins, they present chloritization and albitization which, in a certain way, support the magmatic origin presented by Maia *et al.* (2019b). On the other hand, this study confirms a multiphase mineralization as mentioned by Mateus *et al.* (2013), as well as the existence of a Late Variscan stage responsible for the copper mineralization.

Capítulo 1

Introdução

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A região do Alentejo apresenta dezenas de explorações históricas de minerais metálicos que carecem de um estudo científico aprofundado, nomeadamente na petrografia das estruturas mineralizadas, dos minerais metálicos e das rochas encaixantes. É neste âmbito que surge o caso de estudo da antiga mina de Mociços, inserido no Mestrado em Engenharia Geológica do Departamento de Geociências da Universidade de Évora, e financiado pela União Europeia através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional, enquadrado no Programa ALENTEJO 2020 através do projeto "Modelos metalogénicos 3D da Zona de Ossa-Morena: valorização dos recursos minerais do Alentejo", com a referência ALT20-03-0145-FEDER-000028, desenvolvido entre a Universidade de Évora, o LNEG e o CCV de Estremoz.

1.1 Localização

A mina de Mociços (figura 1.1) situa-se a 7 km a leste da aldeia do Rosário, e a 15 km a sudeste da vila de Alandroal. Localiza-se na antiga freguesia de Alandroal que, após a reorganização administrativa do território realizada em 2013, foi agregada às freguesias da Juromenha e de São Brás dos Matos, adquirindo a denominação de União das Freguesias de Alandroal (Nossa Senhora da Conceição), São Brás dos Matos (mina do Bugalho) e Juromenha (Nossa Senhora do Loreto). Este território administrativo pertence ao concelho de Alandroal e ao distrito de Évora.



Figura 1.1 - Sítio da Cova do Monge, onde ocorreu exploração a céu aberto do filão mineralizado, com deposição de material no flanco leste da encosta. Em segundo plano, albufeira da barragem do Alqueva no rio Guadiana.

A partir da vila do Alandroal, o acesso até à mina efetua-se pela estrada regional ER 373 (sentido Alandroal-Elvas), prosseguindo-se até a aldeia do Rosário pelo caminho municipal (CM) 1109, que liga a ER 373 à estrada municipal EM 511 (figura 1.2). O percurso final efetua-se pelo CM

1109-1 e, seguidamente, pelo CM 1163 em direção ao rio Guadiana, sendo os últimos metros até a área mineira percorridos através de caminhos florestais.

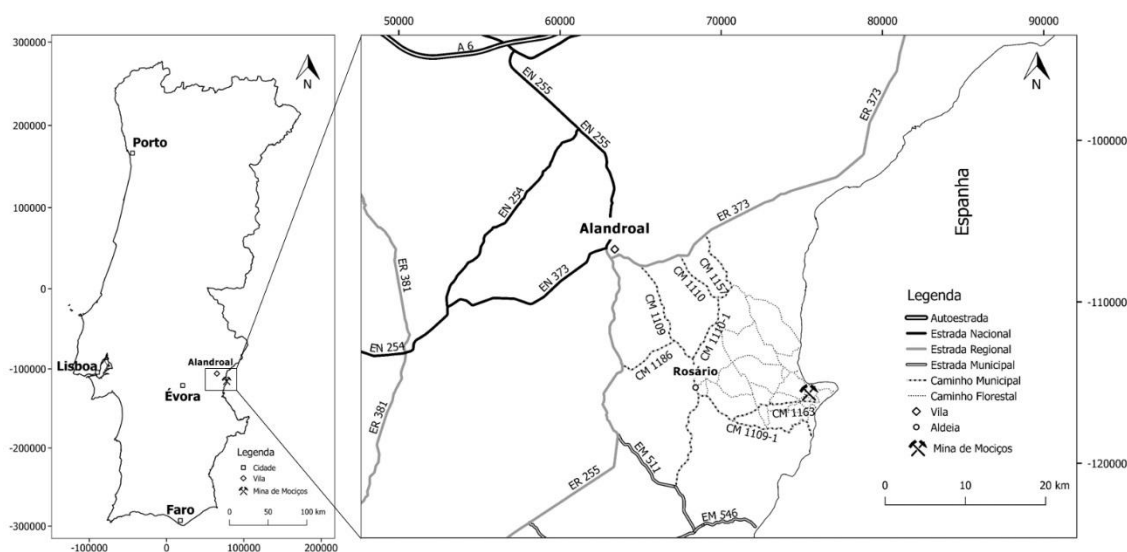


Figura 1.2 - Localização geográfica da mina de Mociços e respetiva rede viária simplificada (Sistema de Coordenadas PT-TM06/ETRS89).

1.2 Notas históricas

O primeiro relatório de reconhecimento da mina de Mociços foi efetuado pelo Engenheiro Inspetor do 4º distrito, José Augusto César das Neves Cabral, a 7 de fevereiro de 1868. Pertencia à Repartição de Minas, Geologia e Máquinas a Vapor, da Direção Geral de Obras Públicas e Minas, do Ministério das Obras Públicas, Comércio e Indústria, separado do Ministério do Reino no decreto-lei publicado a 30 de agosto 1852 (Mesquita, 2009). O interesse na pesquisa e exploração mineira nesta época é, segundo Rocha (1997), o produto da corrente fontista¹, a qual marcou a divisão do século XIX. O aumento de caminhos de ferro, bem como a execução de diversas obras públicas, resultou num aumento de empresas mineiras. Adicionalmente, foram favorecidas tanto pela conjuntura internacional como pelo contexto legislativo, o qual incentivava as exportações.

O minério explorado no Alentejo por empresas Inglesas, Espanholas e Francesas (tabela 1.1), era exportado em bruto, dado que, em Portugal, não existiam metalúrgicas ou outras indústrias para o consumo deste recurso (Guimarães, 2001). A pirite era o principal minério explorado, tendo por objetivo a produção de ácido sulfúrico para aplicação nas indústrias químicas. No entanto, o cobre surge muitas vezes associado à pirite como mineral secundário, sendo apenas explorado individualmente em casos particulares.

¹ Período da segunda metade do século XIX, em que por ação de Fontes Pereira de Melo nos diversos governos em que participava, foi lançado um vasto programa de obras públicas, tendo em vista a instalação dos caminhos de ferro e a modernização da rede rodoviária (Silva & Matos, 2000).

Tabela 1.1 - Minas de pirite e calcopirite em exploração entre 1852 e 1888, localizadas na Zona Ossa-Morena (ZOM) e na Faixa Piritosa, com indicação da respetiva origem de capitais (adaptado de Guimarães, 2001).

Grupo de Minas/ Mina	Concelho	Minério	Empresa	Capitais
Bugalho ^{ZOM}	Alandroal	Pirite/Calcopirite	Indefinido	Portugueses
Brancanes	Almodôvar	Calcopirite	Conde da Vidigueira/ The Brancannes Copper Mining Co.	Portugueses e Ingleses
Herdade da Juliana (Cova Redonda)	Beja	Pirites/Calcopirites	D. Isidro Guerreiro	Espanhóis
Minancos e outras ^{ZOM}	Beja	Calcopirite	Alexander Hill (subarrendado)	Ingleses
São Domingos	Mértola	Pirite e Calcopirite	La Sabina/ Mason e Barry (subarrendado)	Franceses e Ingleses
São João do Deserto e Algarves	Aljustrel	Pirite e Calcopirite	Companhia de Mineração Transtagana	Portugueses
Serra da Caveira	Grândola	Pirite e Calcopirite	Companhia da Mina da Caveira	Franceses
Sobral e Alpedreira ^{ZOM}	Portel	Pirite e Calcopirite	Companhia de Mineração Transtagana	Portugueses

Neste primeiro reconhecimento efetuado pelo Engenheiro Neves Cabral, a mina de Mociços designava-se tanto por “Mina de Cobre da Cova do Monge” como por “Mina da Granja”. As diferentes designações resultam da toponímia identificada na herdade da Granja, na área envolvente à estrutura mineralizada. Destacam-se como referências por Cabral (1869), o monte da Granja (A), o sítio da Defesa da Granja (B), o sítio da Cova do Monge (C) e o monte dos Massiços (D na figura 1.3).

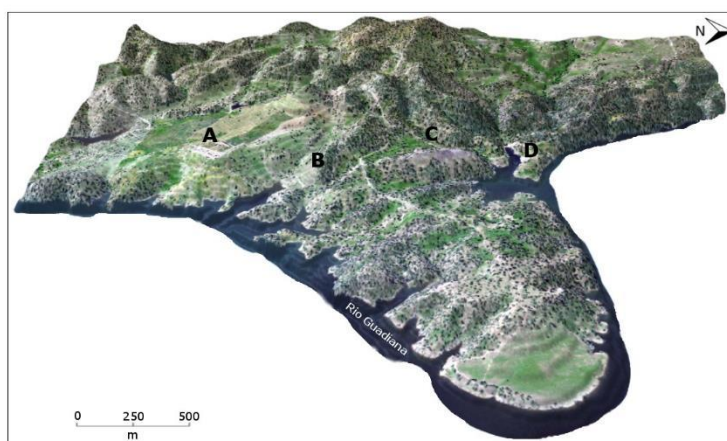


Figura 1.3 - Modelo 3D da área envolvente à mina de Mociços, com a localização do monte da Granja (A), sítio da Defesa da Granja (B), sítio da Cova do Monge (C) e monte dos Massiços (D) de acordo com Cabral (1869).

A descrição geológica apresentada por Cabral (1868), refere que o jazigo está inserido na “zona xistosa metamórfica”, tal como os jazigos de Bugalho, Azambujeira e Alandroal. A estrutura filoniana mineralizada constitui o centro da estrutura morfológica designada por Cova do Monge, podendo atingir uma espessura de 3 a 5 m no local mais elevado, diminuindo progressivamente para norte e para sul. De acordo com o mesmo autor, neste local ocorrem massas quartzo-ferruginosas, predominando os óxidos hidratados e os carbonatos de ferro. Na direção sul, após o monte da Granja, indica a presença de hematite e refere que a estrutura não tem continuidade.

O mesmo autor menciona a presença de carbonatos de cobre que atingem levemente hidratos de ferro ou fragmentos de xistos, tanto no sítio da Cova do Monge como no extremo norte da estrutura mineralizada. Outro fato evidenciado pelo Engenheiro José Cabral, são os vestígios de trabalhos anteriores no sítio da Cova do Monge, onde observou marcas da aplicação de explosivos e, na descida para norte, uma galeria de esgoto completamente arruinada. Segundo a sua interpretação, estes trabalhos teriam resultado da exploração de ferro e não da de cobre, uma vez que, a 1600 m na direção oeste, existia um jazigo de ferro carbonatado, manganesífero, designado por “Veio do Vento”. Esta estrutura filoniana apresentava 2000 m de extensão e uma orientação paralela ao filão de Mociços. O mesmo autor conclui que o jazigo de cobre do Monge² é diferente do jazigo do Veio do Vento, pela presença de cobre, permanecendo a necessidade de verificar a tonelagem de minério existente. Por forma a assegurar a viabilidade da exploração seria necessário um valor mínimo de 25 000\$00 réis³. A área de concessão⁴ correspondente totaliza 475 000 m² e era delimitada a partir dos edifícios existentes à época: o monte da Granja e o monte dos Massiços.

Trabalhos realizados posteriormente por Spengler (1873), definiram a ganga da mina da Granja como constituída por quartzo e carbonatos de ferro. Refere que o quartzo contém à superfície uma coloração verde proveniente de carbonatos de cobre e que, nos carbonatos de ferro, ocorrem “*grãos e pequenos veios de pirite cuprífera*”. No entanto, o material mais rico encontra-se “*ocasionalmente em tiras, bolsas e veias irregulares sem ligação umas com as outras*”. Identificou pirite, facilmente dissolvida em água com uma determinada temperatura, a qual após filtração pela ganga é responsável pela dissolução de parte do cobre, um pouco de ferro e quase nenhum dos elementos constituintes da ganga. O mesmo autor sugere um método para exploração, o qual assumimos ter sido aplicado durante o período de funcionamento da exploração. Menciona que após extração o material deveria ser exposto em montes ao ar livre, com uma temperatura elevada, permitindo a sua transformação num composto oxigenado. Posteriormente, deveria ser colocado em tanques de alvenaria onde proceder-se-ia à lixiviação e, seguidamente, a precipitação por meio de sucata de ferro⁵. Para a lixiviação recomendava a utilização da água da mina e, só na última lavagem, a utilização da água da ribeira da Granja. Os resíduos resultantes deveriam permanecer 4 a 6 meses ao ar livre, seguindo-se uma segunda lixiviação. Por forma a maximizar a obtenção de cobre, e após a finalização da galeria, esta deveria ser inundada com água de nascente ou da ribeira da Granja. Para que a água de uma parte das escavações não prejudique os trabalhos nos restantes poços, permaneceria uma massa com 4 m de espessura no meio de cada galeria. Parte da água deveria ser filtrada pelo filão, até à galeria de esgoto, e conduzida até aos tanques através de um canal de madeira. O mesmo recomenda, ainda,

² Designação adotada por Cabral (1868) para designar, de forma abreviada, o jazido de cobre que aflorava no sítio da Cova do Monge.

³ Unidade monetária em circulação a partir da década de 30 do século XV, vigente até 1911 (Valério, 1991).

⁴ Para mais detalhe consultar planta de reconhecimento de Cabral (1869), apresentada no Anexo I, figura I.1.

⁵ Processo que consiste, segundo Panão (2007), na circulação da água de lixiviação do minério, por gravidade, em tanques abertos e inclinados, contendo fragmentos de ferro. A solução em contacto com o ar, provoca um consumo exagerado de ferro, resultando a precipitação do cobre.

que a água seja substituída por água limpa apenas quando a galeria contenha 0,5 g de cobre em 1 L de água, ou no volume total de 300 m³ verifique-se mais de 150 Kg de cobre.

Em 1907 a área da mina é registada por Jacinto Fernandes Palma, o qual sede $\frac{1}{3}$ dos direitos a João José de Sousa Navarro. Este, por sua vez, sede nesse mesmo ano $\frac{2}{3}$ a António Fernandes Palma. Após novas transferências parciais, a António Teixeira e Manuel José da Silva, em 1908 é transferido a totalidade dos direitos para a Empresa Mineira do Rosário, Lda. a qual pede o Diploma de Descobrimento Legal.

Após o reconhecimento da mina por Vilaça (1912), este apresenta um relatório onde descreve que dos trabalhos de pesquisa resultou uma galeria de nível a cortar o filão e que, do ponto de intersecção, abriram-se duas galerias de direção para reconhecimento do jazigo, uma para norte e outra para sul. Fora da área reservada, e a norte da concessão, existia um poço de pesquisa para o qual se dirigia uma galeria de reconhecimento, com origem na margem direita do rio Guadiana. A área de concessão⁶ apresentada utiliza os mesmos pontos geográficos de Cabral (1868), ou seja, o monte da Granja e o monte de Mocissos⁷. Todavia, totalizava uma área inferior, abrangendo 50 hectares.

Em 1915 é conferido o diploma de descoberta à Empresa Mineira do Rosário, Lda. e em 1918 é publicado em portaria os direitos de descoberta.

A 1ª Guerra Mundial (1914-1918) permitiu a exploração de pequenas minas devido ao preço excecional de algumas matérias primas. Porém, com a ausência de metalurgia e indústria nacional, todo o material explorado tinha como objetivo a exportação (Guimarães, 2001). Este ambiente favorável manteve-se após a 1ª Guerra Mundial, até à década de 1920 (Mota, 2009).

Em 1919 é cedido o pedido de concessão em nome da Empresa Mineira do Rosário, Lda. requerida pelo diretor técnico Júlio António Vieira da Silva Pinto. É também neste ano que Júlio Augusto de Oliveira Abade, Condutor de 1ª Classe da Seção de Minas da Direção Geral do Comércio e Indústria, emite dois relatórios de reconhecimento relativos à mina da Granja nº 2 (Abade, 1919a) e à mina da Granja nº 3 (Abade, 1919b). Correspondem à ampliação da mina da Granja, em 18 hectares para norte⁸ e em 28 hectares para sul⁹, respetivamente. Estes pedidos de ampliação provêm da identificação de minério no poço a norte da área de concessão da mina da Granja, durante a continuação dos trabalhos de prospeção iniciados por Vilaça em 1912.

O transporte de material da mina efetuava-se para a estação de caminho de ferro de Vila Viçosa, a 24 km de distância, com um preço de 2\$00 por tonelada (Abade, 1919a). Adicionalmente, os salários rondavam os 60 centavos e a madeira para entivação era importada.

⁶ Para mais detalhe consultar planta de reconhecimento de Abade (1916), figura I.2 do Anexo I.

⁷ Note-se a alteração da toponímia de monte dos Massiços (Cabral, 1868) para monte de Mocissos (Vilaça, 1912).

⁸ Para mais detalhe consultar planta de reconhecimento de Abade (1919c), figura I.3 do Anexo I.

⁹ Para mais detalhe consultar planta de reconhecimento de Abade (1919d), figura I.4 do Anexo I.

No início da década de 1930, aquando da instauração do Estado Novo, a indústria mineira apresentava problemas originados por diversos fatores: a falta de capital; o elevado grau de risco económico do setor; o desconhecimento das possibilidades mineiras do país; a dificuldade de colocação de minérios e concentrados nos mercados externos (devido às cotações dos metais e aos bloqueios estruturais que afetavam o desenvolvimento da indústria extrativa nacional); e à quase inexistência de metalurgia do cobre em Portugal (Mota, 2009; Nunes, 2010). Não surpreende, portanto, que em 1934 a Empresa Mineira do Rosário tenha perdido a concessão por falta de pagamento do imposto mineiro, seguindo-se a emissão da declaração de abandono no ano seguinte. O encerramento da mina da Granja segue-se ao encerramento em 1932 da mina de cobre de Aparis (Brandão & Lopes, 2006), o que retrata as dificuldades generalizadas da indústria mineira nacional.

Após esta fase de decréscimo da atividade mineira, associada à inexistência de uma cartografia geológica a uma escala adequada e ao desconhecimento das reservas minerais existentes, o Estado Novo criou em 1939, pelo Decreto-Lei nº 29/725, o Serviço de Fomento Mineiro (SFM), com o objetivo de proceder ao reconhecimento, prospeção e pesquisa dos recursos minerais de Portugal Continental (Mota, 2009).

No início da década de 1980 o SFM, atual Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), desenvolveu trabalhos de prospeção na antiga freguesia do Rosário. De acordo com as anomalias geoquímicas identificadas procedeu-se a prospeção mecânica em Santo Ildefonso (1981-1982), na antiga mina de Mociços (1982) e, em último lugar, na Serra do Carneiro (1983). Perfazem, no total, um conjunto de oito sondagens (tabela 1.2), três das quais foram efetuadas em Mociços (SD.M4, SD.M5 e SD.M5A). Note-se que, a sondagem SD.M5, corresponde a uma perfuração que foi interrompida, possivelmente, devido a um desvio de trajetória durante a perfuração com uma inclinação de 45°. Adicionado a este fator, os *logs* das sondagens efetuadas com sucesso neste local descrevem uma elevada fracturação e, ainda, uma baixa recuperação de testemunhos. Observe-se que a sondagem SD.M5A foi concluída em julho de 1982, enquanto a SD.M4 foi efetuada posteriormente, a uma cota mais elevada.

Tabela 1.2 - Informações técnicas das sondagens efetuadas na antiga freguesia do Rosário (Alandroal), na década de 1980 pelo SFM (base de dados do LNEG, 2016). Mhg e Phg- Coordenadas M e P no sistema Hayford-Gauss, Mmil e Pmil – coordenadas M e P no sistema do IGEO (militares).

Nome	Local	Mhg	Phg	Mmil	Pmil	Cota	Inc./Dir.	Comp. (m)	Conclusão
SD.M1	Santo Ildefonso	72600	-112850	272600	187150	211,25	90°	280,00	03-08-1981
SD.M2	Santo Ildefonso	72625	-112700	272625	187300	222,5	90°	228,14	13-11-1981
SD.M3	Santo Ildefonso	72650	-112800	272650	187200	-	90°	288,53	25-04-1982
SD.M4	Mociços	75700	-115775	275700	184225	179	45°,S83grW	91,05	10-09-1982
SD.M5	Mociços	75730	-115770	275730	184230	-	-	-	07-07-1982
SD.M5A	Mociços	75730	-115770	275730	184230	166	45°,S83grW	152,85	13-07-1982
SD.M6	Serra do Carneiro	73861	-113052	273861	186948	200	45°,S44grE	276,25	06-01-1983
SD.M7	Serra do Carneiro	74051	-113102	274051	186898	200	45°,S56grW	258,23	16-10-1983

1.3 Enquadramento geológico

1.3.1 Enquadramento geológico da ZOM

1.3.1.1 Paleogeografia e litoestratigrafia

A Zona de Ossa-Morena (ZOM) localiza-se no sudoeste do Maciço Ibérico, contactando a norte com a Zona Centro-Ibérica (ZCI), e a Sul com a Zona Sul-Portuguesa (ZSP) (Julivert *et al.*, 1977). A sua tectonoestratigrafia foi sintetizada por Oliveira *et al.* (1991), à qual seguiram-se outros trabalhos (*e.g.* Araújo, 1995; Piçarra, 2000; Borrego, 2009; Araújo *et al.*, 2013).

Oliveira *et al.* (1991) define para a ZOM (figura 1.4), de norte para sul, os seguintes setores: faixa Blastomilonítica, Alter do Chão-Elvas, Estremoz-Barrancos (com individualização do Anticlinal de Estremoz), Montemor-Ficalho (com a distinção do Sinclinal de Cabrela) e Maciço de Beja (especificando o setor Santa Susana-Odivelas). Estes setores foram definidos por Apalaguetti *et al.* (1990) em Espanha, designados respetivamente como: domínio Valência de las Torres-Cerro Muriano e de Obejo-Valsequillo-Puebla de la Reina, domínio Elvas-Cumbres Mayores, domínio Barrancos-Hinojales, domínio Beja-Aracena e setor dos Maciços Cristalinos do Sul.

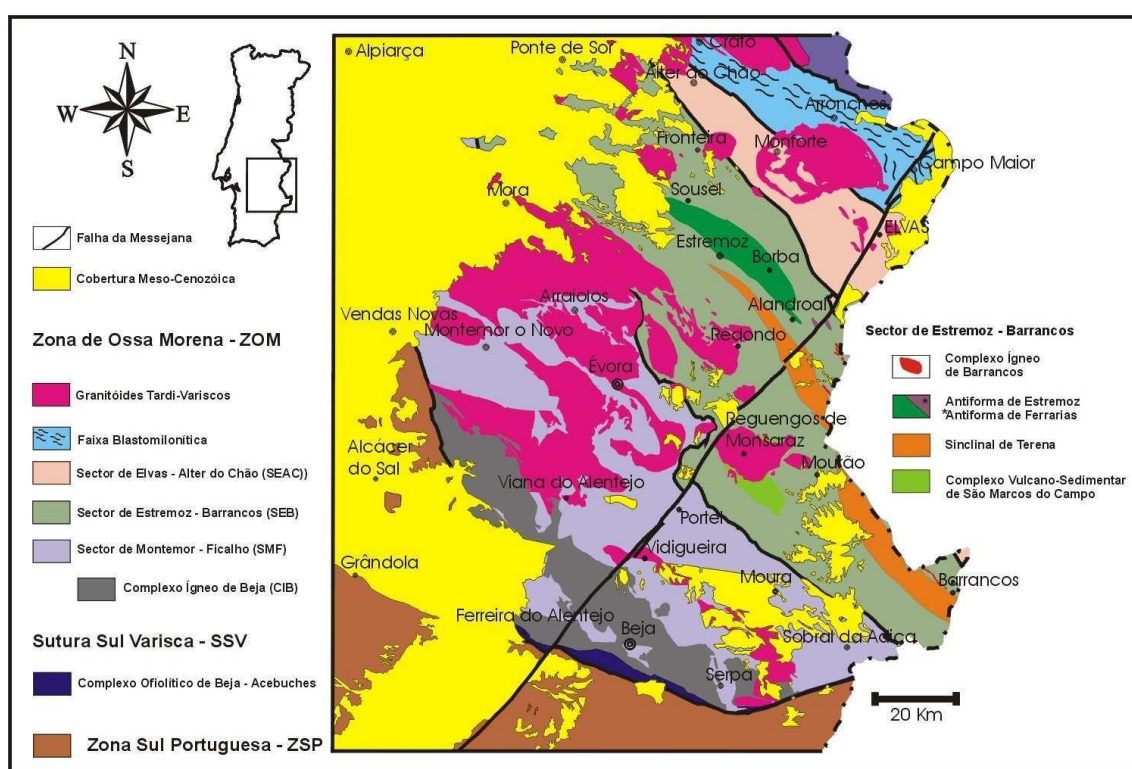


Figura 1.4 - Principais setores da Zona de Ossa-Morena (Araújo *et al.*, 2013).

No setor de Estremoz-Barrancos Araújo *et al.* (2013) individualizam, para além do antiforma de Estremoz, o antiforma de Ferrarias e o Complexo Ígneo de Barrancos. Os mesmos autores, no setor de Montemor-Ficalho, individualizam o subsector de Santa Susana-Cabrela e as estruturas em antiforma de Ficalho-Moura, Portel, Serpa, São Brissos, Alvito-Viana do Alentejo e Escoural.

A síntese da paleogeografia e litoestratigrafia aqui apresentada tem por base os trabalhos de Oliveira *et al.* (1991) e Araújo (2013).

Durante o ciclo Cadomiano as unidades Proterozóicas sofreram deformação e metamorfismo, sendo representadas por litologias de elevado grau metamórfico, como gnaisses, anfibolitos e migmatitos, consideradas do Neoproterozoico. A sua erosão alimentou a sedimentação das unidades que constituem o Câmbrico inferior, depositada de forma discordante sobre a Série Negra do Proterozóico superior.

O Câmbrico inferior apresenta uma situação de *rifting* intracontinental uma vez que, sobre as rochas vulcânicas, depositam-se conglomerados e, de seguida, uma plataforma carbonatada. A distensão da plataforma carbonatada gerou bacias com vulcanismo básico toleítico e, no Câmbrico médio, bacias com vulcanismo básico alcalino. Relativamente à carsificação das séries carbonatadas, características do Câmbrico inferior, esta provém da subida e respetiva emersão destes blocos.

O Ordovícico assenta diretamente sobre o Câmbrico médio, não existindo registo do Câmbrico superior. Este período apresenta uma sedimentação terrígena fina, associada localmente a vulcanismo básico alcalino. Araújo (2013) coloca a possibilidade da ocorrência de vulcanismo bimodal, parcialmente hiperalcalino, o qual favorece a hipótese da existência de um regime distensivo.

O Silúrico é caracterizado por bacias sedimentares euxínicas, sendo inicialmente xistentas, carbonosas e lidíticas, evoluindo para uma natureza mais psamítica, refletindo um ambiente de maior teor em oxigénio.

O registo sedimentar do Devónico inferior retrata condições instáveis de sedimentação, resultantes da alteração da margem passiva para a margem ativa da orogenia Varisca. O *Flysch* de Terena é um exemplo deste período. Já no Devónico médio e superior, instala-se o Complexo Ofiolítico de Beja-Acebuches (COBA) e, na frente dos mantos obductados, o prisma acrecionário designado por Complexo Filonítico de Moura. Ao mesmo tempo, a partir da reativação em regime transpressivo esquerdo da Zona de Cisalhamento Tomar-Portalegre-Badajoz-Córdova, gerou-se a *flower structure* característica da faixa Blastomilonítica.

O atual zonamento da ZOM é definido a partir do Devónico médio a superior, identificado a norte e a sul por um corredor de maior deformação e metamorfismo, e por um corredor pouco deformado e de baixo grau metamórfico na posição central. Entre o Devónico e o Carbónico, o magmatismo orogénico é responsável pela formação do Complexo Ígneo de Beja. A posterior expansão do magmatismo a outras locais da ZOM resulta em diversos maciços, entre os quais destaca-se o Maciço de Évora.

No Carbónico inferior ocorre sedimentação de natureza vulcânica e marinha, de forma discordante sobre o Maciço de Évora e Beja. Já no Carbónico superior depositou-se a Formação de Santa Susana, em regime aluvionar, num fosso intramontanoso.

O ciclo Varisco termina no Pérmico, com a instalação dos últimos batólitos no setor da ZOM e, ainda, com uma fase de deformação em regime frágil, da qual resultaram desligamentos esquerdos

de direção NE-SW, ou pela reativação de cavalgamentos já existentes e com vergência para sul, de direção geral E-W.

1.3.1.2 Tectónica

Araújo *et al.* (2013) definem para a ZOM uma Região Central correspondente, aproximadamente, ao sector de Estremoz-Barrancos e Alter do Chão-Elvas, e uma Região Sul, equivalente ao setor de Montemor-Ficalho, não incluindo nas suas considerações as regiões de mais alto grau que contactam com Maciço de Évora.

A Região Central apresenta metamorfismo de baixo grau com duas fases de deformação dúcteis, na fácies dos xistos verdes, zona da clorite. A primeira fase de deformação possui direção N-S a NE-SW, com vergência para W ou NW, e apresenta maior intensidade a SW. Esta fase de deformação é representada por dobras deitadas, com clivagem de plano axial que transpõe a estratificação. A segunda fase de deformação, frequente em toda a região central, é caracterizada por dobramentos com eixos de direção NW-SE, geralmente mergulhantes para NW. O antiformal de Estremoz, o sinclinal de Terena e o anticlinal de Barrancos são contemporâneas desta fase.

A Região Sul, em comparação com a Região Central, apresenta maior deformação e metamorfismo dado a sua proximidade com o COBA. É igualmente identificada a fácies dos xistos verdes na Região Sul, porém resultante da retrogradação de um episódio metamórfico a que, pontualmente, associa-se fácies anfíbolíticas. Em algumas unidades, a retrogradação sobrepõe-se a um evento de elevada pressão, na fácies dos xistos azuis e eclogítica. Na Região Sul existiu uma primeira fase de deformação, com estruturas diretamente relacionadas com processos de obducção, assim como uma segunda e terceira fase, correlacionáveis com a primeira e a segunda fase de deformação presentes na Região Central. A primeira fase é observada em estruturas de natureza ofiolítica, imbricadas num prisma acrecionário designado por Complexo Filonítico de Moura. A segunda fase é semelhante à primeira fase da Região Central. No entanto, possui uma deformação mais intensa e de maior duração. É subdividida por Araújo (1995) em duas subfases: uma subfase inicial, designada por 2a, com cinemática oblíqua entre dobras de direção próxima N-S e com lineação de estiramento entre NW-SE a NNW-SSE, e uma subfase tardia, denominada 2b, com sentido de transporte para W. A terceira fase é descrita como resultante de deformação pós metamórfica, semelhante à segunda fase de deformação da Região Central, mas de intensidade fraca e com vergência para SW. Nesta fase observam-se dobras de direção NW-SE, assim como estruturas de deformação em regime frágil, com direção E-W, como é o caso da falha da Vidigueira-Moura e do cavalgamento de Ferreira-Ficalho.

A transição entre a ZOM e a ZCI ocorre, na região do nordeste alentejano, através da faixa blastomilonítica. Esta apresenta uma deformação dúctil e um metamorfismo varisco com intensidades e padrões heterogéneos (Pereira *et al.*, 2013).

A informação existente sobre o regime frágil no contexto tectónico do tardi-Varisco na ZOM é escassa. Todavia, Moreira *et al.* (2014) no SW ibérico, descrevem uma fase de idade Pérmica que consideram como TM₄. É definida por um regime de deformação intraplaca que se altera do tipo cavalgamento para um regime transcorrente, resultando em desligamentos esquerdos de orientação NNE-SSW a NE-SW.

1.3.2 Enquadramento geológico do setor Estremoz-Barrancos

O setor de Estremoz-Barrancos, onde se localiza a mina de Mociços, contacta a norte com o setor de Alter do Chão-Elvas, através de uma discordância considerada como Câmbrico-Silúrico por Araújo *et al.* (2013). Esta discordância é considerada como correspondente ao Carreamento da Juromenha (Araújo, 1995), todavia a natureza deste contacto permanece um tema em debate. A sul, o setor de Estremoz-Barrancos contacta com o setor de Montemor-Ficalho, através do Carreamento de Santo Aleixo da Restauração (*ibidem*).

A sequência geral deste setor observa-se, de forma mais completa, no sinclinal de Terena (Oliveira *et al.*, 1991; Araújo *et al.*, 2013), descrita nos parágrafos que se seguem. Esta sequência é apresentada esquematicamente na figura 1.5 e em mapa na figura 1.6.

A Formação de Ossa corresponde à unidade de base deste setor, sendo definida como de idade Câmbrico médio-superior (Oliveira *et al.*, 1991; Piçarra, 2000; Borrego, 2009). No entanto não existem dados geocronológicos que permitam a sua datação com rigor. É constituída por uma série xisto-psamítica de cor verde e com componente micácea que, para noroeste e para o topo, tende para uma natureza grauvacóide (Oliveira *et al.*, 1991; Araújo *et al.*, 2013).

Nos níveis inferiores da Formação de Ossa ocorrem vulcanitos básicos, individualizados por Borrego (2009) como Formação de Metabasitos de Santo Aleixo. Nos níveis superiores predominam níveis siltitos e níveis pelíticos micáceos de tonalidade roxa. O mesmo autor, nas imediações do rio Guadiana, define duas unidades litoestratigráficas: uma unidade inferior, designada por Membro Psamítico, e uma unidade superior, denominada por Membro Pelítico.

A Formação de Barrancos sucede estratigraficamente à Formação de Ossa. A passagem faz-se de forma gradual, sendo constituída por xistos cinzento-escuros, esverdeados e, mais raramente, roxos (Oliveira *et al.*, 1991). Para o topo desta formação predominam psamitos esverdeados ricos em icnofósseis (Araújo *et al.*, 2013). Na sua base ocorrem vulcanitos básicos, por vezes ácidos, associados a xistos borra de vinho, os quais são designados por Oliveira *et al.* (1991) como Complexo Vulcânico de São Marcos do Campo. De acordo com os mesmos autores, no topo desta sequência e de forma intercalada, ocorrem tufos ácidos e tufitos. Esta formação é considerada como Câmbrico superior-Ordovícico inferior (Oliveira *et al.*, 1991; Piçarra, 2000; Rocha, 2011; Araújo *et al.*, 2013)

A abundância em icnofósseis, primeiramente identificada por Nery Delgado, levou à individualização da Formação dos Xistos com *Phyllodocites*, correspondendo a uma alternância de xistos e psamitos esverdeados, por vezes arroxeados, em que para o topo predomina a fração arenosa (Araújo *et al.*, 2013).

Segue-se estratigraficamente a Formação de Colorada, considerada como topo do Ordovícico a base do Silúrico (Oliveira *et al.*, 1991; Piçarra, 2000; Araújo *et al.*, 2013). A transição para esta unidade ocorre sem descontinuidades e gradualmente. É constituída por uma alternância de xistos, quartzitos, e arenitos impuros micáceos, localmente grauvacóides (Oliveira *et al.*, 1991; Araújo *et al.*, 2013). Entre as características destacam-se dobras sinsedimentares, pseudonódulos, *slumps* e prováveis estruturas monticuladas *hummocky*. A existência de icnofósseis maioritariamente inclassificáveis, na região de Estremoz, permitiu a Piçarra (2000) a diferenciação da Formação de Vale da Ursa.

A Formação dos Xistos com Nódulos sucede a Formação de Colorada. A transição entre esta formação e a subjacente é gradual, identificada a partir de psamitos finos da Formação de Colorada que adquirem, progressivamente, tonalidades rosadas, intercalados com pequenos níveis lidíticos atribuídos à Formação dos Xistos com Nódulos (Piçarra, 2000). Esta formação é constituída por liditos e xistos negros, sendo que predominam na base os liditos e, no topo, os xistos negros carbonosos (Araújo *et al.*, 2013). Esta formação pode adquirir, para além das tonalidades rosadas já referidas, tonalidades avermelhadas e, ainda, tonalidades brancas resultantes da alteração dos xistos negros carbonosos (Borrego, 2009; Araújo *et al.*, 2013). Nesta formação identifica-se, pontualmente, nódulos de natureza siliciosa e, no topo da unidade, carbonatos lenticulares (Oliveira *et al.*, 1991; Araújo *et al.*, 2013). A Formação de Mociços, a Formação da Charneca e a Formação das Hortinhas, apresentam semelhanças com a Formação dos Xistos com Nódulos (Araújo *et al.*, 2013). Piçarra (2000), através do estudo de graptólitos, indica que esta formação abrange uma sequência contínua de quase todo o Silúrico.

A transição da formação anterior para a Formação dos Xistos Raiados faz-se, não só através de uma passagem gradual entre xistos negros da Formação dos Xistos com Nódulos, mas também da alternância de xistos e psamitos cinzento escuros da Formação dos Xistos Raiados. A formação em si é caracterizada pela alternância de xistos e psamitos laminados que, por vezes, apresentam níveis de quartzitos finos com uma característica própria: *riples* de corrente (Oliveira *et al.*, 1991; Araújo *et al.*, 2013). Segundo Borrego (2009), na base desta formação ocorrem litologias quartzíticas de geometria lenticular, intercaladas com níveis de metapelitos e metasiltitos de tons negros. Considera-se como característica singular desta formação o mineral cloritóide, próprio de zonas de baixo metamorfismo (Oliveira *et al.*, 1991). Esta formação corresponde ao Silúrico superior-Devónico inferior (Oliveira *et al.*, 1991; Piçarra, 2000). A Formação do Monte das Russianas, litologicamente semelhante à Formação dos Xistos Raiados, é constituída por uma sucessão de pelitos cinzentos escuros e siltitos, com calcarenitos finos intercalados e característicos desta formação (Oliveira *et al.*,

1991; Araújo *et al.*, 2013). A nível estratigráfico, os xistos com intercalações de calcarenitos sucedem os liditos da Formação dos Xistos Raiados, sendo assim considerados por Oliveira *et al.* (1991) como equivalente laterais, entre a Formação de Russianas e Formação dos Xistos Raiados. Em 2002, o estudo de esporos desenvolvidos por *Le Menn* indicaram como idade o Devónico inferior.

Em discordância com a formação subjacente ocorre a Formação de Terena. Araújo *et al.* (2013) defendem que, ao mesmo tempo que ocorria a sedimentação mais fina da Formação dos Xistos Raiados e da Formação do Monte das Russianas, iniciava-se a deposição da Formação de Terena de natureza turbidítica, constituída por uma alternância de xistos e grauvaques, por vezes com níveis de conglomerados intercalados. Oliveira *et al.* (1991) referem que esta formação apresenta calhaus de calcários nos níveis conglomeráticos, resultantes da erosão da Formação do Monte das Russianas. Esta observação foi complementada por Araújo *et al.* (2013), que mencionam a inclusão de olistolitos de unidades Silúrico-Devónicas, com predominância de naturezas lidíticas da Formação dos Xistos com Nódulos. A sua idade é tida como correspondente ao Devónico superior-Carbónico inferior (Oliveira *et al.*, 1991; Piçarra, 2000).

De acordo com Piçarra (2000), a Formação dos Xistos Raiados, Formação do Monte das Russianas e a Formação de Terena estariam englobadas na mesma bacia sedimentar. Todavia, enquanto as duas primeiras formações pertenciam a uma plataforma carbonato-siliciclástica, a última teria uma sedimentação turbidítica e estaria localizada mais a oeste. Considerando a existência de fácies sedimentares turbidíticas típicas, e fácies sedimentares sem qualquer afinidade com sedimentação turbidítica, Borrego (2009) subdividiu esta formação num membro turbidítico e num membro transicional, equivalentes, mas em flancos opostos do sinclinal de Terena. O membro transicional é, por sua vez, subdividido numa unidade pelítica e numa unidade psamítica.

Borrego (2009) refere neste setor a existência de três unidades com litologias intrusivas: o Complexo Ígneo de Barrancos, o Complexo Filoniano das Altas Moras e o Complexo Intrusivo das Falcoeiras. Segundo o mesmo autor, estas unidades intruem as unidades descritas anteriormente, num ponto temporal em que já se encontravam afetada pela primeira fase de deformação Varisca (D1). No caso do Complexo Filoniano das Altas Moras e do Complexo Intrusivo das Falcoeiras, surgem litologias posteriormente afetadas pela segunda fase de deformação Varisca (D2). A idade do Complexo ígneo de Barrancos continua por esclarecer, no entanto, é aceite que a sua instalação terá sido posterior à D2.

O Complexo Ígneo de Barrancos (CIB) foi atribuído ao Carbónico superior por Oliveira *et al.* (1991), em associação a um contexto tectónico distensivo tardi-varisco. Associadas às rochas eruptivas deste complexo surgem litologias carbonatadas, correlacionadas por Piçarra (2000) com os mármorees do Complexo Vulcano-Sedimentar-Carbonatado de Estremoz (CVSCE). Para Borrego (2009), este complexo só se relaciona com o CIB na presença de litologias félsicas com forte alteração hidrotermal, assim como pela substituição e preenchimento de cavidades por carbonatos e óxidos de ferro.

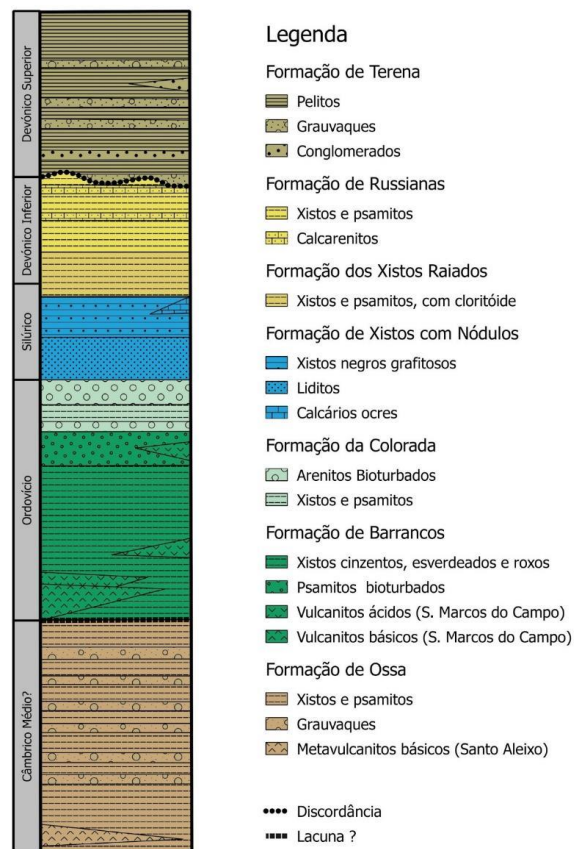


Figura 1.5 - Sequência estratigráfica geral do setor de Estremoz-Barrancos (adaptado de Oliveira *et al.*, 1991). Sem escala vertical.

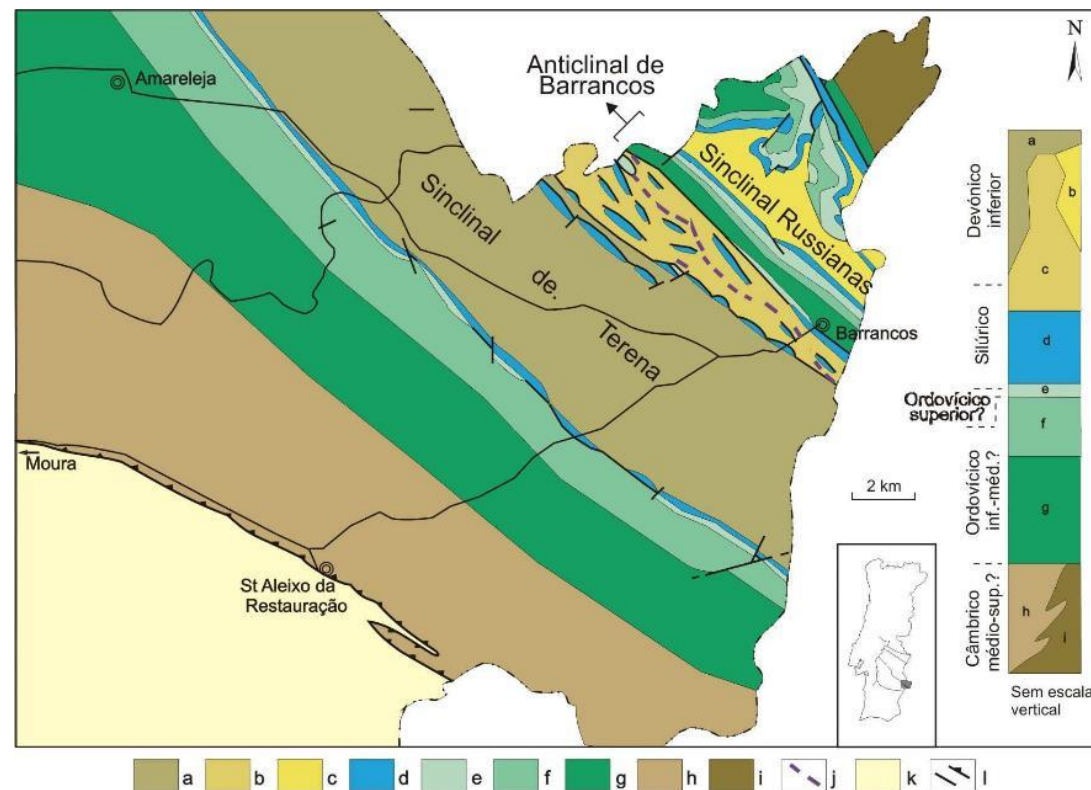


Figura 1.6 - Geologia da área de Barrancos (Araújo *et al.*, 2013). Legenda: a-Formação de Terena; b-Formação dos Xistos Raiados; c-Formação do Monte das Russianas; d-Formação dos Xistos com Nódulos; e-Formação de Colorada; f-Formação dos xistos com *Phyllodocites*; g-Formação de Barrancos; h-Formação de Ossa; i-Formação do Fatuquedo; j-Complexo Ígneo de Barrancos; k-setor de Montemor-Ficalho; l-falha, carreamento de Sto. Aleixo da Restauração.

Considerando a proximidade do anticlinal de Estremoz com a mina de Mociços, e com outras minas de cobre (*e.g.* Miguel Vacas, Bugalho), descreve-se seguidamente a sequência estratigráfica do anticlinal de Estremoz baseada nos trabalhos de Oliveira *et al.* (1991), Piçarra (2000), Borrego (2009) e Araújo *et al.* (2013), mencionados quando considerados pertinente. A respetiva sequência estratigráfica esquemática e mapa são apresentados, respetivamente, na figura 1.7 e 1.8.

O anticlinal de Estremoz é constituído na base pela Formação de Mares e corresponde, segundo Araújo *et al.* (2013), ao Neoproterozóico. Nesta formação afloram xistos negros e grauvaques com intercalações de chertes negros. Em discordância com a Formação de Mares ocorre um Membro Vulcanoclástico (Piçarra, 2000), constituído por conglomerados, arcoses e vulcanitos ácidos, tradicionalmente aceite como uma discordância que delinea o contacto entre o soco Proterozoico e o Câmbrio inferior (Araújo *et al.*, 2013).

Segue-se, de forma discordante, a Formação Dolomítica representada por calcários dolomíticos, com intercalações de níveis siliciosos predominantes para o topo. Borrego (2009) indica a existência na base de uma unidade Vulcanossedimentar Félsica, em discordância com as unidades subjacentes. De acordo com Oliveira *et al.* (1991), o topo desta unidade é definido por um horizonte silicioso com sulfuretos, o qual assinala uma importante lacuna estratigráfica. Tradicionalmente, a Formação Dolomítica é considerada como Câmbrio inferior por correlação com a Formação Carbonatada da região de Elvas, equivalente em Espanha aos Calcários de Alconera amplamente reconhecidos pelo registo fóssilífero rico em trilobites (Piçarra, 2000; Araújo *et al.*, 2013).

Após a lacuna estratigráfica referida anteriormente ocorre o Complexo Vulcano-Sedimentar-Carbonatado de Estremoz (CVSCE). Este é constituído por litologias como mármore e calcoxistos, com intercalações de vulcanitos ácidos e básicos (Oliveira *et al.*, 1991; Araújo *et al.*, 2013). Apesar de Oliveira (1991) indicar este complexo como Ordovícico, a idade desta formação continua por ser esclarecida. O estudo cronoestratigráfico de conodontes, desenvolvidos por Piçarra (2000), limitaram genericamente a idade dos mármore deste complexo como Silúrico (superior?)-Devónico.

Sobre o complexo anterior assentam quartzitos impuros, equivalentes aos da Formação de Colorada (Araújo *et al.*, 2013), correspondentes ao Silúrico inferior (Piçarra, 2000). Após os quartzitos, ocorrem liditos e xistos negros. No entanto, para Oliveira (1991), seguidamente ao CVSCE ocorre um conglomerado poligénico de matriz xistenta, de forma descontínua, com uma posição inicial variável, no entanto diretamente subjacente aos liditos do Silúrico (Oliveira *et al.*, 1991).

Na área envolvente ao antiforma de Estremoz e de Ferrarias ocorre, segundo Borrego (2009), uma sequência pelito-psamítica constituída da base para o topo pelas seguintes formações: Formação de Colorada, Formação dos Xistos com Nódulos e Formação dos Xistos Raiados. Estas formações são representativas do Silúrico-Devónico inferior, considerando os dados obtidos por Piçarra (2000) no estudo bioestratigráfico da região de Barrancos.

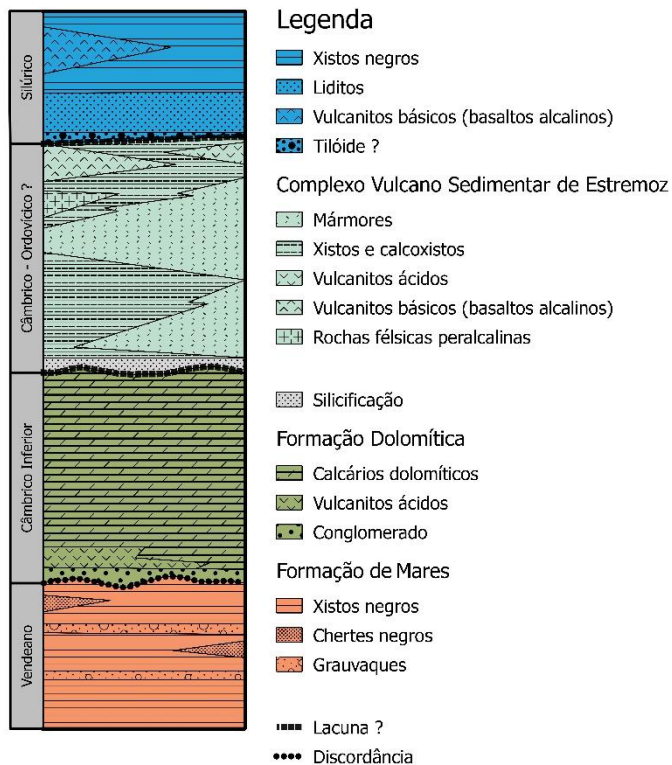


Figura 1.7 - Sequência estratigráfica esquemática do Anticlinal de Estremoz (adaptado de Oliveira *et al*, 1991). Sem escala vertical.

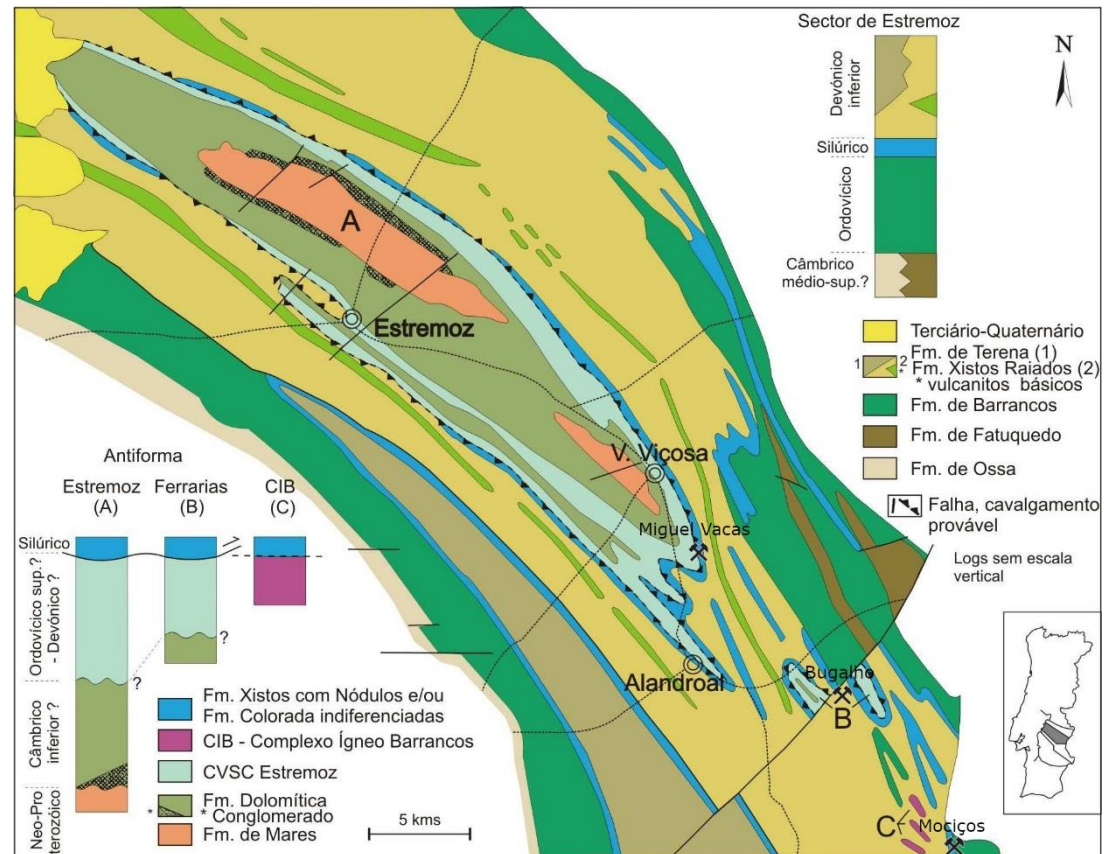


Figura 1.8 - Geologia da área de Estremoz (adaptado de Araújo *et al*, 2013). A- Antiforma de Estremoz; B- Antiforma de Ferrarias; C- Complexo Ígneo de Barrancos.

1.3.3 Enquadramento geológico da mina de Mociços

Nos trabalhos de cartografia desenvolvidos por Leal *et al.* (1980), a estrutura filoniana mineralizada corta: os Grauvaques da Serra Colorada, litologicamente definidos por grauvaques e xistos, por vezes de natureza quartzítica com micas detríticas; os liditos e xistos grafitosos, definidos por Oliveira (1984) como as litologias constituintes da Formação de Mociços; e, por fim, a Formação Xisto-Quartzítica, caracterizada por xistos cinzentos associados a finas lenticulas quartzíticas.

A Formação dos Xistos com Nódulos, de Colorada e dos Xistos Raiados, foram cartografadas na região de Mociços por Borrego (2009). Note-se que, de acordo com Oliveira (1984), a Formação de Mociços e a Formação dos Xistos com Nódulos são equivalentes, sendo ambas constituídas por liditos e xistos grafitosos. Esta cartografia e a efetuada por Leal *et al.* (1980), associada a vários trabalhos de campo desenvolvidos no âmbito do projeto ZOM-3D, permitiram apresentar uma proposta de mapa geológico de detalhe (figura 1.9), no qual se mantêm as cores utilizadas na cartografia 1:5.000 de Leal *et al.* (1980).

A estrutura filoniana mineralizada apresenta, segundo Moreira *et al.* (2017), uma direção de N15°W, 80°E associada a uma cinemática direita. De acordo com os mesmos autores ocorrem, também, estruturas filonianas menores de direção N45°E-N60°E, cogenéticas da mineralização principal, caracterizadas por uma cinemática esquerda.

Os veios, bandas *link* e falhas existentes na área envolvente à mina em estudo apresentam, segundo Moreira *et al.* (2017), características de um regime de deformação frágil contemporâneo da mineralização principal. Os mesmos autores evidenciaram através das relações de corte que a deformação ocorreu após o terceiro episódio tectonometamórfico regional, compatível com fases frágeis tardi-variscas. Esta conclusão reforça a proposta de Mateus *et al.* (2003), a qual indica esta e outras mineralizações cupríferas desta faixa como resultado de atividade hidrotermal tardi-varisca.

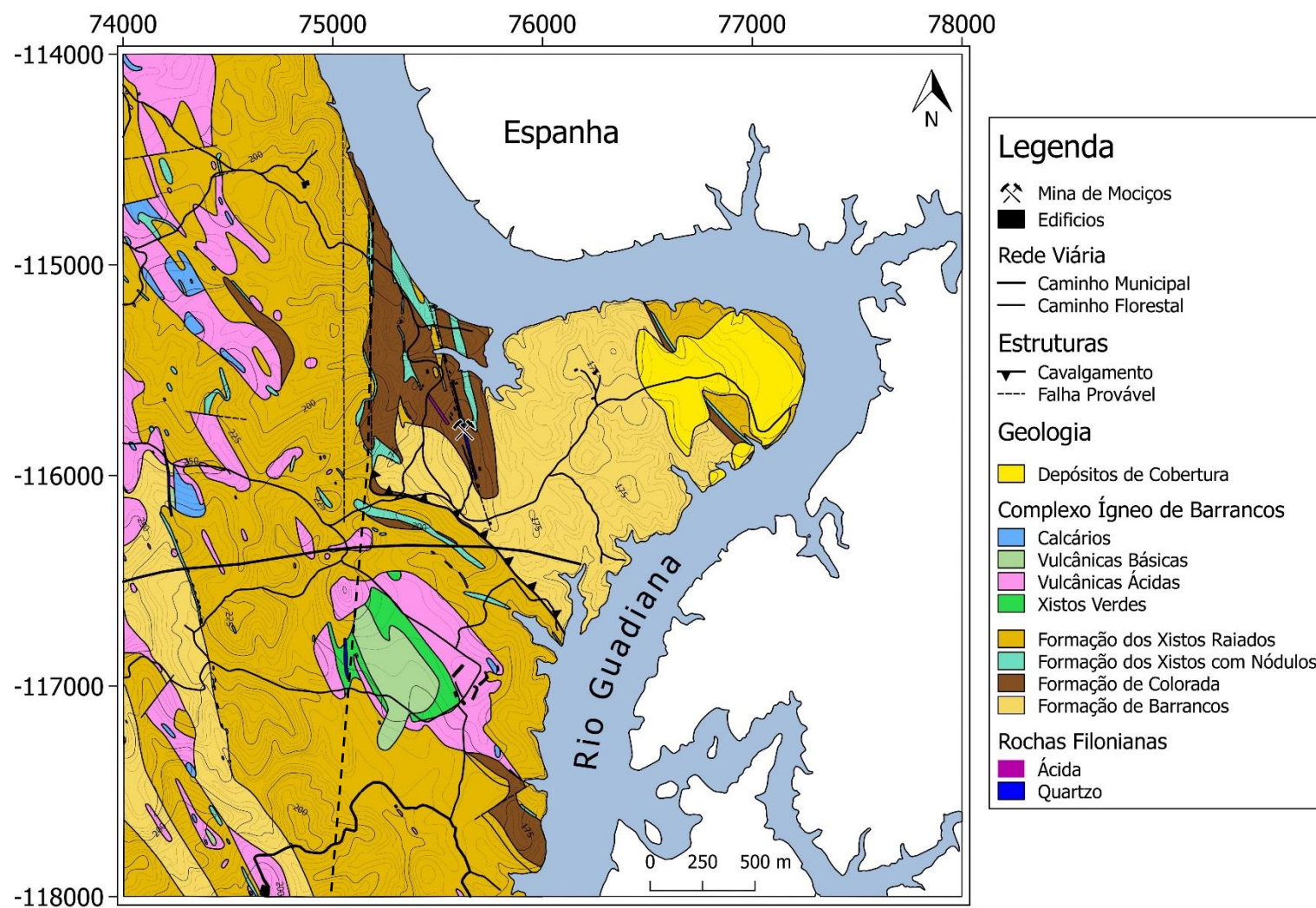


Figura 1.9 - Mapa geológico simplificado da região de Mociços (adaptado de Leal *et al.*, 1980 e Borrego, 2009; Sistema de Coordenadas PT-TM06/ETRS89).

1.4 Enquadramento metalogénico

1.4.1 Classificação por faixas das mineralizações da ZOM

Tornos *et al.* (2004) definiu faixas para a ZOM, tanto em Portugal (figura 1.10) como em Espanha (figura 1.12). Algumas destas possuem particularidades que a limitam apenas a um dos países, enquanto outras são partilhadas por ambos, adquirindo por vezes designações distintas consoante os autores considerados. Mateus *et al.* (2013) definem, para o território português da ZOM, sete faixas com potencial mineiro (figura 1.11), considerando que os sistemas mineralizantes ocorrem em áreas limitadas por uma natureza geográfica e/ou geotectónica. Nos parágrafos seguintes faz-se uma síntese das faixas definidas por estes dois autores e as respetivas correspondências.

No limite NE da ZOM, e apenas em Espanha, Tornos *et al.* (2004) definem a *North Eastern Belt* (NEB). Segue-se para sul a faixa de Arronches-Campo Maior, correspondente em território espanhol à *Arronches-Cordoba Belt* (ACB). Adjacentemente, segue-se a faixa de Alter do Chão-Elvas, correspondente em Espanha à *North-Central Belt*. Limitada apenas ao território espanhol, ocorre uma macroestrutura em antiforma denominada por Tornos *et al.* (2004) como *Olivenza-Monesterio Belt* (OMB).

Tornos *et al.* (2004) estabelecem em território espanhol a *South-Central Belt* (SCB), a qual engloba duas faixas definidas em território português por Mateus *et al.* (2013): a faixa de Sousel-Barrancos e a faixa de Arraiolos-Santo Aleixo. Correspondem à parte norte e à parte sul da SCB, respetivamente.

Em continuidade tem-se a faixa de Montemor-o-Novo-Ficalho, análoga à *Évora-Aracena Belt* (EAB). Apesar da existência de características semelhantes entre os grupos apresentados por Mateus *et al.* (2013) e Tornos *et al.* (2004), nem sempre ocorre a coincidência total entre as mineralizações que os constituem.

Apenas descritas em Portugal, e na margem sul da ZOM, estão referenciadas por Mateus *et al.* (2013) a faixa de São Cristovão-Beja-Serpa e, a sul, a faixa de Ferreira do Alentejo-Mombeja-Beja. Estas são definidas por Tornos *et al.* (2004), como *Cristovão-Beja-Serpa Belt* e *Beja-Acebuches Ophiolite Complex*, respetivamente.

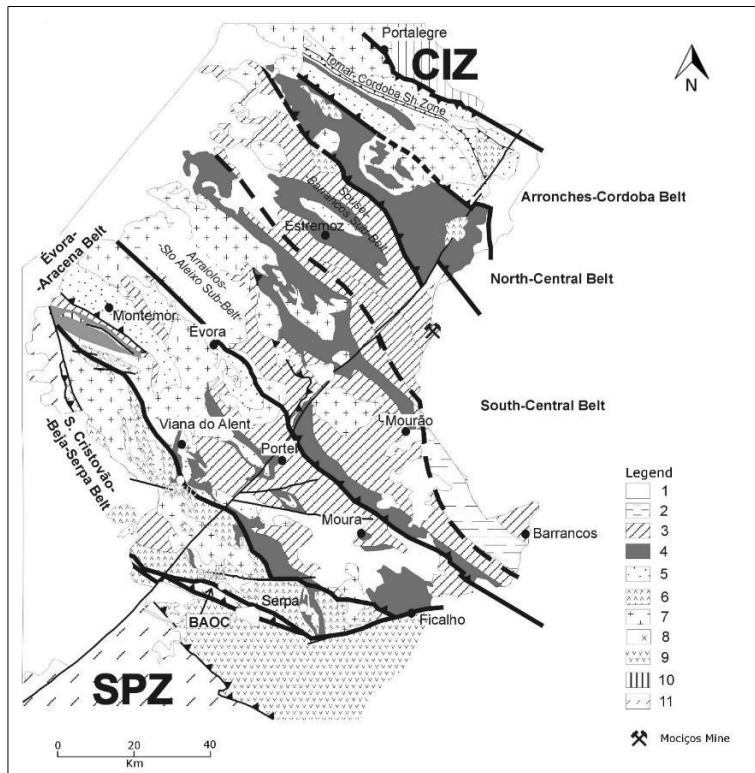


Figura 1.10 - Faixas com potencial mineiro e mapa geológico simplificado da ZOM em território Português (adaptado de Tornos *et al.*, 2004). Geologia: 1- Cobertura sedimentar Cenozoica; 2- Sequências metassedimentares do Devónico superior; 3- Sequências metassedimentares e metavulcânicas do Ordovícico-Silúrico; 4- Sequências metassedimentares (incluindo calcários dolomíticos metamorfizados) e metavulcânicas do Câmbrio; 5- Sequências metassedimentares e metavulcânicas do Proterozoico; 6- Gabros (e dioritos) e rochas ultramáficas (Paleozoico inferior até ao Varisco); 7- Rochas granitóides indiferenciadas do Varisco e tardi-Varisco. Terrenos oceânicos exóticos; 8- Complexo Ofiolítico de Beja-Acebunches (COBA); 9- Grupo Pulo do Lobo (rochas metassedimentares e metavulcânicas); 10- Rochas metassedimentares da Zona Centro Ibérica; 11- Rochas metassedimentares e metavulcânicas da Zona Sul-Portuguesa.

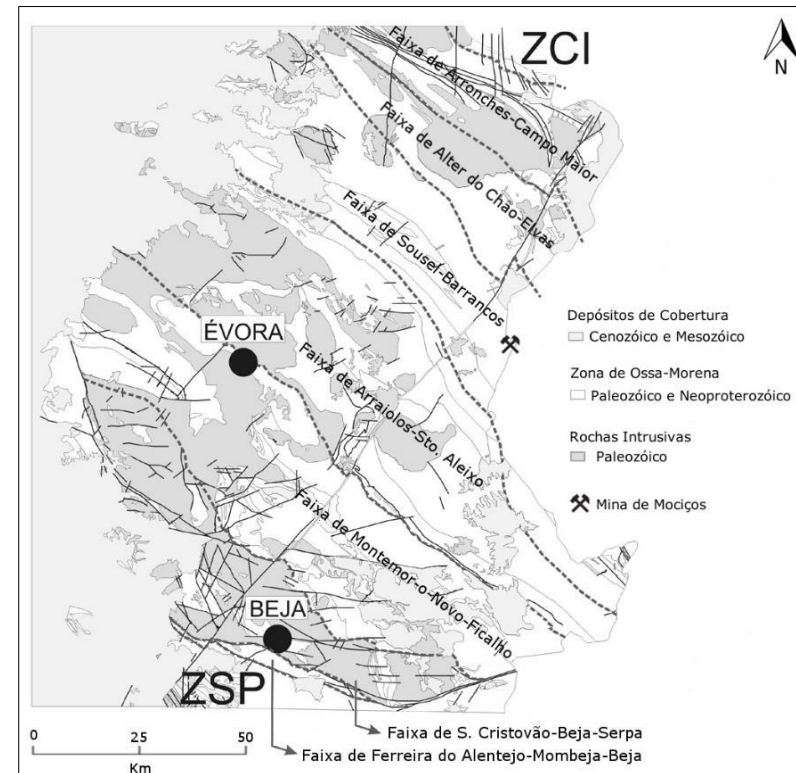


Figura 1.11 - Mapa geológico simplificado da ZOM em território Português, com as faixas com potencial mineiro (adaptado de Mateus *et al.*, 2013).

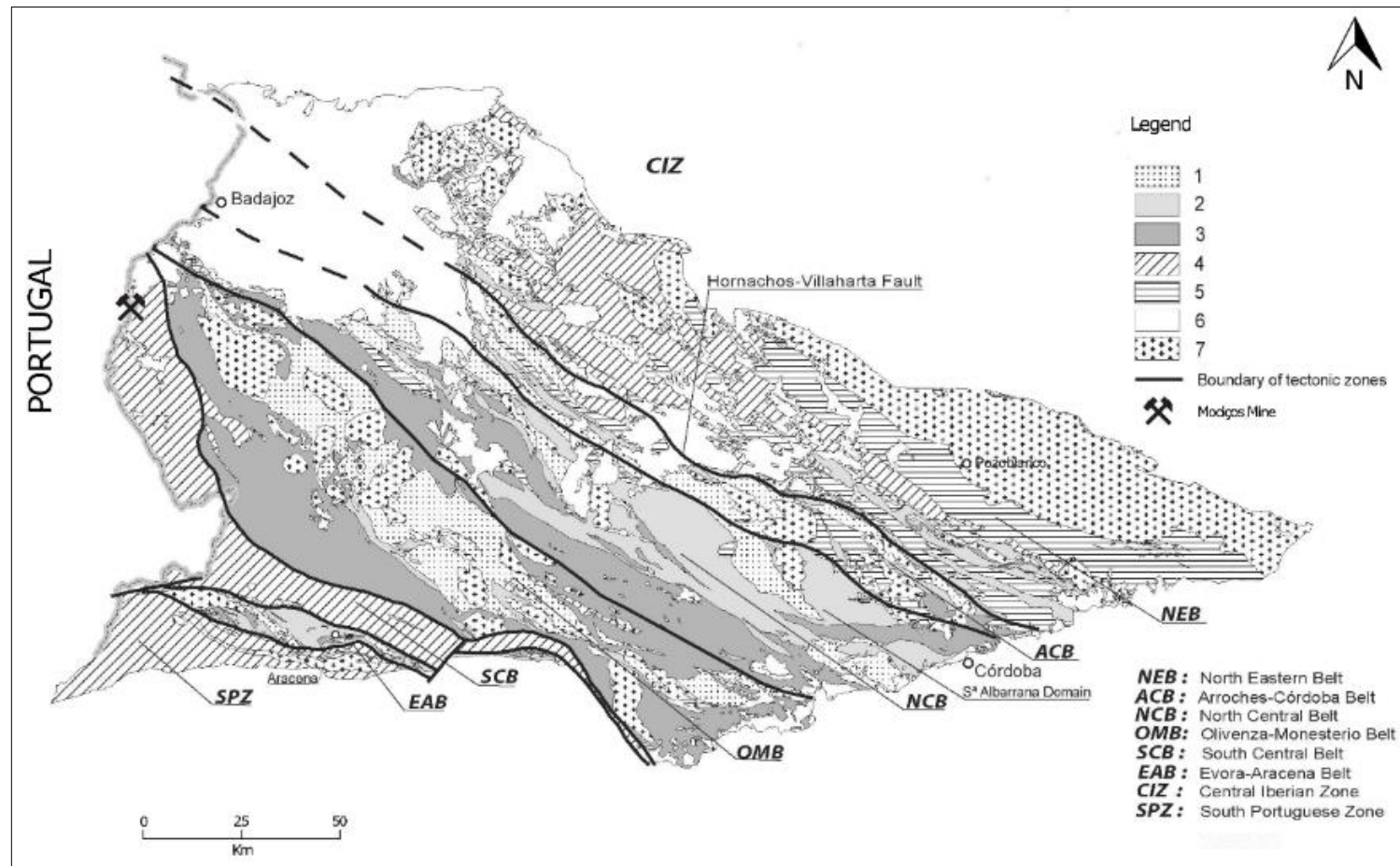


Figura 1.12 - Mapa geológico simplificado da ZOM em território Espanhol, com as faixas com potencial mineiro (adaptado de Tornos *et al.*, 2004). Geologia: 1- Sequência Pré-Cadomiana; 2- Complexo Cadomiano Sin-Orogénico; 3- Rochas relacionadas com rift Câmbrico; 4- Plataformas sedimentares estáveis (Ordovícico-Silúrico); 5- Bacias Variscas; 6- Sedimentos Pós-Varisco; 7- Rochas plutónicas.

1.4.2 Mineralizações na faixa Sousel-Barrancos

A faixa de Sousel-Barrancos (Mateus *et al.*, 2013), sobrepõe-se ao setor tectonoestratigráfico de Estremoz-Barrancos (Oliveira *et al.*, 1991). É constituída, segundo Oliveira (1984; 1986), por três tipos de estruturas mineralizadas, nomeadamente, Disseminadas, Estratiformes e Filonianas. As estruturas mineralizadas do tipo Disseminadas são constituídas por pirite e, subordinadamente, por calcopirite. Estão associadas a rochas vulcânicas e subvulcânicas, intermédio-ácidas do Complexo Ígneo e a Rochas Associadas (Calcários e Diabases de Nery Delgado e, consequentemente, ao Complexo Ígneo de Barrancos). As estruturas mineralizadas do tipo Estratiformes, estão diretamente relacionadas com a descontinuidade Câmbrio-Ordovício, constituída maioritariamente por pirite e, raramente, por calcopirite, esfalerite e galena. Segundo Oliveira (1984), este tipo de mineralização é identificado no anticlinal de Ferrarias entre os Calcários Dolomíticos e uma formação Vulcanossedimentar, bem como no anticlinal de Estremoz com predominância, neste caso, da calcopirite. Por último, as estruturas mineralizadas do tipo Filonianas são, predominantemente, do tipo cuprífero e são passíveis de subdivisão em dois grupos, consoante a sua posição estrutural relativamente às unidades encaixantes: subconcordantes, de direção NNW-SSE, representado pelo grupo de minas de Miguel Vacas, Mociços e Urmos; ou discordantes, de direção NNE-SSW, representadas pelas minas de Minancos, Bugalho, Zambujeira, Mostardeira, Aparis e Botefa. Oliveira (1984) define estas estruturas filonianas como constituídas por quartzo e carbonato subordinado, estando presente mineralizações primárias de pirite e calcopirite.

Mais recentemente, Mateus *et al.* (2013) subdividem em dois grupos o que considera como sistemas mineralizantes epigenéticos cupríferos da faixa de Sousel-Barrancos. Um primeiro grupo apresenta uma mineralização controlada por falhas, com preenchimento hidrotermal polifásico, e com metassedimentos como litologia encaixante (Aparis, Bofeta, Miguel Vacas, Mociços, Urmos, Minancos, Bugalho, Zambujeira e Mostardeira). Menciona que estas mineralizações apresentam condições hidrotermais polifásicas, com brechificação. São materializadas por quartzo e carbonatos (dolomite ferrífera, siderite e/ou calcite), sulfuretos (calcopirite, pirite, arsenopirite, esfalerite, pirrotite e galena) e sulfossais (tenantite-tetraedrite), sendo frequente a ocorrência de zonas de enriquecimento supergénico. Um segundo grupo, caracterizada pela mina de Defesas das Mercês, engloba a mineralização do tipo disseminada ou a mineralização constituinte de filonetes e veios encaixados em rochas subvulcânicas intrusivas de natureza félsica. Apesar da identificação de teores anómalos de Au nesta ocorrência, carece ainda de confirmação a presença de mineralizações epitermais de Cu-Au associadas a sistemas vulcanogénicos.

Oliveira (1986) refere como possíveis fontes das mineralizações filonianas cupríferas, a remobilização efetuada a partir da base do Silúrico, caracterizada por um ambiente redutor, da descontinuidade Câmbrio-Ordovício, e/ou de aparelhos subvulcânicos subjacentes.

Para Mateus *et al.* (2013) a gênese das mineralizações é associável a atividade hidrotermal relacionada com a propagação e reativação de zonas de falhas. Os mesmos autores defendem que o caráter polifásico da mineralização provém da descarga localizada de fluidos, após circulação pervasiva nas sequências metassedimentares de idade Paleozóica de onde, segundo o mesmo, obtiveram o conteúdo metalífero por lixiviação.

Os primeiros estudos de inclusões fluidas no sector de Estremoz-Barrancos são efetuados por Maia *et al.* (2019a) nas antigas minas de Mociços e de Miguel Vacas, bem como na ocorrência de Ferrarias. Este autor concluiu que a mobilização e precipitação de cobre é controlada por fluidos de alta salinidade com um conteúdo em CO₂ variável, com características comparáveis a depósitos de cobre com uma forte assinatura magmática. Como possíveis fontes considera os corpos plutónicos e subvulcânicos de composição calco-alcalina, localizados nas proximidades, sugerindo a possibilidade de prevalecerem condições do tipo pórfiro durante a evolução geodinâmica da ZOM.

1.4.3 Mineralização da mina de Mociços

A mina de Mociços corresponde a uma estrutura filoniana subconcordante, inserida numa estrutura em sinclinal (Oliveira, 1984). É constituída por um filão com diferentes gerações de quartzo leitoso e calcite \pm ankerite \pm siderite (Mateus *et al.*, 2003). De acordo com os mesmos autores, a associação mineral é constituída por pirite + calcopirite, em agregados grosseiros distribuídos aleatoriamente em veios. Segundo Oliveira (1984) identifica-se, ainda, malaquite e cuprite.

No contacto com as unidades encaixantes ocorrem texturas brechóides (Oliveira, 1984), correspondentes a brechas de falha mineralizadas que contêm fragmentos de rochas encaixantes heterométricas, angulares e com evidências de hidrotermalismo (Mateus *et al.*, 2003).

No caso da mineralização da mina de Mociços, Oliveira (1984) favorece a possibilidade da mineralização que constitui esta estrutura filoniana ter sido remobilizada da Formação de Mociços através de fraturas, concentrando-se posteriormente nestas em conjunto com quartzo e carbonatos. Este processo é igualmente defendido por Mateus *et al.* (2003), todavia considera como fontes as sequências metassedimentares de idade Paleozoica.

O estudo de inclusões fluidas da mina de Mociços por Maia *et al.* (2019b), identificam halite com características idênticas às verificadas em vários depósitos hidrotermais de origem magmática. Complementarmente, a presença de CaCl₂ e MgCl₂, para além de NaCl, sugere a presença de um sistema de fluidos mais complexo e profundo.

Capítulo 2

Metodologías

CAPÍTULO 2 - METODOLOGIAS

2.1 Introdução

Neste capítulo são apresentadas as metodologias laboratoriais utilizadas para os trabalhos de petrografia e de geoquímica mineral, bem como os procedimentos adotados para os trabalhos de campo desenvolvidos no âmbito da geoquímica de solos.

O trabalho de preparação laboratorial das amostras de testemunhos de sondagem foi desenvolvido no Laboratório de Mineralogia do Departamento de Geociências da Universidade de Évora. A análise petrográfica de luz transmitida e refletida, assim como a obtenção de micrografias complementares a esta análise, foram efetuadas no Laboratório de Microscopia Eletrónica. No caso da análise de geoquímica mineral estas decorreram no Laboratório Hércules.

As bases cartográficas de geologia, geoquímica e de geofísica foram cedidas pelo LNEG, parceiro do projeto ZOM-3D. Os documentos históricos relativos à área mineira fazem parte do arquivo desta instituição.

2.2 Amostragem

A prospeção mineira efetuada pelo SFM na mina de Mociços permitiu obter duas sondagens que intersectaram a estrutura mineralizada, designadas por SD.M4 e SD.M5A (ver enquadramento regional em Matos & Filipe eds., LNEG 2013). Os locais de perfuração localizam-se na encosta leste do monte do sítio da Cova do Monge, segundo um alinhamento perpendicular ao relevo diferencial associado ao filão de quartzo de direção, aproximadamente, N-S. A sondagem SD.M4 atingiu o comprimento de 91,05 m, enquanto a SD.M5A alcançou os 152,85 m de perfuração. Atualmente, é ainda possível observar as plataformas utilizadas para os trabalhos identificadas a uma cota de 179 m e 166 m, respetivamente.

As amostragens decorreram nos dias 17 e 24 de maio de 2017 na litoteca do LNEG de Aparis, incidindo sobre a sondagem SD.M5A e SD.M4, respetivamente. Os trabalhos tiveram como base os *logs* do SFM, efetuados por Vitor Oliveira entre maio e setembro de 1982. Esta informação foi complementada com a análise dos testemunhos, prosseguindo-se uma amostragem de ambas as sondagens de acordo com objetivos do projeto ZOM-3D. A recolha de testemunhos teve como foco as litologias do encaixante e as estruturas mineralizadas.

Para a presente dissertação de mestrado o estudo centrou-se na sondagem SD.M4, dado que a mesma intersecta a estrutura mineralizada a uma menor profundidade, relativamente à SD.M5, e por apresentar uma sequência estratigráfica mais completa num troço estreito daquele furo. No entanto, a amostragem foi condicionada pelo mau estado e degradação parcial a total de diversas caixas de testemunho de sondagens, bem como casos pontuais de metragens intermédias ilegíveis. Assinala-se, ainda, que a sequência litológica analisada corresponde a um troço descontínuo, considerando a baixa recuperação verificada em dois sectores severamente fraturados: um primeiro

entre os 5,70 m e os 21,70 m, com a recuperação de apenas 4,55m de testemunho; e um segundo, entre os 65,20 m e os 78,50 m, com recuperação de somente 4,50 m.

Foram recolhidas 37 amostras de testemunho da sondagem SD.M4, apresentadas na tabela IV.1 do Anexo IV, com a respetiva descrição macroscópica efetuada durante a amostragem.

2.3 Preparação laboratorial e caracterização macroscópica

2.3.1 Processamento de amostra e análise macroscópica

Após o registo fotográfico das amostras da sondagem SD.M4, optou-se por uma disposição sobre papel com a respetiva referência. Com este procedimento assegura-se a permanência da cota de referência durante as fases de corte intermédias, uma vez que os planos de corte atingem o local da amostra de testemunho referenciado.

Numa primeira fase, por forma obter amostras com uma dimensão máxima de 5 cm x 5 cm x 5 cm, recorreu-se à serra *Diamant Cedina*. Numa segunda fase, procedeu-se ao corte com a serra de precisão *Discoplan-TS*, obtendo-se amostras com dimensões máximas de 50 mm x 50 mm x 10 mm. Considerando a elevada tendência de fracturação das amostras xistentas, o corte foi efetuado com um disco de corte diamantado *Microdiamant* de 200 mm x 1,0 mm x 22 mm. Contudo, para as amostras filonianas de natureza silicosa, recorreu-se a um disco diamantado *Microdiamant* de 200 mm x 1,5 mm x 22 mm devido à dureza das amostras e, ainda, para não provocar o empeno do disco de 1 mm de espessura. Para o corte optou-se, preferencialmente, por planos perpendiculares a S0, por forma a obter uma representatividade máxima das variações mineralógico-texturais. Relativamente às amostras filonianas, as direções de corte diferem consoante a identificação de fases de crescimento e da presença de minerais opacos.

Neste ponto, as amostras de sondagem “fatiadas” foram analisadas macroscopicamente com a ajuda de uma lupa binocular *Leica ZOOM 2000*, descrevendo-se as características texturais e mineralógicas. No caso em que a cor da calcopirite e da pirite não foi conclusiva, a distinção baseou-se na dureza, com um método expedito: caso o mineral opaco fosse riscado por um estilete estávamos na presença de calcopirite, caso contrário, pirite. Em diversas amostras, considerando a sua heterogeneidade, optou-se por uma subdivisão em amostras laboratoriais. Esta decisão provém do facto de, após o corte efetuado na *Discoplan-TS*, ser possível dividir a amostra em subamostras (encaixante, filões e filonetes de natureza carbonatada e/ou silicosa, *boundinagem* de níveis psamíticos das litologias encaixantes, etc.). Delimitou-se secções retangulares com 25 mm x 40 mm e secções circulares com diâmetro máximo de 2 cm, tendo em vista a produção de lâminas delgadas (LD) e superfícies polidas (SP), respetivamente. Após a referência da amostra laboratorial, efetuada na superfície oposta à que se pretendeu estudar e respeitando a área delimitada para estudo, seguiu-se novamente um corte de precisão na *Discoplan-TS* de acordo com os novos limites estabelecidos. As amostras de testemunhos de sondagem foram totalmente processadas para amostras laboratoriais,

por forma a responder aos objetivos da presente dissertação e, de igual forma, dos estudos inseridos no projeto ZOM-3D. Por forma a assegurar estudos futuros e por uma questão metodológica, cada amostra laboratorial aplicada nesta dissertação possui duplicados.

2.3.2 Produção de lâminas delgadas

O processo de produção de LD centra-se na utilização de quatro equipamentos: *Logitech PM5*, equipada com um *Jig PLJ2* e com um prato de polimento de ferro fundido (300 mm de diâmetro e ranhuras radiais); *Logitech CS 10*, uma serra de precisão equipada com um disco da marca homónima, de 250 mm x 1,6 mm x 15,9 mm; *Logitech Vacuum System 2-Port (VS2)*, um sistema de vácuo para a fixação dos Vidros/Lâminas Delgadas nos equipamentos da *Logitech* mencionados anteriormente; e *Struers Planopol-V*, para o polimento de lâminas delgadas.

A preparação de LD parte de vidros com 27 mm x 46 mm x 1,2/1,5 mm, retificados para uma espessura de 1,1 mm. A face desgastada adquire uma superfície baça na qual procede-se à colagem da talisca. O desgaste é efetuado utilizando o *Jig PLJ2*, calibrado para 1,13 mm (1,10 mm de espessura final pretendida e 0,03 mm do *undercut*), aplicando um ciclo de 105 min a 60 rotações por minuto (RPM), com pó de carboneto de silício de 600 *grit*.

As amostras laboratoriais com 25 mm x 40 mm x 10 mm, designadas vulgarmente por taliscas, são polidas em grupos de 6 unidades dispostas dentro de um anel metálico posicionado sobre o prato de polimento. As taliscas são colocadas com a superfície a desgastar para baixo, ficando a superfície referenciada para cima. Sobre estas é colocada uma esponja, seguindo-se o peso 1 (1942,63 Kg) e, nas litologias com maior dureza, o peso 2 (3471,24 Kg).

O desgaste é efetuado em conjuntos de taliscas de natureza semelhante. Nos casos em que as taliscas a desgastar não perfazem as 6 unidades necessárias para preencher o espaço do anel metálico, são utilizados os duplicados de rochas da mesma natureza.

Para as amostras de natureza filoniana quartzosa aplica-se ambos os pesos (peso 1 e peso 2), a uma velocidade de 60 RPM. No caso dos metavulcanitos ácidos utiliza-se o peso 1 e uma velocidade de 60 RPM. Para as amostras filonianas carbonatadas, xistos e psamitos micáceos aplica-se o peso 1 e uma velocidade de 10 RPM. Todos os desgastes são efetuados em ciclos de 30 min. Após cada ciclo é verificada a horizontalidade da superfície, bem como a qualidade do desgaste. Após esta avaliação retira-se a(s) amostra(s) finalizada(s), repetindo-se o desgaste para as amostras que não apresentem a qualidade exigida. Tal como indicado anteriormente, no local do anel de onde foi retirada uma amostra é colocada uma nova, das amostras duplicadas, sendo este procedimento adotado até finalização do desgaste das amostras laboratoriais a estudar.

Concluído o desgaste das taliscas e a retificação dos vidros, segue-se a colagem. Para o efeito, as amostras e os vidros, após limpos com papel e álcool, são dispostos sobre uma placa de

aquecimento de cerâmica *Stuart CB500* a uma temperatura de 50 °C. Sobre o vidro, e no bordo inferior, é colocada a referência laboratorial.

Para a colagem de 6 unidades utiliza-se a resina *Buehler*, aplicando uma razão de 0,9 g de *Ephotin 2 Epoxy Hardener* para 2 g de *Epothin 2 Epoxy Resin*. A mistura é homogeneizada durante um período de 2 minutos à temperatura ambiente. A solução é colocada sobre o eixo central da talisca e, após a colocação do vidro a 45° sobre o bordo inferior da talisca, aproxima-se até a superfície desta a uma velocidade lenta e constante, garantindo a expulsão das bolhas de ar para as extremidades. Após o contacto total entre o vidro e a superfície da talisca, pode-se recorrer a pequenos movimentos circulares para expulsar as bolhas para o exterior da superfície de colagem. São então dispostas na prensa *Buehler PetroBond* e deixadas a secar durante 12 horas. Após este período é retirada o excesso de cola que possa ficar no vidro com recurso a um pano de microfibras embebido em acetona.

Segue-se o corte na *Logitech CS 10*, calibrada para 1,60 mm \pm 0,10 mm, onde são cortadas 6 amostras simultaneamente e de litologias o mais idênticas possíveis.

Após o corte das LD estas são colocadas em grupo de 6 unidades no *Jig PLJ2*, com litologias o mais semelhantes possíveis. Este equipamento é calibrado para 1,16 mm (1,10 mm de espessura do vidro + 0,03 mm de rocha + 0,03 mm *undercut*). Após um ciclo de, aproximadamente, 1 hora a 60 RPM, com desgaste através da aplicação de pó de carboneto de silício de 600 *grit*, as lâminas delgadas estão concluídas. Após observação ao microscópio petrográfico, e caso se verifique tintas elevadas, repete-se o processo em ciclos de 10 a 15 min.

Para o polimento de lâminas delgadas na *Struers Planopol-V*, estas são coladas em grupos de 4 unidades de litologias o mais idênticas possíveis, recorrendo a suportes indicados especificamente para o efeito. Utiliza-se um pano de polimentos *Verdutex* e uma suspensão diamantada *Metadi Dye Free Poly. 6 Mic*. A velocidade utilizada é de 100 RPM, sendo o tempo de polimento de 2 min para as amostras de natureza siliciosa e 1 min para as restantes naturezas.

Resultaram 47 LD para estudo em microscopia ótica de luz transmitida, apresentadas na tabela IV.2 e IV.3 do Anexo IV.

2.3.3 Produção de superfícies polidas

As secções circulares de rocha, previamente dimensionadas para um diâmetro máximo de 2 cm (limitado pelo diâmetro do molde de impregnação), foram impregnadas com resina *Epoxy* da *Buehler*. A solução é preparada conhecendo o volume de 7 ml de cada molde, bem como a razão de mistura resina/endurecedor, ou seja, 2:1. As impregnações foram efetuadas em dois conjuntos, por forma a garantir a trabalhabilidade da mistura. Tal como efetuado para a colagem de LD, converteu-se o volume necessário em peso, de acordo com as especificações técnicas, por forma a efetuar uma medição com um maior rigor através da pesagem na balança de precisão *OHAUS GT4100V*.

Durante o processo de impregnação é inserida a amostra com a face a estudar virada para baixo no molde, após a colocação de uma pequena quantidade de resina no fundo. Sobre o fragmento é então colocada uma etiqueta em papel com a referência escrita a lápis, seguindo-se o preenchimento do restante espaço com a resina. Após um período de secagem de 9 horas à temperatura ambiente, as superfícies são retiradas do molde.

Recorrendo à *Logitech PM5*, são colocadas 13 secções no interior do anel metálico, com a face a estudar em contacto com o prato de desgaste. Aplica-se ciclos de 30 min a 60 RPM, com pó de 600 *grit*. Após cada ciclo verifica-se a eliminação de resina que cobre a face a estudar e, caso não se verifique a total exposição da superfície da amostra, repete-se o ciclo até verificar-se a exposição total. Concluído este requisito, são lavadas em água corrente. Por forma a eliminar qualquer vestígio de pó que possa encontrar-se nos poros, são colocadas no ultrassom *Bandelin Sonorex Super RK52(H)* durante 10 minutos.

Segue-se o polimento na *Struers Planapol-V* com suportes específicos para o polimento de superfícies. São aplicados 3 tipos de polimentos com pastas diamantadas *Buehler*: 6 micra, 3 micra e 1 micra. Cada pasta está associada a um pano de polimento acetinado, macio e sem pelo, da marca *Verdutex* e de 300 mm de diâmetro. As amostras são polidas em grupos de amostras com litologias e minerais metálicos idênticos, no máximo de 4 amostras. São aplicadas sequências de polimento variáveis (por exemplo: 6-3-1-1 e 6 -3-1-3-1), de acordo com a avaliação da qualidade do polimento através de uma análise microscópica no final de cada ciclo. Esta análise é antecedida por uma lavagem em água corrente com detergente, sendo a secagem efetuada com ar comprimido em ambiente apropriado. A quantidade de pesos utilizados varia entre um a dois pesos, constituindo um peso individual de 100 g, aproximadamente.

No total foram produzidas 54 SP apresentadas na tabela IV.4 e IV.5 do Anexo IV.

2.4 Análise petrográfica

A análise petrográfica de luz transmitida foi efetuada no microscópio ótico *Nikon Eclipse 50i Pol*, ao qual encontra-se acoplado uma câmara fotográfica. O *software* utilizado para o registo fotográfico foi o *Micro Capture v.6.9*. Esta análise foi complementada, numa fase inicial, com a observação das LD num microscópio *Nikon SMZ1000*, o qual possui uma lente que simula os nicóis cruzados facilitando, assim, a sua observação a uma baixa ampliação (0.8X). A esta lupa binocular está associada uma câmara que utiliza o *software* referido anteriormente.

Para a análise petrográfica de luz refletida utilizou-se o microscópio *Carl Zeiss*, modelo *Axio Imager.A2m*, equipado com uma câmara fotográfica *uEye*. O *software* associado a esta câmara é o *uEye Cockpit*, do conjunto de aplicações do *IDS Software Suite (v.4.90.06)*.

Nesta análise efetua-se uma caracterização textural e mineralógica das diferentes litologias e das estruturas filonianas, através das propriedades óticas dos minerais, permitindo identificar as

relações e associações de minerais primários, resultantes de processos de deformação, ou secundários, resultantes de alteração hidrotermal.

À descrição efetuada associa-se um registo microfotográfico, organizado em fichas de observação petrográficas e metalográficas apresentadas no Anexo V e VI, respetivamente.

2.5 Química mineral

2.5.1 SEM do Laboratório de Microscopia Eletrónica

Para complementar a análise petrográfica de luz refletida, foi efetuado um registo de micrografias das SP com imagens de eletrões retrodifundidos de grande ampliação num microscópio eletrónico de varrimento, modelo *Personal Scanning Electron Microscope* (PSEM™) da *RJ Lee Group*. Este equipamento encontra-se no Laboratório de Microscopia Eletrónica do Departamento de Geociências da Universidade de Évora. Pretende-se com este procedimento identificar a existência de variações composicionais de um mesmo mineral metálico, confirmar a correspondência composicional dos minerais identificados em diferentes SP e, ainda, a existência ou não de inclusões/exsudações de minerais composicionalmente diferentes que, devido ao seu tamanho reduzido, não tenham sido identificadas durante a petrografia.

2.5.2 SEM-EDS do Laboratório Hércules

A componente de Microscopia Eletrónica de Varrimento com Espetrometria Dispersiva de Energia (SEM-EDS), foi realizada no Laboratório Hércules da Universidade de Évora. Este laboratório possui um microscópio eletrónico de varrimento de vácuo variável, modelo *Hitachi 3700N*, ao qual está acoplado o espectrómetro de raios-X por dispersão em energia, modelo *BRUKER XFlash 5010SDD*.

Antes da análise no SEM-EDS as amostras foram metalizadas com carbono, recorrendo para o efeito ao *Balzers Union SCD 030*. No entanto, para uma amostra na qual foi identificada na petrografia a presença de grafite, foi utilizada a metalização com ouro.

Durante as análises as amostras foram posicionadas distando, aproximadamente, 9 mm do detetor, com uma tensão de aceleração (*accelerating voltage*) de 20kV e com um feixe de 5 µm.

As análises pontuais semi-quantitativas permitiram obter tabelas com os elementos detetados, sendo o ponto analisado por EDS identificado nas micrografias. Complementarmente, foram realizados espectros de EDS e mapas de distribuição dos elementos químicos, segundo elementos previamente selecionados.

O estudo de química mineral foi realizado com o intuito de confirmar as fases minerais opacas, identificadas na metalografia pelas suas propriedades óticas, e para identificar as fases minerais encaixantes da mineralização, verificando a existência de diferentes gerações.

As análises são apresentadas no anexo VII.

2.6 Geoquímica de solos

O estudo geoquímico dos solos da área envolvente à antiga mina de Mociços foi efetuado tendo por base duas fontes de informação, correspondentes a duas escalas geográficas: uma escala regional, ao qual está associado dados de prospeção geoquímica de solos do SFM; e uma escala designada por local, com dados obtidos em campanhas de prospeção geoquímica no âmbito do projeto ZOM-3D.

Os dados do SFM, considerados neste trabalho como de natureza regional, centram-se na campanha de prospeção geoquímica de solos para análise de Cu e Zn, não existindo para Pb. Datam de junho e julho de 1974 e correspondem a uma análise com métodos expeditos, efetuados em laboratórios provinciais e centrados na componente granulométrica inferior a 80 mesh. As cartas geoquímicas respetivas, na escala de 1:5000, foram publicadas em fevereiro de 1975 e apresentam uma malha de 100×100 m, perfazendo um total de 872 amostras dispersas sobre uma área de estudo de 12 km².

Com o intuito de obter dados de geoquímica de solos com maior resolução e centrados na área mineira, foi efetuado no âmbito do projeto ZOM-3D a aquisição de dados através do equipamento de Fluorescência de Raio-X Portátil (FRX-P) *Skeyray Instrument Explorer 9000*. Estes dados foram considerados como tendo uma natureza local. O respetivo equipamento permite efetuar uma análise geoquímica de solo *in situ* após a remoção da camada vegetal. Utilizou-se o *Soil Mode*, com tempo de aquisição de 100s, 45kV e 80μA, num total de 178 pontos analisados em 8 linhas de amostragem, aproximadamente perpendiculares à orientação do filão. A 1ª campanha de campo decorreu nos dias 29 e 30 de Maio de 2017, onde foram efetuadas 5 linhas de amostragem. No entanto, após os primeiros testes de interpolação foi identificada uma área com fraca cobertura de dados. Por forma a completar esta área, foi efetuada uma campanha adicional no dia 14 de novembro de 2017, com a adição de 3 novas linhas de amostragem. Note-se que, em determinados locais envolventes à antiga exploração, a vegetação para além de densa atinge alturas métricas, o que dificultou o traçado das linhas de amostragem.

A interpolação foi efetuada no *software QuantumGis* (v.2.18.14) com a interpolação pelo método de Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW). Para a análise estatística dos dados foi utilizado o *software R* (v.3.4.2) com as bibliotecas *fbasics* para a estatística univariada, *corrplot* para a estatística bivariada e a *rsq* para obter a função de modelos lineares e, consequentemente, o coeficiente r e R^2 .

Os valores do *threshold* (limite entre anomalia e *background*), de natureza regional e local, foram obtidos através das fórmulas de cálculo $\bar{x} + 2 \times S$ e $M_e + 2 \times DAM$, permitindo uma comparação entre métodos.

Capítulo 3

Geoquímica de Solos

CAPÍTULO 3 - GEOQUÍMICA DE SOLOS

3.1 Introdução

A utilização de FRX-P é, nos dias atuais, uma ferramenta prática na identificação e qualificação de elementos *in situ*, com grande aplicação na prospeção mineral (*e.g.* Fisher *et al.*, 2014). A sua ampla aplicabilidade reflete-se na utilização em diversos domínios da ciência, tais como: na exploração mineira (*e.g.* Hall *et al.*, 2014); na análise ambiental (*e.g.* Higuera *et al.*, 2012); na arqueologia (*e.g.* Hunt & Speakman, 2015); e na pedologia (*e.g.* Stockman *et al.*, 2016).

A sua precisão face a outros equipamentos, como é o caso do ICP-AES/MS, tem sido estudada na literatura (*e.g.* Wu *et al.*, 2012; Rouillon & Taylor, 2016). Os resultados obtidos são considerados viáveis por comparação a outros métodos, apresentando a vantagem de tratar-se de um método expedito e de baixo custo.

Este capítulo apresenta os resultados de uma campanha de geoquímica de solos, com base no uso de um *equipamento* de FRX-P. Os dados obtidos no âmbito do projeto ZOM-3D são correlacionados com os dados históricos de análise de Cu e Zn em solos, obtidos pelo SFM no ano de 1975.

O limite entre as concentrações anómalas e de fundo, designado por *threshold*, foi obtido através de duas fórmulas: $\bar{x} + 2 \times S$ e $M_e + 2 \times DAM$. Estimou-se, assim, os valores médios e medianos de fundo regional e local para o Cu e o Zn, bem como o fundo local para o As, Cd, Cr, Co, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V.

3.2 Geoquímica de solos regional para o Cu e Zn

A geoquímica de solos de carácter regional apresenta 872 amostras dispersas sobre uma área de estudo de 12 km². Seguidamente, é apresentado a análise estatística dos dados, os valores de *threshold* e fundo regional, bem como os mapas de isotores.

3.2.1 Análise exploratória de dados

Na tabela 3.1 é apresentada a síntese da análise exploratória dos dados de carácter regional, relativos ao Cu e Zn.

Tabela 3.1 - Síntese da estatística descritiva para a concentração de Cu e Zn da campanha de geoquímica de solos do SFM, datada de 1974.

	N	NA	Min (ppm)	Max (ppm)	Q ₁ (ppm)	Q ₃ (ppm)	\bar{x} (ppm)	M _e (ppm)	M ₀ (ppm)	S ²	S (ppm)	DAM (ppm)	CV (%)	G ₁	G ₂
Cu	872	9	4	10000	10	50	71	30	30	130803	362	30	512	24	656
Zn	872	12	1	230	10	10	16	10	10	403	20	0	122	5	31

N- Número de observações; NA - Não disponível; Min - Mínimo; Max - Máximo; Q₁ - 1º Quantil; Q₃ - 3º Quantil; \bar{x} - Média; M_e - Mediana; M₀ - Moda; S² - Variância; S - Desvio Padrão; DAM - Desvio Absoluto da Mediana; CV - Coeficiente de Variação; G₁ - Coeficiente de Assimetria; G₂ - Coeficiente de Achatamento.

O valor médio de concentração para o Cu e para o Zn é, respetivamente, 71 ppm e 16 ppm. No entanto, para ambos os casos, verifica-se que a média apresenta uma forte influência de valores designados estatisticamente como *outliers*, os quais apresentam uma concentração máxima de 10 000 ppm para o Cu e 230 ppm para o Zn.

A mediana apresenta valores inferiores à média, tanto para o Cu como para o Zn. Esta medida de localização central permite concluir que 50% dos valores de concentração são inferiores ou iguais a 30 ppm, para o caso do Cu, e inferiores ou iguais a 10 ppm, para o Zn. A partilha do mesmo valor entre a moda e a mediana em ambos os elementos analisados, indica que o valor da mediana corresponde à concentração verificada mais vezes nas amostras de solos.

A análise do quartil superior permite inferir que 25% das concentrações de Cu são superiores a 50 ppm e que, relativamente ao Zn, 25% são superiores a 10 ppm. Complementarmente, é nestes intervalos que se localizam os valores médios.

As medidas de dispersão estatística designadas por variância e desvio padrão, permitem inferir a dispersão dos valores das amostras, porém relativamente à média. Quanto maior o valor apresentado maior é a dispersão dos dados. O coeficiente de variação permite uma comparação em termos relativos desta dispersão, dado que corresponde ao grau de concentração em torno da média. No caso do Cu atinge 512% e do Zn 122%.

O coeficiente de assimetria traduz numericamente o comportamento assimétrico ou simétrico dos dados. Como o valor é positivo conclui-se que, tanto para o Cu como para o Zn, o conjunto apresenta uma assimetria positiva, com cauda para a direita. Todavia, a assimetria das concentrações em Zn apresenta, comparativamente ao Cu, um menor grau de assimetria.

A intensidade das frequências na vizinhança dos valores centrais é traduzida pelo coeficiente de achatamento, também designado por curtose. Apresenta o valor 656 e 31 para o Cu e para o Zn, respetivamente. Esta medida adimensional permite definir uma distribuição leptocúrtica para ambos os elementos em análise, uma vez que apresentam valores superiores a 3.

Seguidamente, para facilitar a observação e análise da estatística descritiva, efetua-se a representação gráfica dos valores obtidos para a concentração de Cu e Zn em solos da escala regional, sob a forma de histograma, *boxplot* e gráfico Q-Q.

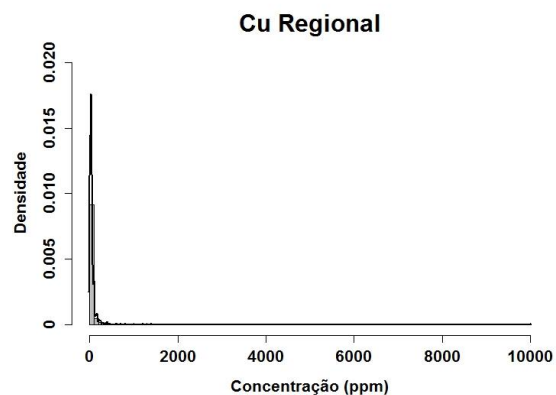


Figura 3.1 - Histograma de densidade de frequência da concentração de Cu de carácter regional, com representação da linha de densidade (amplitude das classes: 100 ppm).

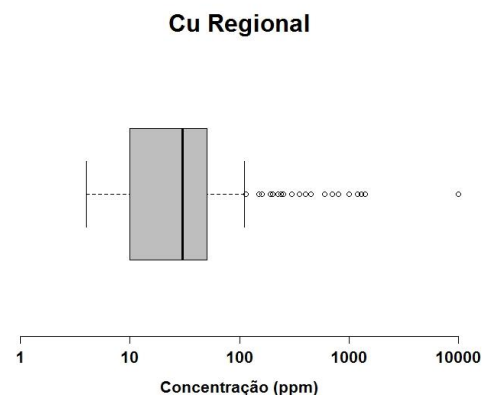


Figura 3.2 - *Boxplot* dos dados de concentração de Cu de carácter regional.

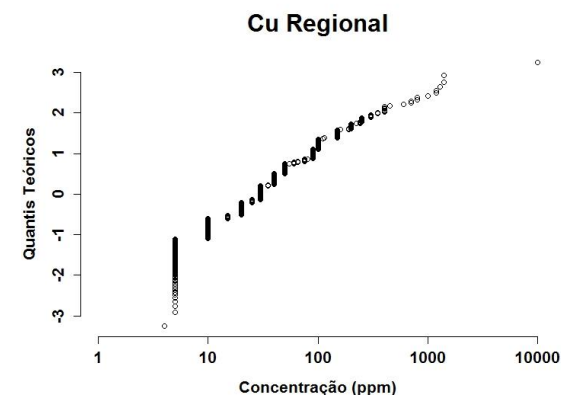


Figura 3.3 - Gráfico Q-Q dos dados de concentração de Cu de carácter regional.

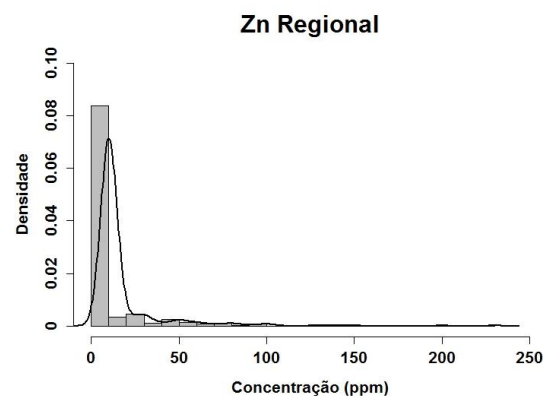


Figura 3.4 - Histograma de densidade de frequência de concentração em Zn de carácter regional, com representação da linha de densidade (amplitude das classes: 10 ppm).

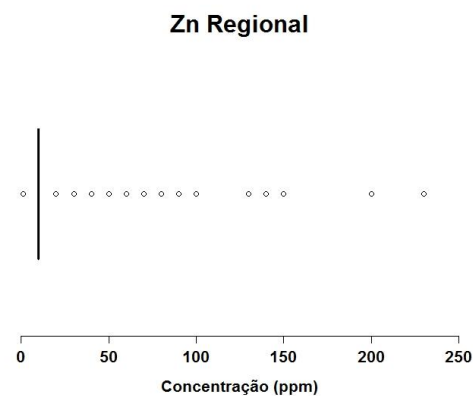


Figura 3.5 - *Boxplot* dos dados de concentração de Zn de carácter regional.

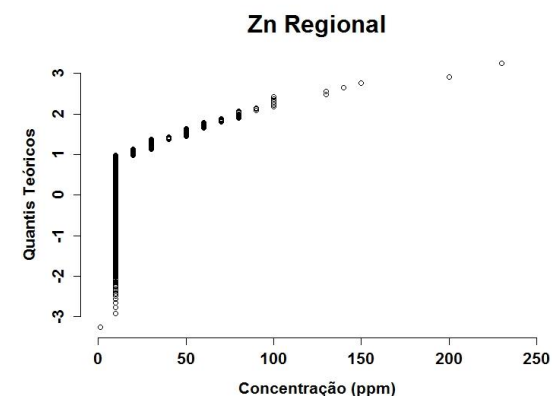


Figura 3.6 - Gráfico Q-Q dos dados de concentração de Zn de carácter regional.

3.2.2 *Threshold* e fundo regional

Na tabela 3.2 apresenta-se uma síntese estatística relativa aos dados de carácter regional, com a indicação de duas medidas de localização central e do número de observações aplicáveis. O total de observações não inclui os pontos de amostragem com valores *not available* (NA), quantificados na tabela 3.1. O Cu apresenta, relativamente aos valores de *threshold* e de fundo geoquímico, concentrações superiores face o verificado para o Zn.

Tabela 3.2 - *Threshold* e fundo geoquímico de Cu e Zn da campanha de geoquímica de solos do SFM, datada de 1974.

Elemento	Síntese Estatística			<i>Threshold</i> ¹ (ppm)	Fundo Geoquímico ¹ (ppm)			<i>Threshold</i> ² (ppm)	Fundo Geoquímico ² (ppm)		
	N	\bar{x} (ppm)	M _e (ppm)		N	\bar{x}	M _e		N	\bar{x}	M _e
Cu	863	71	30	794	854	49	30	89	698	25	20
Zn	860	16	10	57	817	13	10	10	720	10	10

1 - Média + 2 x Desvio Padrão; 2- Mediana + 2 x Desvio Absoluto da Mediana; N- Número de observações; \bar{x} - Média; M_e – Mediana.

O *threshold*² apresenta o valor mais conservador para ambos os elementos em estudo, uma vez que utilizando a mediana e o desvio absoluto da mediana o resultado obtido apresenta uma menor influência dos *outliers*. Esta influência é observada no *threshold*¹ onde, no caso do Cu, o valor apresentado é 8,92 vezes superior ao *threshold*² e, no caso do Zn, 5,7 vezes superior.

Tal como verificado para os valores de *threshold* de ambos os elementos, os valores médios e medianos do fundo geoquímico¹ são superiores aos apresentados pelo fundo geoquímico², excetuando-se o valor mediano do Zn que é idêntico em ambos. O fundo geoquímico² relativo ao Zn, apresenta o valor de 10 ppm para a média, para a mediana e, ainda, para o limite superior dos valores do *threshold*².

3.2.3 Mapas regionais de isotores

A interpolação pelo método IDW dos teores de Cu e Zn, relativos à campanha de geoquímica de solos do SFM, resultou nos mapas de isotores apresentados na figura 3.7 e 3.8¹⁰.

A aplicação de um coeficiente de ponderação de 4 para o Cu, resulta numa superfície interpolada com um valor mínimo e máximo de, respetivamente, 4,16583 ppm e 9638,03 ppm. Relativamente ao Zn, aplicou-se um coeficiente de ponderação de 3, resultando uma superfície de interpolação entre 1,0234 ppm e 195,806 ppm. Considera-se uma resolução de 1 m para cada pixel.

A análise do mapa de isotores de Cu de carácter regional permite, na área envolvente à estrutura filoniana de Mociços, uma identificação de teores compreendidos entre 89 ppm e 10 000 ppm. Estes teores são representados pela cor amarela, laranja e vermelha. A interpolação permite, também, identificar locais com concentrações entre 89 ppm e 794 ppm, representados pela cor

¹⁰ Os mapas apresentados para o Cu e Zn regional possuem a sobreposição da Formação dos Xistos com Nódulos. Para observar os mapas sem esta sobreposição consultar o Anexo IX.

amarela, com formas alongadas segundo uma direção N-S, aproximadamente, e paralelos aos filões de quartzo cartografados por Leal *et al.* (1980).

Comparando o mapa regional de isoteores de Cu com a distribuição espacial da Formação dos Xistos com Nódulos (figura 3.7), na área envolvente à estrutura filoniana mineralizada de Mociços destaca-se uma aparente correlação entre esta formação e a posição espacial de concentrações de Cu, de direção NW-SE e compreendidas entre 89 ppm e 794 ppm. Esta hipótese é corroborada pela identificação de calcopirite nesta formação durante o estudo petrográfico apresentado no capítulo 4. As restantes formações aflorantes (figura 1.9) não apresentam valores de Cu significativos e, como tal, não são apresentadas na figura 3.7.

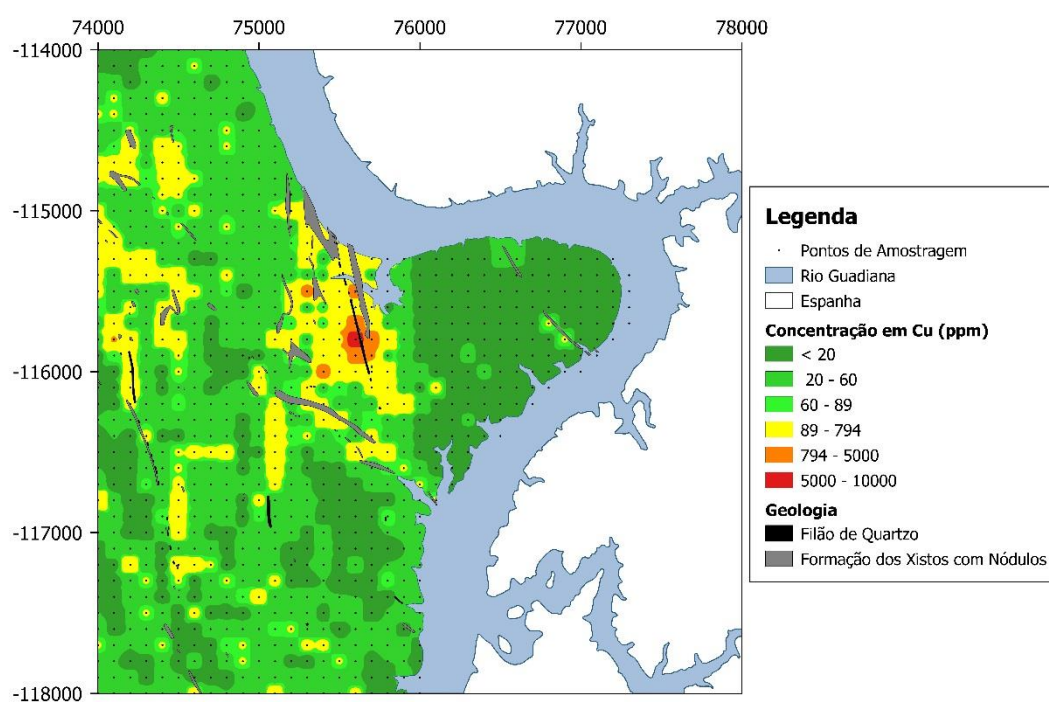


Figura 3.7 - Mapa de isoteores para a concentração em Cu (ppm) de carácter regional, com a cartografia dos filões de quartzo e da Formação dos Xistos com Nódulos (Sistema de Coordenadas: ETRS89/Portugal TM06).

Relativamente ao mapa regional de isoteores de Zn (figura 3.8), verifica-se uma concentração anómala localizada sobre a estrutura filoniana mineralizada de Mociços, coincidente com o local onde a anomalia de Cu do mapa de isoteores regional atinge concentrações entre 5000 e 10 000 ppm. A concentração anómala de Zn está associada, provavelmente, à presença de sulfuretos uma vez que o Zn é um elemento com afinidade ao enxofre. As restantes concentrações anómalas de Zn observáveis não apresentam uma relação, pelo menos direta, com as formações geológicas. Resultam, provavelmente da sua mobilidade superficial.

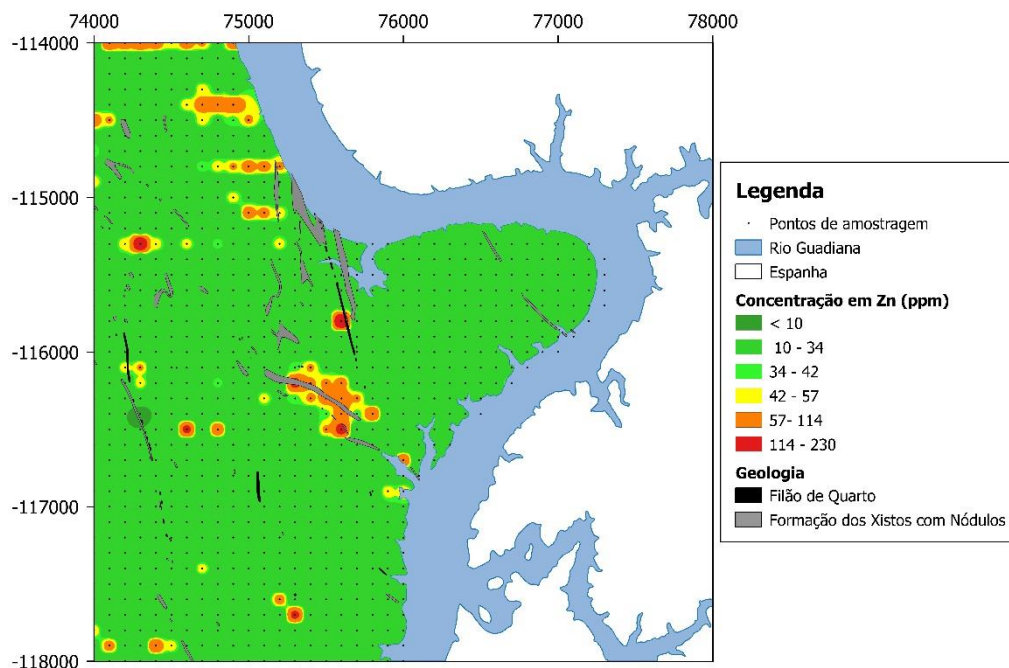


Figura 3.8 - Mapa de isotores para a concentração em Zn (ppm), de carácter regional, com a cartografia dos filões de quartzo e da Formação dos Xistos com Nódulos (Sistema de Coordenadas: ETRS89/Portugal TM06).

3.3 Geoquímica de solos local para o Cu e Zn

A geoquímica de solos de carácter local incidiu sobre uma área de estudo de, aproximadamente, 0,75 km², totalizando 177 amostras. A abordagem é idêntica ao capítulo 3.2, no entanto coloca em evidência as características e as relações do Cu e Zn a uma escala local.

3.3.1 Análise exploratória de dados

A síntese da análise exploratória dos dados da concentração de Cu e Zn de carácter local é apresentada na tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Síntese da estatística descritiva para a concentração de Cu e Zn da campanha de geoquímica de solos da ZOM-3D, datada de 2017.

	N	NA	Min (ppm)	Max (ppm)	Q ₁ (ppm)	Q ₃ (ppm)	\bar{x} (ppm)	M _e (ppm)	M ₀ (ppm)	S ²	S (ppm)	DAM (ppm)	CV (%)	G ₁	G ₂
Cu	177	0	31	8412	71	472	563	203	59	1471904	1213	211	215,37	4,28	19,51
Zn	177	25	2,16	167	30	60	47	38	30;37	774	28	19	59,70	1,20	1,87

N- Número de observações; NA – Não disponível; Min – Mínimo; Max – Máximo ; Q₁ – 1º Quantil; Q₃ – 3º Quantil; \bar{x} – Média ; M_e – Mediana; M₀ – Moda; S²- Variância; S – Desvio Padrão; DAM- Desvio Absoluto da Mediana; CV - Coeficiente de Variação; G₁ – Coeficiente de Assimetria; G₂ -Coeficiente de Achatamento.

As relações verificadas anteriormente, relativamente à estatística descritiva das concentrações de Cu e Zn de carácter regional, são semelhantes às observadas na geoquímica de solos de carácter local. A média da concentração no solo de Cu e de Zn é, respetivamente, 563 ppm e 47 ppm. Verifica-se, novamente, uma forte influência dos *outliers*, apresentando como valor máximo de concentração 8412 ppm para o Cu e 167 ppm para o Zn.

No universo amostral verifica-se que 50 % das amostras possuem uma concentração nos solos inferior ou igual a 203 ppm, para o caso do Cu, e inferior ou igual a 38 ppm, para o Zn.

A moda apresentada pelo Zn, quantificada em 59 ppm, indica que é esta a concentração verificada o maior número de vezes. Todavia, em 25 amostras não foi detetado Zn no solo ou a sua concentração encontra-se abaixo do limite de deteção do equipamento de FRX-P. Considerando que o equipamento de FRX-P fornece valores com seis casas decimais, os elementos foram arredondados à unidade antes do cálculo da moda e não após, como efetuado para as restantes medidas estatísticas.

O 3º quartil permite inferir que 25 % das concentrações de Cu são superiores a 472 ppm, sobressaindo o facto de ser neste intervalo que se localiza o respetivo valor médio. No caso do Zn, 25 % das concentrações são superiores a 60 ppm.

A variância e o desvio padrão do Cu são superiores aos valores apresentados pelas medidas de dispersão do Zn. O coeficiente de variação indica, por sua vez, uma dispersão que atinge 215 % para o caso do Cu e 60 % para o caso do Zn.

O valor positivo do coeficiente de assimetria, verificado tanto para o Cu como para o Zn, permite inferir que os dados possuem uma assimetria positiva com cauda para a direita. Tal como verificado para a geoquímica de solos de carácter regional, as concentrações de Cu no solo apresentam um maior grau de assimetria relativamente ao Zn.

Relativamente ao coeficiente de achatamento, este permite inferir uma distribuição leptocúrtica de acordo com o valor apresentado para o Cu (> 3), assim como uma distribuição platicúrtica para o Zn (< 3).

Seguidamente, para facilitar a observação e análise da estatística descritiva, efetua-se a representação gráfica dos valores obtidos para a concentração em solos de carácter local, de Cu e Zn, sob a forma de histograma, *boxplot* e gráfico Q-Q.

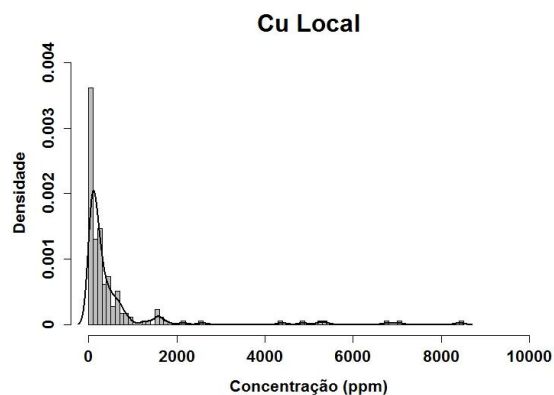


Figura 3.9 - Histograma de densidade de frequência da concentração de Cu de carácter local (amplitude da classe: 100 ppm).

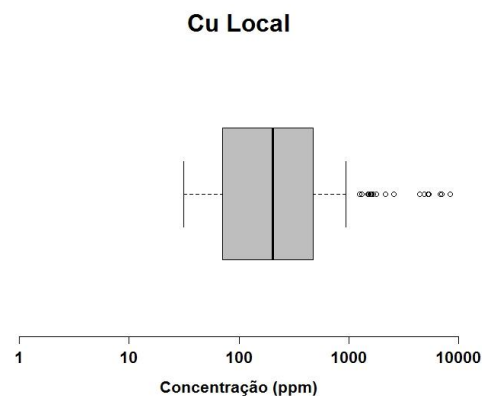


Figura 3.10 - *Boxplot* dos dados de concentração de Cu de carácter local.

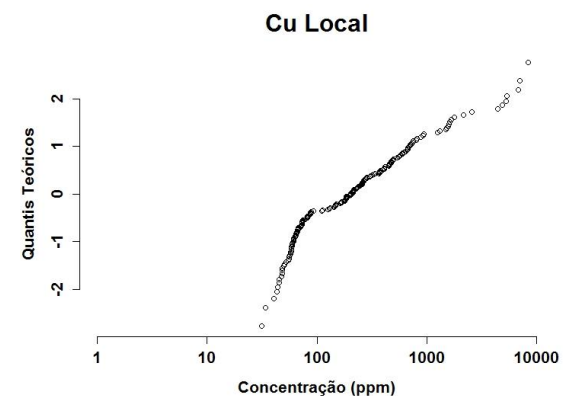


Figura 3.11 - Gráfico Q-Q dos dados de concentração de Cu de carácter local.

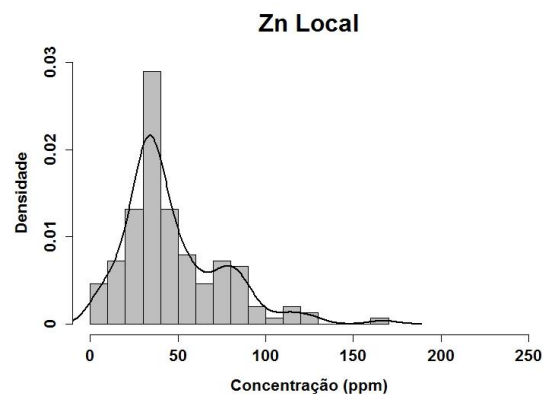


Figura 3.12 - Histograma de densidade de frequência da concentração em Zn do solo de carácter local (amplitude da classe: 10 ppm).

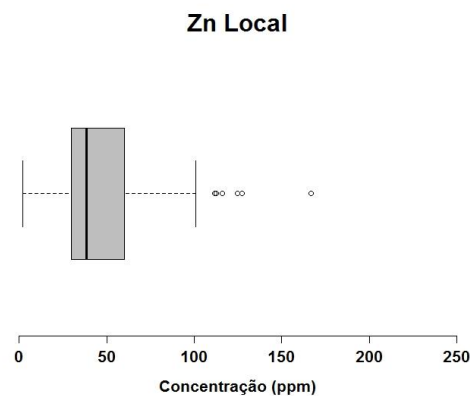


Figura 3.13 - *Boxplot* dos dados de concentração de Zn de carácter local.

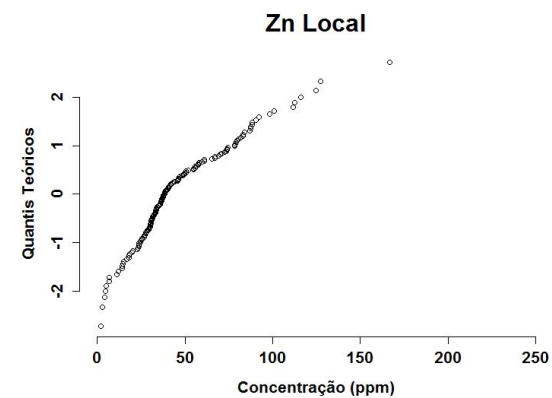


Figura 3.14 - Gráfico Q-Q dos dados de concentração de Zn de carácter local.

3.3.2 *Threshold* e fundo local

Apresenta-se na tabela 3.4 uma síntese estatística relativa aos dados de carácter local em estudo. As medidas obtidas para o Cu apresentam valores de *threshold* e de fundo geoquímico superiores ao verificado para o Zn.

Para ambos os elementos em estudo, o *threshold*² apresenta o valor mais conservador uma vez que, tal como já referido anteriormente, a mediana e o desvio absoluto da mediana apresentam uma menor influência dos *outliers*. Esta influência é observada no *threshold*¹ onde, no caso do Cu, o valor apresentado é 4,75 vezes superior ao *threshold*². Relativamente ao Zn, o *threshold*¹ e o *threshold*² diferem em 27 ppm.

Tal como verificado na geoquímica de solos de carácter regional, os valores médios e medianos do fundo geoquímico¹ são superiores aos apresentados pelo fundo geoquímico², para ambos os elementos.

Tabela 3.4 - *Threshold* e fundo geoquímico de Cu e Zn da campanha de geoquímica de solos da ZOM3D, datada de 2017.

Elemento	LOD (ppm)	Síntese Estatística			<i>Threshold</i> ¹ (ppm)	Fundo Geoquímico ¹ (ppm)			<i>Threshold</i> ² (ppm)	Fundo Geoquímico ² (ppm)		
		N	\bar{x} (ppm)	M _e (ppm)		N	\bar{x}	M _e		N	\bar{x}	M _e
Cu	9	177	563	203	2989	170	339	187	625	144	193	148
Zn	10	152	47	38	103	146	43	37	76	127	37	36

1 - Média + 2 x Desvio Padrão; 2- Mediana + 2 x Desvio Absoluto da Mediana; N- Número de observações; \bar{x} - Média; M_e- Mediana; LOD – Limite de Detecção.

3.3.3 Mapas locais de isotores

A interpolação dos teores locais de Cu e Zn pelo método IDW, relativos às campanhas de geoquímica de solos do projeto ZOM-3D, resultou no mapa de isotores das figuras 3.15 e 3.16.

O coeficiente de ponderação aplicado para o Cu e para o Zn foi de 25 e 3, respetivamente. O elevado coeficiente aplicado para o Cu deve-se ao facto da interpolação ser a mais conservadora, considerando a malha irregular e a dimensão da área interpolada.

A superfície de interpolação obtida possui concentrações entre 31,08 ppm e 7029,98 ppm, para o Cu, e entre 0,07 ppm e 164,68 ppm no caso do Zn. Em ambos os mapas considerou-se uma resolução de 0,1 m para cada pixel.

No mapa de isotores de Cu de carácter local (figura 3.15), identifica-se teores compreendidos entre 625 ppm e 8412 ppm no flanco leste da estrutura filoniana, representados por uma cor amarela, laranja e vermelha. Esta concentração é alongada e paralela à orientação da estrutura mineralizada principal, a qual constitui o núcleo da geomorfologia do sítio da Cova do Monge. A presente anomalia geoquímica resulta da deposição da ganga no flanco leste, tirando proveito da inclinação existente para uma rápida eliminação do material sem valor económico durante a exploração a céu aberto.

A sudoeste do filão de quartzo ocorre uma concentração anómala de Cu entre os 625 e 3000 ppm, definida por uma cor amarela e laranja, coincidente com uma zona depressiva compreendida entre as cotas 160 m e 175 m. Considera-se como resultante da remobilização e concentração de material da exploração mineira, inicialmente depositado no topo da encosta oeste do sítio da Cova do Monge, o qual ao longo do tempo foi remobilizado para cotas inferiores durante as atividades agrícolas e de limpeza dos terrenos. Adicionalmente, a norte desta zona depressiva, ocorre uma segunda concentração anómala de Cu com valores idênticos, entre os 165 m e 175 m de altitude, interpretada como resultante de processos semelhantes. A existência de atividades agrícolas e de limpeza de terrenos na encosta oeste justifica a maior dispersão da ganga neste flanco, comparativamente à encosta leste onde, devido ao declive, não se verificaram estas atividades.

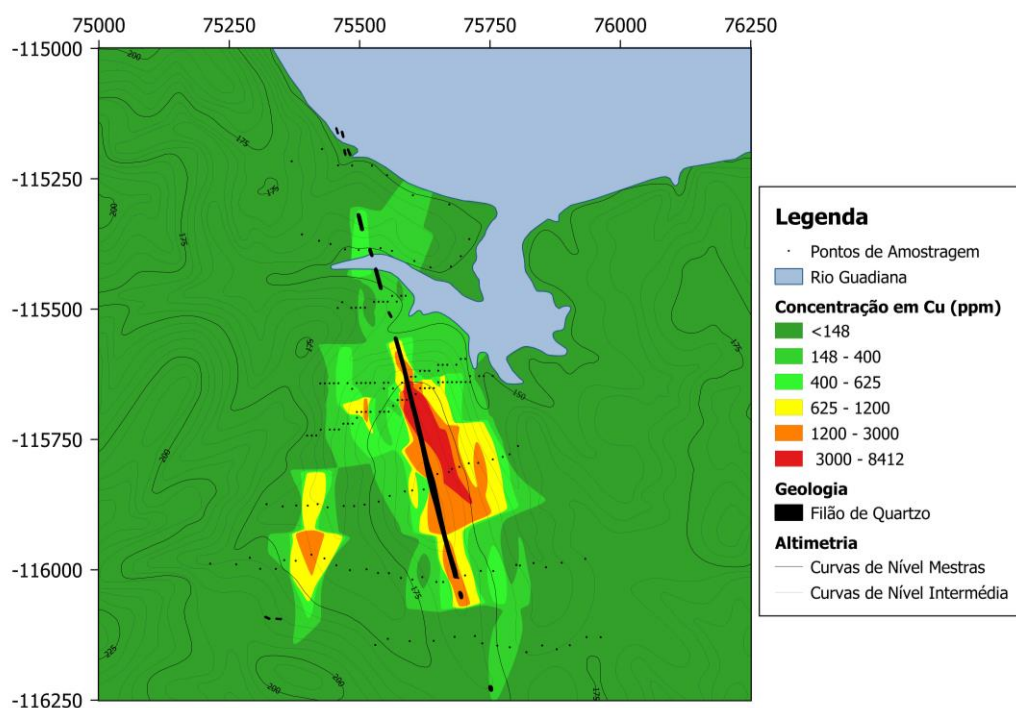


Figura 3.15 - Mapa de isotores para a concentração em Cu (ppm) de carácter local (Sistema de Coordenadas: ETRS89/Portugal TM06).

O mapa local de isotores de Zn é apresentado na figura 3.16. Destaca-se a ocorrência de concentrações inferiores a 36 ppm na área envolvente à estrutura mineralizada onde, contrariamente, predominam valores de Cu anómalos. Os valores de Zn compreendidos entre 60 ppm e 167 ppm, representados pelas cores amarela, laranja e vermelha, possuem uma distribuição espacial pouco esclarecedora. Por vezes, apresentam uma dispersão alongada com uma extremidade em cotas superiores e outra numa cota inferior, coincidente com curvas de níveis com convexidade para montante, ou seja, a linhas de água.

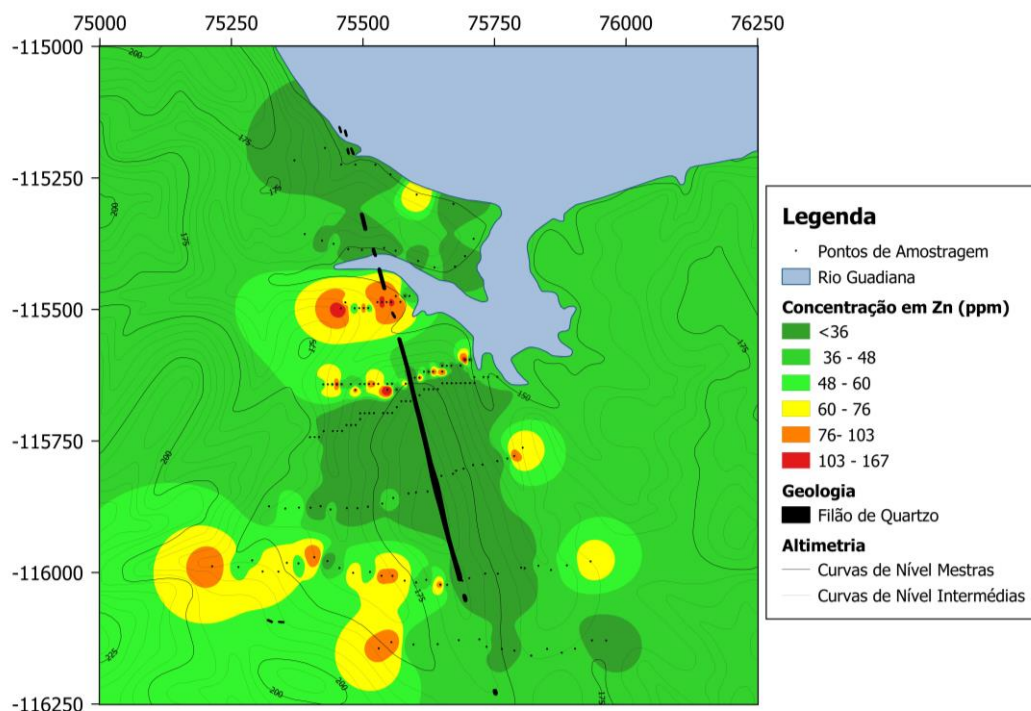


Figura 3.16 - Mapa de isotores para a concentração em Zn (ppm) de carácter local (Sistema de Coordenadas: ETRS89/Portugal TM06).

3.4 Geoquímica de solos local para o As, Cd, Cr, Co, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V

A utilização do equipamento de FRX-P permitiu analisar um conjunto de elementos mais alargado do que o disponível pelo SFM. Estas análises possibilitaram, também, uma abordagem elementar mais completa face a desenvolvida a nível regional. Foram analisados neste estudo o As, Cd, Cr, Co, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V. Apesar de não terem sido quantificados por se encontrarem em concentrações abaixo do limite de deteção, o equipamento de FRX-P identificou a existência de anomalias de Au e S. O Cu e o Zn são considerados apenas na estatística bivariada e multivariada, considerando que a análise estatística univariada e o cálculo do *threshold* foram abordados anteriormente (*vide* capítulo 3.3).

3.4.1 Análise estatística univariada

Na tabela 3.5 é apresentada a síntese da estatística descritiva para os elementos As, Cd, Cr, Co, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V. Para os casos em que se verificou valores inferiores a 10 ppm optou-se por apresentar duas casas decimais. O mesmo foi efetuado para os coeficientes de variação, de assimetria e de achatamento. Os valores considerados como NA correspondem às leituras onde o elemento encontrava-se abaixo do limite de deteção ou onde não existia.

Tabela 3.5 - Síntese da estatística descritiva para as concentrações de As, Cd, Cr, Co, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V da campanha de geoquímica de solos da ZOM-3D, datada de 2017.

	N	NA	Min (ppm)	Max (ppm)	Q ₁ (ppm)	Q ₃ (ppm)	\bar{x} (ppm)	M _e (ppm)	M ₀ (ppm)	S ²	S (ppm)	DAM (ppm)	CV (%)	G ₁	G ₂
As	177	0	6,01	208	14	34	28	21	13	642	25	12	89,14	3,69	19,19
Cd	177	0	0,08	0,90	0,31	0,71	0,49	0,41	0,28;0,34	0,05	0,21	0,26	43,55	0,10	-1,54
Co	177	0	4,03	139	8	20	20	15	17	428	21	8,73	104,12	3,23	11,60
Cr	177	7	0,52	381	45	97	79	74	72;97	3151	56	39	71,44	2,05	7,02
Hg	177	160	0,01	0,26	0,04	0,13	0,09	0,06	0,01;0,08	0,01	0,07	0,04	86,46	0,99	-0,15
Mn	177	0	270	8800	989	1716	1653	1319	a	2005913	1416	562	85,71	2,83	9,26
Ni	177	2	3,44	125	39	56	50	47	56	336	18	13	36,91	1,20	3,18
Pb	177	0	12	271	24	40	36	34	35	517	23	12	62,74	6,58	62,55
Sb	177	0	0,34	31	2,82	27	15	4,52	b	150	12	5,68	83,99	0,07	-1,94
Se	177	1	0,09	2,99	0,09	0,50	0,35	0,12	0,09	0,17	0,41	0,04	116,96	2,64	10,14
Ti	177	0	860	8846	2236	5858	4235	4646	c	4310436	2076	2293	49,02	-0,18	-1,21
V	177	8	4,72	182	89	142	112	132	d	2002	45	29	39,78	-0,95	-0,21
	N	NA	Min (%)	Max (%)	Q ₁ (%)	Q ₃ (%)	\bar{x} (%)	M _e (%)	M ₀ (%)	S ²	S (%)	DAM (%)	CV (%)	G ₁	G ₂
Fe	177	0	0,57	16,44	1,97	3,84	3,45	3,11	3,76	6,47	2,54	1,51	73,74	2,41	7,62

a) 940;1110;1121;1134;1140; 1211;1434;1435;1436;1465;1577 1974 b) 2,15; 2,18; 2,78; 2,82; 2,87; 2,88; 2,95; 3,07; 3,12; 3,22; 3,26; 3,50; 23,50; 24,18; 26,95; 26,96; 27,24; 27,98 c) 1540;4462;5138 d) 134;137;151

N- Número de observações; NA – Não disponível; Min – Mínimo; Max – Máximo; Q₁ – 1º Quantil; Q₃ – 3º Quantil; \bar{x} – Média; M_e – Mediana; M₀ – Moda; S²- Variância; S – Desvio Padrão; DAM- Desvio Absoluto da Mediana; CV - Coeficiente de Variação; G₁ – Coeficiente de Assimetria; G₂ -Coeficiente de Achatamento.

Observação: Para o cálculo da Moda os valores de Cd, Hg, Sb, Se, Fe foram arredondados à 2º casa decimal e os restantes elementos às unidades.

O Ti apresenta uma média de 4235 ppm e uma mediana de 4646 ppm, correspondendo ao valor máximo verificado entre os elementos analisados para as respectivas medidas estatísticas. Segue-se a este elemento o Mn, com 1653 e 1319 ppm, respetivamente. A concentração máxima verifica-se para os elementos mencionados, com 8846 ppm para o Ti e 8800 ppm para o Mn. Consequentemente, possuem os valores mais elevados de desvio padrão, quantificados em 2076 ppm para o Ti e 1416 ppm para o Mn. Relativamente à menor concentração amostral, definida por 0,01 ppm, foi obtida para o Hg. Este elemento é determinado por 0,9 ppm e 0,06 ppm, a qual corresponde à menor concentração média e mediana, respetivamente. Apesar das concentrações máximas mencionadas note-se que, analisando o terceiro quartil, apenas 25 % dos valores são superiores a 5858 ppm para o Ti e a 1716 ppm para o Mn. Complementarmente, estas concentrações máximas são superiores à concentração máxima verificada para o Cu.

Para o cálculo da moda os elementos Cd, Hg, Se e Fe foram arredondados previamente à segunda casa decimal, sendo os restantes à unidade. Como resultado, obteve-se dois valores para o caso do Cd, Cr e Hg, assim como três ou mais valores para o caso do Mn, Sb, Ti e V.

O Cd, Co e o Se apresentam um coeficiente de variação superior a 100%. O Ni, Ti e o V possuem um coeficiente inferior a 50 % e os restantes elementos entre os 50% e os 100%.

Verifica-se uma assimetria positiva, ou seja, um enviesamento à esquerda, para o caso do As, Cd, Co, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se e Fe. Por sua vez, o coeficiente de assimetria apresentado pelo V permite inferir uma distribuição assimétrica à esquerda para este elemento. No caso do Sb, Cd e o Ti, caracterizados por um coeficiente de assimetria de 0,07, 0,10 e -0,18, respetivamente, demonstram uma distribuição aproximadamente simétrica considerando a sua proximidade com o valor 0. O Pb é não só o elemento com a distribuição mais assimétrica, como também o que apresenta o maior achatamento.

Os coeficientes de achatamento obtidos permitem definir uma distribuição leptocúrtica (> 3) para o As, Co, Cr, Mn, Pb, Se e Fe, uma distribuição platicúrtica (< 3) para o Cd, Hg, Sb, Ti e V, e uma distribuição, aproximadamente, mesocúrtica (~ 3) para o Ni.

Tal como efetuado para a geoquímica de solos regional e local de Cu e Zn, efetua-se a representação gráfica sob a forma de histogramas, *boxplot* e gráfico Q-Q, permitindo analisar de forma intuitiva a distribuição das concentrações obtidas, os quartis, os *outliers* e, ainda, verificar o tipo de distribuição dos dados (normal, log-normal ou anómala). Considerando a quantidade de elementos analisados e, consequentemente, a elevada quantidade de representações gráficas, estas são apresentadas no Anexo X.

3.4.2 *Threshold* e fundo local

Na tabela 3.6 encontra-se a síntese relativa aos resultados obtidos para o *threshold* dos elementos As, Cd, Cr, Co, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V. Para os métodos de cálculo obtidos,

tanto com a aplicação da \bar{x} e o do S como da M_e e do DAM, apresenta-se o valor médio e mediano de fundo local. Adicionalmente, apresenta-se o número de amostras utilizadas (N) de acordo com o limite imposto pelo respetivo valor do *threshold*.

Para os elementos As, Co, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, V e Fe, o *threshold*¹ apresenta um valor superior ao *threshold*², verificando-se o oposto para os elementos Cd e Ti. Este facto resulta, em parte, da menor ou maior influência dos *outliers* nas medidas estatísticas utilizadas. Todavia, outros motivos contribuem para este facto, tais como o número de amostras consideradas e a amplitude das concentrações.

O elemento com maior quociente entre *threshold*¹ e *threshold*² é o Se, com uma concentração de 1,18 ppm e 0,19 ppm, respetivamente. Corresponde a uma diferença de, aproximadamente, seis vezes. Relativamente à diferença entre *thresholds*, o Mn apresenta uma disparidade de 2041 ppm, ao qual se segue o Ti com uma diferença 843 ppm.

O Hg é o elemento com menor quantidade de amostras no conjunto total dos elementos em estudo, detetado em 17 das 177 análises com FRX-P.

A aplicação de dois métodos de cálculo de *threshold* para o Cd e o V não possui diferença, considerando que apesar de obter-se um valor de *threshold* diferente este é, em ambos os casos, superior à concentração máxima verificada.

A concentração média e mediana nos solos apresenta, para cada elemento, um valor idêntico para o Co, Ni e Pb de acordo com o *threshold*¹, bem como para o Se no caso do *threshold*². A igualdade entre a concentração média e mediana permite inferir uma distribuição simétrica das concentrações, para o conjunto de dados correspondente. Assim, os elementos mencionados podem ser considerados como tendo uma distribuição normal e, nestes casos, a média poderá ser utilizada como medida estatística representativa. Porém, considerando que nos casos de distribuição simétrica a média é idêntica à mediana, e que nos restantes casos os dados apresentam uma diversidade de distribuições (normal, log-normal e anómala), uniformiza-se a utilização da mediana como medida estatística representativa.

Tabela 3.6 - *Threshold* e fundo geoquímico local para o As, Cd, Cr, Co, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti e V da campanha de geoquímica de solos da ZOM-3D, datada de 2017.

Elemento	LOD (ppm)	Síntese Estatística			<i>Threshold</i> ¹ (ppm)	Fundo Geoquímico ¹ (ppm)			<i>Threshold</i> ² (ppm)	Fundo Geoquímico ² (ppm)		
		N	\bar{x} (ppm)	M _e (ppm)		N	\bar{x}	M _e		N	\bar{x}	M _e
As	5	177	28	21	79	170	25	21	44	150	21	19
Cd*	-	177	0,49	0,41	0,92	177	0,49	0,41	0,93	177	0,49	0,41
Co	11	177	20	15	61	165	15	15	33	160	14	15
Cr	53	177	79	74	191	163	70	73	152	159	68	72
Hg*	-	17	0,09	0,06	0,24	17	0,09	0,06	0,14	14	0,06	0,05
Mn	46	177	1653	1319	4485	166	1348	1282	2444	157	1236	1237
Ni	10	175	50	47	86	166	47	47	73	159	45	47
Pb	5	177	36	34	82	173	34	34	59	166	32	33
Sb*	3	177	15	4,52	39	177	15	4,52	16	90	2,69	2,82
Se*	-	176	0,35	0,12	1,18	168	0,29	0,09	0,19	93	0,09	0,09
Ti	90	177	4235	4646	8388	176	4209	4622	9231	177	4235	4646
V	55	169	112	132	202	169	112	132	190	169	112	132
	LOD (%)		\bar{x} (%)	M_e (%)								
Fe	0,003	177	3,45	3,11	8,53	169	3,02	3,01	6,12	164	2,87	2,96

1 - Média + 2 x Desvio Padrão; 2- Mediana + 2 x Desvio Absoluto da Mediana; N- Número de observações; \bar{x} - Média; M_e- Mediana; * - Elementos com valores médios e/ou medianos muito próximos ou abaixo do Limite de Detecção (LOD).

3.4.3 Análise estatística bivariada

A determinação do coeficiente de correlação e do coeficiente de determinação entre duas variáveis, permite conhecer o grau de correlação entre ambas. O coeficiente de correlação de *Pearson* (r) varia entre -1 e 1, correspondendo o -1 a uma correlação linear perfeita negativa, 1 a uma correlação linear perfeita positiva, e 0 à inexistência de correlação linear. Note-se que, apesar de não existir uma correlação linear, pode existir uma correlação do tipo não-linear. No caso do coeficiente de determinação (R^2), este permite analisar o grau de correlação entre duas variáveis. Contudo não avalia se a correlação é linear, negativa ou positiva, mas sim qual a intensidade da correlação entre variáveis numa escala entre 0 e 1, onde o 1 corresponde à correlação máxima e 0 à inexistência de correlação.

Na figura 3.17 apresenta-se uma matriz de correlação de acordo com a biblioteca *corrplot* do R, permitindo uma interpretação intuitiva e geral das correlações de *Pearson* de menor ou maior intensidade. Adicionalmente, permite a verificação da direção da correlação, ou seja, negativa ou positiva.

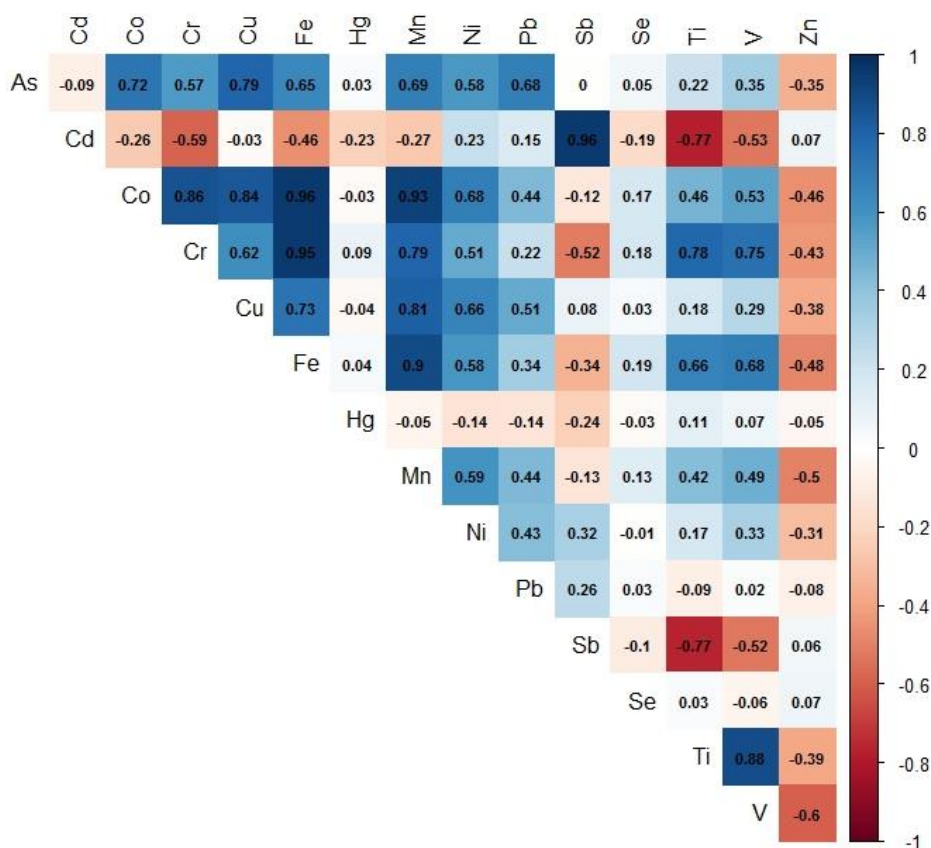


Figura 3.17 - Matriz de correlação de geoquímica de solos do projeto ZOM-3D (n=177) de acordo com o coeficiente de correlação de *Pearson*, obtido para os elementos As, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V e Zn.

Observa-se uma predominância das correlações positivas, com destaque para as correlações dos elementos Cd-Sb, Cr-Fe-Co-Cu-Mn e Ti-V. Sobressaem como correlações negativas os pares de elementos Cd-Cr, Cd-Ti, Sb-Ti. Os coeficientes de correlação e o coeficiente de determinação, bem como a respetiva matriz e diagramas de dispersão, são apresentados para todos os elementos no Anexo X.

Na tabela 3.7 é apresentado uma síntese dos pares de elementos que possuem uma correlação excelente, segundo os limites considerados por Ferreira (2015)¹¹.

Tabela 3.7 - Pares de elementos com correlações excelentes de acordo com o valor de $r > 0,8$.

Elementos	Cd-Sb	Co-Fe	Cr-Fe	Co-Mn	Fe-Mn	Ti-V	Co-Cr	Co-Cu	Cu -Mn
r	0,96	0,96	0,95	0,93	0,90	0,88	0,86	0,84	0,81

3.4.4 Análise estatística multivariada

A análise multivariada permite analisar as relações entre os 15 elementos analisados na geoquímica de solos local. Através da avaliação do grau de aproximação entre elementos

¹¹ Ferreira (2015) considera cinco graus de correlação de acordo com o coeficiente de correlação: Excelente [-1; -0,8[u]0,8;1]; Muito boa [-0,8; -0,7[u]0,7;0,8]; Boa [-0,7; -0,6[u]0,6;0,7]; Fraca [-0,6; -0,5[u]0,5;0,6]; Ausente [-0; -0,5[u]0,5];

consegue-se assumir a existência de *clusters*, caso existam. A classificação em árvore permite, por sua vez, compreender a hierarquização existente entre os elementos. No presente estudo aplicou-se a análise de *clusters* tendo por base os valores dos coeficientes de determinação, sendo a criação de *clusters* efetuada de acordo com a medida de distância obtida através da aplicação da equação $1-R^2$, da qual resulta uma distância entre 0 e 1.

A figura 3.18 apresenta o dendrograma com a especificação de *clusters* segundo uma distância de $1-R^2=0,3$. De uma forma geral, obtém-se 8 elementos isolados e 3 *clusters* que respeitam a classificação de *Goldschmidt*.

Analisando individualmente os *clusters* da figura 3.18 observa-se um grupo formado por calcófilos, constituído pelos elementos Cd e Sb. Estes elementos apresentam uma afinidade com o enxofre e, conseqüentemente, estão associados a sulfuretos. Note-se, no entanto, que ambos os elementos apresentam uma concentração inferior ao limite de deteção, tal como apresentado na tabela 3.6. Destaca-se, também, um *cluster* de litófilos, constituído pelos elementos Ti e V, ou seja, elementos com afinidade com o Si e, portanto, associados a silicatos. Por último, identifica-se um *cluster* constituído pelos elementos Mn, Co e Fe, os quais correspondem a elementos siderófilos, isto é, a elementos com afinidade química ao Fe, interpretados como associados a óxidos.

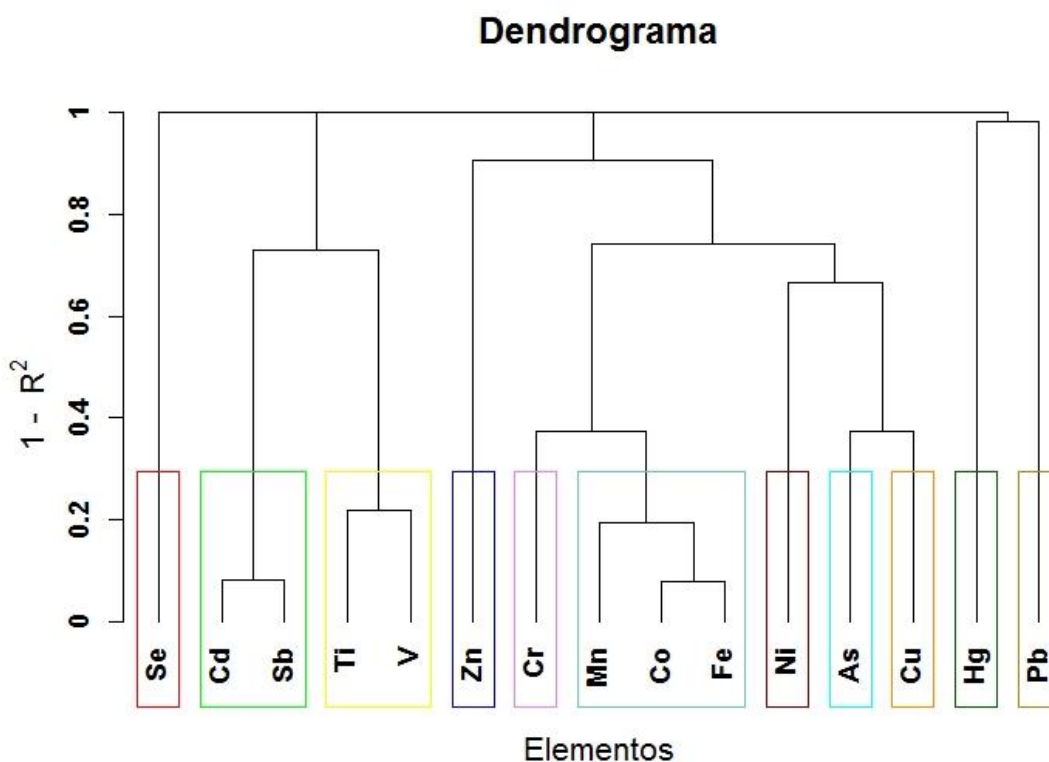


Figura 3.18 - Dendrograma relativo à geoquímica de solos do projeto ZOM-3D (n=177), com os *clusters* e os elementos isolados, correspondentes a uma distância de $1-R^2=0,3$.

Capítulo 4

Petrografia e Mineralogia

CAPÍTULO 4 - PETROGRAFIA E MINERALOGIA

4.1 Introdução

No presente capítulo são descritas macroscopicamente e microscopicamente as unidades litoestratigráficas que constituem o encaixante da mineralização, bem como as estruturas filonianas que foram encontradas. A petrografia e mineralogia apresentadas baseiam-se em amostras da sondagem SD.M4 (ver tabela 1.2).

Na descrição efetuada para a sondagem referida, Oliveira (1982) define essencialmente três litótipos: i) psamitos micáceos, ii) xistos cinzentos escuros e iii) xistos siliciosos/metavulcanitos ácidos. A conciliação desta descrição com a cartografia 1:5000, efetuada pelo mesmo autor, assim como os levantamentos efetuados no âmbito do projeto ZOM-3D, permite propor que na realidade existam apenas duas unidades metassedimentares. A descrição abaixo apresentada indica que se deverá incluir os xistos siliciosos/metavulcanitos ácidos na unidade dos psamitos micáceos, como se poderá antever pela leitura do capítulo 4.2.3.

As estruturas filonianas são descritas a partir de amostras da sondagem, quer com base em fragmentos de quartzo isolados, quer a partir de veios que se encontram a cortar as unidades metassedimentares nos testemunhos de sondagem recolhidos.

A figura 4.1 apresenta o log da sondagem segundo a interpretação descrita na presente dissertação, assim com a localização das amostras recolhidas e estudadas. A tabela 4.1 mostra, por sua vez, a descrição da sondagem apresentada por Oliveira (1982).

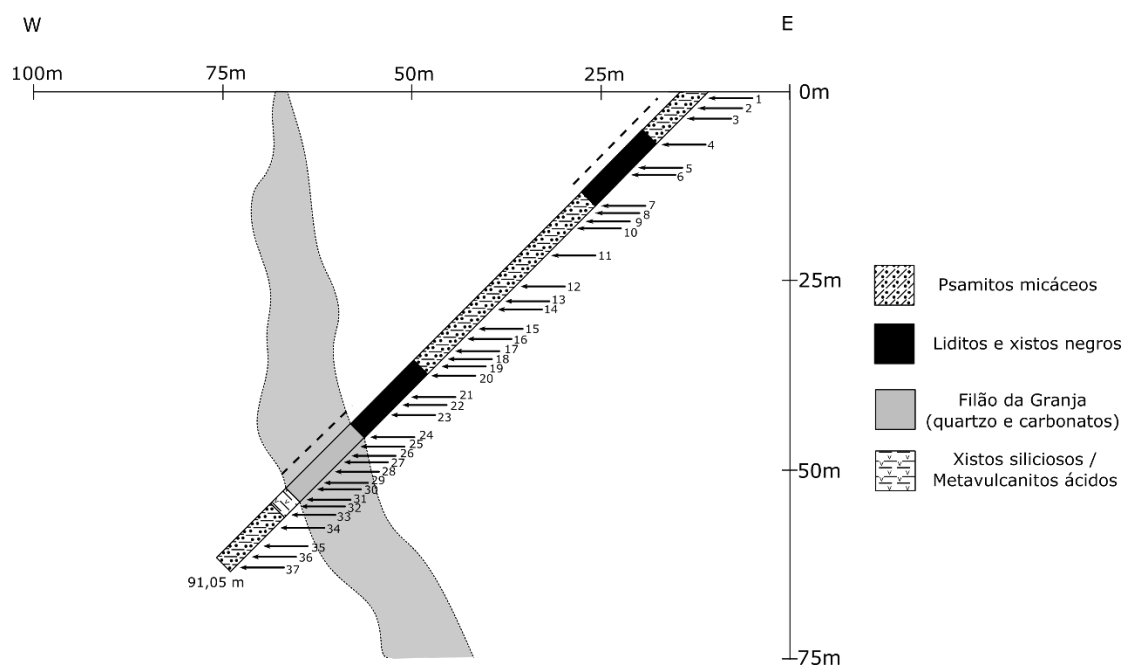


Figura 4.1 - Perfil simplificado da sondagem SD.M4 com a localização das amostras estudadas. A tracejado indica-se as secções com perda significativa de testemunho.

Tabela 4.1 - Log da sondagem SD.M4 efetuado por Vitor Oliveira em 1982.

Área: Rosário (Mociços) Filão		Data: 10/09/1982	Classificação de: Vitor Oliveira
Distância à origem (m)	Estratificação/Xistosidade	Descrição das Rochas e Minerais	
		Litologia-mineralogia-características físicas-microtectónica - metamorfismo-qualidade e tipo de distribuição de minerais	
Material solto da escombreira			
0.50			
	45°; S0 (3 m) 20°; S0 (4.80 m)	Psamitos micáceos, acastanhados, com pequenos leitos de natureza quartzítica (grauvaques da Serra Colorada)	
5.70			
	Fraturado	Zona fraturada com quartzo e grauvaques da Serra Colorada.	
6.25			
	Fraturado	?	
7.05			
	Fraturado	Zona fraturada com quartzo preenchido por óxidos ferruginosos e grauvaques da Serra Colorada Recuperação de 1 m	
13.70			
	Fraturado	Continuação da zona fraturada com liditos e, mais raramente, quartzo. Recuperação de 2,2 m	
21.70			
	50°; S0 (22,50 m) 30°; S1-S0 (26,20 m)	Psamitos micáceos acastanhados e cinzentos escuros, com pequenos leitos de natureza quartzítica. Por vezes é acompanhado de quartzo, essencialmente entre os 28,00 m e os 33,00 m.	
28.00			
	Qtz	Quartzo com alguns óxidos ferruginosos.	
29.00			
	25°; S1-S0 (31,50 m)	A partir dos 39.26 m torna-se algo esverdeado a muito silicioso. Aos 51,70 aos 52,20 m ocorrem vénulas de pirite e calcopirite, associadas a dolomite e quartzo. Passagem gradual.	
	5°; S1-S0 (36,40 m)		
	50°; S1-S0 (42 m)		
53.05			
	80°; S1-S0 (53,10 m) 10°; S1-S0 (59,50 m) 20°; S1-S0 (63,60 m)	Xistos cinzentos escuros com lentilhas quartzíticas (Formação Silúrica?). Por vezes cortadas por pequenas vénulas de dolomite	
65.20		Não se vê a natureza do contacto	
		Filão de Quartzo com dolomites associadas. Bastante fraturado, apresentando por vezes textura brechóide e raríssima pontuações e marcas de calcopirite, sobretudo entre os 74,82 m e 78,00 m. Recuperação de 4,50 m de testemunho.	
78.50			
	70°; S1-S0 (84 m)	Rocha muito siliciosa clara, com tonalidades amarelas e esverdeadas devido à presença de sericite. Encontra-se xistificada. Macroscopicamente assemelha-se a um metavulcanito ácido, no entanto pode tratar-se de um xisto silicioso caso tivesse sofrido fenómenos de metassomatismo. No entanto classificamo-la como metavulcanito ácido, semelhante às rochas de St. Ildefonso.	
	20°; S1-S0 (90.40 m)		
91.15			

4.2 Unidades metassedimentares

As unidades encaixantes da estrutura mineralizada correspondem a uma sequência metassedimentar, e são correlacionáveis com as formações definidas por Oliveira *et al.* (1991), sendo os psamitos micáceos correspondentes à Formação de Colorada (topo do Ordovício) e os liditos e xistos negros correlacionáveis com a Formação dos Xistos com Nódulos (Silúrico). Pode-se confrontar estas unidades com o descrito no mapa geológico da figura 1.9.

4.2.1 Formação de Colorada - Psamitos micáceos

A Formação de Colorada é representada na sondagem por psamitos micáceos, a qual é caracterizada, macroscopicamente, por uma alternância rítmica entre níveis pelíticos e níveis psamíticos, os quais apresentam espessuras milimétricas a centimétricas. As fronteiras entre os níveis psamíticos e pelíticos são, geralmente, bem definidas. Nas amostras com maior grau de deformação os níveis psamíticos estão *boudinados* (figura 4.2-A).

Nas amostras mais superficiais da sondagem, identificam-se óxidos e hidróxidos de Mn em estruturas semelhantes a dendrites, subparalelas a planos de crenulação. São caracterizados por uma cor cinzenta escura e por um aspeto metálico característico. Os óxidos e hidróxidos de Fe estão também presentes, surgindo como filonetes milimétricos orientados segundo direções paralelas ou oblíquas ao bandado composicional (figura 4.2-B).

Nas amostras mais profundas da sondagem observam-se uma maior presença de veios de quartzo leitoso deformados (figura 4.2-C), bem como veios de natureza carbonatada oblíquos ao bandado composicional (figura 4.2-D).

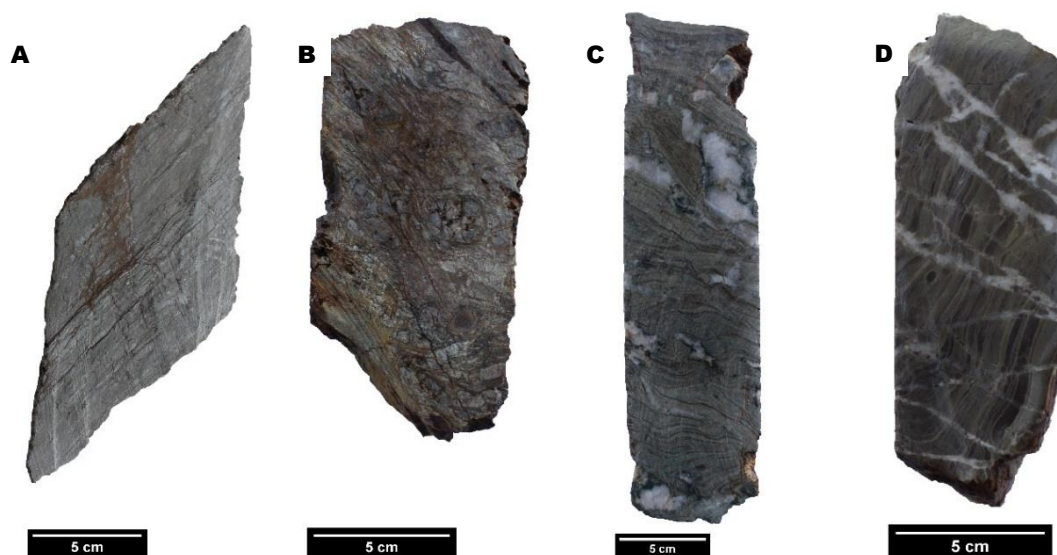


Figura 4.2 - Psamitos micáceos (Fm. de Colorada) intersetados pela sondagem SD.M4. A) Amostra SD.4-01, pouco alterada, onde observam-se alternâncias de níveis psamíticos boudinados e níveis pelíticos, assim como óxidos de ferro; B) Amostra SD.4-08 mais deformada que a anterior, com profusão de óxidos de ferro; C) Amostra SD.4-13, definida por alternâncias entre níveis psamíticos e níveis pelíticos, observando-se veios de quartzo leitoso deformados; D) Amostra SD.4-37, onde se destacam filonetes de carbonatos com uma orientação oblíqua ao bandado composicional.

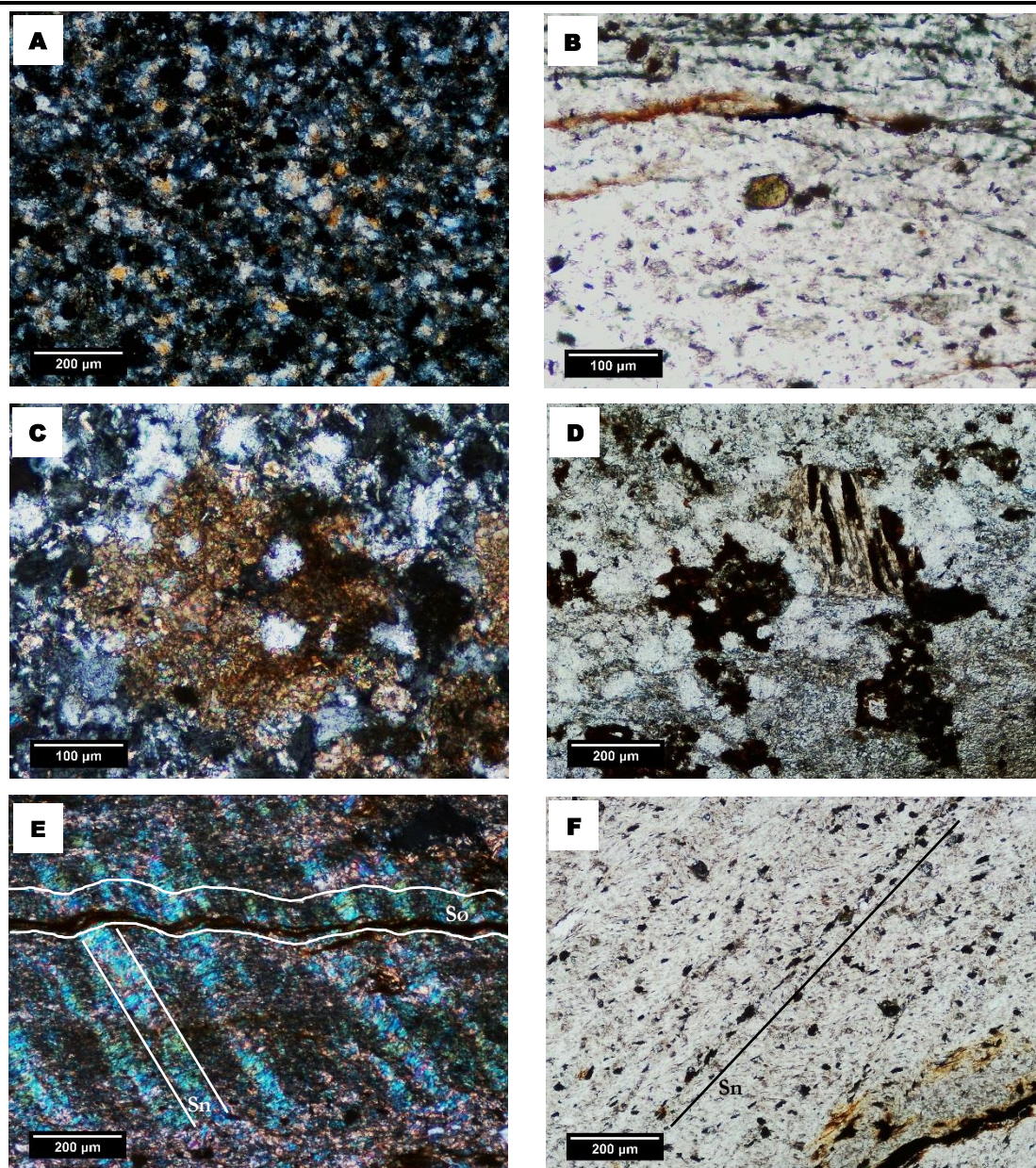
Os níveis psamíticos são constituídos por grãos de quartzo monocristalino, equigranulares, com bordos irregulares, extinção ondulante e dimensões na ordem das dezenas de micras (estampa 1-A). Esporadicamente nestes níveis observam-se cristais de turmalina subédricos e de cores variadas (estampa 1-B). Alguns destes níveis possuem carbonatos disseminados intergranularmente (estampa 1-C), assim como minerais opacos (estampa 1-D).

Os níveis pelíticos são constituídos por filossilicatos, essencialmente sericite e alguma clorite disseminada. Muitas vezes a sericite apresenta uma orientação tectónica oblíqua ao bandado composicional (estampa 1-E). Nos níveis pelíticos onde o desenvolvimento de crenulação é mais visível, ocorrem minerais opacos dispostos segundo a orientação tectónica (estampa 1-F). Verifica-se, ainda, a ocorrência de grãos de minerais opacos de maiores dimensões, com formas euédricas, correspondendo possivelmente a pirite oxidada (estampa 2-A).

Os veios de quartzo tardios estão deformados e apresentam formas sigmoides (estampa 2-B). São constituídos por grãos anédricos e inequigranulares, de dimensão micrométrica a milimétrica, com bordos irregulares e extinção ondulante. Nos grãos de maior dimensão observa-se subgranulação. Também se observa uma sericite intragranular (estampa 2-C), assim como clorite vermicular (estampa 2-D). Observam-se, ainda, carbonatos em fraturas que cortam, exclusivamente, os veios (estampa 2-E).

Pontualmente, identifica-se uma elevada quantidade de cavidades disseminadas nesta unidade, com formas anédricas a subeuédricas e de dimensão, por vezes, quase milimétrica, que poderão ser *boxwork* (estampa 2-F).

Estampa 1 - Microfotografias da unidade dos Psamitos micáceos: A) SD.4-03#L2.1 NC 5X; B) SD.4-10#L1.21 NP 10X; C) SD.4-14A#L1.3 NC 10X; D) SD.4-15#L2.5 NP 5X; E) SD.4-15#L1.4 NC 5X; F) SD.4-09A#L1.4 NP 5X.



A) Nível psamítico constituído por grãos de quartzo monocristalinos, equigranulares e definidos por formas anédricas, regularmente com sericite intergranular. Relativamente aos minerais opacos disseminados em todo o nível, apresentam um tamanho semelhante ao dos grãos de quartzo (NC);

B) Numa posição central da microfotografia correspondente aos nicóis paralelos, identifica-se um mineral com tons amarelos, possivelmente turmalina (NP);

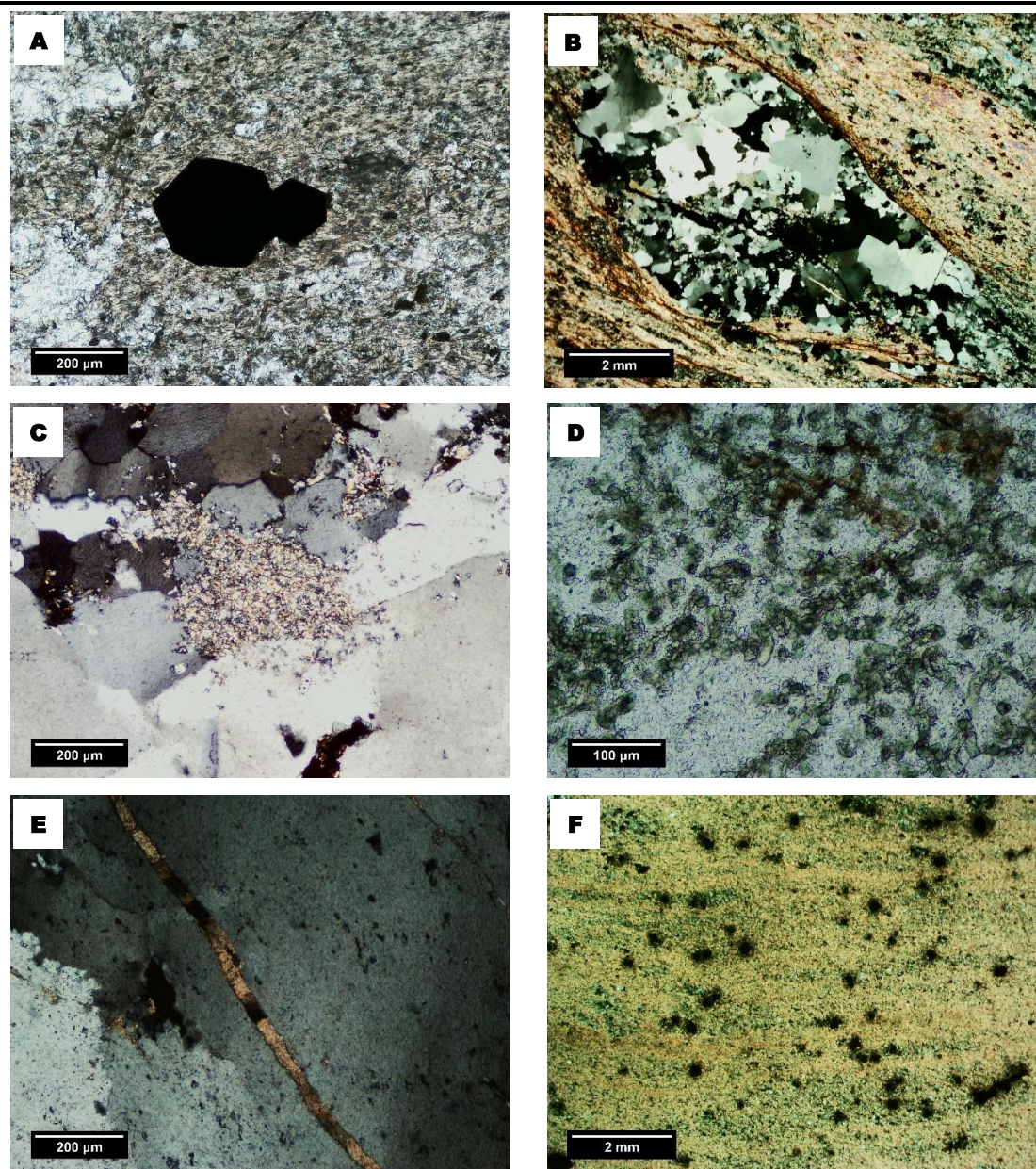
C) Detalhe petrográfico de carbonatos intergranulares nos níveis psamíticos, constituindo estruturas com formas aproximadamente circulares (NC);

D) Pormenor de minerais opacos intergranulares num nível psamítico, com inclusões de grãos de quartzo do respetivo nível. Observa-se sericite recristalizada com minerais opacos dispostos paralelamente à direção de clivagem (NP);

E) Nível pelítico constituído por micas marcando uma foliação crenulada (NC);

F) Nível pelítico com opacos disseminados e minerais opacos dispostos segundo uma direção paralela à clivagem de crenulação, oblíqua ao bandado composicional (NP).

Estampa 2 - Microfotografias da unidade dos Psamitos micáceos: A) SD.4-26#L1.16 NP 5X; B) SD.4-08#L1.7 NC 0.8X; C) SD.4-08#L1.4 NC 5X; D) SD.4-10#L1.24 NP 10X; E) SD.4-16#L1.3 NC 5X; F) SD.4-18B#L1.7 NC 0.8X.



- A) Aglomerado de opacos, com formas euédricas e uma dimensão na ordem das centenas de micras, disseminado num nível pelítico (NP);
- B) Veio de quartzo deformado, caracterizado por uma forma sigmoide, constituído por grãos de quartzo inequigranulares e com extinção ondulante. Nos bordos observa-se uma densa concentração de filonets de minerais opacos, a qual ramifica para o interior (NC);
- C) Aglomerado de sericite intragranular no fragmento com forma sigmoide apresentado na microfotografia B da presente estampa (NC);
- D) Detalhe petrográfico da clorite vermicular de cor verde, a qual ocorre intragranularmente nos grãos de quartzo dos veios de quartzo deformados (NP);
- E) Pormenor petrográfico de um dos filonets micrométricos constituídos por carbonatos, a cortar os veios de quartzo contemporâneos dos veios deformados apresentados na microfotografia B da estampa 2 (NC);
- F) Aspeto dos níveis pelíticos, constituídos por filossilicatos, nos quais observam-se diversas cavidades disseminadas, possivelmente *boxwork* (NC).

4.2.2 Formação dos Xistos com Nódulos - Liditos e xistos negros

A Formação Xistos com Nódulos está representada por liditos e xistos negros, sendo definida, macroscopicamente, por intercalações entre níveis psamíticos e níveis carbonosos silicificados. Os níveis apresentam espessura milimétrica a centimétrica, sendo que os níveis psamíticos apresentam-se deformados (figura 4.3-A). Nesta unidade ocorrem filonetes (figura 4.3-B) e fendas de tração (figura 4.3-C), constituídas por carbonatos e com espessuras milimétricas. É possível identificar a olho nu pirite disseminada nesta unidade, provavelmente diagenética.

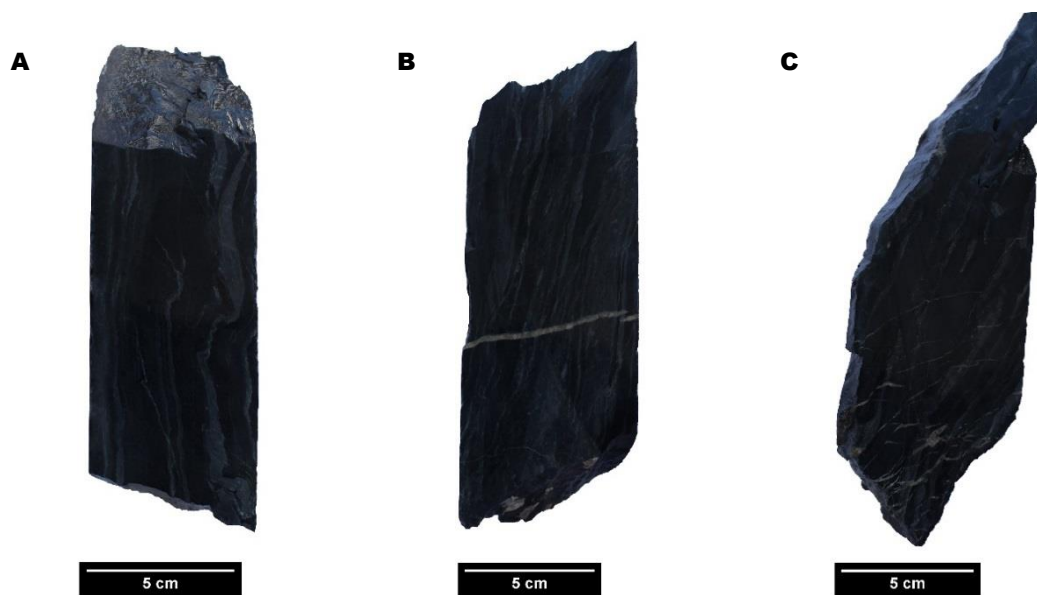


Figura 4.3 - Testemunhos da sondagem SD.M4, correspondente aos liditos e xistos negros (Fm. dos Xistos com Nódulos). A) Amostra SD.4-21, onde observa-se a intercalação entre níveis psamíticos e níveis carbonosos silicificados, estes últimos com forte deformação; B) Amostra SD.4-23, a qual apresenta um filonete de carbonatos de espessura milimétrica, orientado obliquamente ao bandado composicional; C) Amostra SD.4-24, caracterizada por fendas de tração preenchidas por carbonatos.

Os níveis psamíticos são constituídos por grãos de quartzo equigranulares, com uma dimensão na ordem das dezenas de micras, com extinção ondulante e bordos irregulares (estampa 3-A). Estes níveis apresentam sericite e clorite dispersa entre os grãos. Esporadicamente, observam-se cristais micrométricos de turmalina de cor castanha, verde e amarela (estampa 3-B). Nestes níveis ocorre pirite em aglomerados subparalelos ao bandado composicional (estampa 3-C). Os níveis psamíticos apresentam muitas vezes boudinagem, assim como uma fraturação segundo uma direção oblíqua ao bandado composicional (estampa 3-D).

Os níveis pelítico-carbonosos são caracterizados pela presença de grãos de quartzo e aglomerados lenticulares ou oóides. São constituídos por material silicioso ou por filossilicatos e carbonatos, os quais se encontram dispersos numa matriz de material carbonoso. É possível observar sericite em palhetas que acompanha o bandado composicional (estampa 3-E). Nas amostras mais próximas da superfície predominam os materiais mais siliciosos e, nas mais profundas, os aglomerados e oóides são essencialmente constituídos por filossilicatos. Os aglomerados lenticulares

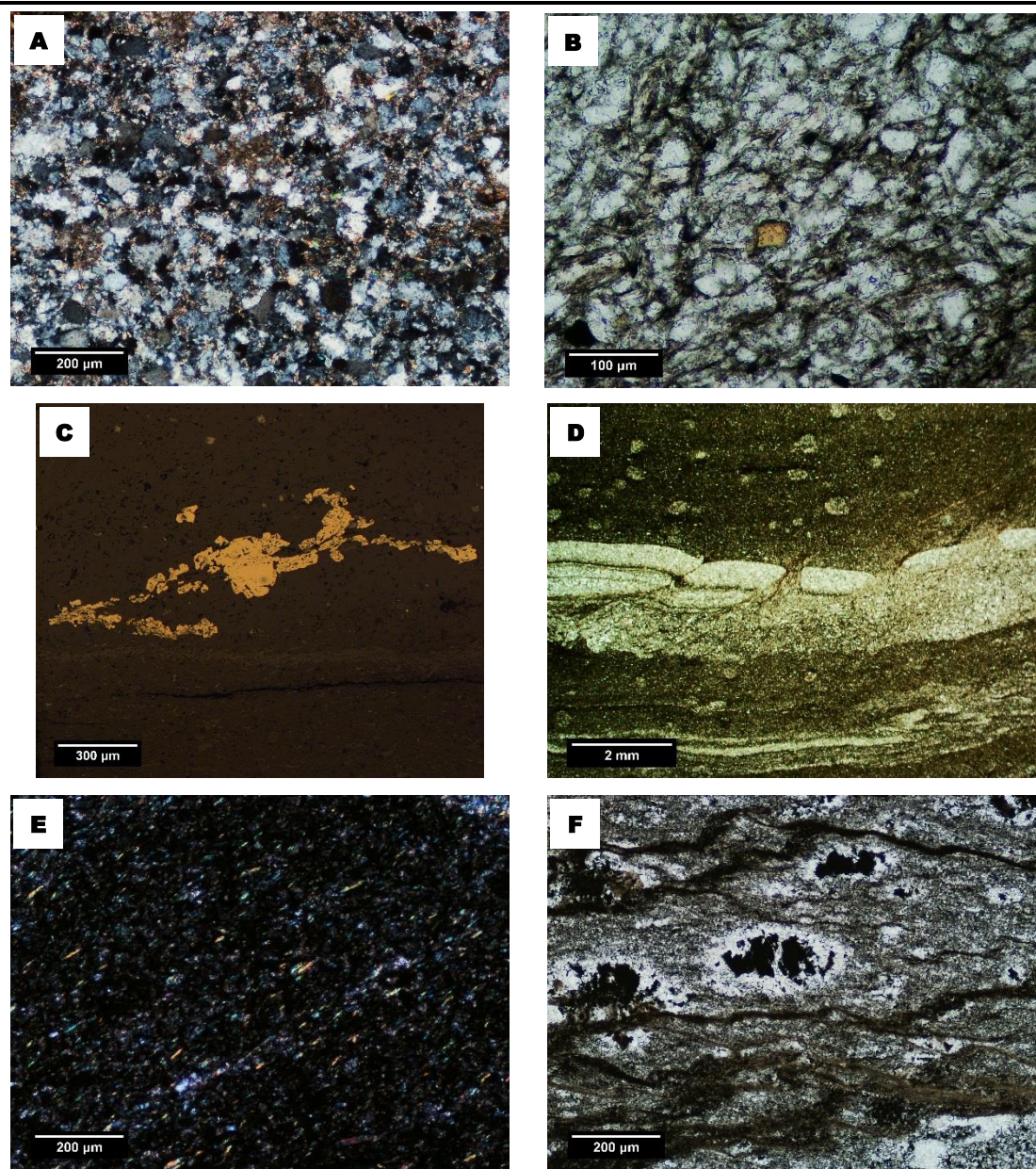
e oóides estão alongados paralelamente ao bandado composicional e possuem sulfuretos no seu núcleo (estampa 3-F). Nestes núcleos identifica-se pirite (estampa 4-A).

Os níveis psamíticos apresentam-se transformados por fenómenos de carbonatação acompanhada pela presença de sulfuretos (estampa 4-B), tendo sido possível identificar quer pirite quer calcopirite (estampa 4-C). Filonetes de carbonatos podem também ser vistos a cortar os aglomerados de pirite dos níveis psamíticos. Nos níveis pelítico-carbonosos a pirite ocorre como grãos individualizados de dimensão milimétrica, e orientados segundo uma direção tectónica oblíqua ao bandado composicional (estampa 4-D).

Os níveis pelítico-carbonosos apresentam uma crenulação marcada pela reorientação dos cristais de sericite. Em alguns dos aglomerados lenticulares e oóides, bem como em cristais de pirite, pode-se observar a presença de *fringe structures* materializadas por grãos de quartzo alongados e curvos (estampa 4-E). Nestes níveis ocorrem ainda fendas de tração preenchidas por material de natureza carbonatada (estampa 4-F).

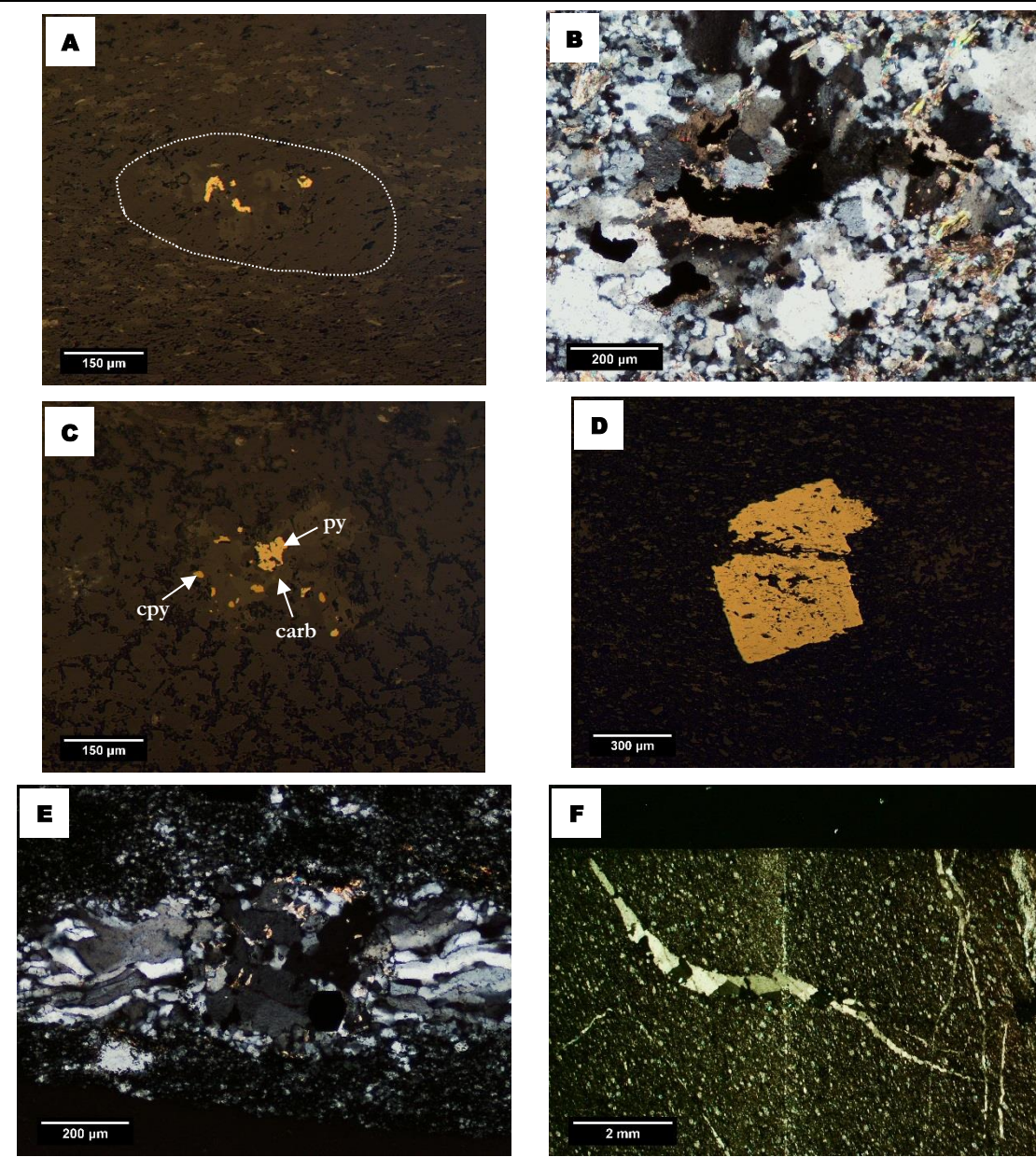
Relativamente aos níveis psamíticos observa-se, para além dos comportamentos frágil-dúctil descritos, comportamentos frágeis materializados pela fraturação dos níveis psamíticos. Estas estruturas são representativas de processos de deformação progressivos e contínuos.

Estampa 3 - Microfotografias da unidade dos Líditos e xistos negros: A) SD.4-20#L1.1 NC 5X; B) SD.4-21#L1.13 NP 10X; C) SD.4-21#S1.1 NP 10X; D) SD.4-21#L1.4 NC 0.8X; E) SD.4-21#L1.3 NC 5X; F) SD.4-06#L1.3 NP 5X.



- A) Os níveis psamítico são constituídos por grãos de quartzo monocristalinos, equigranulares, com extinção ondulante e bordos irregulares. Intergranularmente observa-se sericite e carbonatos (NC);
- B) Intergranularmente nos níveis psamíticos identificou-se turmalina com tons amarelos (NP);
- C) Observam-se aglomerados de pirite nos níveis de natureza siliciosa, os quais atingem uma extensão milimétrica e apresentam uma orientação subparalela ao bandado composicional (NP);
- D) Detalhe da fraturação de um nível psamítico, intercalado entre níveis carbonosos com estruturas lenticulares e oóides disseminadas (NC);
- E) Níveis carbonosos caracterizados pela abundância de material carbonoso de grão fino, e por palhetas de micas paralelas ao bandado composicional (NC);
- F) Microfotografia em nicóis paralelos onde observa-se com maior facilidade as estruturas oóides, constituídas por grãos de quartzo com sulfuretos no núcleo, disseminadas nos níveis carbonosos (NP).

Estampa 4 - Microfotografias da unidade dos Liditos e xistos negros: A) SD.4-21#S4.5 NP 20X; B) SD.4-23#L1.11 NC 5X; C) SD.4-21#S4.2 NP 20X; D) SD.4-21#S4.10 NP 10X; E) SD.4-05A#L1.14 NC 5X; F) SD.4-24#L1.3 NC 0.8X.



A) Estrutura com forma oóide disseminada nos níveis carbonosos (assinalada pela linha a tracejado de cor branca), com pirite anédrica e de dimensão micrométrica numa posição central (NP);

B) Concentração de grãos de quartzo nos níveis psamíticos de dimensão superior a 100 micras, aproximadamente. Apresentam extinção ondulante, bordos irregulares e uma textura de recristalização dinâmica de quartzo. Associados a estas concentrações de grãos de quartzo observam-se carbonatos, opacos e micas (NC);

C) Nos níveis psamíticos e adjacente a carbonatos (carb) caracterizados por uma cor cinzenta clara em nicóis paralelos na análise petrográfica de luz refletida, observa-se pirite (py) e calcopirite (cpy). Estes minerais metálicos ocorrem como grãos com formas anédricas e de dimensão na ordem das dezenas de micras. Note-se que, em nicóis paralelos, a pirite apresenta uma cor amarela e a calcopirite uma cor laranja (NP);

D) Grão de pirite subeuédrico com 0,6 mm de comprimento máximo, disseminado num nível carbonoso. Possui inclusões de minerais translúcidos que constituem o respetivo nível. Neste caso em particular, a pirite apresenta-se fraturada segundo um plano paralelo a S0 (NP).

E) *Fringe Structure* com um núcleo circular constituído por grãos de quartzo anédricos com sericite intragranular. Nas zonas de sombra de pressão observam-se grãos de quartzo alongados, com extinção ondulante e com uma forma curva (NC);

F) *Tension gash* de natureza carbonatada disseminado no nível pelito-carbonoso, fraturado numa posição central segundo um plano paralelo ao bandado composicional (NC).

4.2.3 Formação de Colorada - Xistos siliciosos

Oliveira (1982) refere, nos níveis a muro do veio de quartzo principal, a ocorrência de litótipos que descreve como unidades xistentas silicificadas e que considera como podendo ser metavulcanitos ácidos por comparação com as unidades de Santo Ildefonso. No entanto, a análise petrográfica efetuada a estas rochas aponta para que estas unidades correspondam a uma fácies recrystalizada dos Psamíticos micáceos (capítulo 4.2.1), hipótese também levantada pelo autor referido. Optou-se por descrever esta unidade de forma separada para tornar claras as observações realizadas.

Esta litologia apresenta uma textura semelhante a um sedimento silicioso fosco. De forma disseminada ocorre pirite de dimensão micrométrica a milimétrica, assim como carbonatos com tonalidades acastanhadas (figura 4.4-A) e esbranquiçadas (figura 4.4-B).

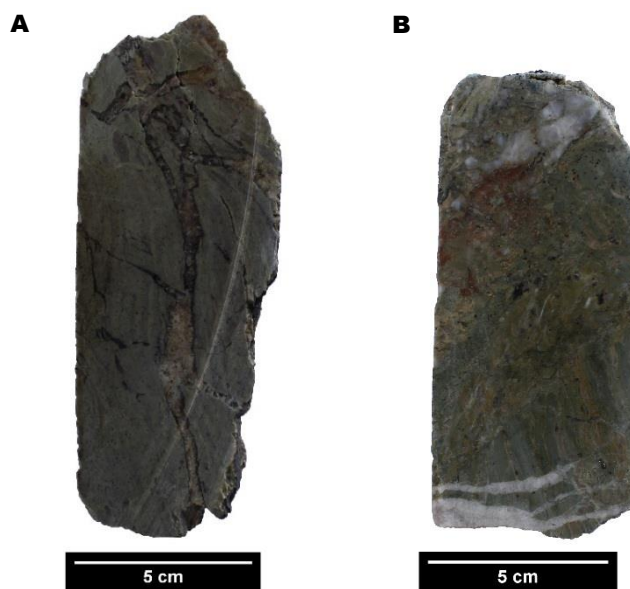


Figura 4.4 - Testemunhos da sondagem SD.M4 correspondentes à fácies recrystalizada dos psamíticos micáceos (Fm. de Colorada). A) Amostra SD.4-32, definida por um bandado composicional incipiente e uma textura semelhante a um material cerâmico fosco. Apresenta veios de carbonatos oblíquos e paralelos ao bandado composicional; B) Amostra SD.4-33, caracterizada por um elevado grau de silicificação, observando-se uma textura brechóide na metade superior, e um bandado composicional incipiente na metade inferior, cortado por veios de carbonatos.

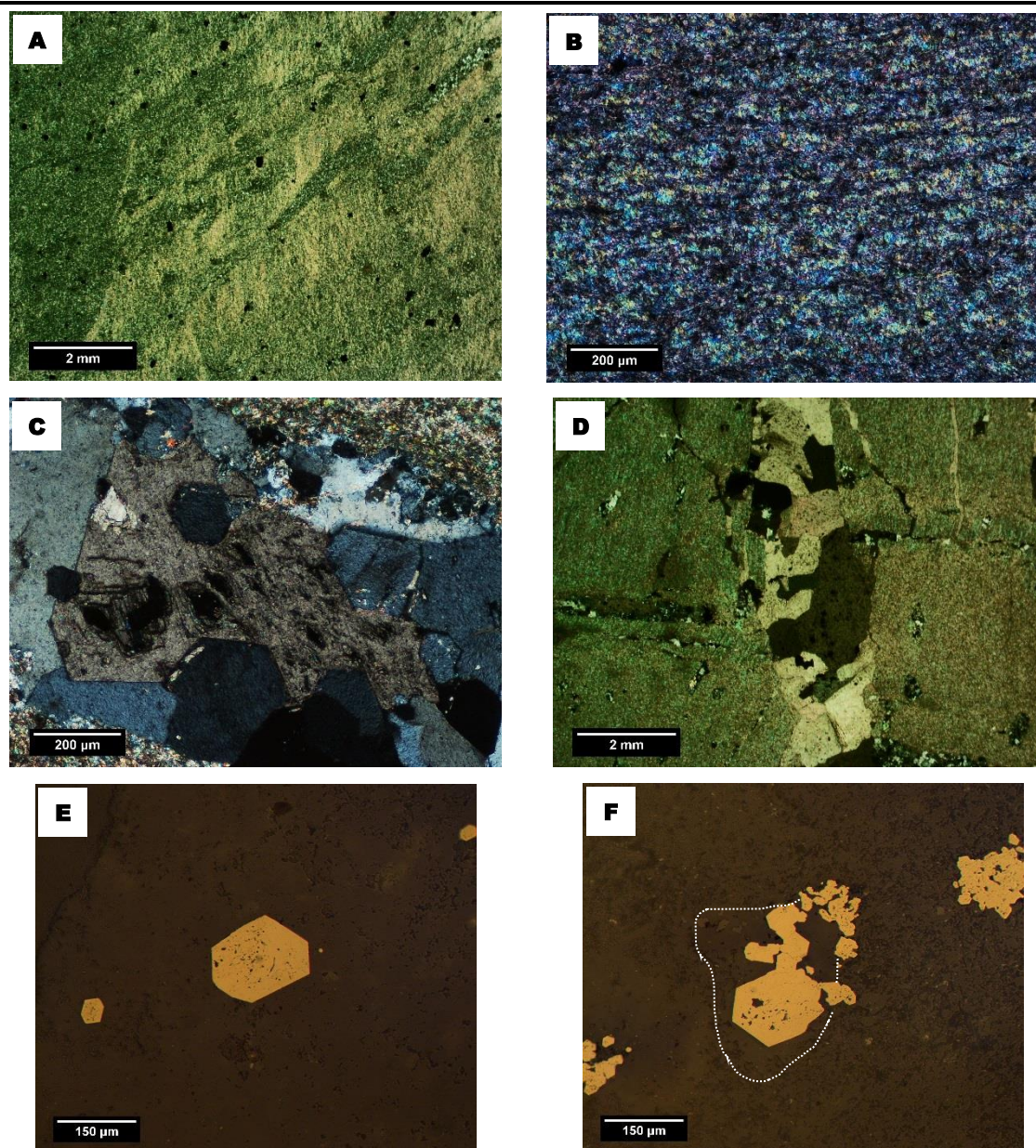
As estruturas primárias estão bastante recrystalizadas (estampa 5-A), porém ainda é possível reconhecer a sua presença. Os níveis psamíticos apresentam-se constituídos, quase exclusivamente, por grãos de quartzo equigranulares. É nos níveis pelíticos que se pode observar uma recrystalização mais forte, obliterando a foliação primária por recrystalização dos filossilicatos (estampa 5-B). Ao contrário das unidades anteriores, esta unidade recrystalizada não aparenta ter sofrido os processos de carbonatação secundária.

Nesta unidade observa-se uma grande profusão de finas vénulas de quartzo que corresponderão a fendas de tração e que atravessam os diversos níveis. Os veios maiores que atravessam a rocha mostram uma cristalização inicial de quartzo em pente (junto às paredes) e um

crescimento posterior, definido por carbonatos no seu interior (estampa 5-C). Em diversos casos observou-se veios constituídos exclusivamente por carbonatos, os quais podem atingir uma espessura milimétrica (estampa 5-D).

As pirites que ocorrem disseminadas em toda a rocha apresentam-se como grãos individuais, com formas euédricas a subeuédricas (estampa 5-E) ou em aglomerados (estampa 5-F). Tanto os grãos individuais como os aglomerados podem atingir dimensões milimétricas.

Estampa 5 - Microfotografias da unidade dos Xistos siliciosos: A) SD.4-32#L1.8 NC 0.8X; B) SD.4-33#L1.1 NC 5X; C) SD.4-33#L1.10 NC 5X; D) SD.4-33#L1.7 NC 0.8X; E) SD.4-32#S4.3 NP 20X; F) SD.4-32#S4.2 NP 20X.



- A) Níveis pelíticos com desenvolvimento de crenulação, intercalados com níveis psamítico boudinados (NC);
- B) Detalhe petrográfico dos filossilicatos que constituem os níveis pelíticos, onde se observa uma foliação metamórfica (NC);
- C) Pormenor petrográfico de cristais de quartzo com faces euédricas direccionadas para o interior das estruturas filonianas, em contacto com carbonatos que ocupam uma posição central (NC);
- D) Filonete com uma espessura de 2 mm, aproximadamente, orientado subperpendicularmente ao bandado composicional. É constituído por grãos de carbonatos com uma dimensão milimétrica (NC);
- E) Numa posição central da microfotografia observa-se um grão euédrico de pirite, disseminados nos níveis psamíticos boudinados, com inclusões e porosidades. Note-se que, tanto os grãos de maior dimensão como os de menor, possuem uma forma hexagonal perfeita (NP);
- F) Aglomerados de pirite disseminado nos níveis pelíticos, constituídos por grãos subeuédricos de dimensão na ordem das dezenas e centenas de micras. Os aglomerados são envolvidos por uma auréola de natureza siliciosa, assinalada pela linha a tracejado de cor branca (NP).

4.3 Estruturas filonianas

Na observação da sondagem pôde-se constatar a existência de diversas estruturas filonianas, as quais cortam as unidades geológicas anteriormente descritas. Estas estruturas, que também puderam ser observadas em afloramento, vão desde vénulas microscópicas até ao filão principal de Mociços (também designado por filão da Granja), com uma espessura que pode atingir alguns metros. Na sondagem estudada, que muito embora em alguns troços tem uma fraca recuperação, recuperou-se tanto fragmentos isolados de filões de quartzo (figura 4.5-A), como troços do testemunho da sondagem em que se observa esses mesmos filões a cortar as unidades atrás descritas (figura 4.5-B). Relativamente às estruturas filonianas de natureza carbonatada, estas surgem a cortar as estruturas filonianas de quartzo (figura 4.5-C), assim como em estruturas individualizadas, por vezes adjacentes a zonas de brechificação (figura 4.5-D)

A mineralogia e as relações de corte das estruturas filonianas fornecem indicações preciosas sobre a evolução dos sistemas hidrotermais que conduziram à mineralização. Descrevem-se de seguida, tanto as unidades encaixantes como as diferentes estruturas e respetiva mineralogia e relações entre elas.

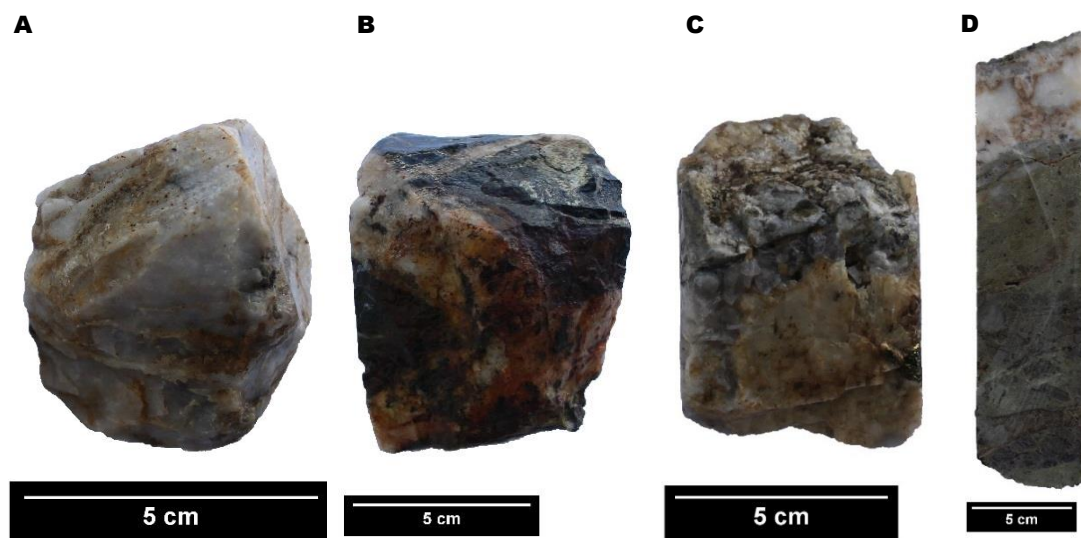


Figura 4.5 - Testemunhos e fragmentos da sondagem SD.M4, ilustrativos das estruturas filonianas que cortam as rochas encaixantes. A) Amostra SD.4-25, correspondente a um fragmento isolado de quartzo leitoso com intrusão de carbonatos; B) Amostra SD.4-05, onde observa-se dois veios centimétricos de quartzo leitoso oblíquos entre si, a cortar os léditos e xistos negros (Fm. dos Xistos com Nódulos); C) Amostra SD.4-31A, onde identifica-se carbonatos com tons amarelados a intruir um filão de quartzo leitoso; D) Amostra SD.4-34, onde no limite superior observa-se um veio de carbonatos com cor esbranquiçada e alaranjada, o qual contacta com uma zona definida por uma textura brechóide.

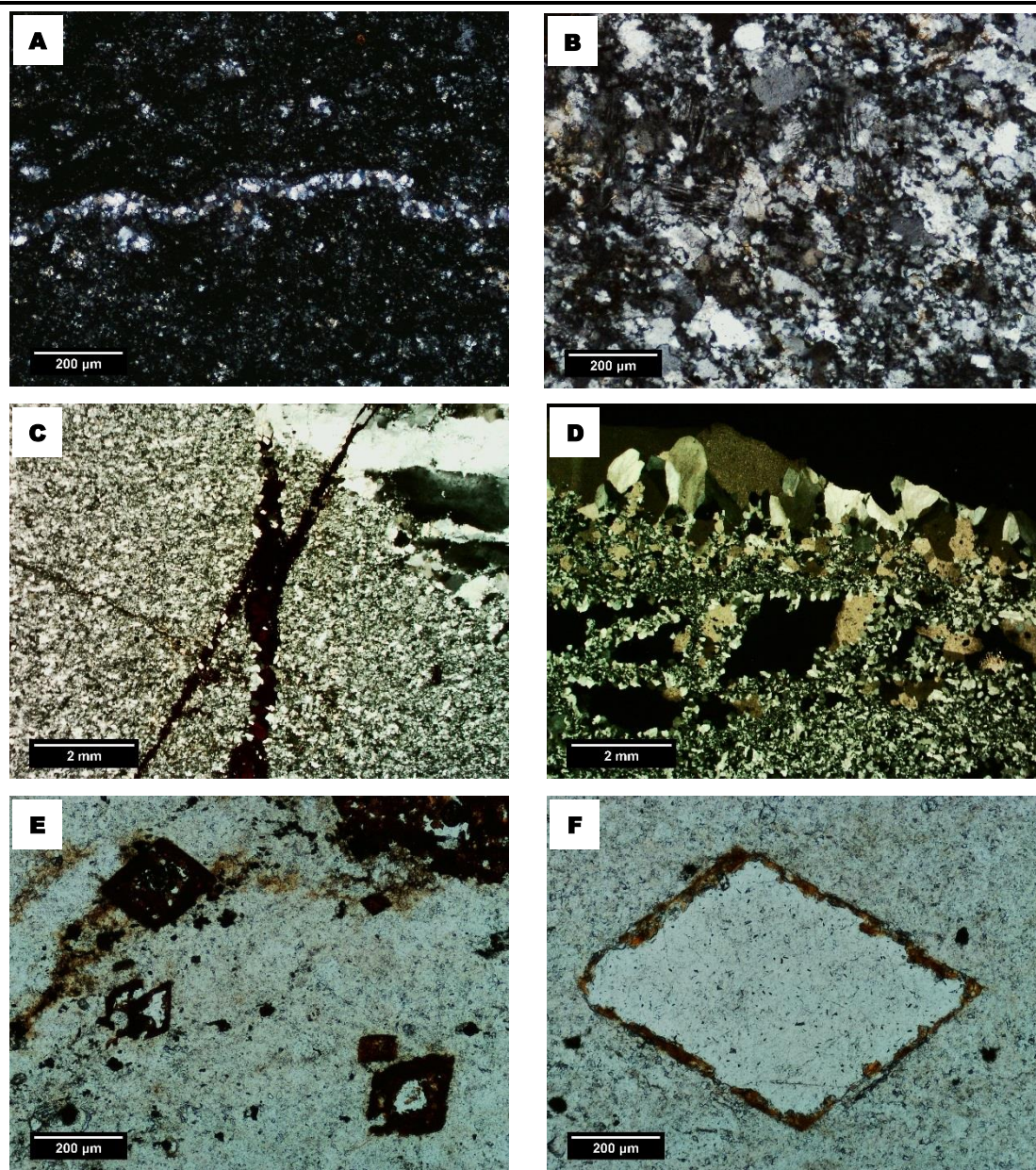
4.3.1 Episódio I: fase do quartzo de exsudação

Este episódio é caracterizado por estruturas filonianas de espessura variável, que podem ir desde dimensões micrométricas - vénulas, até centimétricas - veios de quartzo. É um quartzo de aspeto translúcido, acinzentado, que ocorre quer nas unidades metassedimentares quer incluído nas estruturas filonianas principais. Nas amostras do encaixante podem-se observar pequenos veios dobrados (estampa 6-A), constituídos por quartzo de dimensões micrométricas, formas anédricas, contornos irregulares e extinção ondulante.

Microscopicamente, este quartzo (qz I) é inequigranular, com contornos irregulares e extinção ondulante (estampa 6-B). Os grãos possuem uma dimensão inferior a 100 micras, aproximadamente, e apresentam não só uma recristalização dinâmica como também um aspeto maciço (estampa 6-C). Em diversos locais pode-se observar cavidades de dissolução (estampa 6-D), assim como o preenchimento de espaços intergranulares por carbonatos ou óxidos de ferro.

Dispersos na matriz dos veios deste quartzo, identificamos grãos euédricos de pseudomorfoses de limonite depois de pirite - py I (estampas 6-E), bem como pseudoformas negativas (estampa 6-F).

Estampa 6 - Microfotografias do Episódio I: A) SD.4-07B#L1.5 NC 5X; B) SD.4-11A#L1.1 NC 5X; C) SD.4-11A#L1.4 NC 0.8X; D) SD.4-29#L1.1 NC 0.8X; E) SD.4-11A#L1.2 NP 5X; F) SD.4-11A#L1.3 NP 5X.



- A) Filonete de quartzo deformado a cortar os Líditos e xistos negros (NC);
- B) Veio de qz I apresentando uma textura típica de recristalização dinâmica de quartzo. Os grãos de quartzo apresentam uma granulometria inferior a 100 micras, aproximadamente (NC);
- C) Veio de qz I caracterizado por um aspeto maciço. É cortado por filonetes de quartzo e plagioclase (Episódio III) que, numa posição central, apresentam óxidos de Fe onde outrora ocorreram carbonatos. Na metade superior direita observa-se qz IIa, constituído por grãos de quartzo de dimensão milimétrica e com extinção ondulante (NC);
- D) Numa posição central da microfotografia observa-se cavidades resultantes da dissolução do qz I, onde nos bordos cristaliza qz III com faces euédricas direccionadas para o interior. Estas cavidades são parcialmente preenchidas por carbonatos (NC);
- E) Pseudomorfoses de óxidos e hidróxidos de Fe depois de pirite disseminadas no veio de qz I (apresentado nas microfotografias B e C desta estampa). No núcleo das pseudomorfoses de maior dimensão identificam-se cavidades (NP);
- F) Pseudoforma negativa disseminada no veio de qz I, com forma losângica e com limonite nos bordos (NP).

4.3.2 Episódio II: fase do quartzo leitoso

O principal filão de quartzo de Mociços (figura 4.6) desenvolve-se durante este episódio. O filão, como já foi referido, tem uma espessura que vai desde alguns centímetros até alguns metros (3 a 5 m). A sua extensão é de aproximadamente 1 km na direção NNW-SSE, com uma inclinação 80° ou superior para E. Podem ser observadas no filão estrias horizontais com movimentação direita. Além desta estrutura, ocorrem filões cogenéticos conjugados pertencentes a este mesmo episódio, com direção NE-SE (Moreira *et al.* 2017), mas de menor expressão e com movimentação esquerda.



Figura 4.6 - Filão de quartzo da mina de Mociços, aflorante no limite sul da corta da mina. Fotografia orientada segundo a direção W-E.

O filão principal apresenta no seu interior e, sobretudo, nos bordos, zonas brechificadas constituídas por fragmentos angulares do encaixante, cortadas tanto por quartzo leitoso como por crescimentos tardios de quartzo com estrutura em pente.

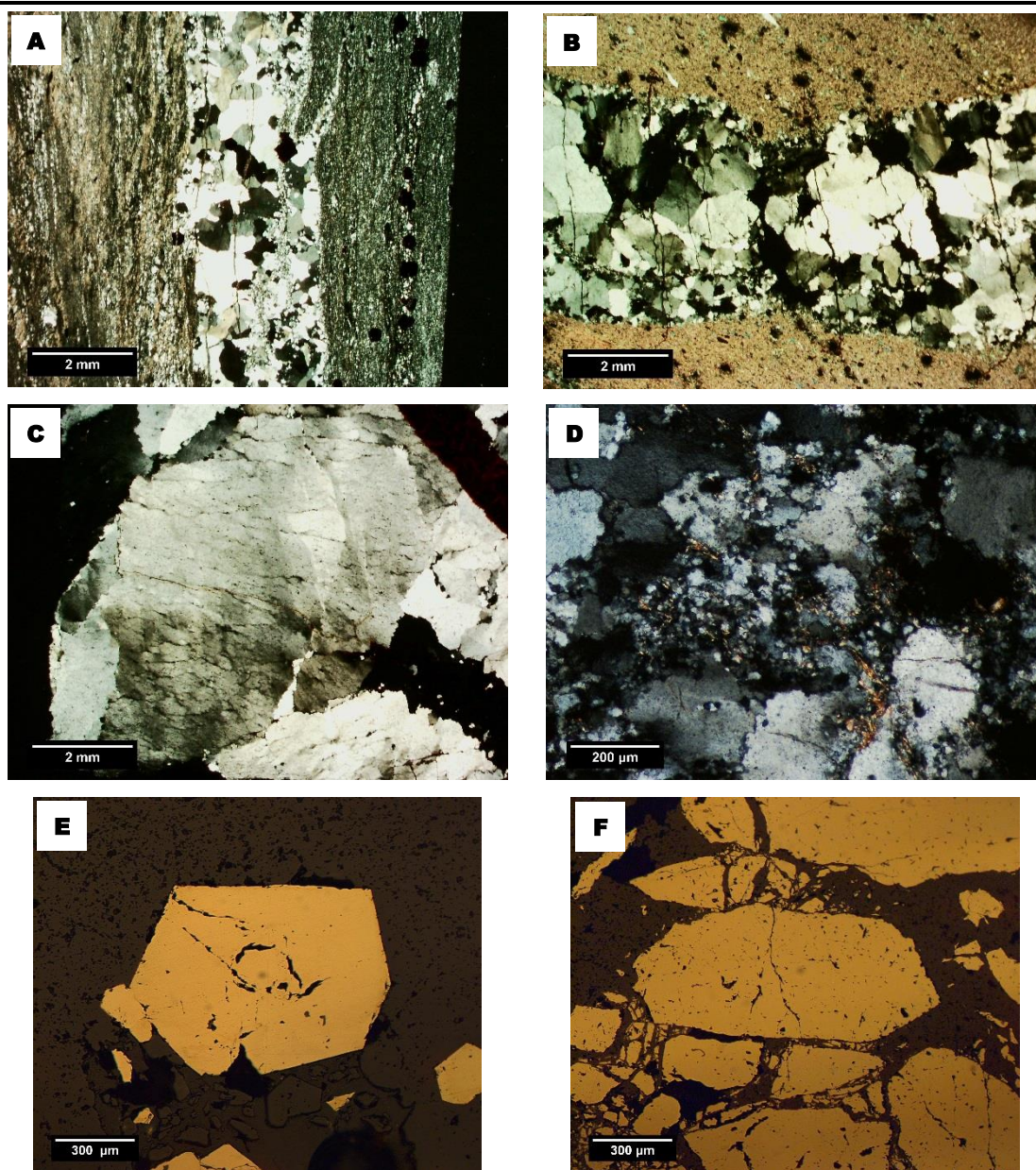
Os veios secundários de menores dimensões apresentam-se paralelamente (estampa 7-A) e obliquamente a S0 (estampa 7-B). Nestes veios pode-se observar uma fraturação segundo uma direção oblíqua ou paralela ao seu desenvolvimento e, em alguns casos, *boudinagem*. As fraturas apresentam-se preenchidas por óxidos de ferro à superfície e carbonatos em profundidade.

Microscopicamente este quartzo (qz IIa) apresenta grãos milimétricos até centimétricos, com formas anédricas a subeuédricas, com extinção ondulante e com subgranulação (estampa 7-C).

A cortar a estrutura principal de quartzo leitoso observa-se, em alguns casos, uma recristalização deste mineral para grãos de menor dimensão, por vezes associado a sericite (estampa 7-D). Em amostra de mão estas zonas recristalizadas apresentam tons cinzento claro. É muitas vezes associado a este quartzo (qz IIb) no interior do quartzo leitoso (qz IIa), que ocorrem grãos de pirite - py II (estampa 7-E), individualizados ou em aglomerados. Esta pirite apresenta, por vezes, texturas do tipo *Jigsaw Fit* (estampa 7-F).

Maia *et al.* (2019b) puderam estudar inclusões fluidas (IF) nesta geração de quartzo, as quais são caracterizadas por um carácter multifásico, ou seja, são constituídas por uma fase líquida, gasosa e sólida. Obtiveram uma temperatura variável entre os 83 °C e os 420 °C, assim como uma salinidade alta, a qual varia entre os 29,3 % e os 44,3% eq. w (NaCl). Adicionalmente, estes autores verificaram a ocorrência de cristais de halite no interior das inclusões, bem como alguns sólidos identificados como calcite.

Estampa 7 - Microfotografias do Episódio II: A) SD.4-06#L1.2 NC 0.8X; B) SD.4-18B#L1.4 NC 0.8X; C) SD.4-12B#L1.6 NC 0.8X; D) SD.4-15#L1.9 NC 5X; E) SD.4-05A#S1.12 NP 10X; F) SD.4-27#S1.6 NP 10X.



A) Filonete de qz II com, aproximadamente, 2 mm de diâmetro, paralelo ao bandado composicional e intercalado entre um filonete de filossilicatos, à esquerda, e por um nível carbonoso, à direita. Identifica-se ramificações em “rabo de enguia”, oblíquas ao próprio filonete, bem como uma rede de filonetes de filossilicatos e opacos de espessura micrométrica que cortam o próprio filonete paralelamente ao S0 (NC);

B) Filonete de qz II caracterizado por uma orientação oblíqua ao bandado composicional. Apresenta uma fraturação com um espaçamento regular e de direção oblíqua ao bandado composicional, identificado pela orientação dos grãos de quartzo “alongados” do topo da microfotografia (NC);

C) Grãos de quartzo de dimensão milimétrica (qz IIa), com bordos irregulares, extinção ondulante e subgranulação (NC);

D) Grãos de quartzo inequigranulares caracterizados por formas anédricas, bordos irregulares e extinção ondulante. A textura é característica de recristalização dinâmica de quartzo e, associado aos grãos de quartzo de menores dimensões, observa-se sericite intergranular (NC);

E) Grão euédrico de pirite (py II) disseminada no filão de quartzo (qz IIb), com forma hexagonal e com um comprimento no eixo maior de, aproximadamente, 1 mm. Apresenta um conjunto de porosidades no núcleo dispostas de forma subcircular, bem como porosidades dispostas linearmente nas zonas mais exteriores (NP);

F) Microfotografia ilustrativa da textura *Jigsaw Fit* constituída por grãos de py II. Numa posição central, identifica-se um grão subeuédrico de pirite, com um comprimento superior a 1 mm, fraturado intragranularmente (NP).

4.3.3 Episódio III: fase do quartzo em pente, dos carbonatos e da calcopirite

Quer no interior do filão de quartzo principal, quer em estruturas independentes nas imediações da mina de Mociços, é possível observar o desenvolvimento de filões de quartzo com estruturas em pente, acompanhados por carbonatos ou óxidos de ferro. Estes veios com estruturas de quartzo em pente crescem a partir de fraturas no interior do filão, a cortar o encaixante ou, ainda, a partir das paredes dos clastos das brechas (figura 4.7). Estas evidências são testemunhos das fases tardias de precipitação polifásica defendidas por Mateus *et al.* (2003; 2013), onde se inserem, segundo os mesmos autores, a ocorrência de sulfuretos e sulfossais.



Figura 4.7 - Clastos das brechas observadas no filão principal, constituídos por óxidos e hidróxidos de Fe, a partir dos quais observa-se o desenvolvimento do quartzo em pente.

Em afloramento, estes filões de quartzo com estrutura em pente (qz III) aparecem, essencialmente, acompanhados de óxidos de ferro, um reflexo das associações minerais resultantes do enriquecimento supergénico, tal como mencionado por Mateus *et al.* (2013). Nas amostras estudadas em sondagem, verifica-se que este quartzo passa a estar acompanhado em profundidade por carbonatos (sd) (estampa 8-A) e sulfuretos (estampa 8-B), nomeadamente pirite (py III) e calcopirite (cpy). A análise no SEM-EDS permitiu obter a sua composição química (tabela 4.2) e confirmar os sulfuretos identificados petrograficamente (figura 4.8). Esta calcopirite ocorre a preencher fraturas da pirite do episódio IIb (py II) e da pirite disseminada nos carbonatos (estampa 8-C), posicionando a calcopirite como posterior à py III. A análise no SEM-EDS confirma as observações petrográficas (figura 4.9).

Tabela 4.2 - Composições químicas obtidas nas análises pontuais efetuadas em pirite (py III) e calcopirite (cpy), disseminadas em siderite.

	S	Fe	Cu
py III (wt%)	50,521	49,479	-
cpy (wt%)	33,173	30,316	36,511

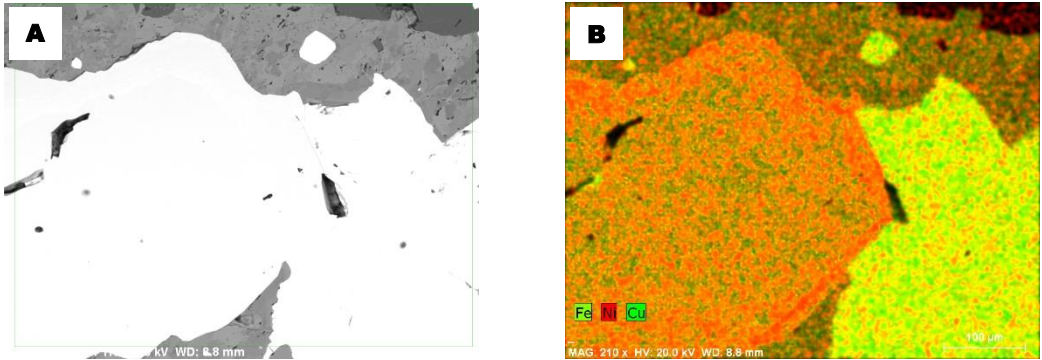


Figura 4.8 - Imagens de elétrons retrodifundidos obtidos na microsonda eletrônica (A), e mapa composicional combinado para o Fe, Ni e Cu (B). A área analisada pode ser observada na estampa 8-B.

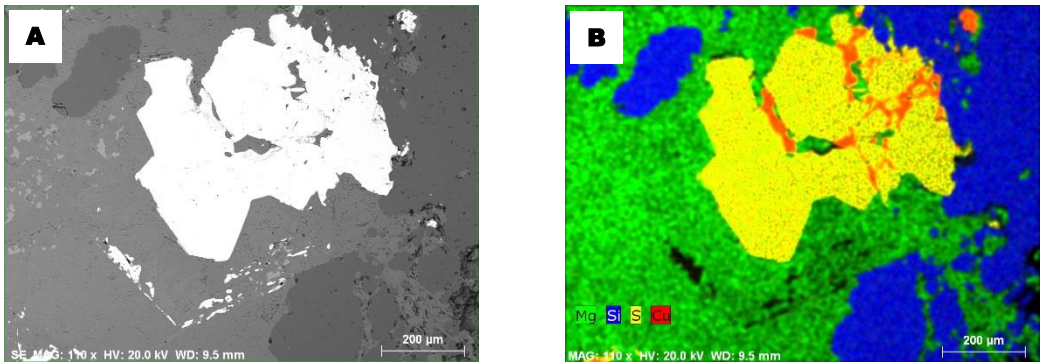


Figura 4.9 - Imagens de elétrons retrodifundidos obtidos na microsonda eletrônica (A), e mapa composicional combinado para o Mg, Si, S e Cu, centrado na py III e na cpy disseminada em carbonatos da superfície polida SD.4-12A#S1 (B). A área analisada pode ser observada na estampa 8-C.

Este episódio é caracterizado por grãos de quartzo subeuédricos a euédricos, alongados na direção prismática com uma dimensão desde as centenas de micras (estampa 8-D) até alguns centímetros. Os cristais têm bordos regulares e não apresentam extinção ondulante. Em cavidades identificadas no qz I, identificam-se grãos de quartzo que apresentam um crescimento em direção ao centro (estampa 8-E).

Os carbonatos têm texturas anédricas a subeuédricas. São caracterizados por grãos com um tamanho na ordem das centenas de micras nos bordos e grãos de dimensão milimétrica no centro (estampa 8-F). Análises feitas em SEM revelaram que estes carbonatos têm ligeiras variações composicionais (tabela 4.3), sendo as mais significativas as verificadas para o Mg, Mn e Fe (figura 4.10). Estes carbonatos ocorrem, não só a acompanhar os veios associados a este episódio, como também em espaços intergranulares na rocha encaixante (estampa 9-A) e em espaços inter e intragranulares nas estruturas filonianas anteriores (estampa 9-B).

Tabela 4.3 - Composições químicas obtidas para 3 análises pontuais efetuadas em carbonatos do grupo da dolomite, apresentados na tabela 4.6.

	C	O	Mg	Ca	Mn	Fe
caso 1 (wt %)	21,723	39,511	2,431	0,325	2,425	33,586
caso 2 (wt %)	22,700	40,883	4,164	0,198	1,583	30,472
caso 3 (wt %)	23,229	42,603	7,086	0,137	1,771	25,174

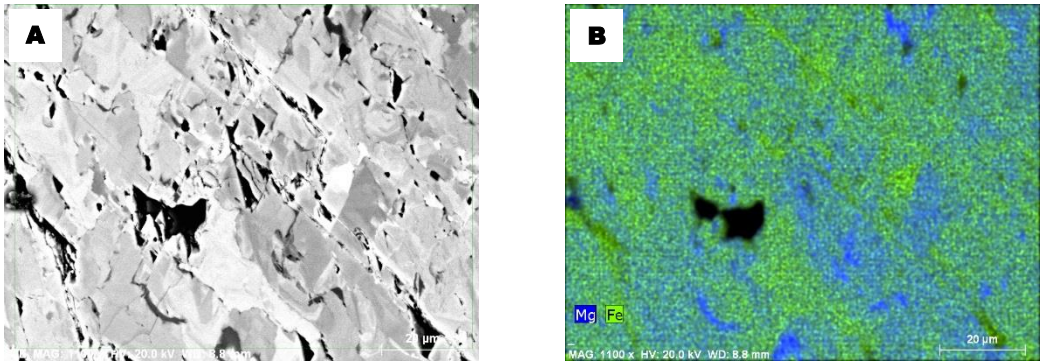


Figura 4.10 - Imagem de elétrons retrodifundidos obtidos na microsonda eletrônica (A), e mapa composicional combinado de Mg e Fe (B), para os carbonatos que constituem o veio identificado na superfície polida SD.4-19B#S1.

A acompanhar estes veios ocorre, por vezes, uma plagioclase (ab) de dimensões na ordem das centenas de micra a crescer com estrutura em pente (estampa 9-C).

De forma disseminada nas estruturas filonianas constituídas por siderite (sd), ocorrem calcopirite com formas anédricas, assim como pirite com formas anédricas a euédricas e de dimensões micrométricas a milimétricas (estampa 8-B).

A calcopirite apresenta inclusões de pirite (estampa 9-D) e de sulfossais (estampa 9-E). As análises em SEM revelaram que se trata de tenantite-tetraedrite (tnt-ttr), ou seja, sulfossais de As e Sb (tabela 4.4). Observaram-se casos onde as cavidades resultantes da dissolução do quartzo do episódio I (qz I) se encontram totalmente preenchidas por calcopirite¹².

Tabela 4.4 - Análises pontuais efetuadas a sulfossais (tenantite-tetraedrite) identificados como inclusões em calcopirite da superfície polida SD.4-19B#S1.

	S	Fe	Cu	As	Sb
sulfossal - caso 1 (wt %)	27,036	9,375	41,238	19,693	2,658
sulfossal – caso 2 (wt %)	27,907	8,568	42,063	18,664	2,798
sulfossal – caso 3 (wt %)	28,269	9,482	39,498	20,034	2,717

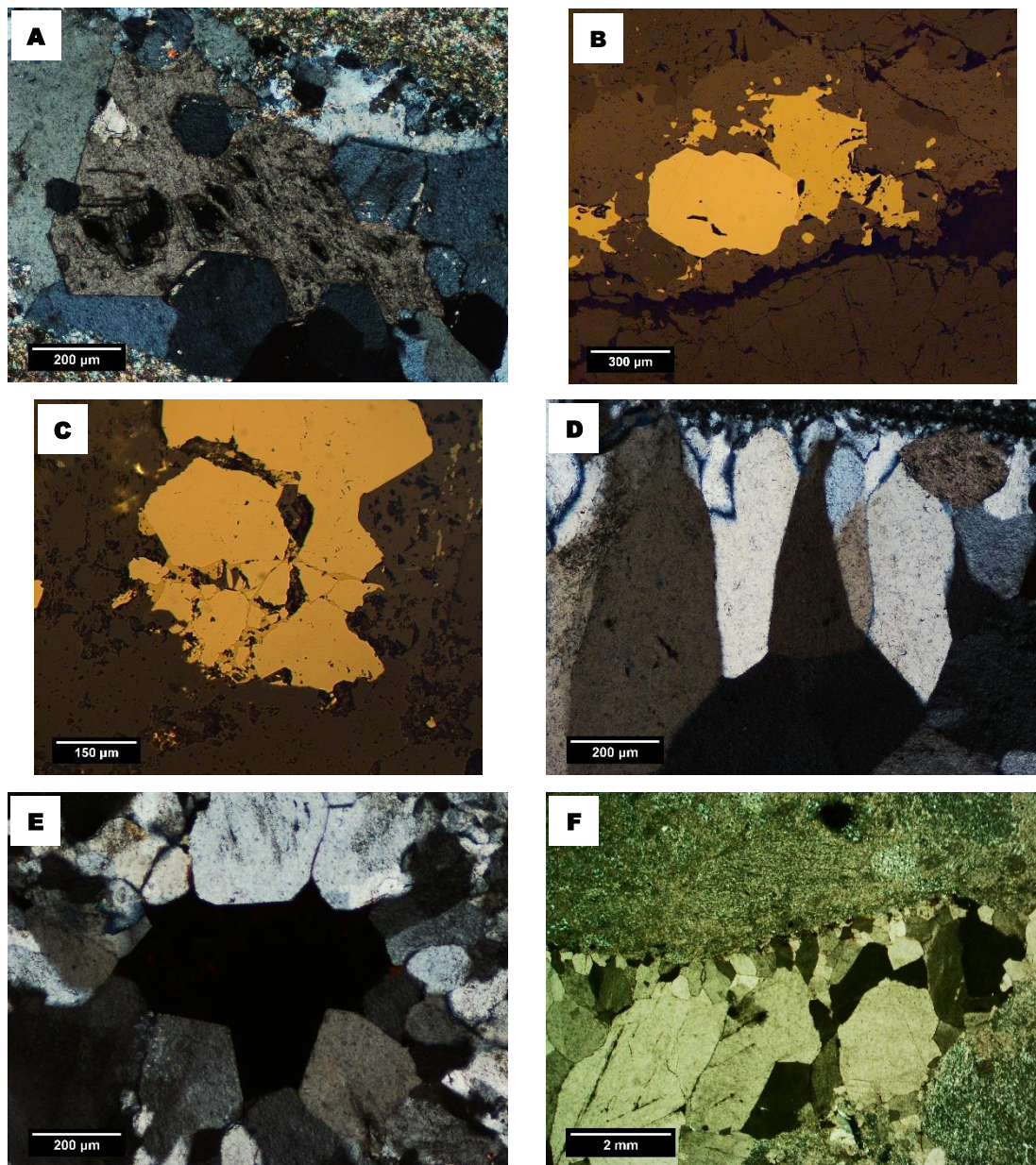
Ainda associado a este episódio observa-se, em texturas brechóides, pirite e calcopirite (estampa 9-F).

Para as IF do quartzo que constitui as estruturas filonianas deste episódio, Maia *et al.* (2019b) apresentam como sendo inclusões aquosas (H₂O) bifásicas, isto é, constituídas por uma fase líquida e por uma fase gasosa. Apresentam uma temperatura entre os 68°C e os 155 °C, assim como

¹² Ver figura 1 da ficha petrográfica SD.4-30#L1.

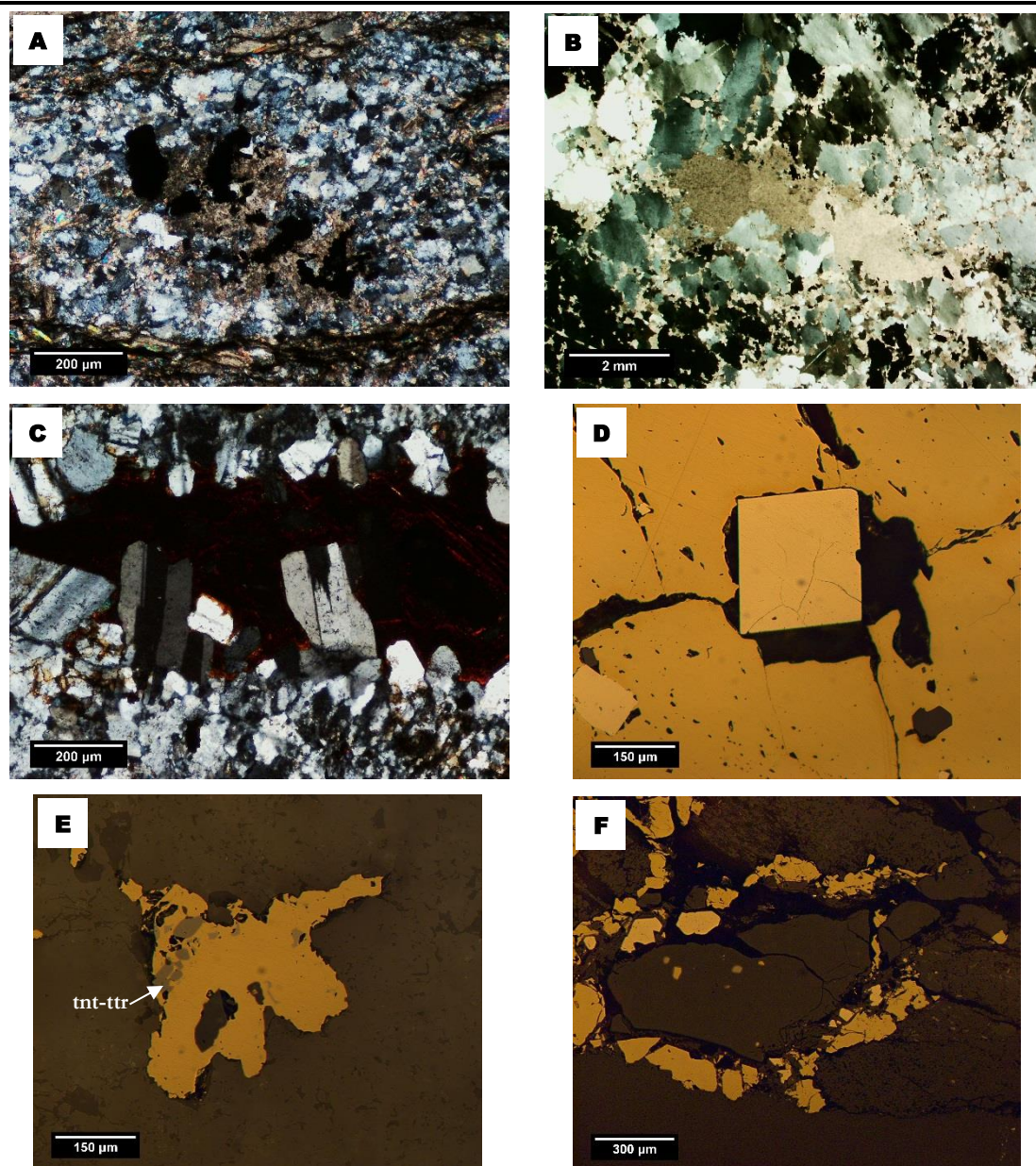
salinidades quantificadas entre os 0,18 % e os 15,6 % eq. w(NaCl). Comparativamente ao episódio II, observa-se tanto uma salinidade como uma temperatura mais baixa.

Estampa 8 - Microfotografias do Episódio III: A) SD.4-33#L1.10 NC 5X; B) SD.4-19B#S1.5 NP 10X; C) SD.4-12A#S1.18 NP 20X; D) SD.4-31B#L1.2 NC 5X; E) SD.4-29#L1.9 NC 5X; F) SD.4-34B#L1.7 NC 0.8X.



- A) Filonete identificado nos psamitos micáceos (Fm. de Colorada), onde observa-se cristais de quartzo com faces euédricas (qz III) direccionadas para o interior desta estrutura, a qual é preenchida no centro por carbonatos (NC);
- B) De forma disseminada nos carbonatos (sd) observa-se pirite (py III), subeuédrica e com cor amarela, adjacente a calcopirite (cpy), por sua vez com formas anédricas e com cor laranja (NP).
- C) Detalhe petrográfico do preenchimento por calcopirite da fratura que afeta a pirite (py III), disseminada em carbonatos que contactam com quartzo de um veio (NP);
- D) Pormenor petrográfico da textura *Comb*, constituída por grãos de quartzo com formas subeuédricas e com uma dimensão na ordem das centenas de micras a preencher cavidades no qz I (NC);
- E) Cavidade no qz I onde observa-se cristais de quartzo (qz III) com faces euédricas a crescer para o centro. O núcleo da cavidade é preenchido por calcopirite (NC);
- F) Veio de carbonatos a cortar os psamitos micáceos (Fm. de Colorada). Identificam-se grãos com forma subeuédrica, de dimensão na ordem das centenas de micras no contacto com o encaixante, e grãos milimétricos no centro da estrutura filoniana (NC).

Estampa 9 - Microfotografias do Episódio III: A) SD.4-24#L1.11 NC 5X; B) SD.4-12A#L1.11 NC 0.8X; C) SD.4-11A#L1.9 NC 5X; D) SD.4-30#S2.8 NP 20X; E) SD.4-19B#S3.21 NP 20X; F) SD.4-19B#S2.9 NP 10X.



- A) Microfotografia centrada em carbonatos intergranulares que ocorrem nos níveis psamíticos dos liditos e xistos negros (Fm. dos Xistos com Nódulos). Associado a estes carbonatos observam-se minerais opacos, como pirite e/ou calcopirite (NC);
- B) Filão de quartzo (qz IIa) com propagação inter e intragranular de carbonatos do episódio III (NC);
- C) Aspeto petrográfico dos cristais de plagioclases (ab) com crescimento a partir das paredes de fraturas, os quais acompanham, por vezes, o desenvolvimento do qz III. O centro da estrutura é preenchido por óxidos e hidróxidos de Fe (NC);
- D) Numa posição central da microfotografia, identifica-se um grão de py III com uma forma quadrada, incluído num grão milimétrico de cpy que, por sua vez, encontra-se disseminado em siderite (NP);
- E) Grão anédrico de calcopirite com tenantite-tetraedrite (tnt-ttr) disseminada no interior. Estes sulfossais são definidos por uma cor cinzenta, formas anédricas e uma dimensão na ordem das dezenas de micras (NP);
- F) Observam-se grãos de pirite e calcopirite dispostos numa matriz da textura brechóide, a envolver um fragmento anguloso de natureza siliciosa (NP).

4.3.4 Episódio IV: fases tardias

As observações efetuadas durante o trabalho de campo permitiram verificar que as rochas encaixantes da mineralização se encontram fraturadas por um episódio tardio de carácter frágil. Moreira *et al.* (2017) referem bandas *kink* e fendas de tração que, à superfície, são preenchidas por óxidos e hidróxidos de Fe (figura 4.11). O estudo da sondagem SD.M4 permitiu verificar que, em profundidade, estas estruturas são constituídas por carbonatos (dol?), tal como verificado anteriormente na estampa 4-F. Petrograficamente, observaram-se estruturas do tipo *crack-seal* (estampa 10-A) preenchidas tanto por carbonatos (dol?) como por quartzo (qz IV). Estas estruturas cortam as estruturas filonianas de quartzo (estampa 10-B) e carbonatos (estampa 10-C) do episódio III.

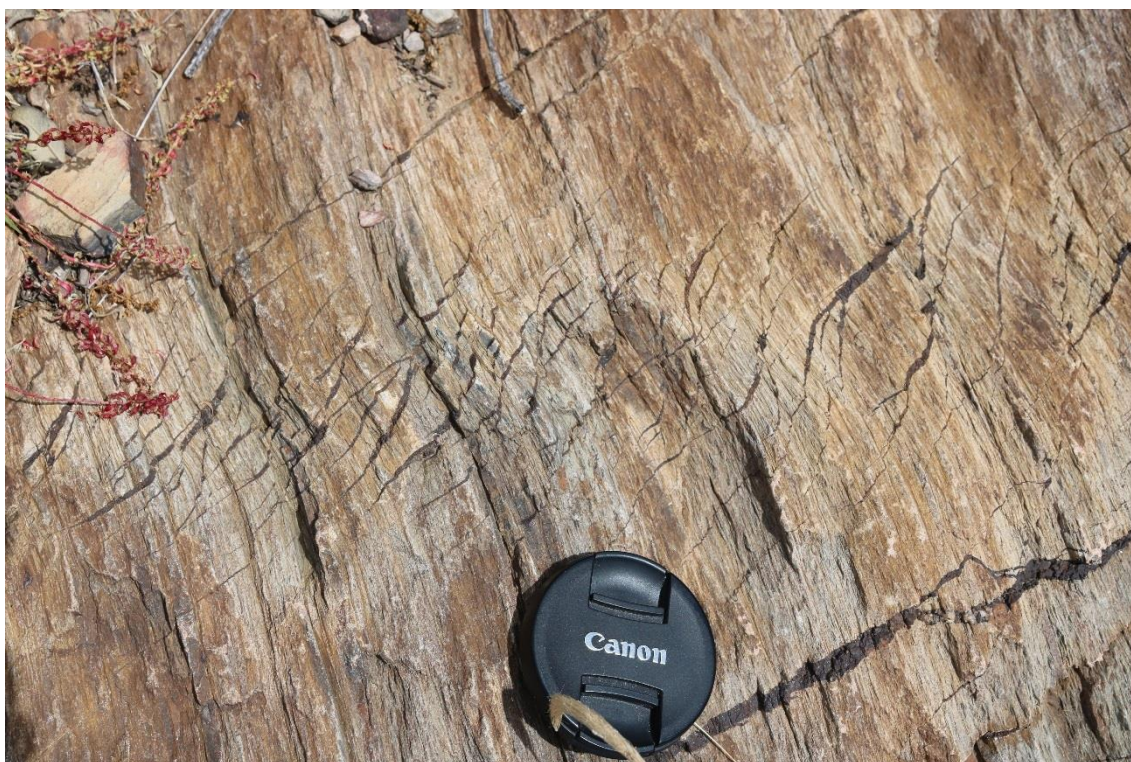


Figura 4.11 - Fendas de tração preenchidas na sua totalidade por óxidos e hidróxidos de Fe.

A meteorização química dos sulfuretos presentes nas estruturas filonianas quartzosas, devido à sua exposição subaérea, é dominante na mina de Mociços. Só em sondagem se verifica a presença de sulfuretos primários e, mesmo assim, com uma predominância das zonas de lixiviação face as zonas hipogénicas. Microscopicamente, esta meteorização química reflete-se nos grãos de pirite, os quais apresentam uma alteração parcial (estampa 10-D) a total (estampa 10-E) para óxidos e hidróxidos de Fe. Noutros casos, observam-se estruturas do tipo *celular boxwork* (estampa 10-F) e *rectangular boxwork* (estampa 11-A), resultantes da substituição da mineralização primária por uma mineralização secundária. A solução ácida resultante da oxidação e hidrólise deste sulfureto provoca

a dissolução total dos carbonatos nas fraturas, permitindo a precipitação de limonite (estampa 11-B). Observa-se nas estruturas filonianas de natureza carbonatada pseudomorfos de limonite depois de pirite, lado a lado com pirite (estampa 11-C). Como vestígios dos processos de enriquecimento supergênico, observa-se a alteração pontual de calcopirite para óxidos de cobre, possivelmente cuprite (figura 4.12-B).

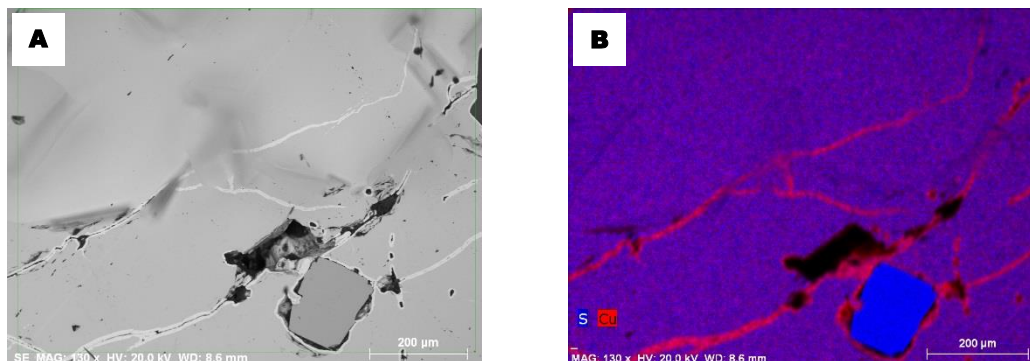


Figura 4.12 - Imagem de elétrons retrodifundidos obtidos na microsonda eletrônica (A), e mapa composicional combinado de S e Cu (B), para a calcopirite com inclusão de pirite e com óxidos de Cu em fraturas intragranulares. Este caso verifica-se nos veios de carbonatos da superfície polida SD.4-30#S4.

Os minerais secundários de cobre ligados a zonas de oxidação, apenas são observáveis à superfície e nas escombreiras, nomeadamente malaquite, crisocola e hidromalaquite, cobrindo os óxidos e hidróxidos de Fe (figura 4.13). Por contraposição, tanto na sondagem SD.M4 analisada neste estudo como na sondagem SD.M5A amostrada no âmbito do projeto ZOM-3D, não foram observados vestígios destes minerais.



Figura 4.13 - Fragmento de quartzo leitoso com diversas cavidades onde são identificados óxidos e hidróxidos de Fe. Observa-se uma capa de malaquite que cobre os óxidos e hidróxidos de Fe.

Estes episódios de circulação superficial incluem a presença de óxidos e hidróxidos de Mn, em fraturas e cavidades existentes nas estruturas filonianas quartzosas. O mesmo se verifica nas rochas encaixantes, onde estes óxidos e hidróxidos de Mn precipitam (estampa 11-D), não só em fraturas pré-existentes, como também em níveis mais porosos (estampa 11-E) e na clivagem de crenulação identificada nos níveis pelíticos (estampa 11-F). Estes óxidos e hidróxidos de Mn foram analisados no SEM-EDS, tal como apresentado na figura 4.14, confirmando a sua mineralogia e a abundância destas fases secundárias.

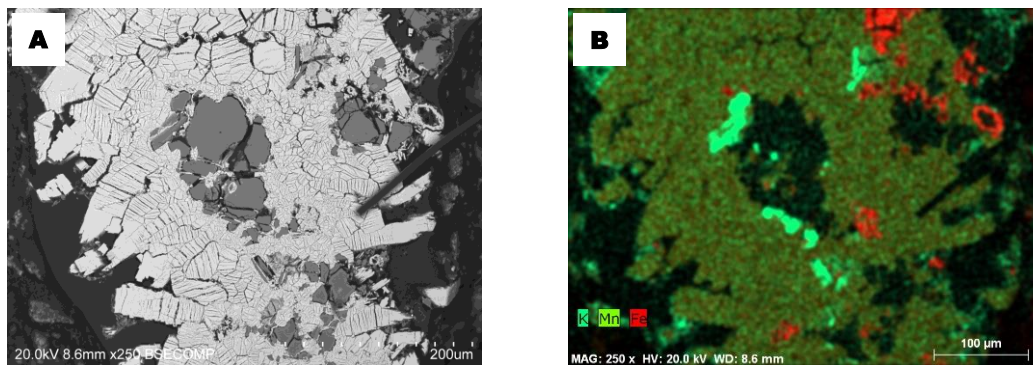
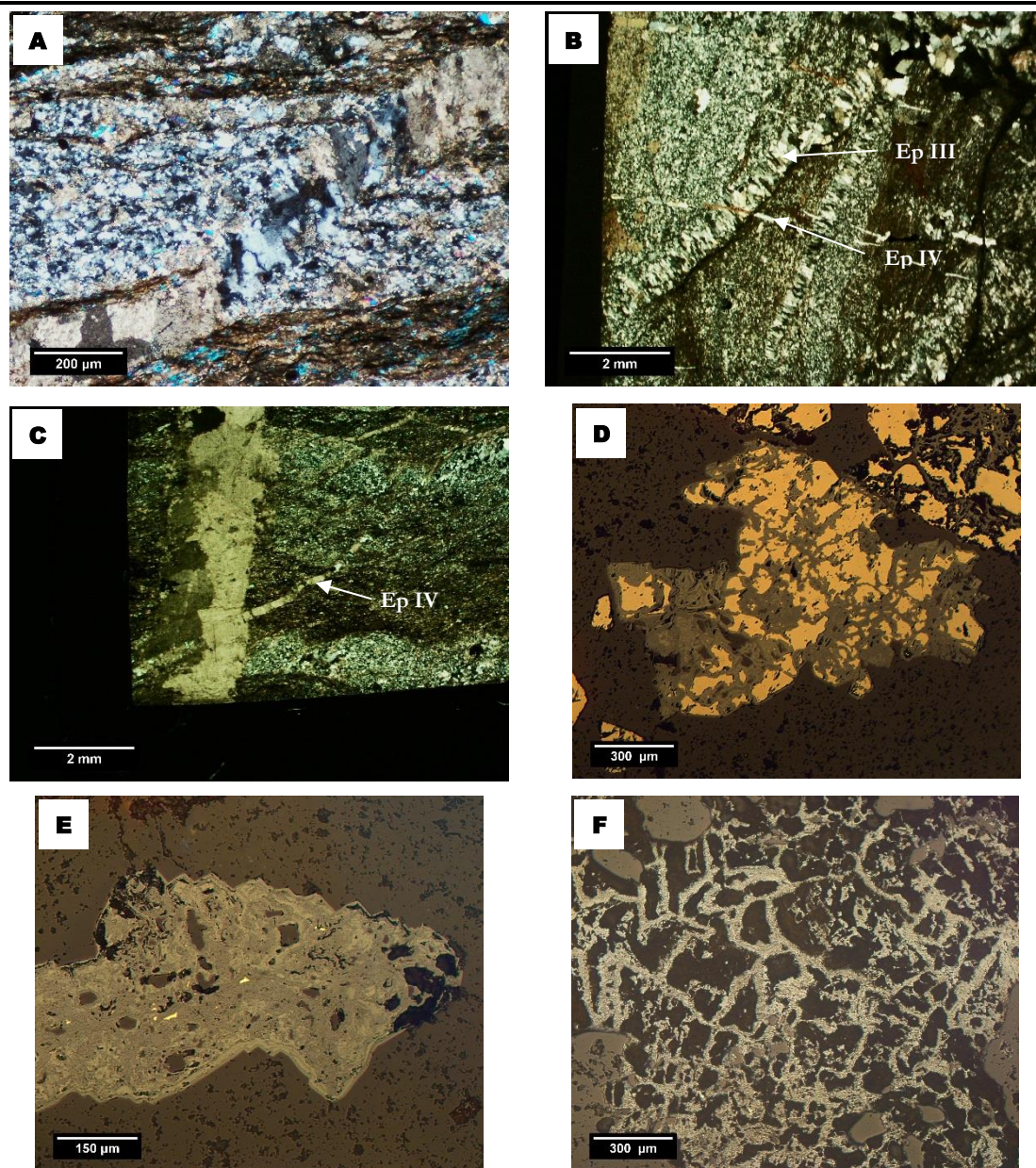


Figura 4.14 - Imagem de eletrões retrodifundidos obtidos na microsonda eletrónica (A), e mapa composicional combinado para o K, Mn e Fe (B), para a análise centrada em óxidos de Mn identificados na superfície polida SD.4-15#S1, correspondente aos psamitos micáceos (Fm. de Colorada).

Estampa 10 - Microfotografias do Episódio IV: A) SD.4-23#L1.7 NC 5X; B) SD.4-19B#L1.8 NC 0.8X; C) SD.4-23#L1.13 NC 0.8X; D) SD.4-07A#S1.8 NP 10X; E) SD.4-11A#S1.2 NP 20X; F) SD.4-04B#S1.1 NP 10X.



A) Filonete do tipo *crack-seal* (Episódio IV), identificado nos liditos e xistos negros (Fm. dos Xistos com Nódulos), com uma orientação oblíqua ao bandado composicional. Apresenta uma espessura de, aproximadamente, 200 micras. É constituído por carbonatos, quando inserido no nível pelítico-carbonoso, e por quartzo, quando localizado no nível psamítico (NC);

B) Observam-se filonetes do tipo *crack-seal* (Ep IV), orientados subperpendicularmente ao bandado composicional, a cortar tanto as estruturas filonianas de quartzo em pente (Ep III), como os níveis pelíticos e psamíticos dos Psamitos micáceos (NC);

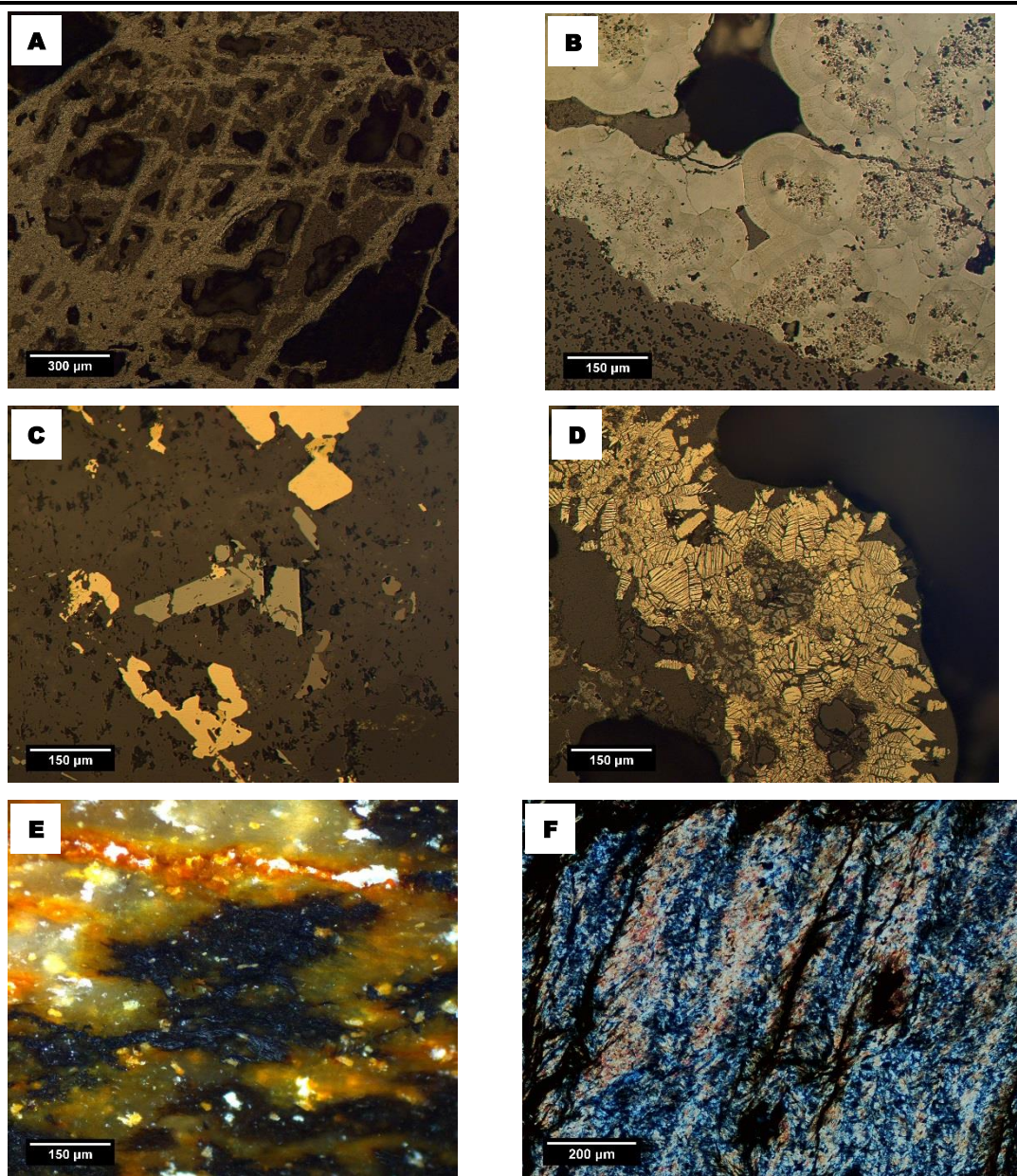
C) Destaque para um veio de carbonatos (Episódio III) nos liditos e xistos negros, com 2 mm de espessura, aproximadamente. É cortado por filonetes do tipo *crack-seal* (Episódio IV) de direção oblíqua ao bandado composicional (NC);

D) Pirite disseminada num veio de quartzo (py II) com substituição parcial por óxidos e hidróxidos de Fe (NP);

E) Pirite disseminada num veio de quartzo (py II) com substituição total por óxidos e hidróxidos de Fe. Observa-se relíquias de pirite disseminadas no interior (NP);

F) Microfotografia ilustrativa de óxidos e hidróxidos de Fe em estruturas do tipo *cellular boxwork*, observadas em veios de quartzo do episódio II (NP).

Estampa 11 - Microfotografias do Episódio IV: A) SD.4-19A#S2.5 NP 10X; B) SD.4-12C#S1.5 NP 20X; C) SD.4-12A#S1.16 NP 20X; D) SD.4-15#S1.5 NP 20X; E) SD.4-09A#S1.8 NC 20X; F) SD.4-03#L1.1 NC 5X.



- A) Pormenor de óxidos e hidróxidos de Fe em estruturas do tipo *rectangular boxwork*, observadas em veios de quartzo do episódio II (NP);
- B) Goethite a preencher fraturas. Verifica-se um crescimento fibroso na camada mais exterior, com uma orientação perpendicular aos planos de crescimento (NP);
- C) Numa posição central da microfotografia observam-se pseudomorfoses de óxidos e hidróxidos de Fe depois de pirite, com cor cinzenta, lado a lado com pirite (py III), por sua vez definida por uma cor amarela. Neste veio de carbonatos observa-se, também, calcopirite com cor laranja (NP);
- D) Caso particular de óxidos de Mn disseminados nos psamitos micáceos (Fm. de Colorada), caracterizado por um hábito esférulítico e por uma cor amarela. Em nicóis cruzados este mineral apresenta uma forte anisotropia (NP);
- E) Pormenor de grãos de óxidos e hidróxidos de Mn, com hábito lamelar, cor cinzenta-azulada e brilho metálico, disseminados em níveis pelíticos dos psamitos micáceos (NC);
- F) Detalhe petrográfico de óxidos e hidróxidos que precipitam na clivagem de crenulação dos níveis pelíticos (NC).

4.4 Interpretação paragenética

Nos subcapítulos anteriores foram descritas, de acordo com as observações obtidas durante a análise petrográfica, tanto as unidades metassedimentares encaixantes como as estruturas filonianas. As observações efetuadas permitiram individualizar quatro episódios de circulação de fluidos, deposição mineralógica e deformação, essencialmente em regime dúctil-frágil a frágil. De forma sintética, e tendo por base as estruturas filonianas de quartzo e carbonatos que caracterizam cada episódio, salienta-se a existência de filonetes de quartzo com elevada deformação, predominantes no encaixante (qz I); de estruturas filonianas constituídas por grãos de quartzo de dimensões milimétricas e com extinção ondulante (qz II), bem como de estruturas filonianas de quartzo em pente (qz III) acompanhadas por siderite (sd) com pirite (py III) e calcopirite (cpy). Por fim, menciona-se as estruturas filonianas *crack-seal*, as quais são constituídas numa mesma estrutura por quartzo (qz IV) e carbonatos (dol?), consoante os níveis do encaixante que atravessam. Apesar de não ser possível a especificação de um tempo geológico para cada episódio, pode-se considerar que os últimos dois episódios correspondem a fases tardi-variscas, tendo por base as características das estruturas que caracterizam estes episódios. Assim, considerando as relações de corte identificadas, quer entre estruturas, quer entre minerais, apresenta-se na figura 4.15 o quadro paragenético para a mina de Mociços, de acordo com os episódios considerados no capítulo 4.3.

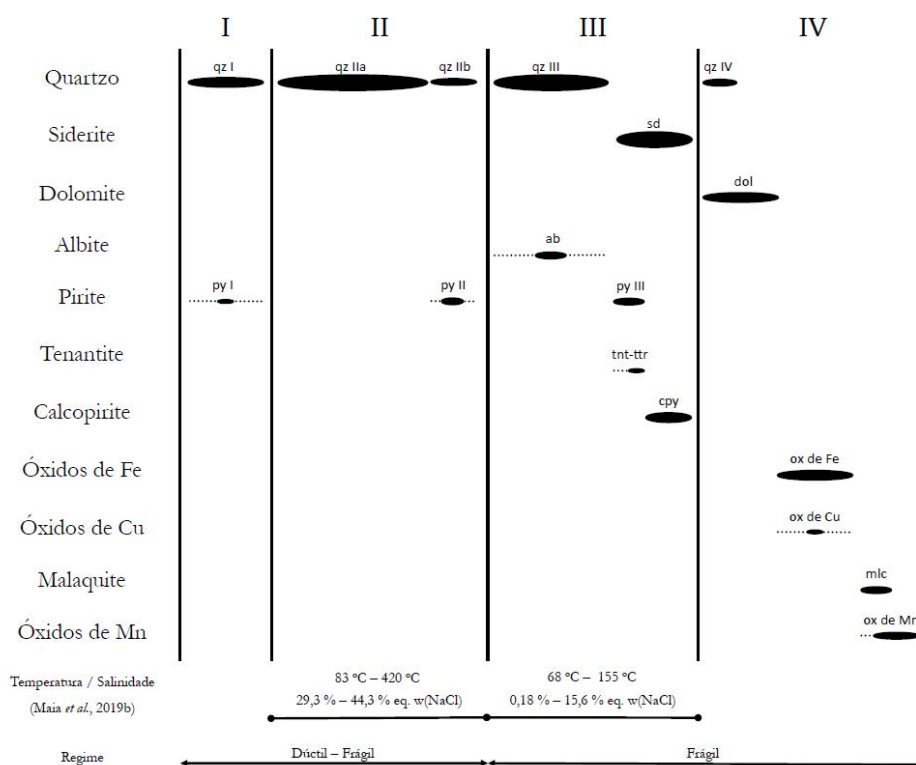


Figura 4.15 - Quadro paragenético da mina de Mociços (I- Episódio I: fase do quartzo de exsudação; II- Episódio II: fase do quartzo leitoso; III- Episódio III: fase do quartzo em pente, dos carbonatos e da calcopirite; IV- Episódio IV: fases tardias; qz - Quartzo; sd - Siderite; dol - Dolomite; ab - Albite; py - Pirite; tnt - Tenantite; ttr - Tetraedrite; cpy - Calcopirite; ox de Fe - Óxidos de Fe; ox de Cu - Óxidos de Cu; mlc - Malaquite; ox de Mn - Óxidos de Mn.).

Capítulo 5

Discussão de resultados

CAPÍTULO 5 - DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1 Geoquímica de solos

As campanhas de geoquímica de solos abordadas no presente estudo (SFM e ZOM-3D), apresentam concentrações de fundo geoquímicos mais conservadoras quando considerada a concentração máxima apresentada pelo *threshold*², calculada a partir da fórmula $M_e + 2 \times DAM$, comparativamente ao *threshold*¹, por sua vez obtido a partir da equação $\bar{x} + 2 \times S$. Este facto deriva das medidas estatísticas utilizadas, mais concretamente da mediana e do desvio absoluto da mediana, as quais possuem uma menor influência dos *outliers*, comparativamente ao segundo método testado que, por sua vez, utiliza a média e o desvio padrão ($\bar{x} + 2 \times S$). Assim, optou-se por efetuar uma interpretação e comparação dos valores de fundo geoquímico, tanto regional como local, com os resultados obtidos através do *threshold*².

Como medida estatística representativa do fundo geoquímico optou-se por considerar o valor mediano dado que, comparativamente à média, apresenta uma menor influência dos *outliers*. Esta medida estatística foi considerada como representativa em outros trabalhos de geoquímica de solos (*e.g.* Luz, 2011; Ferreira, 2015). Apesar dos *outliers* serem geralmente eliminados numa fase inicial da análise estatística de dados em diversas áreas científicas, na prospeção geoquímica estes valores são de interesse, uma vez que podem indicar a ocorrência de minerais com interesse económico. Complementarmente, de acordo com Reimann *et al.* (2005), a remoção destes valores introduz subjetividade na análise geoquímica.

O conhecimento do valor limite do fundo geoquímico de 89 ppm e 10 ppm para o Cu e para o Zn, respetivamente, permite apresentar o fundo geoquímico regional de Mociços como sendo definido por 20 ppm para o Cu e por 10 ppm para o Zn. Comparando com outros casos de estudo (tabela 5.1), o valor de Cu em Mociços é 15 ppm inferior à concentração média característica do fundo regional da mina de S. Domingos e setor Pulo do Lobo (ZSP), segundo os dados apresentados por Luz (2011). Numa segunda comparação, verifica-se um valor idêntico entre a concentração regional de Cu da mina de Mociços e os valores obtidos na 1ª campanha de Neves Corvo (ZSP) por Batista (2003). Este facto pode ser justificado pela existência, em ambas as minas, de calcopirite na mineralização primária.

Tabela 5.1 - Concentração de fundo regional para o Cu e Zn envolvente à mina de Mociços, comparativamente aos valores da mina S. Domingos (Luz, 2011), do campo mineiro de Neves Corvo (Batista, 2003) e dos valores médios para solos (Reimann & Caritat, 1998).

	Mociços	S. Domingos (Luz, 2011) *	Neves Corvo (Batista, 2003)		Valor médio em solos (Reimann & Caritat, 1998)
			1ª Campanha	2ª campanha	
Cu	20	35	20	43	25
Zn	10	58	45	51	70

* Valor médio obtido de acordo com as campanhas Ia, Ib, Ic, IIa e IIb.

Tanto para a mina de S. Domingos como para o campo mineiro de Neves Corvo, encontra-se identificado esfalerite (*e.g.* Matos *et al.*, 2012; Gaspar, 2002). Contrariamente, em Mociços não foi identificado este mineral nem outro quimicamente semelhante. Justifica-se, assim, o facto da concentração em Zn do fundo regional de Mociços ser entre quatro a seis vezes inferior ao verificado nos restantes casos da tabela 5.1.

Comparativamente aos valores médios globais em solos, e tendo por base os valores apresentados por Reimann & Caritat (1998), o solo envolvente a Mociços é empobrecido em Cu a uma escala regional. O mesmo verifica-se para o Zn, identificando-se um défice sete vezes inferior ao valor médio global.

Na abordagem da mina de Mociços a uma escala local, considera-se as concentrações do limite imposto pelo *threshold*², quantificado em 625 ppm e 76 ppm para o Cu e Zn, respetivamente. Apresenta-se, assim, um fundo geoquímico caracterizado por 148 ppm de Cu, onde os valores anómalos podem atingir os 8412 ppm nas proximidades da estrutura mineralizada. Estes valores anómalos refletem diretamente a presença de calcopirite e/ou de cuprite. Relativamente ao Zn, obteve-se um fundo geoquímico local de 36 ppm, verificando-se zonas anómalas que atingem um valor máximo de 167 ppm. Tal como verificado para o fundo geoquímico regional, o fundo geoquímico local da mina de Mociços apresenta uma concentração de Cu superior à concentração de Zn, verificando-se o oposto, por exemplo, na mina de S. Domingos (tabela 5.2). Esta observação aparenta constituir uma característica singular da mina de Mociços e, possivelmente, de outras mineralizações da faixa de Sousel-Barrancos onde não ocorre esfalerite ou outros sulfuretos de Zn.

Tabela 5.2 - Concentração de fundo local para o Cu e Zn na mina de Mociços, comparativamente aos valores da mina S. Domingos (Luz, 2011) e aos valores médios para solos (Reimann & Caritat, 1998).

	Mociços	S. Domingos (Luz, 2011) *	Valor médio em solos (Reimann & Caritat, 1998)
Cu	148	104	25
Zn	36	298	70

* Valor médio obtido de acordo com as campanhas Ia, Ib, Ic, IIa e IIb.

Analisando os valores obtidos para o fundo geoquímico local da área envolvente à mina de Mociços, face as concentrações em solos apresentados por Reimann & Caritat (1998), verifica-se que o solo apresenta valores seis vezes superiores aos valores médios de Cu. Relativamente ao Zn, verifica-se um défice quantificado em 34 ppm, o qual corresponde a metade da concentração média em solos, aproximadamente.

A aplicação de um equipamento de FRX-P permitiu analisar outros elementos a uma escala local, para além do Cu e do Zn. No caso dos elementos As, Cd, Cr, Co, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti e V verifica-se que as concentrações geoquímicas em solos apresentam uma distribuição assimétrica. Relativamente à concentração nos solos dos elementos Cd, Co, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb, Se,

Ti e V estes refletem uma distribuição log-normal, aproximadamente. Apenas o As e Ni apresentam uma distribuição próxima à distribuição normal e, no caso Sb, observa-se uma distribuição anómala.

Na tabela 5.3 sintetiza-se as concentrações do fundo geoquímico local da antiga mina de Mociços, para os 15 elementos analisados, de acordo com o limite imposto pelo *threshold*², bem como o respetivo Índice de Enriquecimento (IE). A aplicação da fórmula $M_e + 2 \times DAM$ resulta, para 87% dos elementos em estudo, nos valores mais conservadores, face o outro método de cálculo analisado. Complementarmente, optou-se pela mediana como medida estatística representativa, considerando que em apenas dois elementos os dados apresentavam uma distribuição próxima à normal.

Tabela 5.3 - Fundo geoquímico local da mina de Mociços para o As, Cd, Cr, Co, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti e V, comparativamente às concentrações médias para solos de Reimann & Caritat (1998) e respetivo IE obtido.

	Concentração média para solos (Reimann & Caritat, 1998)		IE
	M_e (ppm)	(ppm)	
As	19	5	3,80
Cd	0,41	0,3	1,37
Co	15	10	1,50
Cr	72	80	0,90
Cu	148	25	5,92
Hg	0,05	0,05	1,00
Mn	1237	530	2,33
Ni	47	20	2,35
Pb	33	17	1,94
Sb	2,82	0,5	5,64
Se	0,09	0,3	0,30
Ti	4646	4000	1,16
V	132	90	1,47
Zn	36	70	0,51
	(%)	(%)	
Fe	2,96	3,5	0,85

As concentrações medianas obtidas através de FRX-P, comparativamente aos valores apresentados por Reimann & Caritat (1998), sugerem um enriquecimento dos elementos As, Cd, Co, Mn, Ni, Pb, Sb, Ti e V, assim como um empobrecimento do Cr, Se, Fe. Particularmente no caso do Hg verifica-se um valor idêntico à concentração média em solos.

Relativamente ao IE, o maior índice é apresentado pelo Cu, quantificado em 5,92. Segue-se, por ordem decrescente, o Sb e o As com um índice de 5,64 e 3,80, respetivamente. Relacionando os IE obtidos com os sulfuretos identificados na petrografia (capítulo 4), o enriquecimento em Cu é justificado pela presença de calcopirite na mineralização de Mociços. Relativamente ao As e ao Sb, estes elementos estão relacionados com a pirite, possivelmente, dado que segundo Reiman e Caritat (1998) este sulfureto pode ser um mineral hospedeiro destes elementos. Este facto é corroborado pela presença de pirite nos três primeiros episódios de fluidos mineralizantes. Complementarmente, a presença de tenantite e tetraedrite no episódio III sugere uma segunda fonte mineral para estes elementos. Relativamente à deteção pontual de Hg durante as análises de FRX-P, esta poderá estar relacionada com a presença destes sulfossais.

Após conhecida as características estatísticas de cada elemento efetuou-se a determinação das correlações entre estes. Os valores de r obtidos permitiram a identificação de nove correlações excelentes, segundo os limites considerados por Ferreira (2015). Se, por outro lado, forem tidos em conta os valores do R^2 , deve-se excluir a correlação entre os pares de elementos Cu-Mn dado que, segundo com Kalnicky & Singhvi (2001), apenas os pares de elementos com $R^2 > 0,7$ correspondem a correlações significativos (tabela 5.4).

Tabela 5.4 - Pares de elementos $r > 0,8$ e com $R^2 > 0,7$.

Elementos	Cd-Sb	Co-Fe	Cr-Fe	Co-Mn	Fe-Mn	Ti-V	Co-Cr	Co-Cu	Cu -Mn
r	0,96	0,96	0,95	0,93	0,90	0,88	0,86	0,84	0,81
R^2	0,92	0,92	0,90	0,86	0,80	0,78	0,74	0,71	0,66

A análise de *clusters* através da classificação em árvore, tendo por base o R^2 , permitiu concluir que para $1-R^2=0,3$ respeita-se a classificação de *Goldschmidt*, dado que se identifica um grupo de calcófilos, um de litófilos e um de siderófilos. Correspondem, respetivamente, a elementos relacionados com sulfuretos, silicatos e óxidos.

A criação de mapas de isotores locais e regionais através da interpolação pelo método IDW, foi eficiente para a caracterização de anomalias geoquímica de Cu, tal como concluído por Abreu (2016). Com o presente trabalho conclui-se que o IDW é um método eficaz não só para o Cu, mas também para o Zn, acrescentando-se a verificação da sua utilidade para malhas de solos regulares e irregulares, assim como para análises em escalas regionais e locais. No entanto, tenha-se em consideração que é necessário o conhecimento dos valores de fundo local, fundo regional e respetivo *threshold* para uma especificação de classes adequadas. A experiência demonstra que devem ser aplicados diversos coeficientes de ponderação na interpolação, individualmente para cada elemento, até a obtenção de uma superfície interpolada com um limite inferior e superior o mais aproximado possível do valor mínimo e máximo obtida na análise estatística dos dados de geoquímica de solos. Durante esta análise deve-se aplicar um número e amplitude de classes fixa.

No caso particular do mapa regional de isotores de Cu, identifica-se concentrações com uma distribuição espacial alongadas na direção N-S as quais são, aproximadamente, paralelas a filões

de quartzo cartografados por Leal *et al.* (1980). Outro facto observado é a aparente relação espacial entre concentrações de Cu anómalas de direção NW-SE, com a Formação dos Xistos com Nódulos. A análise petrográfica desenvolvida neste trabalho (capítulo 4), corrobora esta hipótese ao identificar na unidade litoestratigráfica dos Xistos e lidos negros (correlacionável com a Formação dos Xistos com Nódulos), não só pirite disseminada, associada à silicificação do encaixante, como também calcopirite, associada a processos de carbonatação.

O mapa de isóteores de carácter local para o Cu permite a identificação de teores anómalos, com uma distribuição espacial alongada paralelamente ao filão principal da mina de Mociços. A dispersão desta anomalia verifica-se, predominantemente, na encosta leste do monte do sítio da Cova do Monge onde se encontra a escombreira. Relativamente ao flanco oeste, as concentrações anómalas são interpretadas como resultantes da remobilização de material, inicialmente depositado no topo da encosta durante a exploração mineira. Esta remobilização provém de atividades agrícolas, como é o caso da desmatção e limpeza dos terrenos que remobilizam o solo. Esta dispersão não é identificada na encosta leste devido ao declive que apresenta.

Relativamente ao mapa regional de isóteores de Zn, identifica-se uma anomalia sobreposta ao filão de quartzo explorado. Tratando-se de um elemento calcófilo considera-se associado à presença de sulfuretos. As restantes concentrações anómalas de Zn estão relacionadas, possivelmente, com causas antropogénicas.

Por último, no mapa local de isóteores de Zn verifica-se que na área envolvente ao filão da Granja as concentrações de Zn são inferiores ao fundo local (36 ppm). Os restantes valores anómalos estão distribuídos pela área de estudos sem correlação com as formações geológicas ou com as edificações existentes.

5.2 Petrografia e mineralogia

A análise petrográfica incidiu sobre a sondagem SD.M4 a qual é, em grande parte, constituída por psamitos micáceos, correlacionáveis com a Formação de Colorada. Entre os litótipos descritos para esta formação por Araújo *et al.* (2013), destaca-se uma possível correspondência entre os arenitos impuros micáceos e os psamitos micáceos de Mociços, possivelmente correspondente a uma fácies mais fina. Estas observações confirmam que durante o Ordovício predominou uma sedimentação terrígena fina, tal como defendido por Araújo (2013).

Os psamitos micáceos têm uma maior representatividade na zona de oxidação, apresentando diversas zonas de fraturação que, em sondagem, adquirem extensões métricas. Portanto, não surpreende que predomine a ocorrência de óxidos e hidróxidos de Fe e de Mn, bem como diversos casos de pseudomorfos de óxidos e hidróxidos de Fe depois de pirite. Considerando que a Formação de Colorada é caracterizada, segundo Roseiro *et al.* (2019), por um ambiente óxido, e que as observações petrográficas das restantes unidades da sondagem SD.M4 apresentam pirite, estes

pseudomorfos de óxidos e hidróxidos de Fe provêm da oxidação de pirite resultante da silicificação do encaixante.

Para além dos psamitos micáceos, identifica-se liditos e xistos negros, os quais apresentam uma correlação com a Formação dos Xistos com Nódulos. Conforme referido por Oliveira (1991), o Silúrico é caracterizado por bacias sedimentares euxínicas. Trabalhos recentes de Roseiro *et al.* (2019) mencionam que o quimismo desta formação indica um ambiente redutor (anóxico a euxínico), observando-se no nosso estudo, como reflexo destes ambientes, níveis milimétricos a centimétricos de material carbonoso intercalados com níveis psamíticos. Carvalho *et al.* (2018) identificaram nestes níveis matéria orgânica com uma refletância entre 2,17% e 4,51%. Nas proximidades do filão da Granja, a matéria orgânica apresenta uma maior maturação devido à circulação de fluidos hidrotermais relacionados com a mineralização.

Na Formação dos Xistos com Nódulos predominam os liditos na base e os xistos negros carbonosos no topo (Araújo *et al.*, 2013). Assim, a identificação de níveis carbonosos e pelítico-carbonos, por vezes silicificados, intercalados com níveis psamíticos na SD.M4 permite inferir que, em Mociços, se observe vestígios de sedimentação do topo desta formação. Todavia, tendo em conta que a diferença de fácies reflete condições de sedimentação distintas entre a região de Barrancos e a de Mociços, pode não ser possível uma correspondência como a mencionada.

Na sondagem SD.M4 os liditos e xistos negros apresentam diversos aglomerados de natureza siliciosa, com formas lenticulares, ooídes e, mais raramente, losângicas. Para além da presença de material carbonoso, estes aglomerados siliciosos são uma característica petrográfica que permitem a distinção entre a Formação dos Xistos com Nódulos e a Formação de Colorada. Possivelmente, ocorre também à escala regional dado que, segundo Araújo *et al.* (2013), identifica-se nódulos de natureza siliciosa na Formação dos Xistos com Nódulos em Barrancos.

Os vestígios de silicificação e de carbonatação nos liditos e xistos negros são abundantes. Foi possível identificar de forma disseminada, tanto pirite associada à silicificação, como calcopirite relacionada com processos de carbonatação. No caso em estudo, os sulfuretos desta unidade provêm de processos de silicificação e carbonatação do encaixante, resultantes da intrusão do filão da Granja (quartzo e carbonatos). Apesar desta unidade ser correlacionável com a Formação dos Xistos com Nódulos, uma generalização de uma escala local para uma escala regional, relativamente à presença de sulfuretos de Cu ser exclusivamente proveniente de fluidos mineralizados, carece de estudos petrográficos noutras ocorrências filonianas de Cu, confirmando o que se verificou em Mociços. Complementarmente, é necessária uma análise petrográfica de ambientes com deformação idêntica e que garantam a inexistência de intrusões filonianas quartzosas e carbonatadas na região envolvente.

Oliveira (1982) no log da sondagem SD.M4 apresenta, logo a muro do filão da Granja, um litótipo que define como metavulcanitos ácidos ou xistos siliciosos, este último caso tenha ocorrido um processo de metassomatismo. À época considerou tratar-se de metavulcanitos ácidos por comparação macroscópica com os existentes em St. Ildefonso. A petrografia levada a cabo no

presente estudo demonstrou tratar-se de uma fácies recristalizada da unidade dos Psamíticos micáceos, resultante de um processo de silicificação do encaixante devido à intrusão do filão da Granja. Esta silicificação é acompanhada pela cristalização de pirite, a qual é em alguns casos observável a olho nu.

A faixa de Sousel-Barrancos é constituída, segundo Oliveira (1984; 1986), por três tipos de estruturas mineralizadas: Disseminadas, Estratiformes e Filonianas. A mina de Mociços insere-se, segundo Oliveira (1984), no grupo das estruturas mineralizadas do tipo Filonianas e no subgrupo das estruturas subconcordantes (NNW-SSE), considerando a sua posição estrutural relativamente às unidades encaixantes. A reinterpretação de dados geofísicos do SFM da década de 1970 por Oliveira *et al.* (2017) permitiram evidenciar uma orientação regional das estruturas NW-SE que, no sector da mina de Mociços, muda para uma orientação N-S, concordante com a orientação do filão da Granja (figura 5.1).

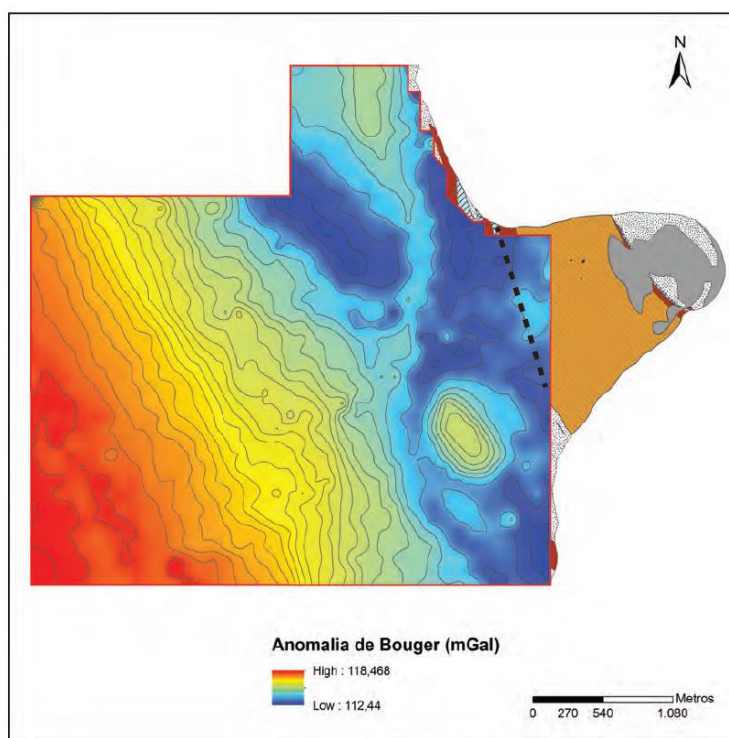


Figura 5.1 - Mapa de anomalias de *Bouguer* para a região de Mociços. Dados do SFM e interpolação do projeto ZOM-3D. O filão principal de Mociços encontra-se assinalado com a linha a tracejado (Oliveira *et al.*, 2017).

A mina de Mociços corresponde a uma estrutura filoniana de direção N15°W, 80°E (Moreira *et al.*, 2017), inserida numa estrutura em sinclinal à escala cartográfica (Oliveira, 1984). O estudo da sondagem SD.M4 colocou em evidência sucessivas repetições de psamitos micáceos e de liditos e xistos negros, confirmando que as formações estão deformadas em profundidade. Quando se analisa o perfil da sondagem estudada (figura 4.1), verifica-se que o filão da Granja está localizado no contacto entre os psamitos micáceos e os liditos e xistos negros, correlacionáveis com a Formação

de Colorada e com a Formação dos Xistos com Nódulos, respetivamente. Assim, considera-se que o filão da Granja está localizado numa zona de falha ou de descontinuidade entre as unidades mencionadas. Note-se que, durante a amostragem da sondagem SD.M4, identificaram-se várias zonas de fraturação de extensão métrica. Adicionalmente, as bandas *kink*, fendas de tração e falhas existentes na área de estudo de Mociços são características de um regime de deformação frágil, que Moreira *et al.* (2017) consideram como contemporâneas da mineralização principal e que são compatíveis, segundo os mesmos autores, com fases frágeis tardi-variscas. Esta hipótese é concordante com Mateus *et al.* (2003), onde indicam esta e outras mineralizações da Faixa de Sousel-Barrancos como resultantes de actividade hidrotermal tardi-varisca.

Apesar das semelhanças apresentadas por Oliveira (1984) entre a estrutura filoniana da mina de Mociços e da mina de Miguel Vacas (rochas encaixantes idênticas; texturas brechóides junto ao contacto com o encaixante; e filões de natureza quartzo-carbonatada com a mesma mineralização primária), comparando a paragénese de ambas as minas verificam-se semelhanças e desigualdades. Segundo Fernandes (2012), a mina de Miguel Vacas corresponde a uma estrutura filoniana definida por $qz \pm ank \pm sid$ associada uma mineralização primária hipogénica constituída por $py + cpy \pm apy \pm gdt$. Relativamente à mineralização de Mociços, esta é definida por estruturas filonianas constituídas por siderite, às quais se associa uma mineralização primária de $cpy \pm py III \pm tnt-ttr$. A análise petrográfica levada a cabo na presente dissertação permitiu identificar quatro fases de circulação de fluidos, estando a mineralização cuprífera inserida no episódio III (*vide* capítulo 4.3). As estruturas filonianas de quartzo refletem episódios cíclicos com diferentes intensidades e características, observando-se nos dois primeiros episódios uma mineralização hipogénica de pirite ($qz I + py I$ e $qz IIb + py II$). Assim, tanto a mineralização de cobre de Miguel Vacas como a de Mociços apresentam uma relação direta com a presença de siderite. Verifica-se, ainda, que a ocorrência calcopirite é acompanhada, tanto em Mociços como em Miguel Vacas, pela cristalização de pirite e por minerais metálicos com As na composição química. Todavia, apesar de não ter sido verificada nesta dissertação, fica em aberto a possibilidade da existência de uma calcopirite anterior à identificada no episódio III, tal como sugerem os trabalhos de Maia *et al.* (2019b).

O sítio da Cova do Monge, onde o filão da Granja foi explorado, corresponde à zona de lixiviação da estrutura (figura 5.2). Em profundidade, e através do estudo da sondagem SD.M4, verifica-se a presença de uma zona de oxidação materializada por pseudomorfos de óxidos e hidróxidos de Fe depois de pirite. Apesar de se verificar a ocorrência de carbonatos aos 36,49 m, bem como pirite e/ou calcopirite em estruturas filonianas secundárias aos 51,90 m, apenas a partir dos 77,33 m verifica-se uma estabilização na tipologia das estruturas filonianas e encaixante da Zona Hipogénica. Este facto deriva da densa rede de fraturas existentes, mencionada no *log* de Oliveira (1982) e confirmada durante a amostragem da sondagem SD.M4.

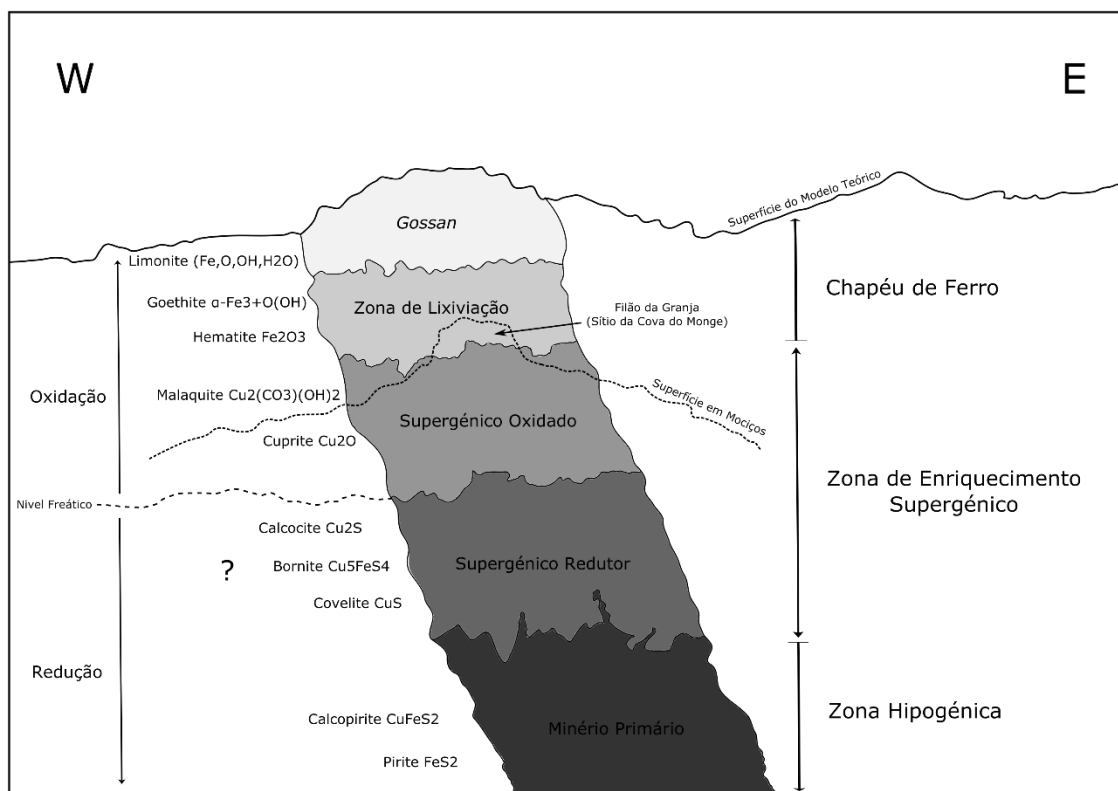


Figura 5.2 - Secção esquemática da estrutura filoniana de Mociços e respectivas zonas, comparativamente ao modelo teórico de um enriquecimento supergénico (Guilbert & Park, 1986; Robb, 2005). A figura não se encontra à escala.

Ao contrário do verificado em Miguel Vacas por Fernandes (2012), com o estudo da sondagem SD.M4, em Mociços, não foi possível identificar a zona de enriquecimento supergénico, regularmente caracterizada pela ocorrência de minerais como calcocite, bornite e covelite. Este facto poderá estar relacionado com o posicionamento da sondagem, a qual foi efetuada com uma inclinação de 45° no flanco leste do sítio da Cova do Monge, atingindo o filão da Granja a uma profundidade onde este apresentava mineralização primária. Outro facto é que, considerando a existência de galerias pelo menos até à cota do rio Guadiana, muito possivelmente esta zona de enriquecimento foi explorada permanecendo apenas nos pilares existentes entre galerias. Tendo em consideração que a sondagem foi efetuada a 45° de inclinação e que esta apresenta uma extensão de 91,05 m, calcula-se que tenha atingido uma profundidade vertical de 77 m, aproximadamente.

Na década de 80, Oliveira (1986) refere três fontes prováveis para os metais encontrados nas mineralizações cupríferas do tipo Filonianas da faixa de Sousel-Barrancos: a remobilização efetuada a partir da Formação dos Xistos com Nódulos (caracterizada por um ambiente redutor e considerada pelo mesmo como base do silúrico); da descontinuidade Câmbrio-Ordovícia (correspondente ao horizonte siliciosos com sulfuretos identificado no anticlinal de Estremoz); e/ou de aparelhos subvulcânicos subjacentes. Para Mateus *et al.* (2013) a génese das mineralizações desta faixa está associada à atividade hidrotermal, relacionada com a propagação e reativação de zonas de falhas. A mineralização provém, segundo os mesmos autores, da descarga localizada de fluidos após circulação

pervasiva nas sequências metassedimentares Paleozoicas de onde obtiveram o conteúdo metalífero por lixiviação (figura 5.3). Mateus *et al.* (2003; 2013) defendem que a deposição de calcopirite tenha ocorrido a uma $T \approx 260-300\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $10^{-33} < a(\text{O}_2) < 10^{-28}$, após a lixiviação de Cu dos metassedimentos, por sua vez definida por uma $T \approx 325 - 375\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $a(\text{O}_2) < 10^{-40}$. Em concordância com esta hipótese, Roseiro *et al.* (2019) propõem os metassedimentos do Silúrico como fontes de metais.

Os primeiros estudos de inclusões fluidas no sector de Estremoz-Barrancos foram efetuados por Maia *et al.* (2019a) nas antigas minas de Mociços e de Miguel Vacas, assim como na ocorrência de Ferrarias. Este autor concluiu que a mobilização e precipitação de cobre é controlada por fluidos com características comparáveis a depósitos de cobre com uma forte assinatura magmática. Como possíveis fontes considera os corpos plutónicos e subvulcânicos de composição calcoalcalina, localizados nas proximidades (*e.g.* Complexo Plutónico de Santa Eulália), sugerindo condições do tipo pórfiro durante a evolução geodinâmica da ZOM (figura 5.4).

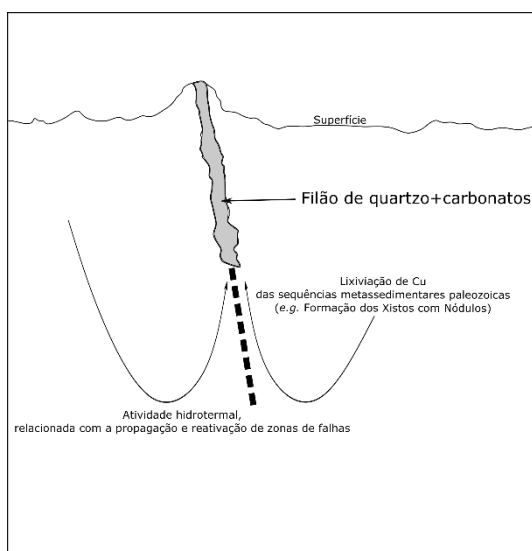


Figura 5.3 - Representação esquemática do modelo proposto por Mateus *et al.* (2013).

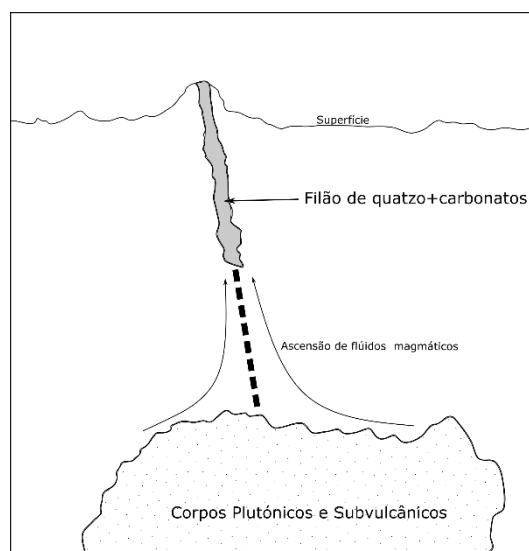


Figura 5.4 - Representação esquemática do modelo proposto por Maia *et al.* (2019a).

Para o caso particular da mina de Mociços, Oliveira (1984) defende a possibilidade da mineralização que constitui o filão da Granja ter sido remobilizada da Formação de Mociços (equivalente à Formação dos Xistos com Nódulos), através de fraturas, concentrando-se numa fase posterior em conjunto com quartzo e carbonatos. Estudos recentes de inclusões fluidas efetuados por Maia *et al.* (2019b), indicam que os fluidos associados à mineralização de Mociços poderão ter um contributo magmático, tendo por base que o quimismo e as temperaturas têm características idênticas às verificadas em vários depósitos hidrotermais de origem magmática. Complementarmente, a presença de CaCl_2 e MgCl_2 , para além de NaCl , sugere a presença de um sistema de fluidos mais complexo e profundo.

A análise petrográfica levada a cabo na presente dissertação favorece, de alguma forma, a hipótese apresentada por Maia *et al.* (2019b), considerando as evidências de processos de alteração

hidrotermal, quer nas rochas do encaixante na mina de Mociços, quer nos próprios filões e veios associados. Por outro lado, confirma-se o carácter multifásico desta mineralização, tal como proposto por Mateus *et al.* (2003; 2013).

Capítulo 6

Conclusões

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES

O estudo do fundo geoquímico de Mociços tendo por base a campanha de geoquímica de solos do SFM, permitiu concluir que o solo é, a uma escala regional, empobrecido tanto em Cu como em Zn. No caso deste último elemento, observa-se concentrações sete vezes inferior ao valor médio global para solos. A análise com mais detalhe da área da mina de Mociços, com recurso a um equipamento de FRX-P, possibilitou a quantificação do fundo geoquímico a uma escala local. Este foi quantificado em 148 ppm de Cu e por 36 ppm de Zn, o que corresponde a valores médios seis vezes superiores aos valores médios globais para o Cu e, no caso do Zn, a um défice quantificado em 34 ppm. O défice em Zn identificado, tanto a uma escala regional como local, é uma característica própria da área em estudo e, possivelmente, de outras mineralizações desta faixa onde não existe sulfuretos de Zn na mineralização primária. Relativamente aos restantes elementos analisados exclusivamente a uma escala local, as concentrações medianas obtidas sugerem um enriquecimento do solo para os elementos As, Cd, Co, Mn, Ni, Pb, Sb e Ti, bem como um empobrecimento para o Cr, Se e Fe.

Face os resultados obtidos na análise estatística bivariada, salientam-se os coeficientes de correlação de *Pearson* de nove pares de elementos, a saber: Cd-Sb=0,96; Co-Fe=0,96; Cr-Fe=0,95; Co-Mn=0,93; Fe-Mn=0,90; Ti-V=0,88; Co-Cr=0,86; Co-Cu=0,84 e Cu-Mn=0,81. Ao englobar a análise multivariada na análise estatística de dados, foi possível verificar a existência de 3 *clusters* que respeitam a classificação de *Goldschmidt*.

A criação de mapas de isotores, através da interpolação de dados pelo método IDW, apresenta-se com uma metodologia útil e eficaz para a detecção de anomalias geoquímicas com características diversas. Veja-se o caso do mapa regional de isotores de Cu onde foi possível identificar, para além da área mineira, concentrações com uma distribuição espacial alongada na direção N-S, subparalelas a filões de quartzo cartografados, bem como concentrações anómalas de Cu de direção NW-SE, as quais sugerem uma correlação espacial com a Formação dos Xistos com Nódulos. Esta correlação é corroborada na metalografia, através da identificação de calcopirite nos liditos e xistos negros (correlacionável com a Formação dos Xistos com Nódulos), resultante de processos de carbonatação do encaixante.

Relativamente à estrutura mineralizada e explorada pela Empresa Mineira do Rosário, Lda., esta corresponde a uma estrutura filoniana de direção de N15°W, 80°E inserida numa estrutura em sinclinal (Sinclinal do Rosário). Particularmente no sítio da Cova do Monge, o filão principal (Filão da Granja) contacta com a Formação de Colorada e com a Formação dos Xistos com Nódulos. A sondagem SD.M4, na qual se baseou o estudo petrográfico da presente dissertação, é constituída essencialmente por psamitos micáceos e por liditos e xistos negros, o que demonstra que em profundidade o filão contacta com as mesmas formações aflorantes. Contudo, a muro do filão principal e com baixa representatividade, identifica-se uma fácies recristalizada dos psamitos micáceos, consequência de um processo de silicificação que resulta da intrusão do filão da Granja.

O estudo petrográfico exaustivo permitiu a individualização de quatro episódios de circulações de fluidos: Episódio I – fase do quartzo de exsudação; Episódio II – fase do quartzo leitoso; Episódio III - fase do quartzo em pente, dos carbonatos e da calcopirite; Episódio IV – fases tardias. Com base na presente amostragem, a mineralização da mina de Mociços é definida por $sd \pm cpy \pm py$ III \pm $tnt-ttr$, inserida no episódio III. A complexidade destes episódios leva a que permaneçam algumas questões, inclusive a existência de outros carbonatos para além de siderite associados, ou não, à mineralização (*e.g.* ankerite, kutnohorite), assim como a confirmação da associação exclusiva da calcopirite aos carbonatos.

Associado à ocorrência de mineralizações identificam-se alterações hidrotermais características. Neste contexto, verifica-se que as unidades encaixantes da mineralização de Mociços apresentam, predominantemente, a silicificação e a carbonatação como processos de alteração hidrotermal. Complementarmente, e com menor representatividade, observou-se sericitização do encaixante, mas que, de uma forma geral, se torna de difícil identificação dada a ocorrência abundante de sericite de origem diagenética e/ou tectónica nos níveis pelíticos, a qual caracteriza as unidades geológicas intersectadas pela SD.M4. Relativamente às estruturas filonianas de quartzo, foi observado tanto cloritização como albitização. A identificação destas alterações hidrotermais privilegia, de certa forma, a hipótese apresentada por Maia *et al.* (2019b), que defendem uma origem magmática para a mineralização de Mociços. Por outro lado, confirma-se o carácter multifásico da mineralização proposto por Mateus *et al.* (2013), bem como a existência de uma fase de idade tardi-varisca responsável pela mineralização cuprífera, caracterizada por um regime frágil.

Capítulo 7

Trabalhos futuros

CAPÍTULO 7 - TRABALHOS FUTUROS

A sondagem SD.M4 foi o alvo principal deste estudo petrográfico. Considerando a existência de uma segunda sondagem no mesmo local, designada por SD.M5A, será conveniente nos próximos trabalhos alargar os estudos a esta sondagem, a qual atingiu uma maior profundidade de perfuração (152,85 m). Todavia, este furo apresenta uma menor quantidade de litótipos intercetados, face a SD.M4. O conhecimento integrado de duas sondagens permitirá determinar, com maior rigor, a estrutura geológica do setor onde se encontra a mineralização.

Os minerais constituintes dos diversos episódios de circulação de fluidos requerem uma análise de química mineral, distinguindo quimicamente todas as gerações de quartzo e de carbonatos, como também os diversos minerais metálicos identificados. O mesmo deverá ser aplicado nos minerais metálicos do encaixante, resultantes do processo de silicificação e carbonatação, bem como nos de origem sedimentar.

A litogeoquímica poderá ser outro dos temas a desenvolver, comparando a constituição geoquímica das formações existentes em Mociços com as mesmas formações aflorantes noutros locais da ZOM. Esta deverá ser acompanhada por uma análise petrográfica, permitindo compreender as diferentes fácies existentes. O recurso a difração de raios-X poderá fornecer uma contribuição importante na caracterização detalhada das alterações hidrotermais identificadas neste trabalho.

Considerando a proximidade da mina de Mociços com o rio Guadiana, é necessário um estudo ambiental urgente que quantifique e determine os impactos da lixiviação de metais da escombreira para o rio Guadiana.

Bibliografia

BIBLIOGRAFIA

- Abade, J. A. O. (1916). *Planta de reconhecimento da mina de cobre da Granja na freg. de N. S. do Rosário, conc. do Alandroal, distrito de Évora*. Escala 1:10.000. Arquivo Técnico LNEG, Campus de Aljustrel, ID 14541.
- Abade, J. A. O. (1919a). *Relatório de Reconhecimento da mina de cobre da Granja nº 2, na freguesia de Nossa Senhora do Rosário, concelho do Alandroal, distrito de Évora*. Arquivo Técnico LNEG, Campus de Aljustrel, ID 14546, 2 p.
- Abade, J. A. O. (1919b). *Relatório de Reconhecimento da mina de cobre da Granja nº 3, na freguesia de Nossa Senhora do Rosário, concelho do Alandroal, distrito de Évora*. Arquivo Técnico LNEG, Campus de Aljustrel, ID 14547
- Abade, J. A. O. (1919c). *Planta de Reconhecimento da mina da Granja nº 2, na freguesia de N. S. do Rosário, conc. do Alandroal, distrito de Évora*. Escala 1:10.000. Arquivo Técnico LNEG, Campus de Aljustrel, ID 14546
- Abade, J. A. O. (1919d). *Planta de reconhecimento da mina de cobre da Granja nº 3, na freg. de N. S. do Rosário, conc. do Alandroal, distrito de Évora*. Escala 1:10.000. Arquivo Técnico LNEG, Campus de Aljustrel, ID 14547, 2 p.
- Abreu, A. C. S. (2016). *Incorporação do conhecimento geológico em métodos de interpolação espacial: aplicação à prospeção geoquímica*. Tese de Mestrado. Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, 53 p.
- Araújo, A. A. V. (1995). *Estrutura de uma geotransversal entre Brinches e Mourão (Zona de Ossa-Morena): implicações na evolução geodinâmica da margem sudoeste do Terreno Autóctone Ibérico*. Tese de Doutoramento. Universidade de Évora, 200 p.
- Araújo, A. (2013). O Varisco do sector sul de Portugal. In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg (Eds). *Geologia de Portugal*. vol. I, Escolar Editora, pp. 483-492.
- Araújo, A., Piçarra de Almeida, J., Borrego, J., Pedro, J., & Oliveira, J.T. (2013). As regiões central e sul da Zona de Ossa-Morena. In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg, (Eds). *Geologia de Portugal*. vol. I, Escolar Editora, pp. 509-549.
- Apalategui, O., Eguiluz, L., & Quesada, C. (1990). Ossa Morena Zone, Structure. In: R. D. Dallmeyer & E. Martínez-García (Eds.): *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, Springer-Verlag, vol. 2, pp. 80-219.
- Batista, M. J. A. F. (2003). *Comportamento de elementos químicos no sistema rocha-solo-sedimento-plantas na área mineira de Neves Corvo: Implicações ambientais*. Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro, Aveiro, 406 p.
- Brandão, J. M. & Matos, J. X. (2002). Memórias do cobre: nota sobre a criação de um parque arqueológico industrial na Mina da Herdade da Mostardeira (Estremoz, Portugal). In: *Libro de Actas del Primer Simposio sobre la Minería y la Metalurgia antigua en el Sudoeste Europeo*, Centro d'Arqueologia d'Avinganya, Serós, Segrià, Catalunya, España, del 5 al 7 de mayo de 2000. Segrià: SEDPGYM, 2002, vol. 2, pp. 483-493.

- Brandão, J. M. & Lopes, C. S. (2006). Memórias da lavra: a Mina de Aparis (Barrancos, Portugal). In: *Património geológico y minero: su caracterización y puesta en valor*. Rábano, I & Josep, M. (Eds). Cuadernos del Museo Geominero, nº 6, Madrid, pp. 169-178.
- Borrego, J. M. C. S. (2009). *Cartografia Geológico-Estrutural de um sector da Zona de Ossa-Morena (Sector de Estremoz-Barrancos) e sua interpretação Tectónica*. Tese de Doutoramento. Universidade de Évora. 479 p.
- Cabral, J. A. C. N. (1868). *Reconhecimento da mina de cobre da Cova do Monge, sita na herdade da Granja, freguesia de Nossa Senhora do Rosário, concelho do Alandroal*. Arquivo Técnico LNEG, Campus de Aljustrel, ID 16719, 4 p.
- Cabral, J. A. C. N. (1869). *Planta da mina de cobre, sítio da Cova do Monge, na herdade da Granja, conc. do Alandroal*. Arquivo Técnico LNEG, Campus de Aljustrel, ID 16719
- Carvalho, A., Vicente, S., Afonso, P., Laranjeira, V., Ribeiro, J., Moreira, N., Maia, M., Nogueira, P., & Flores, D. (2018). Matéria orgânica em líditos e xistos negros do Silúrico da Zona de Ossa-Morena (Mina dos Mociços – Alandroal). *Livro de actas do VIII Congresso Jovens Investigadores em Geociências*, LEG 2018, Estremoz, pp. 78 – 81
- Fernandes, G. (2012). *Mineralizações de cobre da Mina de Miguel Vacas: Caracterização Petrográfica e Geoquímica*. Tese de Mestrado. FCUL, Lisboa, 113 p.
- Ferreira, A. R. L. (2015). *Efeito de background local e assinatura geoquímica de anomalias naturais em sedimentos de corrente e solos – aplicação à área envolvente do jazido de urânio (Nisa, Portugal)*. Faculdade de Ciência e Tecnologias. Tese de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 94 p.
- Fisher, L., Gazley, M. F., Baensch, A., Barnes, S. J., Cleverley, J., & Duclaux, G. (2014). Resolution of geochemical and lithostratigraphic complexity: a workflow for application of portable X-ray fluorescence to mineral exploration, *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 14 (2), pp. 149–159.
- Gaspar, O. C. (2002). Mineralogy and sulphide mineral chemistry of the Neves Corvo ores, Portugal: insight into their genesis. *The Canadian Mineralogist*, 40, pp. 611–636.
- Guilbert, J. M. & Park, C. F., Jr. (1986). *The Geology of Ore Deposits*. W.H. Freeman and Company, New York. 985 p.
- Guimarães, P. E. (2001). *Indústria e conflito no meio rural: Os mineiros alentejanos (1858-1938)*. Publicações de Cidehus, Edições Colibri. 366 p.
- Hall, G. E. M., Bonham-Carter, G. F., & Buchar, A. (2014). Evaluation of portable X-ray fluorescence (pXRF) in exploration and mining: Phase 1, control reference materials. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 14, pp. 99-123.
- Higueras, P., Oyarzun, R., Iraizoz, J.M., Lorenzo, S., Esbrí, J.M., & Martínez-Coronado, A. (2012). Low-cost geochemical surveys for environmental studies in developing countries: testing a

- field portable XRF instrument under quasi-realistic conditions. *Journal of Geochemical Exploration*, 113, pp. 3-12.
- Hunt, A. M.W. & Speakman, R. J. (2015). Portable XRF Analysis of Archaeological Sediments and Ceramics. *Journal of Archaeological Science*, 53, pp. 626-638.
- Julivert, M., Marcos, A., & Pérez-Estatin, A. (1977). La structure de la chaîne hercynienne dans le secteur iberique et l'arc ibero-armoricain. In: La chaîne varisque d'Europe moyenne et occidentale. *Colloque International, Rennes, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)*, 243, pp. 429- 440.
- Kalnicky, D.J. & Singhvi, R. (2001). Field portable XRF analysis of environmental samples. *Journal of Hazardous Materials*, 83, pp. 93-122.
- Luz, F. A. D. (2011). *A geoquímica de solos e sedimentos de corrente na prospeção de mineralizações sulfuretas no sector NE da Zona Sul Portuguesa*. Tese de Mestrado. Universidade de Lisboa, Lisboa, 177 p.
- Maia, M., Moreira N., Mirão J., Noronha F., & Nogueira P. (2019a). Fluid inclusion study of Cu-rich deposits from the Sousel-Barrancos metallogenic belt (Ossa-Morena Zone, Portugal). *Acta Mineralogica-Petrographica Abstract Series (ECROFI 2019)*, 10, p. 79
- Maia M., Moreira N., Vicente S., Mirão J., Noronha F., & Nogueira P. (2019b). Fluid constraints in the Mociços Cu deposit (Ossa-Morena Zone, Portugal). *Acta Mineralogica-Petrographica Abstract Series (ECROFI 2019)*, 10, p. 78
- Mateus, A., Matos, J.X., Rosa, C., & Oliveira, V. (2003). Cu-ores in quartz-carbonate veins at Estremoz-Alandroal and Barrancos-Sto Aleixo regions (Ossa Morena Zone): a result of Late-Variscan hydrothermal activity. *Actas do VI Congresso Nacional de Geologia, Ciências da Terra*, UNL, Lisboa, n° esp V (CD-ROM), pp. F90-F93.
- Mateus, A., Munhá, J., Inverno, C., Matos, J.X., Martins, L., Oliveira, D., Jesus, A., & Salgueiro, R. (2013). Mineralizações no sector português da Zona de Ossa-Morena. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J.C. (Ed.), *Geologia de Portugal*, vol. 1, Escolar Editora, pp. 577-619.
- Matos, J.X. & Filipe, A., Coord. (2013). *Carta de Ocorrências Mineiras do Alentejo e Algarve à escala 1:400000*, versão digital. Edição LNEG/ATLANTERRA, Lisboa. ISBN: 978-989-675-029-9, Colaboração: D. Oliveira, C. Inverno, C. Rosa, M.J. Batista, Z. Pereira, R. Salgueiro, T. Cunha, F. Barreira. Mining map of the South of Portugal.
- Matos, J. X., Pereira, Z., Batista, M. J., & Oliveira, D. (2012). São Domingos mining site - Iberian Pyrite Belt. In *9th International Symposium on Environmental Geochemistry*, Aveiro. pp. 7-12.
- Mesquita, M. A. C. G. (2009). Análise tipológica de processos de obra rodoviária: 1852-1920: um estudo de caso. Tese Mestrado. Universidade de Lisboa, Faculdade de Letras, Lisboa. 81 p.
- Moreira, N.; Araújo, A.; Pedro, J., & Dias, R. (2014). Evolução geodinâmica da Zona de Ossa-Morena no contexto do SW Ibérico durante o Ciclo Varisco. *Comunicações Geológicas*, 101(vol. especial I), pp. 275-278.

- Moreira, N., Vicente, S., Maia, M., Nogueira, P., & Araújo, A. (2017). Controlo estrutural de mineralizações de Cobre na Mina dos Mociços (Zona de Ossa-Morena); dados preliminares. *Livro de actas do VII CJIG*, Estremoz, pp. 45-48.
- Mota, T. S. (2009). “Os olhos da Geologia”, o discurso dos engenheiros e o saber dos geólogos: o início da utilização de métodos geofísicos na prospeção de recursos minerais em Portugal. *Comunicações Geológicas*, t. 96, pp. 129-142.
- Nunes, J. P. A. (2010). O estado novo e o volfrâmio (1933-1947). *Actividade mineira, «Grande Depressão» e Segunda Guerra Mundial*. Imprensa da Universidade de Coimbra, 576 p.
- Oliveira, J. T., Oliveira, V., & Piçarra, J. M. (1991). Traços gerais da evolução tectonoestratigráfica da Zona de Ossa-Morena, em Portugal. *Cuadernos Lab. Xeolóxico de Laxe, Coruña*, vol. 16, pp. 221-250.
- Oliveira, R. J., Borges, J. F., Caldeira, B., Nogueira, P., Araújo, A., Vicente, S., Matos, J., Maia, M., Araújo, J., & Reis, J. (2017). Estudo Geofísico na Mina de Mociços (Projeto ZOM 3D). *Livro de Resumos das Jornadas do ICT*, Universidade do Minho, Braga, p. 31
- Oliveira, V. (1982). *Sondagem nº: SD.M4. Área: Rosário (Mociços) Filão*. Arquivo LNEG ID 14908, 2 p.
- Oliveira, V. (1984). Contribuição para o conhecimento geológico-mineiro da região de Alandroal-Juromenha (Alto Alentejo). *Estudos, Notas e Trabalhos do SFM*, XXVI/1-4, pp. 103-126.
- Oliveira, V. (1986). Prospeção de minérios metálicos a sul do Tejo. *Geociências*, Universidade de Aveiro, Aveiro, vol. 1(1-2), pp. 15-22.
- Leal, J., Oliveira, V. & Camarinhas, M. (1980). Carta Geológica e Mineira, Folhas 74/-116, 74/-114, 76/-116, 76/-114 na escala 1/5000, Serviço de Fomento Mineiro, Arquivo do LNEG Beja. Não publicado.
- Panão, A. S. I. (2007). *Remoção de Cobre de Lixívias Sulfúricas por Cementação*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 98 p.
- Pedro, J., Araújo, A., Fonseca, P., Munhá, J. Ribeiro, A., & Mateus, A. (2013). Cinturas Ofiolíticas e Metamorfismo de Alta Pressão no Bordo SW da Zona de Ossa-Morena. In: *Geologia de Portugal*, Volume I, Geologia Pré-mesozóica de Portugal, (Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. e Kullberg, J. C, Editores), Escolar Editora, pp. 647 – 671.
- Pereira, M. F.; Silva, J. Brandão; Solá, A. R.; & Chichorro, M. (2013). Nordeste Alentejano. In: *Geologia de Portugal*, Vol. I: Geologia Pré-mesozóica de Portugal. Eds. Rui Dias, Alexandre Araújo, Pedro Terrinha, José Carlos Kullberg. Lisboa: Livraria Escolar Editora, 2013, Cap. II.2.1., pp. 493-508.
- Piçarra, J. M. (2000). *Estudo Estratigráfico do Sector de Estremoz-Barrancos, Zona de Ossa Morena, Portugal*. Tese de Doutoramento. Universidade de Évora, Évora, 268 p.
- Reimann, C. & Caritat, P. (1998). *Chemical elements in the environment*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 398 p.

- Reimann, C., Filzmoser, P., & Garrett, R.G. (2005). Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *Science of the Total Environment*, 346, pp. 1-16.
- Robb, L. J. (2005). *Introduction to Ore-Forming Processes*. Blackwell Science Ltd, 373 p.
- Rocha, I. V. (1997). *O carvão numa economia nacional. O caso das minas do Pejão*. Tese de Mestrado. Universidade do Porto, Faculdade de Letras, Porto, 481 p.
- Rocha, R. C. (2011). *Génese e evolução da bacia de Terena. Relação entre os processos sedimentares e a deformação Varisca*. Tese de Doutoramento. Universidade de Évora, Évora, 305 p.
- Roseiro, J., Moreira, N., Maia, M., Nogueira, P., Ribeiro, J., Araújo, A., & Pedro, J. (2019). Variações de oxidação-redução nos ambientes deposicionais das unidades detríticas da Zona de Ossa Morena: implicações para a génese das mineralizações sulfuretadas?. *Livro de actas do IX Congresso Jovens Investigadores em Geociências*, LEG 2019, Estremoz, pp. 140 -143.
- Silva, A. F. & Matos, A. C. (2000). Urbanismo e Modernização das Cidades: O “Embellazamento” como ideal, Lisboa, 1858-1891. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Universidade de Barcelona, 69 (30).
- Spengler, P. (1873). *Plano de Lavra da mina de cobre, “Cova do Monge”, freguesia da Granja, concelho de Alandroal, distrito de Évora*. Arquivo Técnico LNEG, Campus de Aljustrel, ID 16719, 5 p.
- Stockmann, U., Cattle, S. R., Minasny, B., & McBratney, A. B. (2016). Utilizing portable X-ray fluorescence spectrometry for in-field investigation of pedogenesis. *Catena*, 139, pp. 220–231.
- Tornos, F., Inverno, C.M.C., Casquet, C., Mateus, A., Ortiz, G., & Oliveira, V. (2004). The metallogenic evolution of the Ossa-Morena Zone. *Journal of Iberian Geology*, 30, pp. 143–181.
- Valério, N. (1991). Periodização da História Monetária de Portugal. *Estudos de Economia*, vol. XII, nº1, Out.-Dez, 16 p.
- Vilaça, C. V. (1912). *Relatório de reconhecimento da Mina de Cobre da Granja*. Arquivo Técnico LNEG, Campus de Aljustrel, ID 14541, 2 p.
- Wu, C-M., Tsai, H-T., Yang, K-H., & Wen, J-C. (2012). How Reliable is X-Ray Fluorescence (XRF) Measurement for Different Metals in Soil Contamination?. *Environmental Forensics*, 13, pp. 110–121.

Anexos

