

Atividades de prospecção geológica no jazigo filoniano de ouro de Freixo de Numão

Miguel Ângelo Pinto Pedro

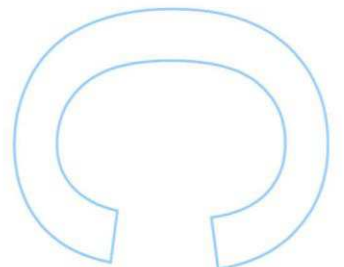
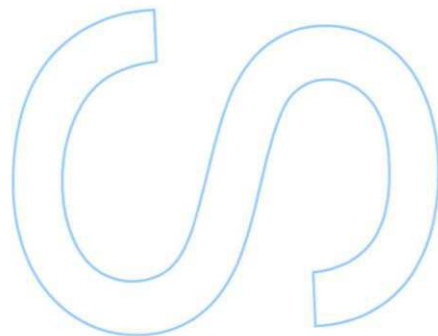
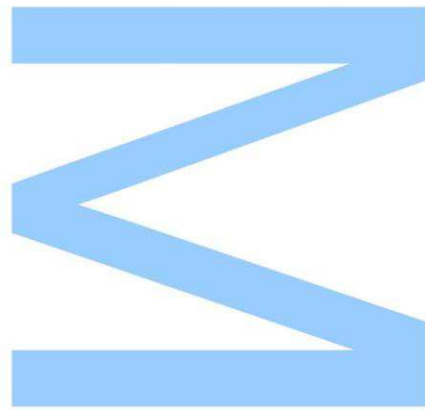
Mestrado em Geomateriais e Recursos Geológicos
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2018

Orientador

Dr. Iuliu Bobos, Professor Associado com Agregação, FCUP

Coorientador

Dr. Luís Jaques, Geólogo, Minaport Lda.

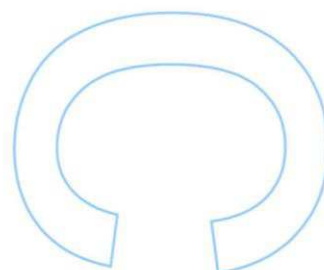
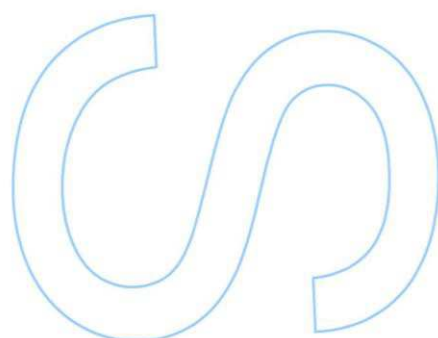
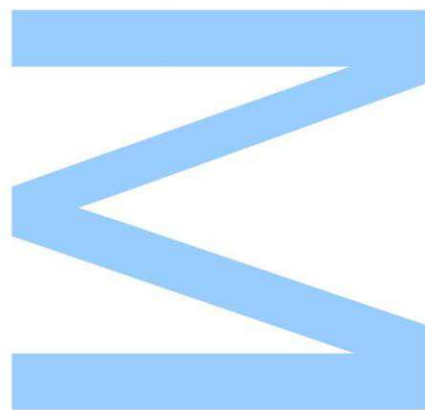




Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



Agradecimentos

Este documento simboliza a transição entre duas importantes etapas: da vida académica para a vida profissional. Este passo apenas foi possível com o suporte e apoio de todos os envolvidos neste trabalho aos quais gostaria de agradecer.

Em primeiro lugar ao Professor Iuliu Bobos por dar início a esta fase e pela sua disponibilidade para orientar este trabalho, assim como, por sempre se interessar em transmitir os seus conhecimentos ao nível da mineralogia, petrografia e da metalogenia.

Um caloroso agradecimento e reconhecimento ao Dr. Luís Jaques Ribeiro pelo seu apoio incomensurável, um grande amigo e coorientador do trabalho de estágio.

Dirijo também o meu agradecimento à empresa MINAPORT – Minas de Portugal Ltd, e a todos os seus trabalhadores, em particular ao Dr. António Osório e ao Sr. José Bemposta pela possibilidade de realizar o estágio curricular, no âmbito do qual foi publicado este estudo, assim como, pelo seu apoio no decorrer do mesmo.

Um agradecimento em especial ao Sr. Alberto Murçós e ao Sr. Fernando Galvão, por todo o apoio prestado e pelos seus ensinamentos e palavras de incentivo, que tanto contribuíram para o meu desenvolvimento quer a nível profissional, quer a nível humano.

Ao Sr. Paulo Moreira pela sua ajuda na elaboração do log de sondagem, ao Sílvio pela ajuda na preparação de amostras, e ao Sr. Dr. Nataniel pelo seu contributo.

À Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Universidade do Porto e Universidade de Aveiro e a todos os Docentes e técnicos que contribuíram para a minha formação.

Em geral, ao Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, pelo uso das suas instalações e laboratórios, em particular à Dona Irene pelo seu apoio incomensurável.

Ao Centro de Materiais da Universidade do Porto, em particular ao Dr. Carlos Sá e à Dra. Daniela, pela sua disponibilidade no uso de microscópio eletrónico de varrimento.

Ao Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, em particular à Eng. Cristina Sequeira pelas análises químicas por Fluorescência de Raios-X

Ao Patrick, ao José e ao Vitor, pela vossa amizade e apoio.

Finalizo com o maior agradecimento dedicado aos meus pais que sempre me apoiaram em todas as circunstâncias e perante todas as adversidades e incentivaram a expandir os meus horizontes.

Resumo

O trabalho de prospeção geológica desenvolvido na área mineira de Freixo de Numão permitiu-me pôr em prática alguma das ferramentas teóricas adquiridas ao longo da minha formação académica. Desempenhando atividades de prospeção geológica, como também realizando estudos mineralógicos e geoquímicos das litologias e mineralizações encontradas na área de estudo.

O estudo desenvolvido envolveu duas fases: trabalho de campo, recorrendo aos meios providenciados pela empresa, e trabalho laboratorial, recorrendo aos laboratórios do DGAOT da FCUP. Os trabalhos desenvolvidos em contexto empresarial incluíram desde cartografia geológica, recolha de amostras para análise química e a realização de *log's* de sondagem. A componente laboratorial, exigiu um estudo petrográfico e mineralógico das litologias identificadas e um estudo mineralógico e químico da mineralização de ouro.

As principais litologias metassedimentares da região, nomeadamente, filitos, grauvaques, quartzitos e quartzos-vaques foram estudados ao microscópio óptico, sendo feita a descrição mineralógica e petrográfica. O estudo petrográfico também proporcionou uma série de conhecimentos acerca da mineralogia e da textura das rochas. As rochas identificadas foram analisadas pela técnica de Fluorescência de Raios-X, em que as concentrações em elementos maiores e vestigiais foram determinadas quantitativamente. Utilizando o Microscópio Ótico de Reflexão e Microscópio Eletrónico de Varrimento (MEV) foi ainda possível identificar e analisar os minerais opacos. Confirmou-se a presença de ouro (eléctrum), arsenopirite, bismuto e calcopirite, nos quartzos-vaques e nos filões de quartzos, onde cristais milimétricos de arsenopirite euédrica foram identificados macroscopicamente no campo.

Através do estudo mineralógico e geoquímico das litologias metassedimentares, comprovou-se que os filitos e grauvaques têm uma composição química aproximada, verificando-se apenas diferenças texturais. Também pelos mesmos métodos se comprovou que os quartzitos e os quartzos-vaques têm composições químicas e mineralógicas idênticas. A presença de grandes quantidades de arsenopirite euédrica é a maior particularidade entre estas litologias. A temperatura de cristalização da arsenopirite e da clorite foi estimada utilizando os geotermómetros resultando uma temperatura relativa de 350°C e de 260 °C, respetivamente.

Palavras Chave: Mineralizações de ouro, elementos químicos maiores e vestigiais, geotermómetro da arsenopirite e da clorite, Freixo de Numão

Abstract

The geological prospection carried out in the Freixo de Numão mining area allowed to develop activities, namely prospection, cartography and mining works. Also, a mineralogical and geochemical study carried out on the regional rocks and in the mineralized lithotypes was developed in the laboratory.

During this internship I had the opportunity to develop several field works concerning the geological and mining cartography, sampling at the mining and drilling works and geological interpretation and description of outcrops. The mineralogical and petrographic laboratory work was conducted to study the rocks including the gold mineralization.

The regional metasedimentary rocks are: phyllites, greywackes, quartzites and quartzwackes. The samples were studied by transmission and reflection optic microscopy in. The petrographic study provided a new knowledge about the mineralogy and texture of these rocks. The rocks were also analysed by the X-ray fluorescence methodology, allowing to the quantitatively measurement of major and trace elements concentrations. The opaque minerals were also analysed using scanning electron microscopy (SEM) equipped with an energy dispersive X-ray spectroscopy. Gold (electrum), arsenopyrite, bismuth, chalcopyrite, galena, scheelite and Ti and W oxides were identified in the quartzwackes, as well as, millimetric crystals of euhedral arsenopyrite were macroscopically observed in the field.

The mineralogical and geochemical study of the metasedimentary rocks proved that phyllites and greywackes have a similar chemical composition, with main differences at the textural scale. Also, the quartzites and quartzwackes have similar mineralogical and chemical composition. The presence of large amounts of arsenopyrite is the major distinction between these rocks. The crystallization temperature of arsenopyrite based on the atomic %As obtained from the arsenopyrite was estimated at about 350 °C, whereas for chlorite at about 260 °C.

Keywords: Gold mineralization, rock and ore mineralogy, major and minor chemical elements, geothermometer of arsenopyrite and chlorite, Freixo de Numão

Índice

Agradecimentos.....	I
Resumo.....	III
Abstract.....	V
Índice de figuras	IX
Índice de tabelas.....	XV
1 Introdução.....	1
2 Estado da Arte	5
3 Enquadramento Geológico	9
3.1 Localização Geográfica da Área de Estudo.....	11
3.2 Geologia Regional.....	13
3.3 Tectónica Regional.....	18
3.4 Geologia Local	23
4 Materiais e Metodologias de Trabalho no Campo e no Laboratório	31
4.1 Materiais e Metodologias para Trabalho no Campo	33
4.1.1 Cartografia Geológica	33
4.1.2 Amostragem	34
4.2 Métodos Analíticos	35
4.2.1 Microscópio Ótico	35
4.2.2 Microscopia Eletrónica de Varrimento.....	37
4.2.3 Difração de Raios-X.....	38
4.2.4 Espectroscopia de Absorção Atómica.....	40
4.2.5 Espectroscopia de Fluorescência por Raios-X.....	43
5 Atividades de Prospeção Geológica na Exploração do Jazigo Filoniano de Ouro de Numão e Caracterização Geológica da Sondagem SN-21	45
5.1 Trabalhos de Prospeção Geológica.....	47
5.1.1 Considerações Gerais.....	47
5.1.2 Cartografia Geológica	48
5.1.3 Amostragem de Afloramentos.....	52
5.1.4 SIG e CAD	54
5.2 Descrição e Amostragem de Sondagens Carotadas	59
5.2.1 Descrição de Sondagens Carotadas.....	59
5.2.2 Log da Sondagem SN-21.....	62
5.2.3 Amostragem da Sondagem SN-21	68
5.2.4 Caracterização Macroscópica das Litologias Observadas. Seleção de Amostras para o Estudo Mineralógico e Petrográfico	69

6 Caracterização Mineralógica e Petrográfica das Rochas Representativas da Formação de Numão	71
6.1 Introdução	73
6.2 Caracterização Mineralógica e Petrográfica	73
6.2.1 Filito (Lâmina L1)	73
6.2.2 Grauvaque vs Metagrauvaque (Lâmina L2)	75
6.2.3 Quartzito (Lâmina L3)	77
6.2.4 Quartzovaque (Lâmina L4)	78
6.3 Caracterização Geoquímica das Rochas.....	78
6.4. Relações entre a Composição Mineralógica e Geoquímica das Rochas Analisadas	82
7 Estudo Mineralógico da Mineralização de Ouro – Sondagem SN-21	85
7.1 Introdução	87
7.2 Microscopia Ótica de Reflexão	87
7.2.1 Quartzovaque	87
7.2.2 Filão de Quartzito Mineralizado	88
7.3 Microscopia Eletrónica de Varrimento	89
7.3.1 Ouro, Bismuto e Arsenopirite no Quartzovaque Mineralizado	89
7.3.2 Electrum, Bismuto, Arsenopirite e Galena no Filão de Quartzito Mineralizado	99
8 Geotermómetros de Arsenopirite e Clorite	109
8.1 Geotermómetro de Arsenopirite	111
8.2 Geotermómetro da Clorite	113
9 Paragénese Mineral.....	117
10 Discussão e Conclusão.....	121
Referências Bibliográficas	127

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1: Enquadramento geral da área concessionada à Minaport. A amarelo estão assinaladas as capitais de distrito. A linha roxa representa o trajeto mais rápido, pela A4, IC5 e IP3; a Laranja um percurso alternativo, pela N222, que apesar de mais curto, acrescenta apenas 10 minutos ao tempo de viagem e uma paisagem única. Grelha de coordenadas no sistema ETRS89 PT TM06** 11
- Figura 2: Enquadramento da concessão de Numão nas grandes unidades geológicas do Maciço Ibérico** 12
- Figura 3: Excerto da carta geológica de Portugal na escala 1:500 000, onde se destaca a área de prospeção e pesquisa de Numão, que assenta essencialmente em litologias do complexo xisto grauváquico, e granitóides Hercínicos (tardi a pós-tectónicos relativamente a F₃). II – Excerto da carta geológica 15-A 1:50 000, onde se destaca a concessão de exploração experimental de Numão, que assenta diretamente em litologias da Formação de Pinhão.** 15
- Figura 4: Coluna estratigráfica representativa da sequência sedimentar do Grupo do Douro onde se destaca a equivalência lateral das formações do Alóctone e do Autóctone. II- Sinclinal de grande amplitude que afecta a sequência metassedimentar do Grupo do Douro, onde estão assinalados os cavalgamentos que marcam a transição da Formação de Bateiras para a Formação de Rio Pinhão. A linha verde delimita a concessão de prospeção e pesquisa de Numão. Adaptado da carta geológica 15-A: Vila Nova de Foz Côa.** 16
- Figura 5: Excerto da carta geológica à escala 1:50 000.** 17
- Figura 6: Perfil interpretativo AB da carta geológica na escala 1:50 000 (15-A – Vila Nova de Foz Côa), onde se encontra esquematizado o carreamento que sobrepõe o Alóctone (Formações de Rio Pinhão, Pinhão e Desejosa) ao Autóctone (Formações de Bateiras e Ervedosa do Douro) do Grupo do Douro.** 18
- Figura 7: Esquematização das principais dobras tardias Hercínicas e das principais falhas do nordeste Português. Adaptado de Marques *et al*, 2002. O perímetro a verde delimita a área da concessão de Prospeção e Pesquisa de Numão** 19
- Figura 8: Esquematização dos principais eventos orogénicos que afetaram a Zona Centro Ibérica, numa escala cronológica. Adaptado de Marques *et al*. 2002** 20
- Figura 9: Representação dos dois principais sistemas de falhas resultantes da última fase da Orogenia Varisca, dos quais o sistema N25°, de desligamento direito na imagem, foi reativado pela compressão NNW-SSE da Orogenia Alpina, tornando-se num desligamento esquerdo (Marques *et al*, 2002).** 20
- Figura 10: Minas e ocorrências de ouro na Zona Centro Ibérica. Adaptado de Pereira *et al*. 1993.** 21
- Figura 11: Localização da área da concessão mineira de Numão na carta geológica de Portugal, na escala 1:50 000 (Folhas 11C – Torre de Moncorvo e 15A – Vila Nova de Foz Côa).** 23
- Figura 12: Vários aspetos da geologia local onde se destacam na sequência estratigráfica alguns níveis mais siliciosos, os quais sobressaem na paisagem I – Vale situado a sul do Cabeço do Lobo; II – Num primeiro plano, o talude do Cabeço do Lobo, e no plano mais distante destacam-se alguns níveis de quartzito; III – Cumeeira situada a oeste do Cabeço do Lobo, nas proximidades de Seixas, onde nem todas as cristas representam quartzitos mas sim níveis mais siliciosos, possivelmente metagrauvaques.** 24
- Figura 13: Vários aspetos das litologias dominantes na área em estudo I -Trincheira recente onde a rocha se encontra ligeiramente alterada, sendo relativamente fácil distinguir grauvaques (aspeto mais silicificado e xistosidade menos penetrante) dos filitos (mais alterados, claramente menos siliciosos e com xistosidade bem marcada). II - Nas carotes de sondagem também se distinguem bem as diferenças litológicas. No entanto, neste caso é evidente que não existe uma mudança brusca entre as litologias referidas, mas antes uma transição gradual, excetuando algumas**

- quando ocorrem lenticulas de rocha calcossilicatada e nas transições para os quartzitos que ocorrem de forma mais abrupta. III – No terreno distinguem-se situações de erosão diferencial onde as litologias em que a xistosidade está bem marcada (filitos) se distinguem das bancadas mais resistentes e siliciosas onde a xistosidade não é tão evidente. 25
- Figura 14: I – Em vários taludes é possível observar não só filões de quartzo leitoso com possanças distintas, mas também falhas paralelas, subverticais de direção aproximada segundo N°20. II – Alternâncias de bancadas de grauvaques para filitos atravessadas por um filonete de cerca de 4 cm (assinalado a vermelho). III -Filão de quartzo leitoso com nódulos maciços de arsenopirite, fortemente oxidado e alterado, com possança de cerca de 8 cm. 25
- Figura 15: I – Na galeria de exploração experimental é comum observar-se a presença de arsenopirite euédrica nos filitos que contactam com os filões de quartzo (neste caso no filão de quartzo leitoso também se observa mineralização maciça de arsenopirite e ainda alguma calcopirite) II – Nas sondagens também se observa claramente quando um filão de quartzo contacta com os filitos. 26
- Figura 16: I- Na junção das duas linhas de água verifica-se a ocorrência de filões de quartzo com maiores possanças (por vezes superiores a 30cm), o que poderá justificar a presença de pequenos trabalhos de exploração, mais antigos; II – Ao longo do caminho é possível observarem-se várias zonas escavadas e posteriormente recobertas, de pequena dimensão, que marcam a localização de algumas estruturas filonianas; III – Alguns dos trabalhos foram entretanto destapados, para se observar o seu interior. 27
- Figura 17: I – Aspeto típico geral dos quartzitos, onde se destaca a cor cinza escura, a dureza elevada, alguma silicificação associada e presença de feixes de filonetes de quartzo, possivelmente de gerações distintas. Ainda é de evidenciar a banda de cloritização que ocorre no contacto com algumas estruturas filonianas. II– Nas sondagens é bastante fácil de identificar esta litologia, a qual contrasta com os grauvaques e com os filitos. III – É evidente a ocorrência de filonetes com orientações distintas, o que aponta possivelmente para diferentes gerações. 27
- Figura 18: I – Nesta frente da Travessa 3 é evidente, da esquerda para a direita, a transição desde os quartzitos (atravessados por vários feixes de veios de quartzo e de clorite), para rochas de natureza filítica (onde se nota mais a xistosidade por contraste aos quartzitos) e, novamente para quartzitos. II – Nesta frente de um nicho ou subtravessa da Travessa 3 observa-se uma zona muito fraturada com vários filões e filonetes de quartzo a atravessarem uma zona menos competente, correspondente a litologias mais pelíticas. 28
- Figura 20: Emboquilhamento da galeria experimental, que fica na base do Cabeço do Lobo, referência do monte (que também dá nome a um vinho famoso da região), onde se destacam ainda o ventilador e a infraestrutura energética à direita, e parte da lavaria à esquerda num nível superior, onde se evidência o silo de alimentação de um dos moinhos 29
- Figura 19: I – Distribuição geral das galerias dentro da concessão de exploração experimental; II – Apesar do maciço que serve de base à galeria apresentar excelentes características geotécnicas, existem algumas zonas no maciço que requerem contenção adicional, em especial quando atravessam falhas com preenchimento argiloso; III – Num furo com cerca de 3 metros, é possível ver o efeito da descompressão do maciço na envolvente; IV – Macro fotografia de detalhe com cristais de arsenopirite (cerca de 2 mm); as zonas a amarelo correspondem a arsenatos resultantes da alteração da arsenopirite, em particular scorodite. 29
- Figura 22: I – Talude onde se destaca bem um filão de quartzo mineralizado, que contrasta com a direção da estratificação; II – Filonetes de quartzo leitoso a cortarem uma zona de quartzito numa carote de sondagem. 30
- Figura 21: Bloco de quartzito com intercalação de rocha calcossilicatada (zona mais clara, no meio) 30
- Figura 23: Microscópio Ótico de luz polarizada transmitica. 36

Figura 24: Microscópi Electrónico de Varrimento do CEMUP	37
Figura 25: Difractómetro de raio X, A – Difractómetro, B - Tubo de raio X, C – Câmara de pó, D – Filtro monocromado.	39
Figura 26: Conceito básico da espectroscopia de absorção atómica.	41
Figura 27: Conceito básico das lâmpadas usadas em espectroscopia de absorção atómica.	42
Figura 28: Componentes principais de um espectómetro de Raios X	43
Figura 29: I – A travessa 3 segue praticamente ao longo da estratificação, atravessada por filões de quartzo mineralizados, onde foi efectuada amostragem em canal separadamente tanto da estrutura mineralizada como de parte da rocha encaixante junto ao encosto. II- Na confluência das duas linhas de água anteriormente referidas, existe uma zona atravessada por vários filões de quartzo de grande possança (cerca de 20 cm), os quais foram também alvo de amostragem	47
Figura 30: Algumas bases comuns para cartografia. I – A carta geológica à escala 1:50 000 é uma importante fonte de informação (assim como a correspondente notícia explicativa) é uma boa base para se proceder à cartografia de uma área numa outra escala; II – As cartas topográficas (nº 130 da série M888) na escala 1:25 000 são, também, uma boa base, pois apresentam pontos de referência de forma clara (ex estradas, caminhos, linhas de água, etc) que ajudarão essencialmente na localização; III – A fotografia aérea é um recurso atualizado frequentemente e bastante vantajoso uma vez que permite uma boa visão do terreno	49
Figura 31: I – Fotografia com representação do talude “A” que foi cartografado, assinalado a laranja; II – Apesar da fotografia aérea do terreno ainda não se encontrar atualizada, foi já feito o levantamento da crista (a verde); a amarelo representam-se os levantamentos feitos usando uma fita, incluindo xistosidade/estratificação, filões de quartzo e intercalações de rochas calcossilicatadas; III – Convém estabelecer a simbologia a usar, de forma a que seja bem clara e que possa facilmente ser lida por outros.	50
Figura 32: Alguns aspetos observados durante a cartografia do talude; I – Intercalação de uma rocha calcossilicatada entre metagrauwaques II – Dois filonetes de quartzo leitoso mineralizado, muito alterados e oxidados, onde se destacam ainda nódulos de arsenopirite maciça, mais expressivos junto aos contactos; III – Outra intercalação de rocha calcossilicatada no seio de metagrauwaques, estes claramente mais competentes que os filitos.	51
Figura 33: I- Pormenor do filão a amostrar; II- Vista geral do filão na rocha encaixante. Repare-se que o plano focal coincide quase paralelamente à xistosidade, que é sub-vertical.	52
Figura 34: I- No talude fica registado o tamanho do canal e a referência da amostra; II- A referência da amostra deve constar na parte externa do saco de plástico e num pequeno cartão que fica dentro do saco.	53
Figura 35: Paralelismo entre interfaces gráficas do Autocad (em cima) e do ArcGis (em baixo), apesar de à primeira vista diferentes, em conceito aproximam-se. A título de exemplo mediu-se uma área (erro de 20cm²) e um perímetro (erro de 20cm), cujo erro, não significativo, se deve essencialmente a métodos de projeção diferentes. Continuação do paralelismo entre softwares na figura 36.	55
Figura 36: Google Earth (esquerda) e Offlinemaps+ (direita). O mesmo enquadramento da figura 35, usando a medição da mesma área para comparação. Em conceito todos os softwares referidos funcionam de forma semelhante e por isso partilham das ferramentas básicas. Estas duas aplicações destacam-se pela aspeto prático e fluidez de utilização, como contrapartida com limite de funcionalidade.	57
Figura 37: I - Sonda utilizada para a sondagem SN-21, estando no entanto orientada para uma sondagem executada posteriormente. Na mesma plataforma realizaram-se 3 sondagens, com atitudes diferentes. II – Por vezes a rocha é tão competente e encontra-se livre de grandes fraturas que permite ao amostrador recolher o comprimento máximo de 4 m.	60

- Figura 38: Localização da sondagem SN-21 com alguns elementos de referência como por exemplo, as galerias de exploração experimental, a verde, e a área concessionada para exploração experimental, a laranja.** 63
- Figura 39: Planta e perfil esquemático da sondagem SN-21. A título de exemplo, é de realçar que no perfil, a projeção da zona de quartzitos corresponde exatamente aos quartzitos da planta, que foram cartografados à superfície.** 64
- Figura 40: Caixa nº24 da sondagem SN-21. A tinta azul está marcada a informação relativa ao posicionamento da sondagem, em particular metragem inicial e final da manobra, o número da caixa e o nome da sondagem. A tinta preta estão marcadas as informações relativas à amostragem, como por exemplo a metragem inicial e final de cada amostra, e entre estas medidas a referência da amostra, sendo neste caso um número.** 68
- Figura 41: O uso de uma serra elétrica como a da figura garante um corte exato da amostra de rocha. A serra da figura recorre a um sistema de arrefecimento com água, pelo que implica que todas as partículas finas resultantes do corte serão capturadas e retidas no tabuleiro inferior. Deve ser estabelecido se é ou não relevante capturar esta fração mineral., a qual poderá conter indícios de mineralização.** 69
- Figura 42: Imagens ao microscópio ótico de luz transmitida em nicóis paralelos (a) e nicóis cruzados (b). Imagem em luz refletida onde se destaca a presença de cristais euédricos de arsenopirite no seio de uma massa sericítica e quartzítica (c).** 73
- Figura 43: Imagens ao microscópio ótico em nicóis paralelos (a) e nicóis cruzados (b), de um veio de turmalina (Tur) e sericite a cortar uma massa quartzosa.** 74
- Figura 44: Imagens de microscopia ótica em luz transmitida de grauvaque em nicóis paralelos (a) e cruzados (b). Observa-se uma massa fundamental sericítica (Ser), quartzo (Qz), biotite e opacos (óxidos de ferro).** 75
- Figura 45: Imagens de microscopia ótica numa zona mais quartzítica (recristalização do quartzo!) com veios de turmalina (Tur) numa massa sericítica (Ser) (a e b).** 75
- Figura 46: Imagens ao microscópio ótico do grauvaque em nicóis paralelos (a) e nicóis cruzados (b). Para além da abundância de sericite e quartzo, evidenciam-se cristais de biotite cloritizada (Bi/Cl) e alguns opacos (óxidos de Ti).** 76
- Figura 47: Grauvaque com uma textura granoblástica composta por uma massa fundamentalmente quartzo-sericítica: Nicóis paralelos (a) e nicóis cruzados (b). Nota-se também a presença de fosfatos (Fos)** 76
- Figura 48: Imagens do quartzito em nicóis paralelos (a) e em nicóis cruzados (b), onde destacam-se os pontos triplos entre os cristais de quartzo.** 77
- Figura 49: Nesta imagem verifica-se essencialmente cristais de grandes dimensões de quartzo (Qz). Destacam-se ainda filossilicatos como moscovite (Ms) e clorite (Cl). Os opacos são arsenopirite (Apy). (a) nicóis paralelos; (b) nicóis crusados.** 77
- Figura 50: Veio de Clorite (Cl) + sulfuretos (S) observado em nicóis paralelos (a); Quartzo (Qz) onde se voltam a verificar pontos triplos (O) e Sericite (Ser), observado em nicóis cruzados (b).** 78
- Figura 51: Imagens ao microscópio ótico em transmissão onde observa-se uma textura granoblástica composta pela uma massa quartzítica e sericítica com opacos (arsenopirite), observado em nicóis cruzados.** 78
- Figura 52: Diagrama SiO_2 vs $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ para rochas vulcânicas (LeBas *et al.* 1986)** 79
- Figura 53: Classificação das rochas metasedimentares da Zona Centro-Ibérica (Herron, 1988) e enquadramento das nossas rochas metasedimentares estudadas na região de Freixo de Numão.** 80
- Figura 54: Participação dos minerais argilosos na rocha filítica** 83
- Figura 55: Participação dos minerais argilosos nos grauvaques** 83
- Figura 56: Lâmina delgada e amostra de quartzovaque** 87
- Figura 57: Imagens em luz refletida de dois campos distintos com arsenopirite euédrica numa matriz quartzítica.** 88
- Figura 58: Lâmina delgada L1 com o contacto entre o filão de quartzo mineralizado e o quartzovaque** 88

Figura 59: Nesta imagem observa-se o contacto entre o quartzo filoniano e a zona mineralizada, rica em arsenopirite euédrica. Imagem em luz transmitida em nicóis paralelos (a), nicóis cruzados (b), e em luz refletida (c).	89
Figura 60: (a) Imagem de microscopia óptica de reflexão onde se destaca o ouro nativo dentro de um cristal de arsenopirite; (b)- Imagem ao microscópio electrónico de varrimento do mesmo campo.	89
Figura 61: Imagem obtida através do MEV de cristais euédricos de arsenopirite com inclusões de ouro e bismuto.	90
Figura 62: Espectros EDS do ouro (S1 e S2)	90
Figura 63: Espectros EDS da arsenopirite (S3) e do bismuto (S4)	91
Figura 64: Cristais de óxidos de titânio e zircão.	91
Figura 66: Espetros S7 e S8, óxidos de titânio.	92
Figura 65: Espectros EDS de óxidos de titânio (S5 e S6))	92
Figura 68: Espetros EDS S9 a S11, referente a óxidos de titânio.	93
Figura 67: Cristal euédrico de rútilo	93
Figura 69: Arsenopirite (S13, S14 e S15) e bismuto nativo (S12, S16 e S17)	94
Figura 70: Espectros EDS do bismuto (S12) e da arsenopirite (S13)	94
Figura 71: Espectros EDS da arsenopirite (S14 e S15)	95
Figura 72: Espetros EDS do Bismuto (S16 e S17)	95
Figura 73: Bismuto nativo.	96
Figura 74: Espetros EDS do bismuto (S18 e S19)	96
Figura 75: Scheelite (S20) em contacto com arsenopirite	97
Figura 76: Espetro EDS da scheelite (S20).	97
Figura 77: Espetros EDS dos campos S21(bismuto), S22 (galena) e S23 (bismuto).	99
Figura 78: Electrum (S24) e bismuto nativo (S25, S26 e S27) cristalizado ao longo dos planos intragranulares entre os cristais de arsenopirite.	100
Figura 79: Espectros EDS do ouro ou electrum (S24) e bismuto nativo (S25)	100
Figura 80: Espetros EDS de bismuto nativo (S26 e S27)	101
Figura 81: Imagem BSE de cristais micrométricos de galena	101
Figura 82: Espetro EDS da galena (S28)	102
Figura 83: Imagem BSE de cristais de galena	102
Figura 84: Espetro EDS da galena (S29)	103
Figura 85: Cristais milimétricos de arsenopirite dispersos numa massa quartzítica.	103
Figura 86: Espetro EDS da arsenopirite (S30).	104
Figura 87: Imagem de MEV evidenciando cristais de arsenopirite com um hábito perfeito euédrico.	104
Figura 88: Espetros EDS da arsenopyrite (S31 e S32).	105
Figura 89: Arsenopirite euédrica (S33) e zircão (S34 e S35) numa matriz quartzosa.	105
Figura 90: Espetros EDS de arsenopirite (S33) e zircão (S34 e S35).	106
Figura 91: Arsenopirite euédrica (S36), óxidos de titânio e terras raras (S37 e S38).	106
Figura 92: Espetros S36 a S38.	107
Figura 93: Projeção das composições químicas (%) da arsenopirite no diagrama Fe – S – As	112
Figura 94: Diagrama atomic %As vs T(°C) (Kretschmar e Scott 1976).	113
Figura 95: Espetro de Difração de Raios-X obtido na clorite.	113
Figura 96: Amostra de mão de uma zona de filão de quartzo em contacto com rochas quartzíticas com presença de uma associação de adularia e clorite.	120

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Resultados das medições de uma área, e respetivo perímetro, recorrendo aos diferentes softwares, da esquerda para a direita: AutoCad, ArcGis, Google Earth e OfflineMaps+. O desvio verificado no software de telemóvel OfflineMaps+ deve-se ao facto da interface ser mais pequena e difícil de indicar os locais da medição, no entanto seria possível construir um polígono indicando as coordenadas dos vértices, o que diminuiria o erro.	58
Tabela 2: A: Log da sondagem “SN-21”	66
Tabela 3: Recuperações da sondagem SN-21.	67
Tabela 4: Tabelas com os resultados das análises químicas, para elementos maiores e elementos vestigiais, das litologias selecionadas da área de estudo	81
N.A.: não analisado	81
Tabela 5: Composição química e mineralógica das rochas filíticas	82
Tabela 6: Composição química e mineralógica das rochas grauvacóides	83
Tabela 7: Análises semi-quantitativas do ouro (S1 e S2), arsenopirite (S3) e bismuto (S4)	91
Tabela 8: Análises semi-quantitativas dos óxidos de titânio	92
Tabela 9: Análises semi-quantitativas dos óxidos de titânio	93
Tabela 10: Análises semi-quantitativas do bismuto e arsenopirite	95
Tabela 11: Análise semi-quantitativa da scheelite	97
Tabela 12: Análise semi-quantitativa da galena(S22)	99
Tabela 13: Análise semi-quantitativa do electrum (S24)	101
Tabela 14: Análise semi-quantitativas da galena	102
Tabela 15: Análise semi-quantitativas da galena	103
Tabela 16: Análise semi-quantitativa de arsenopirite.	104
Tabela 17: Análises semi-quantitativas da arsenopirite.	105
Tabela 18: Análises semi-quantitativas da arsenopirite e do zircão.	106
Tabela 19: Análise semi-quantitativa da arsenopirite.	107
Tabela 20: Composição química da arsenopirite	111
Tabela 21: Composição química da clorite	114
Tabela 22: Sequencia paragenética dos minerais opacos em função das fases de alteração hidrotermal e meteorização	120

1 INTRODUÇÃO

A presente dissertação insere-se na unidade curricular de Projeto do 2º Ano do Mestrado em Geomateriais e Recursos Geológicos, partilhado pela Universidade de Aveiro e pela Universidade do Porto. Esta dissertação é relativa ao estágio curricular que decorreu na empresa Minaport Lda., entre outubro de 2017 e março de 2018, sob a orientação do Professor Iuliu Bobos (FCUP) e do Dr. Luís Jaques (Minaport Lda.). O estágio na Minaport Lda. foi uma experiência enriquecedora a vários níveis, uma vez que permitiu o desenvolvimento de novas competências e pôr em prática os conhecimentos adquiridos ao longo da vida académica. Este estágio foi a ferramenta que permitiu fazer a ligação entre a formação académica e o início da formação profissional.

O principal objetivo deste estágio foi a inserção do aluno num ambiente empresarial, tendo em vista a aquisição de novas competências e a exposição a novos desafios, permitindo ao mesmo tempo contribuir para os trabalhos de geologia a desenvolver na empresa, culminando com a realização desta dissertação.

Outros objetivos deste estágio centraram-se na recolha de dados do ambiente geológico da zona em estudo, bem como uma melhor compreensão das zonas mineralizadas do jazigo recorrendo a diferentes métodos analíticos, tais como a geoquímica (rochas e minerais), a análise petrográfica de amostras de rocha (amostras de mão e recolhidas numa sondagem), tendo o estudo das litologias sido efetuado por caracterização de afloramentos e através do recurso a sondagens carotadas.

A experiência adquirida permitiu assim desenvolver um conjunto de competências e aquisição de conhecimentos relacionados com as atividades de prospeção geológica num contexto empresarial. Entre as atividades desenvolvidas e conhecimentos adquiridos são de destacar o desenvolvimento de atividades de prospeção geológica como o planeamento e execução de campanhas de amostragem e cartografia, quer em superfície quer em ambiente subterrâneo, projeção e acompanhamento de sondagens. Dos recorrentes desafios diários e incentivo à resolução de problemas práticos resultou uma maior sensibilidade na identificação de estruturas geológicas e maior capacidade na identificação de riscos associados as atividades de desenvolvimento mineiro.

2 ESTADO DA ARTE

A importância das jazidas de ouro do norte de Portugal, em particular nas regiões do Minho, Trás-os-Montes e Beiras, é reconhecida desde época anterior à da Roma Antiga. Os jazigos de ouro são do tipo filoniano hidrotermal e têm uma distribuição geográfica heterogénea, tendo em comum uma intrínseca associação espacial a zonas de cisalhamento. Em geral os jazigos de ouro são constituídos por filões subverticais com direções, N10°E a N40°E, associadas a falhas tardias da fase de deformação D4. São conhecidos alguns exemplos que cortam desde granitos tardi-tectónicos a metassedimentos de idade Carbonífera, sendo estas evidências que levam vários autores a considerar estas mineralizações como sendo pós-D3 (Noronha e Ramos, 1993).

Apesar das várias ocorrências de jazigos de ouro em Portugal, nenhuma se encontra atualmente ativa, sendo a Mina de Jales em Vila Pouca de Aguiar (Trás-os-Montes), que teve períodos de laboração desde os tempos dos romanos, a última a encerrar no ano de 1992, com uma produção de ouro desde 1933 atingiu as 25t.

Tendo em conta a importância económica deste recurso não existe uma grande abundância de estudos sobre a metalogenia do ouro. No entanto os estudos existentes têm uma boa cobertura do Norte de Portugal. A província de Trás-os-Montes e Alto Douro apresenta melhor cobertura, com referências sobre mineralizações em Escádia Grande e Freixeda-Pedra Luz (Cerveira, 1947, 1952), nas quais se relacionam as mineralizações de ouro com a cristalização fracionada de um magma granítico. Brink (1960) sugeriu duas fases metalogénicas para a área de Vila Real-Vila Pouca de Aguiar, uma de natureza auro-argentífero associada aos “older granites” (308 Ma) e outra, mais tardia, tungstífera, associada aos “younger granites” (209 Ma). Também Schermerhorn (1981), relaciona as mineralizações de ouro em Jales com os “younger granites”. Oliveira e Farinha (1987) e Oliveira (1990), associam as mineralizações de ouro de Três Minas a sistemas hidrotermais. Relativamente à área de Pedra Luz-Freixeda, foi sugerido um modelo de zonalidade peribatolítica para justificar as relações entre mineralizações de tungsténio com as de antimónio e ouro, bem como a sua relação com granitos de duas micas tardi a pós-tectónicos (Maurel-Palacin, 1985; Maurel-Palacin *et al.*, 1987; Almeida e Noronha, 1998). Cerveira (1952) também sugere um modelo de zonalidade para justificar as relações entre mineralizações de tungsténio e ouro.

No caso de Jales aponta-se o processo de cristalização fracionada dos “older granites” como estando na origem de fluídos hidrotermais associados às mineralizações auríferas (Neiva e Neiva, 1990; Neiva, 1992). Na região de Valongo relacionam-se as

mineralizações de antimónio e ouro com os “younger granites” (Ferreira, 1971; Couto *et al.*, 1990).

Na província da Beira Alta salienta-se uma relação espacial das mineralizações auríferas de Tabuaço-Penodono com as mineralizações de tungsténio, sendo proposta uma génese associada a um tipo de fluídos mineralizantes auríferos de rochas anteriores à intrusão dos magmas graníticos (Sousa e Ramos, 1991). Alguns dos autores referidos não excluem também a hipótese da remobilização de pré-concentrações de elementos (Au e Sb) existentes nas rochas encaixantes metassedimentares.

Em grande parte dos casos, as mineralizações auríferas são do tipo filoniano. Também se verifica que estas estruturas foram afetadas por diversos períodos de deformação o que resultou numa variação de regime dúctil-frágil para frágil, verificando-se que o preenchimento é tardio. As rochas encaixantes são apenas de três tipos: granitos de duas micas sintectónicos (“older granites”), granitos biotíticos tardi a pós-tectónicos (“younger granites”) e rochas metassedimentares Paleozóicas. Tendo em conta ainda a intrínseca associação espacial com zonas de cisalhamento dúctil e com as grandes falhas D4 (Régua-Verin e Vilariça) consideram-se como pós-D3 as mineralizações auríferas (Noronha e Ramos, 1993; Noronha *et al.*, 2000)

Vários estádios de deposição dos metais foram reconhecidos, entre os quais óxidos (Sn ± Nb, Ta ± W), tungstatos (W ± Cu, Pb), zinco-cuprífero (Fe, Pb, Zn, Cu) e ferro-arsenífero (As, Fe, Bi, Au, Ag).

As ocorrências de ouro, encontram-se usualmente ou sob a forma de ouro nativo, pobre em prata, ou na forma de electrum. Também o ouro se encontra em inclusões nos sulfuretos do estágio ferro-arsenífero, ou na forma de electrum, com teores variáveis em prata, entre fraturas ou espaços intergranulares, em cavidades dos sulfuretos e na ganga quartzosa.

3 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

3.1 Localização Geográfica da Área de Estudo

Na região da Beira Alta encontra-se a concessão de Numão em fase de exploração experimental. Esta área localiza-se nos concelhos de Vila Nova de Foz Côa (Distrito da Guarda), e S. João da Pesqueira (Distrito do Viseu), acompanhando a margem esquerda do rio Douro por cerca de 15 km e ocupando uma área de 46km², (Figura 1).

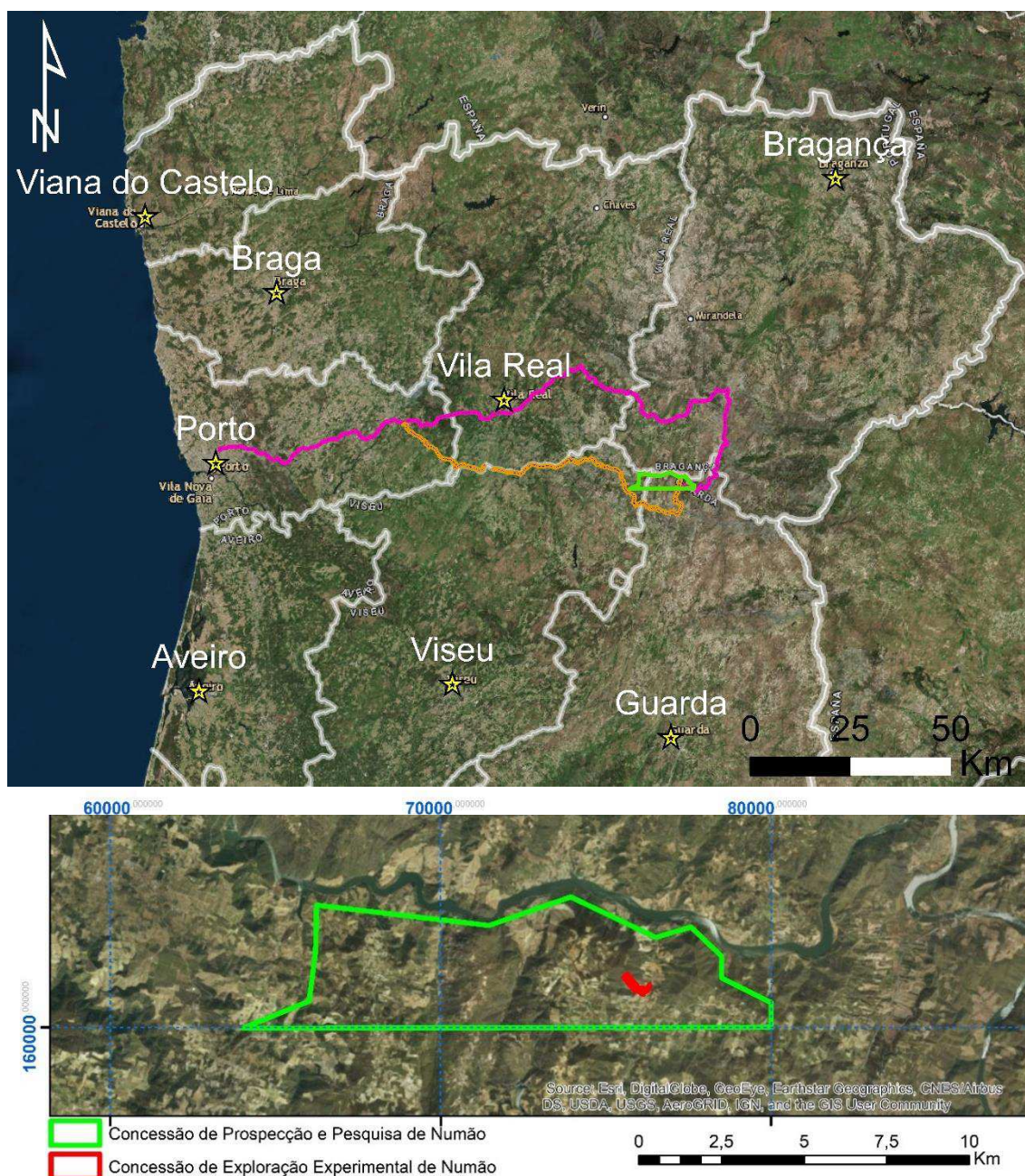


Figura 1: Enquadramento geral da área concessionada à Minaport. A amarelo estão assinaladas as capitais de distrito. A linha roxa representa o trajeto mais rápido, pela A4, IC5 e IP3; a Laranja um percurso alternativo, pela N222, que apesar de mais curto, acrescenta apenas 10 minutos ao tempo de viagem e uma paisagem única. Grelha de coordenadas no sistema ETRS89 PT TM06

A rede rodoviária permite bons acessos à zona da concessão, sendo que ambos os percursos sugeridos na figura 3.1 demoram cerca de 2 horas.

A referida concessão situa-se numa grande unidade geológica do Maciço Ibérico, designada de Zona Centro-Ibérica (ZCI) (Figura 2).

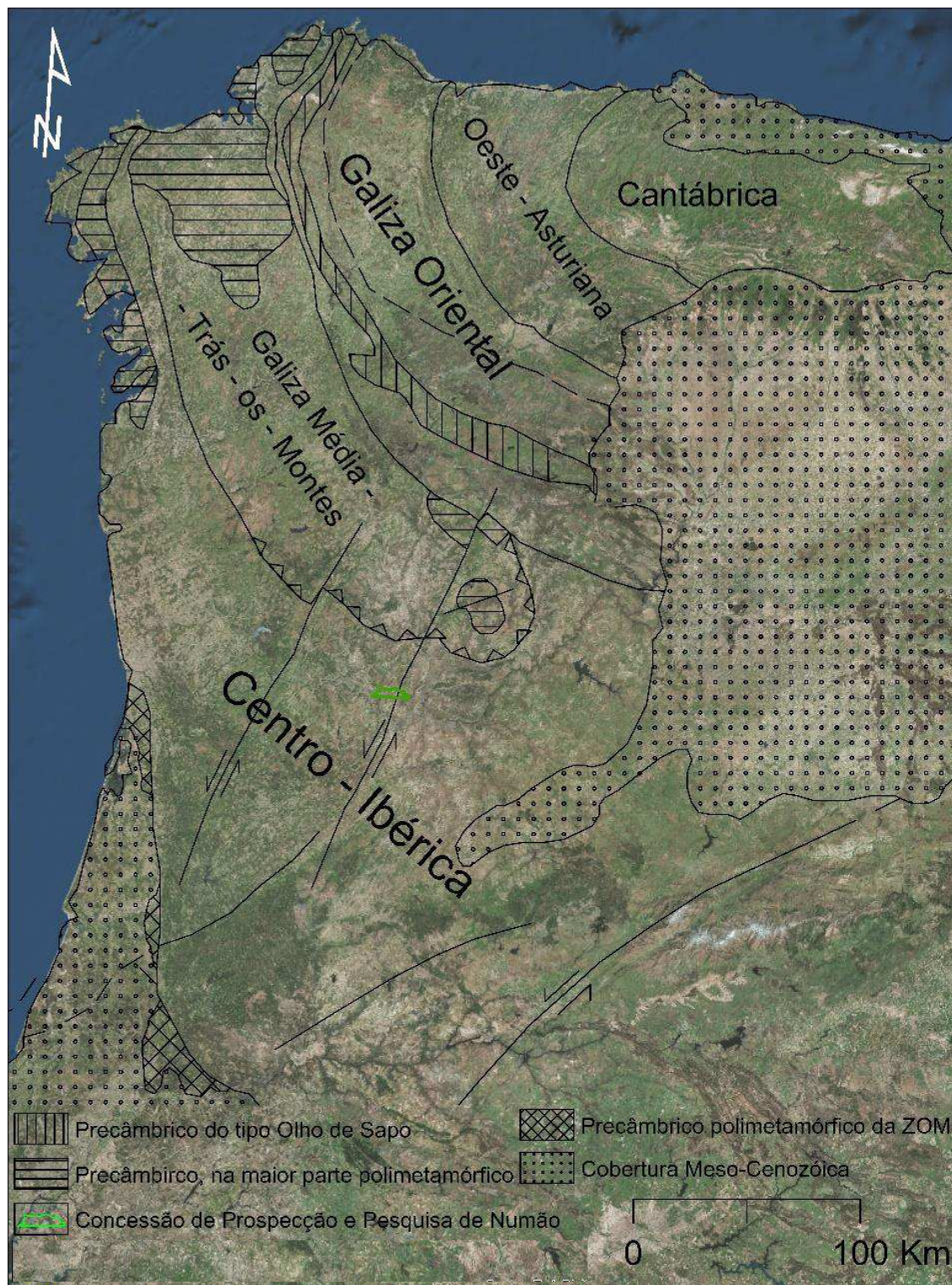


Figura 2: Enquadramento da concessão de Numão nas grandes unidades geológicas do Maciço Ibérico

Na área de exploração experimental denominada de “Numão”, os trabalhos de exploração experimental incidem na Formação Pinhão, pertencente ao Alóctone do Grupo do Douro, do Complexo Xisto-Grauváquico (Super Grupo Dúrico-Beirão) da Zona Centro-Ibérica.

3.2 Geologia Regional

O Maciço Ibérico é o mais ocidental de todos os maciços da cadeia Hercínica europeia, que juntamente com o maciço Armoricano forma uma importante mega estrutura, o Arco Ibero-Armoricano (Dias e Ribeiro, 1995).

Este maciço está dividido em terrenos alóctones e terrenos autóctones (Dallmeyer e Martinez-Garcia, 1990). Sendo constituído por várias unidades geológicas com características tectono-estratigráficas distintas, de natureza predominantemente continental, em que a ocorrência de litologias de natureza oceânica marcam a separação entre as unidades que compõem a estrutura do orógeno, bem como os cisalhamentos que separam terrenos que evoluíram contiguamente durante o desenvolvimento do processo orogénico que decorreu no final do Paleozóico (Quesada, 1991).

Independentemente da delimitação das várias zonas singulares integrantes do Maciço Ibérico, a sua posição relativa ao orógeno Hercínico evidência uma notável simetria bilateral que permite distinguir as zonas mais internas, com idade entre o Proterozóico e Paleozóico Inferior, onde a deformação foi mais intensa e onde ocorreu metamorfismo regional e magmatismo sinorogénico mais abrangentes, das zonas mais distais, com idade compreendida entre o Devónico e Carbonífero, onde a deformação foi menos intensa e mais tardia, assim como o metamorfismo e magmatismo (Pereira, 1988). Estes aspetos evidenciam a ocorrência de uma "onda" orogénica que ocorreu desde as zonas mais internas para as mais externas (Ribeiro, 1980).

O autóctone Ibérico de natureza continental, ocupa a maior parte do Maciço Ibérico, sendo representado na base por pelitos e grauvaques de idade Pré-Câmbrica, sendo que os depósitos de cobertura se encontram representados através de espessas pilhas de arenitos, xistos e calcários, com idades compreendidas entre o Câmbrio e o Devónico (Matte, 1991; Quesada, 1991). Das zonas que representam estes terrenos destaca-se a Zona Centro-Ibérica (Ribeiro, 1980).

Longitudinalmente à estruturação evidenciada pelos terrenos que constituem a Zona Centro-Ibérica, ocorrem amplos antiformas e sinformas de orientação NW-SE,

onde se verificam na zona axial planos axiais subverticais, evidenciando uma "flower structure" (Ribeiro, 2013). O grau de metamorfismo é bastante variável, sendo que é na zona norte-centro que se concentra o grau mais elevado, diminuindo para sul (Dias e Basile, 2013).

No entanto, apesar da homogeneidade litoestratigráfica e tectónica, esta zona subdivide-se em três domínios distintos (Martinez Catalán *et al.*, 2004): domínio "Olho de Sapo", domínio "Meridional", e domínio do "Complexo Xisto-Grauváquico".

Sucintamente, o primeiro corresponde a um complexo plutono-vulcânico, o segundo a unidades do Neo-Proterozoico/Câmbrico inferior, e o último a uma espessa sequência terrígena de idade Paleozóica.

Dos três domínios referidos o mais relevante para a área em estudo corresponde ao domínio do Complexo Xisto-Grauváquico, também designado de Super Grupo Dúrico-Beirão.

O Complexo Xisto-Grauváquico, ou Super Grupo Dúrico-Beirão divide-se em dois grupos principais, Grupo das Beiras e Grupo do Douro, dos quais este último é o mais importante na área de estudo.

Sucintamente, o Grupo das Beiras e o Grupo do Douro tiveram uma evolução contemporânea, apesar de Sousa e Sequeira (1993) interpretarem o Grupo das Beiras como sendo ligeiramente mais antigo, e Villaseca *et al.* (2014) a apontarem o Grupo do Douro como tendo uma idade mais antiga.

No entanto estas bacias estariam separadas por um "Horst", sendo a bacia do Grupo do Douro mais proximal que a do Grupo das Beiras. Diferencia-se ainda o Grupo das Beiras pela ausência de rochas calcossilicatadas, em contraste com o Grupo do Douro onde estas são abundantes.

Por sua vez, o Grupo do Douro está subdividido em duas sequências distintas com equivalência lateral, justificadas pela presença de carreamentos sin-sedimentares de idade "Sarda" (fase orogénica que decorreu entre o Câmbrico e o Ordovícico), concretamente o carreamento da Sra. do Viso que divide a sequência autóctone (Formações de Bateiras e Ervedosa do Douro) da alóctone (Formações de Rio Pinhão, Pinhão e Desejosa).

Em particular, a área onde decorrem os trabalhos do projeto mineiro de exploração experimental assenta sobre o Alóctone do Grupo do Douro, mais propriamente na Formação de Pinhão (Figura 3).

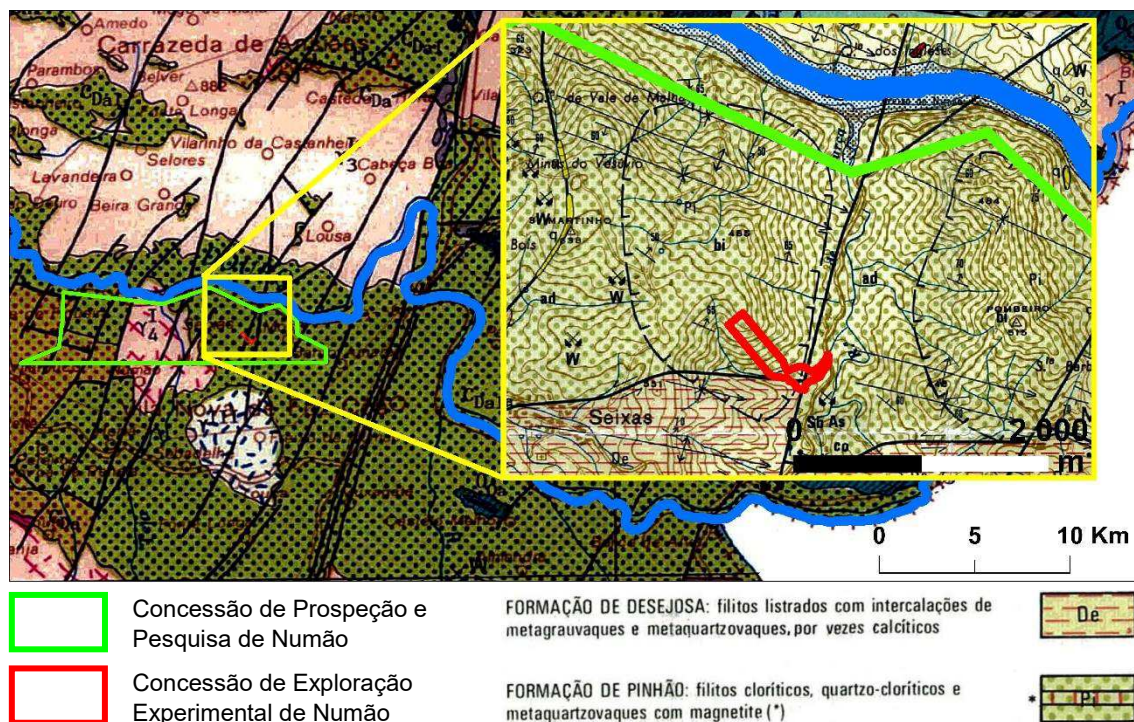


Figura 3: Excerto da carta geológica de Portugal na escala 1:500 000, onde se destaca a área de prospeção e pesquisa de Numão, que assenta essencialmente em litologias do complexo xisto grauvaquico, e granitóides Hercínicos (tardi a pós-tectónicos relativamente a F₃). II – Excerto da carta geológica 15-A 1:50 000, onde se destaca a concessão de exploração experimental de Numão, que assenta diretamente em litologias da Formação de Pinhão.

A Formação de Pinhão é o equivalente lateral da Formação de Ervedosa do Douro, pertencente ao Autóctone do Grupo do Douro (Figura 4). É representada por alternâncias de filitos quartzosos verdes e metaquartzovaques. As rochas desta formação nem sempre contactam com os granitóides, que lhe são intrusivos, e as rochas da Formação de Desejosa de forma normal. Frequentemente os contactos são tectónicos e provocados por falhas esquerdas sin-xistentes com orientação WNW-ESE a W-E. Em geral a sequência litológica da Formação de Pinhão é dominantemente caracterizada por ritmos sedimentares de 10 a 20 cm de intercalações de leitos quartzosos (metagrauvaques e metaquartzovaques) e filitos cloríticos verdes, onde estes são em norma mais dominantes. No entanto, existem zonas que são exceção à regra, nomeadamente na zona de estudo, a norte de Seixas e entre Mós e Pocinho (Figura 5) onde a predominância dos metagrauvaques é mais evidente (Ferreira da Silva *et al.*, 1989).

A transição da Formação de Rio Pinhão para a Fm de Pinhão ocorre de forma gradual e ao longo de algumas dezenas de metros, registando-se uma mudança de sequências metassedimentares com tonalidades cinzentas para outras mais escuras, correspondendo à transição de metagrauvaques para filitos cloríticos e metaquartzovaques (Ferreira da Silva *et al.*, 1990). O contacto entre as Formações de Pinhão e de Desejosa é, também, estratigráfico e ocorre de forma gradual.

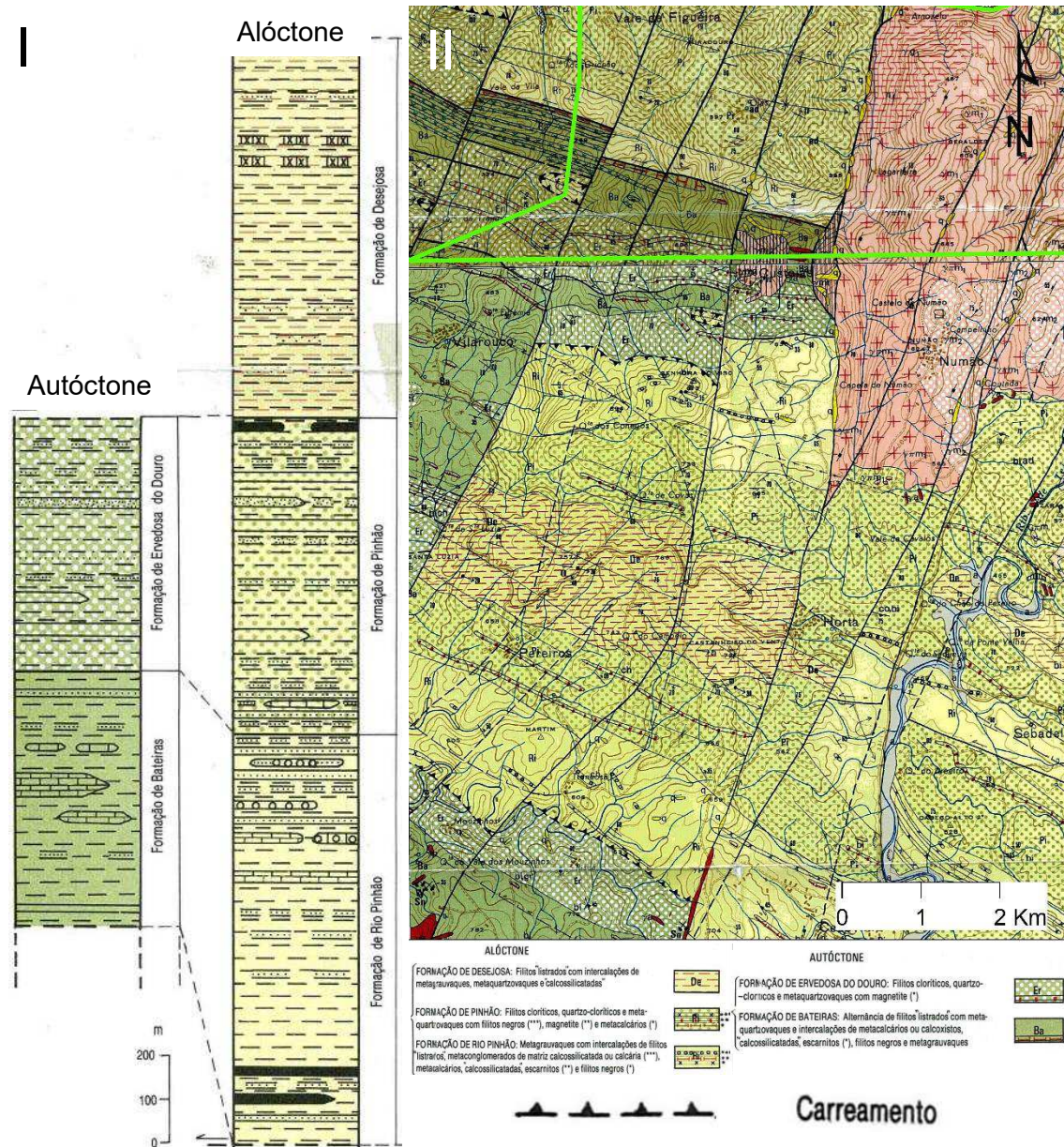


Figura 4: Coluna estratigráfica representativa da sequência sedimentar do Grupo do Douro onde se destaca a equivalência lateral das formações do Alóctone e do Autóctone. II- Sinclinal de grande amplitude que afecta a sequência metassedimentar do Grupo do Douro, onde estão assinalados os cavalgamentos que marcam a transição da Formação de Bateiras para a Formação de Rio Pinhão. A linha verde delimita a concessão de prospeção e pesquisa de Numão. Adaptado da carta geológica 15-A: Vila Nova de Foz Côa.

Grande parte da área abrangida pelas cartas geológicas 11-C e 15-A são ocupadas por granitóides, no entanto na área referente à concessão de prospeção e pesquisa de Numão são de destacar os granitóides Hercínicos do Maciço de Numão (seis litofácies) e do Maciço de Freixo de Numão (duas litofácies).

Ambos são granitos de duas micas que se instalaram durante a fase D₃ de deformação Hercínica, e cuja subida até níveis superiores da crosta induziu metamorfismo de contacto no encaixante sedimentar (Ferreira da Silva *et al.*, 1990).

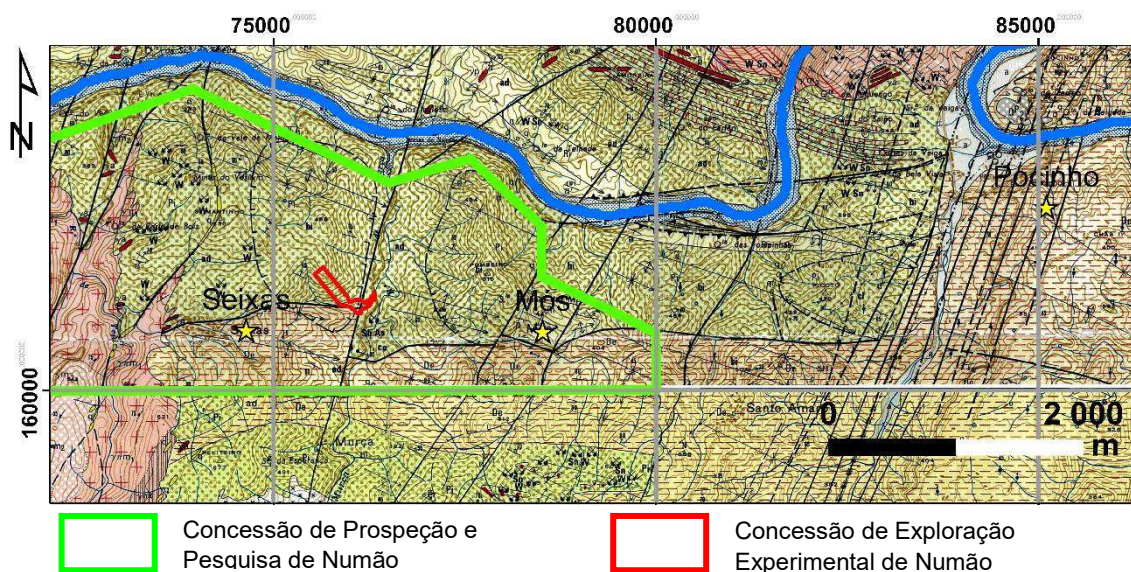


Figura 5: Excerto da carta geológica à escala 1:50 000.

As litofácies do Maciço de Numão correspondem a granitóides tardi a pós-tectónicos relativamente a D_3 . Das seis litofácieis deste maciço destaca-se o granito de Cachão de Arnozelo ($\gamma\pi\pi_1$) por ocupar a maior área, sendo um granito de duas micas com tendência porfiróide e matriz de granularidade média, com fracturação frequentemente preenchida por turmalina e que possui encraves de metassedimentos, inclusive de rochas calcossilicatadas. O Granito de Numão (γm_2) aflora na zona central do maciço granítico e transita gradualmente para o granito anterior. É descrito como um granito homogéneo de duas micas e grão médio, com megacristais de feldspato e encraves de rochas sedimentares dispersos. Os restantes granitos, com menor expressão no maciço são o granito de Custóias (γm_g), de granularidade média, moscovítico e com sulfuretos, e o granito de Quinta da Silvã (γm_t), de grão médio a fino, moscovítico e com passagem a aplito, em geral com turmalina. O granito de Geraldês (γm_1) é de granularidade fina e muito heterogéneo devido à presença de xenólitos. Por fim, o granito de Arnozelo é grosseiro e de duas micas, onde se destaca ainda a forte deformação e alteração, e intruído por vários filonetes de quartzo (Ferreira da Silva *et al.*, 1990).

O maciço granítico de Freixo de Numão, é pós-tectónico em relação a D_3 , sendo composto por duas litofácies, o granito de Frei Tomé (γm_g), de granularidade fina e duas micas, e o granito de Freixo de Numão ($\gamma G\pi m$), o qual ocupa a maior parte da mancha do maciço, de granularidade média, tendência porfiróide e duas micas (Ferreira da Silva *et al.*, 1990)

3.3 Tectónica Regional

A tectónica da região é caracterizada principalmente pelos carreamentos responsáveis pela duplicação das séries estratigráficas do Grupo do Douro (Ferreira da Silva *et al.*, 1989). Assim, a Zona Centro-Ibérica, cujos metassedimentos mais antigos do CXG foram depositados durante o ciclo Caledoniano, corresponderia ao mar lapetus, e assim que termina o Câmbrico dá-se o início da fase “Sarda”, de carácter epirogénico distensivo, responsável por um aumento da atividade tectónica que por sua vez provocou uma grande instabilidade na bacia, proporcionando os carreamentos segundo NE-SW a ENE-WSW (Figura 6), sin-sedimentares, responsáveis pela movimentação subaquática de grandes massas de sedimentos, e eventual duplicação da sequência do Grupo do Douro (Ferreira da Silva *et al.*, 1989). Assim, o contacto entre a sequência alóctone e a sequência autóctone é tectónico. O contacto ocorre, em particular, entre a Formação de Ervedosa do Douro e a Formação de Rio Pinhão, quer por falhas de desligamento esquerdo, segundo WNW-ESSE a NNE-SSW, quer por carreamentos sin-sedimentares inferidos (Ferreira da Silva *et al.*, 1989).

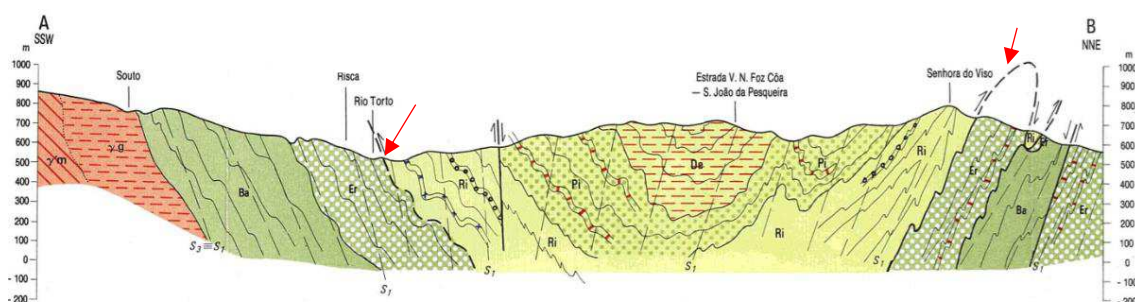


Figura 6: Perfil interpretativo AB da carta geológica na escala 1:50 000 (15-A – Vila Nova de Foz Côa), onde se encontra esquematizado o carreamento que sobrepõe o Alóctone (Formações de Rio Pinhão, Pinhão e Desejosa) ao Autóctone (Formações de Bateiras e Ervedosa do Douro) do Grupo do Douro.

Na zona em estudo a fase compressiva “Sarda” teve menor expressão, originando amplas dobras não acompanhadas de xistosidade de plano axial, e as figuras presentes nas formações litológicas indicam que esta ocorreu durante a sedimentação da Formação de Desejosa (Ferreira da Silva *et al.*, 1989).

Seguindo-se aos eventos descritos anteriormente, o substrato rochoso onde se insere a zona em estudo foi afetado pelas três fases de deformação Hercínica (Marques *et al.*, 2002). A primeira fase (D₁) originou as principais estruturas, correspondendo a dobras de comprimento de onda de várias centenas de metros, acompanhadas de xistosidade de plano axial vertical a sub-vertical com vergência para NE a E, orientadas de NW-SE a W-E. Esta fase foi a que mais interferiu sobre as anteriores dobras sin-sedimentares de idade sarda.

A segunda fase de deformação Hercínica tem menor representatividade e influência nestes terrenos, e cuja presença estará mais relacionada com carreamentos periféricos do Domínio peri-transmontano. A terceira e última fase de deformação Hercínica (D_3) originou dobramentos (Figura 7) com planos axiais verticais e eixos sub-horizontais, com a mesma direção da primeira fase, segundo WNW-(Ferreira da Silva *et al.*, 1989).

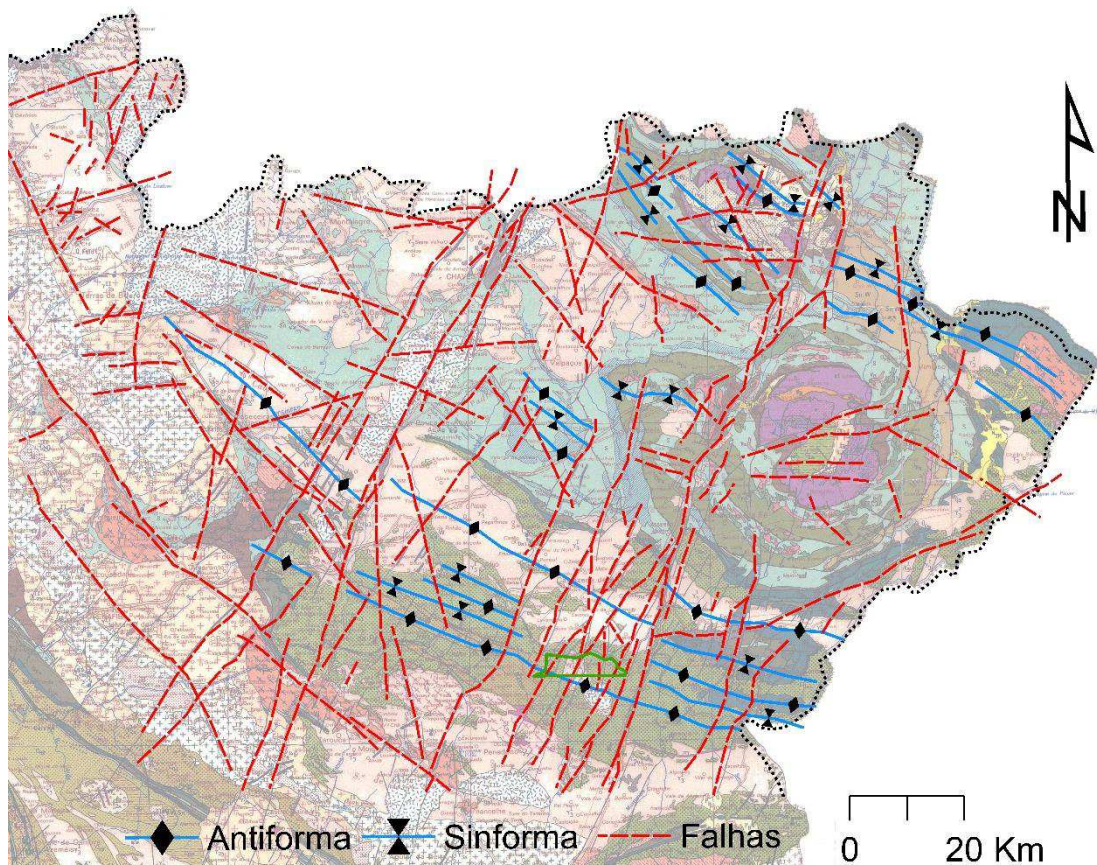


Figura 7: Esquematisação das principais dobras tardias Hercínicas e das principais falhas do nordeste Português. Adaptado de Marques *et al*, 2002. O perímetro a verde delimita a área da concessão de Prospeção e Pesquisa de Numão

Alguns granitóides foram contemporâneos desta fase, no entanto os granitos do Maciço de Numão e Maciço de Freixo de Numão são considerados tardi- a pós-tectónicos e pós-tectónicos, respetivamente (Figura 8) (Pereira *et al.*, 1993).

Posteriormente à Orogenia Hercínica desenvolveram-se as grandes falhas esquerdas NNE, acompanhadas pelas conjugadas de orientação WSW-ENE (Figura 9). Várias destas estruturas, algumas das quais são atualmente ativas, foram preenchidas por numerosos e possantes filões de quartzo, aplito e pegmatito, quando em descompressão. Algumas destas falhas, localmente obliteradas por microgabros mais recentes (durante o Triássico) com origem mantélica (Ribeiro *et al.*, 1990).

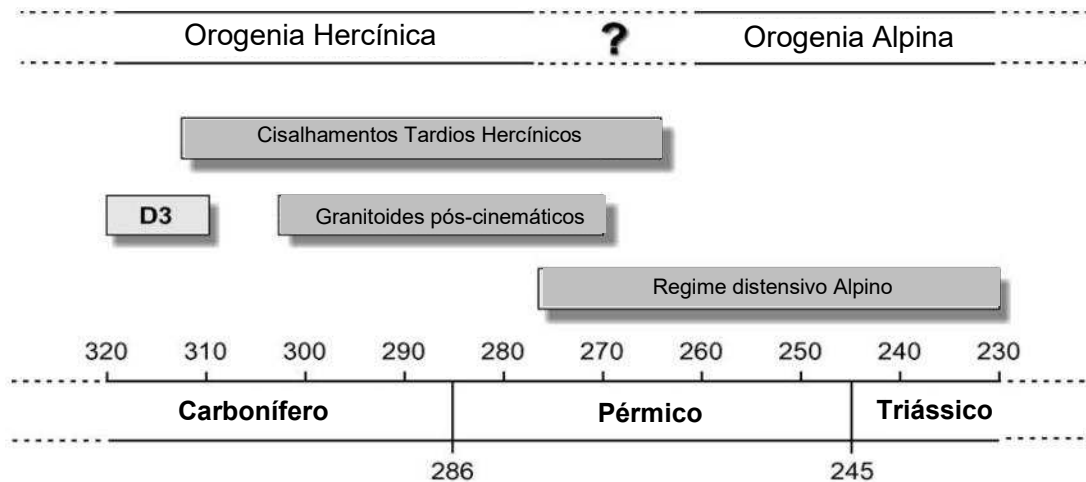


Figura 8: Esquematização dos principais eventos orogénicos que afetaram a Zona Centro Ibérica, numa escala cronológica. Adaptado de Marques *et al.* 2002

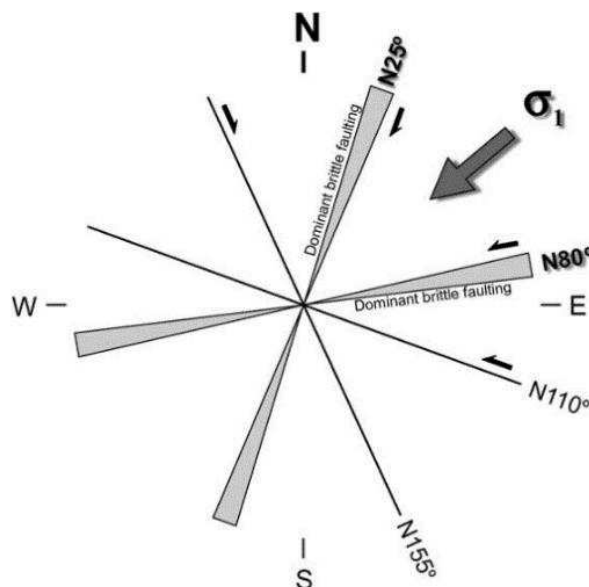


Figura 9: Representação dos dois principais sistemas de falhas resultantes da última fase da Orogenia Varisca, dos quais o sistema N25°, de desligamento direito na imagem, foi reativado pela compressão NNW-SSE da Orogenia Alpina, tornando-se num desligamento esquerdo (Marques *et al.* 2002).

As mineralizações da Zona Centro-Ibérica (ZCI) resultaram de uma série de acontecimentos favoráveis que conduziram à sua concentração, dos quais se destacam, as zonas de cisalhamentos (Pereira *et al.*, 1993). Na ZCI, as ocorrências de metais nobres, evidenciam um nítido controlo estrutural (Figura 10), com determinada predisposição de controlo litológico (Meireles e Carvalho, 1992)). Relativamente às mineralizações de ouro da ZCI, existe consenso entre diversos autores que a sua origem estará na pré-concentração de origem sedimentar ou exalativa-vulcânica, tendo sido posteriormente remobilizadas por fluídos provenientes de processos metamórficos e tectónicos (Pereira *et al.*, 1993).

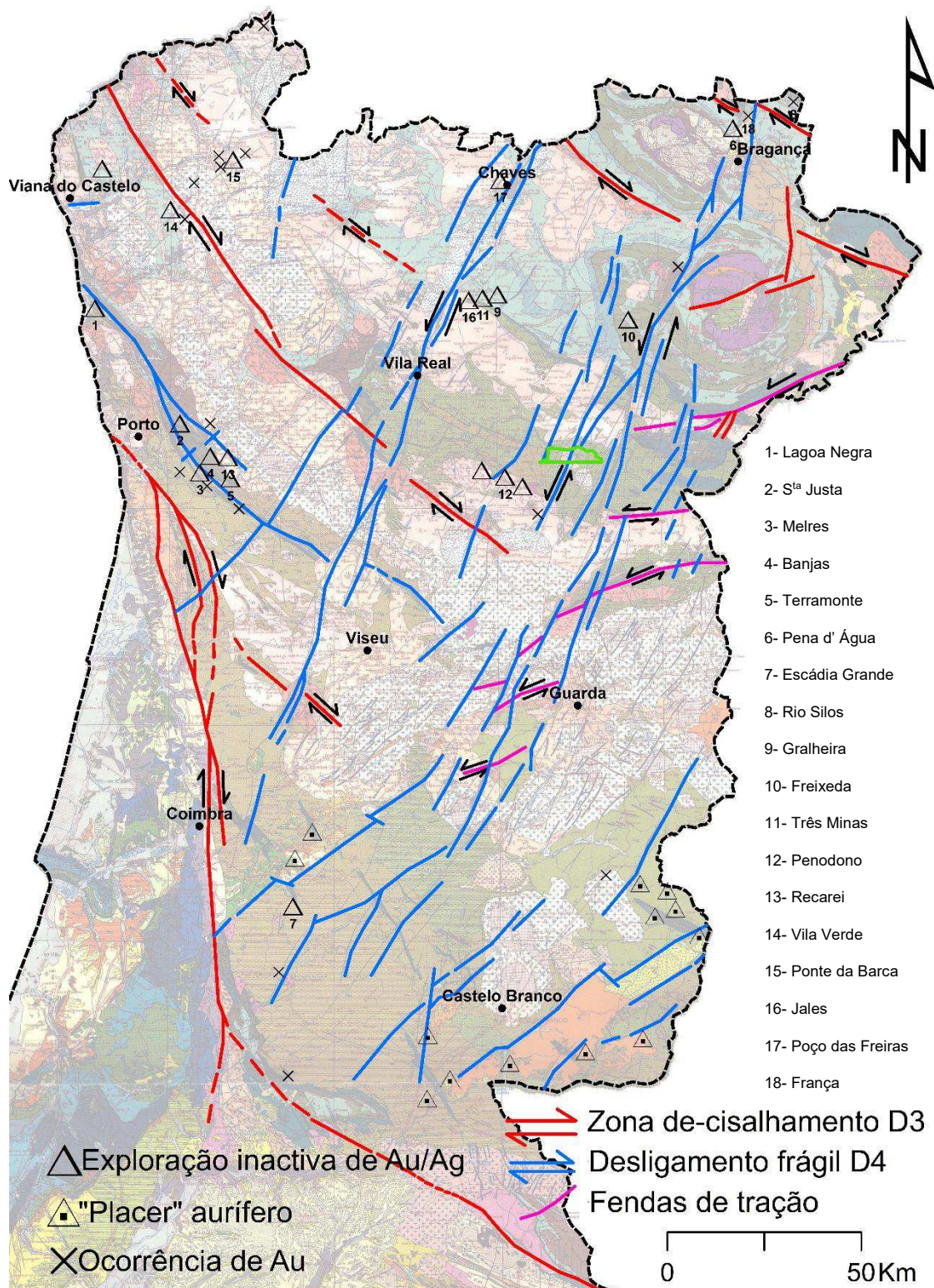


Figura 10: Minas e ocorrências de ouro na Zona Centro Ibérica. Adaptado de Pereira *et al.* 1993.

Em particular, as mineralizações de ouro da ZCI., localizam-se essencialmente nas estruturas secundárias associadas aos grandes cisalhamentos dúcteis e frágeis. Relativamente ao controlo litológico, estas jazidas encontram-se mais comumente associadas, nomeadamente, com o quartzito Armoricano e os "black shales" do

Ordovícico e do Silúrico, sendo mais raramente intragraníticos ou associados com o Complexo Xisto-Grauváquico, como é o caso da área em estudo

Nos granitos e nos quartzitos o controlo litológico é mais evidente devido à maior competência destes materiais, o que torna propícia a abertura de fendas mais largas, bem como uma maior longevidade na reativação das heterogeneidades mecânicas, enquanto que nos xistos negros o controlo litológico ocorre por ação química (Pereira *et al.*, 1993).

3.4 Geologia Local

A concessão mineira de Numão insere-se na sua totalidade na área abrangida pela carta geológica de Portugal na escala 1:50 000 (Folha 11-C - Torre de Moncorvo), sendo que o limite inferior da área concessionada é coincidente com a fronteira para a Carta Geológica subadjacente (Folha 15-A - Vila Nova de Foz Côa) (Figura 11).

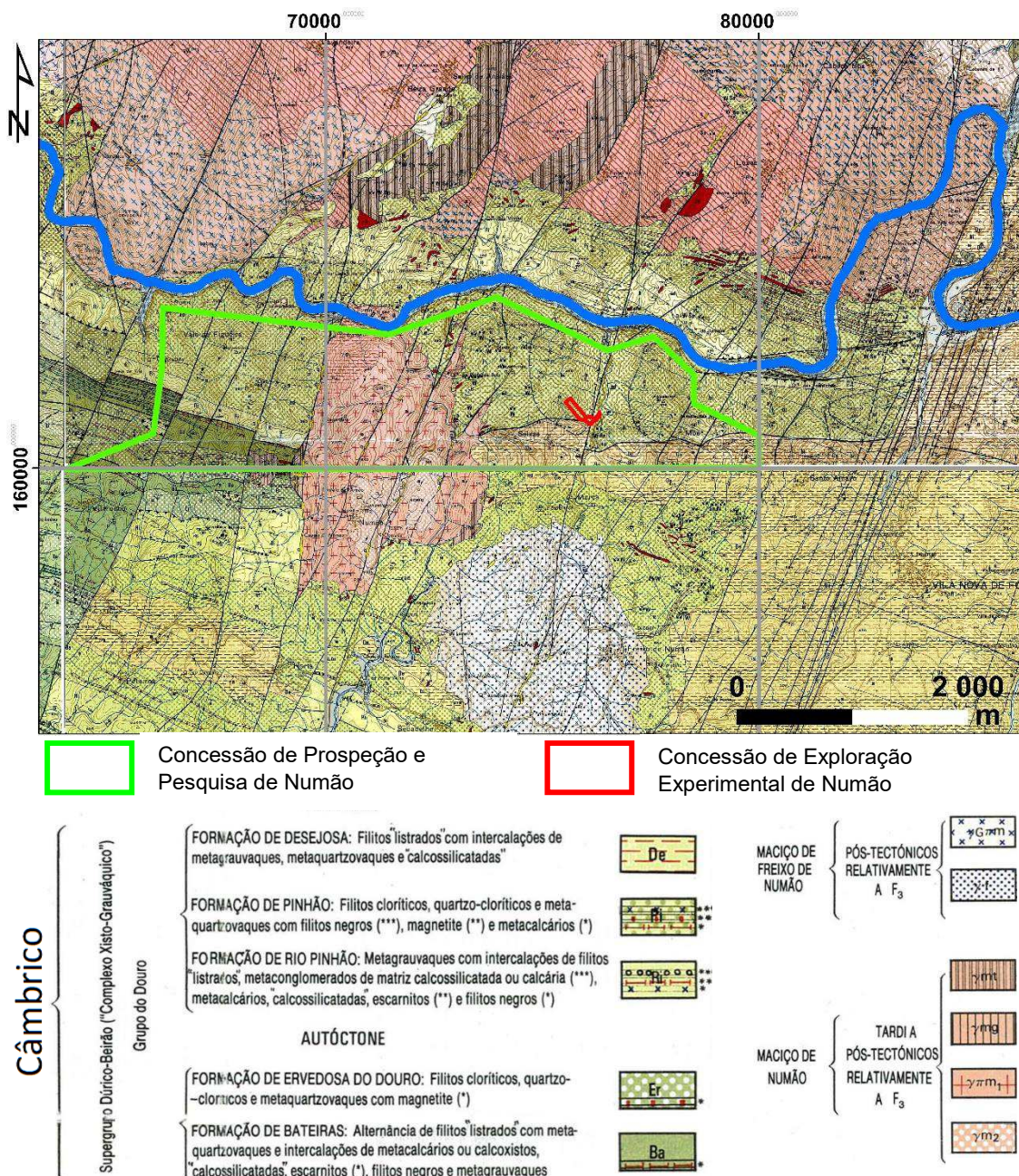


Figura 11: Localização da área da concessão mineira de Numão na carta geológica de Portugal, na escala 1:50 000 (Folhas 11C – Torre de Moncorvo e 15A – Vila Nova de Foz Côa).

A área correspondente à concessão mineira é essencialmente representada por litologias do Complexo Xisto-Grauváquico e por granitoides do Maciço de Numão. O local onde se insere o projeto de exploração experimental de Numão assenta sobre

xistos mosqueados, transitando para filitos, metagrauvaques e outras rochas mais siliciosas, nomeadamente bancadas quartzíticas e grauvaques mais siliciosos, estas últimas situadas na proximidade da entrada para a galeria de exploração experimental.

É também possível, distinguir as diversas litologias identificadas através de aspetos geomorfológicos (por erosão diferencial), onde se destacam no relevo as cristas correspondentes a níveis mais siliciosos, sendo bastante evidente dado que a xistossidade e estratificação são subverticais e aproximadamente paralelas ($S_0 // S_1$) (Figura 12).

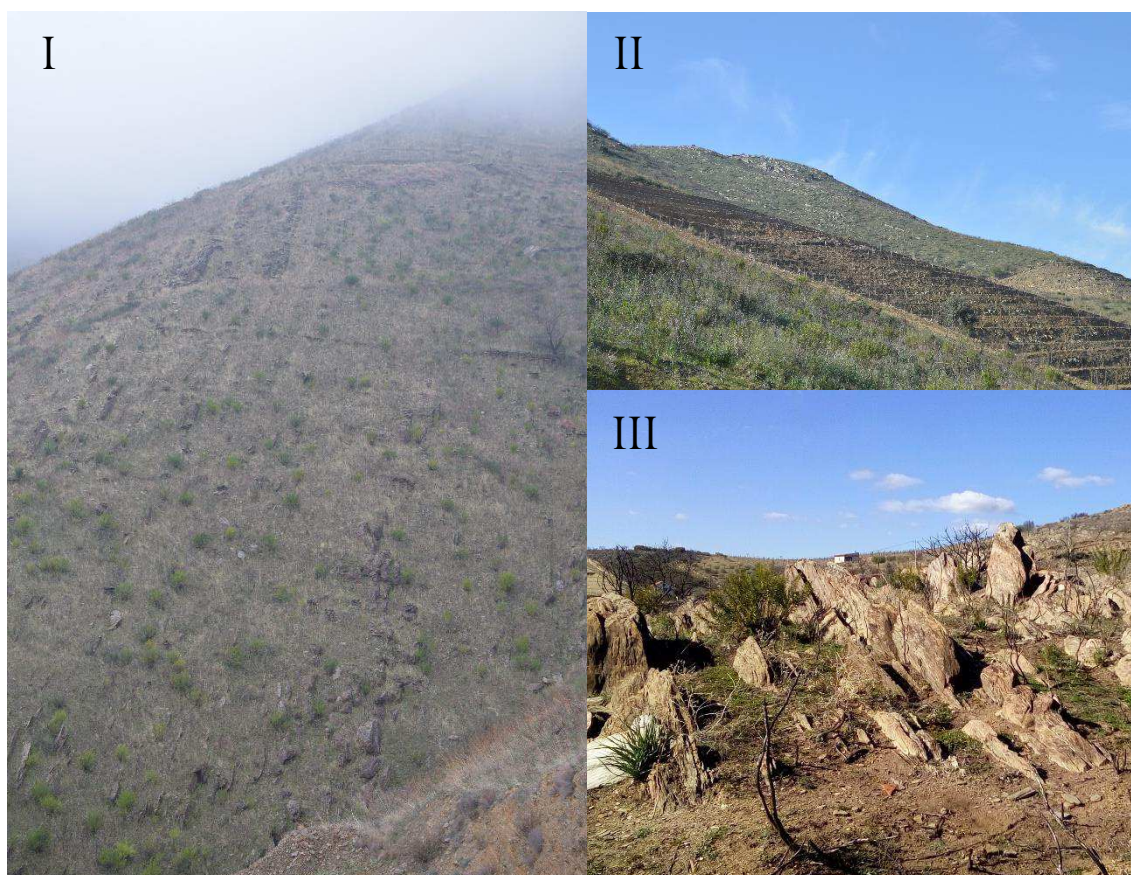


Figura 12: Vários aspetos da geologia local onde se destacam na sequência estratigráfica alguns níveis mais siliciosos, os quais sobressaem na paisagem I – Vale situado a sul do Cabeço do Lobo; II – Num primeiro plano, o talude do Cabeço do Lobo, e no plano mais distante destacam-se alguns níveis de quartzito; III – Cumeeira situada a oeste do Cabeço do Lobo, nas proximidades de Seixas, onde nem todas as cristas representam quartzitos mas sim níveis mais siliciosos, possivelmente metagrauvaques.

No reconhecimento efetuado à superfície foi possível identificar várias das litologias referidas, entre as quais se destacam os filitos e os grauvaques como sendo as mais dominantes (Figura 13), com direção entre $N100^\circ$ a $N110^\circ$ e pendor de $70^\circ N$ a 90° . Em algumas das litologias metassedimentares verifica-se ainda silicificação e cloritização.



Figura 13: Vários aspetos das litologias dominantes na área em estudo I -Trincheira recente onde a rocha se encontra ligeiramente alterada, sendo relativamente fácil distinguir grauvaques (aspeto mais silicificado e xistosidade menos penetrante) dos filitos (mais alterados, claramente menos silicificados e com xistosidade bem marcada). II - Nas carotes de sondagem também se distinguem bem as diferenças litológicas. No entanto, neste caso é evidente que não existe uma mudança brusca entre as litologias referidas, mas antes uma transição gradual, excetuando algumas quando ocorrem lenticulas de rocha calcossilicatada e nas transições para os quartzitos que ocorrem de forma mais abrupta. III – No terreno distinguem-se situações de erosão diferencial onde as litologias em que a xistosidade está bem marcada (filitos) se distinguem das bancadas mais resistentes e siliciosas onde a xistosidade não é tão evidente.

Também as estruturas filonianas de quartzo mineralizados com arsenopirite maciça (Figura 14) se destacam no terreno, quer pela sua possança variável (10 a 20 cm), quer pela sua atitude $N10^{\circ};70^{\circ}W$, a qual contrasta com a orientação da estratificação.

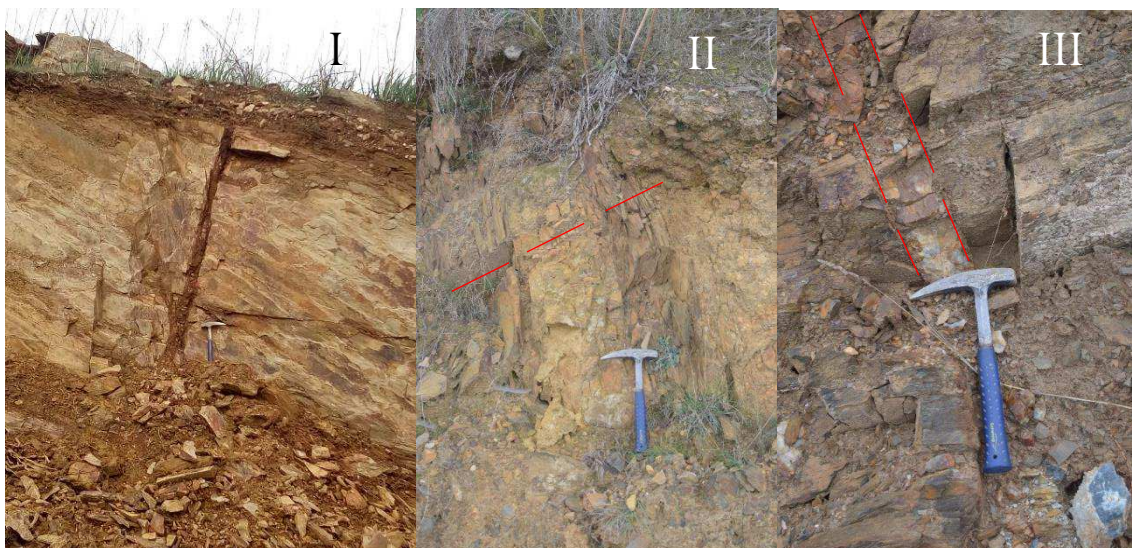


Figura 14: I – Em vários taludes é possível observar não só filões de quartzo leitoso com possanças distintas, mas também falhas paralelas, subverticais de direção aproximada segundo $N^{\circ}20$. II – Alternâncias de bancadas de grauvaques para filitos atravessadas por um filonete de cerca de 4 cm (assinalado a vermelho). III -Filão de quartzo leitoso com nódulos maciços de arsenopirite, fortemente oxidado e alterado, com possança de cerca de 8 cm.

Ainda nos contactos destes filões com a rocha encaixante observa-se por vezes a presença de arsenopirite com um hábito euédrico (mais evidente quando as rochas em contacto correspondem a filitos) (Figura 15).



Figura 15: I – Na galeria de exploração experimental é comum observar-se a presença de arsenopirite euédrica nos filitos que contactam com os filões de quartzo (neste caso no filão de quartzo leitoso também se observa mineralização maciça de arsenopirite e ainda alguma calcopirite) II – Nas sondagens também se observa claramente quando um filão de quartzo contacta com os filitos.

A atitude dos filões mineralizantes é ainda destacada através da ocorrência de trabalhos antigos com pequeno desenvolvimento, em particular na proximidade da linha de água situada a poente da galeria de exploração experimental, os quais foram, entretanto, recobertos (Figura 16).

Também se observam alguns filonetes milimétricos, mais evidentes a cortar os grauvaques/quartzitos, acompanhadas por uma zona de alteração de cor esverdeada (cloritização) junto ao contacto com o encaixante (Figura 17)

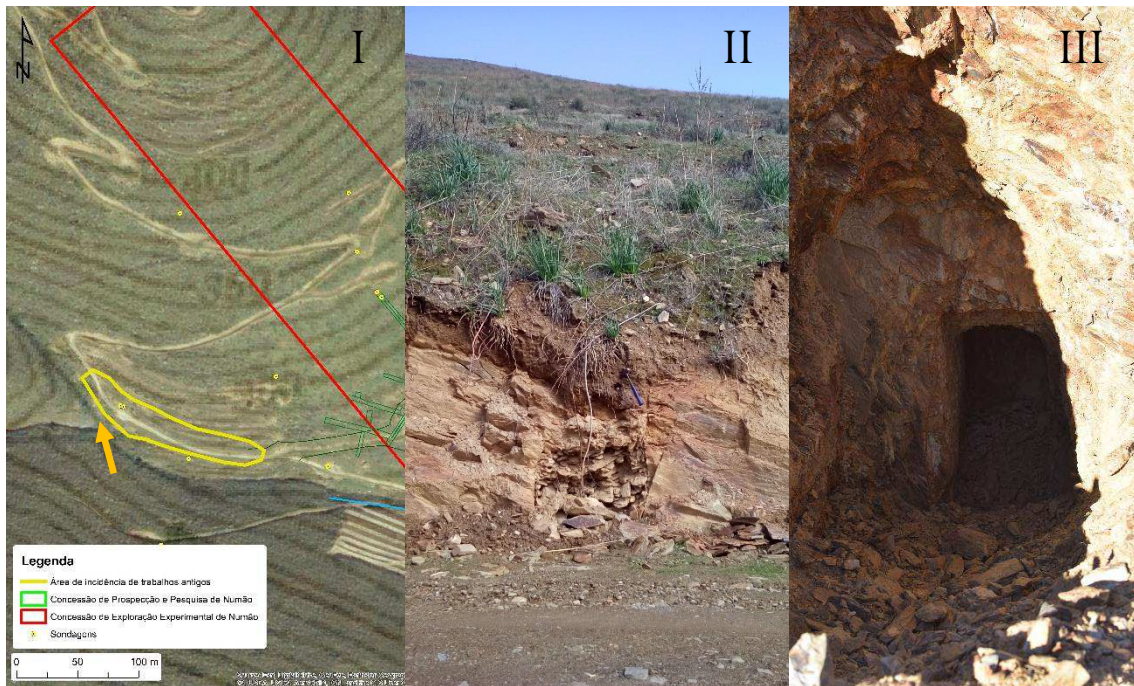


Figura 16: I- Na junção das duas linhas de água verifica-se a ocorrência de filões de quartzo com maiores possanças (por vezes superiores a 30cm), o que poderá justificar a presença de pequenos trabalhos de exploração, mais antigos; II – Ao longo do caminho é possível observarem-se várias zonas escavadas e posteriormente recobertas, de pequena dimensão, que marcam a localização de algumas estruturas filonianas; III – Alguns dos trabalhos foram entretanto destapados, para se observar o seu interior.

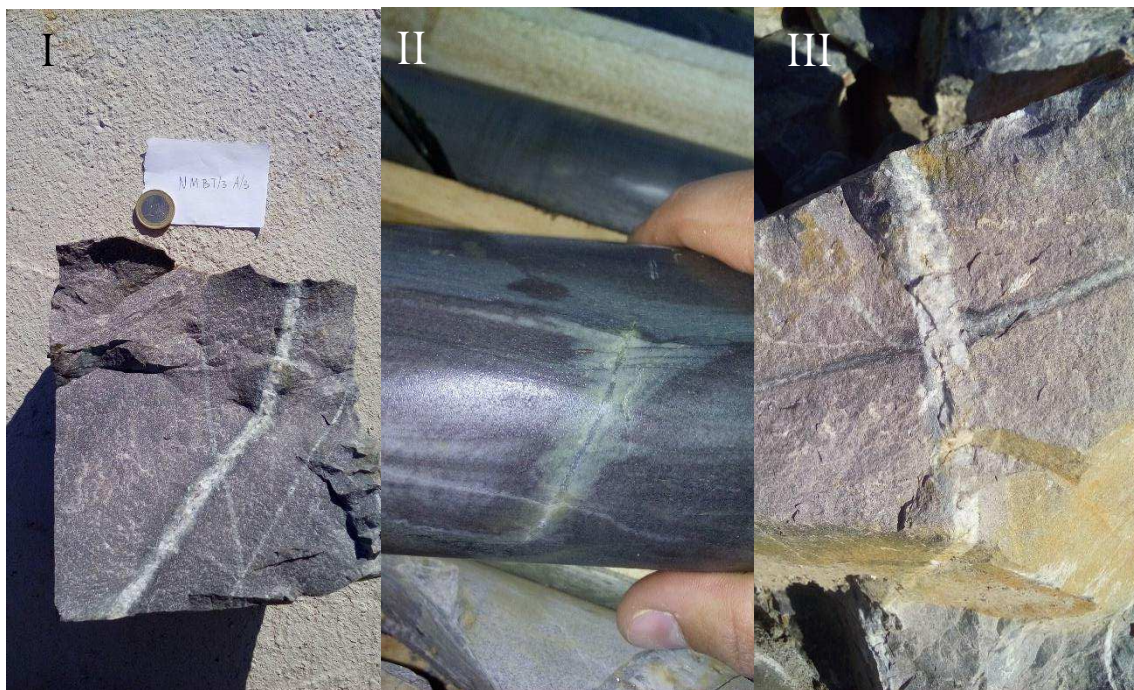


Figura 17: I – Aspeto típico geral dos quartzitos, onde se destaca a cor cinza escura, a dureza elevada, alguma silicificação associada e presença de feixes de filonetes de quartzo, possivelmente de gerações distintas. Ainda é de evidenciar a banda de cloritização que ocorre no contacto com algumas estruturas filonianas. II– Nas sondagens é bastante fácil de identificar esta litologia, a qual contrasta com os grauvaques e com os filitos. III – É evidente a ocorrência de filonetes com orientações distintas, o que aponta possivelmente para diferentes gerações.

Acompanhando a referida galeria de exploração experimental ao longo da sua extensão é evidente o domínio de litologias de tonalidade cinzenta, por vezes bastante escura, as quais correspondem essencialmente a filitos e grauvaques, apresentando-se verticalizadas e localmente atravessadas por filonetes e filões de quartzo mineralizados em sulfuretos (Figura 18).

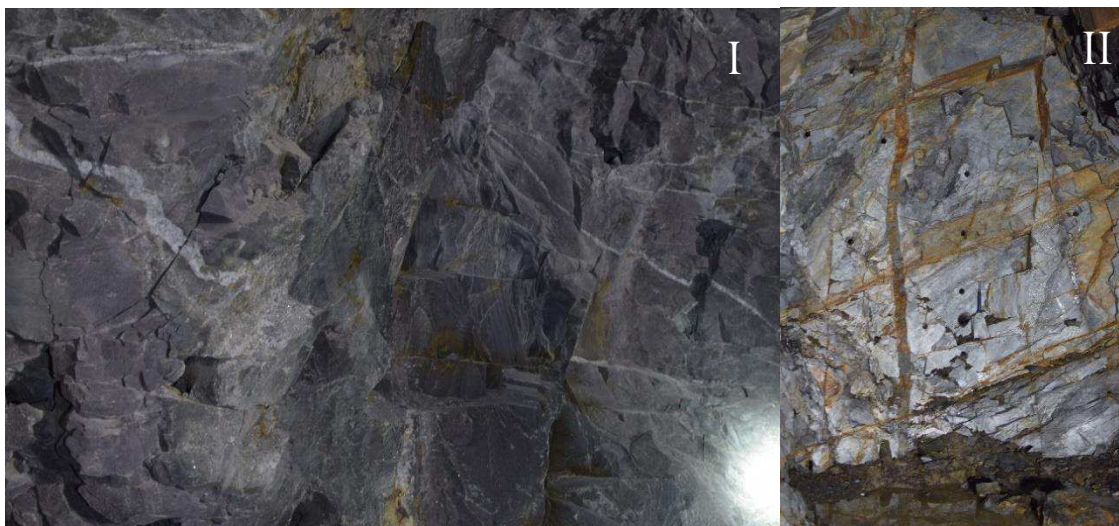


Figura 18: I – Nesta frente da Travessa 3 é evidente, da esquerda para a direita, a transição desde os quartzitos (atravessados por vários feixes de veios de quartzo e de clorite), para rochas de natureza filítica (onde se nota mais a xistosidade por contraste aos quartzitos) e, novamente para quartzitos. II – Nesta frente de um nicho ou subtravessa da Travessa 3 observa-se uma zona muito fraturada com vários filões e filonetes de quartzo a atravessarem uma zona menos competente, correspondente a litologias mais pelíticas.

Até à presente data, o projeto de exploração experimental (Figura 19) envolveu o desenvolvimento de duas galerias principais e de três travessas, sendo que em duas delas foram realizadas outras travessas secundárias perpendiculares. A galeria principal, denominada de galeria Sta Bárbara, com emboquilhamento à cota de 235 metros tem direção N320° e 153 metros de comprimento (Figura 20).

A 72m da entrada da galeria principal encontram-se duas travessas de acesso à segunda galeria principal, a galeria Bemposta com direção N214° e 68 metros de comprimento. Ao longo desta galeria realizaram-se três travessas com direção N107°, de diferentes comprimentos.

A galeria principal (N320°) foi projetada com o objetivo de intercetar e reconhecer ambas as estruturas principais cartografadas à superfície, os quartzitos (N100° a N110°) (Figura 21) e os filões de quartzo mineralizados (N10° a N20°) (Figura 22).

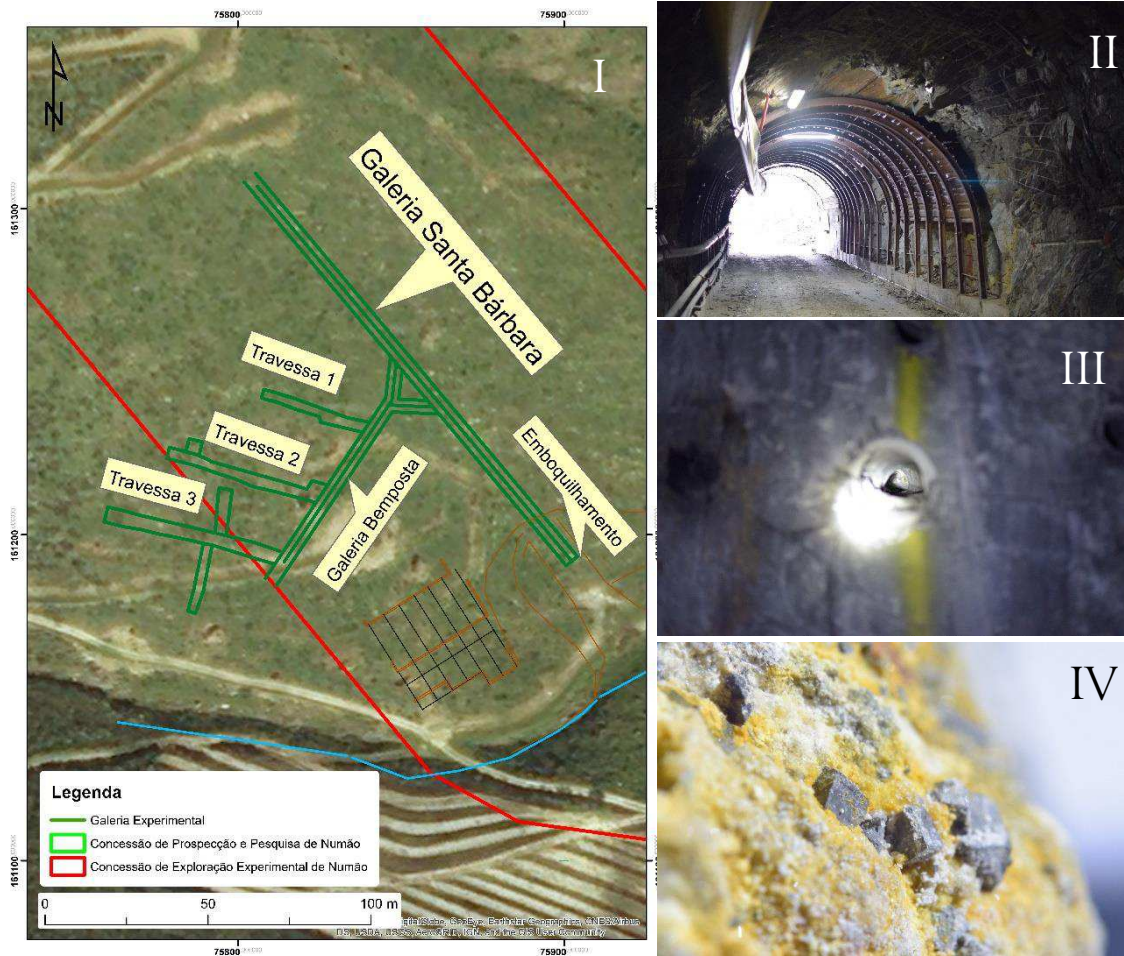


Figura 19: I – Distribuição geral das galerias dentro da concessão de exploração experimental; II – Apesar do maciço que serve de base à galeria apresentar excelentes características geotécnicas, existem algumas zonas no maciço que requerem contenção adicional, em especial quando atravessam falhas com preenchimento argiloso; III – Num furo com cerca de 3 metros, é possível ver o efeito da descompressão do maciço na envolvente; IV – Macro fotografia de detalhe com cristais de arsenopirite (cerca de 2 mm); as zonas a amarelo correspondem a arsenatos resultantes da alteração da arsenopirite, em particular scorodite.

A galeria Bemposta teve inicialmente como objetivo principal, permitir o acesso às bancadas quartzíticas, tendo sido posteriormente realizadas travessas nos locais onde fossem intercetadas essas estruturas. Mais recentemente a Travessa 3, situa-se onde



Figura 20: Emboquilhamento da galeria experimental, que fica na base do Cabeço do Lobo, referência do monte (que também dá nome a um vinho famoso da região), onde se destacam ainda o ventilador e a infraestrutura energética à direita, e parte da lavaria à esquerda num nível superior, onde se evidencia o silo de alimentação de um dos moinhos

até hoje se intercetaram as estruturas filonianas de maior interesse. Nas travessas em que foi possível observar as litologias inicialmente denominadas de “riodacitos”, tem-se constatado que a interceção dos filões de quartzo mineralizados com estas estruturas são as zonas mais propícias à passagem e enriquecimento em sulfuretos para as rochas metassedimentares.

Por outro lado, na interceção entre os filões de quartzo mineralizados e os metassedimentos mais competentes é onde se encontram as estruturas mais fortemente mineralizadas, quer pela possança mais significativa dos filões de quartzo, quer pela concentração de sulfuretos nas rochas encaixantes, em particular o enriquecimento em arsenopirite euédrica nos quartzitos, até então apelidados de “Riodacitos”, nos relatórios internos da empresa. Quando os filões de quartzo atravessam litologias mais competentes, como é o caso das formações de natureza quartzítica, estas facilitam a instalação dos filões por planos de fraqueza, por oposição a litologias mais dúcteis que tendem a não proporcionar uma estrutura que permita o alojamento dos filões de quartzo.



Figura 21: Bloco de quartzito com intercalação de rocha calcossilicatada (zona mais clara, no meio)



Figura 22: I – Talude onde se destaca bem um filão de quartzo mineralizado, que contrasta com a direção da estratificação; II – Filonetes de quartzo leitoso a cortarem uma zona de quartzito numa carote de sondagem.

4 MATERIAIS E METODOLOGIAS DE TRABALHO NO CAMPO E NO LABORATÓRIO

4.1 Materiais e Metodologias para Trabalho no Campo

No trabalho de campo desempenharam-se essencialmente duas atividades, cartografia geológica e amostragem de afloramentos, as quais requerem algum material específico. Em primeiro lugar, antes de se considerar qualquer atividade de prospeção geológica é necessário reconhecer a(s) área(s) onde os trabalhos irão decorrer, e que por vezes corresponderão a localizações de difícil acesso, como por exemplo uma linha de água ou uma vertente mais inclinada, ou que requerem certos cuidados preventivos, como por exemplo o uso de equipamento de segurança pessoal obrigatória na zona do estaleiro e/ou no interior de uma galeria. Em qualquer dos casos será necessária aptidão física e mental adequadas.

Antes da descrição dos materiais necessários para ambas as atividades de cartografia geológica e de amostragem de afloramentos, consideram-se alguns itens de utilização recomendável, em particular quando se têm de realizar trabalhos de campo em zonas relativamente remotas. Em primeiro lugar, é bastante recomendável ter a indumentária e calçado adequados ao campo e às condições climáticas, e que sejam suficientemente confortáveis. Em particular roupas com vários bolsos são sempre úteis para distribuir o peso dos vários itens e de forma a tê-los “sempre à mão”, como por exemplo “cargo pants” ou coletes. É bastante importante ter em posse um telemóvel, ou um rádio-comunicador para situações de emergência ou comunicação. Outros itens básicos para ambas as atividades são o caderno de campo e diversos acessórios de escrita, mapas, bússola com clinómetro, lupa, fita métrica, martelo e escopro, canivete ou “multitool” (Argles *et al.*, 2010).

4.1.1 Cartografia Geológica

Para os trabalhos de cartografia geológica desenvolvidos são necessários vários materiais, sendo o material de escrita e caderno de campo, régua/transferidor e mapas de referência, como cartas geológicas ou militares os de maior importância. Para a componente descritiva fez-se uso da bússola com clinómetro para medição de atitudes de estruturas planares (estratos, filões de quartzo e descontinuidades), fita métrica ou régua, neste caso para medição de possança de filões de quartzo ou espaçamento de descontinuidades. O uso de uma máquina fotográfica é importante para registo de aspetos importantes ou como auxílio para esquemas, em que o martelo poderá ser utilizado para servir de escala, mas mais relevante como forma de expor superfícies frescas na rocha de forma a auxiliar na descrição das litologias. Um dispositivo com

GPS servirá para complementar as notas de georreferenciação e de posicionamento, ou até para medir distâncias e áreas no campo. Tendo em conta os desenvolvimentos tecnológicos verificados nos últimos tempos, alguns telemóveis são já capazes de “substituir” alguns destes itens (câmara, bússola/clinómetro, régua, GPS, caderno de campo), no entanto sempre com a devida precaução, pois serão mais adequados como um complemento e não como uma substituição.

4.1.2 Amostragem

Na amostragem de rochas dos afloramentos consideram-se também os materiais usados na cartografia geológica, pois será necessário tomar apontamentos e tirar medições relativamente às características geológicas do afloramento a amostrar. Assim sendo pode-se considerar a amostragem como sendo o passo seguinte à cartografia geológica. Adicionalmente serão necessários alguns acessórios específicos para a recolha e armazenamento do material a amostrar, como por exemplo sacos de plástico, “cable ties” (vulgo “abraçadeira”) e marcador permanente.

Dependendo da finalidade do trabalho de campo deve-se adaptar o método de amostragem. No caso deste trabalho colheram-se amostras para análise química e para estudos petrográficos. No caso das amostras para estudo petrográfico pode ser importante colher amostras orientadas. Uma amostra com 10cm x 5cm x 5cm será suficiente para a realização de lâminas delgadas. No entanto poderá ser necessário adaptar as dimensões da amostra a colher no caso de a rocha apresentar maior granulometria e/ou heterogeneidade. Excecionalmente poderá ser necessária uma amostra maior, nomeadamente para o caso de rochas muito deformadas, de forma a se poderem realizar pelo menos 3 secções ortogonais (Argles *et al.*, 2010).

Para a realização de análises químicas, uma amostra de 1 Kg é normalmente suficiente. No entanto, para rochas de granulometria mais grosseira e mais heterogéneas será necessária uma quantia de até 2,5 Kg. Há que ter sempre especial atenção a recolha de amostras em afloramentos frescos, sendo que em alguns estudos poderá ser importante amostrar afloramentos meteorizados, para análise dos minerais de alteração (Argles *et al.*, 2010). Neste trabalho as amostras foram sempre realizadas em material fresco.

Durante este trabalho, para o caso da realização de análises químicas recorreu-se à recolha de amostras com cerca de 1Kg em litologias com granulometria em geral fina, para garantia da homogeneidade e representatividade das zonas amostradas. Para a recolha destas amostras recorreu-se ao martelo de geólogo e ao escopro quando o

material rochoso o permitiu, apesar de ser mais comum o recurso a um martelo pneumático, por uma questão de praticidade e tempo.

A recolha e embalagem do material é outra fase de elevada importância durante a colheita de amostras, independentemente do fim pretendido. Deverá ser tomada atenção para se evitar a contaminação da amostra, quer durante a amostragem (com a adição involuntária de material adjacente à zona a amostrar ou com sujidades), quer durante a embalagem e o transporte, onde se deve ter atenção para que o saco, ou outro recipiente, não seja danificado. Por vezes o material recolhido pode conter arestas que podem danificar o próprio saco que contém a amostra.

Em ambos os casos as amostras foram embaladas em sacos de plástico e seladas com uma abraçadeira de plástico. No interior do saco junta-se uma etiqueta de cartolina com a referência da amostra, assim como no exterior do saco, onde a mesma é escrita com um marcador permanente de resistência à água. Outro aspeto a referir é o uso cuidado e apropriado da nomenclatura referente à designação da amostra.

4.2 Métodos Analíticos

4.2.1 Microscópio Ótico

A microscopia ótica de luz transmitida destina-se a estudar os minerais transparentes, enquanto a microscopia ótica de luz refletida permite o estudo de minerais opacos. Salienta-se que, a microscopia ótica permite observar texturas e avaliar as propriedades óticas dos minerais, facilitando a identificação da espécie mineral.

No sentido de compreender melhor os minerais transparentes presentes nas amostras estudadas utilizou-se a microscopia ótica de luz transmitida. Nesta procederam-se a estudos de propriedades que podem ser englobadas em dois grupos dependendo do tipo de observação efetuado, assim utilizou-se a observação em luz polarizada plana (nicóis paralelos) ou em luz analisada (nicóis cruzados).

Na observação dos minerais opacos foi utilizada a microscopia em luz refletida e devem ser considerados os quatro tipos principais de propriedades qualitativas, as propriedades óticas, as propriedades dependentes da dureza, as propriedades texturais e as propriedades estruturais e morfológicas.

Por último, o aspeto textural dos minerais é também de elevada importância visto que a interpretação das relações espaciais entre os grãos, ou seja, a sua textura é um dos aspetos mais difíceis aquando do estudo das rochas e minerais (Barton, 1991). Além disso, do ponto de vista teórico esta é uma propriedade indispensável na identificação do tipo de paragénese de um depósito mineral podendo tornar-se imprescindível nas fases de exploração e beneficiação de um minério (Dória and Marques, 2008).

De acordo com o descrito anteriormente, em relação às propriedades microscópicas, denota-se que a microscopia ótica é um método primordial no estudo de mineralizações e dos seus envolventes.

A análise microscópica das lâminas delgadas permitiu caracterizar as texturas microscópicas e mineralógicas de cada uma das amostras, permitindo assim realizar comparações entre as texturas e mineralogia. Para esta análise foram utilizados equipamentos do Departamento de Geologia, Ambiente e Ordenamento do Território da Universidade do Porto, nomeadamente dos laboratórios de Geologia, incluindo o microscópio petrográfico com luz polarizada transmitida Leica ICC50HD, acoplado a uma câmara fotográfica Leica LAS EZ V2.0.0 e um “software” de apoio à captura de imagem, AxioVision 3.1 da ZEISS (Figura 23).



Figura 23: Microscópio Ótico de luz polarizada transmitida.

4.2.2 Microscopia Eletrónica de Varrimento

Procedeu-se ao estudo de áreas previamente selecionadas das lâminas delgadas polidas em microscopia eletrónica de varrimento. Esta técnica é baseada na análise de eletrões que, após a incidência de um feixe de eletrões, analisa os eletrões que são expulsos da superfície, isto é, são contados em detetores.

Na microscopia eletrónica de varrimento (MEV) podemos não só contar os eletrões, como também medir a própria energia que emerge no momento em que esses eletrões se afastam da superfície, pelo que esta pode ser medida sob a forma de calor ou radiação emitida. Os modos que podem ser utilizados na microscopia eletrónica de varrimento são os eletrões retrodifundidos, os eletrões secundários e a dispersão de energia (Dedavid *et al.*, 2007). A imagem em que os eletrões refletem na superfície e se espalham designa-se por imagem de eletrões retrodifundidos e, portanto, o modo de eletrões retrodifundidos (MEV ER). Neste modo existe uma correlação positiva entre o número de contagens de eletrões e o peso atómico do elemento à superfície. Sucintamente, quanto maior for o número atómico do elemento preponderante à superfície maior será o número de eletrões retrodifundidos, e consequentemente obter-se-á uma imagem mais clara. Verifica-se o oposto com elementos de peso atómico mais baixo, onde se obtém uma imagem mais escura devido ao reduzido número de eletrões retrodifundidos capturados

Esta análise foi feita com recurso ao equipamento disponível no Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP), recorrendo ao microscópio eletrónico de varrimento de alta resolução, com microanálise por raios X, designado por JEOL JSM 6301F/Oxford INCA Energy350 (Figura 24).



Figura 24: Microscópio Electrónico de Varrimento do CEMUP

Por outro lado, a imagem em que os eletrões vão refletir em todas as superfícies da amostra e, portanto, vai haver um emaranhado de trajetórias é a imagem de eletrões secundários (modo de eletrões secundários – MEV ES). Deste modo para se observarem os eletrões secundários não se pode polir a superfície, porque em modo de eletrões secundários a superfície polida não dá contraste, uma vez que, os eletrões vão refletir sobre a superfície de igual forma. Assim, se a superfície for homogeneizada o que estaremos a ver não é a diferença de fase, mas sim diferenças de reação ao polimento por parte das fases. Neste caso, se aplicamos o MEV ES a um fragmento, tanto a morfologia dos cristais como o tipo de clivagem aparecem de forma exuberante. Tal sucede, porque as imagens do MEV ER dizem respeito a duas dimensões, à superfície polida, logo temos que ter o espécime em superfície polida, enquanto as imagens do MEV ES dão acesso a três dimensões e o espécime tem que ser um fragmento ou uma partícula. Assim, as imagens de MEV ES não são imagens de contraste de fase, mas sim imagens topográficas (Dedavid *et al.*, 2007)

No modo de análise de dispersão de energia, ou de microanálise de raio-X, a amostra depois de bombardeada por um feixe de eletrões emite raios-X de uma zona microscópica, estes são característicos e específicos de um determinado número atómico. Desta forma, o seu comprimento de onda ou a sua energia dispersa podem ser utilizados para identificar o elemento que o está a emitir. Este tipo de análise pode funcionar de duas formas, por varrimento em que toda a superfície da amostra é varrida por um feixe de energia e, assim é feita uma leitura geral da amostra, ou então por pontos em que apenas um local é estudado. Com este modo é possível medir as quantidades relativas dos elementos que estão em proporção na amostra, fazendo assim uma análise semi-quantitativa da fase mineral através dos espectros de dispersão de energia. O espectro assim obtido é comparado com os espectros padrão, permitindo identificar os elementos maiores e definir as suas quantidades relativas pela relação de picos, ou seja, pela altura dos picos poderá se ter uma ideia da quantidade relativa do elemento (Dedavid *et al* 2007).

4.2.3 Difração de Raios-X

Rochas e minerais provenientes das zonas mineralizadas foram selecionados para análises de difração de raios X (DRX) no sentido de identificar as espécies minerais.

As análises foram realizadas com um difractómetro de raios X de marca Rigaku Geigerflex (Figura 25). O difractómetro é composto por um tubo de raios X, monocromador, um goniómetro e um contador de Geiger – Müller.

Tubo de raios X: possui um filamento de tungsténio que é aquecido até alta temperatura, deste modo os eletrões sobreaquecem. A diferença de voltagem entre o filamento e o alvo mineral (ânodo) resultam na aceleração dos eletrões de encontro ao alvo. Quando os eletrões chocam com o alvo, produzem radiação na forma de raios X que saem do tubo através das janelas de berílio.

Monocromador: visto a necessidade de se empregar uma radiação monocromática (sem a interferência da radiação do ânodo) utiliza-se um filtro monocromador situado na passagem dos raios x e entre a amostra e o detetor ou entre o tubo e a amostra, o qual, permite unicamente a passagem da radiação de comprimento de onda de interesse. Permite ainda remover radiações oriundas da interação dos raios x com a amostra.

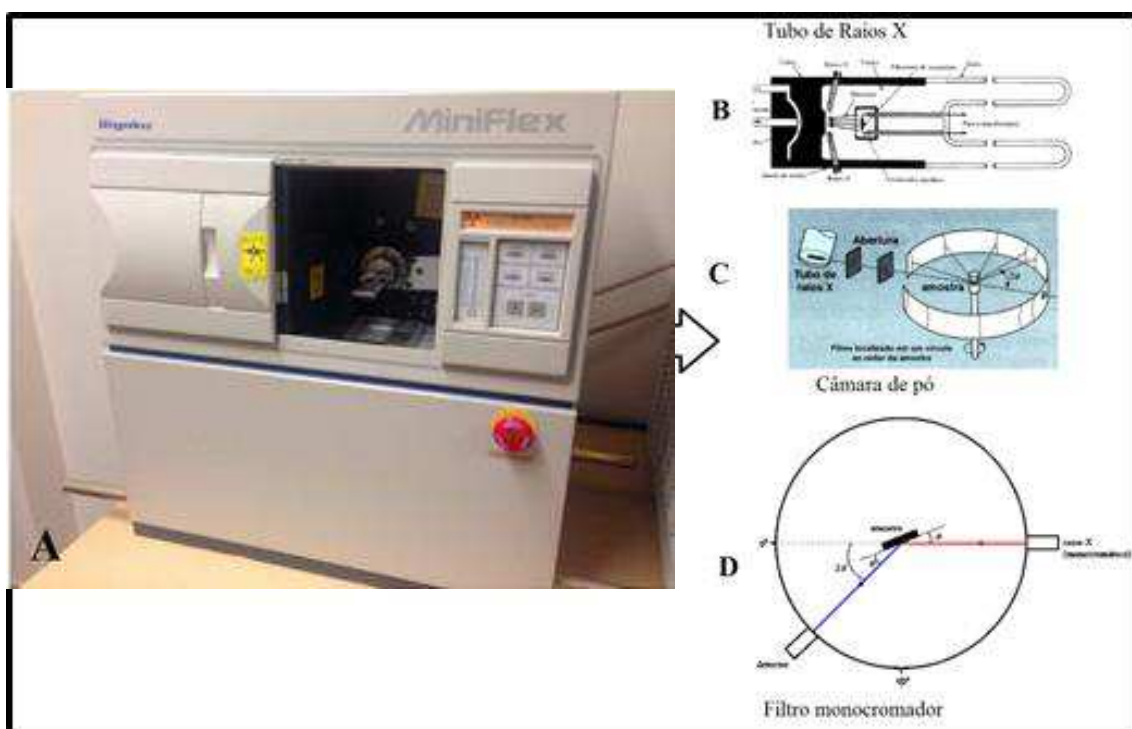


Figura 25: Difractómetro de raio X, A – Difractómetro, B - Tubo de raio X, C – Câmara de pó, D – Filtro monocromador.

Goniómetro: está acoplado aos acessórios de receção do feixe difratado. Move-se com velocidade angular (2θ) sobre o eixo P, amostra sofre uma rotação com metade desta velocidade angular (θ). O raio do círculo do goniómetro é fixo, apresentando distâncias iguais entre o tubo de raios x e a amostra e entre a amostra e a fenda de receção, ou seja, contém os raios incidentes e difratados.

Contador de Geiger – Müller: mede radiações ionizantes. É constituído por um tubo Geiger – Müller e de um sistema de amplificação e de registo de sinal. O tubo contém uma câmara metálica cilíndrica no eixo existe um fio metálico, o tubo é enchido por um gás a baixa pressão. Uma tensão elétrica de ordem de 40 kV é estabelecida entre o cilindro (que tem papel de cátodo) e o fio (ânodo). Quando uma radiação ionizante entra no contador, ioniza o gás o que resulta na libertação dos eletrões que se multiplicam rapidamente tornando o gás condutor durante um curto espaço de tempo.

4.2.4 Espectroscopia de Absorção Atómica

Nas instalações da empresa MINAPORT Ltd encontra-se um laboratório de análises químicas dotado com um espectrómetro de absorção atómica de última geração. O objetivo fundamental deste laboratório é de analisar as amostras recolhidas nas sondagens, galerias e afloramentos para quantificar a concentração em ouro. No nosso entendimento achamos importante de apresentar a metodologia de preparação de amostras e os princípios físicos desta técnica analítica.

Preparação de amostras. A receita de preparação de amostras segue as seguintes fases:

- 1- Pesar 1g de amostra num copo de teflon.
- 2- Adicionar 3ml de HCl, 2ml de HNO₃, 1ml de Hf.
- 3- Colocar numa placa de aquecimento a 100°C e deixar evaporar completamente.
- 4- Adicionar 2ml de HF e 2ml de HClO₄ e deixar evaporizar.
- 5- Retirar o resíduo da evaporação em 10ml.
- 6- No espectrómetro de absorção atómica com camada de grafite adicionar a barra da chama e a lâmpada correspondente ao Au, e depois elaboração da recta padrão com preparações de valores conhecidos de Au, 0.1 ppm, 0.5 ppm, 1 ppm, 4 ppm, 6 ppm e 10 ppm.
- 7- Depois de calibração em função de uma concentração estimada, procede-se a analisar os valores referentes á nossa amostra.

Princípios físicos.

A Espectroscopia de Absorção Atómica de Chama com câmara de grafite é um método de análise química usado para determinar qualitativamente e quantitativamente

a presença de metais. A quantificação é efetuada por comparação a retas de calibração elaboradas a partir de soluções metálicas de concentrações conhecidas. A deteção de alguns elementos através desta técnica é extremamente eficaz, com as determinações quantitativas possíveis na escala de ppb na câmara de grafite com precisão de mais ou menos 1%.

Este método consiste em determinar a presença e quantidade de um determinado metal presente numa dada amostra que tem de estar completamente dissolvida numa solução, para poder ser analisada usando o princípio da absorção de radiação ultravioleta por parte dos eletrões presentes na solução.

Os conceitos básicos deste aparelho podem ser explicados através da figura 26:

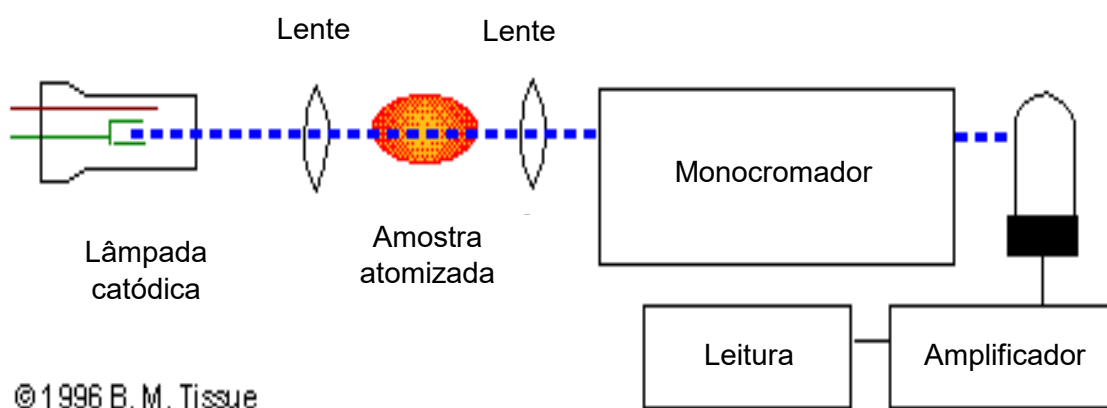


Figura 26: Conceito básico da espectroscopia de absorção atômica.

A fonte de energia desta técnica é uma fonte luminosa – a lâmpada de descarga luminosa com cátodo oco que consiste num tubo de vidro com paredes espessas que contêm neón ou argón provido de um cátodo feito com o elemento de interesse em forma de cilindro fechado numa das extremidades, e um ânodo em forma de fio de tungsténio. A lâmpada é preenchida com um gás nobre, a baixa pressão, este gás é escolhido pelo fabricante para dar as menores interferências no espectro do referido metal e a face frontal da lâmpada é feita de quartzo ou de vidro, de acordo com os comprimentos de onda a transmitir.

A aplicação de uma corrente de 100 a 200V produzirá, após um breve tempo, linhas de emissão nítidas para elementos específicos vindas de dentro do cátodo oco cujo comprimento de onda varia entre a parcela visível e a parcela ultravioleta do espectro eletromagnético.

A única desvantagem desta fonte é o grande número de lâmpadas que se deve ter à mão, mas existem algumas lâmpadas com vários tipos de filamentos catódicos (Ca, Mg e Al; Fe, Cu e Mn; Cu, Zn e Pb e Sn; e Cr, Co, Cu, Fe, Mn e Ni).

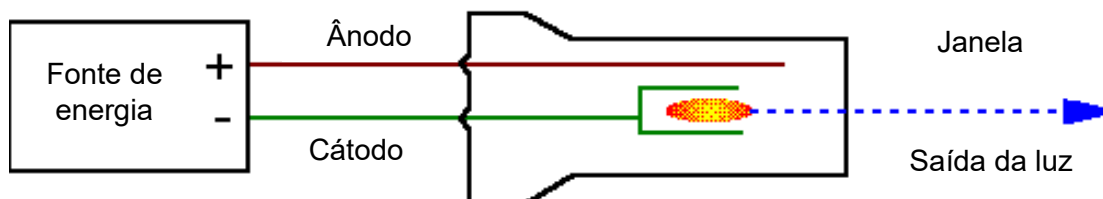


Figura 27: Conceito básico das lâmpadas usadas em espectroscopia de absorção atômica.

Nebulizador – combustor, um dispositivo, que serve para dispersar a amostra em forma de partículas atômicas neutras no caminho ótico do aparelho.

Monocromador, um dispositivo capaz de isolar as bandas analíticas e de bloquear as bandas vizinhas, bem como a radiação de fundo da chama tanto quanto possível. Este dispositivo deve deixar passar a maior quantidade de luz possível, ou seja, as suas aberturas devem ser ajustáveis para dar passagem a uma faixa espectral com amplitudes próximas à 2ª.

Detetores e indicadores, dispositivos que utilizam tubos foto-multiplicadores para converter a radiação num sinal elétrico. O sistema eletrónico deve ser capaz de responder ao sinal modulado da fonte sem interferência da chama na qual é induzida a amostra. A maior parte da radiação da fonte é removida mediante colocação do monocromador entre a chama e o detetor, entretanto, o monocromador transmite a banda de emissão correspondente ao comprimento de onda do pico de absorção.

Quando a energia da chama de gás acetileno a 3000 ° C é suficiente para excitar os átomos, estes sofrem um salto quântico – sobem para níveis orbitais superiores. Ao voltarem para os seus níveis orbitais de origem, devolvem a energia recebida para o meio na forma de feixe luminoso, que por sua vez, entra na nuvem da amostra e a absorção do feixe luminoso na nuvem da amostra é monitorizado pelo espectrómetro através da nuvem da amostra. De modo a determinar a concentração de um elemento através desta técnica analítica, os átomos têm de estar completamente livres de ligações que existem tanto no estado sólido ou líquido, porque os eletrões não vão ser livres de absorver comprimentos de ondas específicos da lâmpada se estiverem rodeados por átomos vizinhos. Para que não haja este tipo de interferências, a solução com a amostra é aspirada como uma fina mistura para uma chama, onde é convertida num vapor atómico.

Do feixe luminoso da lâmpada de descarga luminosa com cátodo oco, é selecionado uma linha de emissão de modo a coincidir com a do elemento a ser

analisado na nuvem atómica. Isto é possível graças ao Monocromador que permite o isolamento de uma determinada linha de emissão do espectro. A amostra que está a ser vaporizada absorve a energia no valor do comprimento de onda do tubo do cátodo e a redução final na intensidade (devido à absorção) é medida pelo tubo fotomultiplicador, passando depois para uma leitura informática dos dados através de um gráfico.

Esta técnica é muito apreciada devido a rapidez, exatidão, baixo custo, facilidade de manuseamento e por eliminar a necessidade de muitas separações químicas. Estas vantagens assegurarão um lugar proeminente desta técnica nos laboratórios analíticos durante muitos anos.

4.2.5 Espectroscopia de Fluorescência por Raios-X

Um dos métodos utilizados para a análise química das amostras em estudo, foi a espectrometria de fluorescência de raios X (FRX), uma técnica que permite a análise de elementos químicos maiores que possuam o número atómico $Z > 9$, no caso do equipamento existente no departamento de Geociências, em concentrações compreendidas entre 100 % e poucos ppm.

A base teórica da FRX é o denominado efeito da absorção fotoelétrica, traduzido no seguinte modo: todos os elementos químicos presentes num espécime, são excitados por um feixe policromático de raios x primários com determinadas energias, emitindo radiações secundárias ou de fluorescência. Estas radiações são dispersas por cristais analisadores ou dispersores de modo que as radiações secundárias dos elementos possam ser resolvidas e depois captadas por detetores dos tipos

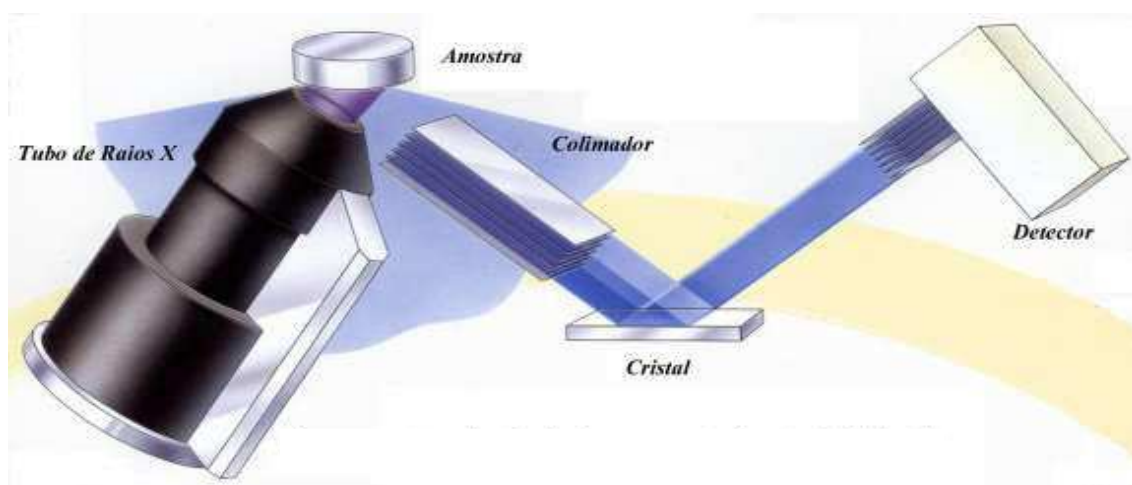


Figura 28: Componentes principais de um espectómetro de Raios X

proporcionais e cintilações (Figura 28). Por fim, é necessário estabelecer a correlação das intensidades medidas com os teores dos elementos químicos presentes.

O equipamento utilizado na execução dos discos fundidos foi *Philips Automatic Bead Machine “Perl’X3”*, que é um aparelho que possui uma fornalha controlada por um microprocessador.

As amostras são fundidas com um fundente num cadinho e depois vertidas para um molde. O aquecimento é fornecido por um gerador de baixa frequência. Durante o ciclo de produção da pastilha o cadinho e o molde são encerrados pela cobertura, operada pneumáticamente, da fornalha de maneira a proteger o operador de acidentes térmicos e/ou elétricos.

5 ATIVIDADES DE PROSPEÇÃO
GEOLÓGICA NA EXPLORAÇÃO DO JAZIGO
FILONIANO DE OURO DE NUMÃO E
CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA
SONDAGEM SN-21

5.1 Trabalhos de Prospeção Geológica

5.1.1 Considerações Gerais

A prospeção geológica consiste na procura no terreno de indícios estruturais e tectónicos, rochas e mineralizações, etc., que conduzem à delimitação e caracterização de ocorrências exploráveis (minérios, recursos energéticos, águas subterrâneas), com recurso a diversas técnicas da geologia e da geofísica (Galopim de Carvalho, 2011).

Antes de iniciar o trabalho de prospeção mineira foi necessário definir o tipo de amostragem a recorrer, tendo sempre em conta as estruturas geológicas a amostrar. Ao mesmo tempo foi importante seleccionar um padrão ou metodologia a adotar, de forma a permitir uma consistência nas comparações diretas dos resultados obtidos. No presente estudo, as estruturas mineralizadas são essencialmente representadas por filões de quartzo com orientação segundo N10° a N20° e com pendor para oeste (70° a 80°) (Figura 29). As rochas encaixantes apresentam-se frequentemente mineralizadas no contacto com as referidas estruturas filonianas, permitindo desta forma alguma



Figura 29: I – A travessa 3 segue praticamente ao longo da estratificação, atravessada por filões de quartzo mineralizados, onde foi efectuada amostragem em canal separadamente tanto da estrutura mineralizada como de parte da rocha encaixante junto ao encosto. II- Na confluência das duas linhas de água anteriormente referidas, existe uma zona atravessada por vários filões de quartzo de grande possança (cerca de 20 cm), os quais foram também alvo de amostragem

seletividade das zonas a amostrar. Após uma primeira observação/análise visual e uma identificação correta das estruturas mineralizadas, estas são selecionadas para amostragem.

A perceção espacial das estruturas no terreno é outra das competências essenciais que deve ser desenvolvida, pois é importante determinar o posicionamento no terreno para melhor compreender a sua distribuição espacial e/ou orientação. No entanto, será sempre fundamental o auxílio de diversas ferramentas (mapas, equipamentos de posicionamento espacial, etc.), bem como o estudo prévio do local alvo de amostragem incluindo o reconhecimento e a compreensão das relações espaciais de pontos de referência.

Outro aspeto a ter em consideração durante uma campanha de prospeção geológica é perceber as relações entre as estruturas mineralizadas e as rochas encaixantes entendendo como se relacionam. Neste caso as estruturas mineralizadas são filões de quartzo sub-verticais, que estão alojados num contexto metassedimentar, também sub-vertical, onde por vezes, algumas destas estruturas podem também estar mineralizadas nos contactos com os filões de quartzo.

5.1.2 Cartografia Geológica

A cartografia geológica é uma importante competência a desenvolver por qualquer geólogo, quer nos terrenos à superfície, quer em galerias de mina, onde é necessário descrever, caracterizar e medir as diferentes estruturas geológicas e litologias.

A cartografia das litologias foi mais valorizada para o mapeamento e identificação espacial das diversas rochas e estruturas mais importantes que ocorrem em determinada área. Por outro lado, a cartografia de descontinuidades tem o seu principal propósito na determinação de propriedades geotécnicas do maciço, que porventura servirão de base à engenharia mineira, no entanto também as orientações de certas descontinuidades estão associadas à orientação das estruturas mineralizadas.

A cartografia geológica pode ser feita em diversas escalas, sendo que a cada escala o nível de detalhe será diferente. A grandes escalas a precisão deverá ser maior do que a escalas mais pequenas.

O levantamento cartográfico no campo deve ser feito sempre que possível, através do recurso a um mapa de base. A título de exemplo, consideram-se as cartas topográficas militares da série M888, na escala 1:25 000. Também, o recurso a fotografia aérea é recomendado (Figura 30), sendo que o uso do GPS é ideal para a

identificação de um local através de um sistema de coordenadas XYZ, pois tem uma margem de erro pequena, podendo ser de cerca de 3 metros. Em certas circunstâncias, seria mesmo necessário recorrer a levantamentos com recurso a taqueómetro. No entanto, caso tal não seja possível, recorre-se à medição de ângulos com bússola e fita métrica (ou teodolito), fazendo-se as medições a partir de um ponto de referência com coordenadas conhecidas e facilmente identificável. Alternativamente, não havendo pontos de referência identificados, pode-se estabelecer um ponto de referência que posteriormente seja levantado com maior precisão e com recurso a um taqueómetro.

No caso da concessão de Numão, o limite de exploração experimental (Figura 30) corresponde a uma área relativamente pequena e sem grandes variações litológicas, para além das alternâncias expectáveis na Formação de Pinhão (alternâncias de filitos e grauvaques) do CXG. Assim sendo, a cartografia geológica de superfície consistiu na medição de atitudes dos estratos (e foliação, visto serem praticamente concordantes), delimitação de contactos geológicos, bem como na medição das atitudes dos filões de quartzo mineralizados.

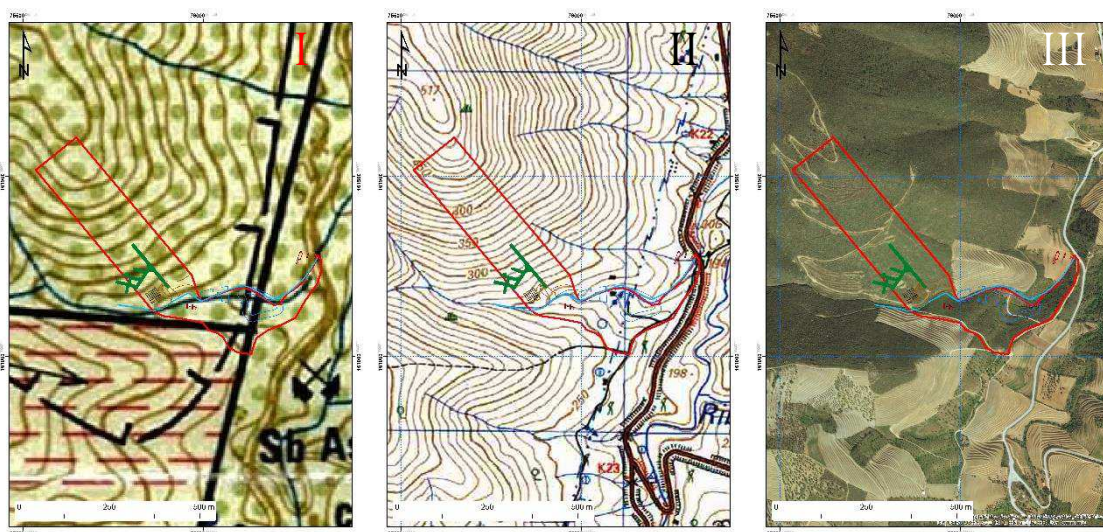


Figura 30: Algumas bases comuns para cartografia. I – A carta geológica à escala 1:50 000 é uma importante fonte de informação (assim como a correspondente notícia explicativa) é uma boa base para se proceder à cartografia de uma área numa outra escala; II – As cartas topográficas (nº 130 da série M888) na escala 1:25 000 são, também, uma boa base, pois apresentam pontos de referência de forma clara (ex estradas, caminhos, linhas de água, etc) que ajudarão essencialmente na localização; III – A fotografia aérea é um recurso atualizado frequentemente e bastante vantajoso uma vez que permite uma boa visão do terreno

A cartografia geológica efetuada na galeria experimental foi executada ao longo dos hasteais e nas frentes, tendo sido necessária alguma flexibilidade para conciliar a cartografia com os trabalhos mineiros. Assim, com o avanço da galeria tornou-se mais acessível cartografar os hasteais, visto não serem a zona de foco central dos trabalhos mineiros. A frente de escavação é a zona mais complicada de cartografar, dado que esta é realizada entre pegas de fogo.

O exemplo que aqui se apresenta corresponde à cartografia de um talude cuja plataforma se encontra a uma cota quase constante de 265 m, tem um comprimento de cerca de 300 m e intersecta a direção do eixo de uma das galerias (Figura 31). Numa primeira fase já havia sido feito um levantamento topográfico “das cristas do talude”. No entanto, posteriormente à cartografia geológica realizada, será necessário o levantamento com maior precisão das estruturas geológicas mais relevantes.

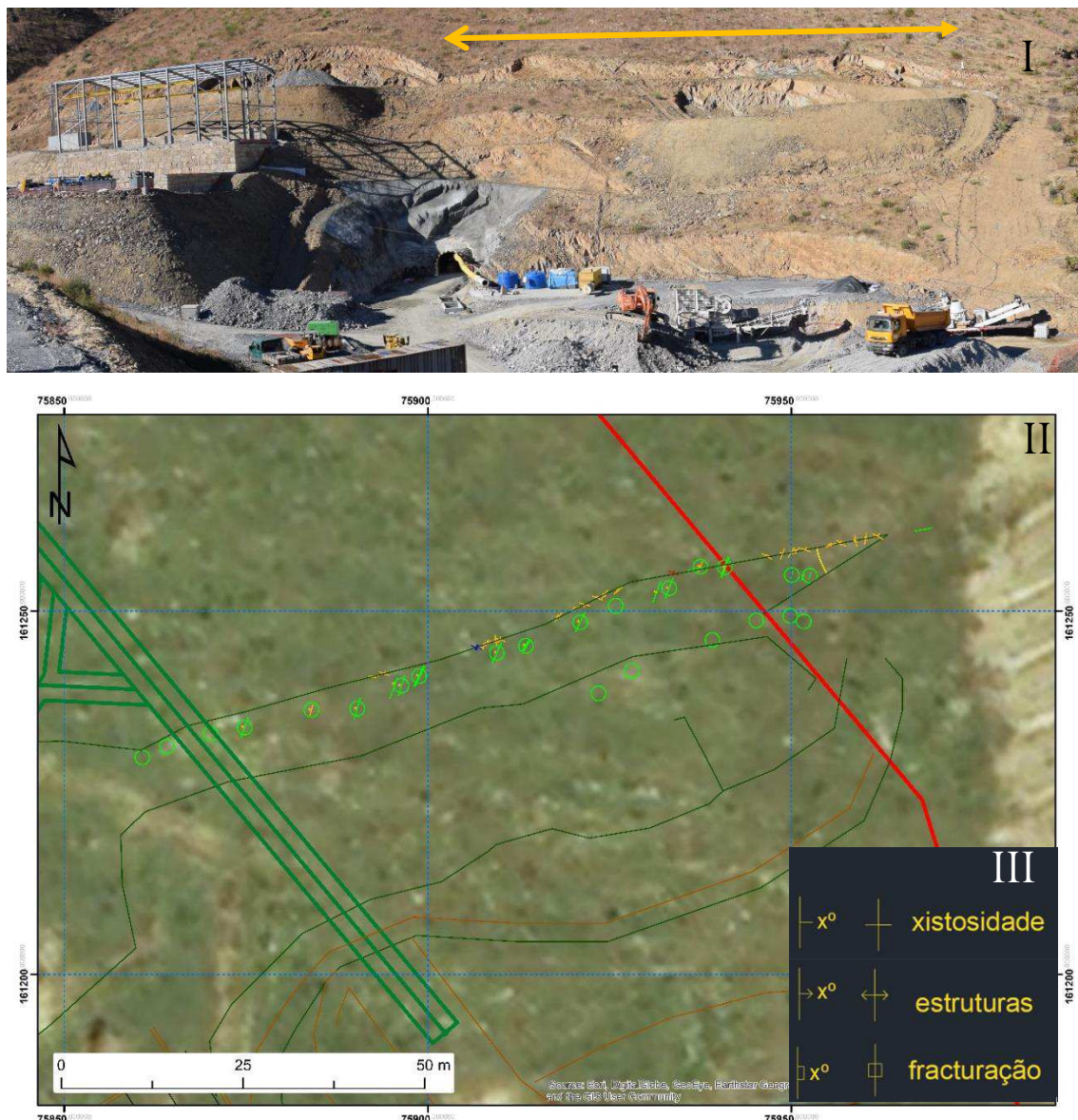


Figura 31: I – Fotografia com representação do talude “A” que foi cartografado, assinalado a laranja; II – Apesar da fotografia aérea do terreno ainda não se encontrar atualizada, foi já feito o levantamento da crista (a verde); a amarelo representam-se os levantamentos feitos usando uma fita, incluindo xistosidade/estratificação, filões de quartzo e intercalações de rochas calcossilicatadas; III – Convém estabelecer a simbologia a usar, de forma a que seja bem clara e que possa facilmente ser lida por outros.

A cartografia deste talude foi efetuada de este para oeste. Com base em pontos de referência previamente levantados, usou-se uma fita de 10 m de forma a se ir referenciando os elementos geológicos (variações litológicas, xistosidade /estratificação, descontinuidades, filões de quartzo) a cartografar, sendo estes

posteriormente projetados num mapa de base. Os dados obtidos foram complementados com anotações e outras descrições num livro de campo, de forma a não sobrecarregar o mapa de base (Figura 31).

Em geral, ao longo do talude verifica-se a predominância de litologias pertencentes ao Grupo do Douro, em particular da Fm de Pinhão, mais concretamente alternâncias de filitos e grauvaques, com intercalações menos possantes de rocha calcossilicatada, e que no seu conjunto seguem uma direção predominantemente segundo (N100-115°E), a qual é distinta das estruturas filonianas de quartzo, mineralizado em arsenopirite (N15-20° E) (Figura 32).

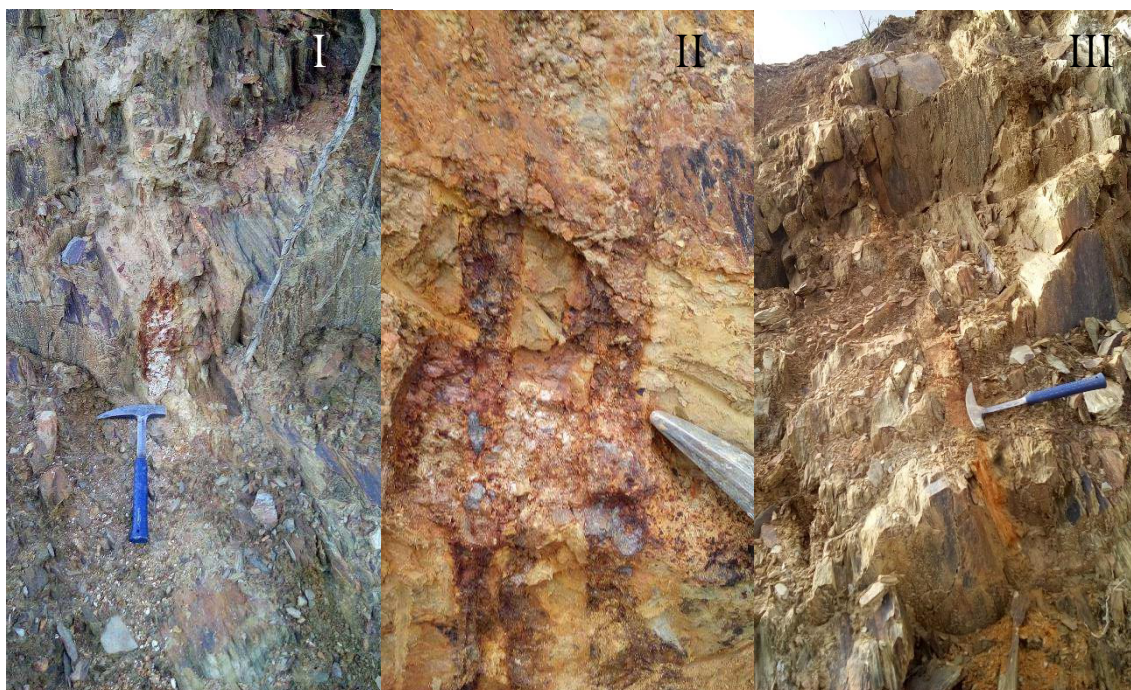


Figura 32: Alguns aspetos observados durante a cartografia do talude; I – Intercalação de uma rocha calcossilicatada entre metagrauvaques II – Dois filonetes de quartzo leitoso mineralizado, muito alterados e oxidados, onde se destacam ainda nódulos de arsenopirite maciça, mais expressivos junto aos contactos; III – Outra intercalação de rocha calcossilicatada no seio de metagrauvaques, estes claramente mais competentes que os filitos.

Em geral existe uma predominância de litologias mais pelíticas (filitos) onde a xistosidade é bastante penetrativa, alternando com níveis mais competentes de rocha mais siliciosa, que correspondem a grauvaques. Entre estas alternâncias surgem, por vezes, intercalações de níveis centimétricos de rochas calcossilicatadas. Ao longo do talude e com um espaçamento mais ou menos regular, também se verifica a ocorrência de filões e filonetes de quartzo leitoso com sulfuretos, sendo que os filonetes predominam sobre os filões com maior possança.

Para além dos filonetes é evidente a orientação preferencial de falhas/diaclases de atitude média N020° E;80° W. Os filonetes de quartzo leitoso encontram-se em geral bastante oxidados, apresentando sulfuretos disseminados e frequentemente com

nódulos de sulfuretos maciços, sendo estes mais evidentes junto aos encostos ou no centro do filão.

5.1.3 Amostragem de Afloramentos

No decorrer deste trabalho, foi possível participar e contribuir em várias campanhas de amostragem, quer à superfície quer em galeria. A título de exemplo descreve-se neste capítulo a zona referida no parágrafo anterior.

O principal objetivo da amostragem realizada na área da concessão corresponde à recolha de amostras para determinação dos teores de ouro e prata das estruturas mineralizadas.

O exemplo que é aqui apresentado corresponde a uma campanha de amostragem realizada no talude situado acima do emboquilhamento da mina, de agora em diante designado de talude A.

Durante a cartografia do talude A foram identificadas várias estruturas filonianas (filões e filonetes de quartzo leitoso mineralizados em arsenopirite), sendo que algumas suscitaram interesse, quer pela sua possança, quer pelo elevado número de descontinuidades associadas à direção dos filões principais.

Assim sendo, identificou-se um filão de quartzo de atitude N020° E;70° W e com cerca de 15 cm de possança, evidenciando mineralização em arsenopirite maciça e sinais de forte oxidação (Figura 33-I). A rocha encaixante, que corresponde a um filito, assim como o próprio filão de quartzo, apresenta-se bastante alterada, visto que é uma zona relativamente superficial e, portanto, espectável o estado de alteração observado.



Figura 33: I- Pormenor do filão a amostrar; II- Vista geral do filão na rocha encaixante. Repare-se que o plano focal coincide quase paralelamente à xistosidade, que é sub-vertical.

Na fase seguinte ao reconhecimento da existência do filão de quartzo, e tendo em conta que foi possível registar a sua atitude e confirmar a sua possança, estes dados são anotados no caderno de campo, procedendo-se também ao seu registo fotográfico. Captura-se então uma fotografia geral que enquadre o filão na rocha encaixante (Figura 33-II), sendo que no caderno de campo se regista a referência da fotografia. Para uma consulta futura pode-se também capturar uma ou duas fotografias do local ou de marcos visuais que permitam o regresso ao local. Neste caso, tendo em conta a cartografia e a acessibilidade do local, este passo torna-se redundante. Anotam-se ainda as coordenadas que são indicadas pelo GPS referente a esse local. Uma vez mais, tendo em conta a acessibilidade do local, e conforme foi descrito no capítulo 5.1.1, poder-se-á regressar ao local da amostragem para recolher uma coordenada recorrendo a um taqueómetro.

Na amostragem em canal da referida estrutura, procede-se à marcação de um canal de 30 cm de comprimento e perpendicular à estrutura que se quer amostrar, em que o filão se encontra no centro, obtendo-se desta forma uma amostra com filão e rocha encaixante. Sempre que for possível, marca-se a referência que foi dada à amostra no próprio talude. Sendo esta estrutura relativamente possante e contínua procede-se ao levantamento da sua posição (ou, uma vez mais, referir nas anotações que será necessário um levantamento com maior precisão). Posteriormente é preparado um saco contendo a referência da amostra, e procede-se à sua colheita ao longo do canal, tendo sempre a preocupação de recolher um volume que seja suficientemente representativo (Figura 34). Deve-se efetuar o registo fotográfico após a colheita da amostra.



Figura 34: I- No talude fica registado o tamanho do canal e a referência da amostra; II- A referência da amostra deve constar na parte externa do saco de plástico e num pequeno cartão que fica dentro do saco.

Um aspeto a considerar durante a amostragem refere-se à nomenclatura que deve ser usada, de forma a facilitar quer seja durante o manuseio no laboratório ou para

referência futura e para associação espaço-temporal. Podem-se usar várias combinações de letras e números, em que o mais importante é que corresponda a um sistema que permita e facilite a organização das amostras e dos dados obtidos, não recorrendo também a um excessivo número de caracteres, e que ainda todos os membros da equipa utilizem em percebam. No presente exemplo a amostra é designada de STA001, sendo que o código usado significa, “S” de Superfície, “T” de Talude, “A” é o primeiro talude desta amostragem e 001 (é o número da amostra desta série).

Uma vez colhida a amostra, foi necessário proceder à sua entrega no laboratório. No entanto, existem algumas considerações importantes a ter até à entrega da amostra. Em primeiro lugar deve-se garantir ainda antes da colheita, as boas condições da embalagem a usar. Para assegurar a sua preservação e que a amostra se mantém intacta até à entrega em laboratório, é sensato precaver-se para o caso de amostras colhidas que tenham arestas vivas e que possam danificar a embalagem, a qual deverá estar sempre devidamente selada, garantindo assim que não haja perda de amostra nem contaminação por outros materiais exteriores. Também se pode fazer uma verificação final antes da entrega, pesando a amostra e fazendo uma última inspeção visual.

A metodologia de colheita de amostra até aqui referida foi feita recorrendo a um canal, sendo que também se poderá optar por se fazer a mesma em painel. Poucas são as diferenças que distinguem a amostragem em canal da amostragem em painel, sendo que a principal reside no facto de se realizar a amostra numa área mais abrangente em vez de ao longo de um perfil perpendicular à estrutura. Até certo ponto poder-se-á considerar a amostragem em painel como uma amostra colhida em vários canais sucessivos, o que também implica que será recolhida uma maior quantidade de amostra. No entanto, apesar de as amostras em painel abrangerem uma área maior, são mais demoradas e requerem mais equipamento, sendo por isso relativamente pouco comuns.

5.3.4 SIG e CAD

Apesar de não ser o foco deste trabalho será relevante referir a importância de alguns dos softwares usados, dos quais se destacam as ferramentas digitais de desenho e de informação geográfica, o AutoCAD e o ArcGIS, respetivamente. O uso destes softwares em particular não reflete uma parceria com estes, mas sim a preferência pessoal, formação e comodidade, visto já serem usados na empresa, e dos

Durante o estágio houve a oportunidade de utilizar estas ferramentas digitais, tendo sido possível aplicar os conhecimentos adquiridos até então, e obter novas competências. Estes sistemas apresentam várias vantagens e desempenham várias funções num ambiente empresarial, sendo sistemas altamente capazes mesmo nas suas vertentes bidimensionais. Ambos os programas têm as suas mais valias, mas ainda assim podem ser utilizados simultaneamente, colmatando os pontos fracos um do outro (Figura 35).

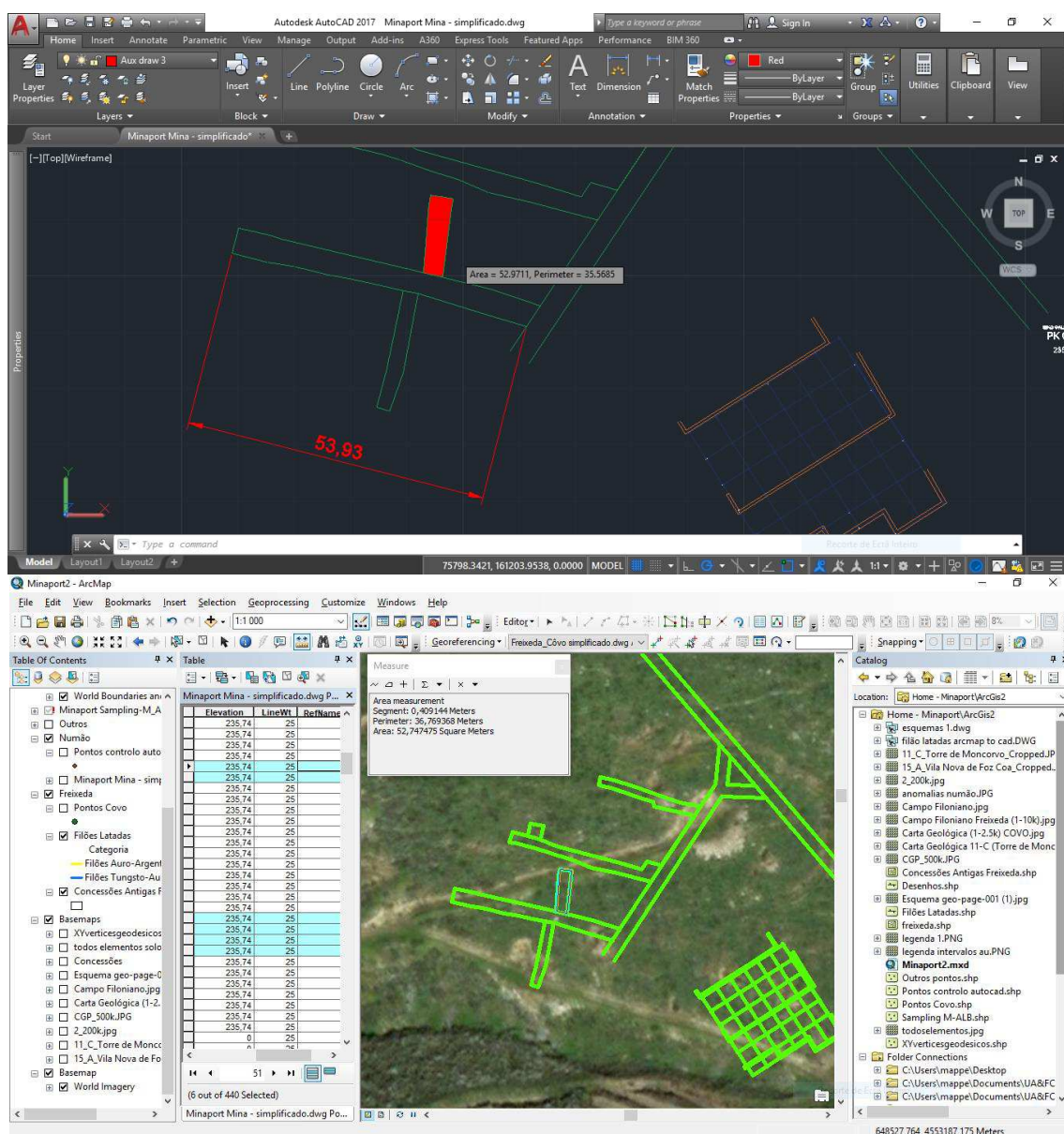


Figura 35: Paralelismo entre interfaces gráficas do Autocad (em cima) e do ArcGis (em baixo), apesar de à primeira vista diferentes, em conceito aproximam-se. A título de exemplo mediu-se uma área (erro de 20cm²) e um perímetro (erro de 20cm), cujo erro, não significativo, se deve essencialmente a métodos de projeção diferentes. Continuação do paralelismo entre softwares na figura 36.

Os softwares CAD (computer aided design), em particular o AutoCAD™, são aplicados e utilizados em vários sectores da empresa, pela topografia, engenharia, construção, geologia, etc. É um software bastante pragmático na criação e desenho de estruturas, curvas de nível, projeção de pontos. É fácil criar e desenhar objetos, especificar coordenadas, fazer medições (distâncias, ângulos, áreas), sobrepor imagens, criação de perfis topográficos e projeção de sondagens (em planta e perfil). A versatilidade do AutoCAD está no pragmatismo de criar e editar elementos, por oposição ao ArcGIS (ou outros GIS), onde é necessário criar em primeiro lugar um ficheiro e especificar o tipo de geometria a usar (pontos, linhas, poli-linhas, polígonos), sendo que também a edição destes elementos requer um acrescido número de passos.

O ArcGIS é um software dedicado essencialmente à gestão de bases de dados e criação e apresentação de mapas, sendo que à semelhança do AutoCAD permite a criação e edição de objetos (pontos, linhas, polígonos) a medição de distâncias e áreas, sendo que o ultrapassa por ser capaz de conceder atributos a estes objetos, podendo assim criar uma base de dados de forma mais conveniente e intuitiva, à semelhança de uma folha Excel, sendo por fim mais fácil de apresentar esta informação de forma visual num mapa mais claro. Outra das vantagens do ArcGIS quando em comparação com o AutoCAD está na manipulação de coordenadas. No mesmo ficheiro o ArcGIS pode conter objetos em sistemas de coordenadas diferentes.

Também permite a georreferenciação e sobreposição de imagens de forma mais minuciosa. Outra das características que eleva o ArcGIS é a disponibilidade de bases de dados e facilidade de as adicionar a um projeto. A título de exemplo, estão disponíveis imagens de satélite já georreferenciadas, o que permite rapidamente fazer uma sobreposição da área em estudo com imagens reais do terreno em vez de representações.

No caso do registo e catalogação de amostras ambos os softwares apresentam as suas vantagens. No ArcGIS é fácil gerir grandes bases de dados, pois cada amostra tem a sua entrada que pode ser condicionada por outras variáveis, o que permite uma melhor organização. Também é mais fácil e agradável de exibir no terreno as amostras e atribuir uma simbologia específica de acordo com as variáveis que se pretendem, em particular pode-se atribuir símbolos ou escalas para os teores obtidos de ouro e prata. No AutoCAD torna-se difícil gerir grandes quantidades de dados.

A projeção de sondagens também beneficia do interuso de ambos os softwares. No entanto no AutoCAD é mais intuitivo e prático manipular objectos 3D, medir e alterar ângulos e distâncias de forma a acomodar uma sondagem de acordo com os objetivos

pretendidos. Neste caso o ArcGIS serve para complementar o posicionamento da sondagem com a base de dados e com imagens do terreno.

Outro software geralmente subvalorizado, mas bastante utilizado foi o Google Earth. É um programa mais simples, mas ainda assim com capacidades que o destacam dos softwares já referidos. Um dos principais pontos fortes, para além da rapidez em carregar o programa, é que este permite visualizar imagens de satélite de qualquer zona do globo com uma navegação fácil e intuitiva. Um dos atributos que o destaca da visualização de imagens de terreno do ArcGIS é o facto de se conseguir visualizar o relevo, sendo possível manipular os controlos para permitir a vista do terreno sobre qualquer ângulo. Apesar das imagens aparecerem num ecrã bidimensional, pelo facto das imagens do terreno estarem associadas a cotas diferentes, ao fazer variar a perspetiva sobre a qual se visualiza o terreno é possível reconhecer a profundidade. Na sua base de dados, para determinadas zonas existem imagens de datas diferentes, o que permite acompanhar a evolução do terreno ao longo do tempo. Adicionalmente existe uma forma rápida de criar e editar objetos sendo possível criar uma base de dados, no entanto de forma menos completa. Também é possível medir distâncias e áreas, em várias unidades distintas. É ainda de referir a vasta base de dados dos mais diversos temas, dos quais muitas vezes fotografias do terreno, tiradas pela comunidade. Para finalizar outra importante ferramenta do Google Earth é a visualização de imagens 360 capturadas ao nível do solo com cobertura garantida das principais vias de comunicação. Em resumo, é um software que permite uma rápida visualização do terreno e perceção das características topográficas, sendo uma excelente ferramenta para a preparação de visitas ao terreno.

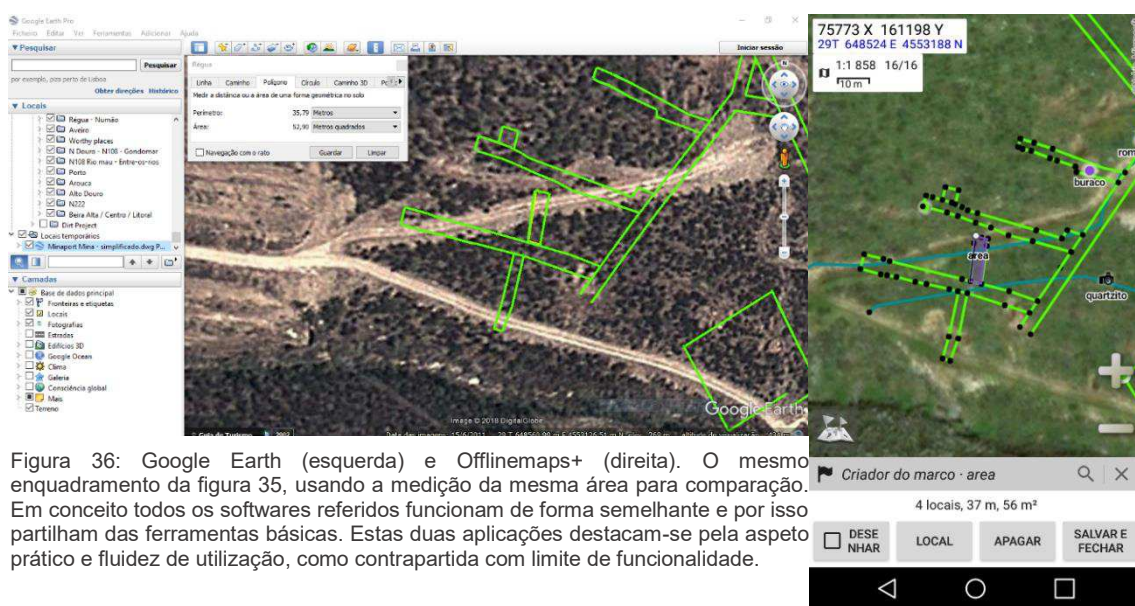
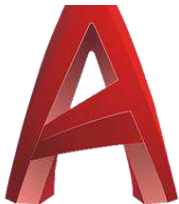


Figura 36: Google Earth (esquerda) e Offlinemaps+ (direita). O mesmo enquadramento da figura 35, usando a medição da mesma área para comparação. Em conceito todos os softwares referidos funcionam de forma semelhante e por isso partilham das ferramentas básicas. Estas duas aplicações destacam-se pela aspeto prático e fluidez de utilização, como contrapartida com limite de funcionalidade.

Outra aplicação a destacar, desta vez para telemóvel (Android), é o “OfflineMaps+”. É algo semelhante ao Google Earth mas com ferramentas menos evoluídas, de qualquer forma qualquer *handycap* é compensado pelo facto de ser portátil. Uma das vantagens desta aplicação é também ter disponível uma grande base de dados de imagens do terreno e mapas de estradas que podem ser previamente descarregados numa rede fixa por forma a evitar custos de rede móvel. Adicionalmente pode recorrer ao GPS do telemóvel o que permite a captura de pontos no terreno, tendo em conta um erro de cerca de 5m. Esta aplicação também suporta vários sistemas de coordenadas, pelo que é possível utiliza-la para converter coordenadas (na figura 36) é possível ver no canto superior esquerdo da aplicação de telemóvel um sistema de coordenadas a preto, ETRS, e outro a azul, WGS84). Também permite a criação livre de pontos, linhas e polígonos e medição de distâncias e áreas, sendo possível associar fotografias diretamente na aplicação. Outra característica importante é o facto de aceitar a importação de ficheiros do Google Earth (formato “.kmz” ou “.kml”), que por sua vez podem ter origem no ArcGIS ou AutoCAD. Assim, pode-se transportar uma parte da base de dados para consulta no terreno. Nas figuras 5.4-A e 5.4-B a galeria teve origem no Autocad, no entanto pôde ser partilhada para as restantes aplicações. Como conceitualmente todos os softwares se baseiam no mesmo princípio, a título demonstrativo encontram-se na tabela 1 os resultados das medições de uma área e respetivo perímetro.

Tabela 1: Resultados das medições de uma área, e respetivo perímetro, recorrendo aos diferentes softwares, da esquerda para a direita: AutoCad, ArcGis, Google Earth e OfflineMaps+. O desvio verificado no software de telemóvel OfflineMaps+ deve-se ao facto da interface ser mais pequena e difícil de indicar os locais da medição, no entanto seria possível construir um polígono indicando as coordenadas dos vértices, o que diminuiria o erro.

				
Área (m ²)	52,97	52,74	52,90	56,00
Perímetro (m)	35,50	36,76	35,79	37,00

5.2 Descrição e Amostragem de Sondagens Carotadas

5.2.1 Descrição de Sondagens Carotadas

As sondagens carotadas são uma importante ferramenta usada em campanhas de prospeção geológica, apresentando várias vantagens em relação a outros métodos. Entre as vantagens principais, são de destacar o acesso relativamente mais rápido com menores custos a zonas inacessíveis através de outros métodos, como por exemplo, através de galerias de prospeção, sendo que o alcance pode atingir entre 100 a 1000 m, dependendo do equipamento. No entanto, também apresentam desvantagens, como o seu custo elevado, quando em comparação com trincheiras e valas. Outra desvantagem reside na representatividade dos dados obtidos, pois uma sondagem carotada apesar de ter grande alcance longitudinal, transversalmente a única informação obtida corresponde ao diâmetro do carote extraído.

As várias sondagens carotadas realizadas na concessão de exploração experimental de Numão, nomeadamente a sondagem SN-21, têm por objetivo principal acrescentar novas informações à base de dados já existente, que porventura permitirá construir um modelo geológico cada vez mais detalhado, recorrendo à geometria das sondagens e à amostragem nelas realizada.

A projeção de uma sondagem corresponde a um processo fundamental para que essa possa ter valor a acrescentar à base de dados. No caso da sondagem SN-21, a sua projeção foi relativamente facilitada por vários motivos. O primeiro foi por questões logísticas, uma vez que a sonda já se encontrava no local, tendo sido já anteriormente realizada uma sondagem, com uma atitude diferente a da SN-21 (Figura 37). Nestas situações torna-se também necessário ter em consideração qual o local onde se vai colocar a sonda, se existem acessos e se será fácil providenciar os materiais para que se realize a sondagem. Se o terreno for demasiado inclinado ou densamente coberto por vegetação será necessário criar acessos, o que em última análise elevará o custo da sondagem. Também se deverá ter em conta o impacto ecológico, a nível de fauna e flora, o impacto visual/paisagístico, assim como, e principalmente o direito de aceder aos terrenos que pode estar condicionado pelos proprietários dos mesmos. No caso da sondagem SN-21 não existiram problemas, visto estar localizada dentro da área concessionada e os acessos criados, ao longo de um caminho já existente.

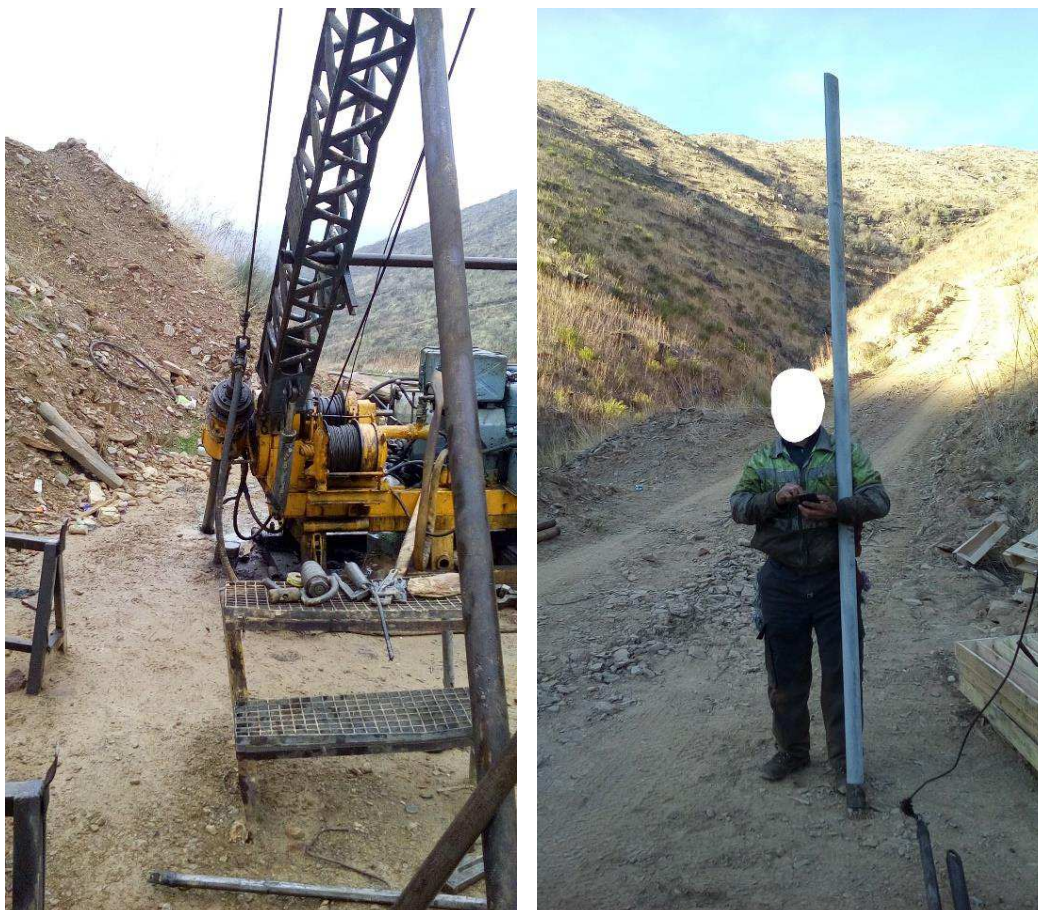


Figura 37: I - Sonda utilizada para a sondagem SN-21, estando no entanto orientada para uma sondagem executada posteriormente. Na mesma plataforma realizaram-se 3 sondagens, com atitudes diferentes. II – Por vezes a rocha é tão competente e encontra-se livre de grandes fraturas que permite ao amostrador recolher o comprimento máximo de 4 m.

Outro fator importante que irá condicionar o posicionamento da sonda e atitude da sondagem serão, evidentemente, os fatores estruturais e geológicos. Deve-se evitar que a atitude da sondagem se aproxime da atitude de planos de estratificação e foliação, por estes serem, em geral, planos de fraqueza que podem interferir com a direção e inclinação desejadas. No caso da SN-21, da mesma forma é desejável evitar que a sua orientação se aproxime demasiado da direção das estruturas filonianas. Quanto mais perpendicular for uma sondagem em relação a um filão, se consegue obter um valor mais aproximado da possança real. Desta forma, deve-se apontar para uma direção e inclinação o mais perpendiculares possível em relação às referidas estruturas. Outra consideração a ter em conta, será a de certificar que a inclinação é adequada aos objetivos. Generalizando, tentam-se evitar sondagens que sejam demasiadamente verticais ou demasiadamente horizontais. No caso de sondagens muito horizontalizadas é praticamente impossível garantir que a sondagem seja na sua totalidade horizontal, isto pois a força da gravidade terá uma ação significativa nos vários componentes da sonda. Também, neste caso a lubrificação será dificultada. Por acidente ou distração podem-se atingir estruturas relativamente superficiais, ou aflorar se assim a topografia o permitir. Sondagens verticais também não se adequam totalmente neste contexto pois

a xistosidade é sub-vertical e podem originar grandes desvios. No entanto, também será necessário ter em atenção as sondagens com qualquer outro ângulo, em particular na proximidade de estruturas subterrâneas, como uma galeria de exploração experimental, pois existe a possibilidade de a intercetar. No caso da SN-21, esta foi realizada com estas considerações, no entanto à cota da galeria (235 m) a sondagem intercetou o eixo da 3ª travessa numa zona de quartzitos, o que significa que, continuando a 3ª travessa por cerca 200m esta atingirá a cavidade cilíndrica deixada na rocha pela sondagem.

Deste modo, devido a todos estes motivos será necessária uma cuidada abordagem para uma correta definição da atitude e localização a dar a determinada sondagem.

A fase seguinte, e não menos importante, compreende o acompanhamento da execução da sondagem, o qual não é um processo instantâneo. Será relevante voltar regularmente ao local e acompanhar o progresso, falando com as pessoas envolvidas na execução da sondagem, pois também elas podem facultar informações relevantes. Um sondador, experiente ou não, saberá no mínimo comentar acerca da dureza de uma rocha e que tipo de zona estará a atravessar. No entanto, a parte mais relevante desta fase será a realização do “log” de sondagem. Uma vez mais, é o sondador que é responsável por retirar a carote do amostrador e colocá-la devidamente na respetiva caixa e realizando as medições da manobra, também de acordo com as especificações fornecidas pelo geólogo. O procedimento mais comum refere que deva constar na caixa a identificação da sondagem e número da caixa, bem como, as respetivas referências de início e fim de uma manobra. Normalmente as caixas de sondagem têm 5 divisórias e um metro de comprimento disponível para armazenamento da carote, dependendo do seu diâmetro. No entanto, para melhor conveniência deve-se adaptar os requisitos às necessidades. Deve-se ter em conta a densidade das rochas e certificar que as caixas serão capazes de aguentar com o peso solicitado. Desta forma, será também mais conveniente quando chegar o momento de ter que mobilizar as caixas (o que poderá acontecer várias vezes), será necessário um espaço adequado para a deposição e armazenamento das caixas, sendo que mais tarde será sempre necessário consultá-las.

Nesta fase, o “log” da sondagem deverá começar a ganhar forma, sendo que toda a informação disponível poderá ser útil. Ao mesmo tempo que se procede à realização do “log” de sondagem, procede-se à amostragem da própria sondagem, que no caso em questão não é significativamente diferente da amostragem em afloramentos, pois o

objetivo desta amostragem será, também, o de determinar os teores de ouro e prata das estruturas mineralizadas.

5.2.2 Log da Sondagem SN-21

Para a elaboração de um “log” de sondagem, foi selecionada a SN-21 com coordenadas da boca do furo são para o meridiano 75 594,35 m e perpendicular 161 217,15 m, a uma cota de 284 m (sistema de coordenadas projetadas ETRS89 PT TM06). A sondagem foi projetada com direção segundo N50° E, inclinação de 40° tendo atingido o comprimento total de 130 m (Figura 38). A sua projeção teve como principal objetivo a interceção de filões de quartzo mineralizados e de quartzitos, os quais ocorrem na proximidade da travessa 3 da galeria de exploração experimental. Esta zona apresenta-se como sendo bastante promissora, tornando-se por isso fundamental a realização da amostragem das zonas mineralizadas de modo a se obterem os respetivos teores em ouro e prata, em g/ton.

A atitude desta sondagem permite-lhe intercetar ambas as estruturas referidas de forma oblíqua, sendo que, intercepta a xistosidade da rocha encaixante com um ângulo aproximado de 40°, e as estruturas filonianas (filões e filonetes de quartzo leitoso mineralizado em arsenopirite) com um ângulo de 30°.

A boca da sondagem encontra-se a cerca de 50 m acima da cota do emboquilhamento da mina, e aproximadamente 85 m acima da cota dos escritórios/receção. Esta sondagem percorreu no plano horizontal cerca de 86 m e no plano vertical cerca de 103m, sendo que apesar de ter um comprimento de 130m, no seu ponto mais distal tem uma cobertura de 182m. A sondagem atingiu os quartzitos praticamente à cota das galerias, na zona que corresponderia ao eixo da travessa 3 (Figura 39).

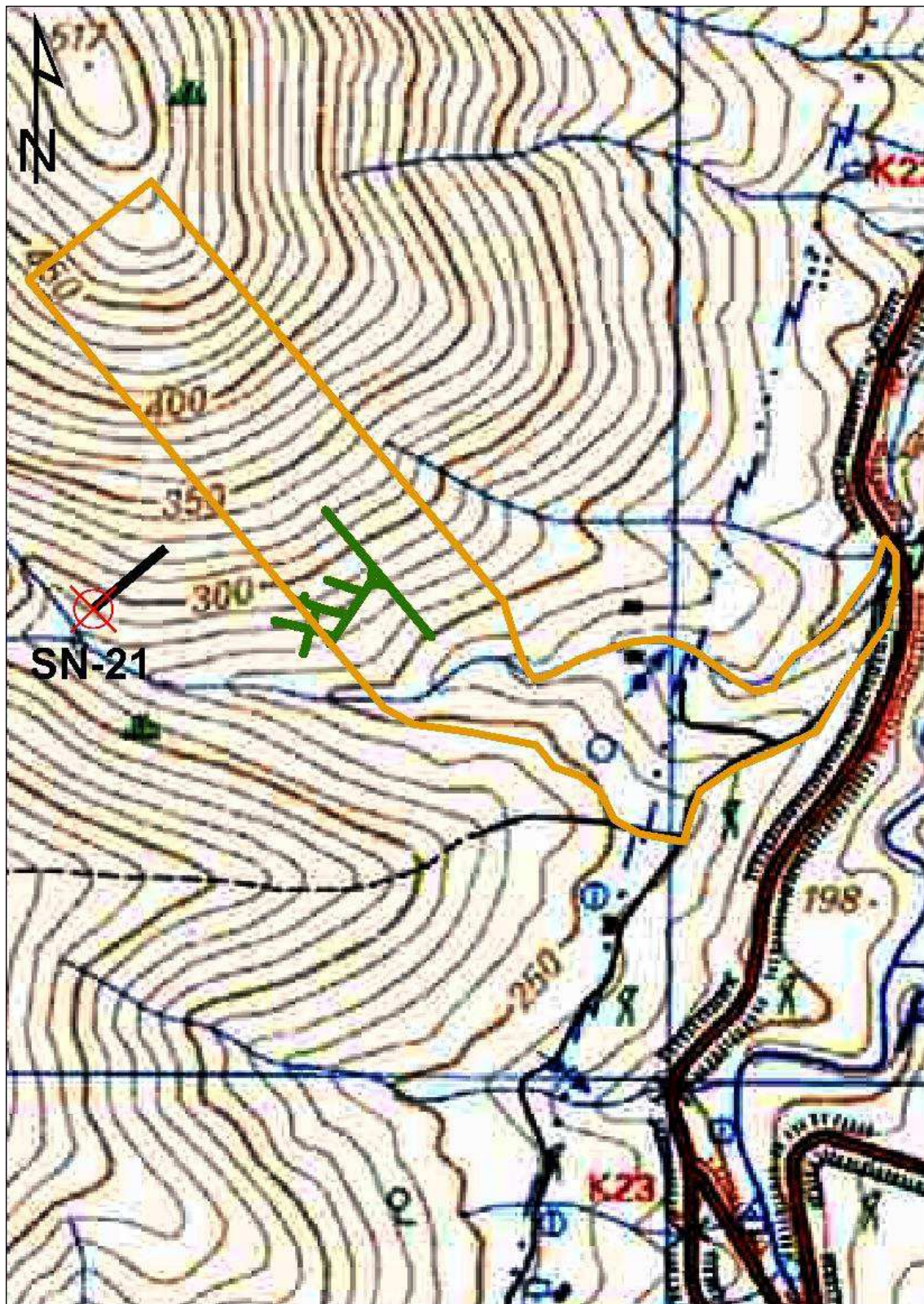


Figura 38: Localização da sondagem SN-21 com alguns elementos de referência como por exemplo, as galerias de exploração experimental, a verde, e a área concessionada para exploração experimental, a laranja.

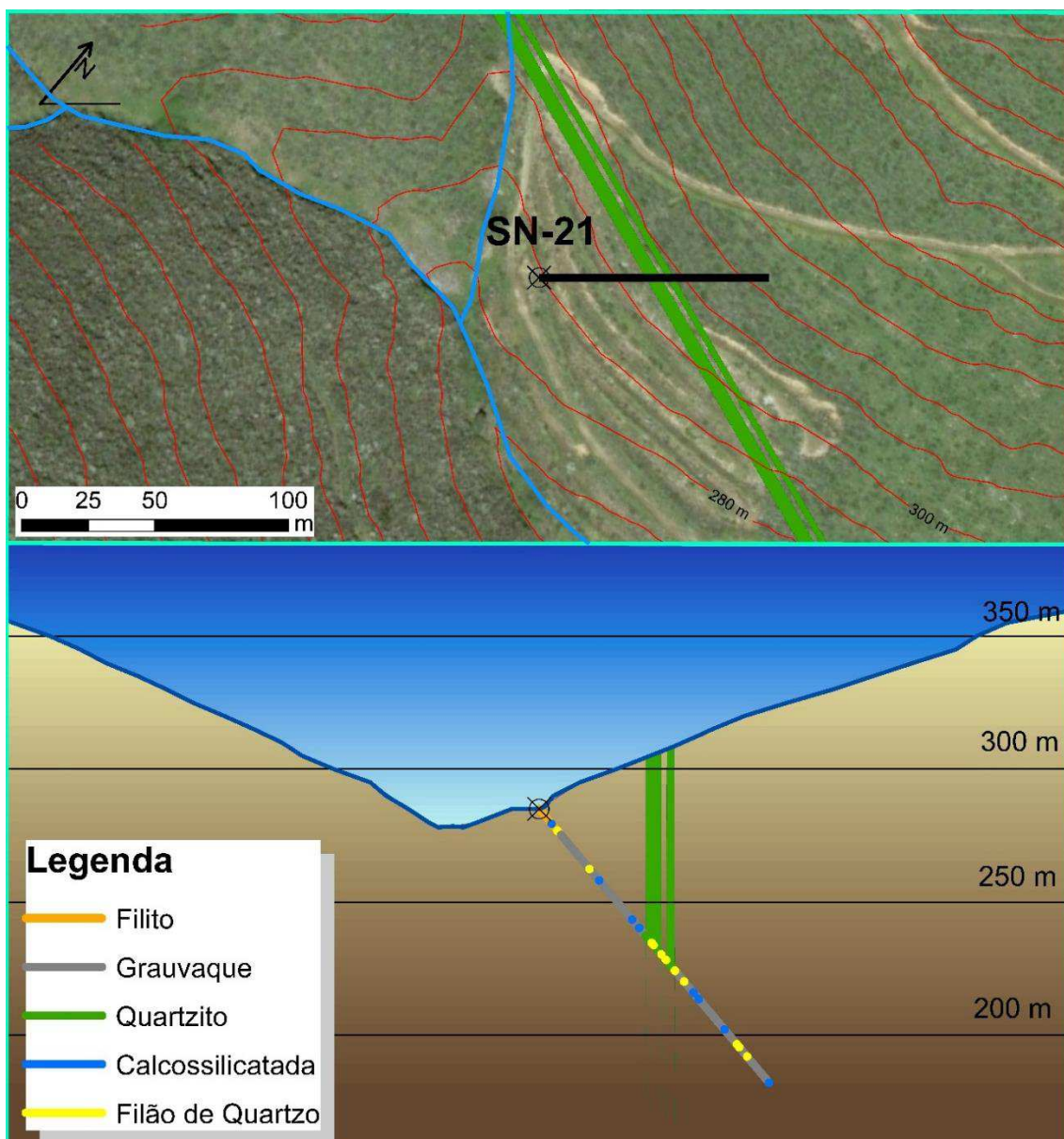


Figura 39: Planta e perfil esquemático da sondagem SN-21. A título de exemplo, é de realçar que no perfil, a projeção da zona de quartzitos corresponde exatamente aos quartzitos da planta, que foram cartografados à superfície.

Esta sondagem atravessou as litologias que já foram caracterizadas à superfície e que se encontram descritas na bibliografia, pertencentes à Formação de Pinhão. De acordo com o “log” da sondagem, constata-se uma abundância de níveis de grauvaques intercalados com filitos, sendo estes últimos menos abundantes. A distinção entre estas litologias não constitui uma fronteira bem definida, mas antes uma transição gradual de níveis mais siliciosos com passagens para níveis mais pelíticos, sendo nestes níveis que a xistosidade se observa de forma mais evidente. Os grauvaques apresentam-se muitas vezes alterados (silicificação). Também, surgem raramente níveis de quartzito que se apresentam intersectados por filonentes milimétricos a centimétricos de quartzo leitoso, por vezes mineralizados com sulfuretos (essencialmente arsenopirite), e evidenciando uma banda de cloritização no contacto com o encaixante. Por vezes, é

também evidente a silicificação nos quartzitos. São frequentes os níveis de rochas calcossilicatadas com presença visível de granada, seguindo uma direção concordante com a da xistosidade. Existem algumas ocorrências de filões e filonetes de quartzo leitoso portadores de sulfuretos. Os filões de quartzo leitoso podem apresentar até 20 cm de possança, sendo que os filonetes de quartzo surgem tipicamente com possanças variáveis entre poucos milímetros a 2 cm. A mineralização de sulfuretos apresenta-se quase sempre na forma maciça concentrando-se preferencialmente no centro dos filões e nos contactos com a rocha encaixante, sendo que raras vezes atravessa para a rocha encaixante. Isto poderá ser indicativo de reativação dos processos mineralizantes e das tensões, o que normalmente é resultado de fluídos mais ricos no centro do filão de quartzo do que nas bordaduras (Cathelineau Boiron *et al.*, 1993). A ocorrência de mineralização na rocha encaixante é mais frequente nos filitos, sendo constituída por cristais milimétricos de arsenopirite euédrica.

Apresenta-se em seguida o “log” da sondagem SN-21 (Tabela 2). Um “log” ou boletim de sondagem é um documento que reúne várias informações associadas à execução de uma sondagem, onde se dispõe esquematicamente a informação obtida (Gnudi, 2017). Em geral, é de destacar no cabeçalho do “log” de sondagem alguma informação básica, tal como o nome do projeto e empresas envolvidas, localização, atitude, referência da sondagem e datas de início e fim da mesma. Relativamente à descrição das carotes destaca-se, a descrição pormenorizada das litologias, referindo a cor, a textura e características diferenciadoras, assim como a ausência ou presença de estruturas mineralizadas.

Também como parte integrante de um “log” de sondagem, são apresentadas as percentagens de recuperação para cada manobra (Tabela 3). A recuperação é expressa em percentagem (%) e recorre a uma fórmula bastante simples:

$$Recuperação (\%) = \frac{I * 100}{L}$$

Onde “I” é o comprimento recuperado e “L” é o comprimento total da manobra.

Tratando-se de uma percentagem, corresponde a um valor que é bastante fácil de ler e interpretar. Os motivos para uma baixa recuperação podem ser muito variados, por exemplo, o material atravessado pode estar desagregado, interrompido por falhas cujo preenchimento é lavado pelo sistema de lubrificação e arrefecimento da sonda, etc. Normalmente, a zona mais superficial das sondagens apresenta quase sempre os valores de recuperação mais baixos, pois é na zona superficial que os maciços rochosos se encontram mais alterados e fraturados.

Tabela 2: A: Log da sondagem "SN-21"

MINAPORT MINAS DE PORTUGAL, LDA				LOG DE SONDAAGEM		Posição (ETRS89 PT-TM06)		Desvios (Azimuth/Dip)	
Data				Sondagem: SN-21		M	75587	4m	N050;-52
Início 10/09/2017				Comprimento total: 134,35		P	161214	60m	N051;-53
Fim 13/10/2017						Elevação		120m	N051;-54
						Azimuth/Dip	N050;-40		
	Profundidade (m)			Litologia	Descrição	Estruturas			
	De	Até	Delta			Tipo	Espessura (cm)	Ângulo com a carote (°)	
	0,00	4,30	4,30	Filitos	Zona de filitos, muito fracturada e oxidada; visíveis cavidades deixadas pelos sulfuretos; tonalidade cinza claro (mais castanho da oxidação)	Xistosidade			40
	4,30	7,20	2,90	Filitos	zona de filitos menos fracturada, de tonalidades cinza claro.				
	7,20	7,25	0,05	Calcossilicatada	Lênticula de rocha calcosilicatada concordante à xistosidade	R. Calco	5		40
	7,25	10,60	3,35	Filitos	Filitos com alternancias de níveis claros com níveis mais escuros				
	10,60	10,61	0,01	Filão de Quartzo	Filão de quartzo leitoso com escassos e pequenos nódulos de Aspy maciça.	Filão Qz	1		30
	10,61	12,40	1,79	Filitos	Filitos com alternancias de níveis claros com níveis mais escuros; zona fracturada				
	12,40	12,70	0,30	Filitos	Alternancias de filitos com zonas claras alternadas com zonas mais escuras				
	12,70	29,40	16,70	Filitos / Grauvagues	Intercalações mais evidentes entre filitos (cinza claro) predominantes sobre grauvagues (cinza mais escuro; xistosidade menos evidente; e evidência de silicificação); alguns filonetes milimétricos de quartzo leitoso	Xistosidade			40
	29,40	29,43	0,03	Filão de Quartzo	Filão de quartzo leitoso com Aspy maciça mais evidente nas bordaduras; nos encaixantes, filitos, a Aspy apresenta-se euédrica	Filão Qz	3		30
	29,43	35,00	5,57	Grauvague	Intercalações de Grauvague predominantemente sobre filitos; filonetes milimétricos de quartzo leitoso				
	35,00	35,03	0,03	Calcossilicatada	Lênticula de rocha calcosilicatada, de tonalidade cinza a azulado leve	R. Calco			
	35,03	54,25	19,22	Grauvague	Alternancias de grauvague predominante sobre filitos; intrusões de filonetes milimétricos de quartzo leitoso com pequenos nódulos de Aspy maciça; intrusões milimétricas de rochas calcosilicatadas				
	54,25	54,30	0,05	Calcossilicatada	Lênticula de rocha calcosilicatada	R. Calco	5		40
	54,30	58,35	4,10	Grauvague	Grauvague predominante com filitos; filonetes de rocha calcosilicatada				
	58,35	58,40	0,05	Calcossilicatada	Lênticula de rocha calcosilicatada	R. Calco			
	58,40	62,25	3,85	Grauvague	Grauvague predominante com filitos; filonetes milimétricos de quartzo leitoso				
	62,25	65,70	3,45	Quartzito	Transição para níveis quartzíticos; filonetes milimétricos de quartzo leitoso (com sinais de cloritização nos contactos com o quartzito); alguns filonetes de quartzo têm Aspy maciça e calcopirite (?)				
	65,70	65,90	0,20	Filão de Quartzo	Filão de quartzo leitoso com Aspy maciça e euédrica e calcopirite e alguma Aspy euédrica; nos encostos uma tonaliadde esverdeada sugere cloritização				
	65,90	66,45	0,55	Quartzito	Quartzito cinza escuro; filonetes milieétricos de quartzo leitoso, com evidências de cloritização nos contactos				
	66,45	66,90	0,45	Filão de Quartzo	Filão de quartzo leitoso com Aspy maciça e alguma Aspy euédrica no encostos e alguma calcopirite	Filão Qz	20		50
	66,90	71,30	4,40	Quartzito	Quartzito transicionando para intercalações entre grauvagues e filitos.	Xistosidade			40
	71,30	71,40	0,10	Filão de Quartzo	Filão de quartzo leitoso com Aspy maciça e euédrica (nos encostos) e alguma calcopirite	Filão Qz	5		?
	71,40	73,90	2,50	Grauvague	Grauvague intercalado com alguns níveis de filitos				
	73,90	74,15	0,25	Filão de Quartzo	Filão de quartzo leitoso com Aspy maciça e alguma não tão evidente nos encostos com quartzito	Filão Qz	20		30
	74,15	79,20	5,05	Quartzito	Quartzito com vários filonetes milimétricos até 2 cm de quartzo leitoso e algumas intrusões de rocha calcosilicatada; cloritização evidente nos encostos entre filonetes e quartito				
	79,20	79,40	0,20	Filão de Quartzo	Filão de quartzo leitoso com Aspy maciça; nos encostos quando filitos a Aspy é euédrica	Filão Qz	20		30
	79,40	84,55	5,15	Grauvague	Intercalações dominantemente de grauvague com alguns níveis de filitos; filonetes milimétricos de quartzo leitoso				
	84,55	84,70	0,15	Filão de Quartzo	Filão de quartzo leitoso com Aspy maciça	Filão Qz	15		40
	84,70	90,00	5,30	Grauvague	Grauvague predominante com algumas passagens a níveis de filitos				
	90,00	90,15	0,15	Calcossilicatada	Lênticula de rocha calcosilicatada	R. Calco	8		40
	90,15	93,10	2,95	Grauvague	Níveis de grauvague (cinza escuro com aspecto silicificado) mais evidente com algumas passagens a níveis de filitos				
	93,10	93,30	0,20	Calcossilicatada	Lênticula de rocha calcosilicatada com granada mais evidente	R. Calco	10		30
	93,30	108,20	14,90	Grauvague	Níveis predominantes de grauvague com alguns filitos; intrusões de filonetes milimétricos de quartzo	Xistosidade			40
	108,20	108,25	0,05	Calcossilicatada	Lênticula de rocha calcosilicatada branco a cinza claro/ tom azulado, com granada	R. Calco			
	108,25	115,45	7,20	Grauvague	Grauvague predominante com algumas passagens a níveis de filitos; intrusões milimétricas de filonetes de quartzo com alguma Aspy maciça				
	115,45	115,80	0,35	Filão de Quartzo	Filão de quartzo leitoso mineralizado em Aspy maciça e alguma euédrica; calcopirite (?)	Filão qz	20		?
	115,80	116,80	1,00	Grauvague	Grauvague predominante com algumas passagens a níveis de filitos				
	116,80	117,00	0,20	Filão de Quartzo	Filão de quartzo leitoso com Aspy maciça; calcopirite aparece em alguns planos de descontinuidades	Filão Qz	20		?
	117,00	121,45	4,45	Grauvague	Grauvagues predominante sobre filitos	Xistosidade			40
	121,45	121,48	0,03	Filão de Quartzo	Filão de quartzo leitoso com Aspy maciça; nos encostos quando filitos a Aspy é euédrica				
	121,48	134,25	12,77	Grauvague	Níveis monótonos de grauvague com alguns filitos	Xistosidade			40
	134,25	134,35	0,10	Calcosilicatada	Lênticula de rocha calcosilicatada com granada	R. Calco	<10		40

Tabela 3: Recuperações da sondagem SN-21.

					LOG DE SONDAAGEM Recuperações					Posição (ETRS89 PT-TM06) Desvios (Azimuth/Dip)				
Data Início 10/09/2017 Fim 13/10/2017					Sondagem: SN-21 Comprimento total: 134,35					M 75587 4m N050;-52 P 161214 60m N051;-53 Elevação 120m N051;-54 Azimuth/Dip N050;-40				
De	Até	Furado	Recuperado	%	De	Até	Furado	Recuperado	%					
0,00	3,50	3,50	1,20	34	62,45	63,45	1,00	1,10	110					
3,50	6,80	3,30	1,70	52	63,45	65,15	1,70	1,70	100					
6,80	7,60	0,80	0,80	100	65,15	67,85	2,70	2,70	100					
7,60	8,10	0,50	0,60	120	67,85	69,70	1,85	1,85	100					
8,10	9,10	1,00	0,85	85	69,70	71,30	1,60	1,50	94					
9,10	10,00	0,90	0,95	106	71,30	72,80	1,50	0,80	53					
10,00	11,00	1,00	0,90	90	72,80	73,60	0,80	0,90	113					
11,00	12,70	1,70	0,45	26	73,60	74,00	0,40	0,40	100					
12,70	13,50	0,80	0,80	100	74,00	75,80	1,80	1,70	94					
13,50	14,80	1,30	1,20	92	75,80	77,50	1,70	1,70	100					
14,80	16,00	1,20	1,10	92	77,50	79,00	1,50	1,50	100					
16,00	18,00	2,00	1,85	93	79,00	81,00	2,00	2,00	100					
18,00	19,80	1,80	1,65	92	81,00	82,60	1,60	1,40	88					
19,80	20,60	0,80	0,70	87	82,60	84,40	1,80	1,60	89					
20,60	21,70	1,10	0,90	82	84,40	87,00	2,60	2,60	100					
21,70	22,70	1,00	0,95	95	87,00	89,60	2,60	2,50	96					
22,70	23,60	0,90	0,85	94	89,60	92,50	2,90	2,80	97					
23,60	25,05	1,45	1,70	117	92,50	95,50	3,00	2,90	97					
25,05	27,45	2,40	1,65	69	95,50	98,00	2,50	2,50	100					
27,45	29,00	1,55	1,45	94	98,00	99,00	1,00	1,00	100					
29,00	30,10	1,10	1,20	109	99,00	100,00	1,00	0,95	95					
30,10	31,80	1,70	0,60	35	100,00	100,50	0,50	0,50	100					
31,80	32,50	0,70	0,50	71	100,00	102,30	2,30	2,30	100					
32,50	33,10	0,60	0,55	92	102,30	104,30	2,00	1,80	90					
33,10	34,70	1,60	1,35	84	104,30	106,00	1,70	1,40	82					
34,70	35,70	1,00	1,15	115	106,00	107,80	1,80	1,70	94					
35,70	36,90	1,20	1,20	100	107,80	109,20	1,40	1,40	100					
36,90	39,20	2,30	2,25	98	109,20	112,60	3,40	3,20	94					
39,20	42,00	2,80	2,80	100	112,60	114,80	2,20	2,10	95					
42,00	44,50	2,50	2,40	96	114,80	116,85	2,05	2,00	98					
44,50	45,10	0,60	0,50	83	116,85	118,55	1,70	1,65	97					
45,10	45,80	0,70	0,70	100	118,55	121,25	2,70	2,6	96					
45,80	47,70	1,90	1,35	71	121,25	122,95	1,70	1,70	100					
47,70	50,70	3,00	2,80	93	122,95	124,15	1,20	1,15	96					
50,70	53,70	3,00	2,90	97	124,15	126,85	2,70	2,70	100					
53,70	56,70	3,00	2,85	95	126,85	128,85	2,00	2,00	100					
56,70	59,60	2,90	2,70	93	128,85	131,55	2,70	2,20	81					
59,60	61,60	2,00	1,90	95	131,55	133,35	1,80	1,80	100					
61,60	62,45	0,85	0,85	100	133,35	134,35	1,00	1,00	100					

5.2.3 Amostragem da Sondagem SN-21

A amostragem em carotes de sondagem pode ser efetuada de forma contínua ou apenas nas zonas aparentemente mineralizadas, dependendo da finalidade da amostragem. No caso da sondagem SN-21, a amostragem foi realizada de forma seletiva, de maneira a se reduzirem os custos, e tendo em conta o conhecimento prévio de outras litologias/estruturas que não estão associadas à mineralização, daí não terem sido alvo de amostragem. De uma forma semelhante à amostragem em afloramentos, neste caso deve-se também fazer um registo das amostras. Como normalmente já se procedeu à realização do “log” da sondagem, devem-se atualizar as fotos representativas das zonas amostradas, as quais devem marcar o início e o fim de cada amostra com recurso a um código apropriado (Figura 40).



Figura 40: Caixa nº24 da sondagem SN-21. A tinta azul está marcada a informação relativa ao posicionamento da sondagem, em particular metragem inicial e final da manobra, o número da caixa e o nome da sondagem. A tinta preta estão marcadas as informações relativas à amostragem, como por exemplo a metragem inicial e final de cada amostra, e entre estas medidas a referência da amostra, sendo neste caso um número.

Durante a amostragem de uma sondagem procede-se de forma semelhante às amostragens no terreno, sendo que neste caso se devem ter certos cuidados adicionais, em particular de deixar na caixa uma quantidade igual à que se retira para amostragem. O corte da carote em duas metades requer a utilização de uma serra elétrica, pelo que deve ser manuseada apenas com supervisão ou por pessoal qualificado (Figura 41). Outro cuidado necessário será o de cortar a amostra perpendicularmente à xistosidade ou foliação, de forma a que se colha uma parte semelhante à que fica na caixa. Na metade da carote que fica na caixa pode-se evidenciar o início e o fim da zona amostrada, para melhor representação na fotografia.

A título de exemplo, realizaram-se três amostras, a nº 0109 (115,35 - 115,85 m), a nº0110 (115,85 - 116,50 m) e a nº 0111 (116,50 - 117,05 m), conforme se representa

na figura 40. Estas três amostras foram realizadas sequencialmente em grauvaques, sendo que a amostra nº0111 corresponde a uma zona potencialmente mais rica por ser atravessada por um filão de quartzo mineralizado.



Figura 41: O uso de uma serra elétrica como a da figura garante um corte exato da amostra de rocha. A serra da figura recorre a um sistema de arrefecimento com água, pelo que implica que todas as partículas finas resultantes do corte serão capturadas e retidas no tabuleiro inferior. Deve ser estabelecido se é ou não relevante capturar esta fração mineral., a qual poderá conter indícios de mineralização.

5.2.4 Caracterização Macroscópica das Litologias Observadas. Seleção de Amostras para o Estudo Mineralógico e Petrográfico

Durante a realização do “log” de sondagem identificaram-se 5 litologias distintas. No entanto, em relação aos grauvaques e filitos, apesar de ser possível efetuar uma distinção macroscópica, microscopicamente e ao nível químico não existem diferenças significativas, tratando-se maioritariamente de diferenças estruturais.

Os filitos e os grauvaques apresentam em geral uma tonalidade cinza clara, excetuando nas zonas mais superficiais, apresentando uma textura granulométrica muito fina e de dureza elevada. Apesar de não existir um limite milimétrico que delimite uma litologia da outra, é possível distingui-las facilmente. A transição de um grauvaque para um filito, e vice-versa, ocorre de forma gradual ao longo de vários centímetros. No entanto, é possível distinguir estas litologias. Assim, um filito apresenta foliação e uma textura ligeiramente mais pelítica. Por oposição, um grauvaque apesar de não

apresentar sinais de foliação é possível perceber a existência de estratificação e uma textura mais siliciosa. Em ambos os casos a fracturação mais comum é paralela aos planos de estratificação e xistosidade. Contrariamente aos afloramentos, na sondagem, é possível perceber que existe uma certa heterogeneidade composicional mineralógica ao longo dos grauvaques. Ocasionalmente, quando estas litologias são atravessadas por filões de quartzo mineralizados, é possível verificar a ocorrência de arsenopirite de forma euédrica nas litologias metassedimentares.

Outra litologia observada frequentemente corresponde ao quartzitos, que é uma rocha mais competente, de granulometria fina, mas ligeiramente superior à dos grauvaques, apresentando também cor cinza, sendo no entanto facilmente distinguível das anteriores. Apresentam a mesma atitude das restantes litologias metassedimentares, cujo aspeto distintivo corresponde à presença pontual de filonetes de quartzo leitoso, por vezes com mineralização visível. Contrariamente às transições graduais entre grauvaques e filitos, a transição de e para os quartzitos é bastante bem definida. Por oposição aos grauvaques, os filões de quartzo que atravessam os quartzitos são por norma mais possantes, mas no entanto não mineralizam os quartzitos.

São também observadas com alguma frequência são as lenticulas de rochas calcossilicatadas, concordantes com a estratificação. Apresentam granulometria fina, no entanto algo heterogénea e cor cinza com um tom ligeiramente azulado.

Por fim, a última litologia descrita corresponde aos filões e filonetes de quartzo mineralizados. Os filões são de quartzo leitoso, com possanças aparentes variáveis entre 10 a 20 cm, onde se observam frequentemente nódulos de arsenopirite maciça, por vezes dispersa ou apresentando-se na forma de pequenos cristais euédricos. Os filonetes, com possanças à volta de 1 cm, são também de quartzo leitoso, apesar de a mineralização em arsenopirite não ser tão evidente.

6 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E PETROGRÁFICA DAS ROCHAS REPRESENTATIVAS DA FORMAÇÃO DE NUMÃO

6.1 Introdução

O objetivo deste capítulo é o de caracterizar a mineralogia e petrografia das litologias identificadas na região de Freixo de Numão. O projeto de exploração experimental de Numão assenta sobre xistos mosqueados, transitando para filitos, grauvaques, bancadas quartzíticas e grauvaques (“metagrauvaques”) mais siliciosos. O trabalho foi realizado com recurso ao microscópio ótico em luz transmitida e reflectida. Foram caracterizadas as seguintes litologias: filito, grauvaque, quartzito e quartzofilito (considerado no relatório da empresa como se fosse uma rocha riodacítica).

6.2 Caracterização Mineralógica e Petrográfica

6.2.1 Filito (Lâmina L1)

Os filitos são constituídos por filossilicatos, nomeadamente sericite e biotite (cloritizada), sem heterogeneidades mineralógicas e normalmente não desenvolvem bandados metamórficos.

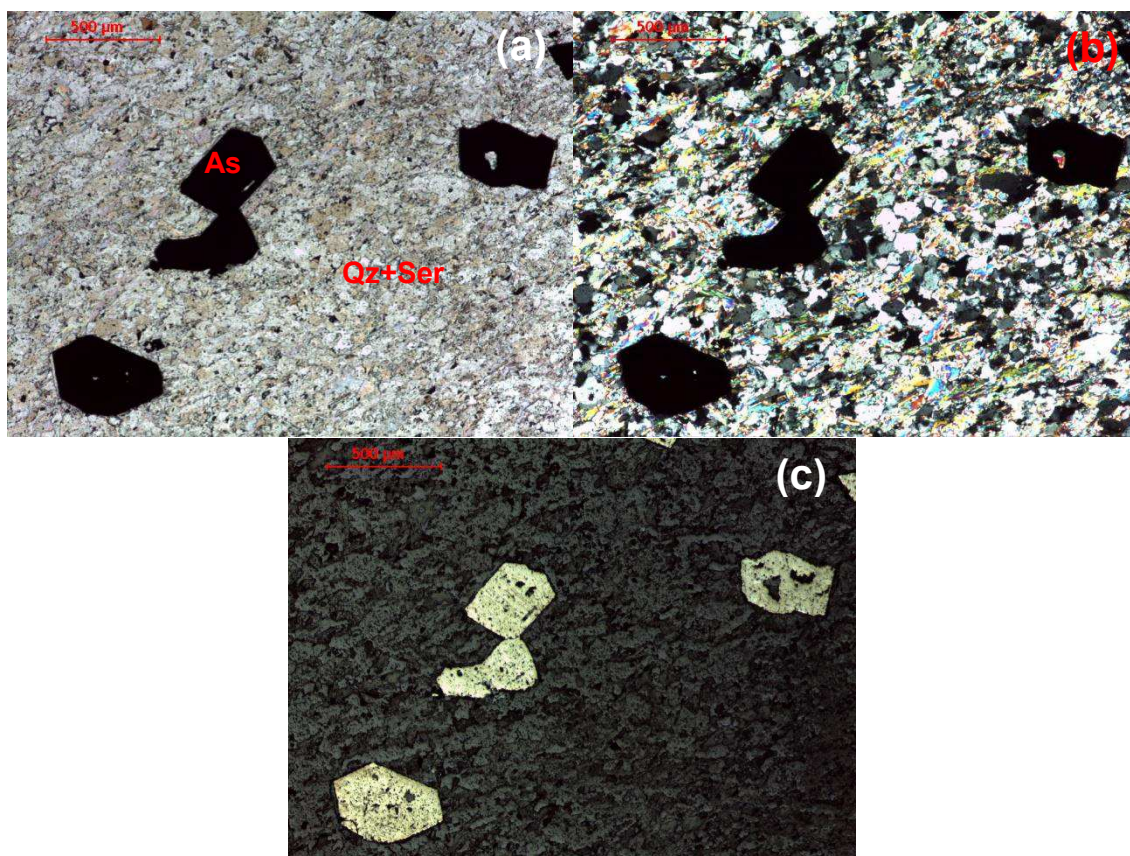


Figura 42: Imagens ao microscópio ótico de luz transmitida em nicóis paralelos (a) e nicóis cruzados (b). Imagem em luz refletida onde se destaca a presença de cristais euédricos de arsenopirite no seio de uma massa sericítica e quartzítica (c).

Estas rochas apresentam uma foliação caracterizada por uma distribuição homogénea de filossilicatos (sericite e biotite) com uma orientação preferencial (xistosidade). Apresenta uma textura variável entre lepidoblástica e granolepidoblástica com uma única foliação perfeitamente orientada. O filito observado nas lâminas delgadas selecionadas apresenta uma mineralogia composta por uma massa fundamental de quartzo, sericite I, biotite, clorite e minerais opacos (hematite ou leucoxena e sulfuretos, nomeadamente arsenopirite com um hábito subeuédrico ou euédrico) (Figura 42). A sericite I ocorre em pequenos cristais lamelares paralelos à foliação, em associação com biotite e quartzo. A biotite é fortemente cloritizada e provavelmente os óxidos de Fe (hematite) ou óxidos de Ti (leucoxena) tiveram uma origem posterior à cloritização do biotite. Como mineral acessório aparece o zircão.

Nas rochas filíticas também observamos veios de turmalina e sericite II (às vezes considerada como mica selvagem) que preencheram as microfraturas irregulares e transversas à foliação (Figura 43), sendo indicadores de uma circulação de fluídos hidrotermais.

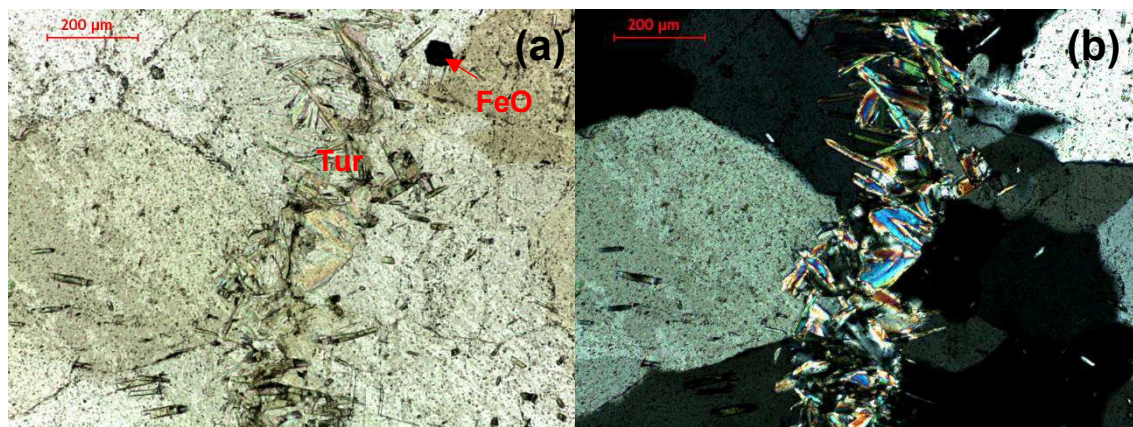


Figura 43: Imagens ao microscópio ótico em nicóis paralelos (a) e nicóis cruzados (b), de um veio de turmalina (Tur) e sericite a cortar uma massa quartzosa.

6.2.2 Grauvaque vs Metagrauvaque (Lâmina L2)

A rocha apresenta uma textura homogénea com uma massa granular fina sem uma foliação propriamente dita como foi observado no caso dos filitos (Figura 44). Na sua constituição mineralógica constam quartzo, sericite, biotite (pós-cinemática??), clorite, plagioclase e apatite (?). Além destes minerais, nota-se a presença de minerais opacos representados nomeadamente pela arsenopirite e óxidos de Ti. Como minerais acessórios aparece o zircão. De acordo com as características texturais e paragenéticas descritas a amostra corresponde a um grauvaque. Estas rochas, à semelhança dos filitos, são constituídas por massas sericíticas e quartzíticas, no entanto de grão mais fino, e sem orientação preferencial. Também aparecem zonas com veios milimétricos quartzíticos com sericite selvagem e turmalina (Figura 45).

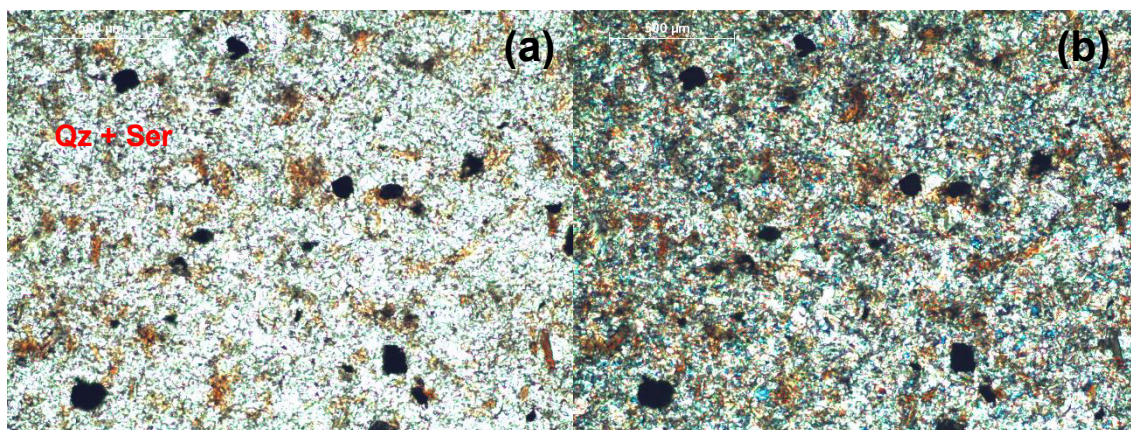


Figura 44: Imagens de microscopia ótica em luz transmitida de grauvaque em nicóis paralelos (a) e cruzados (b). Observa-se uma massa fundamental sericítica (Ser), quartzo (Qz), biotite e opacos (óxidos de ferro).

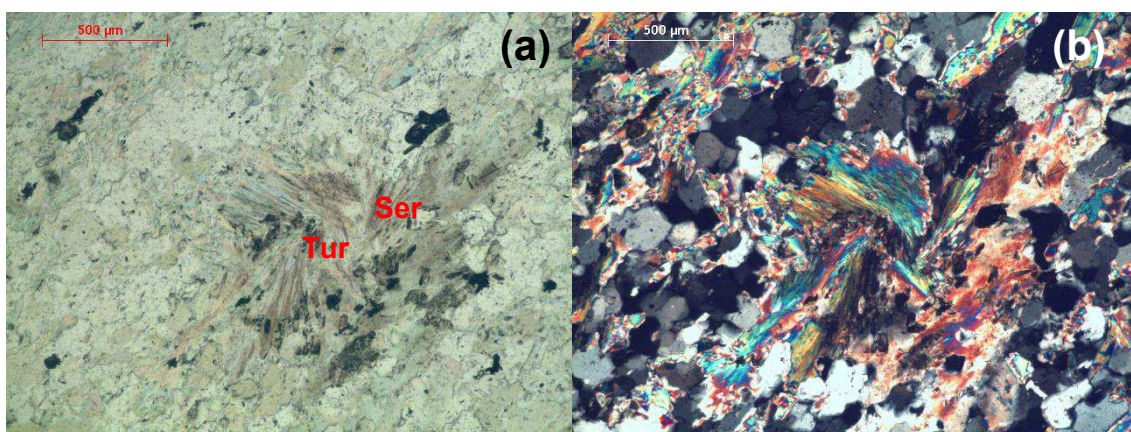


Figura 45: Imagens de microscopia ótica numa zona mais quartzítica (recristalização do quartzo!) com veios de turmalina (Tur) numa massa sericítica (Ser) (a e b).

Na Figura 44 nota-se a presença dos cristais submilimétricos de biotite provavelmente desenvolvidos durante um período pós-cinemático e de clorite na massa fundamentalmente quartzo-sericítica.

Encontramos também grauvaque que apresenta uma textura essencialmente granoblástica, sendo também composta por uma massa fundamentalmente quartzo-sericítica e por cristais grandes de biotite provavelmente recrystalizados (Figura 46). Na Figura 47 observa-se uma textura granoblástica constituída por quartzo e sericite, tendo sido pela primeira vez identificada nestas rochas a ocorrência de fosfatos.

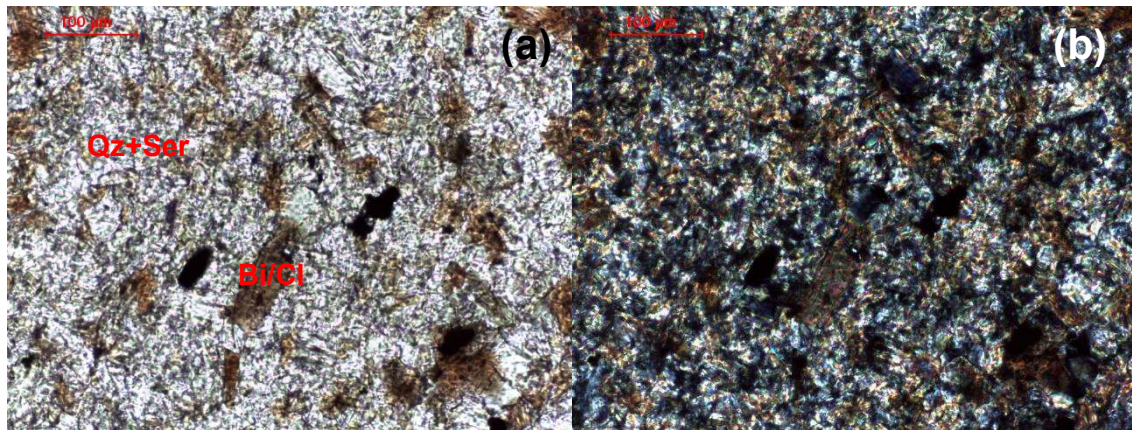


Figura 46: Imagens ao microscópio ótico do grauvaque em nicóis paralelos (a) e nicóis cruzados (b). Para além da abundância de sericite e quartzo, evidenciam-se cristais de biotite cloritizada (Bi/Cl) e alguns opacos (óxidos de Ti).

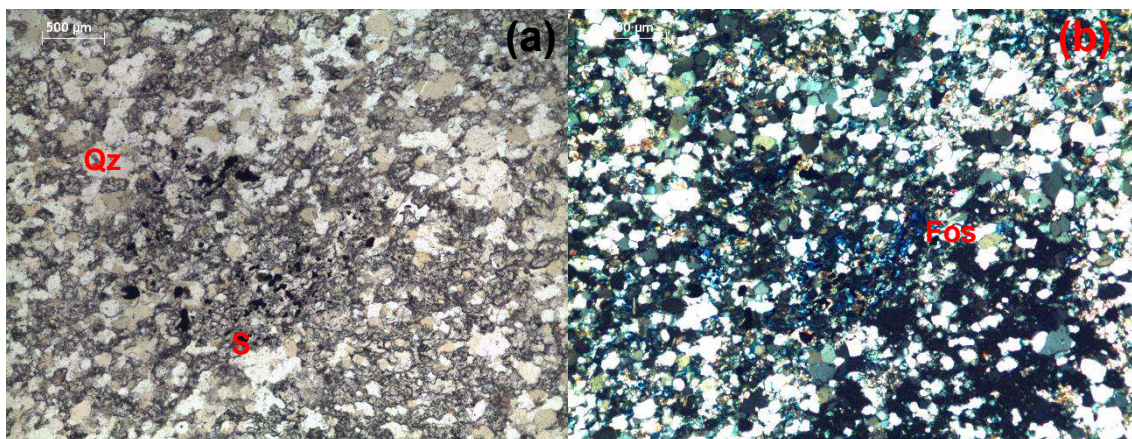


Figura 47: Grauvaque com uma textura granoblástica composta por uma massa fundamentalmente quartzo-sericítica: Nicóis paralelos (a) e nicóis cruzados (b). Nota-se também a presença de fosfatos (Fos)

6.2.3 Quartzito (Lâmina L3)

Macroscopicamente estas rochas são de cor cinza com granulometria fina e sem foliação visível, observando-se alguns filonetes de quartzo leitoso mineralizados com alguma arsenopirite euédrica. Apresenta uma textura granolepidoblástica com matriz predominantemente composta por quartzo abundante e com tendência de poligonização formando pontos triplos, sugerindo um processo de recristalização (Figura 48). Observa-se extinção ondulante em alguns cristais de quartzo de maior dimensão, o que é indicador de um regime de deformação dútil. Também, observam-se veios milimétricos de clorite e sericite que preenchem os espaços vazios entre os cristais de quartzo (Figura 49). Os minerais opacos observados com um hábito euédrico correspondem à arsenopirite (Figura 49).

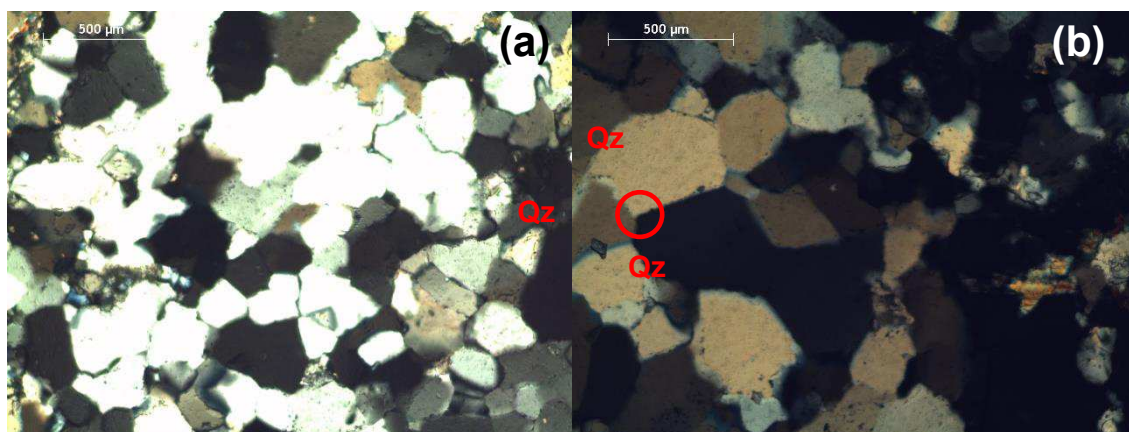


Figura 48: Imagens do quartzito em nicóis paralelos (a) e em nicóis cruzados (b), onde destacam-se os pontos triplos entre os cristais de quartzo.

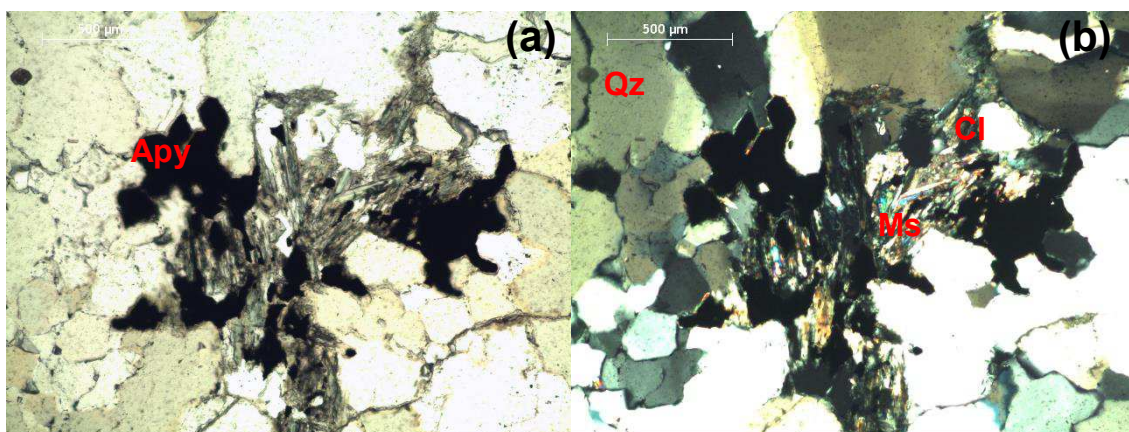


Figura 49: Nesta imagem verifica-se essencialmente cristais de grandes dimensões de quartzo (Qz). Destacam-se ainda filossilicatos como moscovite (Ms) e clorite (Cl). Os opacos são arsenopirite (Apy). (a) nicóis paralelos; (b) nicóis cruzados.

6.2.4 Quartzovaque (Lâmina L4)

A amostra estudada é representativa dos grauvaques, com a particularidade de estar fortemente mineralizada com arsenopirite euédrica (cristais milimétricos). Esta rocha ocorre mais frequentemente no contacto com os filões de quartzo mineralizados. Corresponde essencialmente a um grauvaque recristalizado, sendo principalmente constituído por quartzo e sericite (Figuras 50 e 51). A esta litologia foi atribuída a designação “riodacito” durante estudos mineralógicos e petrográficos preliminares solicitados pela empresa.

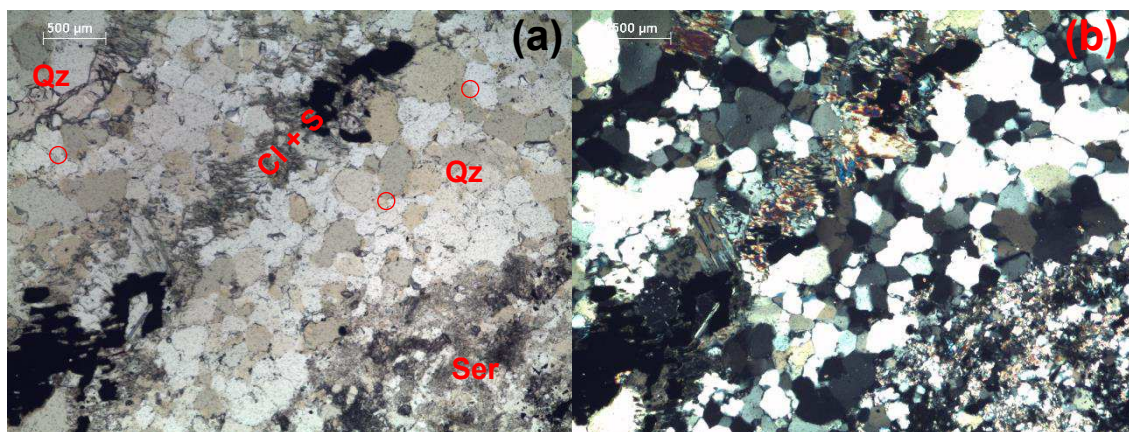


Figura 50: Veio de Clorite (Cl) + sulfuretos (S) observado em nicóis paralelos (a); Quartzo (Qz) onde se voltam a verificar pontos triplos (O) e Sericite (Ser), observado em nicóis cruzados (b).

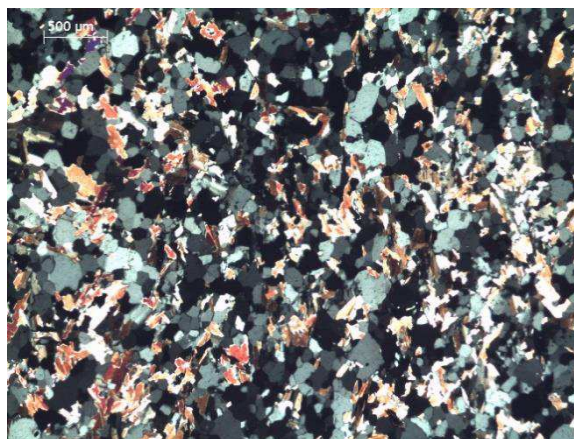


Figura 51: Imagens ao microscópio ótico em transmissão onde observa-se uma textura granoblástica composta pela uma massa quartzítica e sericitica com opacos (arsenopirite), observado em nicóis cruzados.

6.3 Caracterização Geoquímica das Rochas

As rochas previamente analisadas por microscopia ótica foram submetidas a análises químicas, no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, através de Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X. As concentrações dos elementos maiores (%) e dos vestigiais (ppm) encontram-se apresentados nas Tabelas 4-I e 4-II.

Em termos gerais, as rochas filíticas e grauvacóides apresentam valores de SiO_2 próximas de 55 %, de Al_2O_3 com cerca de 22%, enquanto a soma dos elementos alcalinos não ultrapassa de 4.4 % nas rochas filíticas, grauvaque e quartzitos. Daí a denominação dos quartzitos como quartzovaque fazer sentido, devido à quantidade de elementos alcalinos relacionados com a presença dos minerais de mica.

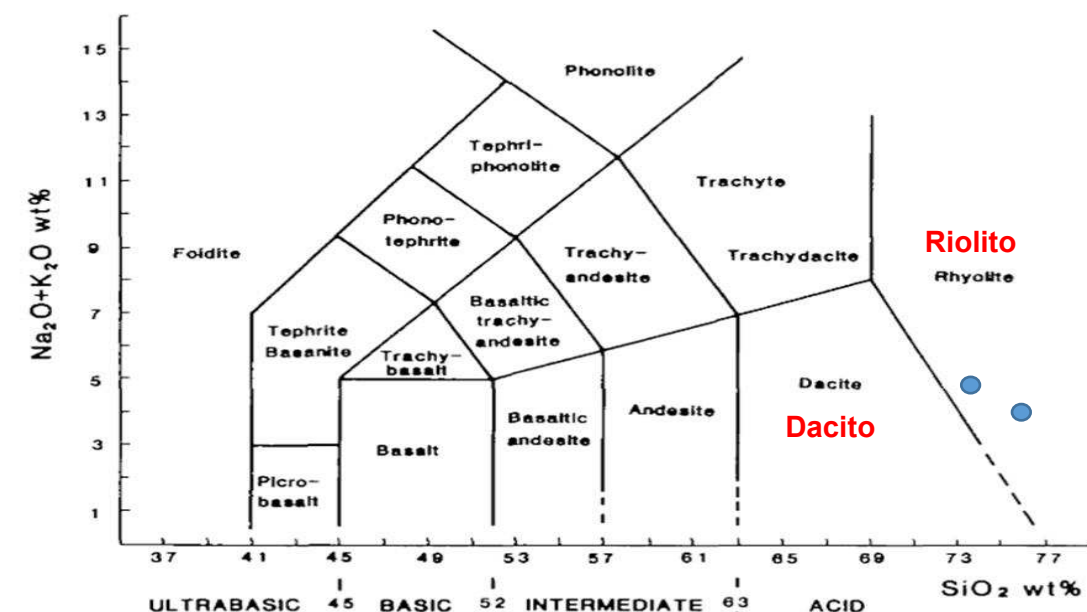


Figura 52: Diagrama SiO_2 vs $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ para rochas vulcânicas (LeBas et al. 1986)

No caso da amostra identificada como “riodacito” no relatório da empresa, a projeção da sua composição química no diagrama SiO_2 vs $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ para rochas vulcânicas (Figura 52) esta rocha recai no campo das rochas riolíticas (Le Bas *et al.*, 1986). No entanto, a sua textura e a composição química não têm nada a ver com a textura e a mineralogia de uma rocha vulcânica ácida do tipo riólito.

No que diz respeito aos elementos químicos maiores, verifica-se uma concentração elevada em As (%) e SO_3 (%) devido a presença de arsenopirite na rocha analisada. Também, a quantidade elevada em Fe_2O_3 é justificada através da presença de arsenopirite. Por isso não fizemos nenhuma tentativa de classificar quimicamente as rochas metasedimentares de acordo com a diagrama $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ vs $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ (Figura 53) para classificação de rochas sedimentares detríticas, (Herron 1988). Para permitir de fazer uma avaliação petrográfica destas rochas da região de Numão projetamos os nossos dados no diagrama das rochas sedimentares da Zona Centro-Ibérica (Villaseca *et al.*, 2014).

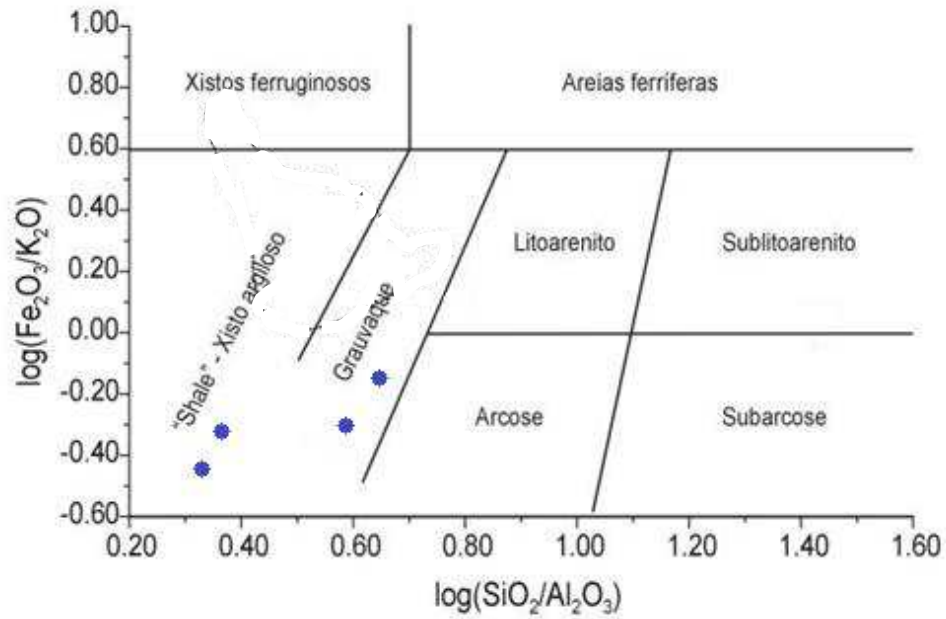


Figura 53: Classificação das rochas metasedimentares da Zona Centro-Ibérica (Herron, 1988) e enquadramento das nossas rochas metasedimentares estudadas na região de Freixo de Numão.

No que diz respeito aos elementos menores nota-se valores dentro dos limites admitidos da maioria dos elementos químicos vestigiais (Tabela 4). A prata não foi analisada, mas foi identificada na estrutura do ouro livre.

Tabela 4: Tabelas com os resultados das análises químicas, para elementos maiores e elementos vestigiais, das litologias selecionadas da área de estudo

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Rb	Sr	Ba	Zr	F	SO ₃	As	LOI
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Flito	54,011	0,670	23,820	7,724	2,396	0,073	0,232	0,980	5,746	0,024	-	0,061	0,018	0,128	0,419	0,032	3,410
Grauvaque	55,000	0,843	23,210	7,131	2,314	0,084	0,511	1,104	5,998	0,024	-	0,056	0,022	0,074	0,536	0,013	2,820
Quartzito	74,037	0,504	11,940	2,630	0,979	0,050	1,486	3,729	1,549	-	0,022	0,015	0,041	-	0,077	-	2,700
Quartzovaque	76,263	0,515	10,523	3,468	1,112	0,077	2,213	3,276	1,170	-	-	-	-	-	-	-	0,860

	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Pb	Bi	Mo	As	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	W	Y	Nb	Ta	Th
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
Flito	12,9	0,01	34,0	13,1	27,2	41,3	84,3	26,4	46,9	2,5	1,1	0,032	NA	4,2	8,3	8,3	NA	4,0	26,3	15,5	NA	17,4
Grauvaque	14,1	0,01	21,0	11,6	20,8	45,3	73,7	25,7	34,6	2,0	0,9	0,013	NA	NA	10,5	4,5	NA	4,6	27,4	16,5	NA	17,6
Quartzito	3,5	28,8	51,0	NA	6,7	10,1	22,1	9,1	32,9	NA	NA	65,9	NA	NA	4,2	5,5	NA	NA	16,4	9,4	NA	12,3
Quartzovaque	3,5	34,7	46,0	5,0	29,1	14,7	28,2	9,4	32,4	45,9	4,7	45,9	NA	NA	5,2	NA	NA	5,6	16,6	9,1	NA	11,3

N.A.: não analisado

6.4. Relações entre a Composição Mineralógica e Geoquímica das Rochas Analisadas

De acordo com a composição geoquímica das rochas identificadas na área estudada, foi efetuada uma estimativa das relações entre a composição mineralógica descrita através do estudo petrográfico e a composição química de cada rocha (em particular, foi tida em conta a composição dos óxidos). Na tabela 5 apresentam-se os valores percentuais da participação dos minerais na composição química e mineralógica da rocha filítica. A composição obtida para o filito é muito aproximada da composição de grauvaque (tabela 6). Verifica-se uma ligação muito próxima com a própria composição mineralógica descrita através do estudo petrográfico. Nas figuras 54 e 55 apresentam-se os gráficos da participação percentual dos minerais argilosos nestas duas litologias. Por exemplo, no caso do filito e grauvaque, considera-se uma participação de sericite e de ilite de $36,82 + 19,56\% = 57\%$, enquanto a clorite é só de 7%. Também, a participação do quartzo ronda 18.60 %. Obtiveram-se valores muito próximos, dado que a composição química é, também muito próxima.

Tabela 5: Composição química e mineralógica das rochas filíticas

	Quartzo	Albite	Rútilo	Hematite	Sericite	Clorite
% Clay					56,38	7,04
SiO ₂	18,62	5,70			27,57	2,12
Al ₂ O ₃		1,61			17,64	1,20
Fe ₂ O ₃				5,81	0,78	1,13
MgO					0,59	1,76
CaO						
Na ₂ O		0,98				
K ₂ O					5,74	
TiO ₂			0,67			
P ₂ O ₅						
MnO						
Cr ₂ O ₃						
LOI					4,06	0,83

Tabela 6: Composição química e mineralógica das rochas grauvacóides

	Quartzo	Albite	Rútilo	Hematite	Sericite	Clorite
% Clay					58,5	6,88
SiO ₂	17,40	6,40			28,53	2,07
Al ₂ O ₃		1,81			18,45	1,17
Fe ₂ O ₃				5,24	0,78	1,10
MgO					0,59	1,72
CaO						
Na ₂ O		1,10				
K ₂ O					5,99	
TiO ₂			0,82			
P ₂ O ₅						
MnO						
Cr ₂ O ₃						
LOI					4,15	0,81

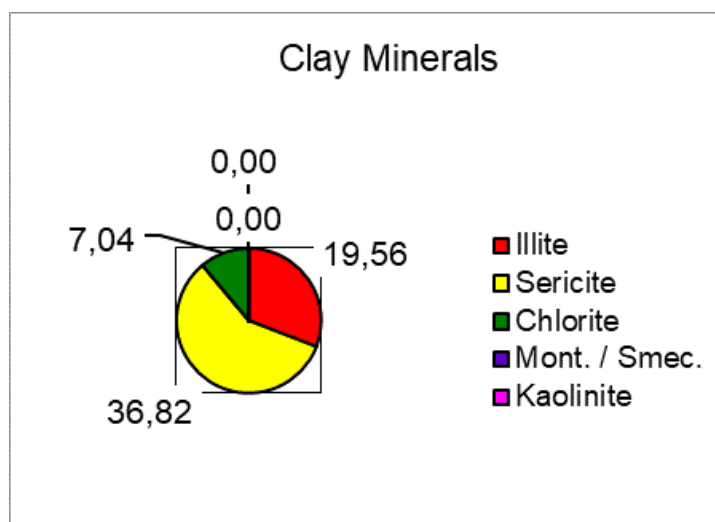


Figura 54: Participação dos minerais argilosos na rocha filítica

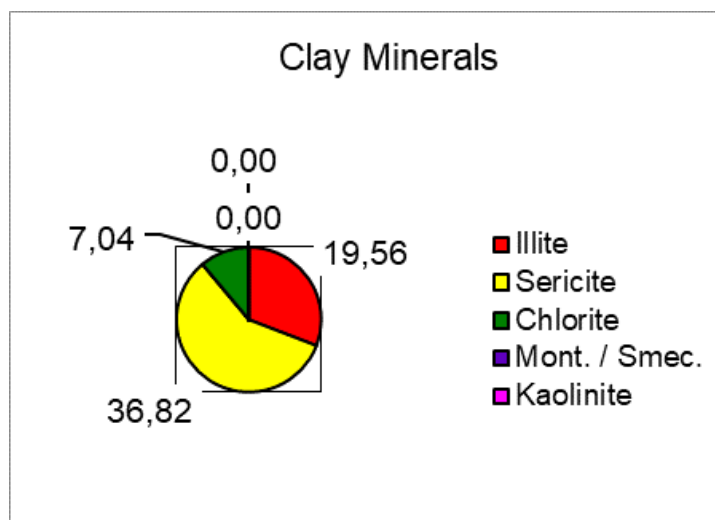


Figura 55: Participação dos minerais argilosos nos grauvaques

7 ESTUDO MINERALÓGICO DA MINERALIZAÇÃO DE OURO – SONDAGEM SN-21

7.1 Introdução

Foram selecionadas cinco amostras mais relevantes para analisar os minerais opacos através de microscopia ótica de reflexão e de microscopia eletrónica de varrimento (MEV). O MEV, equipado com um Espectrómetro de Raios-X permitiu analisar de forma semi-quantitativa a composição química das fases minerais selecionadas.

Neste capítulo serão apresentadas as imagens com os minerais opacos observados ao microscópio ótico e ao microscópio eletrónico de varrimento, juntamente com a respetiva análise quantitativa do espetro.

7.2 Microscopia Ótica de Reflexão

7.2.1 Quartzovaque

O aspeto macroscópico típico de quartzovaque mineralizado com cristais milimétricos de arsenopirite com um hábito euédrico, observa-se na Figura 56.



Figura 56: Lâmina delgada e amostra de quartzovaque

A textura desta rocha observada ao microscópio ótico de reflexão (Figura 57) é caracterizada por uma matriz quartzítica, cristais euédricos de arsenopirite e veios constituídos por sericite e clorite.

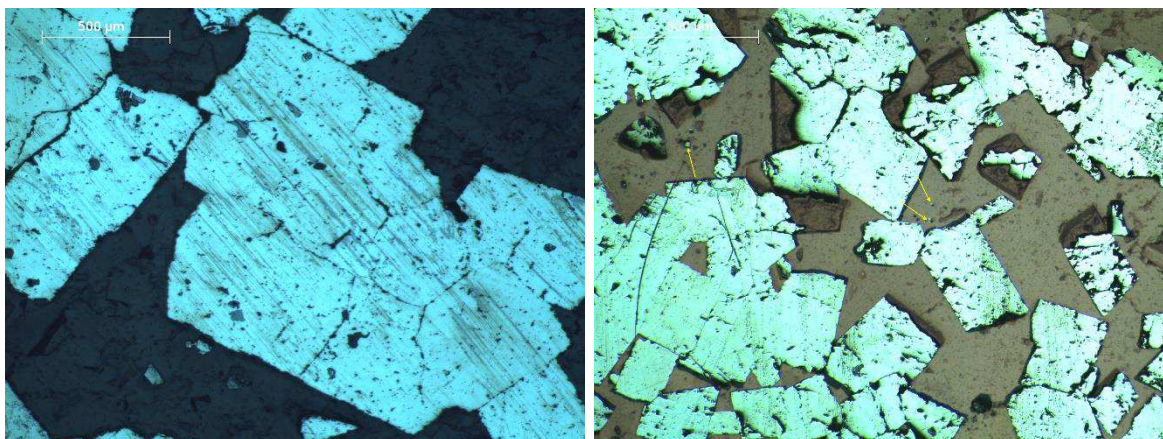


Figura 57: Imagens em luz refletida de dois campos distintos com arsenopirite euédrica numa matriz quartzítica.

7.2.2 Filão de Quartzo Mineralizado

Na amostra selecionada do filão de quartzo (Figura 58) observa-se arsenopirite quer no filão de quartzo, bem como no quartzovaque que o contacta. No filão, a arsenopirite encontra-se concentrada em grandes áreas, enquanto que nos filitos e grauvaques verifica-se a existência de pequenos cristais de arsenopirite dispersos na massa fundamental da rocha.



Figura 58: Lâmina delgada L1 com o contacto entre o filão de quartzo mineralizado e o quartzovaque

Na figura 59 observa-se em luz refletida o contacto entre o filão de quartzo com a presença da arsenopirite euédrica e o quartzovaque.

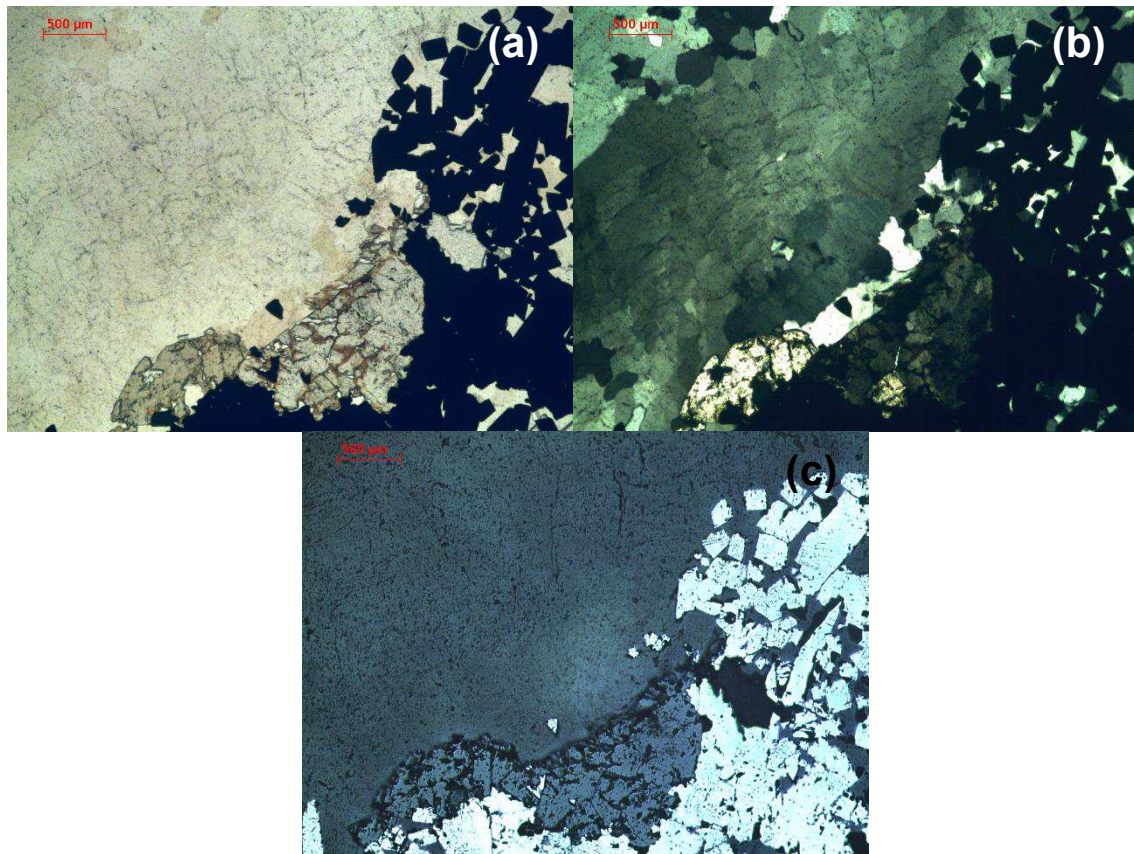


Figura 59: Nesta imagem observa-se o contacto entre o quartzo filoniano e a zona mineralizada, rica em arsenopirite

7.3 Microscopia Eletrónica de Varrimento

7.3.1 Ouro, Bismuto e Arsenopirite no Quartzovaque Mineralizado

O ouro nativo foi identificado nos quartzovaques mineralizados (Figura 60).

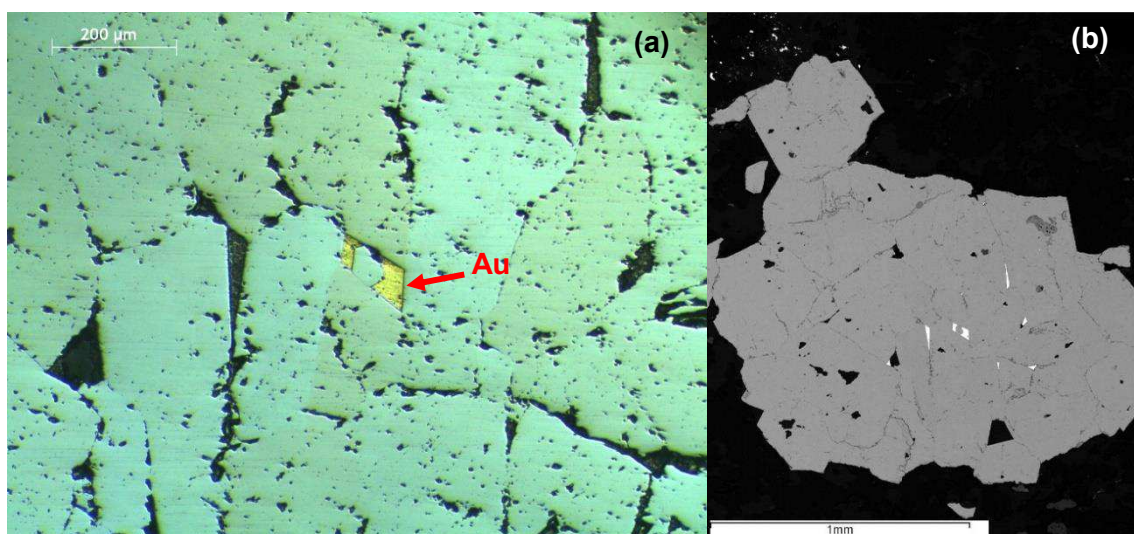


Figura 60: (a) Imagem de microscopia óptica de reflexão onde se destaca o ouro nativo dentro de um cristal de arsenopirite; (b)- Imagem ao microscópio electrónico de varrimento do mesmo campo.

Além de ouro nativo e arsenopirite foi identificado o bismuto nativo (Figura 61). Os espectros de energia de dispersão dos Raios-X (EDS), relativamente aos elementos químicos quantificados são apresentados nas Figura 62 e 63. Na Tabela 7 apresentam-se as composições químicas dos minerais identificados, as quais refletem as composições atómicas percentuais dos elementos químicos quantificados. No caso do ouro nativo, verifica-se a presença de prata numa percentagem de aproximadamente de 10%. Teoricamente o ouro nativo apresenta à volta de 7% de impurezas de outros metais, em particular a prata. No caso de electrum a quantidade de Ag deve ser maior que 20%.

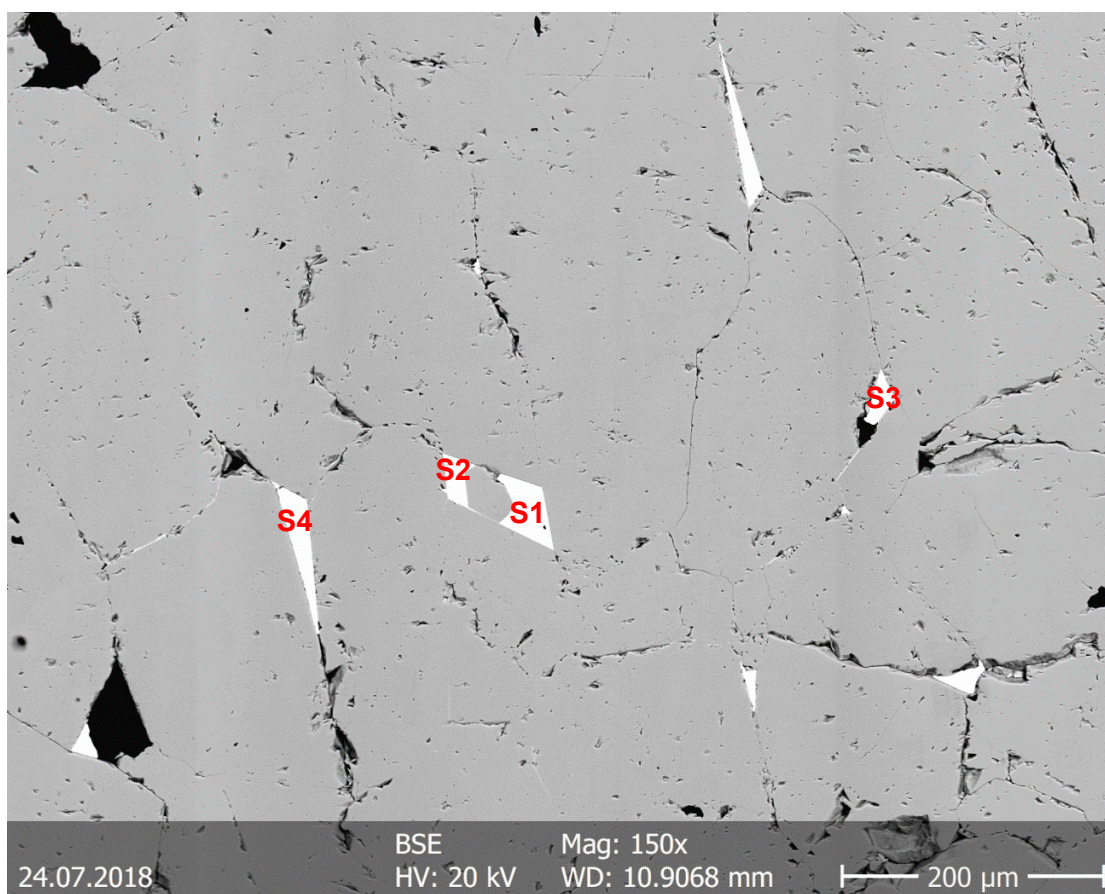


Figura 61: Imagem obtida através do MEV de cristais euédricos de arsenopirite com inclusões de ouro e bismuto.

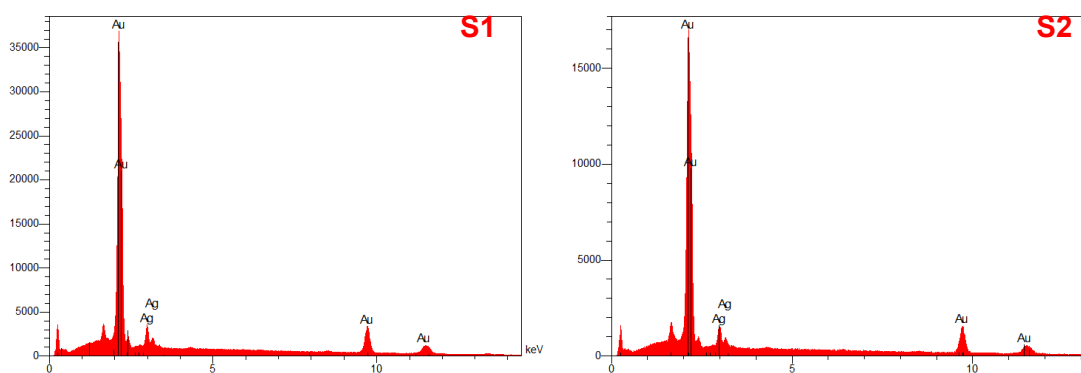


Figura 62: Espectros EDS do ouro (S1 e S2)

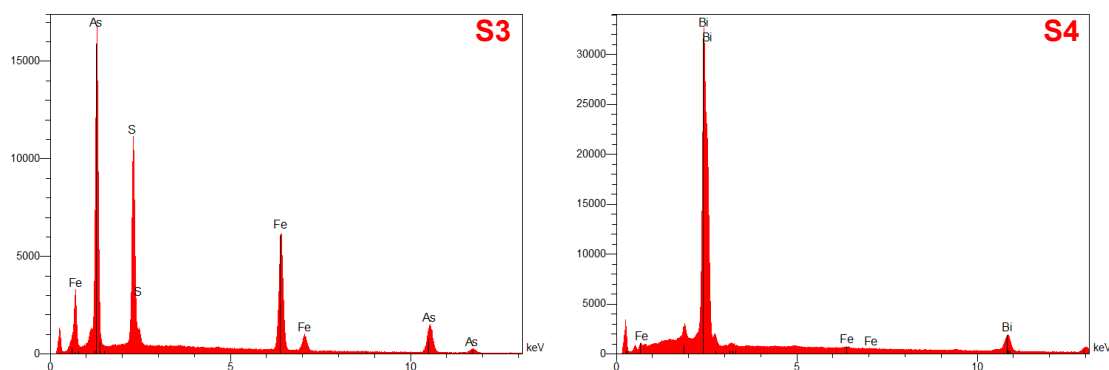


Figura 63: Espectros EDS da arsenopirite (S3) e do bismuto (S4)

Tabela 7: Análises semi-quantitativas do ouro (S1 e S2), arsenopirite (S3) e bismuto (S4)

(at. %)	Au	Ag	Fe	S	As	Bi	Total
S01	93,18	6,82	-	-	-	-	100,0
S02	93,09	6,91	-	-	-	-	100,0
S03	-	-	31,13	19,98	48,89	-	100,0
S04	-	-	0,53	-	-	99,47	100,0

Também será de particular interesse apresentar as análises químicas de óxidos de titânio (rutilo) (Figura 64), dado que foram identificadas concentrações bastante elevadas de elementos químicos vestigiais, tais como: Cr, W, Sn e Hg (Tabela 8).

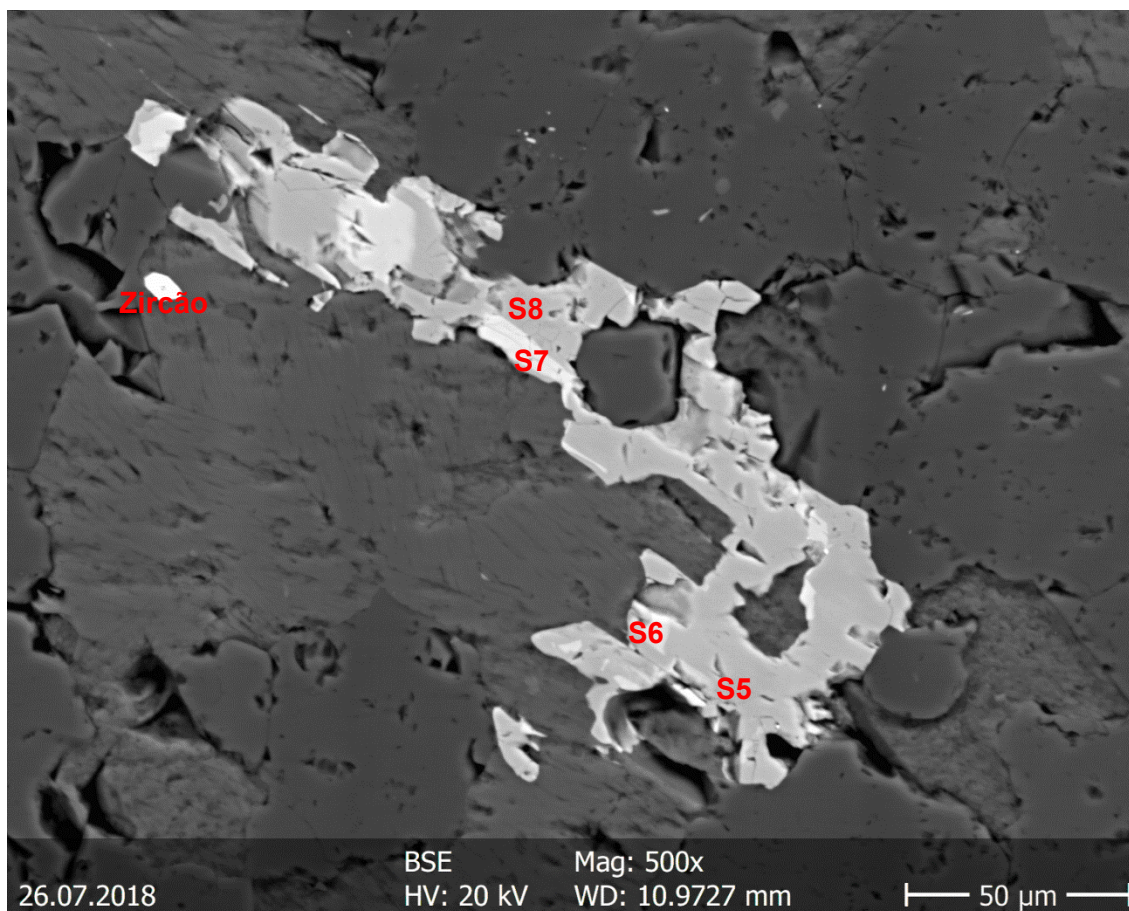


Figura 64: Cristais de óxidos de titânio e zircão.

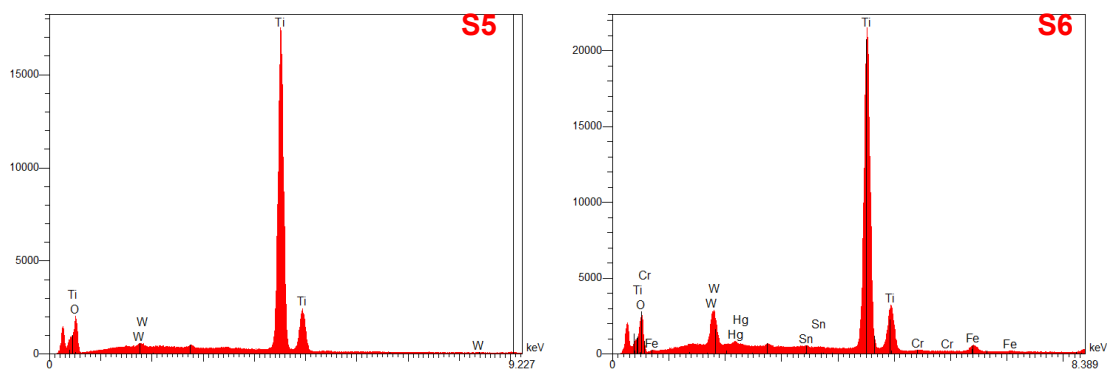


Figura 65: Espectros EDS de óxidos de titânio (S5 e S6))

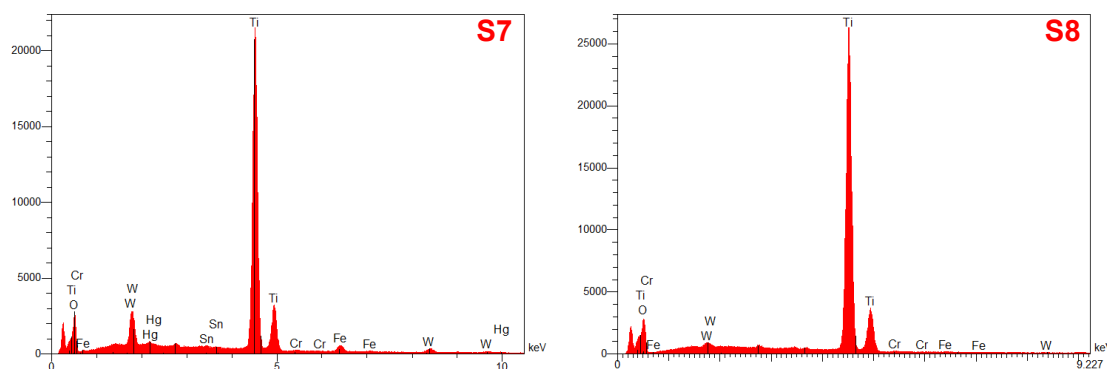


Figura 66: Espectros S7 e S8, óxidos de titânio.

As análises químicas S06 e S07 apresentam uma quantidade de W de 7.54 %, juntamente com Ti (51.18%). Podemos sugerir que se trata de um óxido de Ti e W.

Tabela 8: Análises semi-quantitativas dos óxidos de titânio

(at. %)	O	Ti	W	Cr	Fe	Sn	Hg	Total
S05	40,00	59,82	0,18	-	-	-	-	100,0
S06	37,30	51,18	7,54	0,18	2,02	0,69	1,09	100,0
S07	37,40	51,39	7,60	0,15	2,02	0,56	0,89	100,0
S08	39,91	59,39	0,38	0,13	0,19	-	-	100,0

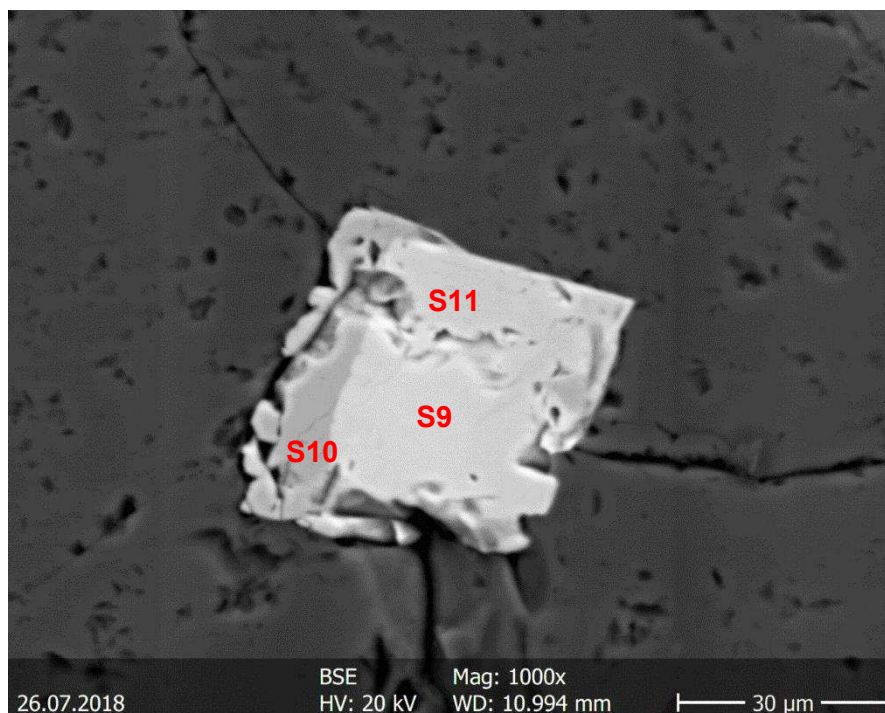


Figura 67: Cristal euédrico de rútilo

Na figura 67 todos os espectros analisados correspondem a óxidos de titânio, inclusos em microfracturas numa massa de arsenopirite.

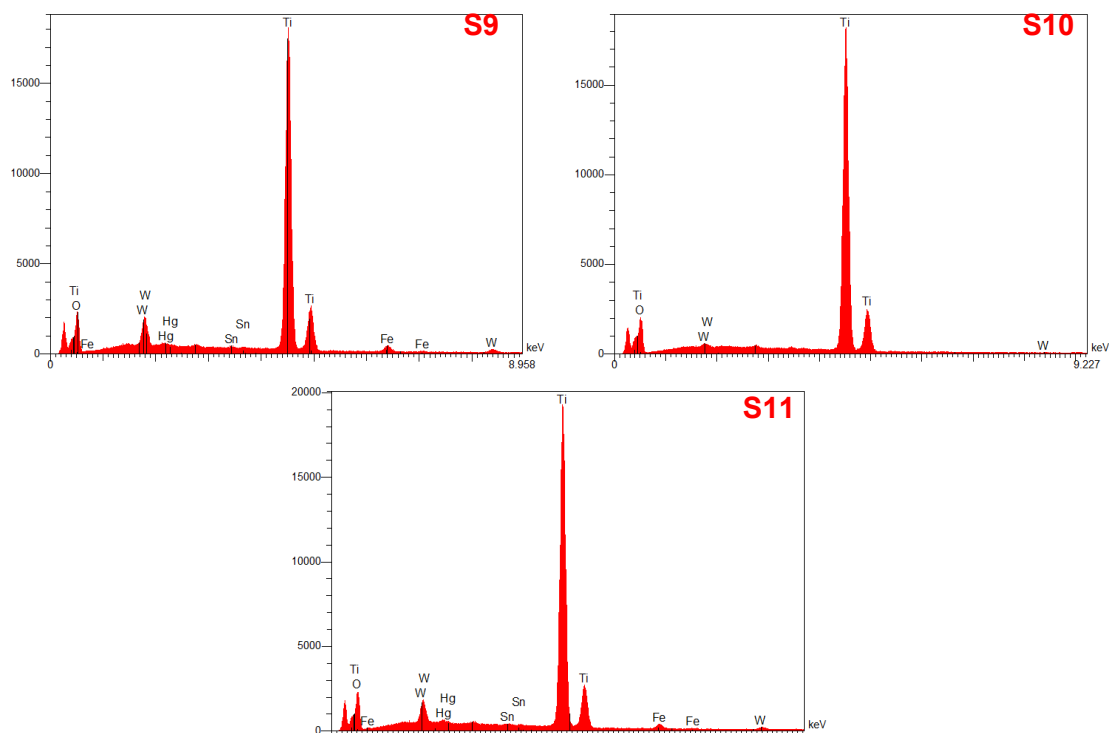


Figura 68: Espectros EDS S9 a S11, referente a óxidos de titânio.

Tabela 9: Análises semi-quantitativas dos óxidos de titânio

(at. %)	O	Ti	Fe	Sn	W	Hg	Total
S09	37,78	52,68	1,89	0,55	6,24	0,85	100,0
S10	40,01	59,83	-	-	0,15	-	100,0
S11	38,18	54,14	1,55	0,47	4,71	0,95	100,0

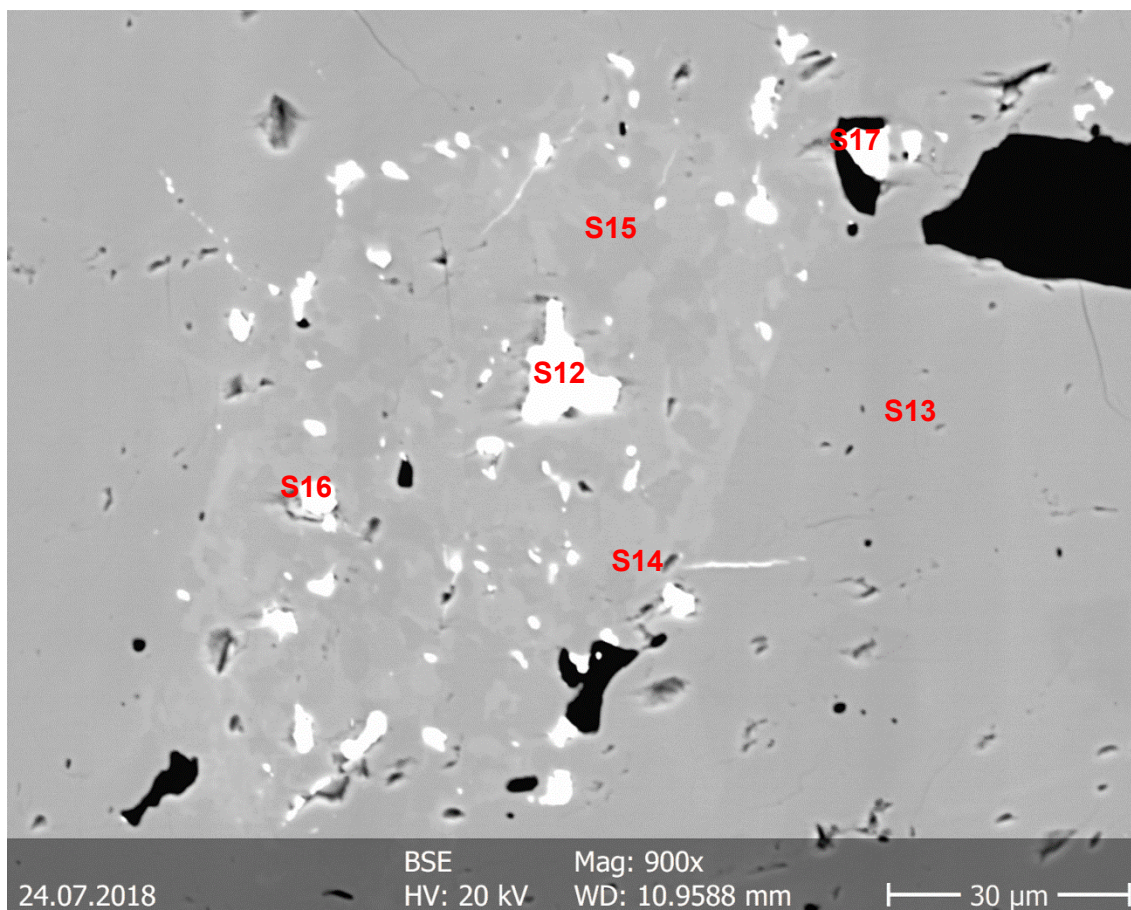


Figura 69: Arsenopirite (S13, S14 e S15) e bismuto nativo (S12, S16 e S17)

As composições químicas dos minerais opacos (arsenopirite S13 e bismuto S12) da figura 69 são apresentados na Tabela 10, onde se destaca também a presença de impurezas de metais (Fe e As) na estrutura do bismuto nativo (S12).

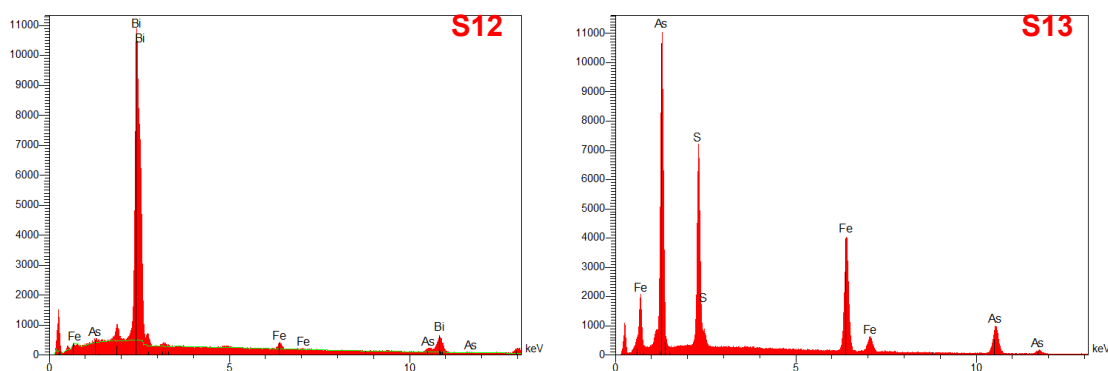


Figura 70: Espectros EDS do bismuto (S12) e da arsenopirite (S13)

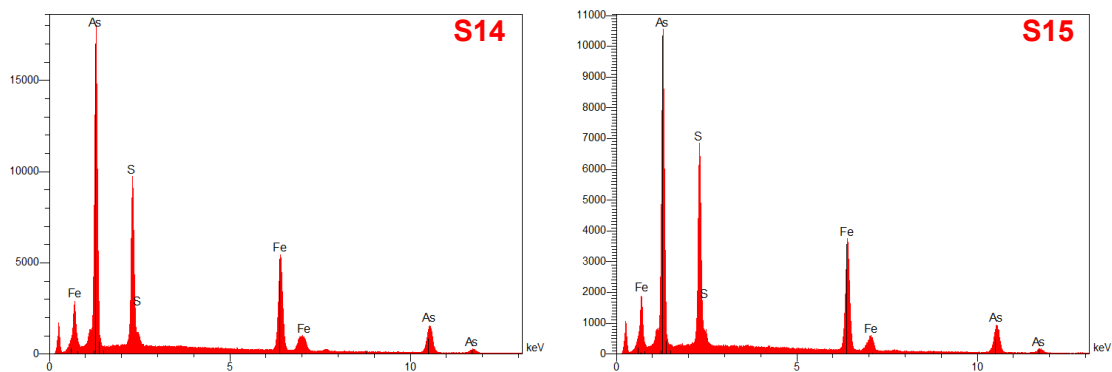


Figura 71: Espectros EDS da arsenopirite (S14 e S15)

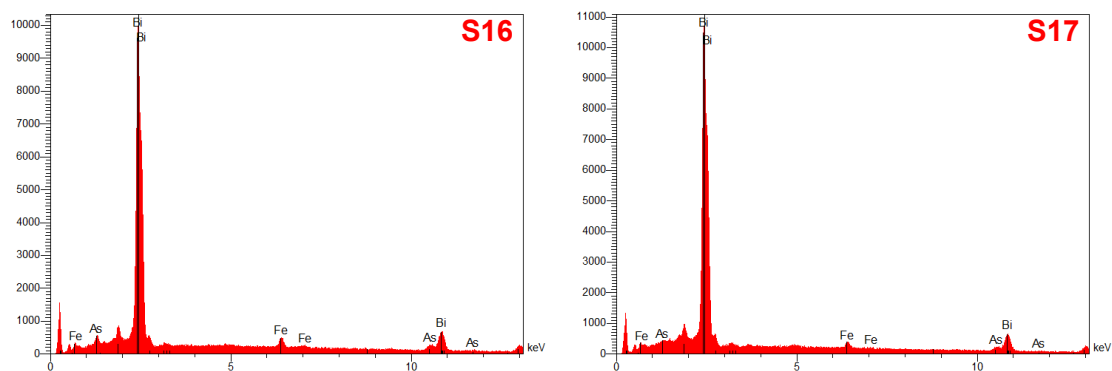


Figura 72: Espectros EDS do Bismuto (S16 e S17)

Tabela 10: Análises semi-quantitativas do bismuto e arsenopirite

(at. %)	Fe	As	Bi	S	Total
S12	2,15	1,18	96,67	-	100,0
S13	30,00	50,36	-	19,64	100,0
S14	28,13	53,59	-	18,28	100,0
S15	29,53	50,63	-	19,84	100,0
S16	48,27	18,17	-	33,56	100,0
S17	46,27	9,57	-	44,16	100,0

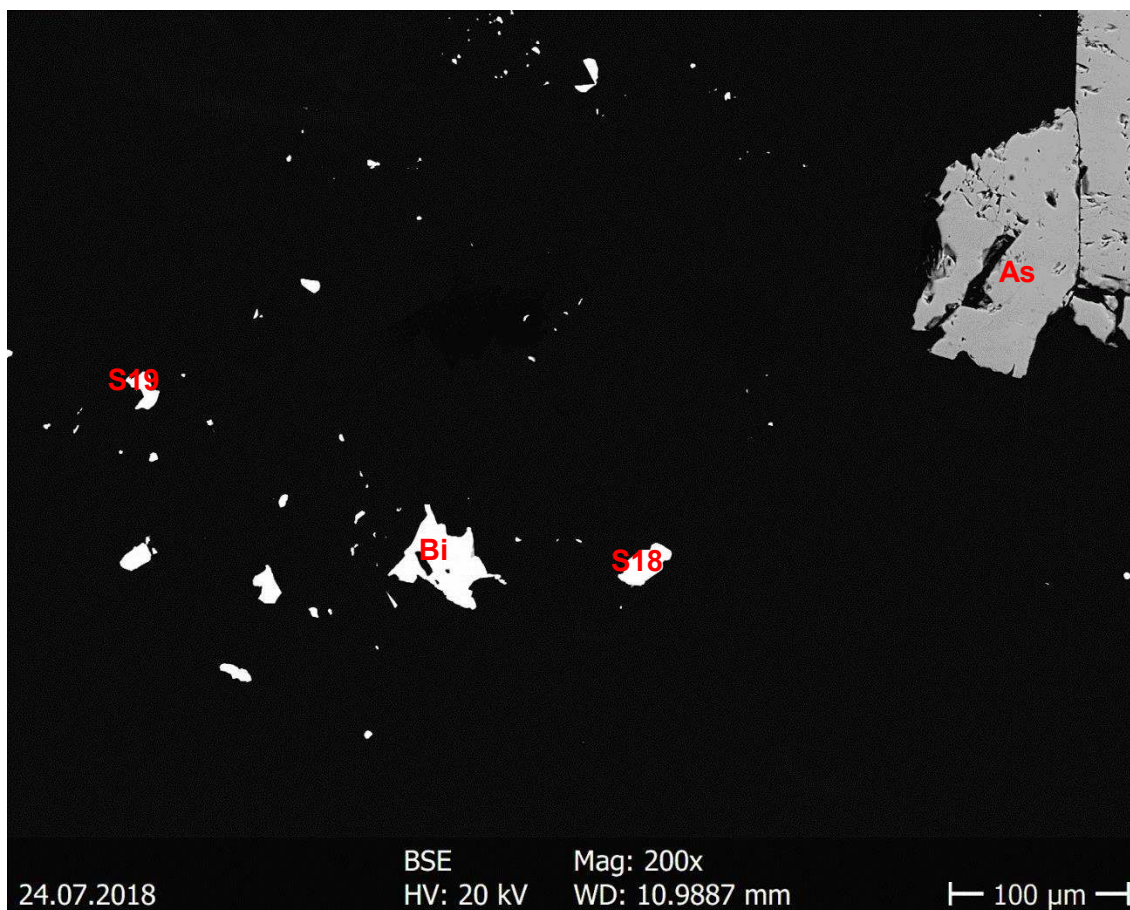


Figura 73: Bismuto nativo.

Na figura 73 encontram-se várias inclusões de bismuto nativo numa matriz quartzosa.

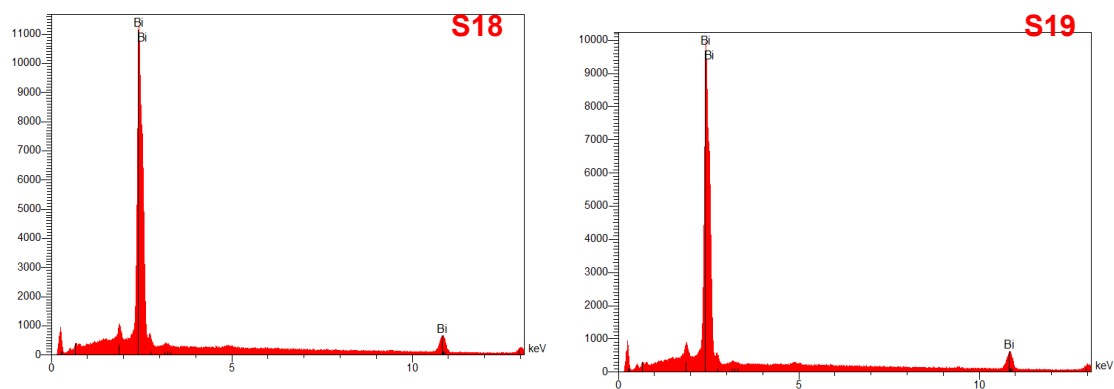


Figura 74: Espectros EDS do bismuto (S18 e S19)

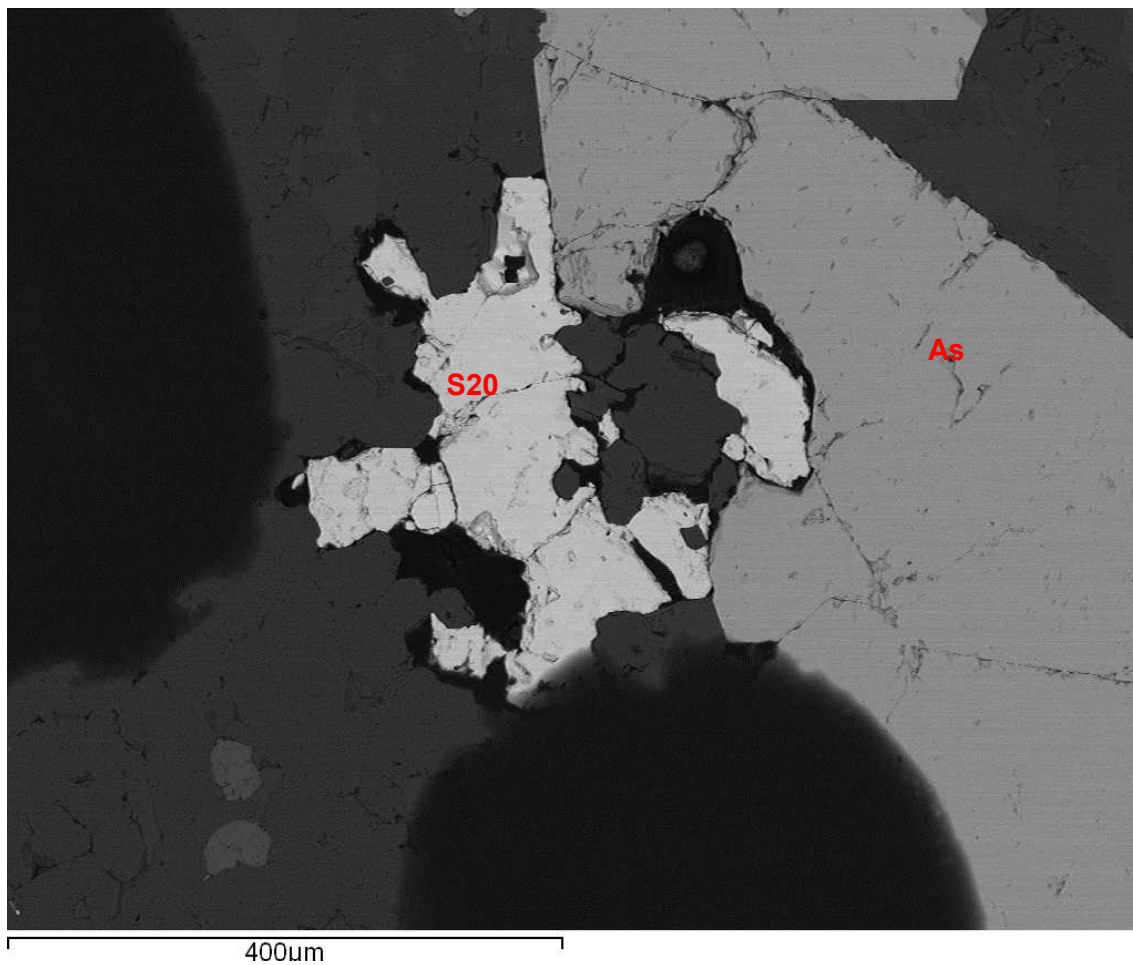


Figura 75: Scheelite (S20) em contacto com arsenopirite

Na figura 75 a análise S20 corresponde a um tungstato de cálcio (scheelite), entre uma massa de arsenopirite e a matriz quartzosa.

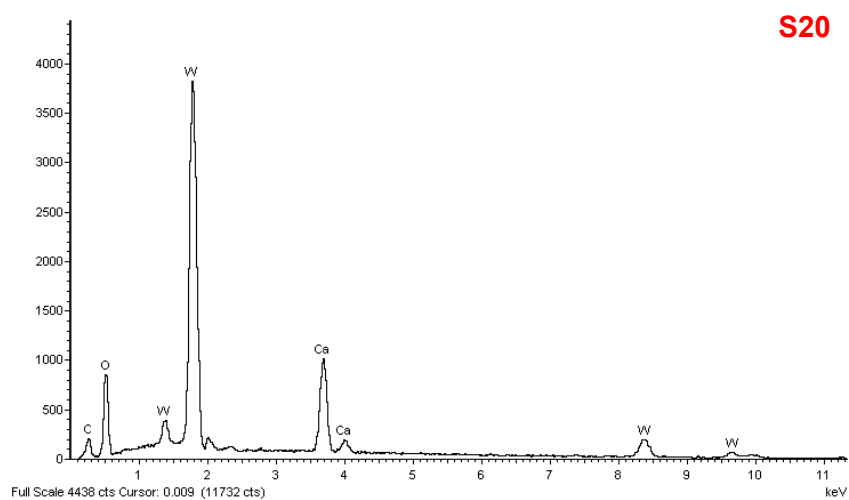


Figura 76: Espectro EDS da scheelite (S20).

Tabela 11: Análise semi-quantitativa da scheelite

(at. %)	O	Ca	W	Total
S20	20,41	13,64	65,95	100,0

7.3.2 Electrum, Bismuto, Arsenopirite e Galena no Filão de Quartzo Mineralizado

Os minerais opacos identificados por MEV no filão de quartzo mineralizado são os seguintes: electrum, bismuto nativo, arsenopirite e galena.

Na Figura 77 apresentam-se os espectros EDS do bismuto nativo e da galena, enquanto a análise química semi-quantitativa da galena apresenta-se na Tabela 12.

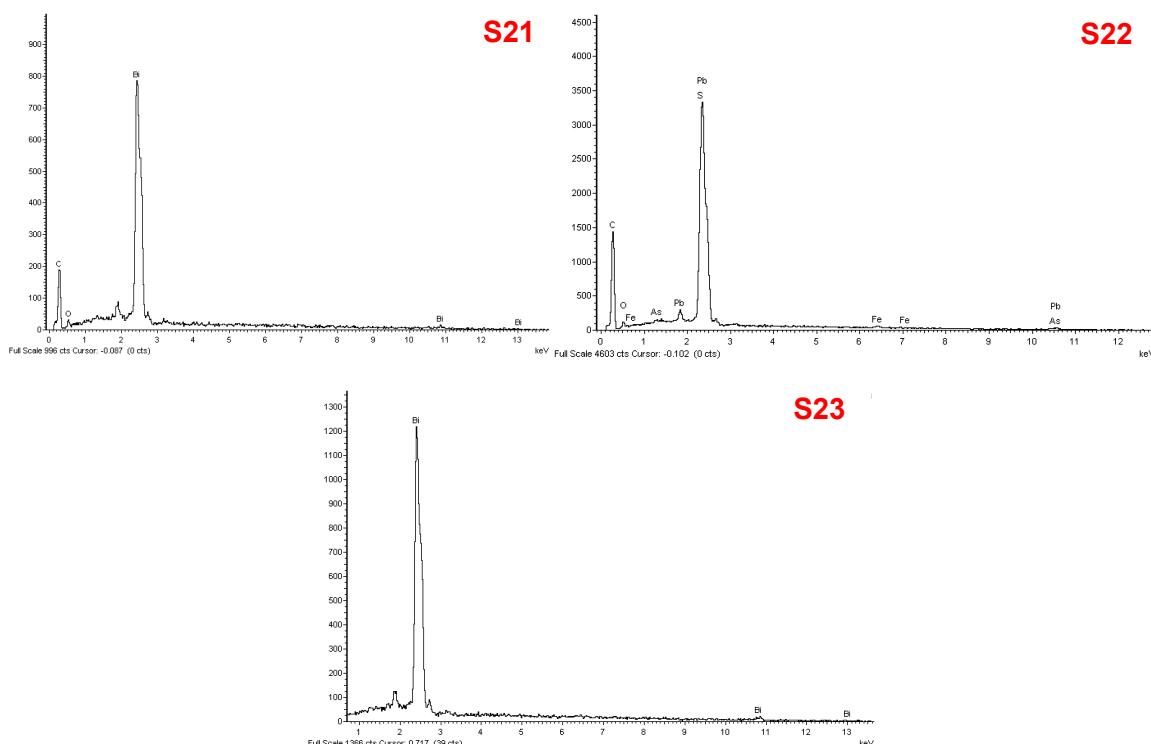


Figura 77: Espetros EDS dos campos S21(bismuto), S22 (galena) e S23 (bismuto).

Tabela 12: Análise semi-quantitativa da galena(S22)

(at. %)	S	Pb	Total
S22	13,46	86,54	100,0

O espectro S22 corresponde à galena (PbS), enquanto os S21 e S23 correspondem ao bismuto nativo.

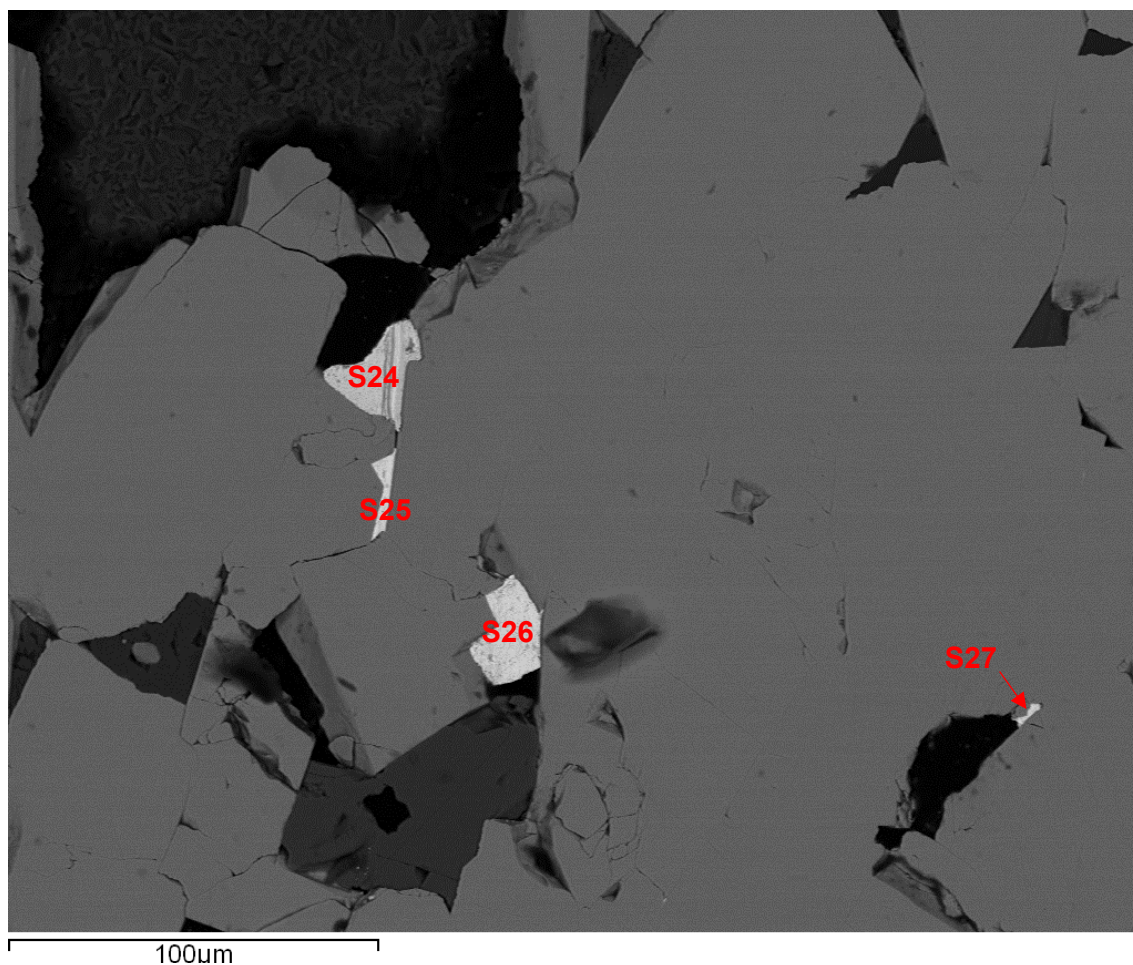


Figura 78: Electrum (S24) e bismuto nativo (S25, S26 e S27) cristalizado ao longo dos planos intragranulares entre os cristais de arsenopirite.

Na imagem de BSE (Figura 78) observa-se a presença de electrum e do bismuto nativo cristalizados nos espaços intragranulares entre os cristais de arsenopirite. A análise química semi-quantitativa de electrum é apresentada na Tabela 13, onde se verifica que a quantidade de Ag é de cerca de 20 %.

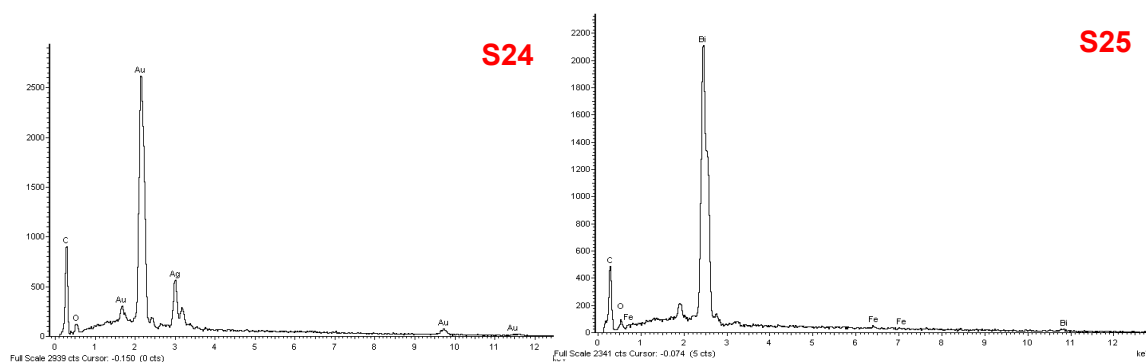


Figura 79: Espectros EDS do ouro ou electrum (S24) e bismuto nativo (S25)

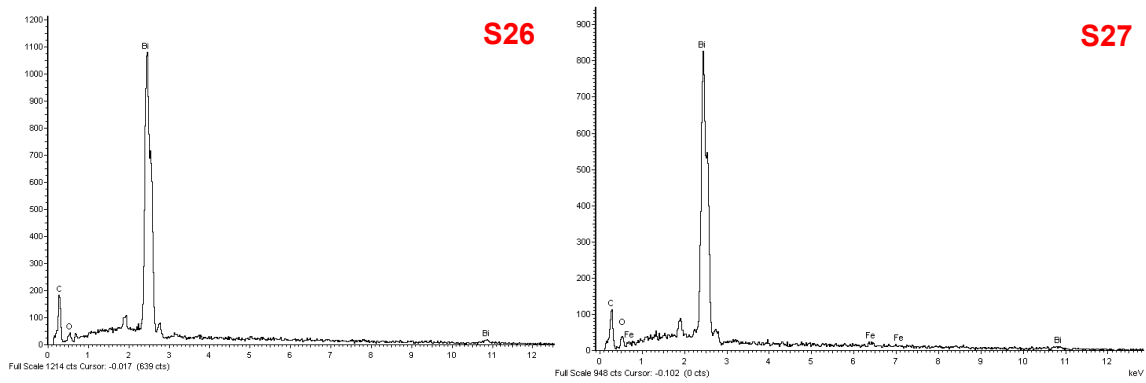


Figura 80: Espetros EDS de bismuto nativo (S26 e S27)

Tabela 13: Análise semi-quantitativa do electrum (S24)

(at. %)	Au	Ag	Total
S24	79,23	20,77	100,0

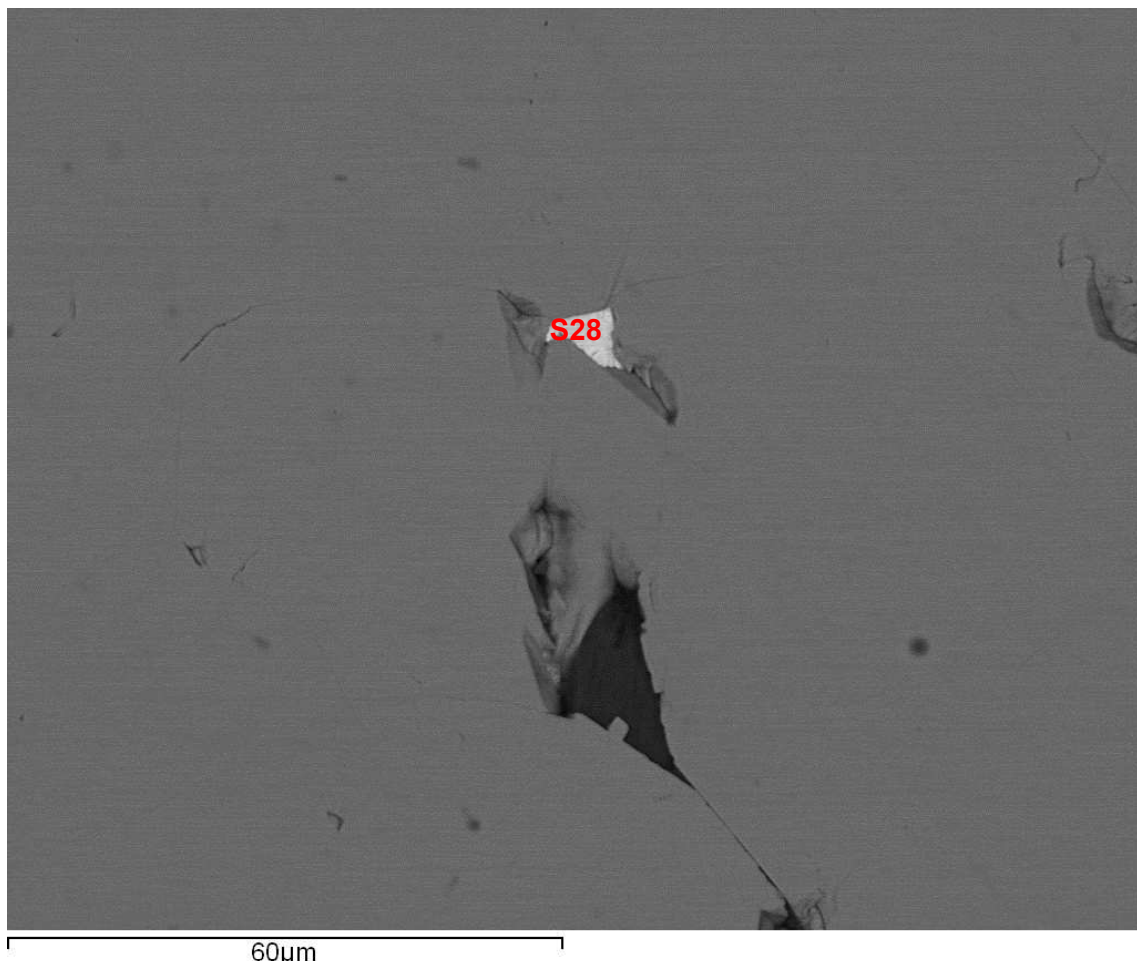


Figura 81: Imagem BSE de cristais micrométricos de galena

Verifica-se na figura 81 um cristal de galena incluído na arsenopirite.

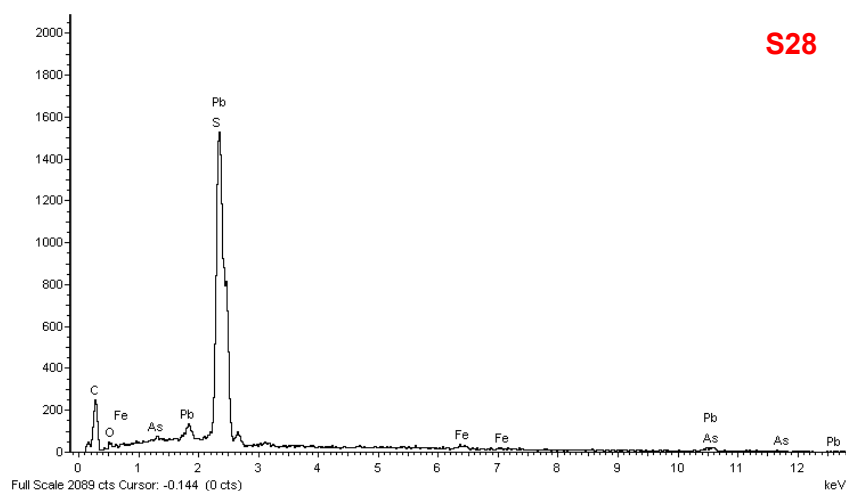


Figura 82: Espetro EDS da galena (S28)

Tabela 14: Análise semi-quantitativas da galena

(at. %)	S	Pb	Total
S28	14,03	85,97	100,0

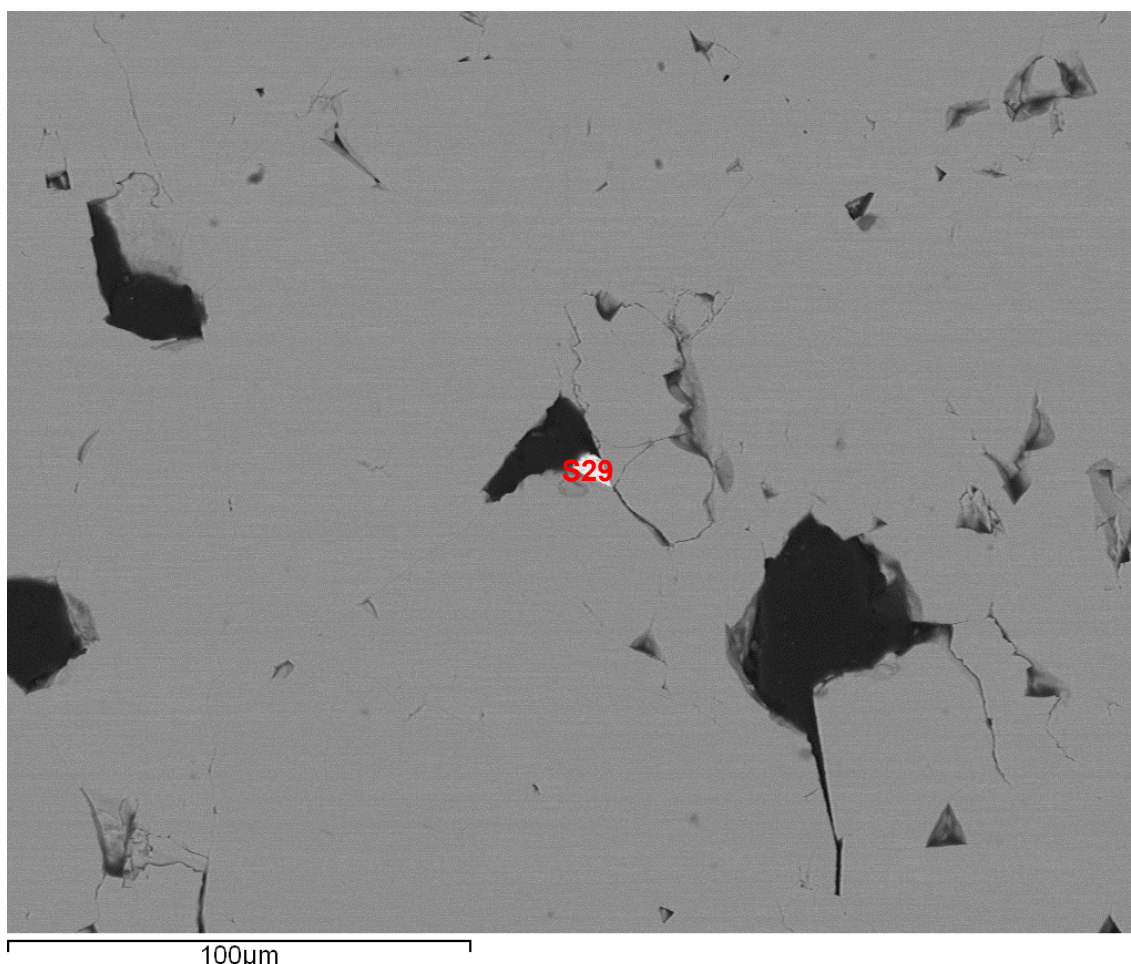


Figura 83: Imagem BSE de cristais de galena

À semelhança da figura 82, na figura 83 também se verifica uma inclusão de galena nas microfracturas da arsenopirite.

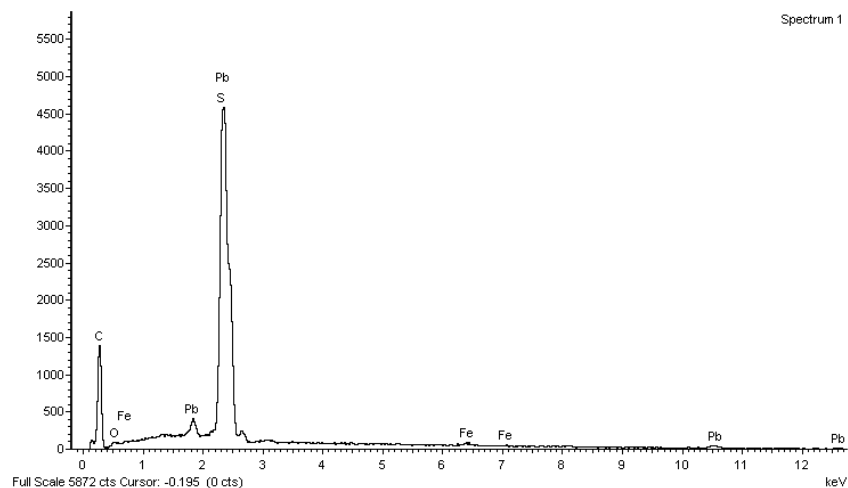


Figura 84: Espetro EDS da galena (S29)

Tabela 15: Análise semi-quantitativas da galena

(at. %)	S	Pb	Total
S29	14,11	85,89	100,0

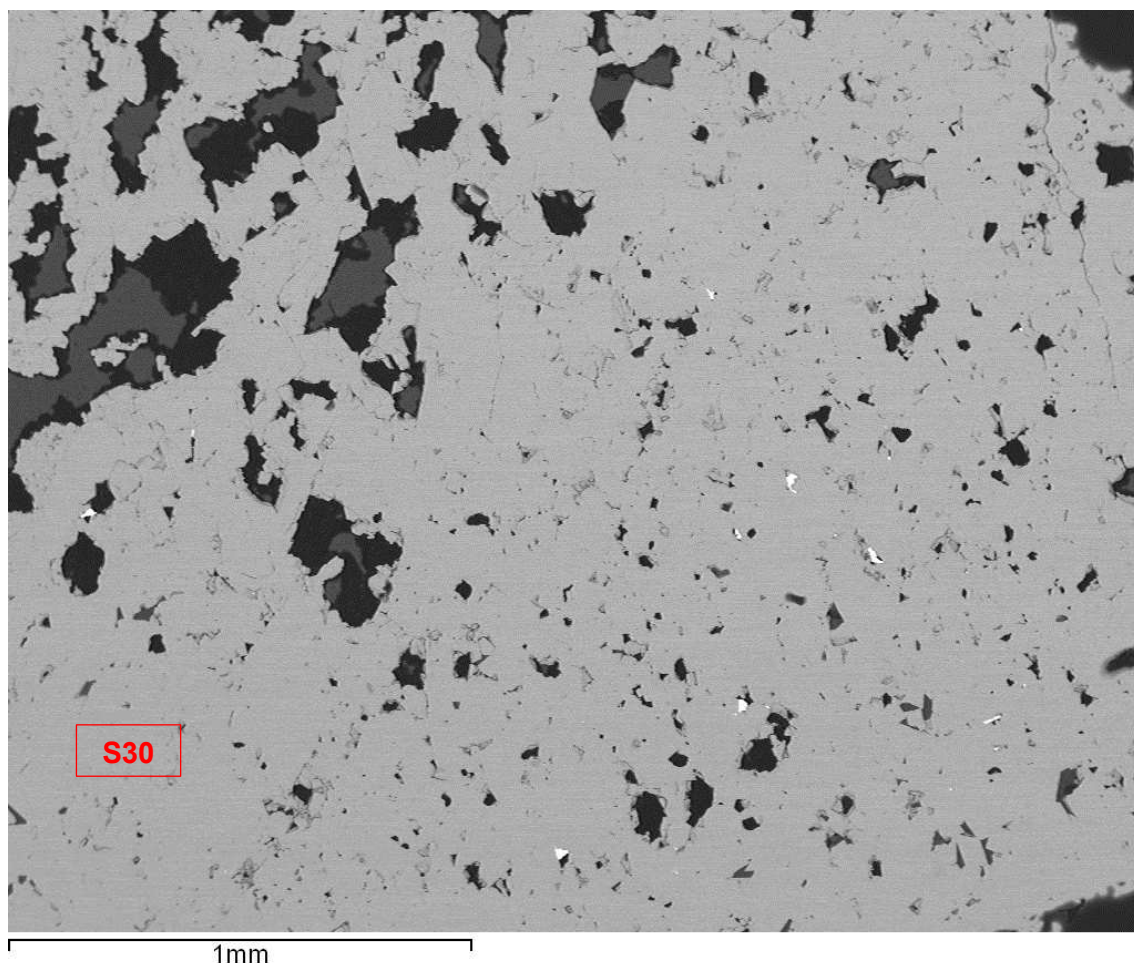


Figura 85: Cristais milimétricos de arsenopirite dispersos numa massa quartzítica.

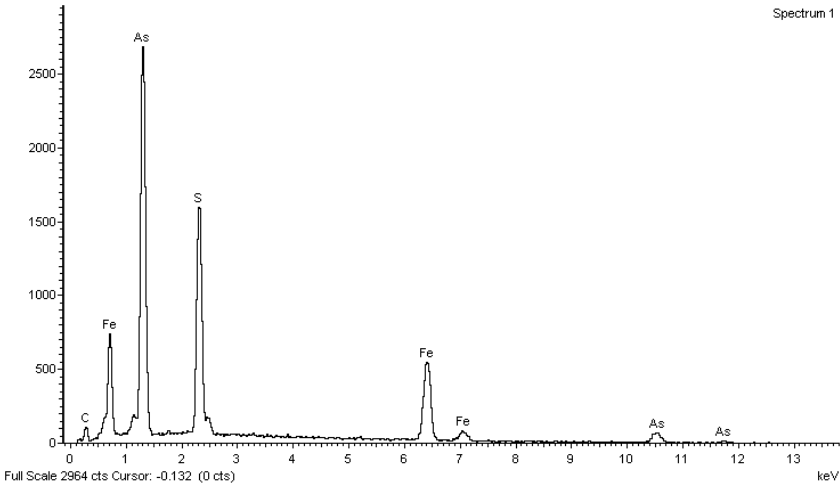


Figura 86: Espetro EDS da arsenopirite (S30).

Tabela 16: Análise semi-quantitativa de arsenopirite.

(at. %)	S	Fe	As	Total
S30	21,09	34,43	44,48	100,0

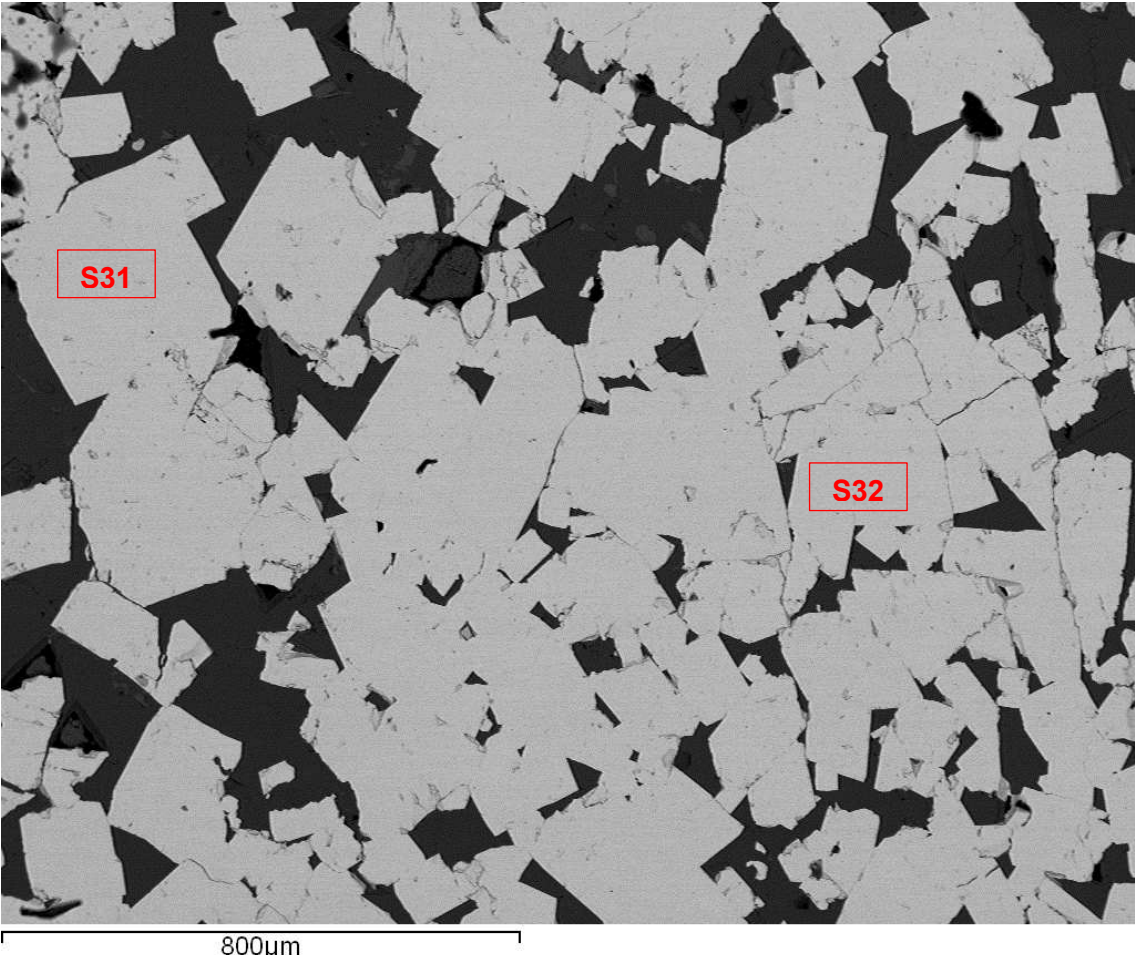


Figura 87: Imagem de MEV evidenciando cristais de arsenopirite com um hábito perfeito euédrico.

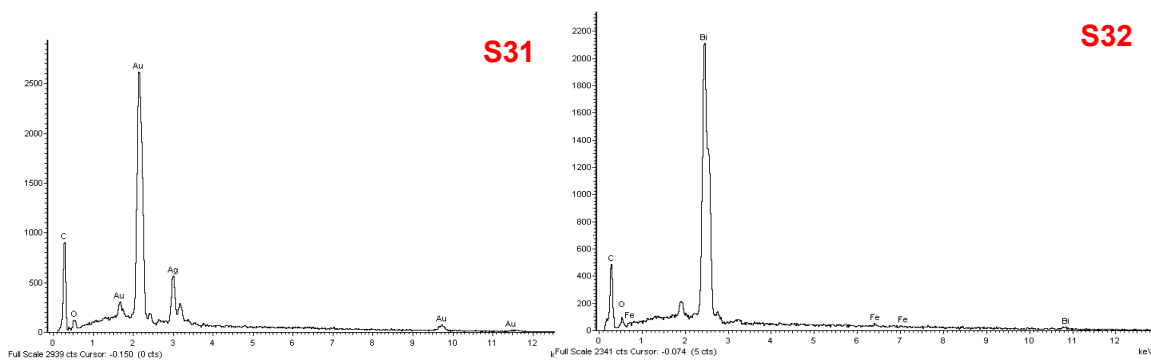


Figura 88: Espetros EDS da arsenopyrite (S31 e S32).

Tabela 17: Análises semi-quantitativas da arsenopyrite.

(at. %)	S	Fe	As	Total
S31	21,11	34,75	44,14	100,0
S32	20,96	34,84	44,2	100,0

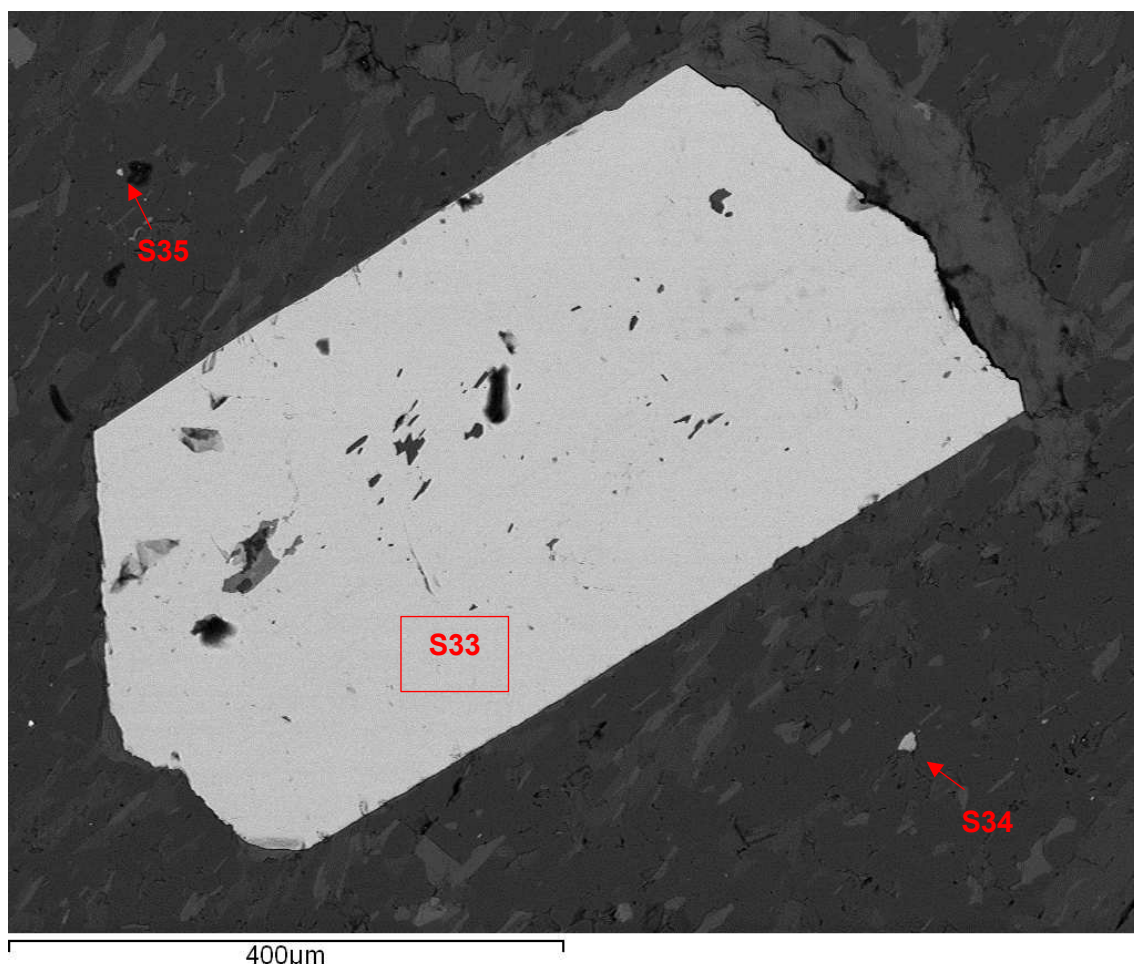


Figura 89: Arsenopyrite euédrica (S33) e zircão (S34 e S35) numa matriz quartzosa.

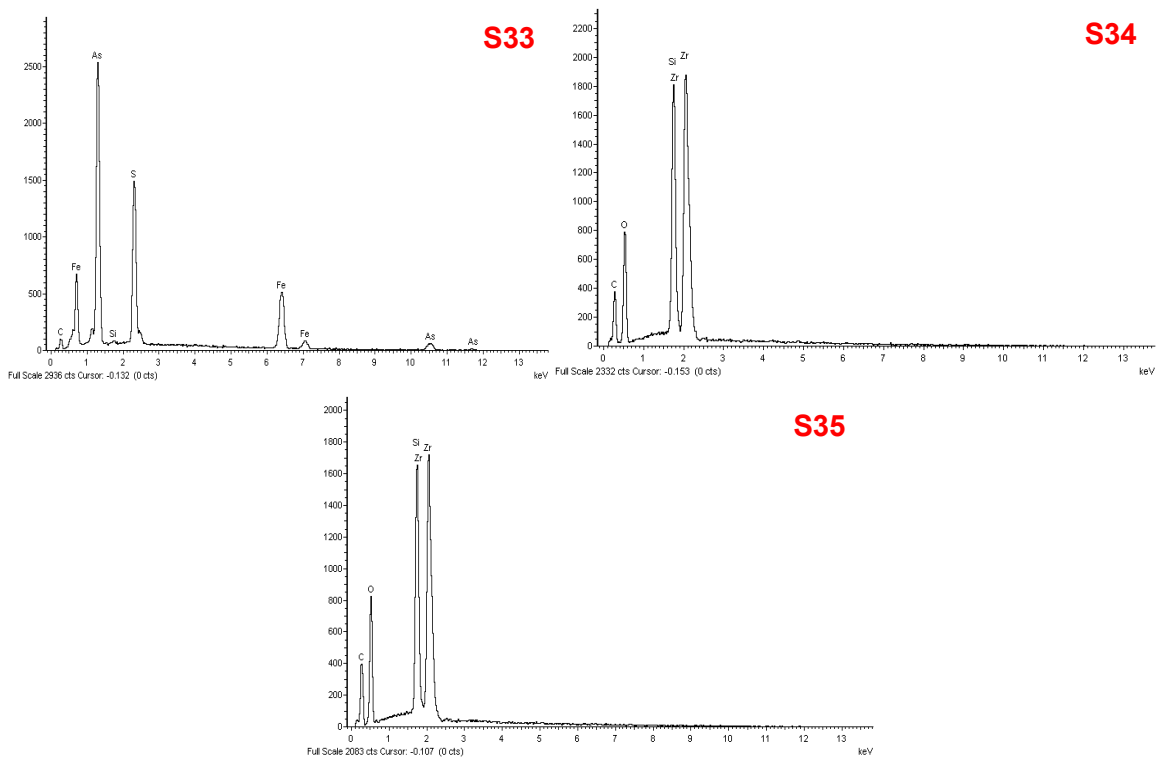


Figura 90: Espetros EDS de arsenopirite (S33) e zircão (S34 e S35).

Tabela 18: Análises semi-quantitativas da arsenopirite e do zircão.

(at. %)	S	Fe	As	O	Si	Zr	Total
S33	20,68	34,39	44,93	-	-	-	100,0
S34	-	-	-	31,91	14,90	53,18	100,0
S35	-	-	-	32,92	14,93	51,15	99,0

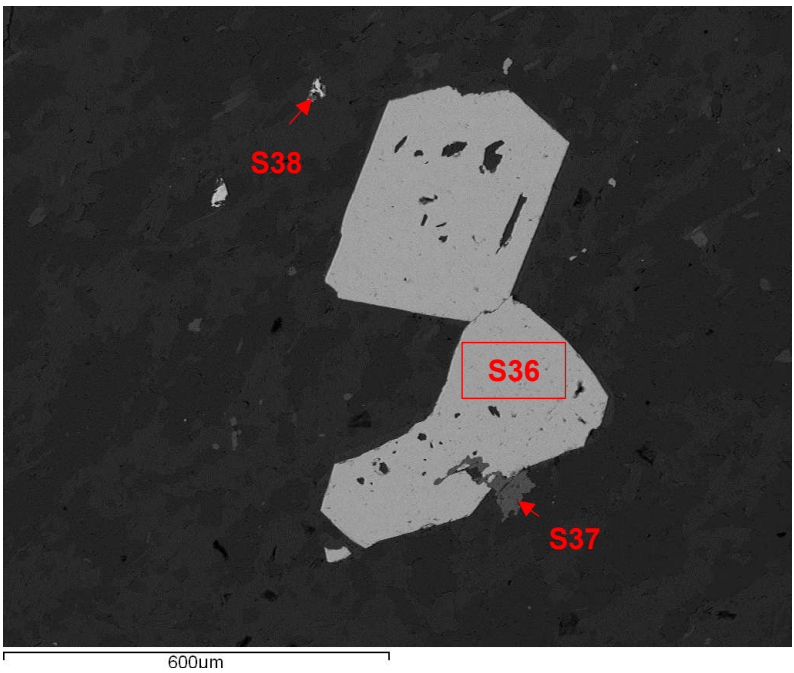


Figura 91: Arsenopirite euédrica (S36), óxidos de titânio e terras raras (S37 e S38).

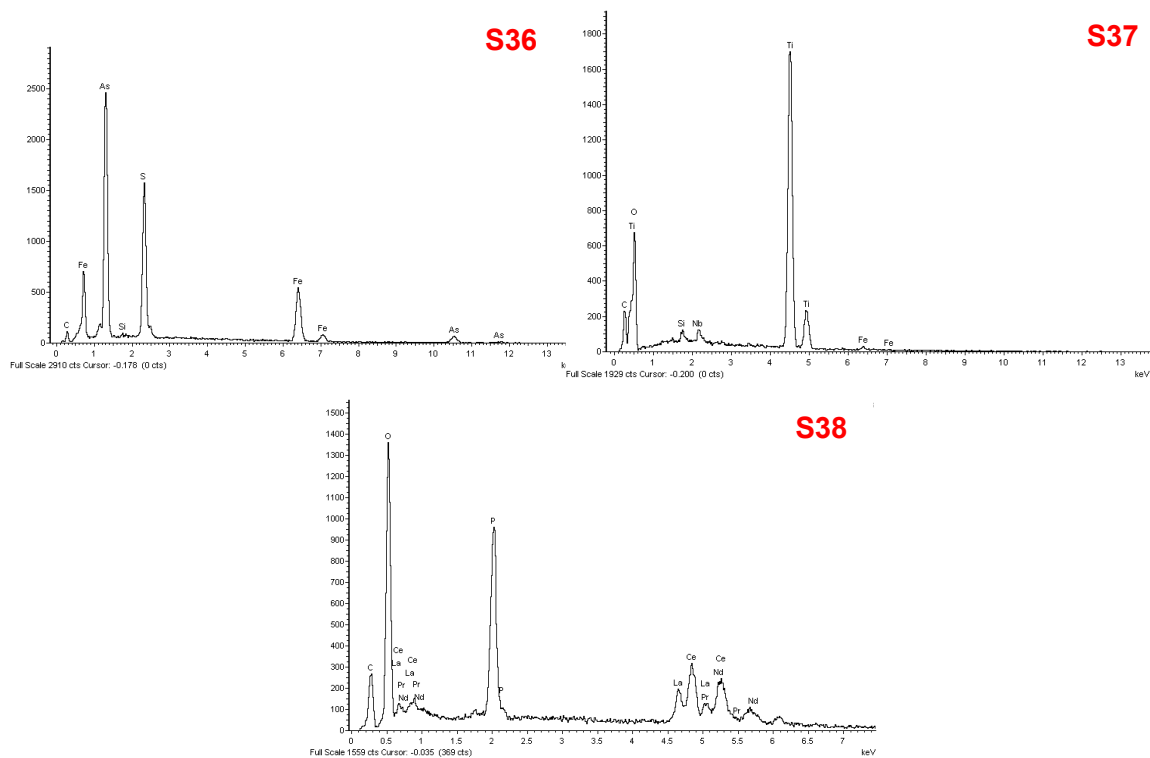


Figura 92: Espetros S36 a S38.

Tabela 19: Análise semi-quantitativa da arsenopirite.

(at. %)	S	Fe	As	Total
S36	21,41	33,19	45,4	100,0

8 GEOTERMÓMETROS DE ARSENOPIRITE E CLORITE

8.1 Geotermómetro de Arsenopirite

Experiências realizadas acerca da estabilidade da arsenopirite no sistema Fe-As-S conduziram à utilização da sua composição química para avaliar a sua temperatura da cristalização (Kretschmar e Scott, 1976). As temperaturas são baseadas nos valores de Mol% de As em relação com a curva de equilíbrio pirite - pirrotite no diagrama de estabilidade termodinâmica da arsenopirite

A composição química da arsenopirite presente nos filões mineralizados do jazigo de Numão é apresentada na Tabela 20. Os dados foram comparados com a composição química ideal da arsenopirite e com a composição química da arsenopirite da Panasqueira (Kelly & Rye, 1979; Jaques & Pascal, 2017). Para cada análise química foi calculada a proporção atómica desta fase mineral e posteriormente os valores obtidos foram projetados no diagrama de composição-temperatura (Figura 98). Repare-se na tabela 20 que quatro análises químicas (em negrito) foram rejeitadas devido às concentrações elevadas em As ou em Fe apresentadas.

Tabela 20: Composição química da arsenopirite

	Composição química (%)				Proporções Atómicas %		
	Fe	S	As		Fe	S	As
S03	31,13	19,98	48,89		30	34	36
S13	30	19,64	50,36		30	34	37
S14	28,13	18,28	53,59		32	28	40
S15	29,53	19,84	50,63		31	27	39
S16	48,27	18,17	33,56		46	30	24
S17	46,27	9,57	44,16		48	17	34
S30	34,43	21,09	44,48		33	35	32
S31	34,75	21,11	44,14		33	35	32
S32	34,84	20,96	44,2		33	35	32
S33	34,39	20,68	44,93		33	35	32
S44	33,19	21,41	45,4		32	36	32
Composição ideal	34,25	19,67	45,73		33	33	33
Panasqueira	34,26	18,44	48,88		33	31	35

As composições químicas (%) foram projetadas no diagrama ternário Fe – S – As (Figura 93), onde se pode observar o campo de arsenopirite proveniente do jazigo de Numão.

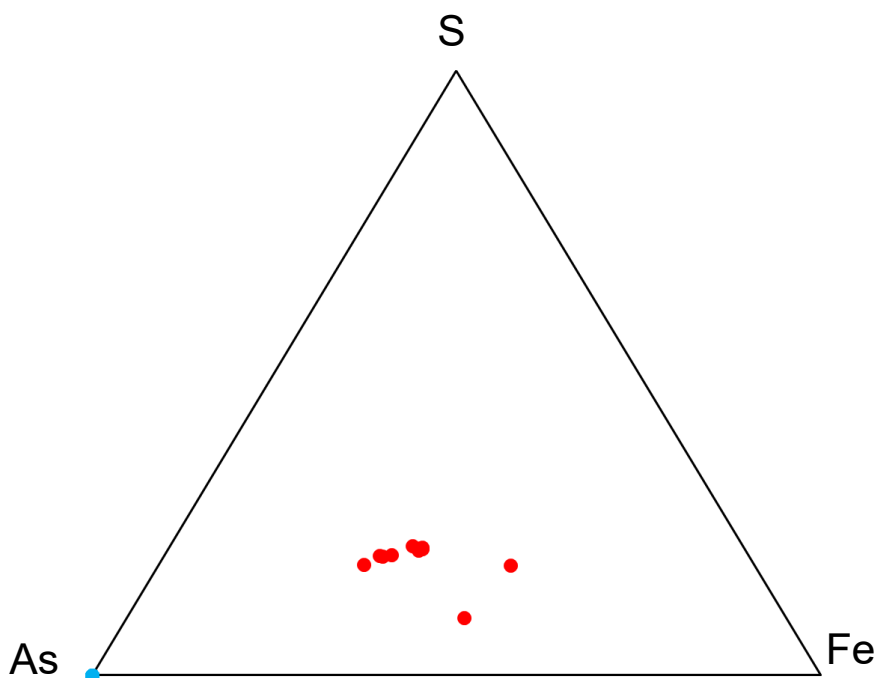
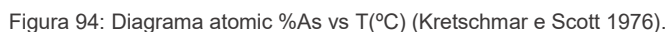


Figura 93: Projeção das composições químicas (%) da arsenopirite no diagrama Fe – S – As

As proporções atômicas (%) da arsenopirite do jazigo de Numão foram projetadas no diagrama, %As vs $T(^{\circ}\text{C})$ de Kretschmar e Scott (1976) representado na Figura 94. Verifica-se que a temperatura de cristalização da arsenopirite estimada através deste cálculo atômico ronda os 350°C , se considerarmos o equilíbrio arsenopirite – As. Pelo contrário, se considerarmos o equilíbrio arsenopirite – löllingite a temperatura de cristalização estimada ronda os 250°C (Sharp *et al.*, 1985). No caso de arsenopirite de Panasqueira a temperatura estimada foi de 280°C . Utilizando o mesmo geotermómetro da arsenopirite, Jaques & Pascal (2017) determinaram temperaturas de $438 \pm 44^{\circ}\text{C}$ (33.8 ± 0.8 %As atoms) e de $412 \pm 36^{\circ}\text{C}$ (33.4 ± 0.6 %As atoms) nas amostras de arsenopirite de Panasqueira.

Estudos adicionais deverão ser ainda desenvolvidos, de forma a se conseguir obter uma estimativa mais correta das temperaturas de cristalização da arsenopirite de Freixo de Numão.



Uma amostra de clorite identificada no contacto com um filão de quartzo mineralizado, serviu para a realização de um estudo mineralógico e geoquímico.

O mineral foi identificado através de Difração de Raios-X (Figura 95), onde o respectivo espectro mostra os planos de difração (00/) típicos para a clorite foram identificados através dos picos 14Å, 7Å, 3.5Å e 2.83 Å. Além da clorite, foi ainda identificado o quartzo através dos planos presentes às 4.21Å e 3.33 Å.



A composição química da clorite caracteriza-se por apresentar valores baixos em Fe/Mg e por uma quantidade reduzida de catiões na posição octaédrica (0.10 a 0.20 per

14 O). Nota-se uma quantidade alta em Si e Al(IV). Podemos considerar que se trata de uma variedade de clorite rica em Mg. Na Tabela 21 apresenta-se a composição química obtida para a clorite.

Tabela 21: Composição química da clorite

Elemento	1	2
SiO ₂	29.49	29.11
TiO ₂	0.01	0.03
Al ₂ O ₃	20.17	20.41
FeO	12.11	12.59
MnO	0.00	0.00
MgO	20.53	19.78
CaO	0.91	0.98
Na ₂ O	0.00	0.00
K ₂ O	0.00	0.00
F	0.00	0.00
Cl	0.0	0.00
Total		
Si	2.99	2.97
Al IV	1.01	1.03
Al VI	1.41	1.43
Ti	0.00	0.01
Fe ³⁺	0.21	0.23
Fe ²⁺	0.78	0.81
Mn	0.00	0.00
Mg	3.15	2.94
Ca	0.00	0.00
Na	0.00	0.00
K	0.00	0.00
Cl	0.02	0.00
OH	7.98	7.99

Um dos geotermómetros da clorite mais utilizados é o de Cathelineau (1988), o qual se define através da seguinte fórmula para estimar a temperatura de cristalização de clorite:

$$T(^{\circ}\text{C}) = (321,98 * Al(IV)) - 61,92$$

A temperatura estimada para a clorite presente na amostra caracterizada neste estudo indica um valor aproximado de 264 °C.

No entanto, se se vai considerar o equilíbrio arsenopirite – As para se estimar a temperatura de cristalização de arsenopirite, pode-se concluir que a temperatura de

cristalização obtida para a clorite é muito inferior à temperatura de cristalização da arsenopirite.

9 PARAGÉNESE MINERAL

A sequência de deposição dos minerais metálicos no sistema filoniano de Numão foi avaliada com base no estudo mineralógico nos filões de quartzo mineralizados e nas rochas encaixantes mineralizadas. As relações geométricas e espaciais entre os diferentes minerais, serviram para a realização deste estudo.

Tendo em conta estes critérios, procedeu-se à esquematização de uma sequência deposicional para as diferentes fases minerais. Deste modo, neste estudo foram definidas duas etapas de metalização principais: uma de natureza tungstífera, representada pela deposição de scheelite (Figura 69) e uma outra etapa de grande evolução, sendo representada pela deposição de sulfuretos e de elementos nativos (Figuras 67 e 73). Os sulfuretos são representados pela presença maioritária de arsenopirite (pelo menos duas gerações distintas) e pela ocorrência de formas mais vestigiais de galena e pirite. No entanto serão necessários mais dados para melhor se distinguirem estas duas gerações de arsenopirite. No que diz respeito aos elementos nativos, ouro, electrum e o bismuto nativo são os minerais que precipitaram posteriormente à cristalização de arsenopirite (Figura 59). Por vezes, o ouro encontra-se presente dentro da massa de arsenopirite, o que sugere uma cristalização simultânea com a arsenopirite. O ouro encontra-se na maioria dos casos analisados numa composição mista com a prata (~20%), tratando-se por isso de “electrum” (Tabelas 5 e 8).

As fases silicatadas de alteração hidrotermal que caracterizam as rochas encaixantes são representadas através do desenvolvimento de sericitização (Figura 42) e de cloritização (figura 46). Também, fenómenos de silicificação foram observados, estando associados com a quartzificação dos grauvaques (Figura 47) e com a presença de veios do quartzo e dos filões de quartzo mineralizados (Figura 57). Posteriormente à sericitização ocorreu uma fase de turmalinização, onde a turmalina aparece sempre nos bordos dos veios de sericite (Figuras 43 e 44). Também, numa fase tardia associada com os filões de quartzo leitoso, aparecem zonas marginais com adulária e clorite das rochas encaixantes (Figura 96).



Figura 96: Amostra de mão de uma zona de filão de quartzo em contacto com rochas quartzíticas com presença de uma associação de adulária e clorite.

Na tabela 22 encontra-se esquematizada a sequência de deposição das diferentes fases minerais que foi definida para o sistema filoniano de Numão.

Tabela 22: Sequencia paragenética dos minerais opacos em função das fases de alteração hidrotermal e meteorização

Minerais opacos	Sericitização	Cloritização	Silicificação	Adularização	Turmalinização
Estágio I					
Óxidos de Ti e W		_____			
Scheelite		_____			
Estágio II					
Bismuto	_____		_____		
Electrum	_____	_____	_____	_____	_____
Ouro	_____		_____	_____	
Arsenopirite I	_____	_____	_____	_____	
Arsenopirite II			_____		
Pirite			_____		
Galena			_____		
Calcopirite			_____		
Sulfossais ??		?	?		
Estágio III					
Escorodite					

10 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Relativamente aos jazigos de ouro do norte de Portugal, verifica-se que a distribuição espacial não é aleatória, estando grande parte destes jazigos associados a zonas de cisalhamento. Em geral, as estruturas mineralizadas, são consideradas como sendo pós-D3 dado cortarem granitos tardi-tectónicos como também metassedimentos de idade Carbonífera. São considerados três estádios principais de mineralização, dos quais o último resulta da sobreposição dos dois primeiros. Independentemente das rochas encaixantes poderem ser granitos ou metassedimentos, os jazigos atuais são o resultado de vários episódios mineralizantes, intrinsecamente relacionados com as zonas de cisalhamento e com processos mais prolongados associados a eventos tardi-tectónicos.

No jazigo filoniano de Freixo de Numão as mineralizações manifestam-se na forma de filões de quartzo subverticais de direção N10 a 20° E, onde se verifica a ocorrência de mineralização maciça de arsenopirite, com ocorrência típica quer no centro do veio, quer nas bordaduras no contacto com o encaixante, que por vezes também se apresenta mineralizado. No que diz respeito à tectónica da região, trata-se de um flanco de uma dobra de metassedimentos do Complexo Xisto-Grauváquico, numa posição também subvertical, com direção N100 a 110° E. A lito-estratigrafia desta região é constituída essencialmente por alternâncias de filitos, grauvaques e quartzitos. Já ficou demonstrado nos capítulos anteriores que ambas as litologias, nomeadamente os filitos e os grauvaques não apresentam diferenças substanciais ao nível químico e mineralógico. Da mesma forma, comprovou-se que a distinção entre quartzitos e metagrauvaques está no facto de nesta última litologia existirem grandes quantidades de arsenopirite com cristais euédricos milimétricos.

Os trabalhos de prospeção geológica desenvolvidos na área em estudo consistiram numa série de sondagens, estrategicamente projetadas de forma a intercetarem as estruturas mineralizadas, com o objetivo de permitir a construção de um modelo geológico da mineralização. Nas fases mais precoces foram efetuadas trincheiras, que é um método mais expedito de prospeção geológica, bem como diversos estudos de geofísica. A cartografia geológica foi outra atividade essencial para o desenvolvimento dos trabalhos de prospeção. Posteriormente, realizou-se uma galeria de prospeção experimental cujo objetivo foi o de intercetar as estruturas previamente identificadas quer pela cartografia e sondagens, quer pelos diversos métodos geofísicos.

Durante a realização deste estágio houve oportunidade de aplicar alguns conceitos teóricos e também de desenvolver atividades de prospeção geológica, apesar

de não ter sido possível acompanhar todo o processo desde o seu início. As atividades mais relevantes incluíram cartografia geológica, acompanhamento de abertura de trincheiras e da execução de uma sondagem carotada e realização do respetivo “log”, recolha de amostras para análise química e registo e manutenção de uma base de dados.

A componente laboratorial consistiu da realização de um estudo mineralógico e geoquímico das litologias metassedimentares, bem como, o estudo da mineralização de ouro do jazigo filoniano de Freixo de Numão. Entre as principais conclusões estão as referidas anteriormente em relação às diferenças, ou ausência de diferenças significativas, entre algumas das litologias metassedimentares. Durante o estudo petrográfico concluiu-se também que a mineralização de ouro está intrinsecamente associada à arsenopirite, onde o ouro se aloja nos espaços intragranulares e microfracturas dos cristais de arsenopirite, quer da arsenopirite dos metaquartzovaques como a arsenopirite dos filões de quartzo. Também se verificou a abundância de óxidos de titânio nos quartzovaques, e a presença de bismuto na arsenopirite em ambas as litologias metassedimentares e filões de quartzo. Ainda nos quartzovaques se verificou a presença de scheelite, e a presença abundante de zircão (como foi de facto assinalado nas análises químicas dos elementos maiores).

Laboratorialmente, também o uso de geotermómetros permitiu estimar as respectivas temperaturas de cristalização da arsenopirite, entre 350 °C e a da clorite de 260 °C.

De uma forma geral, este trabalho consistiu sobretudo numa contribuição para o estudo de uma área que ainda se encontra numa fase precoce de estudo. Ainda que já anteriormente tenham sido efetuados variados trabalhos de prospeção geológica nessa área, continuam a subsistir bastantes dúvidas relativamente às características da mineralização, bem como, ao potencial mineiro do jazigo. Deste modo, as análises petrográficas das amostras estudadas, mesmo não sendo suficientes para uma análise mais completa acerca da natureza do jazigo, possibilitaram sobretudo uma análise complementar da sua mineralogia, confirmando ao mesmo tempo e em parte o estudo petrográfico realizado anteriormente. Assim, os resultados obtidos poderão constituir uma ajuda importante quanto aos objetivos estabelecidos pela empresa, relativamente à exploração da área.

Para finalizar, perante as dificuldades encontradas durante os trabalhos de prospeção realizados, será ainda importante referir que o jazigo filoniano de Freixo de Numão carece de uma interpretação ainda mais completa relativamente à natureza das

estruturas mineralizadas em ouro, pelo que, no futuro deveriam ser efetuados mais estudos complementares aprofundados, de modo a dar mais respostas aos problemas encontrados durante os trabalhos de prospeção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, A., e Noronha, F., 1998, Fluid associated with W and Au-Ag deposits of the Mirandela area, Ne Portugal: an example of peri-granitic zoning: Bull. Mineral, v. 111, p. 331–341.
- Argles, T.W., Coe, A.L., Rothery, D.A., and Spicer, R.A., 2010, Geological Field Techniques: v. 106, 336 p., doi: 10.2113/econgeo.106.1.159.
- Barton, P.B., 1991, Ore Textures: Problems and Opportunities: Mineralogical Magazine, v. 55, p. 303–315, doi: 10.1180/minmag.1991.055.380.02.
- Le Bas, M.J., W, L.M.R., Streckeisen, A., e Zanettin, B., 1986, A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram: Journal of Petrology, v. 27, p. 745–750, doi: 10.1093/petrology/27.3.745.
- Brink, A.H., 1960, Petrology and Geology of the Vila Real-Sabrosa-V.P. Aguiar region, northern Portugal: Com. Serv. Geo. Portugal T.43,.
- Cathelineau, M., 1988, CATION SITE OCCUPANCY IN CHLORITES AND OF T E M P E R A T U R E: Clay Minerals, v. 23, p. 471–485.
- Cathelineau Boiron, M., Essarraj, S., Barakat, A., Garcia Palomero, F., Urbano, R., Toyos, J., Florido, P. . ., M., 1993, Major structural factors of Au concentrations in the Northwestern Iberian Massif (Spain-Portugal): a multidisciplinary and multiscale study: En: Current Research in geology applied to ore deposits, Fenoll,P., Torres,J., Gervilla,F. (eds.), pp.613-616, v. En: Curren.
- Cerveira, A., 1947, Notas sobre uma mina de ouro na serra da Louzã: Bol. Soc. Geol. Portugal, VI,3, p. 245–254.
- Cerveira, A., 1952, Relações entre os jazigos hipogénicos de ouro e tungsténio: Bol. Soc. Geol. Portugal, 10, p. 133–144.
- Couto, H., Roger, G., Moelo, Y., and Bril, H., 1990, Le District a antimoine-or Dúrico-Beirão Portugal: Evolution paragenétique et geochimique; implications metallogéniques: Min. Deposita 25 (supp), p. 69–81.
- Dallmeyer, R.D., and Martinez-Garcia, E., 1990, Pre-Mesozoic Geology of Iberia:
- Dedavid, B.A., Gomes, C.I., and Machado, G., 2007, MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA - Aplicações e preparação de amostras - Materiais Poliméricos, metálicos e semicondutores: Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP), p. 60, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Dias, R., and Basile, C., 2013, Estrutura dos sectores externos da Zona Sul Portuguesa; implicações geodinâmicas: Geologia de Portugal, v. 1, p. 707–807, <http://hdl.handle.net/10174/7877>.
- Dias, R., e Ribeiro, A., 1995, The Ibero-Armorican Arc: A collision effect against an irregular continent? Tectonophysics, v. 246, p. 113–128, doi: 10.1016/0040-1951(94)00253-6.
- Dória, A., e Marques, M., 2008, Microscopia de reflexão: aplicação à caracterização de materiais geológicos: GEOlogos 7, urso Técnicas Aplicadas à Análise Físico-Química de Minerais,p: 11-22.,.
- Ferreira, M.R., 1971, Jazigos uraníferos portugueses. Jazigos de Au-Ag sulfuretos do Norte de Portugal: Livro guia de excursão nº5, I. C.H.L.A.G.E. Lisboa.,.

- Ferreira da Silva, A., Almeida Rebelo, J., e Luísa Ribeiro, M., 1989, Notícia Explicativa da carta geológica 11-C Torre-de-Moncorvo na escala de 1/50.000. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa
- Ferreira da Silva, E., Ribeiro, A., and Ribeiro, M.L., 1990, Carta Geológica 15-A Vila Nova de Foz Coa na escala de 1/50.000. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa
- Galopim de Carvalho, A.M., 2011, Dicionário de Geologia (Â. Editora, Ed.): Lisboa, 486 p.
- Jaques, L., e Pascal, C., 2017, Full paleostress tensor reconstruction using quartz veins of Panasqueira Mine, central Portugal; part I: Paleopressure determination: Journal of Structural Geology, v. 102, p. 58–74, doi: 10.1016/j.jsg.2017.07.006.
- Kelly, W.C., e Rye, R.O., 1979, Geologic, fluid inclusion, and stable isotope studies of the tin-tungsten deposits of Panasqueira, Portugal: Economic Geology, v. 74, p. 1721–1822, doi: 10.2113/gsecongeo.74.8.1721.
- Kretschmar, U., e Scott, S.D., 1976, PHASE INVOLVING Fe-As-S AND THEIR APPLICATION: v. 14.
- Marques, F.O., Mateus, A., e Tassinari, C., 2002, The Late-Variscan fault network in central-northern Portugal (NW Iberia): A re-evaluation: Tectonophysics, v. 359, p. 255–270, doi: 10.1016/S0040-1951(02)00514-0.
- Martinez Catalán, J., Arenas, R., e Díez Balda, M., 2004, Extensión y metamorfismo de baja presión en el Manto de Mondoñedo: J. Vera (Ed), Geología de España, p. 58–59.
- Matte, P., 1991, Accretionary history e crustal evolution of the Variscan belt in Western Europe: v. 196, p. 309–337.
- Maurel-Palacin, D., 1985, Étude des filons polymétalliques (W, Au, Ag...) au sud de Mirandela (Trás-os-Montes Portugal). Relations avec les granites.: 214 p.
- Maurel-Palacin, D., Noronha, F., e Roger, G., 1987, Les massifs granitiques de Santa Comba da Vilariça et de Pedra Luz (Trás-os-Montes, Portugal) et les mineralizations associées.: Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, Memórias nº1, p. 303–336.
- Meireles, C., e Carvalho, J., 1992, Proposta de enquadramento metalogénico das ocorrências de Au em Portugal: XIV Reunión de Xeología e Minería do N.O. Peninsular,.
- Neiva, A.M.R., 1992, Geochemistry and evolution of Jale granitic system, northern Portugal: Chem. Erde., 52, p. 225–241.
- Neiva, J.M.C., e Neiva, A.M.R., 1990, The gold area of Jales (northern Portugal): Terra Nova, v. 2, p. 243–254.
- Noronha, F., Cathelineau, M., Ribeiro, M.A., Boiron, C., Banks, D.A., Dória, A., Nogueira, P., e Guedes, A., 2000, A three stage fluid flow model for Variscan gold metallogenesis in northern Portugal: v. 71, p. 209–224.
- Noronha, F., e Ramos, J.M.F., 1993, Mineralizações auríferas primárias no norte de Portugal. Algumas reflexões: Cuaderno Lab. Xeológico de Laxe, v. 18, p. 133–146.
- Oliveira, J.M.S., 1990, Geological, mineralogical and lithogeochemical studies in the Gois and Vila Pouca de Aguiar-Vila Real region, Portugal: Est. Not. Trab. D.G.G.M., v. 32, p. 35–75.
- Oliveira, J.M.S., e Farinha, J.A., 1987, Estudos de geoquímica aplicada na região aurífera vizinha de Três Minas (Vila Pouca de Aguiar, Norte de Portugal): Est. Not. Trab. D.G.G.M., v. 29, p. 3–25.

- Pereira, E., 1988, Soco Hercínico da Zona Centro-Ibérica: *Geonovas*, v. 10, p. 13–55.
- Pereira, E., Ribeiro, A., e Meireles, C., 1993, Cisalhamentos hercínicos e controlo das mineralizações de Sn-W , Au e U na Zona Centro-Ibérica , em Portugal: v. 18, p. 89–119.
- Quesada, C., 1991, Geological constraints on the Paleozoic tectonic evolution of tectonostratigraphic terranes in the Iberian Massif: *Tectonophysics*, v. 185, p. 225–245, doi: 10.1016/0040-1951(91)90446-Y.
- Ribeiro, A., 2013, A Evolução Geodinâmica de Portugal; os ciclos ante-mesozóicos: v. *Geologia*, p. 15–57.
- Ribeiro, A., 1980, Place dans le cadre européen: Introduction à la Géologie Générale du Portugal, p. 3–7.
- Ribeiro, A., Kullberg, M.C., Kullberg, J.C., Manuppella, G., e Phipps, S., 1990, A review of Alpine tectonics in Portugal: Foreland detachment in basement and cover rocks: *Tectonophysics*, v. 184, p. 357–366, doi: 10.1016/0040-1951(90)90448-H.
- Schermerhorn, L.J.C., 1981, Framework and evolution of hercynian mineralization in the Iberian meseta: *Leidse Geol. Med.*, v. 52, p. 23–36.
- Sharp, Z.D., Essene, E.J., e Kelly, W.C., 1985, A re-examination of the arsenopyrite geothermometer: Pressure considerations and applications to natural assemblages: the *Canadian Mineralogist*, v. 23, p. 517–534, http://rruff.info/uploads/CM23_517.pdf.
- Sousa, M.B., e Ramos, 1991, Características geológico-estruturais e químico-mineralógicas das jazidas auríferas da região de Penadono-Tabuaço (Viseu-Portugal).: *Est. Not. Trab. D.G.G.M.*, v. 33, p. 247–276.
- Villaseca, C., Merino, E., Oyarzun, R., Orejana, D., Pérez-Soba, C., e Chicharro, E., 2014, Contrasting chemical and isotopic signatures from Neoproterozoic metasedimentary rocks in the Central Iberian Zone (Spain) of pre-Variscan Europe: Implications for terrane analysis and Early Ordovician magmatic belts: *Precambrian Research*, v. 245, p. 131–145, doi: 10.1016/j.precamres.2014.02.006.