



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências da Terra

**Ensaio de prospecção biogeoquímica em espécies
aquáticas e terrestres na bacia da ribeira da Celavisa
(Góis)**

Igor Fernando Batista Pereira Morais

Mestrado em Geociências
Recursos Geológicos

Orientação científica

Prof. Doutor João António Mendes Serra Pratas, Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade de Coimbra

Setembro, 2013

“Foi nessa altura que, em profusão de diversidade internacional, apareceram os geólogos (...) Agora chegaram em força os sábios da terra e das terras, os averiguadores de movimentos e acidentes, estratos e blocos erráticos, de martelinho na mão, batendo em tudo quanto fosse pedra ou pedra parecesse”

José Saramago
“Jangada de Pedra”

*Por opção do autor, esta dissertação foi escrita segundo as regras anteriores ao novo acordo ortográfico.

Resumo

A biogeoquímica é uma das técnicas que recentemente é utilizada na prospecção de jazigos minerais. Determinadas espécies aquáticas e terrestres podem ser seleccionadas como indicadores de mineralizações, portanto capazes de detectar a poluição natural presente no solo ou sedimento de corrente, as quais podem ser aplicadas à prospecção mineira. Com esse objectivo utilizou-se esta técnica com o intuito de detectar jazigos minerais na Bacia Hidrográfica da Ribeira da Celavisa (Góis, Coimbra, Portugal Central). A região de Góis tem sido alvo de exploração mineira desde a antiguidade (Romanos), sendo exemplo os vestígios arqueológicos encontrados na Escádia Grande, Fonte Limpa, Cabeçadas e ainda mais recentemente as explorações de Senhora da Guia e Vale Pião.

O material amostrado englobou plantas aquáticas e terrestres, sedimentos de corrente, solos e filões, tendo sido sujeita a análise química de As, Sb, Ag, Au, Sn, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co e Cd por técnicas de espectrofotometria de absorção atómica e, no caso do W por recurso a técnicas colorimétricas.

Esta metodologia permitiu definir áreas potencialmente anómalas em As, Sb, Ag, Au, W e Sn tanto em sedimentos de corrente como em solos, que poderão ser alvo de futuros trabalhos de pormenor.

Os filões existentes na região estão mineralizados, podendo ser encontrados teores de 4,2 g/t de Ag e 7,4 g/t de Au.

Os dados biogeoquímicos mostram que as espécies estudadas são capazes de fornecer indicações sobre a presença de contaminações pedogeoquímicas e nas drenagens da bacia, geradas pelas diferentes mineralizações. No entanto, as respostas fornecidas diferem de espécie para espécie tendo sido feita uma selecção de espécies que melhor poderiam ser utilizadas nesta técnica.

Palavras-chave: biogeoquímica, prospecção, jazigos minerais, Góis, plantas aquáticas, plantas terrestres

Abstract

The biogeochemistry is a technique that is recently used in the prospection of mineral deposits. Certain aquatic and terrestrial species can be selected as indicators of mineralization, therefore able to detect natural pollution in soil or stream sediment, which can be applied to mining exploration. With this purpose we used this technique in order to detect mineral deposits in the Hydrographic Basin of Ribeira Celavisa (Gois, Coimbra, central Portugal). The region of Gois has been subject to mining exploration since ancient times (Romans), as we can see in the archaeological remains found in Escádia Grande, Fonte Limpa, Cabeçadas and even more recently in the mining of Senhora da Guia and Vale Pião.

The sampled material comprised aquatic and terrestrial plants, stream sediments, soil and veins, having been subjected to chemical analysis of As, Sb, Ag, Au, Sn, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co and Cd by spectrophotometer techniques of atomic absorption, and in the case of W by use of colorimetric techniques.

This methodology allowed defining potentially anomalous areas in As, Sb, Ag, Au, W and Sn in both stream sediments and soils, which may be the subject of more detailed studies in the future.

The veins in the region are mineralized and we can find levels of 4.2 g / t Ag and 7.4 g / t Au.

Biogeochemical data show that these species are able to provide information on the presence of pedogeochemical contamination in the basin drainage, generated by different mineralization. However, the responses given vary from species to species, having been made a selection of species that could be better used in this technique.

Key-words: biogeochemistry, prospection, mineral deposits, Góis, aquatic plants, terrestrial plants

Agradecimentos

Em primeiro lugar queria agradecer ao Prof. Doutor João Pratas orientador científico desta tese, pela sugestão do tema e por toda a confiança e incentivo transmitidos ao longo deste últimos anos. Agradeço ainda pela amizade, ensinamentos e pela colaboração tanto nos trabalhos de campo como na planificação e concretização das actividades e elaboração desta dissertação.

Ao Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, na pessoa do Professor Doutor Alcides Pereira, enquanto Director do departamento, agradeço todas as facilidades concedidas.

Aos meus pais agradeço-lhes por tudo, pois não há palavras para descrever o constante encorajamento e apoio dados durante os últimos anos. Ainda um especial agradecimento aos meus tios por me apoiarem ao longo destes anos e pelos conselhos que me foram dando. Aos familiares e amigos mais chegados fico grato por toda a motivação transmitida.

Gostaria de agradecer a todos os professores que contribuíram para a minha formação académica ao longo destes anos de curso e a todos os funcionários do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, em particular às funcionárias da biblioteca, a Doutora Cristina Brojo e a Dona Conceição por toda a incansável ajuda de pesquisa bibliográfica.

Ao Eng.^o Augusto Filipe da Unidade de Recursos Minerais e Geofísica do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, pela cedência de bibliografia sobre a área em estudo

Um especial agradecimento à minha colega Joana por ser uma fiel amiga ao longo destes anos, a toda ajuda dada ao longo dos últimos dois anos tanto nos trabalhos científicos desenvolvidos no Laboratório de Biogeoquímica quer em todo o trabalho de campo e laboratorial desenvolvido ao longo desta tese.

À Daniela por todo o carinho e ajuda no trabalho de campo como fotografa.

A todos os meus amigos e colegas pela ajuda e camaradagem que demonstraram ao longo destes anos de convívio, em particular à Andreia Castro, Liliana, Marta Mateus, Marta Reis, Tânia Soares, e Teresa Alves.

A todos um sincero obrigado!

Índice

	pág
Resumo	II
Abstract	III
Agradecimentos	IV
Índice de figuras	VIII
Índice de tabelas	XI
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 – Importância e enquadramento do tema estudado	1
1.2 – Escolha da zona de estudo	2
1.3 – Trabalhos anteriores na área estudada	2
1.4 – Objectivos	3
Capítulo 2 – Biogeoquímica	4
2.1 – Resenha histórica	4
2.2 – Solos e seus constituintes	4
2.2.1 – Constituintes minerais	5
2.2.2 – Organismos	6
2.2.3 – Matéria orgânica	6
2.3 – Absorção e utilização de elementos pelas plantas	6
2.3.1 – Floras características	8
2.3.2 – Plantas indicadoras	8
2.3.3 – Musgos e líquenes como indicadores de mineralização	9
2.4 – Orientação de uma campanha de prospecção biogeoquímica	10
2.4.1 – Selecção de áreas	10
2.4.2 – Selecção de plantas a amostrar	10
2.4.3 – Colheita e acondicionamento das amostras	11
Capítulo 3 – Enquadramento da área estudada	12
3.1 – Enquadramento geográfico e geomorfológico	12
3.2 – Enquadramento geológico	13
3.2.1 – Enquadramento no Maciço Ibérico	13
3.2.2 – Enquadramento metalogenético	15
3.2.3 – Geologia local (ribeira da Celavisa)	19
3.2.3.1 – Depósitos recentes de aluvião	19
3.2.3.2 – Depósitos do Terciário	19

3.2.3.3 – Formações metassedimentares do Paleozóico	20
3.2.3.4 – Rochas filonianas	20
3.2.4 – Tectónica	21
3.3 – Trabalhos mineiros	24
Capítulo 4 – Metodologias	27
4.1 – Trabalho de campo	27
4.1.1 - 1ª Fase	27
4.1.2 - 2ª Fase	27
4.2. Trabalho de laboratório	31
4.2.1 - Tratamento das amostras	31
4.2.1.1 – Plantas	31
4.2.1.2 - Sedimentos, solos e filões	31
4.2.2 - Técnicas analíticas	32
4.2.2.1 - Determinação de Au em plantas.	32
4.2.2.2 - Determinação de Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb e Zn em plantas.	33
4.2.2.3 - Determinação de Ag, As, Au, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, Sn e Zn em sedimentos, solos e filões.	33
4.2.2.4 – Determinação de W em plantas	33
4.2.2.5 – Determinação de W em sedimentos.	34
4.3. Tratamento de dados	34
4.3.1 - Correlação entre as variáveis	34
4.3.2 - Análise em componentes principais (ACP)	35
Capítulo 5 – Resultados e discussão	36
5.1 - 1ª Fase (amostragem de linhas de água)	36
5.1.1 - Sedimentos de linha de água	36
5.1.1.1 - Composição química	36
5.1.1.2 - Análise em componentes principais	39
5.1.2 - Macrófitas aquáticas	42
5.1.2.1 - <i>Oenathe crocata</i>	42
5.1.2.2 – <i>Apium nodiflorum</i>	45
5.1.2.3 – <i>Fontinalis antipyretica</i>	48
5.1.2.4 – Restantes espécies	51
5.2 – 2ª Fase (amostragem de perfis de solos e filões)	53
5.2.1 – Solos	53

5.2.1.1 – Distribuição espacial dos elementos nos perfis de solos	55
5.2.1.2 – Análise em componentes principais	58
5.2.2 – Filões	61
5.2.3 - Plantas terrestres	62
5.2.3.1 - <i>Pinus pinaster</i> Aiton	64
5.2.3.2 - <i>Eucalyptus globulus</i>	67
5.2.3.3 - <i>Pterospartum tridentatum</i>	73
5.2.3.4 - Restantes espécies	76
5.3 – Discussão das anomalias	81
5.3.1 – Selecção de espécies	81
5.3.1.1 – Selecção de espécies aquáticas (1ª fase)	82
5.3.1.2 – Selecção de espécies terrestres (2ª fase)	83
5.3.2 - Representação das anomalias	85
5.3.2.1 - Sedimentos de corrente	86
5.3.2.2 - Plantas aquáticas	88
5.3.2.3 - Solos e plantas terrestres perfil PL	89
5.3.2.4. Solos e plantas terrestres perfil PV e MR	92
Capítulo 6 – Conclusões e recomendações	94
Bibliografia	96
Anexos	100

Índice de Figuras

Figura 2.1 -	Elementos vestigiais nos solos comparados com a sua abundância na litosfera. Círculos abertos, teor médio na litosfera; círculos pretos, teor médio em solos; linhas verticais, valores encontrados normalmente nos solos (Kabata–Pendias & Pendias, 2001).	5
Figura 2.2 -	Padrões de acumulação de metais e metalóides em plantas, em função da disponibilidade no solo (Favas, 2008).	7
Figura 3.1 -	Localização geográfica da área em estudo (adaptado de Carta Militar de Portugal nº243 (Góis); 1:25000, do Serviço Cartográfico do Exército, 1992).	12
Figura 3.2 -	Mapa do relevo da área em estudo	13
Figura 3.3 -	Grandes unidades estruturais de primeira ordem (terrenos) e de segunda ordem (zonas), do Maciço Ibérico, segundo Ribeiro (2006)	14
Figura 3.4 -	Esquema da Zona Centro-Ibérica e subdivisão em domínios segundo critérios estratigráficos, segundo Martínez Catalán <i>et al</i> , (2004).	15
Figura 3.5 -	Províncias mineralogénicas do Maciço Hespérico (A) – antehercínicas e hercínicas e (B) – pós-hercínicas adaptado de Thadeu (1965)	15
Figura 3.6 -	Minas e ocorrências de Sn/W na Zona Centro Ibérica, adaptado de Pereira (1993)	17
Figura 3.7 -	Minas e ocorrências de Au na Zona Centro Ibérica, adaptado de Pereira <i>et al</i> (1993).	18
Figura 3.8 -	Carta Geológica da área em estudo. FLS – Falha Lousã-Seia, FPSG – Falha Piães-Senhora da Guia, FRP – Falha Ribeira de Piães. Adaptado e complementado de DGGM 1986	22
Figura 3.9 -	Região de Góis: a) vista panorâmica da ribeira da Celavisa; b) Formação Campelo ; c) vista sob o cabeço do Vieiro; d) filões de quartzo mineralizados do Vieiro; e) mina Romana; f) escombrelas da antiga mina de Vale Pião	23
Figura 3.10 -	Mapa com as concessões do Couto Mineiro de Góis	26
Figura 4.1 -	Localização dos pontos de amostragem relativos à 1ª Campanha (adaptado de Carta Militar de Portugal nº243 (Góis); 1:25000, do Serviço Cartográfico do Exército, 1992)	28
Figura 4.2 -	Campanhas de amostragem: a) e d) amostragem de sedimentos de corrente; b) amostragem de plantas aquáticas; c) plantas aquáticas no laboratório; e) vista panorâmica sobre a zona do perfil PV; f) filão amostrado.	29

Figura 4.3 -	Localização dos pontos de amostragem na zona de Vale Maceira	30
Figura 4.4 -	Localização dos pontos de amostragem na zona do Vieiro	30
Figura 4.5 -	Localização dos pontos de amostragem na zona da antiga mina Romana	31
Figura 5.1 -	Gráficos box & whisker plot dos elementos químicos dos sedimentos de linha de água.	37
Figura 5.2 -	Gráfico das correlações observadas nos sedimentos entre o Zn e o As e o Pb e Zn.	38
Figura 5.3 -	Projecção das variáveis nos primeiros quatro planos factoriais, relativas aos sedimentos de corrente da ribeira da Celavisa	40
Figura 5.4 -	Projecção das amostras de sedimentos nos primeiros 4 planos factoriais	41
Figura 5.5 -	Projecção das variáveis nos dois primeiros planos factoriais, relativas às amostras de <i>Oenanthe crocata</i>	45
Figura 5.6 -	Projecção das amostras de <i>Oenanthe crocata</i> no primeiro plano factorial	45
Figura 5.7 -	Projecção das variáveis no primeiro plano factorial, relativas às amostras de <i>Apium nodiflorum</i>	48
Figura 5.8 -	Projecção das amostras de <i>Apium nodiflorum</i> no primeiro plano factorial	48
Figura 5.9 -	Projecção das variáveis nos dois primeiros planos factoriais, relativas às amostras de <i>Fontinalis antipyretica</i>	50
Figura 5.10 -	Projecção das amostras de <i>Fontinalis antipyretica</i> no primeiro plano factorial	51
Figura 5.11 -	Variação dos teores de: (a) As; (b) Sb; (c) Ag; (d) Au; (e) Sn; (f) Cu; (g) Pb; (h) Zn; (i) Cr; (j) Ni; (k) Co e (l) Cd ao longo dos perfis efectuados na área em estudo.	56
Figura 5.12 -	Projecção das variáveis nos primeiros três planos factoriais, relativas aos solos da totalidade da área em estudo.	60
Figura 5.13 -	Projecção das amostras de solos nos primeiros dois planos factoriais	60
Figura 5.14 -	Projecção das variáveis no primeiro plano factorial, relativas às amostras de <i>Pinus pinaster</i> Aiton	66
Figura 5.15 -	Projecção das amostras de <i>Pinus pinaster</i> Aiton no primeiro plano factorial	66
Figura 5.16 -	Projecção das variáveis nos dois primeiros planos factoriais, relativas aos ramos da espécie <i>Eucalyptus globulus</i> .	71

Figura 5.17 - Projecção das variáveis nos dois primeiros planos factoriais, relativas às folhas da espécie <i>Eucalyptus globulus</i>	72
Figura 5.18 - Projecção das variáveis nos dois primeiros planos factoriais, relativas às amostras da espécie <i>Pterospartum tridentatum</i> .	75
Figura 5.19 - Localização das zonas anómalas para os sedimentos de corrente	87
Figura 5.20 - Variação dos teores de: (a) As; (b) Sb; (c) Ag e (d) Au para a espécie <i>Pinus pinaster</i> ao longo do perfil PL	90

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 -	Listagem de algumas espécies seleccionadas com base na razão teor máximo (L_1) e o teor do fundo biogeoquímico (L_0) (Pratas, 1996).	9
Tabela 3.1 -	Províncias mineralogénicas do Maciço Hespérico	16
Tabela 3.2 -	Concessões do Couto Mineiro de Góis (DGGM, 1986).	25
Tabela 4.1 -	Técnicas analíticas utilizadas (*- Standard Methods for Examination of Water and Wastewater)	32
Tabela 5.1 -	Valores estatísticos dos dados correspondentes aos sedimentos de linha de água da Ribeira da Celavisa ($n=16$; < l.d – abaixo do limite de detecção)	37
Tabela 5.2 -	Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson dos dados correspondentes às amostras de sedimentos de linha de água da Ribeira da Celavisa ($n = 16$; os coeficientes de correlação linear significativos para $p < 0,05$ estão a negrito).	38
Tabela 5.3 -	Valores próprios, percentagem de variância explicada dos eixos factoriais resultantes da ACP dos sedimentos de linha de água da Ribeira da Celavisa	39
Tabela 5.4 -	Coordenadas das variáveis nos cinco primeiros eixos resultantes da ACP dos sedimentos de corrente da Bacia da Celavisa. Os pesos dentro de cada eixo factorial iguais ou superiores a 0,5 encontram-se a negrito	39
Tabela 5.5 -	Valores máximo das anomalias e valor do background para os sedimentos de linha de água da área em estudo calculados a partir de ACP (valores em mg/kg com excepção do Sb, Ag e Au que é expresso em $\mu\text{g}/\text{kg}$)	41
Tabela 5.6 -	Valores estatísticos dos dados correspondentes à espécie <i>Oenanthe crocata</i> ($n=16$; < l.d – abaixo do limite de detecção)	42
Tabela 5.7 -	Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson dos dados correspondentes às amostras de <i>Oenanthe crocata</i> ($n = 16$; os coeficientes de correlação linear significativos para $p < 0,05$ estão a negrito).	43
Tabela 5.8 -	Valores próprios, percentagem de variância explicada dos eixos factoriais resultantes da ACP da <i>Oenanthe crocata</i>	43
Tabela 5.9 -	Coordenadas das variáveis nos cinco primeiros eixos resultantes da ACP das amostras de <i>Oenanthe crocata</i> . Os pesos dentro de cada eixo factorial iguais ou superiores a 0,5 encontram-se a negrito	44
Tabela 5.10 -	Valores estatísticos dos dados correspondentes à espécie <i>Apium nodiflorum</i> ($n=6$; < l.d – abaixo do limite de detecção; - não calculado)	46

Tabela 5.11 - Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson dos dados correspondentes às amostras de <i>Apium nodiflorum</i> (n = 6; os coeficientes de correlação linear significativos para p < 0,05 estão a negrito).	46
Tabela 5.12 - Valores próprios, percentagem de variância explicada dos eixos factoriais resultantes da ACP da <i>Apium nodiflorum</i>	47
Tabela 5.13 - Coordenadas das variáveis nos cinco primeiros eixos resultantes da ACP das amostras de <i>Oenanthe crocata</i> . Os pesos dentro de cada eixo factorial iguais ou superiores a 0,5 encontram-se a negrito	47
Tabela 5.14 - Valores estatísticos dos dados correspondentes à espécie <i>Fontinalis antipyretica</i> (n=6; < l.d – abaixo do limite de detecção)	48
Tabela 5.15 - Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson dos dados correspondentes às amostras de <i>Fontinalis antipyretica</i> (n = 6; os coeficientes de correlação linear significativos para p < 0,05 estão a negrito).	49
Tabela 5.16 - Valores próprios, percentagem de variância explicada dos eixos factoriais resultantes da ACP da <i>Fontinalis antipyretica</i>	49
Tabela 5.17 - Coordenadas das variáveis nos cinco primeiros eixos resultantes da ACP das amostras de <i>Fontinalis antipyretica</i> . Os pesos dentro de cada eixo factorial iguais ou superiores a 0,5 encontram-se a negrito	50
Tabela 5.18 - Valores máximos e mínimos para as restantes espécies amostradas. Para as espécies que apenas foram amostradas em um ponto está representado apenas o valor obtido (<l.d abaixo do limite de detecção).	52
Tabela 5.19 - Valores estatísticos dos dados correspondentes à campanha de amostragem de solos (n=19; < l.d – abaixo do limite de detecção)	54
Tabela 5.20 - Médias e variações dos teores dos elementos químicos em cada um dos perfis da área (valores em mg/kg com excepção do Sb, Ag e Au que é expresso em µg/kg; <l.d – abaixo do limite de detecção).	54
Tabela 5.21 - Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson dos dados correspondentes às amostras de solos da totalidade da área (n = 19; os coeficientes de correlação linear significativos para p < 0,05 estão a negrito).	55
Tabela 5.22 - Valores próprios, percentagem de variância explicada dos eixos factoriais resultantes da ACP dos solos da totalidade da área.	58
Tabela 5.23 - Coordenadas das variáveis nos cinco primeiros eixos resultantes da ACP das amostras de solos. Os pesos dentro de cada eixo factorial iguais ou superiores a 0,5 encontram-se a negrito	59

Tabela 5.24 -	Valores máximos das anomalias e valor do background para cada um dos perfis e para a totalidade da área calculados a partir de ACP (valores em mg/kg com excepção do Sb, Ag e Au que é expresso em µg/kg)	61
Tabela 5.25 -	Teores médios globais encontrados para cada um dos filões amostrados (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg).	61
Tabela 5.26 -	Valores médios em plantas para cada um dos elementos segundo diversos investigadores	63
Tabela 5.27 -	Valores estatísticos dos dados correspondentes à campanha de amostragem de <i>Pinus pinaster</i> Aiton e respectivos solos (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg; <l,d abaixo do limite de detecção)	64
Tabela 5.28 -	Valores próprios, percentagem de variância explicada dos eixos factoriais resultantes da ACP da espécie <i>Pinus pinaster</i> Aiton.	65
Tabela 5.29 -	Coordenadas das variáveis nos cinco primeiros eixos resultantes da ACP da espécie <i>Pinus pinaster</i> Aiton , Os pesos dentro de cada eixo factorial iguais ou superiores a 0,5 encontram-se a negrito	66
Tabela 5.30 -	Valor do background calculado para a espécie <i>Pinus pinaster</i> Aiton (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg)	66
Tabela 5.31 -	Valores estatísticos dos dados correspondentes à campanha de amostragem de ramos de <i>Eucalyptus globulus</i> e respectivos solos (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg; <l,d abaixo do limite de detecção)	68
Tabela 5.32 -	Valores estatísticos dos dados correspondentes à campanha de amostragem de folhas de <i>Eucalyptus globulus</i> e respectivos solos (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg; <l,d abaixo do limite de detecção)	69
Tabela 5.33 -	Valores próprios, percentagem de variância explicada dos eixos factoriais resultantes da ACP dos ramos da espécie <i>Eucalyptus globulus</i> .	70
Tabela 5.34 -	Coordenadas das variáveis nos cinco primeiros eixos resultantes da ACP dos ramos da espécie <i>Eucalyptus globulus</i> , Os pesos dentro de cada eixo factorial iguais ou superiores a 0,5 encontram-se a negrito	70
Tabela 5.35 -	Valores próprios, percentagem de variância explicada dos eixos factoriais resultantes da ACP das folhas da espécie <i>Eucalyptus globulus</i> .	71
Tabela 5.36 -	Coordenadas das variáveis nos cinco primeiros eixos resultantes da ACP das folhas da espécie <i>Eucalyptus globulus</i> , Os pesos dentro de cada eixo factorial iguais ou superiores a 0,5 encontram-se a negrito	72

Tabela 5.37 - Valor do background calculado para a espécie <i>Eucalyptus globulus</i> (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg)	72
Tabela 5.38 - Valores estatísticos dos dados correspondentes à campanha de amostragem de <i>Pterospartum tridentatum</i> para o perfil PV e MR (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg; <l,d abaixo do limite de detecção)	73
Tabela 5.39 - Valores próprios, percentagem de variância explicada dos eixos factoriais resultantes da ACP das amostras de <i>Pterospartum tridentatum</i> .	74
Tabela 5.40 - Coordenadas das variáveis nos cinco primeiros eixos resultantes da ACP das folhas da espécie <i>Pterospartum tridentatum</i> . Os pesos dentro de cada eixo factorial iguais ou superiores a 0,5 encontram-se a negrito	75
Tabela 5.41 - Valor do background calculado para a espécie <i>Pterospartum tridentatum</i> (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg)	75
Tabela 5.42 - Teores máximos, mínimos e média do CAB para as restantes espécies vegetais analisadas (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg; <l,d abaixo do limite de detecção; - não calculado)	77
Tabela 5.43 - Razão entre o teor máximo (L_1) e o teor do fundo biogeoquímico (L_0) para algumas espécies aquáticas estudadas.	82
Tabela 5.44 - Síntese interpretativa de possíveis espécies aquáticas bioindicadoras	83
Tabela 5.45 - Razão entre o teor máximo (L_1) e o teor do fundo biogeoquímico (L_0) para algumas espécies terrestres estudadas	84
Tabela 5.46 - Síntese interpretativa de possíveis espécies terrestres bioindicadoras	85
Tabela 5.47 - Representação dos pontos anómalos para os sedimentos de corrente da 1ª fase de amostragem	86
Tabela 5.48 - Representação dos pontos anómalos da espécie <i>Oenanthe crocata</i> nas linhas de água amostradas	88
Tabela 5.49 - Representação dos pontos anómalos para os solos do perfil PL	89
Tabela 5.50 - Representação dos pontos anómalos da espécie <i>Pinus pinaster</i> no perfil PL	90
Tabela 5.51 - Representação dos pontos anómalos das folhas da espécie <i>Eucalyptus globulus</i> no perfil PL	91
Tabela 5.52 - Representação dos pontos anómalos dos ramos da espécie <i>Eucalyptus globulus</i> no perfil PL	91

Tabela 5.53 -	Representação dos pontos anómalos para os solos do perfil PV e MR	92
Tabela 5.54 -	Representação dos pontos anómalos da espécie <i>Hyacinthoides vicentina</i> no perfil PV.	93
Tabela 5.55 -	Representação dos pontos anómalos da espécie <i>Lithodora prostrata</i> no perfil PV e MR.	93

Capítulo 1 – Introdução

1.1 – Importância e enquadramento do tema estudado

Desde a formação da terra e em especial da sua litosfera e atmosfera existiram profundas mudanças químicas da biosfera no nosso planeta. Mais recentemente a velocidade das reacções entre os diversos elementos químicos que a constituem tornaram-se mais lentas, o que criou as condições ideais para o crescimento e desenvolvimento de muitas espécies de seres vivos. Entre os principais organismos que surgiram com a estabilidade dinâmica dos elementos químicos entre a atmosfera e a litosfera foram as plantas. A importância dos ciclos biogeoquímicos faz-se pela constante troca de elementos químicos, matéria e energia entre o meio biótico (seres vivos) e abiótico (atmosfera e litosfera). As plantas assumem assim um papel central nestas trocas, fundamentalmente na reciclagem de elementos químicos e transferência de matéria e energia entre os diversos níveis tróficos.

A prospecção biogeoquímica de depósitos minerais baseia-se na variação da composição química das plantas, provocada pela migração e distribuição dos elementos ligados aos depósitos minerais na área de crescimento radicular.

Sobre os princípios comuns das técnicas de prospecção biogeoquímica conhece-se descrição pormenorizada nos trabalhos de Kovalevskii (1979), Brooks (1983), Pratas (1987), Pratas (1996), entre outros.

As plantas têm a capacidade de regular a sua composição química, no entanto as concentrações de metais pesados vestigiais nas plantas estão bastante relacionadas com a abundância dos mesmos nos solos ou nas rochas subjacentes. A composição química duma planta é função de um grande número de factores que actuam em simultâneo. É necessário distinguir entre factores internos (fisiológicos), resultantes da actividade metabólica das próprias plantas e externos (ecológicos), relacionados com o habitat, que inclui factores geológicos, pedológicos, hidrológicos e climáticos.

Na técnica da prospecção biogeoquímica de ocorrências minerais o problema principal é a obtenção de informação sobre um dos factores externos, ou seja a presença ou ausência de corpos mineralizados que afecte a envolvente radicular ou o meio aquático.

O uso da composição química das plantas na prospecção de ocorrências minerais é um problema complexo na distinção correcta das suas indicações (informação sobre corpos mineralizados e sobre outros parâmetros quantitativos), relativamente ao fundo biogeoquímico que pode apresentar considerável interferência (factores fisiológicos e

ecológicos que não têm nada a haver com a mineralização). As indicações que se pretendem obter são as anomalias biogeoquímicas causadas pela mineralização. Para se conseguir essa informação, sobre as variações da composição química das plantas em função das contaminações provocadas pelos corpos mineralizados, deve-se ter uma compreensão genérica de todos os factores que afectam essa composição para as condições ambientais das áreas a prospectar (Pratas, 1996).

São poucos os trabalhos portugueses no domínio da geobotânica e biogeoquímica. O primeiro trabalho conhecido, em que é pela primeira vez, em Portugal, abordada a problemática da biogeoquímica, é um estudo de carácter genérico (Neiva, 1955). Os trabalhos seguintes centram-se na temática da geobotânica em serpentinitos (Silva, 1968 e 1981). Só bastante mais tarde surgiram alguns trabalhos relevantes de índole propriamente biogeoquímica e suas aplicações práticas (Pratas, 1987; Serrano e Fonseca, 1989; Pratas, 1996; Pratas, 1998; Pratas, 2001; Favas *et al*, 2002; Freitas *et al*, 2004; Favas, 2008; Favas *et al*, 2008; Abreu *et al*, 2008; Pratas *et al*, 2012; Morais *et al*, 2012).

1.2 – Escolha da zona de estudo

A área escolhida para realizar o presente trabalho situa-se na bacia hidrográfica da ribeira de Celavisa, afluente direito do rio Ceira. Está situada no centro de Portugal, distrito de Coimbra e reparte-se pelos concelhos de Góis e Arganil.

A região de Góis foi alvo de intensa exploração mineira, nomeadamente entre os anos de 1930 e 1970. O factor geológico foi o principal factor que foi tido em conta aquando da escolha desta área. A grande abundância de estruturas filonianas, existência de antigas minas e estudos anteriores efectuados pela antiga Direcção Geral de Geologia e Minas (DGGM) foram tidos em conta na selecção da área.

1.3 – Trabalhos anteriores na área estudada

A geologia da região de Góis-Pampilhosa da Serra encontra-se pouco estudada, assim como as diferentes tipologias de mineralizações nela existentes.

Como trabalhos principais publicados sobre a geologia da zona, destacam-se: *O Grupo das Beiras (Complexo Xisto-Grauváquico) na região de Coimbra-Lousã* (Sequeira & Sousa, 1991); *Unidades litoestratigráficas do Terciário na região de Miranda do Corvo – Viseu* (Cunha, 1999); *A reactivação de falhas, no intenso contexto compressivo desde meados do Tortoniano, na região de Espinhal-Coja-Caramulo (Portugal Central)* (Sequeira *et*

al, 1997); *Le Bassin de Lousã – Évolution Sédimentologique, tectonique et morphologique* (Daveau, 1976); *Tentativa de correlação das unidades litoestratigráficas da região do Baixo Mondego com as das Bacias de Lousã e Arganil* (Soares et al, 1983).

Cerveira (1947), faz referência às mineralizações de ouro da Serra da Lousã. Mais recentemente a partir de 1984 a Direcção Geral de Geologia e Minas foca a sua atenção na região de Góis, sendo exemplos: Oliveira (1969), Vairinho (1984a), Vairinho (1984b), Parra (1984), Parra (1985), Andrade (1985), Parra (1986), DGGM (1986), Carvalho (1986), DGGM (1987), DGGM (1988) e Parra (1988). Trabalhos mais aprofundados foram efectuados posteriormente por: Oliveira (1990), Oliveira (1991), Parra (1993) e Parra e Filipe (1995).

Para melhor entender este tipo de mineralizações em Portugal salientam-se as seguintes publicações: Neiva (1944), Neiva e Chorot (1945), Thadeu (1951), Cerveira (1952), Ferreira (1979), Carvalho (1979), Ribeiro e Pereira e (1981), Noronha (1988), Viegas e Martins (1992), Noronha e Ramos (1993), Pereira et al (1993), Inverno (2002) e Inverno (2011).

No domínio da biogeoquímica apenas se conhecem trabalhos realizados por Pratas (1987).

1.4 – Objectivos

Pretende-se com o presente trabalho validar a técnica da prospecção biogeoquímica na prospecção de jazigos minerais, com paragénese distintas, na região de Góis. Para tal o trabalho de campo foi dividido em duas fases:

Na primeira fase procedeu-se a uma amostragem de plantas aquáticas das principais ribeiras desta bacia, de forma a verificar se as plantas aquáticas evidenciam anomalias similares aos sedimentos de corrente para os diferentes elementos. Pretendeu-se ainda nesta fase definir sub-bacias anómalas.

Numa segunda fase, e dentro de sub-bacias que já se sabiam ser anómalas, foi testada a prospecção biogeoquímica com dois perfis de solos, em que foram amostradas várias espécies de plantas terrestres. Neste teste além da selecção de espécies, tentou-se ainda identificar a presença de filões mineralizados que cortassem os perfis, cuja análise permitisse validar este tipo de metodologia.

Capítulo 2 – Biogeoquímica

2.1 – Resenha histórica

As relações existentes entre o substrato rochoso e o tipo de vegetação nele contido já são há muito tempo conhecidas pelos naturalistas e “prospectores” de minérios. Já nos tempos de Augusto César (10 a.C.) se conheciam as observações feitas por Vitruvius sobre a ocorrência preferencial de alguns tipos de plantas em certos locais. Num artigo do Papa Pio II, que descreve a descoberta de um depósito de alúmen em Itália por Giovanni di Castro em 1465, sugere-se o *Ilex aquifolium* como possível indicador deste tipo de depósitos (Favas, 1999).

A biogeoquímica é uma ciência que tem as suas raízes na antiga URSS. O seu fundador, V. I. Vernadskii, publicou por volta de 1917 o primeiro trabalho científico em que o estudo dos organismos era feito sob ponto de vista geoquímico (Kovalevskii, 1979). S.M. Tkalich e D.P. Malyuga foram os primeiros soviéticos a desenvolverem a aplicação prática da biogeoquímica num contexto da prospecção.

Vários depósitos minerais foram descobertos com recurso dos métodos biogeoquímicos como por exemplo o grande depósito de molibdénio de Endako (Canadá) ou ainda o depósito de Fe e Cu de Shipilinskoe (Rússia) (Kovalevskii, 1979).

Nos últimos 30 anos, o desenvolvimento de técnicas de detecção remota, o aperfeiçoamento dos instrumentos para técnicas analíticas e a evolução das técnicas informáticas introduziram novas dimensões no campo da geobotânica e incrementaram o uso dos métodos biogeoquímicos de prospecção.

2.2 – Solos e seus constituintes

Os solos são constituídos maioritariamente por matéria mineral sólida, à qual até uma profundidade bastante elevada está associada matéria orgânica. O solo pode ser também desprovido de matéria orgânica (litossolo) ou constituído praticamente por matéria orgânica (histossolo) (Pratas, 1987).

Os elementos vestigiais são constituintes dos solos que ocorrem em muita pequena quantidade, no entanto estes são essenciais como micronutrientes para as plantas. O comportamento dos elementos vestigiais no solo varia dependendo do elemento em questão e do tipo de solo. Embora estes elementos sejam principalmente herdados da rocha mãe, a sua distribuição dentro dos perfis de solos poderá reflectir vários processos pedogênicos, bem como o impacto de factores externos (poluição, etc) (Kabata–Pendias & Pendias, 2001).

A composição dos solos em elementos vestigiais está relativamente bem estabelecida (Fig 2.1).

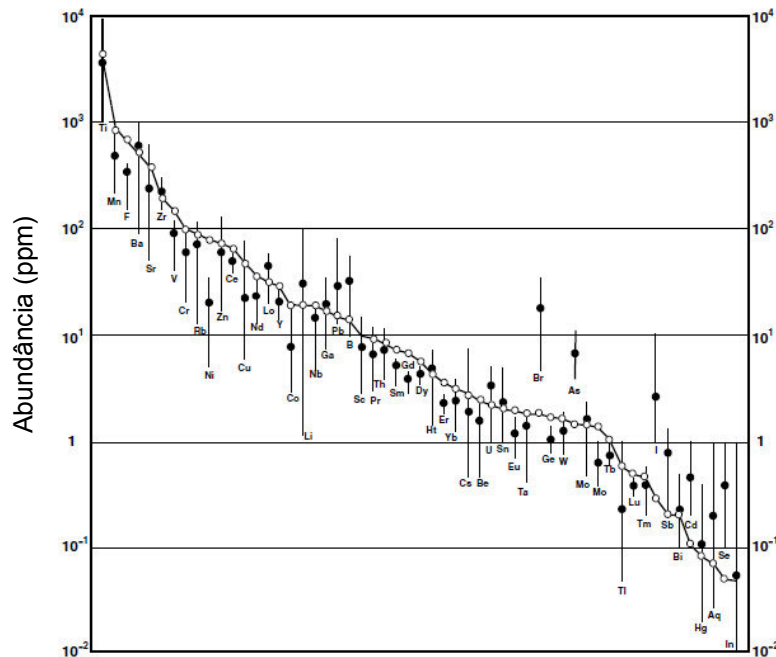


Figura 2.1 – Elementos vestigiais nos solos comparados com a sua abundância na litosfera. Círculos abertos, teor médio na litosfera; círculos pretos, teor médio em solos; linhas verticais, valores encontrados normalmente nos solos (Kabata – Pendias & Pendias, 2001).

Com base nos resultados de vários estudos, investigações e observações os principais parâmetros do solo que reagem nos processos de adsorção e desorção de elementos vestigiais são: valores de pH e Eh; fracção fina do solo; teor em matéria orgânica; óxidos e hidróxidos, principalmente de Fe, Mn e Al e microrganismos (Kabata–Pendias & Pendias, 2001).

Os solos são constituídos por minerais, organismos, matéria orgânica, água e ar.

2.2.1 – Constituintes minerais

Os minerais constituintes dos solos são provenientes de rochas mãe que ficaram expostas por vários períodos de tempo à meteorização e processos pedogénicos (Favas, 2008). As propriedades de adsorção da parte mineral do solo estão associadas principalmente com as fracções mais finas deste. Estas fracções são uma mistura de vários minerais argilosos, com pequenas quantidades de quartzo, feldspatos e vários óxidos e hidróxidos. Em certos solos estão presentes carbonatos e fosfatos minerais, e em outros, podem ocorrer sulfuretos e sulfatos (Pratas, 1987).

2.2.2 – Organismos

Os organismos vivos, que compõem a fauna e flora dos solos, estão presentes em várias escalas (macro, meso e microbiológica), onde ocorrem abundantemente.

A função microbiológica mais importante no solo é a degradação de resíduos de plantas e animais. Assim, parece evidente que a quantidade de elementos vestigiais necessária ou prejudicial para o crescimento de microrganismos influencia também a actividade biológica dos solos. A supressão e/ou estimulação da biossíntese de microrganismos pelos metais pesados depende acima de tudo da natureza dos organismos, da espécie de metal e do pH dos solos. Mesmo para mesma espécie o intervalo de concentrações necessárias ou inibidoras de um dado metal varia significativamente (Pratas, 1987).

2.2.3 – Matéria orgânica

A matéria orgânica dos solos consiste numa mistura de produtos de plantas e minerais em vários estágios de decomposição e de substâncias que são sintetizadas quimicamente e biologicamente.

A maior quantidade da matéria orgânica presente nos solos resulta do decaimento biológico de resíduos. Os produtos finais desta degradação são substâncias húmicas, ácidos orgânicos de altos e baixos pesos moleculares, hidratos de carbono, proteínas, peptídeos, etc (Favas, 2008).

As interações entre as substâncias húmicas e metais, que levam à formação de complexos solúveis ou insolúveis em água, têm sido descritas como: trocas iónicas, sorção superficial, quelatação, coagulação e peptização (Kabata–Pendias & Pendias, 2001). Assim, a matéria orgânica desempenha um papel muito importante no transporte (e subsequente lixiviação) e na acumulação de iões metálicos, presentes nos solos e águas, como quelatos de várias estabilidades e na utilização destes pelas raízes das plantas (Favas, 2008).

2.3 – Absorção e utilização de elementos pelas plantas

O papel metabólico de cada elemento nas plantas pode ser caracterizado em relação a alguns princípios básicos como:

- Adsorção e transporte nas plantas
- Processos enzimáticos
- Concentração e forma de ocorrência

- Deficiências e toxicidade
- Competição de íons e toxicidade

Estes tópicos estão relativamente bem entendidos para certos elementos vestigiais (Kabata–Pendias & Pendias, 2001). As reacções de plantas à tensão geoquímica são causadas em grande parte pela deficiência e excesso de certos elementos vestigiais, não podem ser definidas exactamente porque as plantas têm desenvolvimento durante a sua evolução e o seu crescimento (ontogenia e filogenia) vários mecanismos bioquímicos que têm resultado na adaptação e tolerância a novos ambientes quimicamente desequilibrados. Além disso, as plantas respondem à existência desses elementos vestigiais nos solos e ambiente aéreo, podendo sempre serem investigadas para o sistema particular solo-planta (Pratas, 1987).

As plantas podem revelar várias tendências no “uptake” de elementos vestigiais. Podem ser distinguidas três características gerais de “uptake”: acumulação, indicação e exclusão (Fig 2.2). Em grande medida, isto depende da capacidade específica de plantas e das enormes diferenças no “uptake” de metais entre as espécies de plantas (Pratas, 1987).

Um caso extraordinário do padrão do tipo acumulador é o das chamadas plantas hiperacumuladoras. Estas espécies têm a capacidade de concentrar níveis muito elevados de metais e metalóides nas suas partes aéreas, alcançando concentrações mais de cem vezes superiores às normais (Favas, 1989).

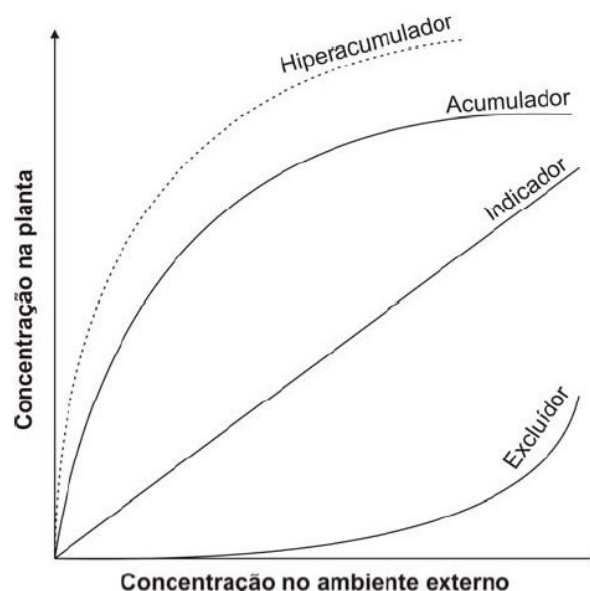


Figura 2.2 - Padrões de acumulação de metais e metalóides em plantas, em função da disponibilidade no solo (Favas, 2008).

2.3.1 – Floras características

Dadas as características geoquímicas de alguns tipos de solos, podemos notar que muitas áreas mineralizadas aparentemente poderão ter uma flora característica, que pode ser única para uma localização particular ou pode ser característica para todas as áreas discretas de mineralização numa dada região.

É possível encontrar floras características para quase todos os tipos de substrato. É de salientar as floras calcófilas (Ca), halófitas (solos salinos), seleníferas (Se), serpentiniticas (Cr, Co, Mg e Ni), zincíferas (Zn), cobaltíferas (Co) e cupríferas (Cu).

2.3.2 – Plantas indicadoras

Espécies indicadoras são organismos que servem como uma medida das condições ambientais que existem num determinado local. Estes podem ser vários organismos, animais ou vegetais e seus órgãos ou produtos. Actualmente, é um método amplamente utilizado em estudos ambientais, nomeadamente na análise do estado químico do ambiente muitas vezes baseada em bioindicadores/biomonitores (Kabata–Pendias & Pendias, 2001).

Um organismo vivo para ser considerado um bom bioindicador requer as seguintes capacidades:

- Taxa de acumulação adequada de alguns elementos seleccionados
- Grande tolerância/sesibilidade ao elemento/substância acumulada
- Presente em grandes quantidades no ecossistema sob investigação
- Ampla distribuição em vários ambientes, ampla gama geográfica
- Fácil identificação
- Fracas diferenças sazonais na sua disponibilidade e aplicabilidade
- Existência de correlação entre a acumulação e o input para o ecossistema

Quando uma dada planta dá uma resposta directa ao elemento com interesse diz-se indicadora primária, enquanto que se a resposta é indirecta, por via de outro elemento geoquimicamente associado, diz-se indicadora secundária (Pratas, 1987).

Numerosas referências de espécies indicadoras de mineralização têm vindo a ser relatadas. Pratas, 1996 no seu trabalho definiu várias espécies indicadoras de determinado tipo de mineralização ou elemento. Na tabela 2.1 encontra-se uma listagem de algumas espécies indicadoras encontradas assim como a sua razão entre o teor máximo (L_1) e o teor do fundo biogeoquímico (L_0).

Tabela 2.1 – Listagem de algumas espécies seleccionadas com base na razão teor máximo (L_1) e o teor do fundo biogeoquímico (L_0) (Pratas, 1996).

Elemento	Espécie	L_1/L_0
Ag	<i>Rubus ulmifolius</i>	9,12
	<i>Mentha suaveolens</i>	6,43
	<i>Cistus salvifolius</i>	5,96
As	<i>Pinus pinaster</i> (agulhas 2 anos)	115,65
	<i>Digitalis purpurea</i>	17,50
	<i>Quercus ilex</i> (folhas)	9,81
Cu	<i>Cistus ladanifer</i> (ramos)	7,65
	<i>Rubia peregrina</i>	5,09
Pb	<i>Cistus salvifolius</i>	124,59
	<i>Mentha suaveolens</i>	74,34
Sb	<i>Pinus pinaster</i> (ramos)	95,17
	<i>Quercus suber</i> (folhas)	55,51
W	<i>Pinus pinaster</i> (agulhas 2 anos)	118,89
	<i>Digitalis purpurea</i>	79,28
Zn	<i>Cistus salvifolius</i>	20,90
	<i>Lonicera periclymenum</i>	19,96

2.3.3 – Musgos e líquenes como indicadores de mineralização

As briófitas (musgos e hepáticas) e líquenes têm uma capacidade extraordinária de absorver elementos vestigiais do substrato em que prosperam, e são tolerantes a condições edáficas adversas em muito maior grau do que as plantas vasculares. A acumulação dos elementos vestigiais pelas briófitas é normalmente muito maior do que em grupos de plantas. Tipos especializados de briófitas são conhecidos como é o caso de musgos do género *Mielichhoferia* e *Merceya* que apenas crescem em substratos ricos em Cu.

É evidente que nem sempre é possível a sua utilização directamente como guias de prospecção, pois não só são extremamente raros, como também são difíceis de identificar (Pratas, 1987).

2.4– Orientação de uma campanha de prospecção biogeoquímica

Uma campanha de prospecção biogeoquímica requer sempre em primeiro lugar uma análise preliminar em cada área em estudo para orientação e selecção dos materiais biológicos a amostrar.

2.4.1– Selecção de áreas

A selecção de uma área para o levantamento preliminar deve acatar várias considerações. A primeira delas é que a área em estudo tenha pelo menos uma anomalia. Não será porém necessário que esta anomalia seja um jazigo mineral económico, mas deve ter concentrações de elementos cujos valores sejam superiores a 1,5 a 3 vezes às do background.

A segunda consideração para a selecção da área de levantamento preliminar é que deve ser representativa em relação a condições climáticas, ecológicas, geológicas e geomorfológicas da área total a amostrar.

A área de levantamento preliminar deve ser tal que assegure a amostragem de cerca de 100 pontos e o espaçamento deverá ser utilizado tendo em consideração as formas dos corpos possíveis de serem detectados e a sua orientação, mobilidade de elementos em questão e a malha a adoptar no levantamento seguinte (Brooks, 1983).

2.4.2– Selecção das plantas a amostrar

O critério fundamental para a selecção de plantas a amostrar é o de que as espécies seleccionadas estejam uniformemente disseminadas tal que permitam uma perfeita cobertura da área. As ervas e arbustos pequenos deverão ser utilizados só em alguns casos pois o seu sistema radicular é pouco profundo e não penetra bem na auréola de dispersão da anomalia quando esta não é aflorante.

Tanto quanto possível, devem ser amostradas todas as plantas representativas da área em questão, para posterior selecção. As amostras devem ser colhidas em árvores ou arbustos de tamanho semelhante, tendo sempre o cuidado de recolher material biológico da mesma idade.

2.4.3– Colheita e acondicionamento das amostras

Durante o levantamento preliminar devem ser colhidas folhas, agulhas, ramos ou outros tipos de amostras biológicas, como raízes, flores, frutos, casca ou tronco.

A amostragem deve ser feita num período de tempo tão curto quanto possível, quando se trate de espécies com forte variação sazonal, como é o caso de árvores.

A quantidade a colher deve situar-se entre 30 a 50 gramas de material seco. As amostras devem ser retiradas das árvores ou outras plantas e colocadas em sacos de plástico, previamente numerados e fechados.

Capítulo 3 - Enquadramento da área estudada

3.1 - Enquadramento geográfico e geomorfológico

A região estudada localiza-se no centro de Portugal, distrito de Coimbra e reparte-se pelos concelhos de Góis e Arganil. Ocupa uma superfície de aproximadamente 24 km² e enquadra-se na folha 243 (Góis) da carta militar de Portugal, na escala 1:25000, publicada pelo Instituto Geográfico do Exército (Fig 3.1)

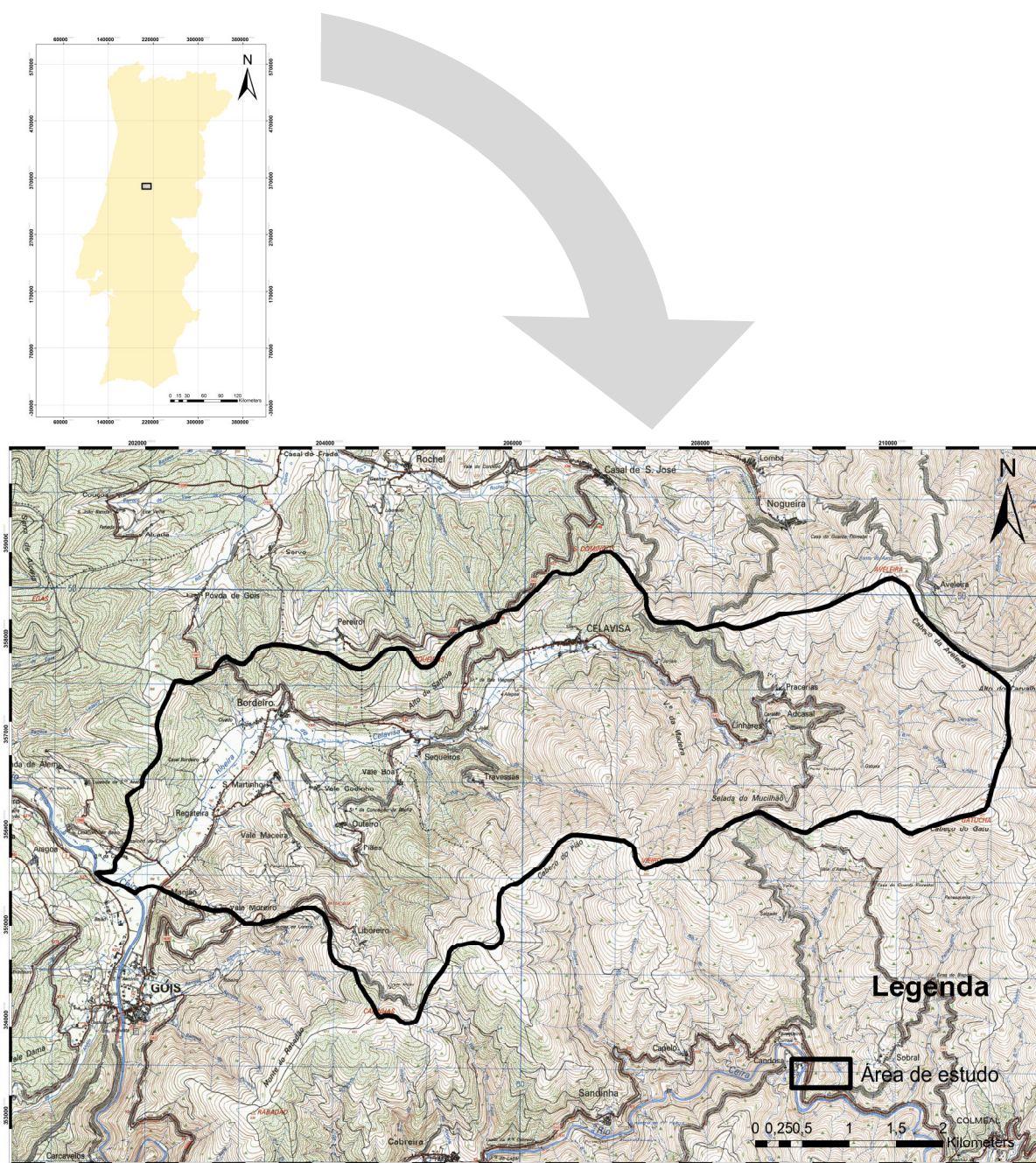


Figura 3.1 – Localização geográfica da área em estudo (adaptado de Carta Militar de Portugal n.º243 (Góis); 1:25000, do Serviço Cartográfico do Exército, 1992).

Topograficamente, trata-se de uma zona bastante acidentada, localizando-se o ponto de cota mais elevada a 963 m (Gatucha) e o ponto de cota mais baixa a 180 m (foz da ribeira de Celavisa). A drenagem é de um modo geral de aspecto dendrítico, apresentando-se ocasionalmente orientada N-S, coincidente com os principais acidentes tectónicos presentes na região (Fig 3.2).

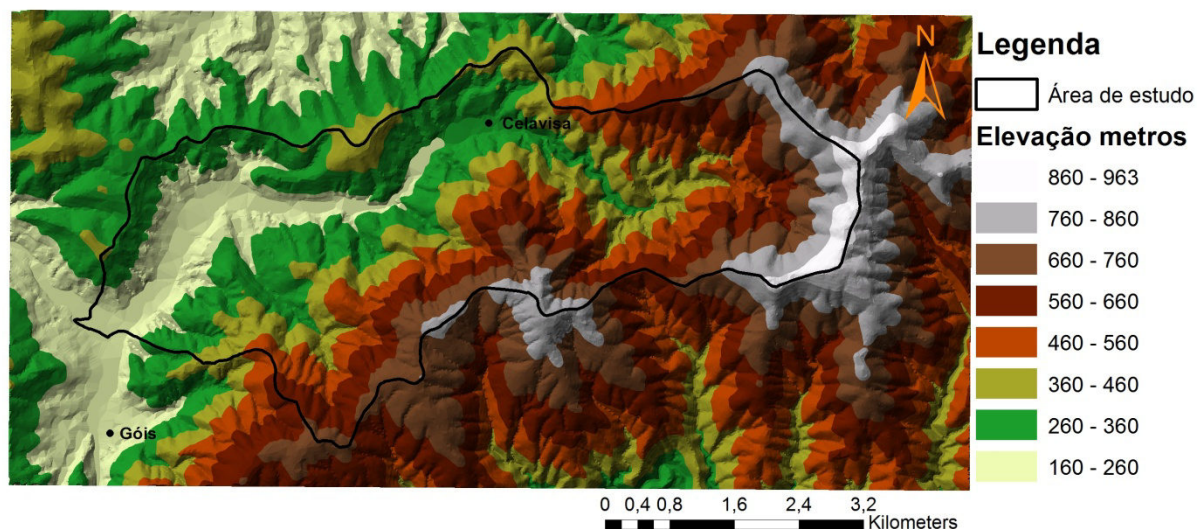


Figura 3.2 – Mapa do relevo da área em estudo

3.2 - Enquadramento geológico

3.2.1 - Enquadramento no Maciço Ibérico

No quadro geotectónico europeu, a Península Ibérica é constituída essencialmente pelo fragmento mais contínuo da cadeia Hercínica ou Varisca europeia (Ribeiro *et al*, 1979; Ribeiro *et al*, 1990; Dallmeyer, 1990).

É formada por materiais do Neoproterozóico ao Paleozóico Inferior, apresentando uma forte zonalidade no que diz respeito à paleogeografia, tectónica e metamorfismo tendo sido formada pela colisão dos supercontinentes Gondwana e Laurásia entre o Devónico e o Carbónico (Dias e Ribeiro, 1995).

Com base nas diferentes características estratigráficas, tectónicas, magmáticas e metamórficas, foi possível diferenciar vários domínios no Maciço Ibérico. A primeira divisão foi proposta por Lotze (1945) que distinguiu seis grandes unidades geotectónicas (Zona Cantábrica, Zona Astúrico-Occidental-Leonesa, Zona Galaico-Castelhana, Zona Luso-Oriental-Alcúdice, Zona de Ossa Morena e Zona Sul Portuguesa). Posteriormente, estas zonas por si definidas, sofreram algumas modificações (Julivert *et al*, 1972; Farias *et al*,

1987; Martínez Catalán, 1990), sendo actualmente divididas em: Zona Cantábrica, Zona Astúrico-Occidental-Leonesa, Zona Centro-Ibérica, Zona da Galiza-Trás-os-Montes, Zona de Ossa Morena e Zona Sul Portuguesa (Ribeiro, 2006) (Fig 3.3).

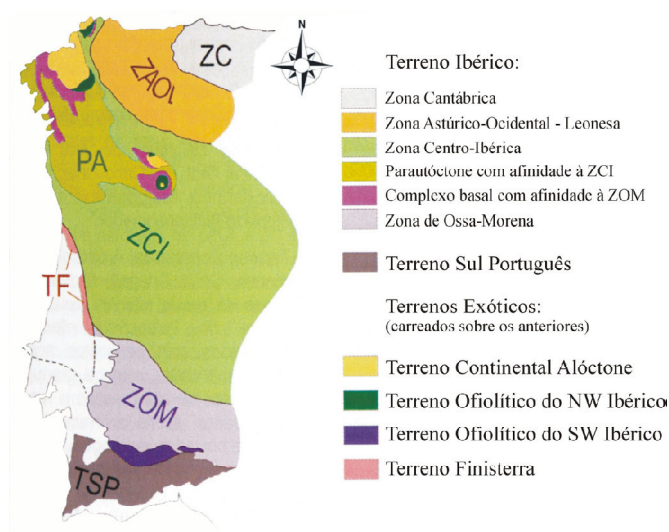


Figura. 3.3 – Grandes unidades estruturais de primeira ordem (terrenos) e de segunda ordem (zonas), do Maciço Ibérico, segundo Ribeiro (2006)

A área em estudo insere-se no Terreno Ibérico e, dentro deste, localiza-se na Zona Centro-Ibérica.

A Zona Centro-Ibérica (ZCI) ocupa, a parte central do Maciço Ibérico, sendo limitada a norte, pela Zona Astúrico-Occidental-Leonesa e a sul pela Zona de Ossa Morena (Fig 3.4).

Trata-se de uma zona bastante complexa, constituída por formações com idade entre o Proterozóico e o Devónico Inferior. O super grupo Dúrico-Beirão é constituído por duas unidades principais, Grupo do Douro (Sousa, 1982) a norte, cobrindo uma grande parte da região do Douro, e o Grupo das Beiras (Romão, 1994) a sul, abrangendo uma vasta área da região centro do país.

Na Zona Centro Ibérica, a actividade magmática de idade Hercínica, está representada por um abundante plutonismo granítico. Com base nas relações de campo, petrografia, geoquímica e idade, foram propostos diversos esquemas de classificação para esses granitos (Schermerhorn, 1956; Azevedo e Valle Aguado, 2006). Aos domínios peribatolíticos, nomeadamente aos granitos tardi-hercínicos, ocorrem associadas mineralizações de estanho e volfrâmio (pegmatitos, filões de quartzo, “stockworks”, skarns e corneanas calcossilicatadas), são ainda conhecidos mineralizações em filões hidrotermais de As-Au, Sb-Au, Pb-Zn-Ag e U (Favas, 2008).

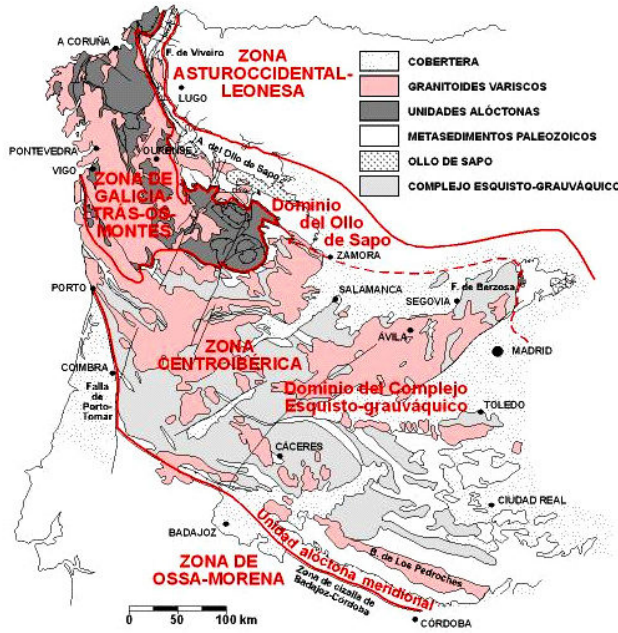


Figura 3.4 – Esquema da Zona Centro-Ibérica e subdivisão em domínios segundo critérios estratigráficos, segundo Martínez Catalán *et al*, (2004).

3.2.2 - Enquadramento metalogenético

As unidades geotectónicas do Maciço Hespérico contêm diversos tipos de mineralizações, que permitem individualiza-las em províncias mineralógicas (Thadeu, 1965). Consoante a idade, podemos dividi-las em: províncias mineralógicas ante-Hercínicas e Hercínicas e em províncias mineralógicas pós-Hercínicas (Fig 3.5)

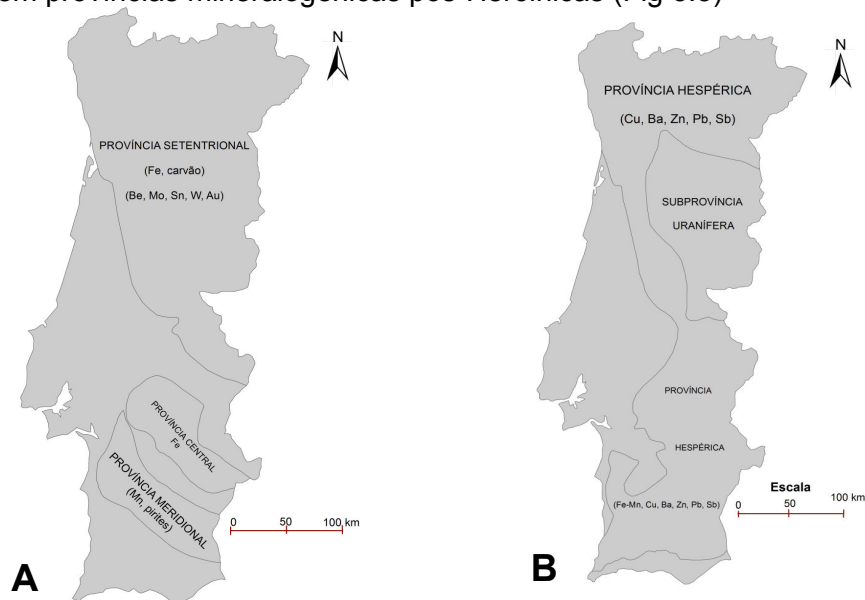


Figura 3.5 – Províncias mineralógicas do Maciço Hespérico (A) – ante-hercínicas e hercínicas e (B) – pós-hercínicas adaptado de Thadeu (1965)

Capítulo 3 - Enquadramento da área estudada

A área em estudo situa-se assim na província Setentrional (ante-Hercínica e Hercínica) e na Hespérica (pós-Hercínica), ambas sobrepostas e apenas distinguíveis a partir da idade das diferentes mineralizações nelas presentes. As províncias mineralogénicas que ocorrem no Maciço Hespérico encontram-se representadas na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Províncias mineralogénicas do Maciço Hespérico

Províncias mineralogénicas		Mineralizações
Mineralizações pós-Hercínicas		
Província Hespérica	Sub-província uranífera	U
		Fe-Mn, Ba, Cu, Pb, Zn, Sb
Mineralizações ante-Hercínicas e Hercínicas		
Província Setentrional		Be, Mo, Sn, W, Au, Fe, carvão

Na província Setentrional podemos encontrar mineralizações de ferro (Moncorvo, Marão) e carvão (Pejão, Buçaco), porém as mineralizações mais importantes desta província são os jazigos de filiação granítica, sendo eles:

- Pegmatitos com columbo-tantalite
- Pegmatitos com berilo
- Pegmatitos com cassiterite
- Filões de quartzo com cassiterite, volframite, scheelite e acidentalmente molibdenite
- Filões de quartzo com pirites auro-argentíferas.

Destas as mais representativas na área em estudo são os dois últimos tipos de jazigos.

Os filões de quartzo, mineralizados em W, Sn e Mo (Fig 3.6), que diversos autores defendem para este tipo de mineralizações em território português, se distribuem ao longo de alinhamentos e faixas preferenciais, condicionados por factores geológico-estruturais (Neiva, 1944; Thadeu, 1977; Noronha, 2006). Define-se assim na Península Ibérica, uma província metalogenética estanífera e tungstífera (ou província estano-volframítica, estano-tungstífera ou ainda tungsto-estanífera) (Favas, 2008).

Durante a fase de rift continental, activa durante o Câmbrico, existiu uma intensa actividade vulcânica de carácter bimodal na Zona de Ossa Morena (ZOM) e magmatismo

Capítulo 3 - Enquadramento da área estudada

anaorogénico no bordo W da Zona Centro Ibérica (ZCI), enquanto que no seu bordo E tem lugar o vulcanismo e magmatismo Olho de Sapo, factores estes essenciais para a delimitação da província metalogenética de Sn-W da ZCI (Pereira et al, 1993). Foram encontradas evidências de pré concentrações sedimentares de W, como por exemplo a ocorrência de scheelite em níveis calcossilicatados na Formação Olho de Sapo; a presença de agregados finos de cassiterite nos Xistos das Beiras; bem como concentrações químicas ou exalativo-vulcânicas de W (Iglesias e Arribas, 1981).

A maioria destas mineralizações, encontra-se em estreita relação com os granitóides Hercínicos, porém a teoria da reciclagem crustal, actualmente mais aceite para justificar a proveniência de fluidos ricos em Sn e W não é posta em causa uma vez que estes granitóides resultaram da fusão da crosta continental induzindo uma cristalização fraccionada mais eficaz para o Sn do que para o W. As mineralizações de Sn e W estão representadas por:

- Filões com cassiterite (Portelo, Tuela)
- Filões com cassiterite e volframite (Panasqueira)
- Filões com cassiterite, volframite e scheelite (Ribeira, Argozelo)
- Filões com molibdenite, volframite e scheelite (Borralha, Salto do Lobo)
- Filões com volframite e scheelite (Borralha)
- Filões com volframite (Vale das Gatas)
- Filões com scheelite (Lagoaça)

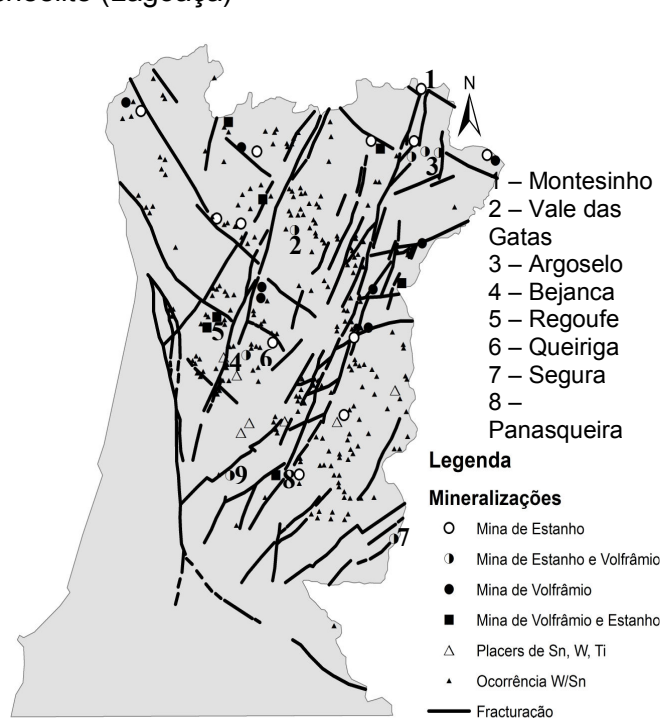


Figura 3.6 – Minas e ocorrências de Sn/W na Zona Centro Ibérica, adaptado de Pereira (1993)

Capítulo 3 - Enquadramento da área estudada

Nos filões de quartzo mineralizados em Au e Ag assiste-se a um forte controlo estrutural e também um certo controlo litológico estando estes mineralizados em arsenopirite e secundariamente em galena, pirite, blenda e calcopirite, estando o ouro na arsenopirite sob a forma de ouro nativo ou então mais raramente na pirite (Thadeu, 1965). As principais jazidas portuguesas destes metais nobres são controladas por cisalhamentos dúcteis e frágeis, mas situam-se, preferencialmente, nas estruturas secundárias associadas a grandes cisalhamentos (Fig 3.7). Quanto ao controlo litológico, estas jazidas encontram-se normalmente intra-Quartzito Armoricano e nos “black shales” do Ordovícico e Silúrico ou, mais raramente intragranitos e Complexo Xisto Grauváquico (Pereira *et al*, 1993)

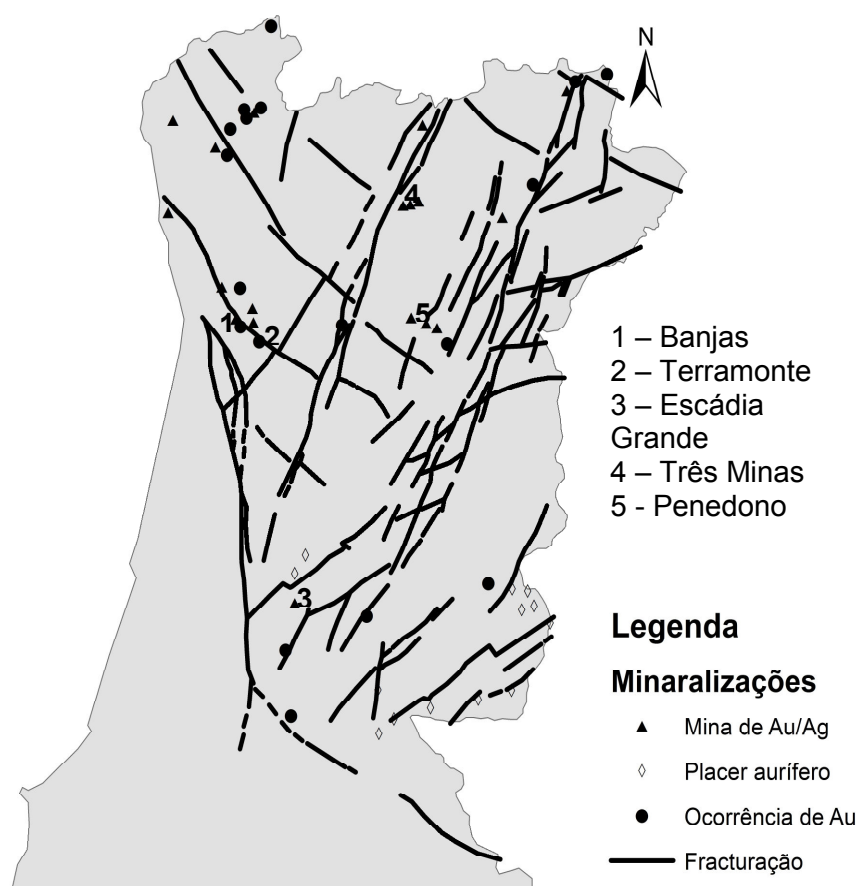


Figura 3.7 - Minas e ocorrências de Au na Zona Centro Ibérica, adaptado de Pereira *et al* (1993).

Quanto às mineralizações pós-Hercínicas, são caracterizadas por mineralizações filonianas de Cu, Ba, Pb, Zn, Sb. No mesmo grupo de mineralizações incluem-se os jazigos de urânio dando origem a uma Subprovíncia mineralogénica uranífera (Thadeu, 1965).

3.2.3 - Geologia local (ribeira da Celavisa)

A figura 3.8 apresenta a geologia da bacia hidrográfica da ribeira da Celavisa. Da observação cartográfica é possível individualizar: depósitos recentes de aluvião, depósitos do Terciário pertencentes à bacia da Lousã-Arganil, formações metassedimentares do Paleozóico e rochas filonianas. As fotografias que compõem a figura 3.9 revelam alguns dos aspectos geológicos e mineiros da região.

3.2.3.1 - Depósitos recentes de aluvião

Os depósitos aluvionares estendem-se ao longo da Ribeira da Celavisa e Ribeira de Piães. Desconhece-se a espessura total destes aluviões, porém o seu desenvolvimento lateral e vertical é maior no sector W da carta. Campanhas de prospecção aluvionar detectaram minerais de interesse económico como a cassiterite

3.2.3.2 - Depósitos do Terciário

Os depósitos Terciários afloram no sector NW da área em estudo correspondendo essencialmente às formações de Campelo e Conglomerados da Telhada e ainda a formação Arcoses de Coja (Cunha, 1999).

- A) As Arcoses de Coja assentam, por discordância angular, nos metassedimentos do Grupo das Beiras (Sequeira *et al*, 1997). A formação integra conglomerados com clastos de quartzito, quartzo leitoso, feldspato, xisto e granito. As areias são constituídas por quartzo (predominantemente hialino), feldspato (fundamentalmente microclina, moscovite e biotite; são acessórios a turmalina e o rútilo. Apresenta normalmente uma cor verde-acinzentada ou esbranquiçada possuindo uma espessura máxima de até 60 metros (Cunha, 1999)
- B) A formação de Campelo assenta por discordância nas Arcoses de Coja, É constituída por sedimentos detriticos aluviais, apresentando níveis alternantes de conglomerados, litarenitos e lutitos evidenciando junto à falha Lousã-Seia um carácter essencialmente conglomerático. Predominam os clastos de filito e grauvaque relativamente aos de quartzo leitoso e quartzito. Possui uma cor castanho-avermelhada e uma espessura máxima de 100 metros (Cunha, 1999).
- C) A formação dos Conglomerados da Telhada assentam por disconformidade, sobre a Formação de Campelo. Possuem uma típica cor vermelho-intensa, dada por uma

matriz argilosa com óxi-hidróxidos de ferro (goethite). Predominam os clastos de filito e quartzo leitoso. Pode apresentar uma espessura máxima de 90 metros (Cunha, 1999).

3.2.3.3 - Formações metassedimentares do Paleozóico

Nesta zona o soco é formado pelo Grupo das Beiras, com idade provável pré-câmbrica final (Sousa & Sequeira, 1993), pertencente ao Supergrupo Dúrico-Beirão ou Complexo Xisto-Grauváquico (CXG) (Sequeira, 1997). As formações do CXG, com fácies do tipo “flysch” apresentam normalmente uma grande monotonia. Os tipos litológicos mais frequentes são os xistos pelíticos, alternando com xistos siliciosos e grauvaques. Todas estas rochas apresentam um metamorfismo regional fraco que se reflecte pelo aspecto ligeiramente luzente das rochas mais finas (Parra, 1988). Na zona de Piães, ao metamorfismo regional sobrepõe-se um outro que produziu xistos mosqueados possuindo porfiroblastos de clorite e cordierite (Vairinho, 1984a) indicando a presença de uma possível auréola de metamorfismo de contacto. A estratificação é muito próxima e por vezes até coincidente com a xistosidade com uma orientação N50°-70°W e com um pendor de 70°-80°NE.

Petrograficamente os xistos pelíticos são constituídos por sericite, clorite, quartzo, moscovite e pirite apresentando uma xistosidade S1 bastante incipiente (Vairinho, 1984a). Os grauvaques são silicificados, com biotite, granada, turmalina, ilmenite, leucoxena e pirite (Vairinho, 1984a).

3.2.3.4 - Rochas Filonianas

Os filões de quartzo são bastante numerosos nesta área e aparecem sempre encaixados nas rochas do Complexo Xisto-grauváquico e são o resultado de sucessivas fases tectónicas acompanhadas de mineralizações. A paragénese dos filões de quartzo é bastante complexa sendo a paragénese geral caracterizada pela cassiterite e pela volframite. A cassiterite é dos minerais de deposição mais precoce, procedido de uma turmalinização e moscovitização. Os sulfuretos mais comuns são a arsenopirite, pirrotite, marmatite, pirite, calcopirite e marcassite. Seguiu-se uma fase de deposição carbonatada constituída por siderite, anquerite e calcite (Parra, 1988).

As brechas são raras e apenas se conhecem na zona de Vale Moreiro – Casal Loureiro – Vale Maceira – Piães instalada numa zona de cisalhamento que se estende ao longo de 2 Km e com uma orientação geral de N70°-75°E e uma possança de cerca de 1,7

m e teores de 0,6-3,8 kg/t de Sn (DGGM, 1988). São resultantes de fenómenos de enchimento e substituição metassomática e são essencialmente constituídas por uma massa de argilas, quartzo e sulfuretos que cimenta clastos de xisto e de gravaques. A cassiterite é normalmente mais abundante do que a volframite e a marmatite e a pirite são os sulfuretos mais abundantes, mas também se observam calcopirite, arsenopirite e blenda (Parra, 1988).

Na zona do Vieiro afloram filões de quartzo auro-argentíferos, sub-horizontais com 0,10 m de possança e que revelaram teores pontuais de 28,7 g/t de Au e 6,3 g/t de Ag (DGGM, 1987).

3.2.4 –Tectónica

O principal acidente tectónico que afecta a região é a falha Lousã – Seia de orientação NE-SW que provocou o abatimento de todo o sector NW da região separando, assim as rochas pertencentes à Bacia da Lousã-Arganil das pertencentes ao soco ante-Ordovícico. Este importante cavalgamento terá originado um soerguimento das Serras da Lousã e Açor com um levantamento acumulado de 700 metros desde meados do Tortoniano até à actualidade (Sequeira, 1997)

O bloco limitado pela falha Lousã-Seia e pela falha Piães-Senhora da Guia ter-se-á soerguido em relação aos blocos contíguos sendo a fracturação nessa zona maioritariamente de direcção N10°-30°E (Fig 3.8). É possível ainda subdividi-la em dois sub-blocos separados pela importante fractura da Ribeira de Piães que limita a zona com mineralizações conhecidas (Sul) da zona sem mineralizações conhecidas (Norte).

O bloco limitado pelas falhas Piães-Senhora da Guia e da Cabreira (já fora da área em estudo) sofreu um abatimento em relação ao bloco anterior. Nele se conhecem inúmeros filões de quartzo mineralizados em volframite e cassiterite (Senhora da Guia e Vale Pião).

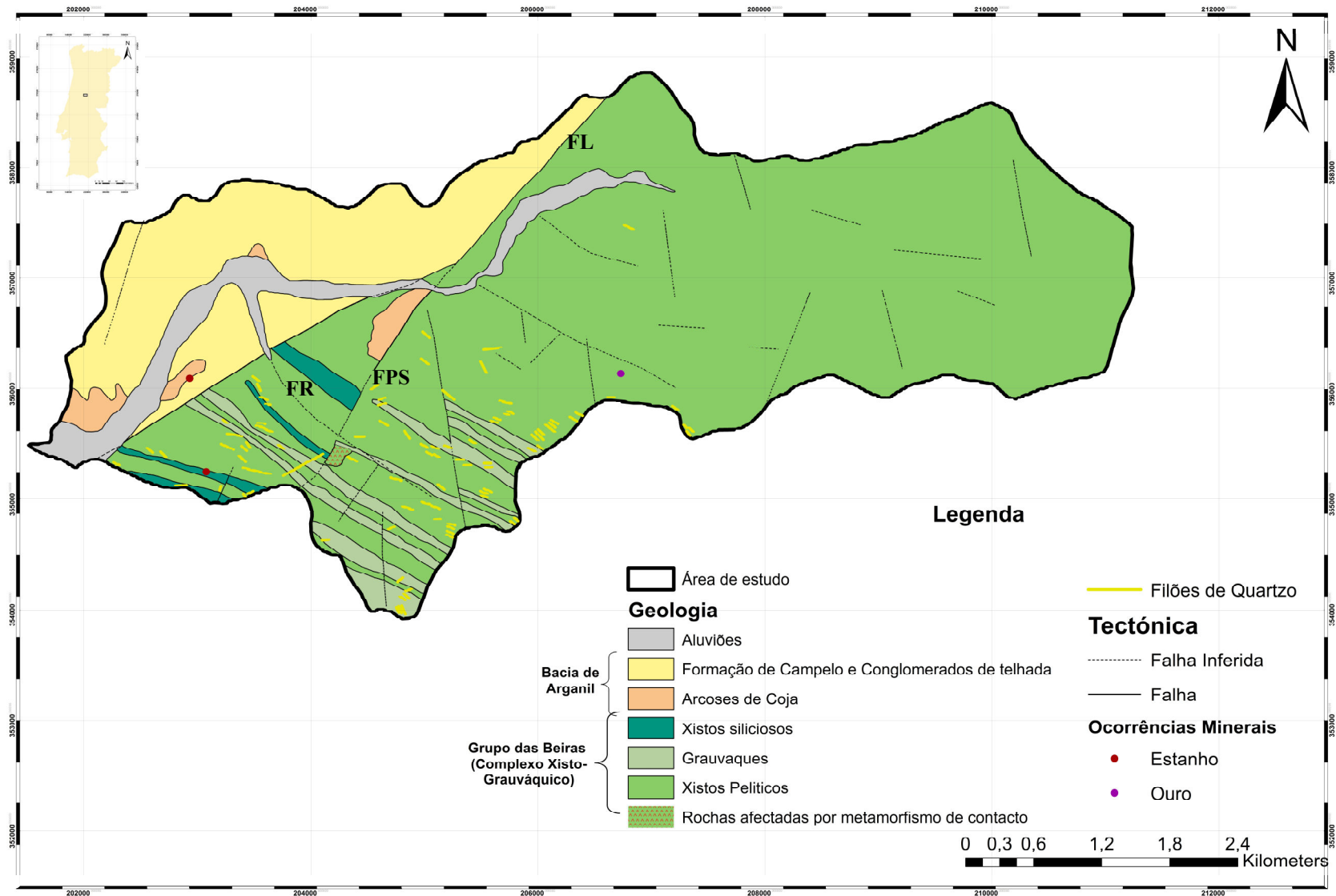


Figura 3.8 – Carta Geológica da área em estudo. FLS – Falha Louçã-Seia, FPSG – Falha Piães-Senhora da Guia, FRP – Falha Ribeira de Piães. Adaptado e complementado de DGGM 1986

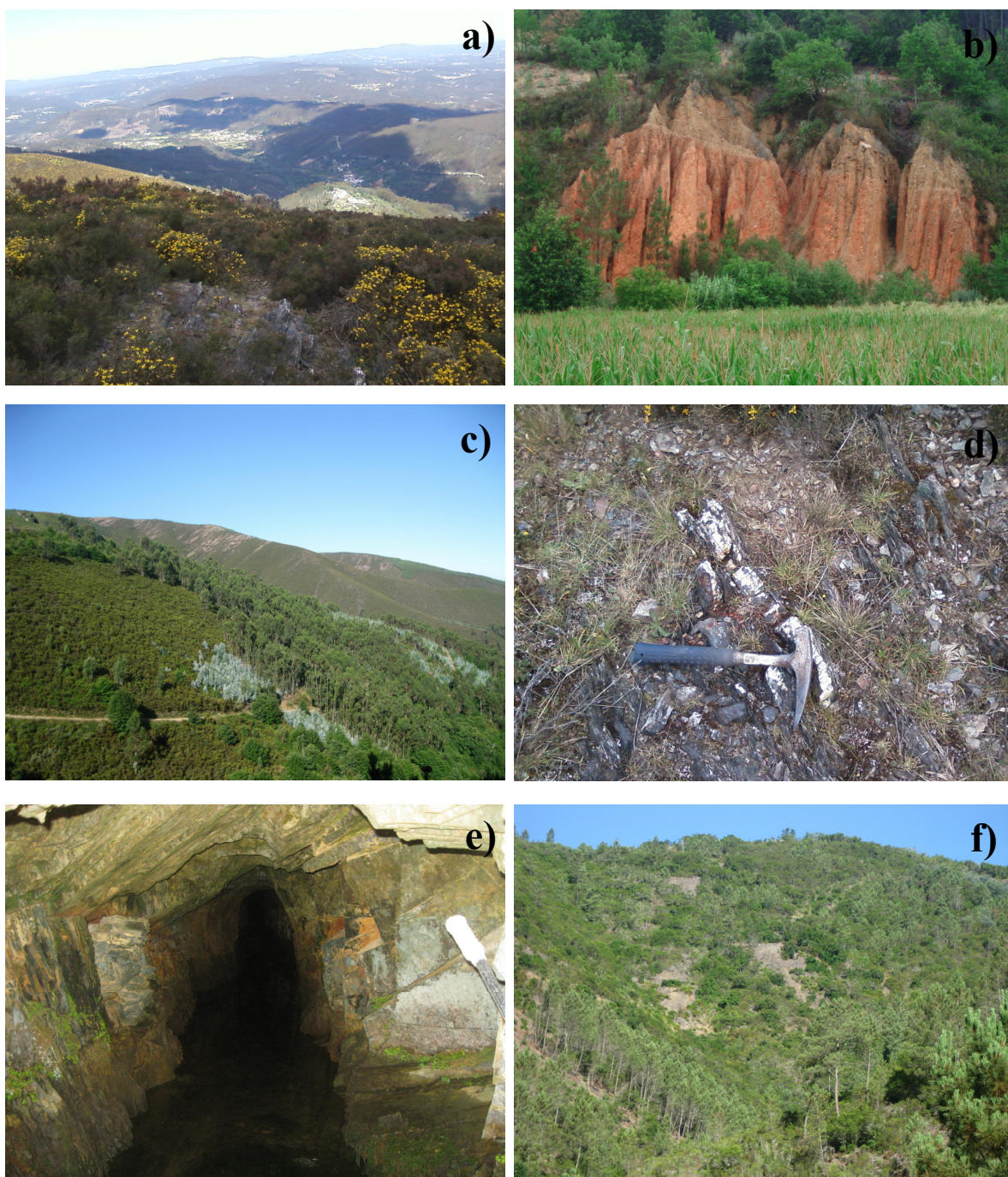


Figura 3.9 – Região de Góis: a) vista panorâmica da ribeira da Celavisa; b) Formação Campelo ; c) vista sob o cabeço do Vieiro; d) filões de quartzo mineralizados do Vieiro; e) mina Romana; f) escombrelras da antiga mina de Vale Pião

3.3 - Trabalhos mineiros

A região de Góis tem sido alvo de exploração mineira desde a antiguidade (Romanos), sendo disso exemplo os vestígios arqueológicos encontrados na Escádia Grande, Fonte Limpa e Cabeçadas (Carvalho, 1986).

A mineralização da Escádia Grande (Au, Ag) encontra-se inserida na faixa metalogenética Auro-Argentífera Fonte Limpa – Vieiro, orientada sensivelmente N-S e que compreende ainda os filões auríferos de Mestras, Cabeçadas, Corterredor, Cadafaz e Vieiro (Carvalho, 1986). É constituída por filões de quartzo com direcção N40°-55°W, pendor 60°-65°SW e com uma possança média de 0,8 metros, mineralizados em arsenopirite, galena, blenda, pirite, ouro e argentite. O teor de ouro foi de 8 g/t e 33 g/t de prata, tendo produzido entre 1940 e 1952, 300 kg de Au (Carvalho, 1986).

As mineralizações de Vale Pião e Senhora da Guia encontram-se inseridas na faixa metalogenética Góis-Panasqueira-Argemela-Segura e estende-se por uma área de aproximadamente 8000 km². Ao longo desta faixa surgem jazigos que originaram as minas da Panasqueira (W, Sn, Cu), as mais importantes, e ainda as de Góis (W, Sn), Argemela (Sn) e Segura (W, Sn, Cu).

Na região de Góis deram origem ao denominado Couto Mineiro de Góis que entre os anos de 1939 e 1972, foi alvo de intensa exploração de volframite e cassiterite desenvolvida por Stanley Mitchell e pela Cofena (DGGM, 1986). Foram 17 as concessões mineiras atribuídas a este Couto Mineiro (Tabela 3.2 e Fig 3.10). De todas estas apenas Vale Pião e Senhora da Guia foram alvo de intensa exploração.

A jazida estano-volframítica de Vale Pião é constituída por brechas e stockworks instalados em corredores de cisalhamento e por filões quartzosos.

No essencial a jazida é formada por:

- a) Corredor de cisalhamento defenido por falhas paralelas, ou quase, e bastante próximas de direcção N20°-25°E onde se instalou uma brecha de pendor 50°-70°SE e stockwork. A DGGM (1986) indicou como reservas prováveis, 237015 toneladas de minério com teores de metal contido de 1,7 kg/t de Sn e 2,7 kg/t de W e espessura média de 2,96 m e ainda 28831 toneladas de minério com teores de metal contido de 0,7 kg/t de Sn e 1,3 kg/t de W e espessura média de 1,41 m.
- b) Corredor de cisalhamento de direcção N50°E onde se isntalou uma brecha de pendor 50°-60°SE e stockworks. Reservas prováveis de 149801 toneladas de minério com teores em metal contido de 2,9 kg/t de Sn e 0,4 Kg/t de W e possança média de 11,24 metros (DGGM, 1986).

Capítulo 3 - Enquadramento da área estudada

Tabela 3.2 - Concessões do Couto Mineiro de Góis (DGGM, 1986).

Concessão Nº	Nome	Substância
1690	Barroca de Amiais	W, Sn
1691	Lombo do Gordo	Sn
1692	Vale do Pião	Sn
1794	Fragas de Estanho	Sn
1795	Rabadão nº1	Sn
1796	Rabadão nº2	Sn
2406	Sandinha	W
2407	Almas do Liboeiro	W
2228	Ribeira de Piães	W
2923	Amiais	Sn, W
3283	Alto do Rabadão	W
3284	Ribeiro nº1	Sn, W
2404	Cabreira	W
2405	Vale da Ursa	W
2422	Ribeiro	W
3022	Vale Salgueiro	W
2417	Vale da Asna	W

Definiram-se ainda reservas prováveis em 7 brechas e stockworks secundários que foram investigados de forma muito incompleta – 73250 toneladas de minério com teores em metal contido de 1,8 kg/t de Sn e 0,7 Kg/t de W (Parra, 1995) O estudo da rede de falhas e a variação da inclinação da xistosidade fizeram pensar numa rede filoniana em semi “cone sheet” elíptico, ligada a um ápice granítico subjacente (DGGM, 1986).

A jazida da Senhora da Guia consiste em dois sistemas de filões de quartzo:

- a) Filões subverticais, pendores 30°-60°SSW e direcção N55°-75W
- b) Filões sub-horizontais, pendor 10°-30°SW ou NE e a mesma direcção.

A espessura destes filões é bastante irregular com cerca de 60 cm de espessura. Além do mineral económico, a volframite, contêm arsenopirite, pirite, pirrotite, calcopirite, mica, siderite, turmalina, blenda e apatite encontrando-se também em muito pequena quantidade cassiterite, scheelite, prata e ouro (DGGM, 1986).

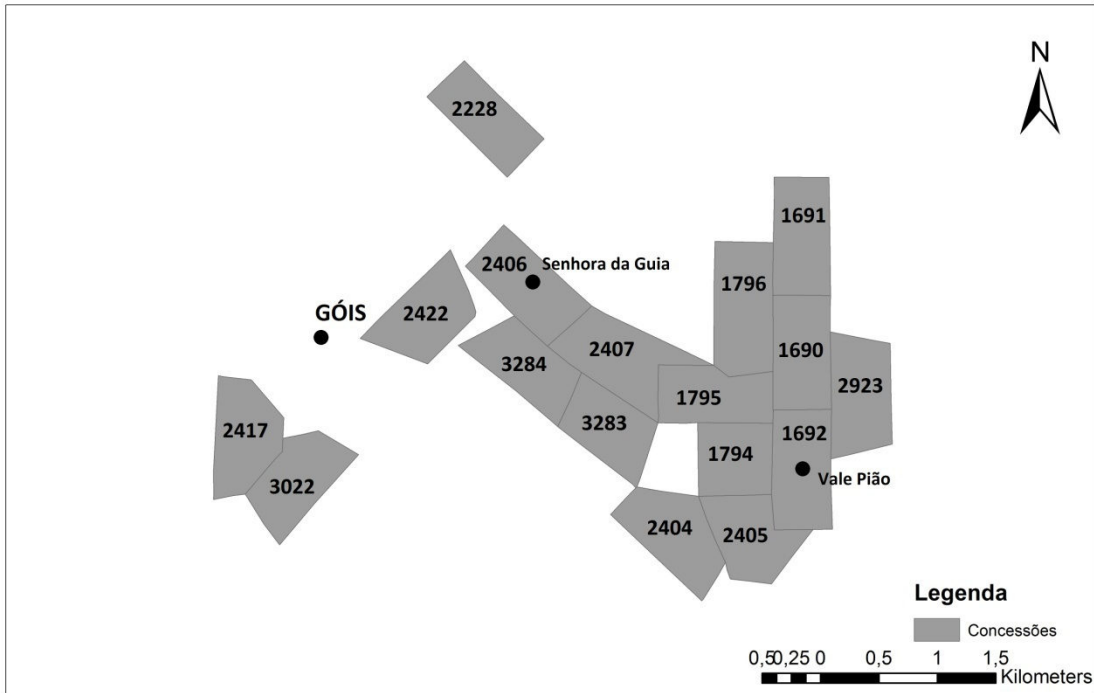


Figura 3.10 – Mapa com as concessões do Couto Mineiro de Góis

Capítulo 4 - Metodologias

4.1 - Trabalho de campo

Os trabalhos de amostragem foram realizados durante o mês de Julho de 2012 (1ª Campanha) e durante o mês de Maio de 2013 (2ª Campanha) (Fig 4.2). Estes trabalhos apoiaram-se sobre a base topográfica já publicada e incluíram a recolha de materiais, para estudo e análise: filões, solos, sedimentos de corrente e plantas (aquáticas e terrestres). Para a escolha dos locais de amostragem teve-se em conta os acessos aos locais e factores geológicos.

4.1.1 - 1ª Fase

A primeira fase consistiu na amostragem de sedimentos de corrente e de plantas aquáticas da Ribeira de Celavisa e seus tributários. A colheita, incidiu num total de 16 pontos de amostragem tendo sempre como condicionantes o acesso à linha de água e a presença de água (Fig 4.1). Os sedimentos foram recolhidos de forma ao material ser retirado o mais próximo possível do “bed rock”.

Todas as espécies de plantas foram classificadas no Laboratório de Biogeoquímica do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, por comparação visual ou com recurso a várias publicações. Para facilitar a consulta, relativamente às 13 espécies amostradas, apresenta-se no anexo 4.1 uma listagem dos nomes científicos.

4.1.2 - 2ª Fase

A segunda campanha de amostragem, consistiu na recolha de solos, plantas e amostras de filões ao longo de 2 perfis e uma amostragem pontual. A localização dos perfis foi escolhida tendo em conta factores geológicos até então conhecidos. O perfil PL junto a Vale Maceira, com um total de 9 pontos de amostragem e 2 amostras de filões (Fig 4.3), o perfil PV junto ao vértice geodésico do Cabeço do Vieiro com 9 pontos de amostragem e 3 filões (Fig 4.4) e ainda uma amostragem pontual de solo, plantas e filões numa antiga mina Romana junto ao Cabeço do Pião (Fig 4.5).

Todas as espécies de plantas foram classificadas no Laboratório de Biogeoquímica do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, por comparação visual ou com recurso a várias publicações. Para facilitar a consulta, relativamente às 32 espécies amostradas, apresenta-se no anexo 4.2 uma listagem dos nomes científicos.

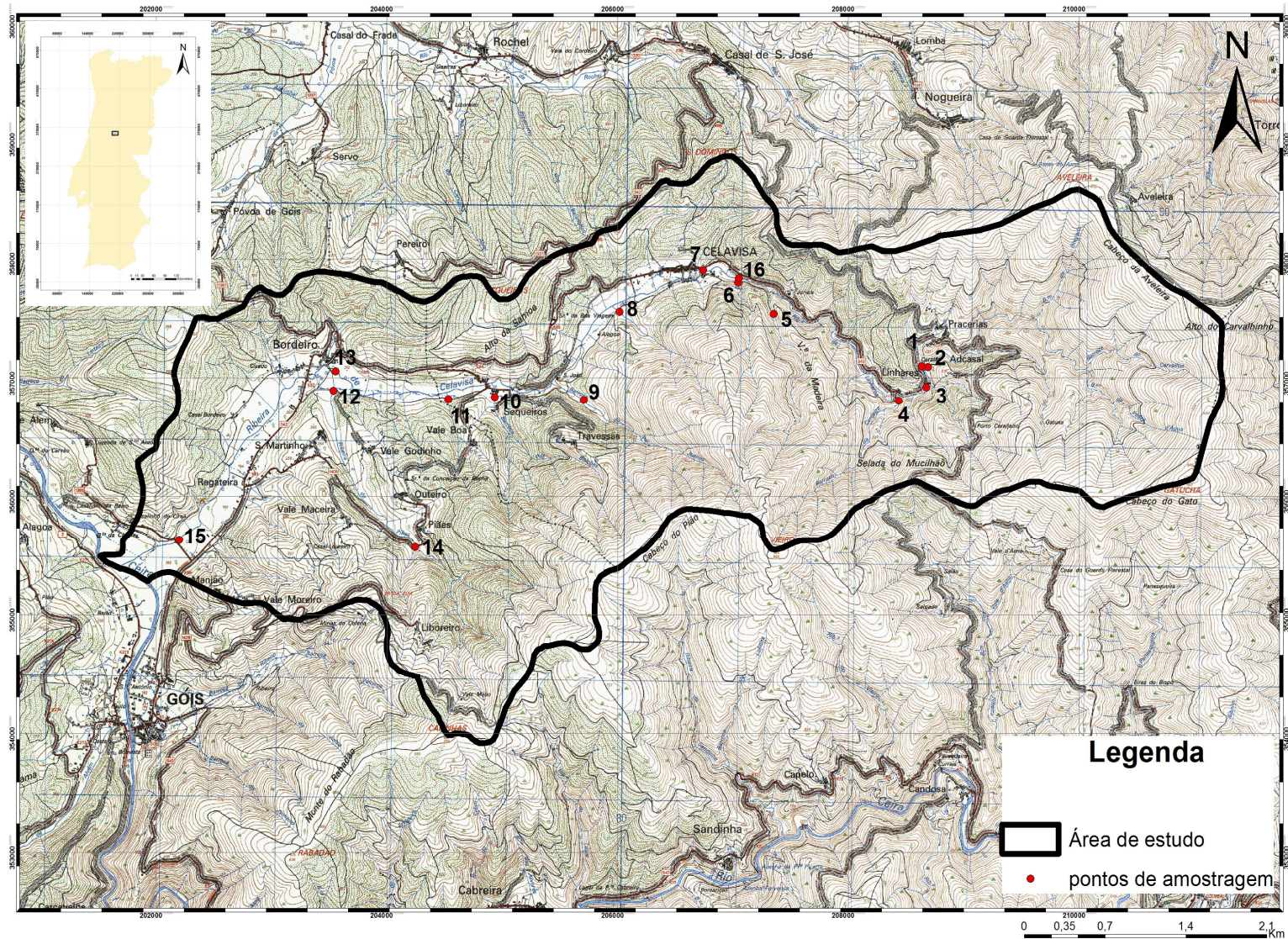


Figura 4.1 – Localização dos pontos de amostragem relativos à 1ª Campanha (adaptado de Carta Militar de Portugal nº243 (Góis); 1:25000, do Serviço Cartográfico do Exército, 1992)



Figura 4.2 – Campanhas de amostragem: a) e d) amostragem de sedimentos de corrente; b) amostragem de plantas aquáticas; c) plantas aquáticas no laboratório; e) vista panorâmica sobre a zona do perfil PV; f) filão amostrado.

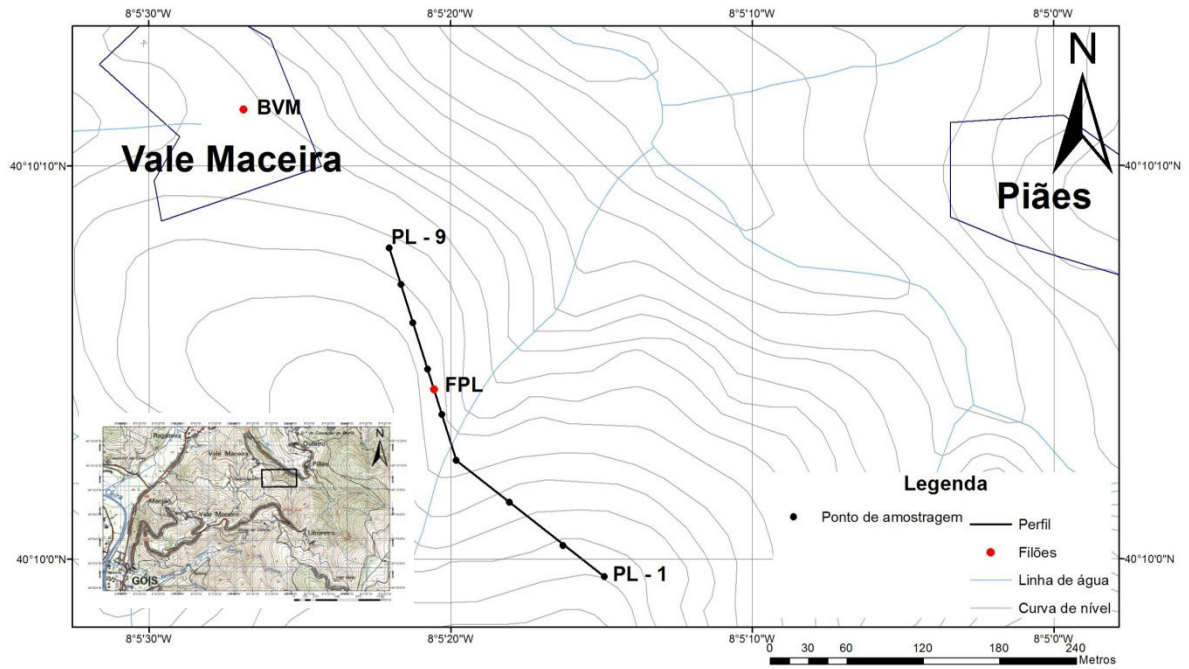


Figura 4.3 – Localização dos pontos de amostragem na zona de Vale Maceira

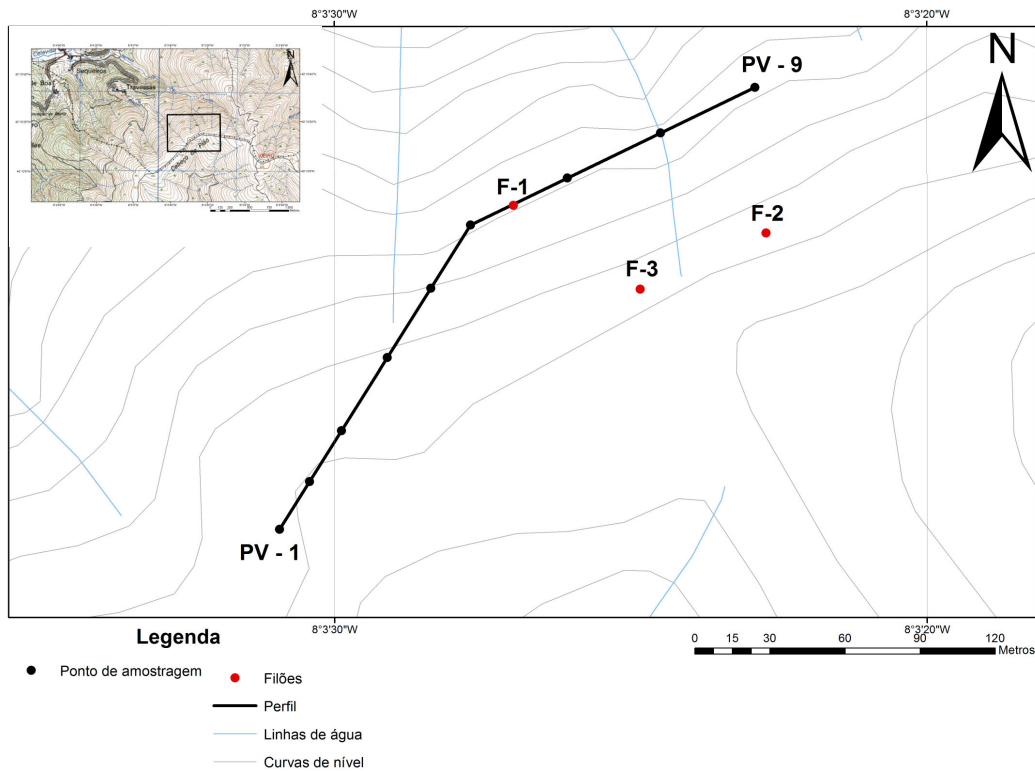


Figura 4.4 – Localização dos pontos de amostragem na zona do Vieiro

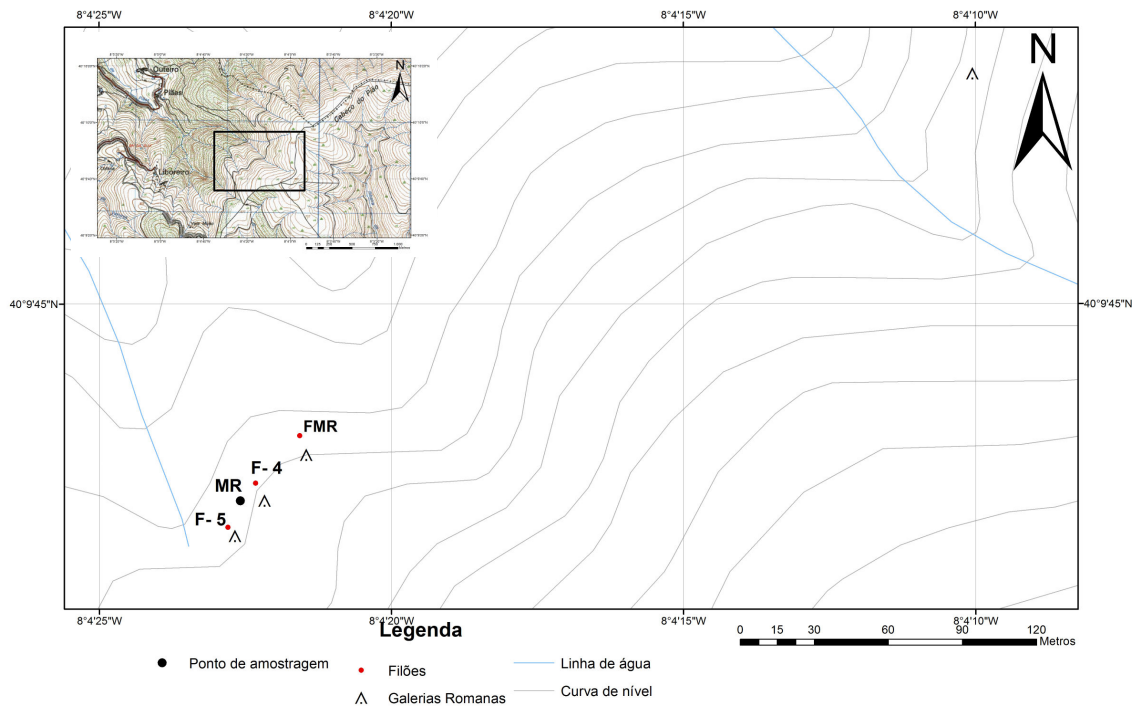


Figura 4.5 – Localização dos pontos de amostragem na zona da antiga mina Romana

4.2 - Trabalho de laboratório

4.2.1 - Tratamento das amostras

4.2.1.1 – Plantas

No laboratório, o material vegetal foi seco em estufa, a uma temperatura de 50°C durante cerca de uma semana. Em seguida as amostras foram moídas com o auxílio de um moinho (Culatti Typ MFC) e guardadas em sacos de plástico até que se procedesse à análise química.

4.2.1.2 - Sedimentos, solos e filões

As amostras de sedimentos e solos foram secas em estufa, a uma temperatura de 60°C durante uma semana. Foram posteriormente crivadas através de um peneiro de 180 µm sendo a fracção superior guardada para trabalhos futuros, enquanto que a fracção inferior foi devidamente homogeneizada e quarteada com o objectivo de se proceder à análise química.

Foram colhidas diversas amostras pontuais de filões. Foram posteriormente moídos com o auxílio de um moinho de maxilas até uma granulometria inferior a 180 µm e analisados.

4.2.2 - Técnicas analíticas

As técnicas analíticas utilizadas para a análise dos diversos materiais, (sedimentos, solos, filões e plantas) foram a Espectrofotometria de absorção atómica por chama (AAS), Espectrofotometria de absorção atómica com câmara de grafite (GFAAS) e Espectrofotómetro UV-Visível.

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Biogeoquímica do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra conforme os métodos analíticos discriminados na Tabela 4.1

Tabela 4.1 – Técnicas analíticas utilizadas (* - Standard Methods for Examination of Water and Wastewater)

Elemento	Método analítico
Ag, As, Sb, Sn	Espectrofotometria de absorção atómica com câmara de grafite (GFAAS) (3113B: *)
Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	Espectrofotometria de absorção atómica por chama (AAS) (3111B: *)
W	Espectrofotometria Uv-Visível (Quin e Brooks, 1972)
Au	Espectrofotometria de absorção atómica com câmara de grafite (GFAAS) após extracção por MIBK (Anderson <i>et al</i> , 2005; Van Loon e Barefoot, 1988)

4.2.2.1 - Determinação de Au em plantas.

Pesar 2 gramas de cada amostra, já previamente moída, num copo de vidro. Levar à mufla a 450°C durante 8 horas com o objectivo de incinerar a amostra.

Colocar a cinza num tubo de teflon, adicionando 6 ml de ácido clorídrico (HCl) concentrado (37%) e 2 ml de ácido nítrico (HNO₃) concentrado (65%), introduzindo de seguida o tubo de teflon ao micro-ondas de alta pressão (Microwave 3000 Anton Paar) num programa predefinido.

Deixar arrefecer e verter o conteúdo para um balão volumétrico de 25 ml, completando o volume com HCl 2M.

Colocar 5 ml da amostra num tubo de plástico, juntamente com 5 ml de HCl 2M e 2 ml de MIBK (metil isobutyl cetona $C_6H_{12}O$). Agitar vigorosamente durante cerca de 20 minutos e retirar uma dada quantidade do extracto orgânico (MIBK) que vai ser analisado por GFAAS.

4.2.2.2 - Determinação de Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb e Zn em plantas.

Pesar 0,5 gramas de cada amostra num tubo de teflon. Adicionar a cada tubo, 8 ml de ácido nítrico (HNO_3) a 65% e 2 ml de peróxido de hidrogénio (H_2O_2) a 30% colocando de seguida o tubo, devidamente fechado, no micro-ondas num programa predefinido.

Verter o conteúdo de cada tubo para um balão volumétrico de 25 ml e completar o volume com água destilada (Milli Q). As técnicas analíticas utilizadas foram as que estão representadas na Tabela 1.

4.2.2.3 - Determinação de Ag, As, Au, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, Sn e Zn em sedimentos, solos e filões.

Pesar 0,5 gramas de cada amostra (fracção $<180\mu m$) num tubo de teflon. Adicionar a cada tubo 9 ml de ácido clorídrico (HCl) a 37% e 3 ml de ácido nítrico (HNO_3) a 65% colocando de seguida o tubo, devidamente fechado, no micro-ondas num programa predefinido.

Verter o conteúdo de cada tubo para um balão volumétrico de 50 ml e completar o volume com água destilada (Milli Q). As técnicas analíticas utilizadas foram as que estão representadas na Tabela 1

Nota: Para a extracção do ouro procedeu-se da mesma maneira das plantas, utilizando 5 ml da amostra + 5 ml de HCl 2M + 2 ml de MIBK.

4.2.2.4 – Determinação de W em plantas

A metodologia adoptada seguiu as orientações definidas por Quin e Brooks (1971), que consiste em pesar 2 gramas de cada amostra em copos de vidro e colocar na mufla a $500^\circ C$ durante 8 horas. Transferir a amostra para tubos de ensaio adicionando 10 ml de cloreto de estanho ($SnCl_2$) a 10%. Levar ao banho-maria durante 20 minutos a $85^\circ C$. De seguida adicionar 1 ml da solução de ditiol (toluene-3,4-dithiol em acetato de isoamilo), aquecendo em banho maria, no mínimo durante 6 horas até restar apenas uma gota de ditiol.

Retirar o tubo do banho-maria e dissolver a gota contendo o complexo tungsténio-ditiol em 1 ml de petróleo (petroleobenzeno 80-100°C). Medir a 630 nm usando o Espectrofotómetro UV-Visível e comparar com a curva padrão efectuada.

4.2.2.5 – Determinação de W em sedimentos.

A metodologia adoptada seguiu as orientações definidas por Quin e Brooks (1971), que consiste em pesar 0,2 gramas de cada amostra (fracção <180µm) em copos de vidro adicionando 1 grama de hidrogenossulfato de potássio (KHSO₄). Levar à mufla a 575°C durante 2 minutos. Retirar da mufla e dissolver em 10 ml de HCl 10M. Transferir 5 ml da solução para um tubo de ensaio adicionando 5 ml de cloreto de estanho (SnCl₂) a 20%. Levar ao banho-maria durante 10 minutos a 85°C. De seguida adicionar 1 ml da solução de ditiol (toluene-3,4-dithiol em acetato de isoamilo), aquecendo em banho maria, no mínimo durante 6 horas até restar apenas uma gota de ditiol.

Retirar o tubo do banho-maria e dissolver a gota contendo o complexo tungsténio-ditiol em 5 ml de petróleo. Medir a 630 nm usando o Espectrofotómetro UV-Visível e comparar com a curva padrão efectuada.

Nota: Por motivos de tempo e problemas analíticos as análises de W apenas foram feitas para os sedimentos de corrente e plantas aquáticas da 1ª fase.

4.3 - Tratamento de dados

O tratamento gráfico e estatístico foi feito com o auxílio do Microsoft Excel e AnDad. Os resultados obtidos foram sujeitos a diversos tratamentos estatísticos para a sua caracterização que envolveram a análise univariada, determinação de correlações lineares e Análise em Componentes Principais (ACP).

4.3.1 - Correlação entre as variáveis

A análise de correlação entre as variáveis é uma ferramenta importante para detectar afinidades entre os elementos das várias amostras, fornecendo indicações sobre os mecanismos envolvidos na determinação do comportamento das variáveis investigadas.

4.3.2 - Análise em componentes principais (ACP)

A utilização da Análise em Componentes Principais (ACP) no presente trabalho, visou fundamentalmente estabelecer as relações multi-dimensionais entre as diversas variáveis, de modo a detectar associações de elementos. Além disso pretendeu-se também separar pontos que manifestam a anomalia no solo dos que pertencem ao fundo regional. Esta análise foi efectuada utilizando o programa ANDAD

O algoritmo particular da ACP utilizado neste trabalho assenta sobre a standirzação das variáveis – o primeiro passo consiste em substituir a matriz de dados brutos, de elementos químicos z_{ij} , pelo quadro transformado de elementos químicos t_{ij} , onde $t_{ij} = (z_{ij} - m_j) / s_j(n)^{1/2}$ (m_j é a média da coluna j , s_j é o respectivo desvio padrão e n é o numero de indivíduos).

Em ACP os factores, classificados por ordem decrescente da sua importância na explicação da forma da nuvem inicial constituída pelo conjunto das n amostras no espaço das p propriedades, dão origem a um sistema de eixos ortogonais (de dimensão reduzida) que permitem uma primeira visualização do quadro de partida, através de gráficos com as projecções das amostras e variáveis nos eixos factoriais.

Assim, os gráficos planos obtidos sobre diferentes conjuntos de amostras podem ser comparáveis entre si, visto que as projecções das variáveis estão contidas sempre na mesma hiperesfera de raio unitário.

Numa segunda análise procedeu-se à separação das amostras anómalas com o intuito de calcular o valor do background para os solos de cada um dos perfis e para algumas espécies de plantas.

Capítulo 5 - Resultados e discussão

Optou-se por dividir os resultados obtidos assim como a sua discussão em três partes: as duas primeiras partes correspondem aos resultados obtidos nas duas primeiras fases de amostragem; na terceira parte faz-se uma selecção de espécies bioindicadoras e a representação das anomalias encontradas em sedimentos, solos e plantas.

5.1 - 1ª Fase (amostragem de linhas de água)

A primeira fase de amostragem incidiu na recolha de sedimentos de linha de água e macrófitas aquáticas num total de 16 pontos ao longo da ribeira da Celavisa e seus tributários.

O sedimento é uma mistura bastante complexa de fases sólidas que pode incluir argila, sílica, matéria orgânica, óxidos metálicos, carbonatos, sulfuretos, provenientes do solo e transportados pelas águas. Também é constituído por organismos vivos degradados no sistema aquoso.

Os sedimentos de linha de água, sendo um dos melhores meios concentradores de minerais densos são portanto muito utilizados na prospecção de jazigos minerais pelo facto de estes nos fornecerem um conhecimento geral de toda uma bacia hidrográfica. Os processos de meteorização geram produtos solúveis e insolúveis, sendo os primeiros facilmente absorvidos ou adsorvidos pelas plantas podendo fornecer de uma forma secundária informações da composição química da bacia hidrográfica amostrada.

5.1.1 - Sedimentos de linha de água

5.1.1.1 - Composição química

Na tabela 5.1 encontra-se representada a caracterização estatística univariada dos sedimentos de linha de água relativos à globalidade das amostras. Na figura 5.1 apresentam-se os gráficos box & whisker plot respectivos.

Tabela 5.1 – Valores estatísticos dos dados correspondentes aos sedimentos de linha de água da Ribeira da Celavisa (n=16; < l.d – abaixo do limite de detecção)

	Unidade	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Coefficiente de variação
As	mg/kg	31,65	24,87	7,35	82,10	21,51	0,68
Sb	µg/kg	764,64	155,21	<l.d	9386,11	2388,67	3,12
Ag	µg/kg	207,49	188,87	56,92	556,70	139,42	0,67
Au	µg/kg	80,53	29,30	6,86	481,10	130,20	1,62
W	mg/kg	2,80	2,06	0,35	7,98	2,42	0,86
Cu	mg/kg	41,56	38,34	27,28	65,49	10,79	0,26
Pb	mg/kg	38,86	34,02	18,96	79,07	16,37	0,42
Zn	mg/kg	127,40	120,82	77,62	182,99	35,55	0,28
Cr	mg/kg	47,20	47,21	34,12	61,11	7,51	0,16
Ni	mg/kg	33,02	30,06	19,00	64,16	12,91	0,39
Co	mg/kg	6,50	6,36	<l.d	12,95	4,00	0,62
Cd	mg/kg	2,25	1,93	<l.d	4,04	0,80	0,35

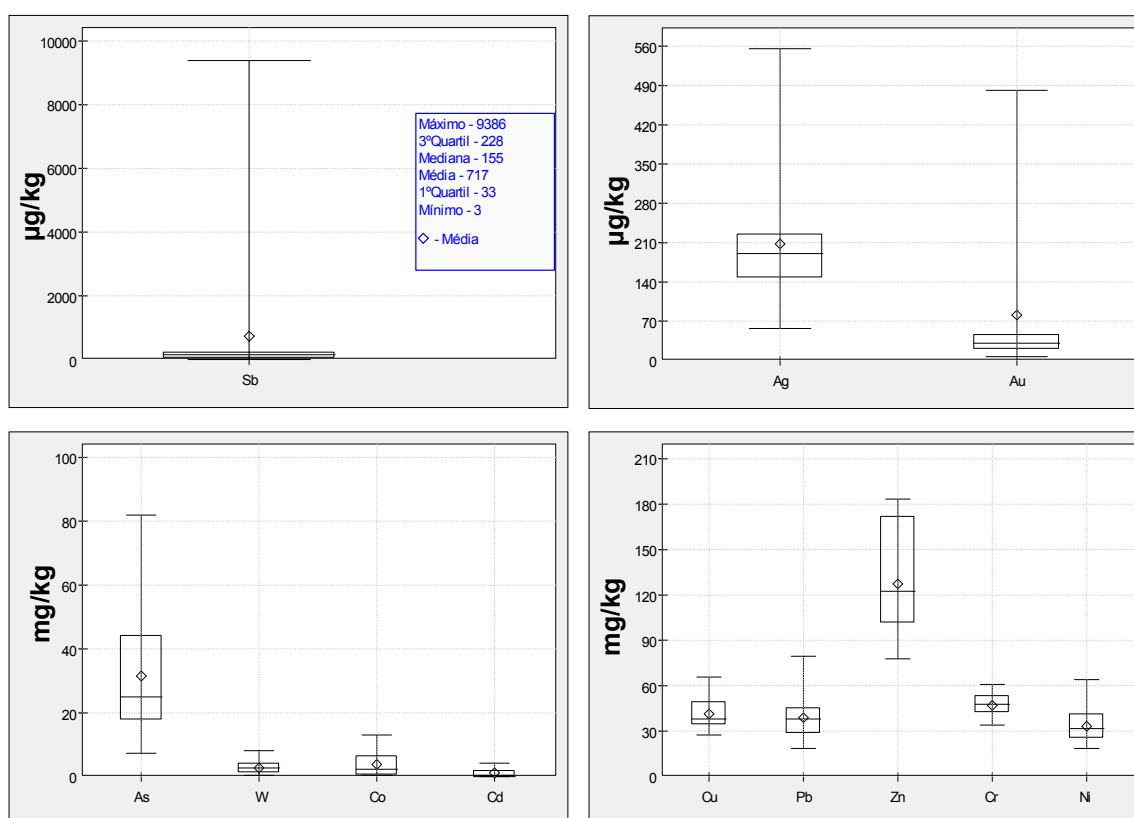


Figura 5.1 - Gráficos box & whisker plot dos elementos químicos dos sedimentos de linha de água.

Pela observação da tabela 5.1 e da figura 5.1 pode constatar-se que elementos como o Cu, Pb, Zn, Cd, Co e Cr apresentam variações de teores mais baixas, enquanto que o Sb, W e Au apresentam grandes variações nos teores evidenciando a presença de “outliers”.

Na tabela 5.2 apresenta-se a matriz de correlação entre os diversos parâmetros estudados. Verificam-se fortes correlações entre o As e o Zn; (Fig 5.2) e o As e o W. A Ag também se correlaciona com o Cu, Pb e Cd. É ainda de salientar a forte correlação do Cu com o Pb, Zn e Cd e ainda do Pb com o Zn (Fig 5.2). Estes resultados são esperados dadas as paragêneses distintas que ocorrem na área e a distinta mobilidade dos elementos. A presença de blenda e marmatite que pode conter alguma galena associada e a prata em sulfossais ou associada à galena podem justificar estas correlações. Tal vai ser realçado quando a aplicação de ACP.

Tabela 5.2 - Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson dos dados correspondentes às amostras de sedimentos de linha de água da ribeira da Celavisa (n = 16; os coeficientes de correlação linear significativos para p < 0,05 estão a negrito).

	As	Sb	Ag	Au	W	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
As	1											
Sb	-0,21	1										
Ag	0,32	0,02	1									
Au	-0,08	-0,10	0,25	1								
W	0,56	-0,18	0,28	0,05	1							
Cu	0,32	-0,16	0,61	0,12	-0,03	1						
Pb	0,39	-0,30	0,65	0,23	0,48	0,63	1					
Zn	0,72	-0,27	0,26	0,08	0,50	0,52	0,70	1				
Cr	0,31	0,22	-0,07	-0,27	0,17	-0,02	0,21	0,22	1			
Ni	0,12	-0,19	-0,34	0,07	-0,09	0,28	0,22	0,46	0,10	1		
Co	0,39	-0,07	0,20	0,18	0,57	0,17	0,44	0,39	0,38	0,14	1	
Cd	0,49	-0,18	0,54	-0,03	0,21	0,60	0,30	0,48	-0,41	-0,15	0,05	1

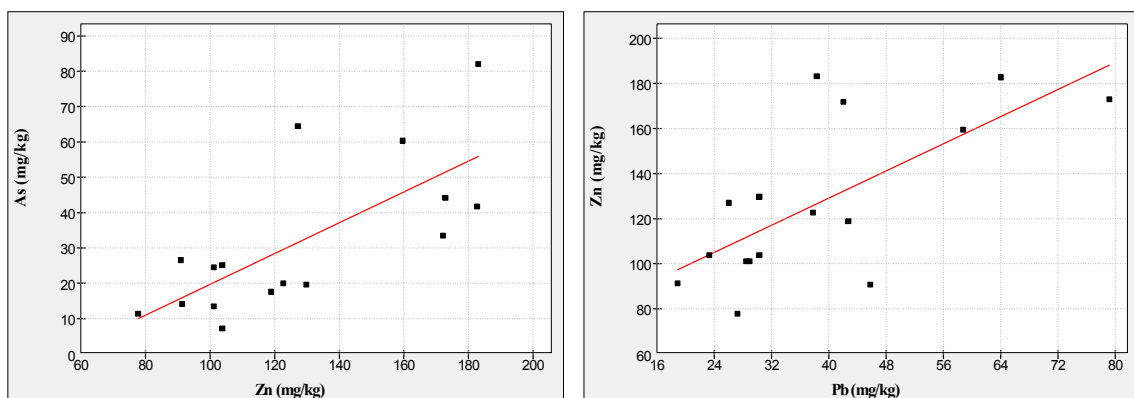


Figura 5.2 – Gráfico das correlações observadas nos sedimentos entre o Zn e o As e o Pb e Zn.

5.1.1.2 - Análise em componentes principais

O estudo de dados geoquímicos com aplicação do método da ACP permite uma maior compreensão e interpretação das informações tendo em consideração a separação de associações de elementos inerentes à estrutura da matriz de correlação que, conjuntamente, representam grande parte da variabilidade observada dos dados originais.

A matriz de dados é composta por um total de 16 indivíduos e 12 variáveis (As, Sb, Ag, Au, W, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, Cd). Na tabela 5.3 apresentam-se os valores próprios e a percentagem de variância explicada de cada um dos eixos da ACP. Verifica-se que os cinco primeiros eixos explicam conjuntamente 83,65% da variância total.

Tabela 5.3 - Valores próprios, percentagem de variância explicada dos eixos factoriais resultantes da ACP dos sedimentos de linha de água da Ribeira da Celavisa

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6	Eixo 7
Valor próprio	4.15	1.98	1.50	1.25	1.16	0.70	0.48
Variância explicada (%)	34.60	16.48	12.53	10.39	9.66	5.81	3.97
Variância explicada acumulada (%)	34.60	51.07	63.60	74.00	83.65	89.46	93.44

Na tabela 5.4 apresentam-se os valores das coordenadas activas dos cinco primeiros eixos.

O eixo 1 explica as variáveis As, Ag, W, Cu, Pb, Zn, Co e Cd. O eixo 2 explica as variáveis Cd e negativamente Cr. A variável Ni é explicada no eixo 3. O Au no eixo 4 e finalmente, o eixo 5 contribui para a explicação da variável Sb.

Tabela 5.4 – Coordenadas das variáveis nos cinco primeiros eixos resultantes da ACP dos sedimentos de corrente da Bacia da Celavisa. Os pesos dentro de cada eixo factorial iguais ou superiores a 0,5 encontram-se a negrito

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5
As	0.7460	-0.2354	-0.1375	-0.3520	0.1824
Sb	-0.3264	-0.0963	-0.4581	-0.0299	-0.6013
Ag	0.6338	0.4962	-0.4115	0.1673	-0.2704
Au	0.1762	0.2519	0.1727	0.8319	0.0282
W	0.6118	-0.3248	-0.3875	0.1364	0.4652
Cu	0.6889	0.3838	0.2562	-0.1160	-0.4634
Pb	0.8483	-0.0001	0.0585	0.2338	-0.1909
Zn	0.8585	-0.2007	0.2530	-0.1685	0.0265
Cr	0.1599	-0.7804	-0.2303	-0.0871	-0.4159
Ni	0.2140	-0.3618	0.8333	-0.0190	-0.1644
Co	0.5602	-0.4694	-0.1900	0.3537	0.0442
Cd	0.6040	0.5912	-0.0958	-0.3926	0.1404

Na figura 5.3 estão representadas as projecções das variáveis nos primeiros quatro planos factoriais

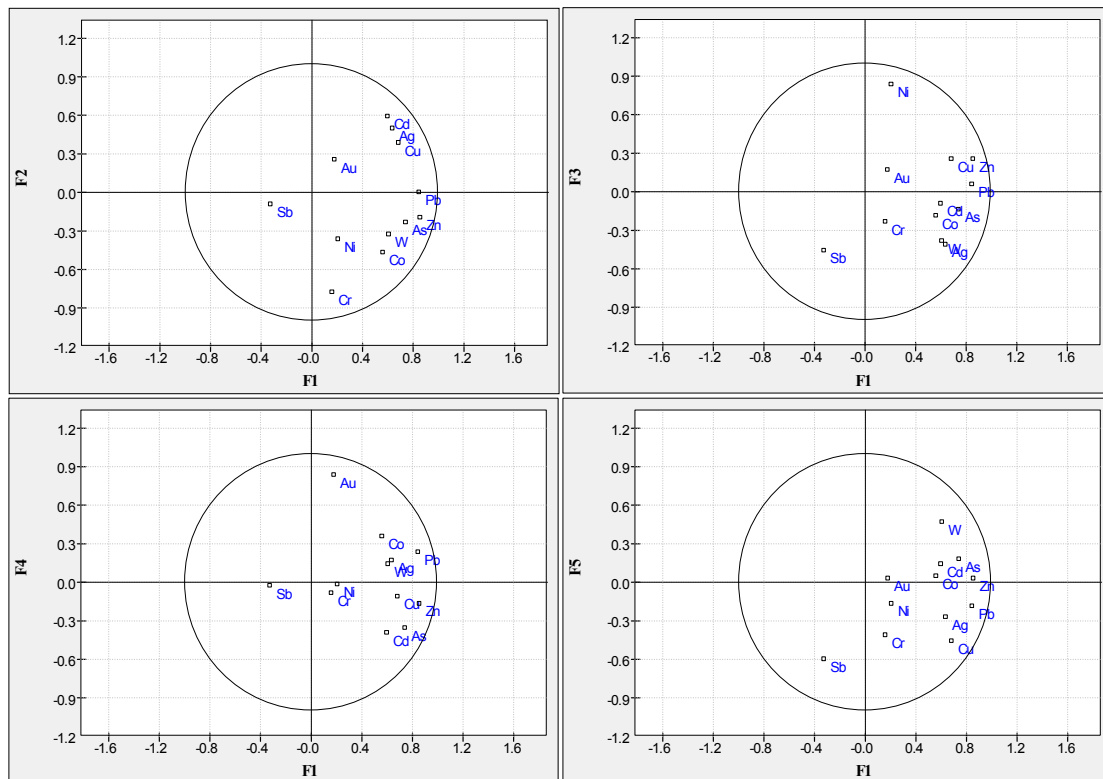


Figura 5.3 - Projecção das variáveis nos primeiros quatro planos factoriais, relativas aos sedimentos de corrente da ribeira da Celavisa.

Da análise dos dados da tabela 5.4 e da figura 5.3 é possível individualizar as variáveis em dois grupos distintos: um primeiro grupo constituído por Cd, Ag e Cu e um segundo grupo constituído por Pb, Zn, As, W, Co e Cr. Estes dois grupos relacionam-se intimamente com o contexto geológico da região e com as mineralizações presentes na área.

O Au é explicado apenas no terceiro plano factorial, mostrando-se independente das restantes variáveis e não mostrando nenhuma afinidade com nenhum dos elementos. A inexistência da afinidade deste elemento com a Ag revela que este deverá ocorrer nos sedimentos das linhas de água sob a forma nativa pressupondo que toda a Ag contida nas partículas auro-argentíferas terá sido lixiviada.

O Sb é explicado no quarto plano factorial e também se mostra independente das restantes variáveis. A inexistência de correlação do Sb com o restantes elementos poderá ser justificada por uma amostra bastante anómala no ponto 13. Também neste ponto pode ser observada estibina à lupa binocular.

Com base na análise de ACP foi possível calcular o valor do “background” para os sedimentos de corrente bem como o valor máximo das anomalias verificadas (tabela 5.5). O valor do background foi calculado a partir da média das amostras que não foram consideradas anómalas. As amostras anómalas foram retiradas a partir da observação da figura 5.4.

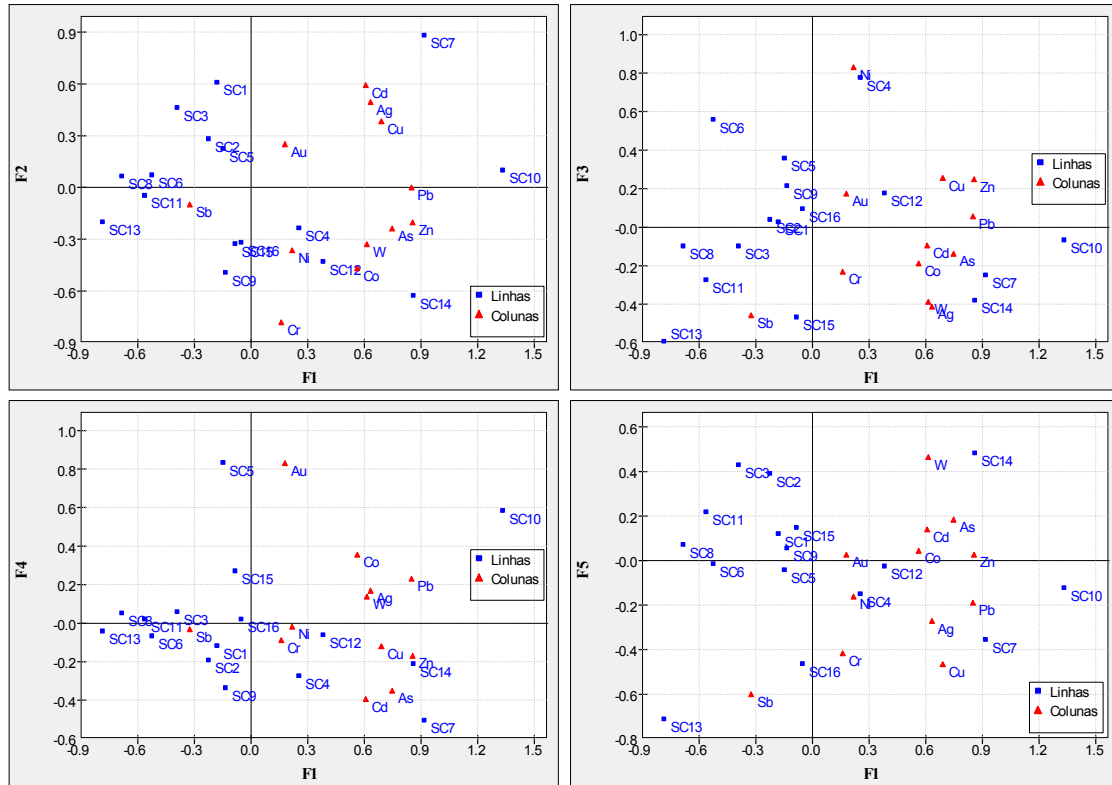


Figura 5.4 - Projecção das amostras de sedimentos nos primeiros quatro planos factoriais

Tabela 5.5 – Valores máximo das anomalias e valor do background para os sedimentos de linha de água da área em estudo calculados a partir de ACP (valores em mg/kg com excepção do Sb, Ag e Au que é expresso em µg/kg)

Variável	Anomalia Max	Background
As	82,10	19,42
Sb	9386,11	96,02
Ag	556,70	134,67
Au	481,10	26,09
W	7,98	1,49
Cu	65,49	35,50
Pb	79,07	30,11
Zn	182,99	103,84
Cr	61,11	45,58
Ni	64,16	28,36
Co	12,95	4,99
Cd	4,04	1,96

5.1.2 - Macrófitas aquáticas

Na área estudada as espécies vegetais aquáticas são pouco diversificadas, dado que a maioria dos cursos de água são sazonais. No anexo 4.1 encontra-se o inventário das espécies aquáticas amostradas. Dado o pequeno número de pontos com todas as espécies amostradas optou-se por fazer um tratamento de apenas 3 espécies: *Oenanthe crocata*, *Apium nodiflorum* e *Fontinalis antipyretica*. As restantes espécies não foram tratadas com tanto pormenor.

5.1.2.1 - *Oenanthe crocata*

Esta espécie é a única que existia em todos os pontos de amostragem e, portanto, é a única que nos poderá fornecer informações concretas da totalidade dos 16 pontos amostrados. Na tabela 5.6 encontra-se representada a caracterização estatística univariada desta espécie relativa à globalidade das amostras.

Pela observação da tabela 5.6 pode constatar-se que elementos como o Cr, Ni, Sb, Cu, Co e Cd apresentam variações de teores mais baixas enquanto que o As, Ag e W apresentam grandes variações nos teores evidenciando a presença de “outliers”.

Tabela 5.6 – Valores estatísticos dos dados correspondentes à espécie *Oenanthe crocata* (n=16; < l.d – abaixo do limite de deteção)

	Unidade	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Coefficiente de variação
As	mg/kg	0,84	0,09	0,02	7,81	1,99	2,35
Sb	µg/kg	26,20	25,40	6,26	66,14	14,29	0,55
Ag	µg/kg	44,43	24,92	3,37	170,30	51,56	1,16
Au	µg/kg	13,97	8,55	2,42	36,39	11,96	0,86
W	mg/kg	0,18	0,02	0,00	0,91	0,28	1,56
Cu	mg/kg	6,58	6,00	2,66	12,99	2,76	0,42
Pb	mg/kg	2,97	2,97	< l.d	4,84	2,64	0,89
Zn	mg/kg	68,29	43,07	23,92	178,80	50,65	0,74
Cr	mg/kg	24,46	24,05	7,22	46,28	9,34	0,38
Ni	mg/kg	19,54	17,53	0,80	48,72	11,59	0,59
Co	mg/kg	7,96	9,10	0,66	18,52	5,10	0,64
Cd	mg/kg	1,54	1,75	0,17	3,55	0,88	0,57

Atendendo aos coeficientes de correlação linear (tabela 5.7) verifica-se que esta apresenta correlações positivas significativas entre o As e o Cu, Zn e Co. É ainda de

salientar a forte correlação entre o Au e o Zn, Cr e Ni entre o Cu o Zn, Cr e Ni e ainda entre o Cr, Ni e Cd.

Tabela 5.7 - Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson dos dados correspondentes às amostras de *Oenanthe crocata* da ribeira da Celavisa (n = 16; os coeficientes de correlação linear significativos para $p < 0,05$ estão a negrito).

	As	Sb	Ag	Au	W	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
As	1											
Sb	-0,02	1										
Ag	-0,02	0,58	1									
Au	0,19	0,41	0,07	1								
W	-0,04	0,09	-0,26	0,12	1							
Cu	0,79	0,19	0,04	0,21	-0,14	1						
Pb	-0,12	0,20	-0,15	-0,24	-0,11	0,19	1					
Zn	0,59	0,13	-0,28	0,64	0,27	0,52	-0,10	1				
Cr	0,12	0,56	0,13	0,52	-0,16	0,48	-0,06	0,41	1			
Ni	0,19	0,45	0,13	0,55	-0,16	0,53	-0,18	0,33	0,92	1		
Co	0,50	0,03	0,09	-0,35	-0,01	0,44	-0,15	0,03	0,17	0,11	1	
Cd	-0,07	0,23	-0,07	0,05	-0,01	0,45	0,27	0,18	0,67	0,60	0,13	1

Estas correlações poderão estar intimamente relacionadas com a composição química do substrato.

Procedeu-se à ACP para melhor compreender os resultados obtidos. A matriz de dados é composta por um total de 16 indivíduos e 12 variáveis (As, Sb, Ag, Au, W, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, Cd). Na tabela 5.8 apresentam-se os valores próprios e a percentagem de variância explicada de cada um dos eixos da ACP. Verifica-se que os cinco primeiros eixos explicam conjuntamente 85,31% da variância total.

Tabela 5.8 - Valores próprios, percentagem de variância explicada dos eixos factoriais resultantes da ACP da *Oenanthe crocata*

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6	Eixo 7
Valor próprio	3,91	2,02	1,76	1,48	1,07	1,00	0,35
Variância explicada (%)	32,56	16,83	14,64	12,37	8,92	8,37	2,91
Variância explicada acumulada (%)	32,56	49,38	64,02	76,39	85,31	93,68	96,58

Na tabela 5.9 apresentam-se os valores das coordenadas activas dos cinco primeiros eixos.

O eixo 1 explica as variáveis As, Sb, Au, Cu, Zn, Cr, Ni e Cd. O eixo 2 explica as variáveis Sb e negativamente As. As variáveis W e Co é explicada no eixo 3. A Ag e Pb no eixo 4.

Tabela 5.9 – Coordenadas das variáveis nos cinco primeiros eixos resultantes da ACP das amostras de *Oenanthe crocata*. Os pesos dentro de cada eixo factorial iguais ou superiores a 0,5 encontram-se a negrito.

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5
As	0,5018	-0,7506	0,1224	0,2837	0,1892
Sb	0,5411	0,5617	0,0500	0,2104	0,5028
Ag	0,1465	0,4967	0,3434	0,6765	0,2465
Au	0,6109	0,1733	-0,6712	0,1840	0,0616
W	-0,0546	-0,1885	-0,5293	-0,1256	0,3026
Cu	0,7683	-0,4255	0,3230	-0,0777	0,1661
Pb	-0,0423	0,1341	0,3354	-0,6531	0,6033
Zn	0,6408	-0,4425	-0,5024	-0,0735	0,1619
Cr	0,8888	0,3077	0,0312	-0,0985	-0,2319
Ni	0,8708	0,2562	-0,0016	-0,0237	-0,3355
Co	0,2590	-0,4761	0,5963	0,2341	-0,0882
Cd	0,5891	0,2150	0,2537	-0,5906	-0,1847

Da análise dos dados da tabela 5.9 e da figura 5.5 é possível individualizar as variáveis em dois grupos distintos:

Um primeiro grupo constituído por As, Zn e Cu com alguma afinidade com o Co. Esta associação representa os elementos principais dos tipos de mineralizações presentes na área. O As pode ser considerado um elemento “pathfinder” de um grande tipo de depósitos, incluindo de ouro, metais base e elementos do grupo da platina (Dunn, 2007).

Um segundo grupo constituído por Au, Cd, Cr, Ni e com alguma afinidade com o Sb e Ag. As plantas exibem por vezes um enriquecimento em Cr, em zonas mineralizadas em Au. O Cr exibe também um certo antagonismo com o Cu e o Ni sinergismo com o Cd (Dunn, 2007).

O W é explicado no segundo plano factorial e apresenta alguma afinidade com o Au e Zn. Apesar deste elemento dever estar correlacionado com o As, têm diferentes comportamentos em ambiente supergénico e na sua biodisponibilidade, o que parece estar aqui evidenciado.

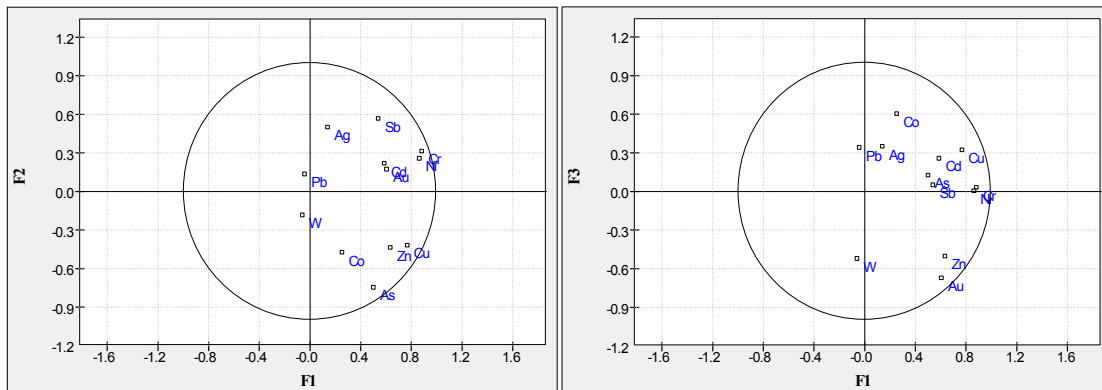


Figura 5.5 - Projecção das variáveis nos dois primeiros planos factoriais, relativas às amostras de *Oenanthe crocata*

Na figura 5.6 apresenta-se a projecção das amostras de *Oenanthe crocata*, com a separação nítida de três amostras anómalas:

- A – DC14 com teores mais elevados de Cr, Ni, Cd e Au
- B – DC4 com teores mais elevados de Sb e Ag
- C – DC3 com teores mais elevados de As

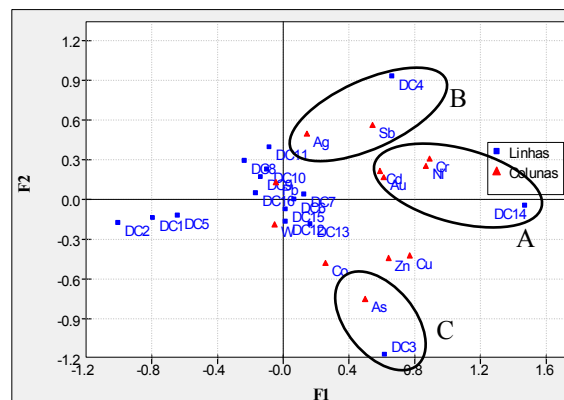


Figura 5.6 - Projecção das amostras de *Oenanthe crocata* no primeiro plano factorial

A representação e discussão das anomalias encontradas para esta espécie vão ser tratadas com maior pormenor no ponto 5.3.2.

5.1.2.2 – *Apium nodiflorum*

Na tabela 5.10 encontra-se representada a caracterização estatística univariada desta espécie relativa à globalidade das amostras.

Tabela 5.10 – Valores estatísticos dos dados correspondentes à espécie *Apium nodiflorum* (n=6; < l.d – abaixo do limite de detecção; - não calculado)

	Unidade	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Coefficiente de variação
As	mg/kg	0,83	0,53	0,04	2,64	0,98	1,17
Sb	µg/kg	36,93	36,10	<l.d	96,48	33,03	0,89
Ag	µg/kg	88,34	49,94	5,37	317,21	118,69	1,34
Au	µg/kg	66,76	14,08	4,97	313,35	121,81	1,82
W	mg/kg	0,04	0,01	0,00	0,16	0,06	1,47
Cu	mg/kg	12,96	9,43	5,88	33,66	10,51	0,81
Pb	mg/kg	<l.d	<l.d	<l.d	<l.d	-	-
Zn	mg/kg	122,74	124,42	52,59	192,10	66,95	0,55
Cr	mg/kg	24,68	20,58	6,94	57,66	17,94	0,73
Ni	mg/kg	48,42	32,57	9,72	108,94	42,08	0,87
Co	mg/kg	9,87	6,49	<l.d	21,17	9,03	0,92
Cd	mg/kg	1,30	1,14	0,40	2,50	0,71	0,54

Pela observação da tabela 5.10 pode constatar-se que elementos como o Zn, Cr, Cd e Cu apresentam variações de teores mais baixas enquanto que o As, Ag, Au e W apresentam grandes variações nos teores evidenciando a presença de “outliers”.

Atendendo aos coeficientes de correlação linear (tabela 5.11) verifica-se que esta apresenta correlações positivas significativas entre o As e o Sb, Ag e Cu. Ainda de salientar fortes correlações entre o Sb e Cu e ainda Ag com o Cu e o Cr.

Tabela 5.11 - Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson dos dados correspondentes às amostras de *Apium nodiflorum* da ribeira da Celavisa (n = 6; os coeficientes de correlação linear significativos para $p < 0,05$ estão a negrito).

	As	Sb	Ag	Au	W	Cu	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
As	1										
Sb	0,92	1									
Ag	0,85	0,78	1								
Au	0,11	0,11	0,09	1							
W	0,40	0,31	-0,05	-0,21	1						
Cu	0,97	0,91	0,95	0,12	0,19	1					
Zn	0,81	0,70	0,50	0,54	0,52	0,70	1				
Cr	0,78	0,79	0,96	0,26	-0,22	0,90	0,48	1			
Ni	0,70	0,66	0,57	0,78	0,18	0,68	0,91	0,64	1		
Co	0,61	0,56	0,75	0,70	-0,32	0,71	0,61	0,85	0,84	1	
Cd	-0,13	-0,28	0,14	0,19	-0,08	-0,06	-0,10	0,07	0,11	0,15	1

Procedeu-se à ACP para melhor compreender os resultados obtidos. A matriz de dados é composta por um total de 6 indivíduos e 12 variáveis (As, Sb, Ag, Au, W, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, Cd). Na tabela 5.12 apresentam-se os valores próprios e a percentagem de variância explicada de cada um dos eixos da ACP. Verifica-se que os 2 primeiros eixos explicam conjuntamente 76,52% da variância total.

Tabela 5.12 - Valores próprios, percentagem de variância explicada dos eixos factoriais resultantes da ACP da *Apium nodiflorum*

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6
Valor próprio	6,47	1,95	1,51	0,96	0,12	0,00
Variância explicada (%)	58,80	17,71	13,70	8,74	1,05	0,00
Variância explicada acumulada (%)	58,80	76,52	90,21	98,95	100,00	100,00

Na tabela 5.13 apresentam-se os valores das coordenadas activas dos cinco primeiros eixos.

O eixo 1 explica as variáveis As, Sb, Ag, Cu, Zn, Cr, Ni e Co. O eixo 2 explica as variáveis W e negativamente Au e Cd.

Tabela 5.13 – Coordenadas das variáveis nos cinco primeiros eixos resultantes da ACP das amostras de *Apium nodiflorum*. Os pesos dentro de cada eixo factorial iguais ou superiores a 0,5 encontram-se a negrito

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5
As	0,9275	0,3549	0,0397	-0,0668	0,0879
Sb	0,8838	0,3578	0,0928	0,1274	-0,2568
Ag	0,8800	0,0006	0,4357	-0,1793	0,0598
Au	0,4209	-0,6874	-0,5578	0,1874	-0,0638
W	0,1504	0,7452	-0,5494	-0,3462	-0,0198
Cu	0,9510	0,2020	0,2204	-0,0569	0,0545
Zn	0,8255	0,1460	-0,5330	0,0136	0,1137
Cr	0,8905	-0,1597	0,4209	0,0077	-0,0663
Ni	0,8706	-0,2414	-0,4258	0,0179	-0,0465
Co	0,8461	-0,5108	0,0490	0,1128	0,0899
Cd	-0,0062	-0,5099	-0,0022	-0,8585	-0,0549

Da análise dos dados da tabela 5.11 e da figura 5.7 verifica-se a existência de um grupo constituído pela associação As, Sb, Cu, Zn, Ag, Cr e Ni. O W e Au ocorrem isoladamente, pressupondo que a sua acumulação se faz de uma forma independente dos

outros elementos, o que é justificado pela sua baixa capacidade de meteorização em ambiente supergénico.

Na figura 5.8 apresenta-se a projecção das amostras de *Apium nodiflorum* com a separação nítida de três amostras anómalas:

- A – A1 com teores mais elevados de W
- B – A2 com teores mais elevados de As, Sb, Ag, Cu e Zn
- C – A4 com teores elevados de Au.

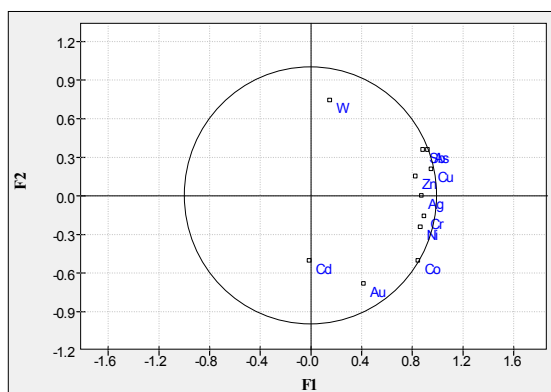


Figura 5.7 - Projecção das variáveis no primeiro plano factorial, relativas às amostras de *Apium nodiflorum*

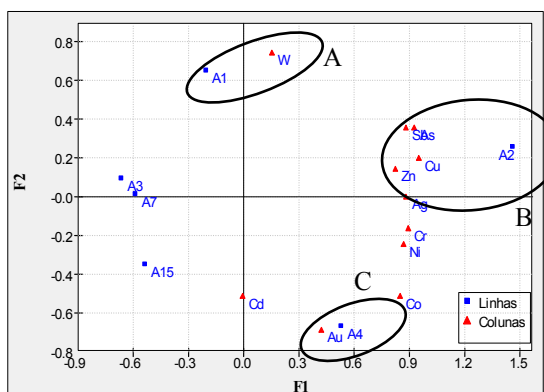


Figura 5.8 - Projecção das amostras de *Apium nodiflorum* no primeiro plano factorial

5.1.2.3 – *Fontinalis antipyretica*

Na tabela 5.14 encontra-se representada a caracterização estatística univariada desta espécie relativa à globalidade das amostras.

Tabela 5.14 – Valores estatísticos dos dados correspondentes à espécie *Fontinalis antipyretica* (n=6; < l.d – abaixo do limite de detecção)

	Unidade	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Coefficiente de variação
As	mg/kg	6,37	6,35	2,59	12,31	3,57	1,79
Sb	µg/kg	46,78	37,50	22,69	107,81	31,06	1,51
Ag	µg/kg	108,08	122,01	22,33	147,23	46,87	2,31
Au	µg/kg	11,11	8,94	2,92	29,75	9,57	1,16
W	mg/kg	1,91	0,18	0,03	10,73	4,32	0,44
Cu	mg/kg	21,00	20,53	12,95	29,18	5,38	3,90
Pb	mg/kg	8,27	7,09	<l.d	22,29	8,71	0,95
Zn	mg/kg	123,12	72,12	59,37	384,56	128,45	0,96
Cr	mg/kg	24,19	28,88	11,07	31,04	8,77	2,76
Ni	mg/kg	47,19	40,73	24,66	101,25	27,30	1,73
Co	mg/kg	26,13	19,37	14,14	67,31	20,40	1,28
Cd	mg/kg	2,42	1,94	0,73	5,78	1,78	1,36

Capítulo 5 - Resultados e discussão

Pela observação da tabela 5.14 pode observar-se que elementos como o W, Pb e Zn apresentam variações de teores mais baixas enquanto que o Cu, Cr, Ag e As apresentam grandes variações nos teores evidenciando a presença de “outliers”.

Atendendo aos coeficientes de correlação linear (tabela 5.15) verifica-se que esta apresenta correlações significativas entre a Ag e o Au, entre o W e o Zn, Ni, Co e Cd. Ainda de salientar fortes correlações entre o Zn e o Ni, Co e Cd e também do Ni com o Co e Cd.

Tabela 5.15 - Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson dos dados correspondentes às amostras de *Fontinalis antipyretica* da ribeira da Celavisa (n = 6; os coeficientes de correlação linear significativos para $p < 0,05$ estão a negrito).

	As	Sb	Ag	Au	W	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
As	1,00											
Sb	0,65	1,00										
Ag	-0,36	-0,02	1,00									
Au	0,07	-0,27	-0,92	1,00								
W	0,12	-0,19	0,35	-0,42	1,00							
Cu	0,07	-0,01	-0,06	-0,09	0,75	1,00						
Pb	-0,11	-0,46	0,04	0,06	0,79	0,68	1,00					
Zn	0,17	-0,20	0,29	-0,37	1,00	0,75	0,79	1,00				
Cr	-0,65	-0,65	-0,17	0,37	0,24	0,51	0,66	0,23	1,00			
Ni	0,13	-0,07	0,32	-0,41	0,97	0,84	0,80	0,96	0,30	1,00		
Co	0,15	-0,08	0,39	-0,48	0,99	0,78	0,76	0,98	0,21	0,99	1,00	
Cd	-0,05	-0,23	0,23	-0,29	0,93	0,92	0,81	0,92	0,50	0,96	0,93	1,00

Procedeu-se à ACP para melhor compreender os resultados obtidos. A matriz de dados é composta por um total de 6 indivíduos e 12 variáveis (As, Sb, Ag, Au, W, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, Cd). Na tabela 5.16 apresentam-se os valores próprios e a percentagem de variância explicada de cada um dos eixos da ACP. Verifica-se que os 2 primeiros eixos explicam conjuntamente 77,38% da variância total.

Tabela 5.16 - Valores próprios, percentagem de variância explicada dos eixos factoriais resultantes da ACP da *Fontinalis antipyretica*

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6
Valor próprio	6,65	2,64	1,91	0,61	0,20	0,00
Variância explicada (%)	55,42	21,96	15,91	5,07	1,64	0,00
Variância explicada acumulada (%)	55,42	77,38	93,29	98,36	100,00	100,00

Na tabela 5.17 apresentam-se os valores das coordenadas activas dos cinco primeiros eixos.

O eixo 1 explica as variáveis W, Cu, Pb, Zn, Ni, Co e Cd. O eixo 2 explica as variáveis As, Sb e negativamente Au e Cr. O eixo 3 explica a variável Ag

Tabela 5.17 – Coordenadas das variáveis nos cinco primeiros eixos resultantes da ACP das amostras de *Fontinalis antipyretica*. Os pesos dentro de cada eixo factorial iguais ou superiores a 0,5 encontram-se a negrito

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5
As	0,0177	0,5730	0,7883	0,2223	0,0221
Sb	0,2379	0,7446	0,3973	-0,4398	0,1944
Ag	-0,3148	0,4823	-0,8100	0,0040	0,1102
Au	0,3567	-0,7243	0,5771	0,1137	0,0468
W	-0,9741	0,1455	0,0278	0,1638	-0,0492
Cu	-0,8405	-0,1135	0,3138	-0,4032	-0,1401
Pb	-0,8510	-0,3801	0,0959	0,1637	0,3087
Zn	-0,9634	0,1330	0,0908	0,2039	-0,0658
Cr	-0,4290	-0,8502	-0,1181	-0,2665	0,0897
Ni	-0,9838	0,1466	0,0821	-0,0324	0,0543
Co	-0,9721	0,2225	0,0352	0,0650	0,0069
Cd	-0,9812	-0,0710	0,0458	-0,1374	-0,1056

Da análise dos dados da tabela 5.17 e da figura 5.9 verifica-se a existência de um grupo constituído pela associação As, Sb e Ag, um segundo grupo pela associação Cu, Pb, Zn, Cd, Co e W. O Au projecta-se independentemente dos outros elementos.

Na figura 5.10 apresenta-se a projecção das amostras de *Fontinalis antipyretica* com a separação nítida de três amostras anómalas:

- A – FA1 com teores mais elevados de As e Sb
- B – FA12 com teores mais elevados em Co, W, Cu, Pb, Zn e Cd
- C – FA15 com teores mais elevados em Au

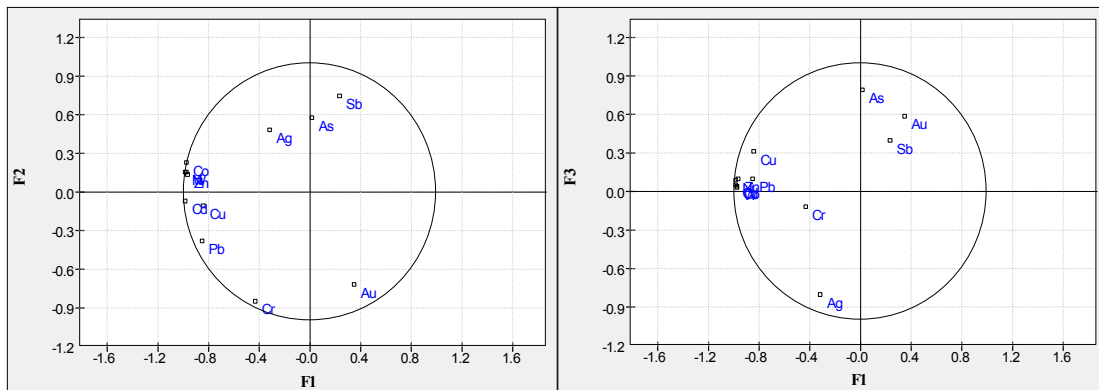


Figura 5.9 - Projecção das variáveis nos dois primeiros planos factoriais, relativas às amostras de *Fontinalis antipyretica*

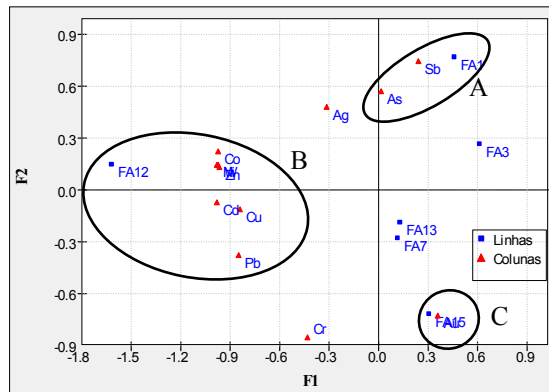


Figura 5.10 - Projecção das amostras de *Fontinalis antipyretica* no primeiro plano factorial

5.1.2.4 – Restantes espécies

Foram recolhidas um total de 14 espécies vegetais, porém, devido ao pequeno número de pontos com todas as espécies, optou-se por apenas se tratar com maior pormenor as três anteriores e fazer uma breve síntese interpretativa das 11 restantes. Na tabela 5.18 encontra-se representada esta síntese.

Devido ao reduzido número de dados disponíveis, os valores apresentados têm apenas um carácter informativo, nada se podendo concluir em relação às anomalias biogeoquímicas fornecidas por estas espécies.

Tabela 5.18 – Valores máximos e mínimos para as restantes espécies amostradas. Para as espécies que apenas foram amostradas em um ponto está representado apenas o valor obtido (<l.d abaixo do limite de detecção).

Variável	n	As (mg/kg)	Sb (µg/kg)	Ag (µg/kg)	Au (µg/kg)	W (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cd (mg/kg)	
<i>Brachythecium rivulare</i>	3	Min	0,03	24,08	22,82	14,29	0,01	18,50	0,50	96,24	14,08	37,40	0,77	0,50
		Max	1,01	82,47	603,81	29,31	0,09	26,05	5,32	183,97	81,56	128,87	44,25	6,88
<i>Calitriche stagnalis</i>	5	Min	0,45	<l.d	10,14	10,70	0,03	2,57	<l.d	93,49	12,51	27,90	<l.d	0,61
		Max	5,21	35,98	205,39	42,62	0,20	18,00	2,00	198,70	84,39	68,07	11,96	8,68
<i>Chiloscyphus polyanthos</i>	5	min	8,83	1,54	1,51	11,73	0,05	16,81	0,50	73,77	7,80	26,62	22,14	0,28
		máx	11,38	46,63	246,78	213,72	39,40	31,51	4,54	328,99	78,46	137,25	112,18	6,55
<i>Thamnobryum alopecurum</i>	6	min	0,28	18,25	106,52	4,69	0,00	10,76	<l.d	53,12	22,96	53,95	3,43	0,81
		máx	6,27	204,03	319,62	68,27	0,19	28,78	8,80	99,94	104,07	208,86	32,34	5,83
<i>Eurhynchium praelongus</i>	4	min	0,21	24,08	22,82	13,34	0,01	16,75	<l.d	51,90	24,04	29,77	10,23	1,28
		máx	4,60	29,69	130,69	29,31	14,07	26,33	6,65	246,51	41,40	190,10	34,60	1,94
<i>Lemna minor</i>	1	0,30	41,52	95,83	10,43	0,03	6,10	<l.d	106,13	22,21	20,87	7,23	0,59	
<i>Dumortiera hirsuta</i>	1	5,92	75,52	38,09	9,26	0,11	23,50	<l.d	105,92	22,61	63,61	24,31	0,54	
<i>Conocephala conica</i>	1	5,46	84,05	93,56	26,65	0,59	46,35	5,31	109,45	45,09	107,02	43,97	2,18	
<i>Lunularia cruciata</i>	1	10,69	15,66	242,15	12,46	19,33	37,72	5,42	279,80	31,21	68,46	29,86	3,27	
<i>Platyhypnidium riparioides</i>	1	0,14	80,91	331,39	36,50	0,02	19,31	<l.d	128,09	90,94	154,59	39,64	6,83	

Pela observação da tabela 5.18 verifica-se uma variação bastante nítida na composição química das diferentes espécies.

A espécie *Brachythecium rivulare* aparenta dar bons resultados para o Sb e Ag. A *Calitriche stagnalis* e *Platyhypnidium riparioides* parecem dar bons resultados para a prospecção de Ag. O *Chiloscyphus polyanthos* apresenta bons resultados para uma grande gama de elementos como o As, Ag, Au, W e Zn e a *Lunularia cruciata* para As, Ag, W e Zn. O *Thamnobryum alopecurum* para Sb e Ag e *Eurhynchium praelongus* para o W. Realce-se que este é sempre constituído fundamentalmente por briófitas e que dentro destes as Marchantiophyta parecem ter maior capacidade de absorção o que pode ser justificado pelo tipo de superfície que é mais viscosa permitindo a retenção de várias partículas sólidas.

5.2 – 2ª Fase (amostragem de perfis de solos e filões)

Na segunda fase fomos focar-nos em três zonas onde há partida já sabíamos que existiam mineralizações e que foram evidenciadas na 1ª fase. Esses locais foram escolhidos devido à presença de filões já identificados em trabalhos anteriores ou devido à presença de antigas minas romanas que até à data eram desconhecidas.

Foram então realizados dois perfis de solos e de plantas terrestres em dois locais distintos e ainda uma amostragem pontual numa antiga mina romana. Para tal foram colhidas no total, 19 amostras de solos, 8 filões e 32 espécies de plantas terrestres.

O objectivo desta amostragem foi em primeiro lugar provar a reprodutibilidade da utilização desta técnica na prospecção de jazigos minerais utilizando espécies terrestres.

Por motivos de tempo e problemas analíticos optou-se por não realizar análises de W na segunda fase. Porém decidiu-se analisar o Sn para os solos e filões.

5.2.1 – Solos

Na tabela 5.19 encontra-se representada a caracterização estatística univariada dos solos relativos à globalidade das amostras.

Na tabela 5.20 encontram-se os valores médios e as variações de teores das mesmas amostras, mas distinguido o três locais amostrados

Da observação da tabela 5.19 pode constatar-se que elementos como o Ni, Cr, Cu, Sn e Au apresentam variações de teores mais baixas enquanto que o Sb, As, Co e Ag apresentam grandes variações nos teores evidenciando a presença de “outliers”.

Tabela 5.19 – Valores estatísticos dos dados correspondentes à campanha de amostragem de solos (n=19; < l.d – abaixo do limite de detecção)

	Unidade	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Coefficiente de variação
As	mg/kg	76,57	46,82	1,04	512,90	116,02	1.52
Sb	µg/kg	1900,89	253,83	64,57	17778,46	4565,30	2.40
Ag	µg/kg	1936,39	1255,64	565,46	11949,16	2565,68	1.32
Au	µg/kg	22,33	16,39	1,77	66,93	17,18	0.77
Sn	mg/kg	2,24	1,83	<l.d	5,77	1,70	0.76
Cu	mg/kg	33,96	30,75	23,08	92,48	15,54	0.46
Pb	mg/kg	34,99	26,15	10,87	112,26	29,17	0.83
Zn	mg/kg	75,03	69,77	41,58	173,86	32,67	0.44
Cr	mg/kg	40,52	42,71	28,07	50,92	5,79	0.14
Ni	mg/kg	21,83	22,82	13,94	34,52	4,79	0.22
Co	mg/kg	22.13	11.69	<l.d	161.86	35.79	1.62
Cd	mg/kg	2.40	2.50	1.86	3.03	0.36	0.15

Tabela 5.20 – Médias e variações dos teores dos elementos químicos em cada um dos perfis da área (valores em mg/kg com excepção do Sb, Ag e Au que é expresso em µg/kg; <l.d – abaixo do limite de detecção).

		Perfil PL (n=9)			Perfil PV (n=9)			MR (n=1)
		Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Valor
As	mg/kg	93,11	46,82	161,71	11,55	1,04	21,84	512,90
Sb	µg/kg	1428,04	180,15	10928,37	2562,14	64,57	17778,46	205,29
Ag	µg/kg	1758,79	912,21	4350,12	2225,86	565,46	11949,16	929,64
Au	µg/kg	25,52	8,99	45,53	21,41	4,97	66,93	1,77
Sn	mg/kg	2,53	0,44	4,22	0,72	<l.d	1,19	5,77
Cu	mg/kg	35,83	28,01	42,92	25,59	23,08	32,19	92,48
Pb	mg/kg	53,91	26,15	112,26	16,93	10,87	19,52	27,22
Zn	mg/kg	83,70	41,58	111,48	55,38	43,49	80,26	173,86
Cr	mg/kg	35,80	28,07	41,27	44,80	42,71	50,92	44,46
Ni	mg/kg	21,38	13,94	25,37	20,86	15,78	26,84	34,52
Co	mg/kg	11,69	<l.d	26,97	15.90	4.65	36.04	161.86
Cd	mg/kg	2,51	2,04	2,91	2.29	1.86	3.03	2,37

Tabela 5.21 - Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson dos dados correspondentes às amostras de solos da totalidade da área (n = 19; os coeficientes de correlação linear significativos para $p < 0,05$ estão a negrito).

	As	Sb	Ag	Au	Sn	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
As	1											
Sb	-0,19	1										
Ag	-0,12	0,81	1									
Au	-0,26	0,17	0,31	1								
Sn	0,81	-0,23	-0,18	-0,09	1							
Cu	0,98	-0,21	-0,16	-0,29	0,80	1						
Pb	0,19	-0,12	-0,13	-0,19	0,34	0,21	1					
Zn	0,83	-0,36	-0,23	0,03	0,73	0,84	0,32	1				
Cr	-0,06	-0,08	-0,04	-0,10	-0,14	-0,02	-0,62	-0,14	1			
Ni	0,65	-0,15	0,05	0,07	0,44	0,68	0,13	0,64	0,16	1		
Co	0,86	-0,04	-0,03	-0,26	0,54	0,85	-0,11	0,70	0,20	0,62	1	
Cd	0,02	-0,22	-0,29	0,37	0,10	0,05	0,09	0,24	-0,29	-0,17	-0,03	1

Na tabela 5.21 apresenta-se a matriz de correlação entre os diversos elementos estudados. Verificam-se fortes correlações entre o As e o Sn, Cu, Zn, Ni e Co, entre o Sb e a Ag, entre o Sn e o Cu, Zn e Co. É ainda de salientar a forte correlação entre o Cu e o Zn, Ni e Co e ainda do Zn com o Ni e Co.

Estas correlações poderão estar relacionadas com as diferentes paragénese, associadas a filões mineralizados presentes na área em estudo.

5.2.1.1 – Distribuição espacial dos elementos nos perfis de solos

O teor médio de As encontrados na generalidade dos solos encontra-se muito acima do intervalo de concentrações de As para a média dos solos mundiais de 5 mg/kg (Reimann & Caritat 1998).

É na Mina Romana (MR) que se localiza o valor de As mais elevado (512,90 mg/kg), seguido do perfil PL com uma média de 93,11 mg/kg e variando entre 46 e 161 mg/kg.

Os valores elevados de As nos solos da mina romana devem-se ao facto do As estar presente nesta mineralização sob a forma de arsenopirite, o que também se pode verificar ao longo de todo o perfil PL com valores mínimos muito acima da média mundial, o que sugere a presença de filões mineralizados a cortar o mesmo, nomeadamente no ponto 3 (Fig 5.11 a).

Na maioria dos pontos o Sb encontra-se abaixo dos valores da média mundial de 500 µg/kg estimado por Reimann e Caritat (1998). Contudo fortes anomalias para este

elemento são verificadas no ponto PL-9 (10928,37 µg/kg) e nos pontos 2, 7, 8 e 9 do perfil PV (Fig 5.11 b). A principal forma de ocorrência deste elemento é sob a forma de estibina (Sb₂S₃), já observado em lupa binocular em amostras de sedimentos de corrente que drenam desta área. Este elemento apresenta uma forte correlação positiva com a Ag sugerindo a presença de mineralizações com uma associação Sb-Ag e possuindo Au, uma vez que estes são seus “pathfinder”.

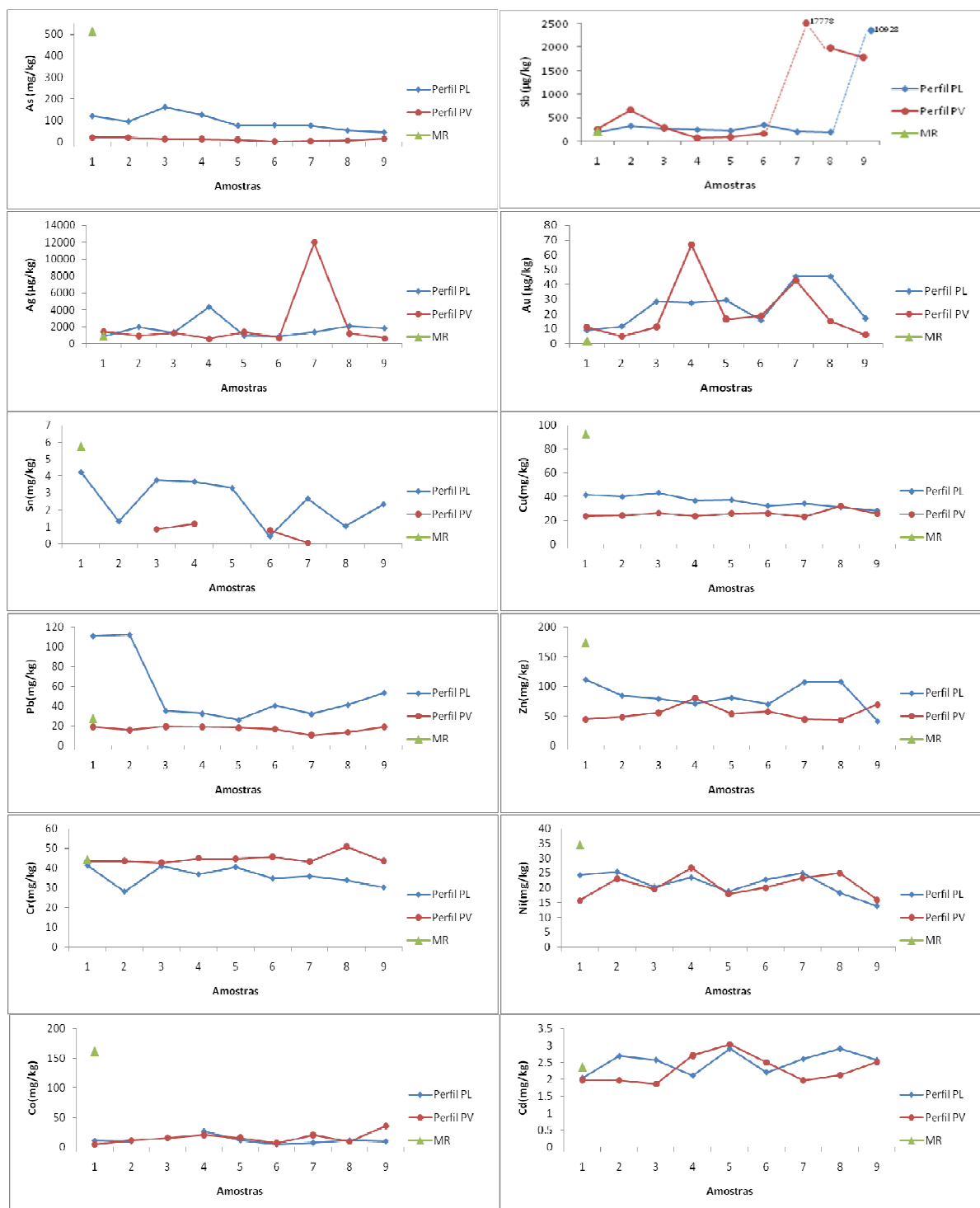


Figura 5.11 – Variação dos teores de: (a) As; (b) Sb; (c) Ag; (d) Au; (e) Sn; (f) Cu; (g) Pb; (h) Zn; (i) Cr; (j) Ni; (k) Co e (l) Cd ao longo dos perfis efectuados na área em estudo.

Os teores médios de Ag são bastante superiores ao valor médio estimado por Reimann e Caritat (1998) como de fundo geoquímico mundial (70 µg/kg). Os valores médios para este elemento no perfil PV (2225,86 µg/kg) são em média superiores aos encontrados no perfil PL (1758,79 µg/kg). A variação dos teores de Ag ao longo dos perfis amostrados permite realçar a anomalia pedogeoquímica, no perfil PV provocada pela possível presença de filões auro-argentíferos nas proximidades do ponto 7, o mesmo acontece no perfil PL no ponto 4 (Fig 5.11 c).

O valor médio observado para Au é de 22,33 µg/kg, porém algumas amostras apresentam teores duas vezes superiores à média dos solos. Os valores médios no perfil PL são superiores a este valor (25,52 µg/kg), nomeadamente nos pontos 3,4,5 e nos pontos 7 e 8 o que nos poderá indicar mineralizações de Au nas proximidades (Fig 5.11 d). Quanto ao Perfil PV o valor médio de Au é de 21,41 µg/kg contudo, observa-se uma forte anomalia no ponto 4 e 7 que deverá estar associada ao filão auro-argentífero do Cabeço do Vieiro. O ouro é um elemento pouco móvel e a sua presença será indicadora de filões mineralizados nas proximidades.

O teor médio de Sn da globalidade das amostras (2,24 mg/kg) que é significativamente inferior ao valor apontado por Reimann e Caritat (1998) como de fundo geoquímico mundial (4 mg/kg).

Os teores mais elevados de Sn ocorrem nos solos do Perfil PL (0,44 – 4,22 mg/kg) e no solo MR (5,77 mg/kg). No perfil PL uma pequena anomalia pedogeoquímica é observada nos pontos 1,3,4 e 5 podendo ser denunciadoras das mineralizações de estanho e volfrâmio de Vale Maceira presentes na região (Fig 5.11 e). A anomalia verificada no solo MR poderá estar associada a mineralizações estaníferas presentes também nesta zona.

Relativamente ao Cu, verifica-se que o valor médio observado é de 33,96 mg/kg, apresentando mais de metade das amostras valores superiores à média mundial de 25 mg/kg apontado por Reimann e Caritat (1998). O teor mais elevado é observado em MR e observa-se que o Perfil PL apresenta valores mais altos para este elemento do que o perfil PV (Fig 5.11 f). A presença de valores elevados de Cu deverá estar intimamente relacionada com a presença de calcopirite na mineralização.

O valor médio observado para o Pb (32,99 mg/kg) é muito superior ao valor de 17 mg/kg apontado por Reimann e Caritat (1998) para a média mundial. A distribuição dos teores de Pb ao longo dos perfis mostra claramente uma importante anomalia que é atravessada pelo perfil PL (Fig 5.11 g), nos pontos 1 e 2, responsável pelos teores mais elevados encontrados na região (110 – 112 mg/kg). Os valores mais elevados em Pb podem dever-se à sua imobilização em solos mais ricos em matéria orgânica ou devido à presença de filões mineralizados em galena.

O teor médio de Zn é de 75,03 mg/kg, sendo que mais de metade das amostras apresentam valores superiores à média mundial de 70 mg/kg apontado por Reimann e Caritat (1998). Os valores mais elevados são verificados em MR (173,86 mg/kg) e nos pontos 1, 7 e 8 do perfil PL. A presença destes valores elevados poderá dever-se à presença de sulfuretos de Zn, nomeadamente blenda, associados a filões mineralizados (Fig 5.11 h).

O valor médio observado para o Cr é de 40,52 mg/kg. Todos os teores encontram-se abaixo do valor de 80 mg/kg apontado Reimann e Caritat (1998) para a média mundial. Os teores no perfil PV são superiores aos do perfil PL (Fig 5.11 i). O Cr parece portanto ter pouca relação com a mineralização.

Relativamente ao Ni observa-se que a média global obtida (21,83 mg/kg) é superior à média mundial apontada por Reimann e Caritat (1998) de 20 mg/kg. O valor mais elevado observa-se em MR (34,52 mg/kg). Os teores no perfil PL são em norma ligeiramente superiores aos encontrados no perfil PV (Fig 5.11 j), sem contudo parecer indicar relação com a mineralização.

Para o Co o valor médio encontrado é de 22,13 mg/kg, sendo que mais de metade das amostras apresentam valores superiores à média mundial de 10 mg/kg apontado por Reimann e Caritat (1998). Os teores mais elevados são observados no perfil PV e em MR (Fig 5.11 k) e deverão estar relacionados com a mineralização e/ou os teores de Mn e matéria orgânica dos solos.

O teor médio de Cd na totalidade das amostras é de 2,4 mg/kg encontrando-se acima dos valores médios globais de 0,3 mg/kg apontado por Reimann e Caritat (1998). Não existe grande variação de valores entre as diversas áreas estudadas (Fig 5.11 l), podendo este elemento estar contido na blenda das mineralizações e dada a sua grande mobilidade permitir uma grande dispersão.

5.2.1.2 – Análise em componentes principais

A matriz de dados é composta por um total de 18 indivíduos e 12 variáveis (As, Sb, Ag, Au, Sn, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, Cd). Na tabela 5.22 apresentam-se os valores próprios e a percentagem de variância explicada de cada um dos eixos da ACP. Verifica-se que os três primeiros eixos explicam conjuntamente 72,72% da variância total

Tabela 5.22 - Valores próprios, percentagem de variância explicada dos eixos factoriais resultantes da ACP dos solos da totalidade da área.

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6
Valor próprio	4,91	2,07	1,74	1,37	0,76	0,42
Variância explicada (%)	40,94	17,29	14,49	11,41	6,36	3,52
Variância explicada acumulada (%)	40,94	58,23	72,72	84,13	90,49	94,01

Na tabela 5.23 apresentam-se os valores das coordenadas activas dos cinco primeiros eixos.

O eixo 1 explica as variáveis As, Sn, Cu, Zn, Ni e Co, o eixo 2 explica as variáveis Cr, Sb, Ag e negativamente Pb e Cd e o Au é explicado negativamente no eixo 4.

Tabela 5.23 – Coordenadas das variáveis nos cinco primeiros eixos resultantes da ACP das amostras de solos. Os pesos dentro de cada eixo factorial iguais ou superiores a 0,5 encontram-se a negrito

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5
As	0,9644	0,1368	0,0591	0,0450	0,1365
Sb	-0,3458	0,6041	0,5898	0,1314	0,2765
Ag	-0,2634	0,6808	0,6215	0,0257	-0,0041
Au	-0,2314	0,0043	0,4609	-0,7774	-0,2935
Sn	0,8313	-0,0899	0,1581	0,0262	0,0482
Cu	0,9733	0,1165	0,0221	0,0409	0,1200
Pb	0,2843	-0,5371	0,4591	0,5037	-0,2639
Zn	0,9100	-0,1235	0,1399	-0,1960	-0,0834
Cr	-0,0460	0,5431	-0,6938	-0,2494	-0,0941
Ni	0,7109	0,3294	0,0534	-0,1352	-0,5118
Co	0,8236	0,3945	-0,0977	-0,0742	0,2613
Cd	0,0861	-0,5859	0,1985	-0,6034	0,3869

Da observação conjunta da tabela 5.23 e da figura 5.12 é possível individualizar três associações distintas: um conjunto constituído por Sn, Zn, As e Cu com alguma afinidade com o Ni e Co; um segundo grupo formado pela associação Sb e Ag com pouca afinidade com o Cr e um terceiro grupo formado pela associação Cd e Pb. O Au projecta-se de forma independente dos outros elementos sugerindo que este ocorra nos solos sob a forma mais ou menos errática não estando relacionado com nenhum dos outros elementos.

Os dois primeiros grupos representam a influência do contexto geológico da zona. Podem ser propostas duas associações distintas que deverão estar intimamente relacionadas com as diferentes paragénese presentes na área: Sn-Zn-As-Cu e Sb-Ag.

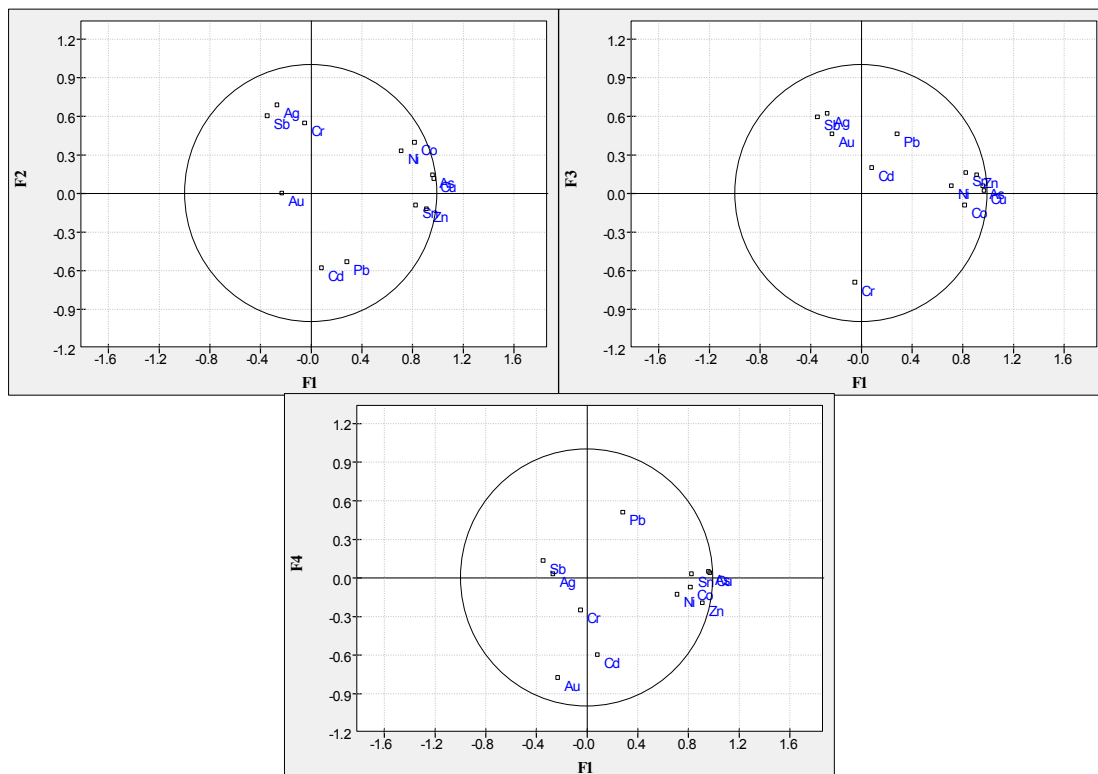


Figura 5.12 - Projecção das variáveis nos primeiros três planos factoriais, relativas aos solos da totalidade da área em estudo.

Com base nesta análise foi possível calcular o valor do “background” para os solos da região bem como o valor máximo obtido (Tabela 5.21). As amostras anómalas foram retiradas a partir da observação da figura 5.13.

A partir da análise desta tabela, e comparando os dois perfis, pode-se constatar que o valor do background é maior no perfil PL para As, Sb, Ag, Au, Sn, Cu, Pb, Zn e Cd e maior em PV para Cr e Co. As anomalias presentes em ambos os perfis deverão estar directamente relacionadas com as diferentes mineralizações presentes na área.

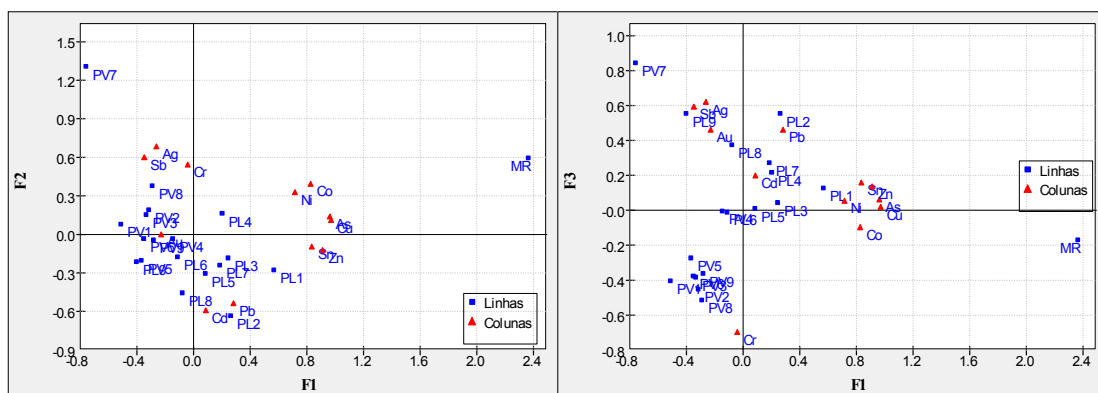


Figura 5.13 - Projecção das amostras de solos nos primeiros dois planos factoriais

Tabela 5.24 – Valores máximos das anomalias e valor do background para cada um dos perfis e para a totalidade da área calculados a partir de ACP (valores em mg/kg com excepção do Sb, Ag e Au que é expresso em µg/kg)

Variável	Perfil PL		Perfil PV		Área
	Anomalia (Max)	Background	Anomalia (Max)	Background	Background
As	161,71	66,60	512,90	7,63	35,47
Sb	10928,37	226,29	17778,46	167,07	242,19
Ag	4350,12	1111,46	11949,16	879,34	1040,75
Au	45,53	18,21	66,93	11,87	16,64
Sn	4,22	1,85	5,77	0,57	1,78
Cu	42,92	34,05	92,48	24,56	29,29
Pb	112,26	37,43	27,22	15,76	25,98
Zn	111,48	71,17	173,86	48,51	61,70
Cr	41,27	33,26	50,92	44,03	39,60
Ni	25,37	19,63	34,52	20,11	20,78
Co	26,97	8,60	161,86	10,84	10,12
Cd	2,91	2,37	3,03	2,07	2,24

5.2.2 – Filões

Na tabela 5.25 encontram-se representados os teores médios globais encontrados para cada um dos filões amostrados.

Tabela 5.25 – Teores médios globais encontrados para cada um dos filões amostrados (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg).

		FPL	BVM	F1	F2	F3	F4	F5	FMR
n		2	3	2	2	2	4	4	2
As	mg/kg	1421,19	934,31	18,27	23,67	20,34	747,70	1070,59	1372,63
Sb	µg/kg	185,33	4424,39	204,51	868,41	6670,16	57,16	54,84	563,21
Ag	µg/kg	303,57	4143,61	1190,11	434,78	483,17	3221,99	394,63	3678,09
Au	µg/kg	6,59	6072,27	272,54	127,98	103,70	63,44	213,30	51,92
Sn	mg/kg	0,79	0,85	1,45	2,11	1,47	1,25	0,90	2,83
Cu	mg/kg	199,11	43,44	12,73	63,32	60,56	63,13	54,56	484,74
Pb	mg/kg	49,32	10,59	200,77	4,81	23,62	39,85	37,59	1035,60
Zn	mg/kg	201,99	106,46	98,18	25,30	29,90	61,46	56,08	553,77
Cr	mg/kg	32,51	34,64	47,73	41,99	49,08	48,56	46,47	49,85
Ni	mg/kg	16,04	16,23	35,91	13,22	28,69	20,55	20,15	20,52
Co	mg/kg	17,86	5,06	6,95	11,14	19,88	18,99	1,43	24,39
Cd	mg/kg	2,38	2,50	2,16	2,22	2,24	2,77	2,55	4,96

Pela análise da tabela 5.25 pode concluir-se que a brecha de Vale de Maceira (BVM) é a estrutura filoniana amostrada mais rica em Ag e Au chegando a apresentar teores de 4,2 e 7,4 g/t respectivamente. Estes valores, em especial os de Au parecem ser bastante interessantes, justificando talvez trabalhos de maior pormenor ao longo desta estrutura.

O filão amostrado à entrada de uma das galerias da mina romana (FMR) é o filão mais rico em Sn, Cu, Pb, Zn, Cr, Co e Cd apresentando também um teor elevado de Sb e As. Os teores elevados nestes elementos estão em parte coincidentes com a mineralogia observada neste filão: cassiterite, calcopirite, blenda e arsenopirite. Foi também observado ouro em lupa binocular porém os teores de Au neste filão foi de apenas 66,75 µg/kg.

5.2.3 - Plantas terrestres

Neste subcapítulo trata-se sob o ponto de vista biogeoquímico as diferentes espécies vegetais terrestres amostradas ao longo dos pontos de amostragem. Para tal foram realizados dois perfis de amostragem de plantas e uma amostragem pontual, que correspondem aos mesmos pontos de amostragem onde se fez a colheita de solos.

O coberto arbustivo ao longo do perfil PL, caracteriza-se pela presença de floresta mista essencialmente de pinhal e eucaliptal com algum mato rasteiro e fetos nas zonas mais húmidas. A zona do ponto MR é também bastante semelhante com a do perfil PL.

O perfil PV situa-se a uma maior altitude, possuindo portanto uma flora característica de grande altitude constituída por mato rasteiro, essencialmente de carqueja e urze.

Tentou-se ao máximo recolher espécies vegetais comuns às três zonas amostradas, mas tal não foi possível para grande parte das espécies portanto no tratamento dos resultados foi dado um maior destaque às três espécies mais representativas.

As várias espécies de plantas podem manifestar diferenças significativas na capacidade de absorver, translocar e acumular metais e metalóides (Favas, 2008). Podemos então dividir as espécies de plantas em três grupos: as acumuladoras, as indicadoras e as exclusoras.

Para o presente trabalho interessa-nos detectar quais as espécies vegetais que poderão ser indicadoras das mineralizações presentes no local e quais aquelas que poderão ser utilizadas em larga escala para a prospecção de determinado tipo de depósito mineral. Nas plantas indicadoras verifica-se uma relação linear entre a concentração de um dado elemento no substrato e a concentração no tecido da planta (Favas, 2008). Esta característica é bastante interessante pois permite-nos deduzir a partir da análise química da planta qual é o teor de dado elemento no substrato onde esta se encontra.

Uma forma de verificação das relações planta – solo consiste na determinação do “Coeficiente de absorção biológica” (CAB). Este é um dos principais parâmetros

biogeoquímicos de caracterização da intensidade da absorção dos elementos químicos pelas plantas a partir do seu substrato, definido por Kovalevskii, 1979 como sendo a relação entre a concentração do elemento nas cinzas da planta (C_p) e a concentração do mesmo elemento no substrato (C_s).

$$CAB = C_p / C_s$$

A utilidade da determinação do CAB prende-se com o facto de nem todas as espécies vegetais podem ser consideradas indicadoras de um elemento vestigial no solo. Diversos factores, relacionados com aspectos fisiológicos próprios de cada espécie de planta, podem conduzir a que as plantas não absorvam elementos vestigiais em quantidades que traduzem o teor dos elementos presentes no solo (Favas, 2008).

Nagaraju & Karimulla, 2002 classificou os valores do CAB em cinco grupos: 1) “absorção intensa” (CAB 10-100); 2) “absorção forte” (CAB 1-10); 3) “absorção intermédia” (CAB 0,1-1); 4) “absorção fraca” (CAB 0,01-0,1) e “absorção muito fraca” (CAB 0,001-0,01) (cit in Favas, 2008).

Na tabela 5.26 encontram-se os valores sugeridos por alguns investigadores das concentrações típicas de metais em plantas segundo Markert, 1993 e Kabata-Pendias & Pendias, 2001.

Tabela 5.26 – Valores médios em plantas para cada um dos elementos segundo diversos investigadores

Elemento	Unidade	Media mundial para plantas (1)	Níveis normais em plantas (2)
As	mg/kg	0,1	1 – 1,7
Sb	mg/kg	0,1	-
Ag	µg/kg	20	500
Au	µg/kg	1	-
Cu	mg/kg	10	5 – 30
Pb	mg/kg	1	5 – 10
Zn	mg/kg	50	27 – 150
Cr	mg/kg	1,5	0,1 – 0,5
Ni	mg/kg	1,5	0,1 – 5
Co	mg/kg	0,2	0,02 – 1
Cd	mg/kg	0,05	0,05 – 0,2

Concentrações médias em plantas segundo: (1) - Markert, 1993; (2) - Kabata-Pendias & Pendias, 2001,

5.2.3.1 - *Pinus pinaster* Aiton

Esta espécie apenas foi amostrada no perfil PL. Foi encontrada em nove pontos de amostragem. Na análise química desta espécie optou-se por apenas recolher as folhas, tendo sempre o cuidado de amostrar sempre folhas da mesma idade.

Na tabela 5.27 encontra-se representada a caracterização estatística univariada dos elementos químicos estudados bem como os respectivos solos. Também se apresenta o Coeficiente de absorção biológica (CAB).

Tabela 5.27 – Valores estatísticos dos dados correspondentes à campanha de amostragem de *Pinus pinaster* Aiton e respectivos solos (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg; <l,d abaixo do limite de detecção)

Folhas (n=9)						
Variável	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Coeficiente de variação
As	0,279	0,231	<l,d	0,561	0,183	0,658
CAB	0,004	0,002	0,000	0,010	0,004	0,923
Sb	135,853	118,131	79,918	270,496	55,491	0,408
CAB	0,567	0,540	0,007	1,432	0,382	0,673
Ag	536,976	360,549	146,900	2546,823	762,970	1,421
CAB	0,332	0,227	0,080	1,212	0,363	1,092
Au	8,192	4,016	1,529	26,594	9,627	1,175
CAB	0,441	0,129	0,096	2,309	0,718	1,629
Cu	2,669	2,666	1,993	3,653	0,547	0,205
CAB	0,077	0,086	0,048	0,130	0,026	0,332
Pb	0,659	0,487	0,147	1,467	0,497	0,754
CAB	0,017	0,008	0,003	0,056	0,018	1,047
Zn	18,500	18,662	10,225	26,839	5,641	0,305
CAB	0,246	0,193	0,133	0,645	0,155	0,629
Cr	6,006	4,760	<l,d	16,338	4,278	0,712
CAB	0,175	0,129	0,080	0,483	0,129	0,737
Ni	1,609	1,675	<l,d	3,183	1,253	0,779
CAB	0,079	0,076	0,001	0,178	0,065	0,831
Co	4,243	2,877	<l,d	10,936	3,650	0,860
CAB	0,479	0,418	0,115	0,923	0,307	0,641
Cd	1,350	0,996	0,426	4,730	1,329	0,984
CAB	0,513	0,384	0,200	1,625	0,443	0,863
Solos (n=9)						
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Coeficiente de variação
As	93,108	78,899	46,821	161,709	37,117	0,399
Sb	1428,043	236,512	180,154	10928,370	3563,061	2,495
Ag	1758,785	1388,640	912,210	4350,119	1072,872	0,610
Au	25,525	27,526	8,991	45,531	13,532	0,530
Cu	35,833	36,356	28,008	42,924	5,009	0,140
Pb	53,912	40,667	26,149	112,264	33,603	0,623
Zn	83,702	80,953	41,579	111,479	22,509	0,269
Cr	35,800	35,736	28,073	41,272	4,667	0,130
Ni	21,382	22,820	13,941	25,368	3,817	0,179
Co	11,687	10,511	<l,d	26,966	6,631	0,567
Cd	2,515	2,578	2,042	2,910	0,322	0,128

A maioria das amostras apresenta teores de Ag, Cr, Co e Cd acima dos níveis considerados normais por Kabata–Pendias & Pendias, (2001). Também os valores de Au estão acima da média global de 1 µg/kg. Estes elementos, que se encontram em excesso devem estar directamente relacionados com as mineralizações presentes na área. Altos coeficientes de variação também são observados para o Sb e Au evidenciado mais uma vez a presença de possíveis anomalias.

No anexo 5.1 encontram-se as matrizes de correlação linear entre o solo e a planta. Verifica-se uma forte correlação entre o Cu do solo e o Cu da planta e entre o Ni do solo e o Cu da planta. Por outro lado verificam-se fortes correlações entre o As e o Au e Zn da planta e ainda entre o Sb e Ag.

Esta espécie revela valores de CAB indicadores de absorção muito fraca para o As, fraca para o Cu, Pb e Ni e intermédia para o Sb, Ag, Au, Zn, Cr, Co e Cd.

Para as folhas desta espécie, a ACP incidiu num total de 9 indivíduos (amostras) e 11 variáveis (As, Sb, Ag, Au, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co e Cd). Na tabela 5.28 apresentam-se os valores próprios e a percentagem de variância explicada de cada um dos eixos da ACP. Verifica-se que os três primeiros eixos explicam conjuntamente 86,06% da variância total.

Tabela 5.28 - Valores próprios, percentagem de variância explicada dos eixos factoriais resultantes da ACP da espécie *Pinus pinaster* Aiton.

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6
Valor próprio	5,93	1,98	1,55	0,77	0,36	0,17
Variância explicada (%)	53,90	18,04	14,11	7,02	3,25	1,58
Variância explicada acumulada (%)	53,90	71,94	86,06	93,07	96,32	97,90

Na tabela 5.29 apresentam-se os valores das coordenadas activas dos cinco primeiros eixos.

O eixo 1 explica as variáveis As, Sb, Ag, Au, Pb, Zn, Cr, Co e Cd e o eixo 2 explica as variáveis Cu e Ni.

Da análise conjunta dos dados da tabela 5.29 e da figura 5.14 permite distinguir dois grupos distintos: um primeiro grupo constituído essencialmente pelo As, Cr, Cd e com alguma afinidade com o Zn e um segundo grupo ligeiramente independente do anterior, constituído por Au, Sb, Ag, Pb e Co.

É possível individualizar ainda duas amostras anómalas (2 e 8), em parte coincidentes com as anomalias verificadas nos solos (Fig 5.15).

Tabela 5.29 – Coordenadas das variáveis nos cinco primeiros eixos resultantes da ACP da espécie *Pinus pinaster* Aiton. Os pesos dentro de cada eixo factorial iguais ou superiores a 0,5 encontram-se a negrito

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5
As	0,7108	0,2678	0,5496	-0,1822	-0,0355
Sb	0,8505	-0,1099	-0,3237	0,3719	0,0410
Ag	0,9549	-0,0370	-0,1893	0,1754	0,1361
Au	0,6992	-0,2565	0,6033	-0,0200	-0,1846
Cu	0,0213	0,8473	-0,3913	-0,1745	-0,2123
Pb	0,5337	-0,2867	-0,5976	-0,4113	-0,2605
Zn	0,5734	0,5997	0,2627	-0,3753	0,2417
Cr	0,9069	0,2844	-0,1506	0,2083	0,0525
Ni	-0,4874	0,6589	0,2072	0,4201	-0,2558
Co	0,8668	-0,3070	0,2612	0,0388	-0,2468
Cd	0,9351	0,2548	-0,1802	0,0859	0,0387

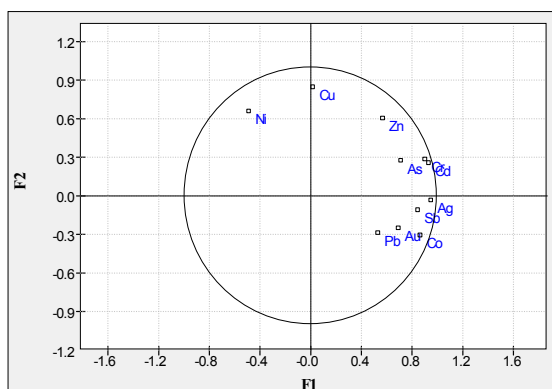


Figura 5.14 - Projecção das variáveis no primeiro plano factorial, relativas às amostras de *Pinus pinaster* Aiton

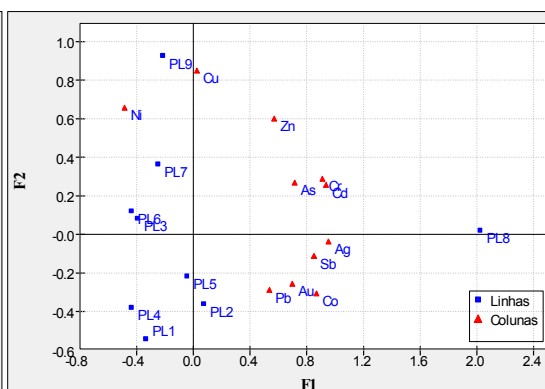


Figura 5.15 - Projecção das amostras de *Pinus pinaster* Aiton no primeiro plano factorial

Foi ainda possível calcular o background para esta espécie (tabela 5.30) podendo-se concluir que este está acima dos valores médios definidos por Kabata–Pendias & Pendias (2001) para Cr, Co e Cd e acima do calculado por Markert (1993) para Sb e Au.

Tabela 5.30 – Valor do background calculado para a espécie *Pinus pinaster* Aiton (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg)

As	Sb	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
0,23	119,02	285,75	6,31	2,46	0,37	16,18	4,53	1,11	2,25	0,93

5.2.3.2 - *Eucalyptus globulus*

Esta espécie apenas foi amostrada no perfil PL. Foi encontrada em nove pontos de amostragem. Nesta área de amostragem foram colhidos separadamente os ramos e as folhas que forneceram amostras biogeoquímicas diferenciadas.

Na tabela 5.31 e 5.32 encontra-se representada a caracterização estatística univariada dos elementos químicos estudados bem como os respectivos solos. Também se apresenta o Coeficiente de Absorção Biológica (CAB).

As folhas da planta caracterizam-se por em média serem mais ricas em As, Ag, Au, Pb, Zn e Ni e mais pobres em Sb, Cu, Cr, Co e Cd do que os ramos. Tanto as folhas como os ramos possuem valores de Sb, Au, Cr, Co e Cd acima da média segundo Kabata-Pendias & Pendias, 2001 e Markert, 1993.

Os ramos apresentam valores de CAB indicadores de absorção muito fraca para o As, fraca para Pb, Ni e Zn e intermédia para os restantes elementos.

No anexo 5.2 encontram-se as matrizes de correlação linear entre os solos e os ramos desta espécie. É notório a forte correlação entre os teores presentes no solo e os teores na planta para o As e Sb, sendo estes considerados elementos principais que acompanham este tipo de mineralizações. Fortes correlações são ainda observadas entre o teor no solo e o teor na planta para: As-Cu; Pb-As; Sb-Zn; Pb-Sb; Cu-Au; Cu-Pb e Zn-Pb. Quanto às correlações entre planta-planta estas são bastante fortes na ligação As-Ag; As-Pb e Pb-Cd.

As folhas apresentam valores de CAB indicadores de absorção muito fraca para o As e Pb, e intermédia para os restantes elementos.

No anexo 5.3 encontram-se as matrizes de correlação linear entre os solos e as folhas desta espécie. Não existe correlação entre o teor no solo e o teor na planta para nenhum elemento analisado no entanto fortes correlações são observadas entre o As-Cr, As-Ag, Ag-Cr, Cu-Zn e Cr-Cd das plantas.

Para os ramos desta espécie, a ACP incidiu num total de 9 indivíduos (amostras) e 11 variáveis (As, Sb, Ag, Au, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co e Cd). Na tabela 5.33 apresentam-se os valores próprios e a percentagem de variância explicada de cada um dos eixos da ACP. Verifica-se que os três primeiros eixos explicam conjuntamente 77,72% da variância total.

Tabela 5.31 - Valores estatísticos dos dados correspondentes à campanha de amostragem de ramos de *Eucalyptus globulus* e respectivos solos (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg; <l,d abaixo do limite de detecção)

Ramos (n=9)						
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Coefficiente de variação
As	0,218	0,185	0,009	0,530	0,186	0,852
CAB	0,002	0,002	0,0002	0,004	0,001	0,693
Sb	154,226	109,965	51,315	546,119	149,424	0,969
CAB	0,418	0,510	0,050	0,582	0,198	0,475
Ag	272,358	289,227	103,544	440,546	119,921	0,440
CAB	0,183	0,177	0,037	0,317	0,089	0,486
Au	4,097	2,868	0,774	11,413	3,959	0,966
CAB	0,231	0,097	0,021	0,991	0,310	1,341
Cu	7,385	7,820	4,107	10,673	2,180	0,295
CAB	0,207	0,215	0,111	0,279	0,058	0,278
Pb	0,847	0,673	0,036	2,564	0,878	1,036
CAB	0,016	0,015	0,001	0,048	0,017	1,015
Zn	7,012	6,506	3,730	14,161	3,051	0,435
CAB	0,089	0,080	0,035	0,168	0,041	0,458
Cr	4,661	4,754	0,932	7,665	2,051	0,440
CAB	0,133	0,140	0,023	0,221	0,062	0,463
Ni	1,511	1,295	<l,d	3,198	0,828	0,548
CAB	0,076	0,068	0,031	0,170	0,046	0,611
Co	3,758	3,238	<l,d	6,378	2,040	0,543
CAB	0,418	0,243	0,113	1,300	0,425	1,018
Cd	1,517	0,673	0,240	8,257	2,542	1,675
CAB	0,601	0,330	0,089	3,211	0,985	1,640
Solos (n=9)						
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Coefficiente de variação
As	93,108	78,899	46,821	161,709	37,117	0,399
Sb	1428,043	236,512	180,154	10928,370	3563,061	2,495
Ag	1758,785	1388,640	912,210	4350,119	1072,872	0,610
Au	25,525	27,526	8,991	45,531	13,532	0,530
Cu	35,833	36,356	28,008	42,924	5,009	0,140
Pb	53,912	40,667	26,149	112,264	33,603	0,623
Zn	83,702	80,953	41,579	111,479	22,509	0,269
Cr	35,800	35,736	28,073	41,272	4,667	0,130
Ni	21,382	22,820	13,941	25,368	3,817	0,179
Co	11,687	10,511	<l,d	26,966	6,631	0,567
Cd	2,515	2,578	2,042	2,910	0,322	0,128

Tabela 5.32 - Valores estatísticos dos dados correspondentes à campanha de amostragem de folhas de *Eucalyptus globulus* e respectivos solos (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg; <l,d abaixo do limite de detecção)

Folhas (n=9)						
Variável	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Coefficiente de variação
As	0,315	0,062	<l,d	1,682	0,605	1,922
CAB	0,003	0,001	0,0004	0,014	0,005	1,640
Sb	114,436	117,250	38,709	166,095	44,793	0,391
CAB	0,460	0,437	0,004	0,682	0,204	0,442
Ag	336,190	303,678	100,534	845,266	228,215	0,679
CAB	0,255	0,165	0,063	0,902	0,263	1,031
Au	4,489	3,329	1,576	9,115	2,652	0,591
CAB	0,231	0,200	0,048	0,660	0,191	0,826
Cu	6,047	6,334	3,279	8,278	1,637	0,271
CAB	0,171	0,178	0,088	0,229	0,049	0,286
Pb	0,327	0,233	0,094	0,636	0,208	0,634
CAB	0,007	0,006	0,002	0,017	0,005	0,695
Zn	12,205	12,651	7,939	18,353	3,517	0,288
CAB	0,162	0,134	0,072	0,358	0,086	0,533
Cr	4,567	4,636	<l,d	6,192	1,316	0,288
CAB	0,132	0,128	0,080	0,184	0,042	0,320
Ni	5,226	5,465	0,004	11,736	3,330	0,637
CAB	0,249	0,253	0,0002	0,463	0,143	0,576
Co	3,677	4,271	<l,d	5,145	1,524	0,415
CAB	0,421	0,381	0,149	0,992	0,284	0,674
Cd	0,733	0,741	0,162	1,139	0,316	0,431
CAB	0,293	0,288	0,060	0,429	0,122	0,416
Solos (n=9)						
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Coefficiente de variação
As	93,108	78,899	46,821	161,709	37,117	0,399
Sb	1428,043	236,512	180,154	10928,370	3563,061	2,495
Ag	1758,785	1388,640	912,210	4350,119	1072,872	0,610
Au	25,525	27,526	8,991	45,531	13,532	0,530
Cu	35,833	36,356	28,008	42,924	5,009	0,140
Pb	53,912	40,667	26,149	112,264	33,603	0,623
Zn	83,702	80,953	41,579	111,479	22,509	0,269
Cr	35,800	35,736	28,073	41,272	4,667	0,130
Ni	21,382	22,820	13,941	25,368	3,817	0,179
Co	11,687	10,511	<l,d	26,966	6,631	0,567
Cd	2,515	2,578	2,042	2,910	0,322	0,128

Tabela 5.33 - Valores próprios, percentagem de variância explicada dos eixos factoriais resultantes da ACP dos ramos da espécie *Eucalyptus globulus*.

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6
Valor próprio	3,95	2,77	1,82	1,13	0,86	0,32
Variância explicada (%)	35,93	25,21	16,57	10,25	7,78	2,87
Variância explicada acumulada (%)	35,93	61,15	77,72	87,97	95,75	98,62

Na tabela 5.34 apresentam-se os valores das coordenadas activas dos cinco primeiros eixos.

O eixo 1 explica as variáveis As, Sb, Pb, Cr, Co e Cd. O eixo 2 explica as variáveis Au, Ag, Cu e Zn. O Ni é explicado no eixo 4.

Da análise conjunta dos dados da tabela 5.34 e da figura 5.16 é possível individualizar três associações: uma primeira definida pelo grupo Zn-Cu-Pb; uma segunda pela associação Sb-Cd-Co e uma terceira definida por Pb-Ag. As duas primeiras devem estar directamente relacionadas com amostras francamente anómalas como a 9 e 2, respectivamente.

Tabela 5.34 – Coordenadas das variáveis nos cinco primeiros eixos resultantes da ACP dos ramos da espécie *Eucalyptus globulus*, Os pesos dentro de cada eixo factorial iguais ou superiores a 0,5 encontram-se a negrito

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5
As	0,7452	0,1977	0,6210	0,0858	0,0219
Sb	-0,8338	0,0273	0,3803	0,0099	-0,3837
Ag	-0,4138	-0,6304	-0,5749	0,1569	0,1026
Au	0,4423	-0,7158	-0,2596	-0,2599	-0,2922
Cu	0,2336	-0,6749	0,6265	-0,0321	0,0483
Pb	-0,7567	-0,6119	0,0010	-0,0070	-0,0885
Zn	0,2347	-0,7903	0,0626	-0,4060	0,2423
Cr	-0,6956	0,4457	-0,3005	-0,2629	0,3512
Ni	0,0902	0,4055	-0,0598	-0,8540	-0,2786
Co	-0,6191	-0,0589	0,5370	-0,2487	0,4942
Cd	-0,8819	-0,0548	0,3404	0,0433	-0,3126

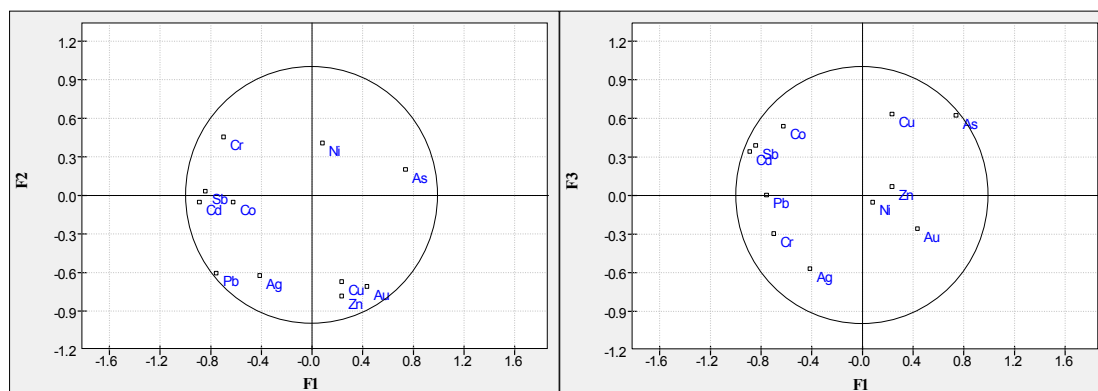


Figura 5.16 - Projecção das variáveis nos dois primeiros planos factoriais, relativas aos ramos da espécie *Eucalyptus globulus*.

Quanto às folhas desta espécie, na tabela 5.35 encontram-se os valores próprios e a percentagem de variância explicada de cada um dos eixos da ACP. Verifica-se que os três primeiros eixos explicam conjuntamente 74,41% da variância total.

Tabela 5.35 - Valores próprios, percentagem de variância explicada dos eixos factoriais resultantes da ACP das folhas da espécie *Eucalyptus globulus*.

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6
Valor próprio	3,76	2,51	1,92	1,54	0,54	0,41
Variância explicada (%)	34,20	22,79	17,42	13,96	4,91	3,68
Variância explicada (%)	34,20	56,99	74,41	88,37	93,28	96,96

Na tabela 5.36 apresentam-se os valores das coordenadas activas dos cinco primeiros eixos.

O eixo 1 explica as variáveis As, Ag, Zn, Cr, Cd. O eixo 2 explica as variáveis Sb, Pb, Ni e Co. O Au e Cu são explicados pelo eixo 3

Da análise conjunta dos dados da tabela 5.36 e da figura 5.17 verifica-se que a nuvem de variáveis encontra-se bastante dispersa, não se podendo consequentemente individualizar grupos de variáveis com clareza, porém, embora com pouca certeza, é possível diferenciar três grupos distintos: um primeiro formado pela associação Cr-Zn-Cd com alguma afinidade com o Co; um segundo grupo definido por As-Ag com alguma afinidade com o Pb e um terceiro grupo definido por Sb-Ni.

Tabela 5.36 – Coordenadas das variáveis nos cinco primeiros eixos resultantes da ACP das folhas da espécie *Eucalyptus globulus*, Os pesos dentro de cada eixo factorial iguais ou superiores a 0,5 encontram-se a negrito

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5
As	0,9102	-0,2589	0,0335	-0,1363	-0,1467
Sb	-0,2432	0,8200	0,0572	-0,0720	-0,0097
Ag	0,8806	-0,3177	-0,0763	0,2048	-0,1432
Au	0,0680	0,0701	-0,7739	-0,4892	-0,3751
Cu	0,4771	0,2130	-0,6316	-0,2581	0,5002
Pb	0,4286	-0,6271	0,3982	-0,4165	0,1824
Zn	-0,6931	-0,3828	0,5234	-0,2313	-0,0799
Cr	-0,8848	-0,2785	-0,2968	-0,0292	0,1947
Ni	-0,1254	0,5824	0,2322	-0,7368	-0,0995
Co	-0,2598	-0,6729	-0,1574	-0,5604	0,0318
Cd	-0,5802	-0,4545	-0,5556	0,2810	-0,1355

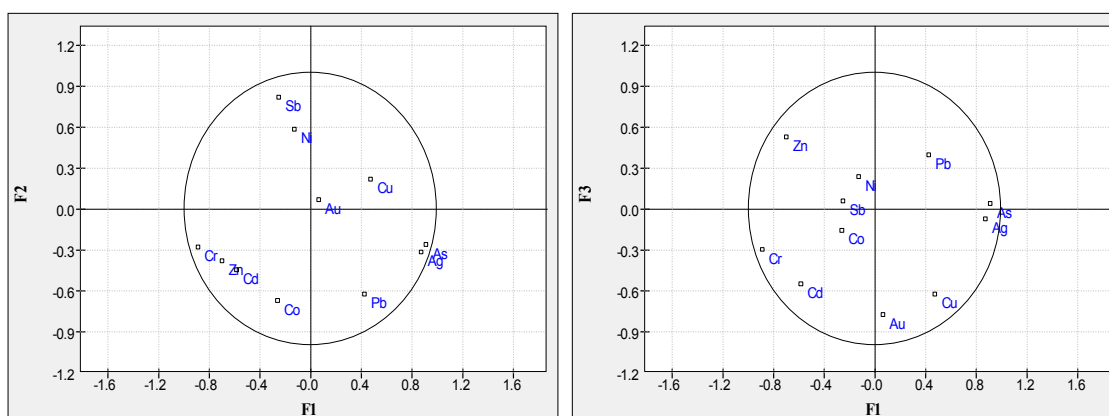


Figura 5.17 - Projecção das variáveis nos dois primeiros planos factoriais, relativas às folhas da espécie *Eucalyptus globulus*

Foi ainda possível calcular o background para os ramos e para as folhas desta espécie (tabela 5.37) podendo-se concluir que este é mais elevado nas folhas para Ag, Au, Zn, Ni, Co e Cd e mais alto nos ramos para os restantes elementos.

Tabela 5.37 – Valor do background calculado para a espécie *Eucalyptus globulus* (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg)

	As	Sb	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
Ramos	0,14	99,51	227,46	2,36	6,67	0,33	5,56	3,99	1,15	2,06	0,55
Folhas	0,07	92,02	272,56	3,38	5,77	0,24	10,36	3,83	4,41	3,07	0,62

5.2.3.3 - *Pterospartum tridentatum*

Esta espécie foi amostrada na totalidade do perfil PV, no entanto também foi recolhida em alguns pontos do perfil PL. Optou-se então por fazer um tratamento mais pormenorizado daquelas que foram recolhidas no perfil PV e MR. Na análise desta espécie não se diferenciou folhas e ramos decidindo-se assim por fazer uma análise química global da planta.

Na tabela 5.38 encontra-se representada a caracterização estatística univariada dos elementos químicos estudados. Também se apresenta o coeficiente de absorção biológica (CAB).

Tabela 5.38 - Valores estatísticos dos dados correspondentes à campanha de amostragem de *Pterospartum tridentatum* para o perfil PV e MR (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg; <l.d abaixo do limite de detecção)

Planta (n=10)						
Variável	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Coeficiente de variação
As	0,303	0,181	<l.d	0,863	0,287	0,947
CAB	0,034	0,014	0,001	0,101	0,037	1,067
Sb	45,220	46,181	12,926	102,260	28,433	0,629
CAB	0,276	0,128	0,001	1,245	0,380	1,380
Ag	303,631	318,708	107,072	508,917	134,728	0,444
CAB	0,303	0,283	0,027	0,664	0,207	0,682
Au	2,658	2,599	1,166	4,295	1,181	0,444
CAB	0,322	0,200	0,020	1,032	0,336	1,044
Cu	4,755	4,848	3,390	5,934	0,842	0,177
CAB	0,175	0,194	0,047	0,250	0,059	0,335
Pb	0,793	0,714	0,434	1,550	0,334	0,421
CAB	0,045	0,041	0,021	0,081	0,018	0,394
Zn	24,499	22,340	15,216	35,713	6,308	0,257
CAB	0,405	0,424	0,183	0,533	0,101	0,250
Cr	6,914	7,458	0,953	10,175	2,871	0,415
CAB	0,156	0,171	0,021	0,229	0,067	0,431
Ni	6,190	4,576	2,384	20,445	5,373	0,868
CAB	0,279	0,206	0,103	0,817	0,216	0,772
Co	4,267	4,365	<l.d	7,291	2,354	0,552
CAB	0,341	0,208	0,019	0,931	0,319	0,936
Cd	1,329	1,297	1,176	1,571	0,141	0,106
CAB	0,588	0,618	0,389	0,679	0,089	0,151

A maioria das amostras apresenta teores de Cr, Ni, Co e Cd acima dos níveis considerados normais por Kabata–Pendias & Pendias, 2001. Também os valores de Au estão acima da média global de 1 µg/kg. Alguns pontos possuem valores de Ag e Sb acima dos normais definidos pelo autor.

No anexo 5.4 encontram-se as matrizes de correlação linear entre os solos e esta espécie. Fortes correlações são observadas entre o teor no solo e o teor na planta para Zn-Cd, Ni-Sb, Cr-Ag e Cd-Zn, respectivamente. Quanto à planta fortes correlações são também verificadas entre Cu-Au, Co-Au e Cu-Co.

Esta espécie revela valores de CAB indicadores de absorção fraca para o As e Pb e intermédia para o restantes elementos.

Para as folhas desta espécie, a ACP incidiu num total de 10 indivíduos (amostras) e 11 variáveis (As, Sb, Ag, Au, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co e Cd). Na tabela 5.39 apresentam-se os valores próprios e a percentagem de variância explicada de cada um dos eixos da ACP. Verifica-se que os três primeiros eixos explicam conjuntamente 70,21% da variância total.

Tabela 5.39 - Valores próprios, percentagem de variância explicada dos eixos factoriais resultantes da ACP das amostras de *Pterospartum tridentatum*.

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6
Valor próprio	3,46	2,31	1,96	1,46	1,27	0,30
Variância explicada (%)	31,42	20,99	17,79	13,25	11,51	2,72
Variância explicada acumulada (%)	31,42	52,42	70,21	83,46	94,97	97,69

Na tabela 5.40 apresentam-se os valores das coordenadas activas dos cinco primeiros eixos.

O eixo 1 explica as variáveis Sb, Au, Cu, Co e Cd. O eixo 2 explica as variáveis Ag, Zn, Cr e Ni. O As e o Pb projectam-se nos eixos 3 e 4, respectivamente.

Da análise conjunta dos dados da tabela 5.40 e da figura 5.18 verificam-se 3 associações distintas: uma primeira definida por Sb-Au; uma segunda definida pela associação Ag-Zn-Cr e uma terceira por Cu-Cd. O As e o Pb projectam-se de forma independente pressupondo que estas deverão estar relacionadas com amostras anómalas.

Foi ainda possível calcular o background para os ramos e para as folhas desta espécie (tabela 5.41) podendo-se concluir que este está acima dos valores médios definidos por Kabata–Pendias & Pendias (2001) para Cr, Co e Cd e acima do calculado por Markert (1993) para Au.

Tabela 5.40 – Coordenadas das variáveis nos cinco primeiros eixos resultantes da ACP das folhas da espécie *Pterospartum tridentatum*. Os pesos dentro de cada eixo factorial iguais ou superiores a 0,5 encontram-se a negrito

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5
As	-0.2329	-0.3733	-0.5983	0.4886	-0.3700
Sb	0.6141	-0.0452	-0.7214	-0.2352	-0.1507
Ag	-0.2748	-0.7755	-0.1632	0.3364	0.3282
Au	0.9139	-0.1446	0.2838	-0.0179	0.2420
Cu	-0.6901	-0.1823	-0.4651	-0.1274	0.3055
Pb	-0.0655	0.2566	-0.4150	-0.8315	0.0516
Zn	-0.2097	-0.6458	0.0934	-0.3178	-0.6470
Cr	-0.4599	-0.5224	0.3190	-0.2982	0.5027
Ni	-0.4946	0.7919	0.0879	0.3180	-0.0579
Co	-0.8612	0.3451	-0.2880	-0.0447	0.1074
Cd	-0.6264	-0.1021	0.6178	-0.2229	-0.3976

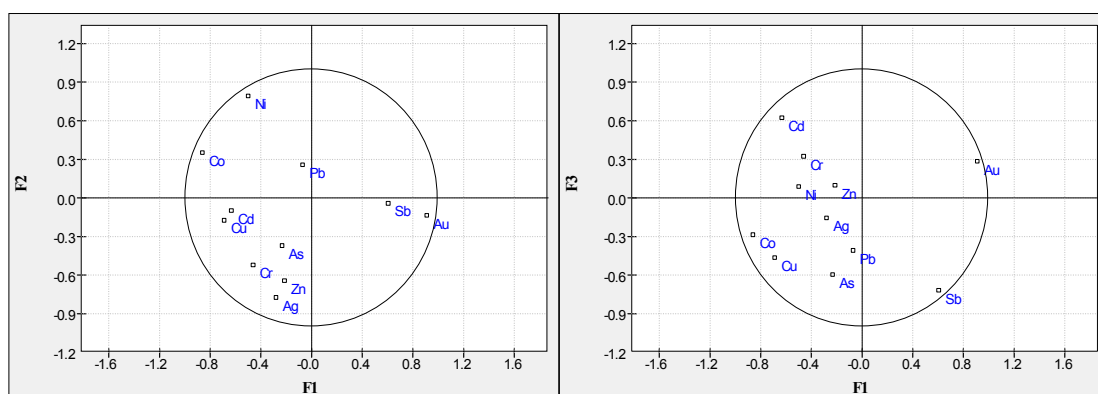


Figura 5.18 - Projecção das variáveis nos dois primeiros planos factoriais, relativas às amostras da espécie *Pterospartum tridentatum*.

Tabela 5.41 – Valor do background calculado para a espécie *Pterospartum tridentatum* (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg)

As	Sb	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
0.18	30.89	239.85	2.08	4.37	0.65	20.13	5.77	3.75	3.17	1.26

5.2.3.4 - Restantes espécies

O número total de espécies que foi amostrada ao longo da segunda fase foi bastante elevada, conseqüentemente a grande quantidade de dados obtidos não nos permitiu tratar de forma exaustiva cada uma das espécies. Não foi possível colher uma mesma espécie em todos os pontos de amostragem para um grande número das espécies, devido à fraca homogeneidade do coberto vegetal da área.

Optou-se por fazer uma pequena síntese interpretativa dos resultados obtidos para as restantes espécies amostradas fornecendo apenas um carácter informativo, não se podendo tirar grandes conclusões sobre as anomalias biogeoquímicas dadas por estas espécies devido à sua fraca representatividade.

Na tabela 5.42 das páginas seguintes, encontram-se representados os valores mínimos e máximos assim como o valor médio do CAB das restantes espécies amostradas em ambos os perfis. Optou-se por não fazer uma distinção das espécies quanto aos perfis

O As é considerado um elemento altamente tóxico para as plantas em geral e, cujo o nível de toxicidade se situa em 2 mg/kg (Favas, 2008). Apenas uma amostra da espécie *Hyacinthoides vicentina* apresentou valores superiores a este. A espécie *Cistus psilosepalus* apresenta também valores mais elevados quando comparada com as restantes espécies. Os valores médios do CAB são bastante baixos, indicando uma absorção muito fraca a fraca para todas as espécies.

O Sb é um elemento não essencial e é conhecido por ser facilmente absorvido pelas plantas quando está presente em formas solúveis (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). A maioria das espécies apresenta valores máximos acima da média mundial para as plantas de 100 µg/kg definido por Markert, 1993. Os valores mais elevados são observados para a espécie *Arenaria montana* e *Pteridium aquilinum*. O CAB indica uma absorção intermédia podendo indicar que o Sb poderá encontrar-se numa forma ligeiramente solúvel sendo absorvida com maior facilidade pelas plantas.

As plantas podem absorver Au em formas solúveis. Quando o Au entra no sistema radicular das plantas este pode ser facilmente transportado para a parte aérea da planta (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Praticamente todas as amostras de plantas possuem valores acima da média global de 1 µg/kg definido por Markert, 1993. Os valores mais elevados são observados na espécie *Hyacinthoides vicentina* e *Erica scoparia* (42 e 25 µg/kg, respectivamente). O CAB indica uma absorção muito fraca a intermédia para a grande maioria das espécies, porém espécies como *Hyacinthoides vicentina* e *Erica scoparia* indicam uma absorção forte.

Tabela 5.42 – Teores máximos, mínimos e média do CAB para as restantes espécies vegetais analisadas (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg; <l.d abaixo do limite de detecção; - não calculado)

Espécie	n		As	Sb	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
<i>Arenaria Montana</i>	2	Mínimo	<l.d	146,694	354,855	9,670	4,090	0,064	38,607	13,371	9,717	2,445	2,562
		Máximo	0,128	238,272	1401,886	16,920	6,103	0,590	44,004	17,188	11,042	18,070	3,306
		CAB	0,028	0,473	0,502	0,891	0,218	0,019	0,922	0,351	0,558	1,999	1,488
<i>Cistus psilosepalus</i>	9	Mínimo	0,114	31,528	221,182	0,819	7,379	0,012	51,862	2,760	4,531	<l.d	1,476
		Máximo	1,127	159,697	1781,303	4,373	11,729	6,827	109,719	11,457	13,915	19,074	2,724
		CAB	0,038	0,309	0,574	0,333	0,327	0,031	1,504	0,174	0,368	0,487	0,795
<i>Erica umbellata</i>	7	Mínimo	<l.d	10,811	133,897	0,637	5,754	0,413	9,205	1,264	2,314	<l.d	1,056
		Máximo	0,537	116,461	390,224	3,879	7,455	3,055	13,576	10,607	6,058	4,777	1,513
		CAB	0,055	0,177	0,190	0,187	0,263	0,071	0,223	0,151	0,230	0,512	0,609
<i>Agrostis curtisii</i>	7	Mínimo	<l.d	17,754	28,316	2,601	3,773	0,847	16,582	5,521	1,879	<l.d	1,080
		Máximo	0,578	139,579	2177,743	5,803	7,588	2,151	39,418	12,021	8,759	13,845	2,121
		CAB	0,058	0,245	0,480	0,376	0,239	0,091	0,437	0,194	0,215	0,739	0,664
<i>Lithodora prostrata</i>	9	Mínimo	<l.d	23,257	60,403	0,791	7,311	0,021	17,806	5,473	5,000	0,188	1,056
		Máximo	0,692	97,590	777,011	12,442	11,757	1,287	50,901	10,125	11,345	27,836	2,063
		CAB	0,028	0,338	0,356	0,991	0,344	0,018	0,449	0,192	0,344	0,550	0,656
<i>Erica australis</i>	10	Mínimo	<l.d	7,360	78,358	0,981	4,967	0,573	8,106	1,698	3,534	<l.d	0,930
		Máximo	0,803	110,891	500,681	4,778	7,790	2,716	15,801	10,012	54,651	6,087	1,590
		CAB	0,087	0,349	0,298	0,163	0,258	0,087	0,217	0,136	0,486	0,282	0,565
<i>Halimium alyssoides</i>	8	Mínimo	<l.d	48,659	154,139	1,145	4,293	0,018	33,635	1,507	5,054	<l.d	1,040
		Máximo	0,659	72,340	713,210	12,370	8,732	0,973	84,640	10,473	8,303	8,783	1,802
		CAB	0,095	0,352	0,441	0,260	0,243	0,026	1,119	0,159	0,337	0,401	0,628
<i>Xolantha tuberaria</i>	5	Mínimo	<l.d	42,102	276,153	1,721	6,794	0,020	60,187	4,934	3,936	1,555	1,153
		Máximo	0,559	118,057	1004,899	15,164	11,174	0,191	87,258	11,584	12,488	5,726	2,932
		CAB	0,065	0,317	0,618	0,597	0,340	0,005	1,318	0,174	0,365	0,555	0,769
<i>Hyacinthoides vicentina</i>	7	Mínimo	<l.d	34,400	6,358	2,870	5,856	0,047	39,871	5,648	4,924	<l.d	1,351
		Máximo	2,254	148,415	1180,369	41,802	8,671	0,350	65,731	27,620	15,557	6,114	4,484
		CAB	0,092	0,271	0,226	1,023	0,283	0,008	1,039	0,252	0,380	0,260	0,901

Continua

Tabela 5.42 (continuação) – Teores máximos, mínimos e média do CAB para as restantes espécies vegetais analisadas (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg; <l.d abaixo do limite de detecção; - não calculado)

Espécie	n		As	Sb	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
<i>Thapsia villosa</i>	3	Mínimo	0,124	16,404	77,241	1,854	7,092	0,018	15,217	6,735	4,313	1,491	1,146
		Máximo	0,433	57,339	274,759	11,286	14,466	0,136	34,302	10,482	8,423	4,830	1,652
		CAB	0,053	0,152	0,234	0,812	0,415	0,005	0,495	0,192	0,308	0,362	0,633
<i>Ulex europaeus</i>	8	Mínimo	<l.d	13,341	68,741	0,847	4,616	0,278	22,229	2,086	1,431	<l.d	1,181
		Máximo	0,576	116,507	620,794	3,116	8,146	3,012	40,005	11,499	6,895	9,656	1,866
		CAB	0,024	0,335	0,318	0,150	0,256	0,059	0,474	0,157	0,230	0,365	0,670
<i>Erica lusitanica</i>	3	Mínimo	<l.d	41,932	291,182	2,771	7,747	0,604	9,641	4,539	5,602	<l.d	1,077
		Máximo	0,201	81,073	345,062	4,021	12,111	1,011	14,355	10,354	6,208	8,130	1,322
		CAB	0,003	0,200	0,277	0,868	0,269	0,044	0,178	0,174	0,234	0,434	0,558
<i>Genista triacanthos</i>	7	Mínimo	<l.d	25,534	25,009	0,970	5,341	0,133	9,129	0,140	0,236	<l.d	1,037
		Máximo	0,811	74,630	1261,872	6,474	7,323	0,885	27,555	9,458	5,340	5,495	1,592
		CAB	0,070	0,353	0,283	0,224	0,253	0,038	0,266	0,123	0,160	0,200	0,579
<i>Erica arborea</i>	7	Mínimo	<l.d	49,643	87,236	1,748	5,002	0,485	13,937	1,477	<l.d	<l.d	0,320
		Máximo	1,288	174,180	688,287	13,230	8,643	2,170	62,297	7,802	3,336	4,321	1,174
		CAB	0,005	0,269	0,235	0,271	0,188	0,023	0,336	0,124	0,096	0,444	0,324
<i>Pteridium aquilinum</i>	7	Mínimo	0,015	63,829	22,793	1,299	14,549	0,073	33,375	0,947	7,517	1,040	0,374
		Máximo	0,251	179,635	323,028	8,547	21,045	0,587	112,767	6,443	18,927	12,612	1,266
		CAB	0,001	0,393	0,086	0,239	0,486	0,004	0,554	0,088	0,499	0,485	0,320
<i>Rubus ulmifolius</i>	8	Mínimo	<l.d	36,608	144,151	0,796	4,263	0,031	16,295	0,426	1,099	<l.d	0,647
		Máximo	0,631	128,136	861,769	5,342	8,132	0,591	45,173	11,514	7,902	11,019	1,517
		CAB	0,011	0,362	0,385	0,207	0,196	0,010	0,368	0,159	0,200	0,416	0,422
<i>Quercus robur</i>	5	Mínimo	0,009	48,598	97,140	2,210	10,174	0,007	28,943	3,637	2,804	<l.d	0,705
		Máximo	0,252	109,725	365,520	5,253	19,279	0,990	2412,551	7,533	7,818	8,986	1,307
		CAB	0,001	0,263	0,107	0,137	0,419	0,008	6,521	0,151	0,250	0,848	0,407
<i>Arbutus unedo</i>	2	Mínimo	0,035	79,424	389,966	1,951	2,961	0,254	33,061	3,166	1,193	2,009	0,780
		Máximo	0,293	161,991	650,074	4,926	5,088	0,456	55,088	8,111	4,898	6,725	1,296
		CAB	0,007	0,499	0,210	0,262	0,149	0,016	0,850	0,136	0,181	0,760	0,512

Continua

Tabela 5.42 (continuação) – Teores máximos, mínimos e média do CAB para as restantes espécies vegetais analisadas (valores em mg/kg excepto para Sb, Ag e Au que estão expressos em µg/kg; <l.d abaixo do limite de detecção; - não calculado)

Espécie	n		As	Sb	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
<i>Digitalis purpurea</i>	2	Mínimo	0,381	66,747	188,102	1,875	9,901	0,016	95,828	8,163	4,441	0,584	1,453
		Máximo	1,009	107,844	273,370	3,410	16,414	0,371	158,726	9,675	7,827	8,979	3,340
		CAB	0,045	0,780	0,343	0,556	0,297	0,010	1,053	0,200	0,196	0,042	0,973
<i>Sanguisorba minor</i>	3	Mínimo	<l.d	15,918	160,880	1,151	5,549	0,014	13,916	1,423	4,115	<l.d	0,915
		Máximo	0,392	102,377	1626,194	1,655	5,741	0,107	18,412	7,532	5,247	3,007	1,403
		CAB	0,019	0,192	1,084	0,053	0,221	0,004	0,293	0,096	0,183	0,158	0,497
<i>Calluna vulgaris</i>	3	Mínimo	0,014	41,426	253,362	2,690	4,501	0,659	9,134	5,658	4,638	<l.d	0,605
		Máximo	0,586	94,874	695,764	9,201	6,041	1,345	24,580	8,342	9,418	3,713	1,335
		CAB	0,005	0,269	0,279	0,155	0,162	0,027	0,212	0,209	0,367	0,335	0,346
<i>Erica scoparia</i>	1		0,172	155,307	162,609	25,992	8,777	2,814	10,616	7,728	5,301	0,538	1,009
		CAB	0,166	0,996	0,238	1,396	0,339	0,167	0,184	0,169	0,264	0,076	0,404
<i>Andryala integrifolia</i>	1		<l.d	60,035	131,974	3,231	7,887	0,082	56,605	8,139	5,366	4,177	1,739
		CAB	-	0,385	0,194	0,174	0,305	0,005	0,983	0,178	0,267	0,590	0,696
<i>Betula celtiberica</i>	1		0,119	70,684	187,211	1,727	6,639	0,409	83,368	7,879	7,235	4,793	2,007
		CAB	0,026	0,004	0,016	0,040	0,288	0,038	1,855	0,182	0,309	0,229	1,020
<i>Genista falcata</i>	1		<l.d	33,908	247,664	3,200	9,794	0,803	21,874	8,112	4,080	3,351	1,130
		CAB	-	0,002	0,021	0,075	0,424	0,074	0,487	0,187	0,174	0,160	0,574
<i>Erica cinerea</i>	1		0,182	55,423	235,457	0,973	6,721	1,440	20,501	10,869	4,364	1,180	1,391
		CAB	0,012	0,031	0,372	0,163	0,261	0,075	0,295	0,249	0,274	0,033	0,553
<i>Helichrysum stoechas</i>	1		0,588	14,258	345,142	1,146	14,391	0,342	61,177	10,904	6,459	<l.d	2,658
		CAB	0,001	0,069	0,371	0,648	0,156	0,013	0,352	0,245	0,187	-	0,016
<i>Lonicera periclymenum</i>	1		<l.d	64,864	724,520	4,210	15,210	0,277	161,642	4,029	3,234	5,065	6,767
		CAB	-	0,274	0,167	0,153	0,418	0,009	2,274	0,109	0,138	0,188	3,197
<i>Salix atrocinerea</i>	1		0,844	108,045	363,682	2,961	4,709	0,425	64,149	5,662	0,227	3,386	1,488
		CAB	0,011	0,558	0,262	0,065	0,138	0,013	0,599	0,158	0,009	0,462	0,571
<i>Acacia dealbata</i>	1		0,130	82,445	206,432	2,015	8,892	0,239	13,259	4,341	5,415	2,659	0,808
		CAB	0,002	0,437	0,098	0,044	0,289	0,006	0,123	0,128	0,296	0,224	0,278

A Ag não é um elemento essencial para o metabolismo vegetal. O teor de Ag na planta encontra-se normalmente relacionado com o teor de Ag no solo, podendo ser por isso acumulada em concentrações tóxicas em áreas mineralizadas com Ag (Favas, 2008). Valores acima da média (500 µg/kg segundo Kabata-Pendias & Pendias, 2001), são observados num grande número de espécies em que se destacam espécies como o *Agrostis curtisii* e *Cistus psilosepalus* com valores acima de 1,5 mg/kg. O CAB revela uma absorção fraca a intermédia para a maioria das espécies podendo ser forte para a *Sanguisorba minor*.

O Cu é um micronutriente essencial à nutrição vegetal, sendo necessário em quantidades muito pequenas (Favas, 2008). O Cu ocorre em todas as espécies e locais com teores normais, sendo que os valores mais elevados se observam nas amostras de *Pteridium aquilinum* e *Quercus robur* podendo ser denunciadora de possíveis anomalias geoquímicas. O CAB indica uma absorção intermédia para todas as espécies.

O Zn é um elemento essencial em todos os sistemas vivos (Favas, 2008). O risco de toxicidade para as plantas é em geral baixo e apenas observado em solos fortemente contaminados, como por exemplo em escombros de minas (Favas, 2008). Os valores de Zn estão na maioria das espécies e pontos dentro da média. Valores mais elevados são observados em espécies como o *Quercus robur* e *Digitalis purpúrea*, tal como verificado por Pratas (1996) para estas espécies.

A espécie *Quercus robur* apresenta um teor médio de 513 mg/kg provocado por uma amostra francamente anómala no ponto 3 do perfil PL (2412 mg/kg). O CAB nesta espécie também é considerado forte em virtude desta mesma amostra anómala.

O Pb não é um elemento essencial na nutrição das plantas e está presente na natureza em concentrações muito baixas (Favas, 2008). As plantas que crescem em solos ricos em Pb, apresentam normalmente teores elevados neste metal. Porém, o Pb acumula-se principalmente na raiz, passando uma pequena percentagem para o resto da planta (Favas, 2008).

Os teores de Pb mais altos observam-se em espécies como a *Erica australis*, *Erica umbellata* e *Cistus psilosepalus*. Os valores do CAB são reveladores de uma absorção muito fraca a fraca.

O Cr não é um elemento essencial à nutrição vegetal. Verifica-se que a generalidade das espécies e locais apresenta valores de Cr muito acima da média mundial para plantas (0,1-0,5 mg/kg segundo Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Os valores mais elevados são observados em *Arenaria montana* e *Hyacinthoides vicentina*. Os valores de CAB revelam uma absorção intermédia para a maioria das espécies, não sendo representativas de anomalia.

Os valores mais elevados de Ni são observados para a *Erica australis*. Para o Co são observados na *Lithodora prostrata* e para o Cd na *Lonicera periclymenum*.

O CAB para estes elementos varia de fraco a intermédio, podendo ser forte para algumas espécies para Co e Cd.

5.3 – Discussão das anomalias

5.3.1 – Selecção de espécies

Um dos principais problemas inerentes à aplicação da biogeoquímica na prospecção de jazigos minerais é a selecção de espécies que poderão ser indicadoras de determinada mineralização. O principal critério a ser utilizado na selecção destas espécies é que o(s) elemento(s) a estudar tenha(m) uma relação directamente proporcional à sua concentração no solo. Por outras palavras que o CAB seja tão constante quanto possível.

Baseado no peso seco da amostra e atendendo ao facto de existência de diferentes níveis de barreiras fisiológicas à entrada e translocação de elementos químicos na planta, Kovalevskii (1979) propôs uma metodologia baseada principalmente na razão entre as concentrações máximas (L_1), obtidas para cada elemento, e o teor do fundo biogeoquímico (L_0) (Favas, 2008).

Este procedimento permite classificar o tipo de barreira fisiológica em quatro categorias: 1) “sem barreira” ($L_1/L_0 > 300$); 2) “barreira alta” ($L_1/L_0 = 30-300$); 3) “barreira média” ($L_1/L_0 = 3-30$); 4) e “barreira baixa” ($L_1/L_0 < 3$). No primeiro e no segundo caso estas podem ser usadas na prospecção biogeoquímica (Favas, 2008).

Outra metodologia que permite a selecção de espécies bioindicadoras é a partir do cálculo do Coeficiente de Absorção Biológica (CAB). Este método foi utilizado por Kovalevskii (1979) e Pratas (1987). Este procedimento também nos permite classificar o tipo de barreira fisiológica em quatro categorias: 1) “sem barreira” (CAB > 5); 2) “altas barreiras” (CAB = 0,5-5); 3) “médias barreiras” (CAB = 0,15-0,49); e “baixas barreiras” (CAB $< 0,15$).

Optou-se por utilizar a primeira metodologia de forma a proceder esta análise. Um dos principais problemas neste caso é a falta de representatividade de algumas espécies amostradas. Para tal optamos por apenas utilizar espécies que tenham um número de amostras superior a quatro. A selecção de espécies bioindicadoras foi feita tanto para as espécies aquáticas amostradas na primeira fase como para as espécies terrestres amostradas para a segunda fase.

Para calcular o teor do fundo biogeoquímico (background) de cada espécie, utilizou-se a análise em componentes principais com o intuito de retirar aquelas amostras que seriam consideradas anómalas. O background foi então calculado fazendo a média das amostras que não foram consideradas anómalas.

5.3.1.1 – Selecção de espécies aquáticas (1ª fase)

Na tabela 5.43 encontram-se representadas as razões entre o teor máximo encontrado e o fundo biogeoquímico das espécies de plantas aquáticas mais representativas da área.

Tabela 5.43 – Razão entre o teor máximo (L_1) e o teor do fundo biogeoquímico (L_0) para algumas espécies aquáticas estudadas.

Espécie	n	As	Sb	Ag	Au	W	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
<i>Oenanthe crocata</i>	16	69,7	3,5	7,1	5,2	20,9	2,3	6,0	4,2	2,2	3,2	3,4	2,5
<i>Apium nodiflorum</i>	6	8,3	3,5	11,0	31,2	9,1	3,8	-	3,1	3,2	4,8	3,8	2,4
<i>Fontinalis antipyretica</i>	6	2,7	3,1	1,6	4,6	73,1	1,5	2,5	5,4	1,5	2,8	3,8	3,3
<i>Calitriche stagnalis</i>	5	11,9	4,9	14,1	3,8	5,5	1,2	-	2,4	9,4	3,3	1,4	11,3
<i>Thamnobryum alopercum</i>	6	4,2	6,2	2,1	3,4	12,8	1,6	2,0	1,7	4,1	2,7	2,8	3,7
<i>Chiloscyphos polyanthos</i>	5	2,1	3,8	7,0	20,7	60,5	2,0	5,5	5,2	3,0	3,0	4,4	6,7
<i>Eurhynchium praelongum</i>	4	14,0	1,1	4,9	1,4	1082,4	1,5	1,4	2,1	1,3	3,4	2,1	1,3

Azul = “sem barreira” ($L_1/L_0 > 300$); Vermelho = “barreira alta” ($L_1/L_0 = 30-300$); Laranja = “barreira média” ($L_1/L_0 = 3-30$)

Pela observação da tabela 5.43, verifica-se a existência de várias espécies capazes de fornecerem importantes indicações sobre a presença de contaminações provocadas pelas mineralizações presentes na área. Todavia, a resposta fornecida difere bastante de espécie para espécie, conforme os elementos químicos presentes nas mineralizações.

Por forma a evitar a selecção de espécies que provoquem bastante ruído e que forneçam anomalias atenuadas, optou-se por excluir dessa selecção todas as espécies que apresentaram uma razão entre o teor máximo e o teor do fundo biogeoquímico inferior a três (Patas, 1996). Este valor é o limite para que se possa considerar uma planta capaz de indicar a contaminação do solo (Kovalevskii, 1979).

Tendo em consideração os dados fornecidos por esta tabela, foi possível fazer uma selecção de espécies aquáticas que poderão ser utilizadas em prospecção como bioindicadoras de determinado elemento (tabela 5.44).

Tabela 5.44 – Síntese interpretativa de possíveis espécies aquáticas bioindicadoras

Elemento	Espécie
As	<i>Oenanthe crocata</i>
	<i>Eurhynchium praelongum</i>
Sb	<i>Thamnobryum alopercum</i>
Ag	<i>Calitriche stagnalis</i>
	<i>Apium nodiflorum</i>
Au	<i>Apium nodiflorum</i>
	<i>Chiloscyphos polyanthos</i>
W	<i>Eurhynchium praelongum</i>
	<i>Fontinalis antipyretica</i>
Cu	<i>Apium nodiflorum</i>
Pb	<i>Oenanthe crocata</i>
Zn	<i>Fontinalis antipyretica</i>
Cr	<i>Calitriche stagnalis</i>
Ni	<i>Apium nodiflorum</i>
Co	<i>Chiloscyphos polyanthos</i>
Cd	<i>Calitriche stagnalis</i>

5.3.1.2 – Selecção de espécies terrestres (2ª fase)

Na tabela 5.45 encontram-se representadas as razões entre o teor máximo encontrado e o fundo biogeoquímico das espécies de plantas terrestres mais representativas da área.

Em algumas espécies estes valores são bastante semelhantes àqueles calculados por Pratas, (1996) e Favas (2008), porém em alguns casos os valores obtidos são bastante inferiores aqueles calculados por estes dois autores. Tal poderá ser justificado pelo facto de que nos trabalhos efectuados por estes dois autores os solos apresentarem teores muito mais elevados do que os verificados nesta área e por estarem a trabalhar em áreas fortemente contaminadas pela exploração mineira (à partida maior biodisponibilidade de elementos). Também o estágio de crescimento da planta poderá influenciar essa diferença.

Tabela 5.45 – Razão entre o teor máximo (L_1) e o teor do fundo biogeoquímico (L_0) para algumas espécies terrestres estudadas (R- ramos; F-folhas)

Espécie	n	As	Sb	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
<i>Pinus pinaster</i>	9	2,4	2,3	8,9	4,2	1,5	3,9	1,7	3,6	2,9	4,9	5,1
<i>Eucalyptus globulos</i> (R)	9	3,9	5,5	1,9	4,8	1,6	7,7	2,5	1,9	2,8	3,1	14,9
<i>Eucalyptus globulos</i> (F)	9	25,6	1,8	3,1	2,7	1,4	2,7	1,8	1,6	2,7	1,7	1,8
<i>Pterospartum tridentatum</i>	10	4,7	3,3	2,1	2,1	1,4	2,4	1,8	1,8	5,4	2,3	1,3
<i>Cistus psilosepalus</i>	9	2,6	2,6	5,5	2,3	1,5	36,4	1,5	1,8	2,1	4,2	1,7
<i>Erica umbellata</i>	7	2,0	2,7	2,8	2,4	1,2	4,8	1,3	1,7	1,5	1,5	1,2
<i>Agrostis curtisii</i>	7	11,9	3,1	12,4	1,6	1,4	1,7	2,1	1,5	2,5	4,2	1,7
<i>Lithodora prostrata</i>	9	3,8	2,2	3,6	5,2	1,4	6,8	2,2	1,3	1,6	5,5	1,5
<i>Erica australis</i>	10	3,0	2,3	1,9	2,6	1,3	2,3	1,5	1,9	9,8	2,4	1,3
<i>Halimium alyssoides</i>	8	1,9	1,2	2,3	4,7	1,6	3,7	1,6	1,7	1,4	2,3	1,4
<i>Xolantha tuberaria</i>	5	1,8	2,2	2,7	4,6	1,3	3,4	1,4	1,7	2,7	1,7	1,8
<i>Hyacinthoides vicentina</i>	7	7,6	1,8	12,3	7,0	1,4	5,4	1,4	3,8	2,7	2,8	2,9
<i>Ulex europaeus</i>	8	2,5	2,3	2,7	2,5	1,3	5,1	1,7	2,0	1,7	2,4	1,3
<i>Genista triacanthos</i>	7	3,0	1,6	10,9	4,5	1,2	1,9	2,0	2,0	1,8	2,0	1,2
<i>Rubus ulmifolius</i>	8	4,7	2,2	2,5	3,9	1,4	2,3	1,9	2,4	2,2	4,6	1,6
<i>Erica arborea</i>	7	4,2	2,9	2,5	3,9	1,5	3,1	3,7	2,2	2,0	2,1	1,7
<i>Pteridium aquilinum</i>	7	2,4	2,6	7,9	3,6	1,2	5,8	2,9	2,9	2,1	3,6	1,9
<i>Quercus robur</i>	5	4,8	1,8	3,2	1,7	1,5	34,0	61,7	1,6	1,8	2,8	1,3

Vermelho = “barreira alta” ($L_1/L_0 = 30-300$); Laranja = “barreira média” ($L_1/L_0 = 3-30$)

Na tabela 5.46 encontra-se uma selecção de espécies que poderão ser utilizadas como bioindicadoras de um determinado elemento. Nota-se que nenhuma das plantas amostradas revelou ser indicadora de Cu.

Tabela 5.46 – Síntese interpretativa de possíveis espécies terrestres bioindicadoras

Elemento	Espécie
As	<i>Eucalyptus globulus</i> (folhas)
	<i>Agrostis curtisii</i>
Sb	<i>Eucalyptus globulus</i> (ramos)
Ag	<i>Agrostis curtisii</i>
	<i>Hyacinthoides vicentina</i>
Au	<i>Hyacinthoides vicentina</i>
	<i>Lithodora prostrata</i>
Pb	<i>Cistus psilosepalus</i>
	<i>Quercus robur</i>
Zn	<i>Quercus robur</i>
Ni	<i>Erica australis</i>
Co	<i>Lithodora prostrata</i>
Cd	<i>Eucalyptus globulus</i> (ramos)

5.3.2 - Representação das anomalias

Foi feita uma representação das zonas consideradas anómalas em cada uma das fases. Para tal separou-se os sedimentos de corrente e as espécies aquáticas mais representativas da primeira fase dos solos e plantas terrestres mais representativas da segunda fase.

Para tal considerou-se um critério meramente pessoal não seguindo nenhuma literatura para o efeito. Foi então calculado o valor do background dos sedimentos, solos, plantas com a ajuda da ACP. O background foi calculado fazendo a média das amostras não anómalas. Uma vez calculado o background foi calculada a magnitude da anomalia (numero de vezes que o valor é superior ao valor do background) para cada um dos pontos de amostragem sendo a anomalia dividida em quatro grupos: 1) “anomalia fraca” (1,5-2,0 x background); 2) “anomalia média” (2-3 x background); 3) “anomalia forte” (3-4 x background); 4) “anomalia muito forte” (>4 x background).

5.3.2.1 - Sedimentos de corrente

Na tabela 5.47 encontram-se representados os pontos considerados anómalos para os sedimentos de corrente da 1ª fase de amostragem bem como a magnitude da anomalia

Tabela 5.47 – Representação dos pontos anómalos para os sedimentos de corrente da 1ª fase de amostragem

Ponto	As	Sb	Ag	Au	W	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
S1	1,3	2,8	1,9	1,7	1,0	1,3	0,9	1,0	0,8	1,1	0,5	0,8
S2	1,0	0,3	0,5	1,8	2,5	1,0	0,9	1,2	0,9	1,0	-	0,9
S3	1,3	1,2	1,0	6,8	1,8	0,9	0,7	1,0	0,9	0,7	-	0,8
S4	1,7	0,2	0,4	0,7	0,4	1,3	1,3	1,6	1,1	2,5	1,5	0,8
S5	1,0	2,1	1,5	18,4	0,2	1,1	1,2	1,2	1,0	1,4	1,2	-
S6	0,4	0,4	0,6	0,3	0,7	1,1	0,9	1,0	0,9	2,0	-	-
S7	3,1	6,1	3,8	0,6	0,9	1,8	1,8	1,5	1,1	0,8	-	1,8
S8	0,6	1,9	1,4	1,3	0,9	0,8	0,8	0,7	1,1	1,0	-	-
S9	3,3	0,3	0,5	1,2	1,8	1,0	0,8	1,2	1,3	1,7	-	-
S10	2,3	2,8	3,4	11,2	5,4	1,6	2,4	1,6	1,1	1,6	2,4	0,8
S11	0,7	2,0	1,2	0,8	2,2	0,7	0,9	1,0	1,1	0,7	-	-
S12	2,1	1,0	1,3	1,1	2,9	1,0	2,0	1,7	1,3	1,6	0,4	-
S13	0,7	113,4	1,3	1,1	0,8	0,9	0,6	0,9	1,3	1,0	0,7	-
S14	4,2	0,6	1,4	0,7	5,4	1,0	1,2	1,7	1,3	1,2	3,1	0,9
S15	1,4	3,5	1,5	0,7	2,9	0,9	1,4	0,9	1,2	0,8	2,6	-
S16	0,9	-	1,0	1,1	0,4	1,4	1,3	1,1	1,4	1,2	1,6	-

Verde = “anomalia fraca” (1,5-2,0 x background); Amarelo = “anomalia média” (2-3 x background); Laranja = “anomalia forte” (3-4 x background); Vermelho = “anomalia muito forte” (>4 x background).

A arsenopirite é um dos minerais acessórios comuns, o que o torna indicador mas não específico de uma dada mineralização. Verifica-se que os pontos 7, 9 e 14 apresentam valores muito acima do background. O Sb surge muitas vezes associado a mineralizações de Sb-Au (com a excepção de Vale Torto, não é conhecida mais nenhuma mineralização deste tipo na região). O ponto 13 localizado no leito da Ribeira da Celavisa apresenta valores extremamente elevados de Sb (9,4 mg/kg), o que poderá sugerir que possam existir mineralizações de antimónio, desconhecidas até então na região.

A Ag surge muitas vezes associada ao Au, porém não se verifica uma relação entre os teores destes dois elementos (com excepção do ponto 10). O ouro pode aparecer sobre a forma de ouro nativo ou então sob a forma de electrum. O ouro que pudesse existir sob a forma de electrum nas linhas de água foi sofrendo alteração ao

longo do tempo, libertando a Ag e enriquecendo as partículas auríferas em Au. Valores acima do background são encontrados no ponto 7 e 10 para a Ag e 5 e 10 para Au.

O W é um constituinte da volframite que, dada a sua densidade e mediana estabilidade ocorre frequentemente nos sedimentos de corrente das linhas de água. A sua presença é portanto indicadora de mineralizações volframíticas na região. Os pontos 10 e 14 apresentam valores acima do background da região.

Quanto aos dados obtidos a partir dos sedimentos de corrente, podemos propor a existência de três bacias hidrográficas potencialmente anómalas (Fig.5.19):

- Ponto 10 – Barroca dos Bolções – Provável mineralização em Au-Ag e W. Esta zona drena do Cabeço do Pião e Travessas onde se conhecem inúmeros filões volframíticos e auro-argentíferos.
- Ponto 5 – Provável mineralização aurífera da região do Cabeço do Vieiro.
- Ponto 14 – Ribeira de Piães – Mineralizações em W são conhecidas nesta área (Senhora da Guia, Liboreiro, Brecha Vale Maceira, Vale Mijão) o que justifica tal anomalia.

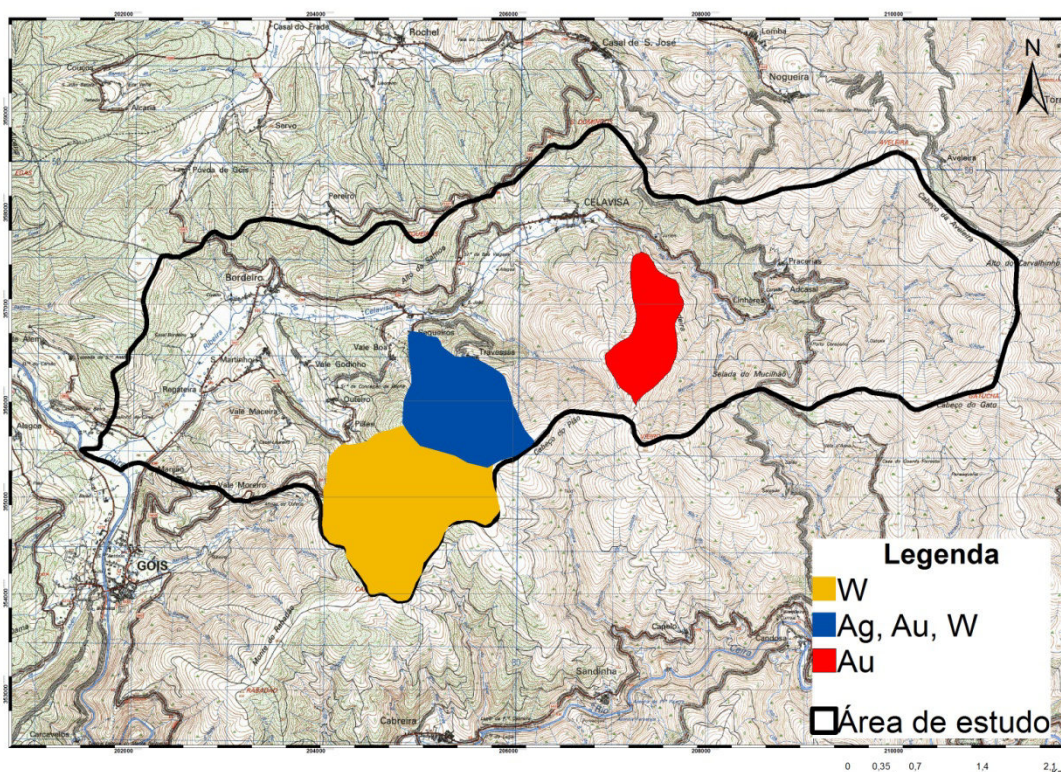


Figura 5.19 – Localização das zonas anómalas para os sedimentos de corrente.

5.3.2.2 - Plantas aquáticas

Devido à fraca representatividade de algumas espécies aquáticas, optou-se por apenas representar as amostras anómalas da espécie *Oenanthe crocata*.

Na tabela 5.48 encontram-se representados os pontos considerados anómalos para a espécie *Oenanthe crocata* assim como a magnitude da anomalia.

A maioria dos pontos anómalos para esta espécie, não coincidem com os pontos anómalos verificados nos sedimentos de corrente. Tal pode dever-se a factores relacionados com a biodisponibilidade dos elementos no sedimento de corrente. Por outro lado a amostragem de sedimentos é sempre bastante subjectiva pelo que deve ser considerada uma amostragem mais qualitativa do que quantitativa. A maturidade do próprio sedimento, a dificuldade de amostragem do sedimento o mais próximo possível do “bed rock” e ainda o facto de os sedimentos de montanha possuírem uma distribuição mineralométrica altamente irregular, são factores que devem ser tidos em consideração neste tipo de interpretação.

Tabela 5.48 - Representação dos pontos anómalos da espécie *Oenanthe crocata* nas linhas de água amostradas (- não calculado)

Ponto	As	Sb	Ag	Au	W	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
DC1	1,5	0,9	0,9	2,7	16,4	0,8	-	0,8	0,3	0,3	0,5	0,2
DC2	0,3	0,7	2,3	0,3	6,9	0,5	-	0,6	0,4	0,1	1,8	0,1
DC3	69,7	1,3	2,3	2,1	1,3	2,3	-	3,5	1,0	1,1	3,4	0,4
DC4	1,4	3,5	6,7	5,0	0,4	1,1	-	1,2	1,8	2,4	1,0	0,6
DC5	0,7	0,3	0,1	0,4	0,0	0,9	-	0,7	0,9	0,9	0,8	0,4
DC6	0,9	1,2	0,4	0,7	0,1	1,1	-	0,9	1,5	1,8	2,5	1,3
DC7	0,7	1,4	0,2	5,2	7,1	0,7	-	4,2	1,3	0,9	0,1	0,8
DC8	0,5	1,3	2,1	0,9	0,5	0,8	-	0,8	1,1	1,3	0,6	1,3
DC9	0,5	1,5	1,4	2,2	0,4	0,8	-	0,9	1,2	1,2	1,7	1,2
DC10	0,4	2,0	0,9	0,5	1,9	1,5	-	1,2	1,0	0,7	0,8	1,7
DC11	0,2	1,8	7,1	0,7	0,0	1,3	-	0,6	1,0	0,9	1,7	1,5
DC12	3,4	1,9	0,7	0,6	20,9	1,0	-	2,3	1,2	1,1	2,3	1,5
DC13	14,6	0,6	0,2	3,4	0,1	1,4	-	2,6	1,0	1,7	0,1	1,2
DC14	23,3	1,8	1,2	4,7	10,0	2,1	-	3,4	2,2	3,2	1,9	2,5
DC15	0,7	0,9	0,4	1,5	0,1	1,3	-	1,1	1,3	1,4	2,3	1,5
DC16	1,8	0,8	2,8	0,9	0,3	1,0	-	0,8	1,1	1,4	2,0	1,3

Verde = “anomalia fraca” (1,5-2,0 x background); Amarelo = “anomalia média” (2-3 x background); Laranja = “anomalia forte” (3-4 x background); Vermelho = “anomalia muito forte” (>4 x background).

5.3.2.3 - Solos e plantas terrestres perfil PL

Na tabela 5.49 encontram-se representados os pontos considerados anómalos para o perfil do Liboreiro (PL).

Pela análise da tabela pode verificar-se que os pontos anómalos localizam-se preferencialmente no início e no final do perfil.

Os pontos 1,2,3 e 4 caracterizam-se por possuírem anomalias médias a fortes para As, Ag, Sn e Pb. A presença destes elementos nos solos poderá ser indicativo de uma mineralização de Sn com Ag, Pb e As associados. Filões ricos em arsenopirite, cassiterite e galena ocorrem nesta zona.

Nos pontos 7 e 8 verificam-se anomalias médias para Au e no ponto 9 uma anomalia muito forte para Sb (48 vezes acima do background). Ao contrário da parte inicial do perfil aqui podemos falar de uma mineralização tipo Sb-Au com Ag associada.

Tabela 5.49 – Representação dos pontos anómalos para os solos do perfil PL

Ponto	As	Sb	Ag	Au	Sn	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
PL1	1.8	0.8	0.8	0.5	2.3	1.2	3.0	1.6	1.2	1.2	1.3	0.9
PL2	1.4	1.4	1.8	0.6	0.7	1.2	3.0	1.2	0.8	1.3	1.2	1.1
PL3	2.4	1.1	1.2	1.6	2.0	1.3	0.9	1.1	1.2	1.0	0.0	1.1
PL4	1.9	1.0	3.9	1.5	2.0	1.1	0.9	1.0	1.1	1.2	3.1	0.9
PL5	1.1	0.9	0.9	1.6	1.8	1.1	0.7	1.1	1.2	1.0	1.4	1.2
PL6	1.2	1.5	0.8	0.9	0.2	0.9	1.1	1.0	1.0	1.2	0.5	0.9
PL7	1.2	0.9	1.2	2.5	1.4	1.0	0.9	1.5	1.1	1.3	0.9	1.1
PL8	0.8	0.8	1.9	2.5	0.6	0.9	1.1	1.5	1.0	0.9	1.4	1.2
PL9	0.7	48.3	1.7	0.9	1.3	0.8	1.4	0.6	0.9	0.7	1.2	1.1

Verde = “anomalia fraca” (1,5-2,0 x background); Amarelo = “anomalia média” (2-3 x background); Laranja = “anomalia forte” (3-4 x background); Vermelho = “anomalia muito forte” (>4 x background).

Para a espécie *Pinus pinaster* a relação entre o teor máximo e o teor do fundo biogeoquímico, revelou que esta espécie, nas condições de trabalho em que se realizou a amostragem, não possui grande potencialidade na sua utilização em campanhas de prospecção, tendo-se verificado os melhores resultados para Ag, Co e Cd.

No entanto é de salientar as amostras recolhidas no ponto 8 (coincidente com a zona anómala em Au nos solos), apresentam uma anomalia muito forte para Ag, Co e Cd e média a forte para As, Sb, Au, Pb e Cr. Também o ponto 2 apresenta uma anomalia muito forte para Au (Fig.5.20) que poderá dever-se a uma anomalia muito localizada em Au no solo (tabela 5.50).

Tabela 5.50 – Representação dos pontos anómalos da espécie *Pinus pinaster* no perfil PL

Ponto	As	Sb	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
PP-PL1	1.0	0.9	0.7	0.6	0.8	2.5	0.9	0.1	0.5	1.3	0.5
PP-PL2	1.8	0.8	0.6	4.2	0.8	0.8	1.2	0.7	1.2	3.3	0.6
PP-PL3	0.3	1.2	1.3	0.8	1.0	0.4	1.2	0.7	1.8	0.7	0.6
PP-PL4	0.0	1.0	1.3	0.5	0.9	1.3	0.8	1.0	0.5	0.1	0.8
PP-PL5	0.0	1.2	1.7	0.5	1.3	3.9	0.9	1.0	0.2	1.6	1.2
PP-PL6	0.5	1.3	1.3	0.2	1.1	0.6	0.6	1.2	2.9	1.1	1.1
PP-PL7	0.7	1.0	0.6	0.9	1.2	2.3	1.3	1.1	2.7	0.4	1.6
PP-PL8	2.4	2.3	8.9	3.7	1.1	3.5	1.6	3.6	0.0	4.9	5.1
PP-PL9	1.8	0.7	0.5	0.3	1.5	0.7	1.7	1.3	2.2	0.1	1.6

Verde = “anomalia fraca” (1,5-2,0 x background); Amarelo = “anomalia média” (2-3 x background); Laranja = “anomalia forte” (3-4 x background); Vermelho = “anomalia muito forte” (>4 x background).

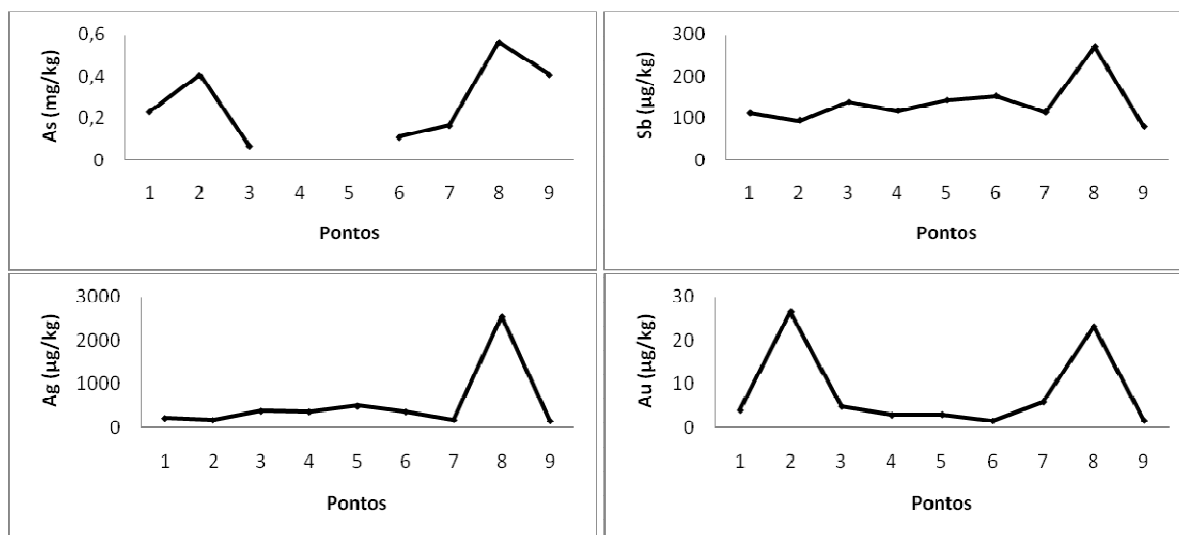


Figura 5.20 - Variação dos teores de: (a) As; (b) Sb; (c) Ag e (d) Au para a espécie *Pinus pinaster* ao longo do perfil PL

Para as folhas do *Eucalyptus globulus* os melhores resultados quanto à sua capacidade de bioindicação foram obtidos para As e Ag. Anomalia muito forte em As foi registada no ponto 1 com um valor cerca de 25 vezes acima do background para esta espécie. Anomalias médias a fortes também se registaram neste ponto para Pb e Ag respectivamente (tabela 5.51). Uma anomalia média também foi assinalada nos pontos 8 e 9 para Au e As-Pb, respectivamente. Também de salientar que as folhas desta espécie são, em norma, mais ricas em Sb, Ag e As na parte inicial do perfil e mais ricas em Pb, Cr, Co e Cd na parte final do perfil o que deverá ser consequência do tipo de mineralização em cada uma das zonas do perfil ou da biodisponibilidade destes elementos no solo bem como a capacidade de translocação destes metais no sistema raiz-folha.

Tabela 5.51 - Representação dos pontos anómalos das folhas da espécie *Eucalyptus globulus* no perfil PL

Ponto	As	Sb	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
EGF-PL1	25.6	0.8	3.1	1.8	1.3	2.7	0.8	0.1	0.9	1.1	0.6
EGF-PL2	0.7	1.8	0.5	0.9	1.0	1.0	1.1	0.6	2.7	0.1	0.3
EGF-PL3	2.2	1.8	1.7	1.0	1.4	0.8	0.8	0.9	0.5	0.5	1.2
EGF-PL4	0.0	1.0	1.5	2.2	1.1	0.4	0.9	1.2	1.2	1.3	1.4
EGF-PL5	0.5	1.6	1.1	0.6	0.6	1.9	1.8	1.1	1.5	1.6	1.0
EGF-PL6	0.9	1.6	0.4	1.6	1.1	0.6	1.2	1.6	1.4	1.5	1.3
EGF-PL7	0.9	0.9	1.3	0.6	0.6	0.8	1.3	1.2	0.0	0.4	1.8
EGF-PL8	0.0	1.3	0.6	2.7	1.2	1.6	1.4	1.5	1.7	1.5	1.8
EGF-PL9	2.7	0.4	1.1	0.5	1.1	2.6	1.4	1.5	0.8	1.7	1.2

Verde = “anomalia fraca” (1,5-2,0 x background); Amarelo = “anomalia média” (2-3 x background); Laranja = “anomalia forte” (3-4 x background); Vermelho = “anomalia muito forte” (>4 x background).

Para os ramos da espécie *Eucalyptus globulus* é possível individualizar a primeira secção do perfil como tendo uma anomalia muito forte em Au e Pb (ponto 2) e anomalia média a forte em As, Au e Zn(ponto 1, 2 e 3). A parte final do perfil caracteriza-se por uma anomalia muito forte no ponto 9 para Sb, Pb e Cd (tabela 5.52). Também o ponto 8 evidencia teores anómalos de Pb e Au. Estas anomalias são coincidentes em grande parte com as anomalias verificadas nos solos.

Tabela 5.52 - Representação dos pontos anómalos dos ramos da espécie *Eucalyptus globulus* no perfil PL

Ponto	As	Sb	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
EGR-PL1	3.9	0.9	0.5	1.4	1.3	0.9	1.3	0.2	0.9	0.9	1.2
EGR-PL2	1.4	0.5	1.9	4.8	1.6	5.1	2.5	0.7	1.1	1.2	0.4
EGR-PL3	2.0	1.5	1.2	3.8	1.2	0.1	0.8	0.9	1.6		0.7
EGR-PL4	3.6	1.3	0.7	0.4	1.4	0.1	1.2	1.2	0.6	2.4	1.2
EGR-PL5	1.8	1.2	0.6	1.2	0.6	0.2	1.2	1.5	2.8	0.6	0.9
EGR-PL6	0.9	1.0	1.3	0.5	1.0	2.0	1.2	1.9	1.7	2.9	1.5
EGR-PL7	0.4	1.0	1.8	0.4	0.7	2.6	0.7	1.4			1.8
EGR-PL8	0.4	1.1	1.4	2.8	0.9	4.1	1.5	1.2	0.6	1.6	1.9
EGR-PL9	0.1	5.5	1.4	0.3	1.2	7.7	1.0	1.6	1.2	3.1	14.9

Verde = “anomalia fraca” (1,5-2,0 x background); Amarelo = “anomalia média” (2-3 x background); Laranja = “anomalia forte” (3-4 x background); Vermelho = “anomalia muito forte” (>4 x background).

As discrepâncias observadas entre a localização das anomalias utilizando as folhas desta espécie e utilizando os seus ramos podem estar relacionadas com funções fisiológicas intrínsecas à própria espécie ou a cada órgão em particular, com a

translocação dos elementos nos diversos tecidos, ou mobilização ou concentração dos mesmos nas paredes celulares (Pratas, 1996).

5.3.2.4. Solos e plantas terrestres perfil PV e MR

Na tabela 5.53 encontram-se representados os pontos considerados anómalos para o perfil do Vieiro (PV) e mina Romana (MR).

O solo da mina Romana (MR) apresenta anomalias muito fortes em As, Sn e Co e fortes em Cu e Zn. Esta mina foi alvo de exploração no tempo dos romanos com o objectivo de explorar essencialmente ouro. A recolha deste solo foi feita provavelmente directamente sobre uma antiga escombreira. A quantidade de ouro bem como de prata que iria ser depositada na escombreira seria bastante reduzida, sendo apenas depositado o estéril que seria provavelmente uma mistura de quartzo, arsenopirite, calcopirite, blenda e cassiterite justificando assim a presença/ausência de anomalias neste solo.

A parte final do perfil PV apresenta anomalias bastante fortes em Sb, Ag e Au, nomeadamente o ponto PV7, com valores de Sb, Ag e Au bastante acima do background. O ponto PV4 também apresenta uma anomalia muito forte em Au. Estas duas zonas do perfil deverão ser cortadas pelos filões mineralizados em Ag-Au do sistema filoniano, já conhecido, do Vieiro. Podemos certamente falar de uma mineralização do tipo Sb-Ag-Au. Pequenas anomalias de As ocorrem também na parte inicial do perfil nomeadamente nos pontos PV1 e PV2.

Tabela 5.53 – Representação dos pontos anómalos para os solos do perfil PV e MR (- não calculado)

Ponto	As	Sb	Ag	Au	Sn	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
PV1	2.5	1.5	1.9	1.2	-	1.0	1.1	0.9	1.0	0.8	0.4	1.0
PV2	2.4	3.9	1.2	0.5	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.1	1.0
PV3	1.3	1.6	1.7	1.2	1.2	1.1	1.2	1.1	1.0	1.0	1.4	0.9
PV4	1.3	0.4	0.8	7.1	1.6	1.0	1.2	1.6	1.0	1.4	1.9	1.3
PV5	1.1	0.5	1.8	1.7	-	1.0	1.1	1.1	1.0	0.9	1.5	1.5
PV6	0.1	0.9	0.9	2.0	1.1	1.0	1.0	1.2	1.0	1.0	0.7	1.2
PV7	0.5	102.5	16.0	4.5	0.1	0.9	0.7	0.9	1.0	1.2	1.9	1.0
PV8	0.9	11.5	1.6	1.6	-	1.3	0.8	0.9	1.2	1.3	0.9	1.0
PV9	1.7	10.3	0.8	0.6	-	1.0	1.1	1.4	1.0	0.8	3.3	1.2
MR	58.9	1.2	1.2	0.2	8.0	3.7	1.6	3.5	1.0	1.8	14.9	1.2

Verde = “anomalia fraca” (1,5-2,0 x background); Amarelo = “anomalia média” (2-3 x background); Laranja = “anomalia forte” (3-4 x background); Vermelho = “anomalia muito forte” (>4 x background).

Capítulo 5 – Resultados e discussão

Na espécie *Hyacinthoides vicentina* a relação entre o teor máximo e o teor do fundo biogeoquímico, revelou bons resultados na bioindicação de Ag e Au. Um dos problemas desta espécie é a sua fraca representatividade na área em estudo.

Revela anomalias muito fortes no ponto PV2 para As, Ag e Pb, no ponto PV7 para Ag e Au e no ponto PV1 para Pb (tabela 5.54). Estas anomalias são em parte coincidentes com algumas anomalias verificadas nos solos.

Estudos efectuados por Pratas, 1996, concluíram que a espécie *Lithodora prostrata* apresenta-se como uma boa indicadora biogeoquímica para Pb, Sb e Zn, no entanto no presente trabalho esta parece ter um CAB mais elevado para Au, Co e Pb. Apresenta anomalias médias a fortes em As, coincidindo com os pontos anómalos dos solos. A planta no ponto MR apresenta uma anomalia muito forte em Au e Co e uma anomalia média a forte em Sb, Zn e As (tabela 5.55)

Tabela 5.54- Representação dos pontos anómalos da espécie *Hyacinthoides vicentina* no perfil PV.

Ponto	As	Sb	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
HV-PV1	2.1	0.4	2.0	1.3	1.1	4.4	1.3	1.1	0.9	0.9	0.9
HV-PV2	7.6	1.8	10.6	2.8	1.4	5.4	1.2	1.9	2.7		1.0
HV-PV5	0.3	0.8	2.5	1.1	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.6	1.1
HV-PV6	1.3	1.1	0.3	1.0	1.0	1.3	1.0	1.1	1.0		0.9
HV-PV7		1.4	12.3	7.0	1.3	1.4	1.1	3.8	1.9	2.8	2.9
HV-PV8	0.7	1.8	0.1	0.5	1.2	0.7	1.0	0.8	1.1	1.5	1.0
HV-PV9	0.7	1.2	0.2	1.1	1.0	0.8	1.4	1.3	1.1	2.6	1.1

Verde = “anomalia fraca” (1,5-2,0 x background); Amarelo = “anomalia média” (2-3 x background); Laranja = “anomalia forte” (3-4 x background); Vermelho = “anomalia muito forte” (>4 x background).

Tabela 5.55 - Representação dos pontos anómalos da espécie *Lithodora prostrata* no perfil PV e MR.

Ponto	As	Sb	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cd
LP-PV1	3.8	1.0	1.2	1.1	1.0	2.4	1.0	0.9	0.7	1.7	0.8
LP-PV2	3.7	1.9	0.6	0.5	1.3	1.0	1.2	1.1	0.8	1.0	0.8
LP-PV3	0.7	0.8	2.8	1.4	1.1	1.6	1.1	0.9	1.1	1.5	1.0
LP-PV4	1.2	1.4	3.6	1.6	1.1	0.9	0.9	1.0	1.3	0.4	1.1
LP-PV5	0.3	1.0	0.3	0.3	1.3	0.2	0.8	0.7	0.8	0.0	1.1
LP-PV6	0.5	2.2	0.7	3.3	1.0	6.8	2.0	1.2	1.0	2.2	1.4
LP-PV7	0.0	1.3	1.9	0.8	0.8	1.1	0.8	1.2	1.0	1.0	1.1
LP-PV9	2.3	0.5	2.0	1.3	0.9	0.7	1.1	1.3	1.3	1.0	1.0
LP-MR1	3.7	2.2	0.3	5.2	1.4	0.1	2.2	1.3	1.6	5.5	1.5

Verde = “anomalia fraca” (1,5-2,0 x background); Amarelo = “anomalia média” (2-3 x background); Laranja = “anomalia forte” (3-4 x background); Vermelho = “anomalia muito forte” (>4 x background).

CAPÍTULO 6 – Conclusões e recomendações

Os sedimentos de corrente das linhas de água da região em estudo apresentam anomalias bem nítidas em determinados elementos. Essas anomalias podem dever-se a mineralizações já conhecidas na região ou então a possíveis mineralizações não conhecidas. Da análise de sedimentos foi possível distinguir 3 áreas anómalas principais: Ponto 10 – Barroca de Bolções com possíveis mineralizações de Au-Ag-W, Ponto 5 – Vieiro mineralizada em Au e Ponto 14 – Ribeira de Piães mineralizada em W, sendo possível definir as sub-bacias onde se encontram as mineralizações.

De todas as espécies aquáticas amostradas apenas a *Oenanthe crocata* foi recolhida em todos os pontos de amostragem pelo que apenas ela nos pode dar uma informação mais precisa das anomalias de toda a região em estudo.

As anomalias dos sedimentos de corrente não são coincidentes com as anomalias desta espécie, pelo que se pode concluir que devem existir factores tanto de concentração gravítica dos minerais nos sedimentos de corrente, como a estabilidade dos minerais ou dificuldade de biodisponibilização dos elementos que condicionam essa diferença. Os pontos anómalos para esta espécie são: Ponto 4 – Barroco da Cerdeira anómalo em Sb-Ag-Au coincidente com uma possível mineralização aurífera no Cabeço do Vieiro. Ponto 12 – Ribeira de Piães anómala em W, Pontos 14 e 7 anómalos em Au e ponto 11 anómalo em Ag.

Os dados geoquímicos dos solos do perfil PL permitem evidenciar algumas anomalias na dependência natural de mineralizações. Uma primeira zona anómala localizada na parte inicial do perfil com uma mineralização estanífera com alguma prata e chumbo associada. Na parte final do perfil anomalias em Au e Sb com valores deste último cerca de 48 vezes acima do background.

O perfil PV corta áreas anómalas em Sb e Au nos pontos 4 e 7 o que nos poderá indicar filões com mineralização em Sb e Au com alguma Ag associada. A mina Romana (MR) apresentou teores muito elevados em As, Sn, Co, Cu e Zn.

A estrutura filoniana possivelmente mais interessante sob o ponto de vista económico é a brecha de Vale Maceira (BVM) com teores de 4,2 g/t de Ag e 7,4 g/t de Au. O filão da mina Romana (FMR) foi aquele que apresentou teores mais elevados em Sn, Cu, Pb, Zn, Cr, Co e Cd.

Relativamente à capacidade de utilização das espécies aquáticas analisadas quanto à sua utilização em futuras campanhas de prospecção biogeoquímica verifica-se que em função dos elementos químicos analisados e por ordem decrescente de

Capítulo 6 – Conclusões e recomendações

importância, as espécies mais indicadas são: para o As - *Oenanthe crocata* e *Eurhynchium praelongum*; para Sb - *Thamnobryum alopercu*; para Ag - *Calitriche stagnalis* e *Apium nodiflorum*; para Au - *Apium nodiflorum* e *Chiloscyphos polyanthos*; para W - *Eurhynchium praelongum* e *Fontinalis antipyretica*; para Cu - *Apium nodiflorum*; para Pb - *Oenanthe crocata*; para o Zn - *Fontinalis antipyretica*.

Para as espécies terrestres verifica-se, em função dos elementos químicos analisados e por ordem decrescente de importância, que as espécies mais indicadas são: para o As - *Eucalyptus globulus* (folhas) e *Agrostis curtisii*; para o Sb - *Eucalyptus globulus* (ramos); para a Ag - *Agrostis curtisii* e *Hyacinthoides vicentina*; para Au - *Hyacinthoides vicentina* e *Lithodora prostrata*; para Pb - *Cistus psilosepalus* e *Quercus robur*; para Zn - *Quercus robur*.

Os resultados obtidos no presente trabalho parecem indicar a presença de anomalias importantes nesta bacia, justificando uma análise futura mais pormenorizada com o intuito de revelar tais mineralizações.

As técnicas utilizadas também se mostram motivadoras na sua continuidade de aplicação. Em futuros trabalhos deverá ser usada uma malha de amostragem menor, ou abrangendo uma área maior de modo a obter uma maior número de amostras por espécie, dando maior atenção aos briófitos aquáticos pois eles evidenciam serem os mais importantes indicadores de mineralizações.

Bibliografia

- Abreu, M.M.; Tavares, M.T. & Batista, M.J. (2008). *Potential use of Erica andevalensis and Erica australis in phytoremediation of sulphide mine environments: São Domingos, Portugal. Journal of Geochemical Exploration*, 96: 210-222.
- Anderson, C., Moreno, F., Geurts, F., Wreesmann, C., Ghomshei, M., Meech, J. (2005). *A comparative analysis of gold-rich plant material using various analytical methods. Microchem. J.*, 81, 81-85
- Andrade, R.S.N. (1985). *Fotointerpretação geológica da região de Góis*. NULL. 9 pp.
- Azevedo, M.R. & Valle Aguado, B. (2006). *Origem e instalação de granitóides variscos na Zona Centro-Ibérica*. In: DIAS, R.; Araújo, A.; Terrinha, P. e Kullberg, J.C. (eds.). *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*, Universidade de Évora, Évora, pp. 107-121.
- Brooks, R. (1983). *Biological methods of prospecting for minerals*. John Wiley & Sons. New York. 322p.
- Carta militar de Portugal na escala 1:25.000 editada pelo Instituto Geográfico do Exército, Folha: 243 (Góis), Lisboa
- Carvalho, A.D. (1979). *Breves referências sobre jazigos auríferos portugueses*. Boletim de Minas, vol. 16, pp. 139-150
- Carvalho, A.D. (1986). *Mina de Ouro da Escádia Grande. Apontamento Monográfico de Pesquisa*. Serviço de Fomento Mineiro.
- Cerveira, A. (1947). *Notas sobre uma mina de ouro da serra da Louzã*. Boletim Sociedade Geológica de Portugal, vol.VI, tom.3, pp.245-254.
- Cerveira, A. (1952). *Relações entre os jazigos hipogénicos portugueses de ouro e tungsténio*. Boletim da Sociedade Geológica de Portugal, vol. X (1,2 e 3).
- Clesceri, L.; Greenberg, A. & Eaton, A. (1998). *Analytical Methods for the Examination of Water and Wastewater*.
- Cunha, Pedro P. (1999). *Unidades litostratigráficas do Terciário na região de Miranda do Corvo-Viseu (Bacia do Mondego - Portugal)*. Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro, tomo 86, pp. 143-196.
- Dallmeyer, R. D. e Martínez Garcia, E. (1990). *Introduction to the Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. In Dallmeyer, R. D. e Martínez Garcia (1990). *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 3-4.
- Daveau, S. (1976). *Le Bassin de Lousã – Évolution Sédimentologique, tectonique et morphologique*. Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. de Coimbra, vol.82, pp.95-115.
- Dias, R. e Ribeiro, A. (1995). *The Ibero-Armorican Arc: a collisional effect against an irregular continent?*. Tectonophysics, vol. 246, pp. 113-128
- Direcção Geral de Geologia e Minas (1986). *Projecto 2.4.1 - Valorização da região de Góis. Relatório dos trabalhos desenvolvidos (1-1-84 / 30-06-86)*. DGGM. Lisboa.
- Direcção Geral de Geologia e Minas (1987). *Programa 2.4 - Avaliação de jazigos minerais. Projecto 2.4.1. - Reconhecimento e avaliação de recursos minerais. Valorização da região de Góis. Relatório da actividade desenvolvida durante o 1º semestre de 1987*. DGGM. Lisboa.
- Direcção Geral de Geologia e Minas (1988). *Programa 2.4 - Avaliação de jazigos minerais. Projecto 2.4.1 - Reconhecimento e avaliação de recursos minerais (região de Góis). Plano de actividades para 1988. Zonas de Vale Moreiro - Casal Loureiro, Vale Pião, Senhora da Guia, Rabadão*. DGGM. Lisboa.
- Dunn, C.E (2007). *Handbook of exploration and environmental geochemistry, Vol 9: Biogeochemistry in mineral exploration*. Elsevier, 462 p.
- Farias, P.; Gallastegui, G.; Lodeiro, F.; Marquinez, J.; Parra, L.; Catalan, J.; Macia, J. e Fernandez, L. (1987). *Aportaciones al conocimiento de la litoestratigrafía y estructura de Galicia Central (IX Reunión de Geología do Oeste Peninsular)*. Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências do Porto, vol.1, pp. 411-431.
- Favas, P.; Pratas, J.; Gomes, E. (2008). *Seleção de espécies vegetais para utilização potencial na bioindicação de contaminações em áreas mineiras estano-volframíticas*. Trabalho apresentado em V Seminário de Recursos Geológicos e Ambiente e

- Ordenamento do Território, In Actas do V Seminário de Recursos Geológicos e Ambiente e Ordenamento do Território, Vila Real.
- Favas, P.J.C. (2008). *Biogeoquímica em áreas mineiras estano-volfrâmicas*. Tese de Doutoramento. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 805 p.
- Favas, P.J.C.; Pratas, J.A.M.S. & Conde, L.E.N. (2002). *Bioacumulação de metais pesados em plantas colonizadoras de escombrelas (Mina de Vale das Gatas - Vila Real - Norte de Portugal)*. In: R. Prego, A. Duarte, A. Panteleitchouk & T.R. Santos (eds.). *Estudos sobre Contaminação Ambiental na Península Ibérica* (pp. 259-272). Instituto Piaget. Lisboa. 302 p.
- Ferreira, M.P.P. (1979). *Jazigos uraníferos portugueses. Jazigos de Au-Ag e sulfuretos do Norte de Portugal*. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Livro Guia de excursão nº5 do I Congresso Hispano-Luso-Americano de Geologia Económica, 81 pp
- Freitas, H.; Prasad, M. & Pratas, J. (2004). *Analysis of serpentophytes from north-east of Portugal for trace metal accumulation – relevance to the management of mine environment*. *Chemosphere*, 54: 1625-1642.
- Iglésias, M. & Arribas, A. (1981). *Presencia de niveles calco-silicatados com scheelite intercalados en la formación «Ollo de Sapo» en la zona de Villadepera (Zamora)*. VII Reunion de Geología del Oeste Peninsular. Madrid.
- Inverno, C.M.C. (2002). *Primary gold deposits in Portugal – “mesothermal” or epithermal?*. Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro, tomo. 89, pp. 53-58.
- Inverno, C.M.C. (2011). *Comparação entre os jazigos de ouro do tipo orogénico (ou mesotermiais) e os jazigos de ouro associados a intrusão. Algumas extrapolações para Portugal*. Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe, vol. 36, pp. 99-156.
- Julivert, M., Fonteboté, J., Ribeiro, A. e Conde, L. (1972). *Memória explicativa del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares à escala 1:1 000 000*. Instituto Geológico y Minero de España.
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. (2001). *Trace elements in soils and plants*, third edition. CRC Press. Boca Raton, USA. 413 p.
- Kovalevskii, A.(1979). *Biogeochemical Exploration for Mineral Deposits*. Amerind Publishing Co. New Delhi. 136 p.
- Lotze, F. (1945). *Observations respect a la division de los variscides de la Meseta Ibérica*. *Publ. Estrag. Geol. España*. 5: 149-166.
- Markert, B. (1993). *Instrumental analysis of plants*. In: B. MARKERT (ed.). *Plants as biomonitor: indicators for heavy metals in the terrestrial environment* (65-103 pp.). Weinheim; New York; Basel; Cambridge. VCH. 644 p.
- Martínez Catalán, J. R. (1990). *West Asturian-Leonese Zone: Introduction*. In Dallmeyer, R. D. e Martínez Garcia (1990). *Pre-Mesozoic Geology of Iberia* , Springer-Verlag, pp. 91-102, Berlin.
- Martínez Catalán, J. R., Martínez Poyatos, D. e Bea, F. (2004). *Zona Centroibérica* (Coords.). In: VERA, J.A. (ed.). *Geología de España*, SGE-IGEM, Madrid, pp. 68-133.
- Morais, I.; Campos, J.S.; Pratas, J.; Pita, F. (2012). *Estudo preliminar de fitomineração utilizando Alyssum Serpyllifolium desf. Subsp. Lusitanucum (Dudley & P. Silva) em solos serpentiniticos dos maciços de Bragança e de Morais (Nordeste de Portugal)*. In Para Desenvolver a Terra. Memórias e Notícias de Geociências no Espaço Lusófono, 341-350. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Nagaraju, A. & Karimulla, S. (2002). *Accumulation of elements in plants and soils in and around Nellore mica belt, Andhra Pradesh, India – a biogeochemical study*. *Environmental Geology*, 41: 852-860.
- Neiva, J.M.C. & Chorot, J.L. (1945). *Alguns jazigos de ouro do Alto Minho*. Estudos, Notas e Trabalhos, vol. I (3 e 4).
- Neiva, J.M.C. (1944). *Jazigos portugueses de cassiterite e de volframite*. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, tomo 25, 251 pp.
- Neiva, J.M.C. (1955). *Geoquímica Aplicada*. Anuário da Universidade de Coimbra.
- Noronha, F. & Ramos, J.M.F. (1993). *Mineralizações auríferas primárias no norte de Portugal. Algumas reflexões*. Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe, vol. 18, pp. 133-146.
- Noronha, F. (1988). *Mineralizações*. Geonovas, vol. 10, pp. 37-54.
- Noronha, F. (2006). *Especialização metalogenética das rochas graníticas da ZCI*. In: Mirão, J. & Balbino, A. (Coord.). Livro de Resumos do VII Congresso Nacional de Geologia, Estremoz, pp.1239-1241.

- Oliveira, J.M.S. (1990). *Geological, mineralogical and lithochemical studies in the Gois and Vila Pouca de Aguiar – Vila Real region, Portugal*. Estudos Notas e Trabalhos. DGGM, tomo 32, pp. 65-75.
- Oliveira, J.M.S. (1991). *The role of lithochemistry in the delineation of Au and Sn-W mineralization in schist terrains of the Gois region (Central Portugal)*. Estudos Notas e Trabalhos. DGGM, tomo 33, pp. 9-19.
- Oliveira, M.A. (1969). *Geological report on Couto Mineiro de Góis*. Relatório interno. Serviço de Fomento Mineiro. 14 pp.
- Parra, A. (1984). *Prospecção aluvionar estratégica na carta nº243, Góis, dos Serviços Cartográficos do Exército*. Relatório Interno. Serviço de Fomento Mineiro. 40 pp.
- Parra, A. (1985). *Resultados da aplicação da prospecção mineralométrica táctica em área da carta de Góis mineralizada em cassiterite, volframite, scheelite e ouro*. Relatório Interno. Serviço de Fomento Mineiro. 12 pp.
- Parra, A. (1986). *Prospecção geoquímica do Sn, W, As, Cu, Pb, Zn, Ag e Sb na carta nº 243, Góis, dos Serviços Cartográficos do Exército*. Relatório Interno. Serviço de Fomento Mineiro.
- Parra, A. (1988). *Jazida estano-volfrâmica de Vale Pião. Aspectos geológicos e cálculo preliminar de reservas*. Direcção Geral de Geologia e Minas. Relatório Interno.
- Parra, A. (1993). *Resultados da aplicação do método mineralométrico com base na amostragem de solos superficiais em rede detalhada à descoberta de jazidas primárias de cassiterite, volframite (scheelite) e ouro na região de Góis*. Estudos Notas e Trabalhos. IGM, tomo 35, pp. 21-23.
- Parra, A. e Filipe, A.B. (1995). *Contributo de curvas de teores, de possança, de conteúdos metálicos e de valores para o estudo geológico-económico da jazida estano-volfrâmica de Vale Pião*. Estudos Notas e Trabalhos, IGM, tomo 37, pp. 15-23
- Pereira, E.; Ribeiro, A. & Meireles, C. (1993). *Cisalhamentos hercínicos e controlo das mineralizações de Sn-W, Au e U na Zona Centro-Ibérica, em Portugal*. Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe, vol. 18, pp. 89-119.
- 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*. Cuadernos do Laboratório Xeolóxico de Laxe, vol 18, pp. 89-119. .
- Pratas, J.; Favas, P. J. C; Conde, L.E.N. (2012). *Espécies vegetais metalotolerantes e sua potencial utilização na prospeção biogeoquímica e recuperação ambiental (minas de Fragas do Cavalo, Oleiros, Portugal central)*. In Para Desenvolver a Terra. Memórias e Notícias de Geociências no Espaço Lusófono, 301 - 310. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Pratas, J.A.M.S. (1987). *Métodos biológicos de prospecção de jazigos minerais*. Coimbra: Universidade de Coimbra
- Pratas, J.A.M.S. (1996). *Aplicações de Prospecção Biogeoquímica. Selecção de espécies bioindicadoras em algumas áreas mineiras de Portugal*. Tese de doutoramento. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra. Coimbra. 1064 p.
- Pratas, J. A. M. S. (1998). "*Estudos de Poluição da Área Envolvente das Minas das Sarzedas (Castelo Branco)*", Trabalho apresentado em XIII Encontro Nacional do Colégio de Engenharia de Minas, In Livro de Actas do XIII Encontro Nacional do Colégio de Engenharia de Minas, Revista da Ordem dos Engenheiros, Funchal.
- Pratas, J.A.M.S. (2001). *Variação temporal da acumulação de alguns elementos vestigiais no Pinus Pinaster Aiton em solos contaminados com W, As e Sb. Um guia para campanhas de prospecção biogeoquímica de uma das mais importantes espécies metalotolerantes do clima mediterrânico*. Actas VI Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa e XII Semana de Geoquímica (pp. 510-513). Faro: Universidade do Algarve.
- Quin, B.F. e Brooks, R.R. (1972). *The rapid determination of tungsten in soils, rocks and vegetation*, Anal. Chim. Acta, 58, 301-309.
- Reimann, C. & Caritat, P. (1998). *Chemical elements in the environment: factsheets for the geochemist and environmental scientist*. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York. 398 p.
- Ribeiro, A. & Pereira, E. (1981). *Controlos paleogeográficos, petrológicos e estruturais na génese dos jazigos portugueses de estanho e volfrâmio*. Geonovas, vol. 1 (3), pp. 23-31.
- Ribeiro, A. (2006). *A Evolução Geodinâmica de Portugal*. In: Dias, R.; Araújo, A.; Terrinha, P. e Kullberg, J.C. (eds.). *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*, Universidade de Évora, pp. 1-27, Évora.

- Ribeiro, A., Antunes, M. T., Ferreira, M. P., Rocha, R. P., Soares, A. F., Zbyszewski, G., Moitinho de Almeida, J.H., Carvalho, D. e Monteiro, J. H. (1979). *Introduction a la Géologie Générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa
- Ribeiro, A., Pereira, E., Dias, R., (1990). *Structure of the Northwest of the Iberian Peninsula*. In Dallmeyer, R. D. e Martínez Garcia (1990). *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 220-236
- Romão, R. (1994). *Litoestratigrafia e tectónica do Grupo das Beiras (Complexo Xisto-Grauváquico) entre o rio Erges e a Serra do Moradal*. Boletín Geológico y Minero Espanha, 105 (6), pp.521-530.
- Schermerhorn, L. J. G. (1956). *Igneous, metamorphic and ore geology of the Castro Daire – São Pedro do Sul – Sátão region (northern Portugal)*. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, tomo 37, 617 pp.
- Sequeira, A. J. D. & Sousa, M. B. (1991). *O Grupo das Beiras (CXG) da região de Coimbra-Lousã*. Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. de Coimbra, vol.112, pp.1-13.
- Sequeira, A.J.D.; Cunha, Pedro P.; Sousa, M.B. (1997). *A reactivação de falhas, no intenso contexto compressivo desde meados do Tortoniano, na região de Espinhal-Coja-Caramulo (Portugal Central)*. Comunicações do Instituto Geologico e Mineiro, tomo 83, pp. 95-126.
- Serrano, C.M. & Fonseca, E.C. (1989). *A Lithodora prostrata como indicador biogeoquímico de anomalias de chumbo*. *Geociências*, 4(2): 47-55.
- Silva, A.R.P. (1968). *A flora e a vegetação das áreas ultrabásicas do Noroeste Transmontano*. *Agronomia Lusitana*, 30(3/4): 175-364.
- Silva, A.R.P. (1981). *Mais algumas plantas serpentinícolas do Nordeste Transmontano*. *Bol. Soc. Brot.*, 54: 239-247.
- Soares, A.F., Reis, R.P. & Daveau, S. (1983). *Tentativa de correlação das unidades litoestratigráficas da região do Baixo Mondego com as das Bacias de Lousã e Arganil*. Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. de Coimbra, vol.96, pp.3-19.
- Sousa, M.B. (1982). *Litoestratigrafia e Estrutura do "Complexo Xisto-Grauváquico Ante-Ordovícico" - Grupo do Douro (Nordeste de Portugal)*. Tese de doutoramento. Universidade de Coimbra. Coimbra. 223 p.
- Sousa, M.B. e Sequeira, A. J.D. (1993). *O limite Precâmbrico-Câmbrico na Zona Centro Ibérica em Portugal*. Comunicações da XII Reunião de Geologia do Oeste Peninsular, Univ Evora VOL. 1, pp. 17-18.
- Thadeu, D. (1951). *Geologia e jazigos de chumbo e zinco da Beira Baixa*. Boletim da sociedade Geológica de Portugal, vol. 9, faz. 1-2.
- Thadeu, D. (1965). *Notícia explicativa da carta mineira de Portugal na escala 1:500000*, Serviços Geológicos de Portugal, 45 pp.
- Thadeu, D. (1977). *Hercynian paragenetic units of the Portuguese part of the Hesperic massif*. Boletim da Sociedade Geológica de Portugal, tomo 20(3), pp. 247-276.
- Vairinho, M.M. (1984a). *Relatório do Estudo Petrográfico de 6 amostras de Rochas da carta 243 (Projecto de Góis)*. Direcção Geral de Geologia e Minas. Relatório Interno. 4 pp.
- Vairinho, M.M. (1984b). *Relatório do Estudo Minerográfico de 3 amostras da mina de Vale Pião (Projecto de Góis)*. Direcção Geral de Geologia e Minas. Relatório Interno. 4 pp.
- Van Loon, L.C., Barefoot, R.R. (1988). *Analytical methods for geochemical exploration*. Academic press inc. Toronto, 344 pp.
- Viegas, L.F. & Martins, L.P. (1992). *Notas sobre a prospecção de ouro em Portugal*. Estudos, Notas e Trabalhos, DGGM, tomo 34, pp. 95-106.

Anexos

Anexo 4.1 – Listagem dos nomes científicos das espécies aquáticas amostradas

<i>Apium nodiflorum</i>	<i>Dumortiera hirsuta</i>	<i>Oenanthe crocata</i>
<i>Brachythecium rivulare</i>	<i>Eurhynchium praelongum</i>	<i>Platyhypnidium riparioides</i>
<i>Calitriche stagnalis</i>	<i>Fontinalis antipyretica</i>	<i>Thamnobryum alopecurum</i>
<i>Chiloscyphus polyanthos</i>	<i>Lemna minor</i>	
<i>Conocephala conica</i>	<i>Lunularia cruciata</i>	

Anexo 4.2 – Listagem dos nomes científicos das espécies terrestres amostradas

<i>Acacia dealbata</i>	<i>Erica lusitanica</i>	<i>Pinus pinaster</i>
<i>Agrostis curtisii</i>	<i>Erica scoparia</i>	<i>Pteridium aquilinum</i>
<i>Andryala integrifolia</i>	<i>Erica umbellata</i>	<i>Pterospartum tridentatum</i>
<i>Arbutus unedo</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Quercus robur</i>
<i>Arenaria montana</i>	<i>Genista falcata</i>	<i>Rubus ulmifolius</i>
<i>Betula celtiberica</i>	<i>Genista triacanthos</i>	<i>Salix atrocinerea</i>
<i>Calluna vulgaris</i>	<i>Halimium alyssoides</i>	<i>Sanguisorba minor</i>
<i>Cistus psilosepalus</i>	<i>Helichrysum stoechas</i>	<i>Thapsia villosa</i>
<i>Digitalis purpurea</i>	<i>Hyacinthoides vicentina</i>	<i>Ulex europaeus</i>
<i>Erica arborea</i>	<i>Lithodora prostrata</i>	<i>Xolantha tuberaria</i>
<i>Erica australis</i>	<i>Lonicera periclymenum</i>	

Anexo 5.1 – Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson dos dados correspondentes às amostras de solos e Pinus pinaster do perfil PL (n = 9; os coeficientes de correlação linear significativos para $p < 0,05$ encontram-se a negrito).

		As		Sb		Ag		Au		Cu		Pb		Zn		Cr		Ni		Co		Cd		
		veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	
As	veg	1,00																						
	sol	-0,55	1,00																					
Sb	veg	0,32	-0,23	1,00																				
	sol	0,36	-0,47	-0,38	1,00																			
Ag	veg	0,53	-0,33	0,95	-0,20	1,00																		
	sol	-0,03	0,17	-0,01	0,03	0,12	1,00																	
Au	veg	0,71	-0,19	0,41	-0,25	0,53	0,13	1,00																
	sol	0,03	-0,21	0,59	-0,24	0,58	0,16	0,14	1,00															
Cu	veg	0,05	-0,65	-0,02	0,67	0,01	-0,28	-0,39	0,27	1,00														
	sol	-0,42	0,86	-0,25	-0,59	-0,34	-0,11	0,05	-0,28	-0,69	1,00													
Pb	veg	0,07	-0,35	0,52	-0,32	0,52	-0,16	0,14	0,50	0,08	-0,08	1,00												
	sol	0,44	0,12	-0,34	0,00	-0,23	-0,15	0,43	-0,69	-0,57	0,38	-0,17	1,00											
Zn	veg	0,73	-0,41	0,22	0,55	0,44	0,05	0,39	0,40	0,42	-0,41	0,09	-0,05	1,00										
	sol	0,14	0,14	0,43	-0,71	0,38	-0,22	0,39	0,38	-0,52	0,36	0,59	0,24	-0,04	1,00									
Cr	veg	0,59	-0,57	0,85	0,05	0,92	0,17	0,48	0,64	0,28	-0,63	0,38	-0,38	0,57	0,14	1,00								
	sol	-0,67	0,57	0,12	-0,45	-0,06	-0,24	-0,55	0,14	-0,16	0,53	0,37	-0,27	-0,41	0,35	-0,31	1,00							
Ni	veg	-0,12	-0,11	-0,40	0,31	-0,49	-0,32	-0,35	-0,08	0,40	-0,27	-0,64	-0,18	-0,02	-0,36	-0,23	-0,27	1,00						
	sol	-0,29	0,46	-0,20	-0,73	-0,31	0,07	0,17	-0,13	-0,77	0,55	-0,10	0,38	-0,61	0,54	-0,45	0,11	0,06	1,00					
Co	veg	0,68	-0,31	0,70	-0,32	0,77	-0,07	0,88	0,19	-0,27	-0,05	0,42	0,29	0,31	0,47	0,65	-0,32	-0,51	-0,01	1,00				
	sol	-0,10	-0,02	-0,04	-0,02	0,09	0,83	0,01	0,04	-0,26	-0,13	0,23	-0,03	-0,16	-0,07	0,07	-0,07	-0,56	0,10	-0,04	1,00			
Cd	veg	0,63	-0,58	0,85	0,04	0,93	0,09	0,47	0,66	0,26	-0,60	0,51	-0,30	0,61	0,29	0,98	-0,23	-0,28	-0,42	0,66	0,05	1,00		
	sol	0,38	-0,46	0,40	0,06	0,47	-0,21	0,51	0,53	0,44	-0,20	0,42	-0,26	0,60	0,07	0,55	-0,25	-0,17	-0,44	0,54	-0,26	0,54	1,00	

Anexo 5.2 – Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson dos dados correspondentes às amostras de solos e ramos de *Eucalyptus globulos* do perfil PL (n = 9; os coeficientes de correlação linear significativos para p < 0,05 encontram-se a negrito).

		As		Sb		Ag		Au		Cu		Pb		Zn		Cr		Ni		Co		Cd	
		veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol
As	veg	1,00																					
	sol	0,73	1,00																				
Sb	veg	-0,38	-0,39	1,00																			
	sol	-0,42	-0,47	0,98	1,00																		
Ag	veg	-0,76	-0,37	0,08	0,17	1,00																	
	sol	0,28	0,17	0,07	0,03	-0,05	1,00																
Au	veg	-0,02	0,32	-0,36	-0,31	0,34	-0,08	1,00															
	sol	-0,38	-0,21	-0,15	-0,24	0,22	0,16	-0,09	1,00														
Cu	veg	0,43	0,46	0,02	0,08	0,04	0,39	0,45	-0,67	1,00													
	sol	0,69	0,86	-0,57	-0,59	-0,31	-0,11	0,53	-0,28	0,38	1,00												
Pb	veg	-0,69	-0,69	0,63	0,74	0,65	-0,01	0,09	-0,13	0,18	-0,63	1,00											
	sol	0,31	0,12	-0,14	0,00	0,08	-0,15	0,44	-0,69	0,69	0,38	0,29	1,00										
Zn	veg	0,04	-0,12	-0,30	-0,17	0,28	0,17	0,63	-0,39	0,57	0,16	0,34	0,67	1,00									
	sol	0,22	0,14	-0,73	-0,71	-0,03	-0,22	0,24	0,38	-0,20	0,36	-0,35	0,24	0,09	1,00								
Cr	veg	-0,63	-0,57	0,36	0,32	0,20	-0,03	-0,55	0,31	-0,58	-0,74	0,19	-0,74	-0,38	-0,53	1,00							
	sol	0,60	0,57	-0,33	-0,45	-0,77	-0,24	-0,20	0,14	-0,32	0,53	-0,87	-0,27	-0,58	0,35	-0,23	1,00						
Ni	veg	0,04	0,03	0,01	-0,02	-0,39	-0,46	0,05	-0,29	-0,25	0,20	-0,29	-0,19	-0,03	-0,36	0,26	0,32	1,00					
	sol	0,45	0,46	-0,79	-0,73	0,09	0,07	0,16	-0,13	0,27	0,55	-0,44	0,38	0,27	0,54	-0,43	0,11	-0,31	1,00				
Co	veg	-0,16	-0,41	0,53	0,55	-0,01	0,36	-0,42	-0,37	0,27	-0,67	0,45	-0,04	0,13	-0,67	0,49	-0,50	-0,04	-0,35	1,00			
	sol	0,46	-0,02	0,00	-0,02	-0,37	0,83	-0,32	0,04	0,21	-0,13	-0,11	-0,03	0,21	-0,07	-0,07	-0,07	-0,28	0,10	0,35	1,00		
Cd	veg	-0,46	-0,52	0,98	0,99	0,17	0,03	-0,37	-0,17	0,01	-0,65	0,74	-0,05	-0,22	-0,66	0,36	-0,44	-0,07	-0,74	0,56	-0,01	1,00	
	sol	-0,64	-0,46	0,06	0,06	0,42	-0,21	0,42	0,53	-0,46	-0,20	0,32	-0,26	0,18	0,07	0,21	-0,25	0,25	-0,44	-0,34	-0,26	0,06	1,00

Anexo 5.3 – Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson dos dados correspondentes às amostras de solos e folhas de *Eucalyptus globulos* do perfil PL (n = 9; os coeficientes de correlação linear significativos para p < 0,05 encontram-se a negrito).

		As		Sb		Ag		Au		Cu		Pb		Zn		Cr		Ni		Co		Cd		
		veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	Sol	veg	sol	
As	veg	1,00																						
	sol	0,29	1,00																					
Sb	veg	-0,37	0,35	1,00																				
	sol	-0,05	-0,47	-0,63	1,00																			
Ag	veg	0,85	0,55	-0,41	-0,06	1,00																		
	sol	-0,32	0,17	-0,19	0,03	-0,10	1,00																	
Au	veg	0,13	0,11	0,01	-0,41	0,04	0,45	1,00																
	sol	-0,49	-0,21	-0,01	-0,24	-0,24	0,16	0,18	1,00															
Cu	veg	0,32	0,48	0,06	0,05	0,27	0,13	0,48	-0,31	1,00														
	sol	0,40	0,86	0,49	-0,59	0,53	-0,11	-0,07	-0,28	0,22	1,00													
Pb	veg	0,59	-0,36	-0,54	0,55	0,43	-0,37	-0,17	-0,30	0,04	-0,17	1,00												
	sol	0,64	0,12	-0,06	0,00	0,32	-0,15	0,00	-0,69	0,29	0,38	0,38	1,00											
Zn	veg	-0,46	-0,83	-0,03	0,29	-0,56	-0,27	-0,33	0,32	-0,70	-0,61	0,27	-0,38	1,00										
	sol	0,40	0,14	0,11	-0,71	0,32	-0,22	0,38	0,38	-0,06	0,36	-0,02	0,24	-0,18	1,00									
Cr	veg	-0,75	-0,56	-0,05	0,30	-0,71	0,19	0,08	0,48	-0,20	-0,82	-0,30	-0,76	0,54	-0,44	1,00								
	sol	0,43	0,57	0,10	-0,45	0,67	-0,24	0,12	0,14	0,07	0,53	0,06	-0,27	-0,26	0,35	-0,33	1,00							
Ni	veg	-0,17	-0,16	0,48	-0,18	-0,48	0,18	0,26	-0,36	0,05	0,08	-0,04	0,46	0,14	-0,04	-0,11	-0,48	1,00						
	sol	0,24	0,46	0,28	-0,73	0,18	0,07	0,16	-0,13	-0,09	0,55	-0,54	0,38	-0,53	0,54	-0,49	0,11	0,11	1,00					
Co	veg	0,01	-0,46	-0,36	0,38	-0,06	0,05	0,28	0,00	-0,03	-0,60	0,42	-0,39	0,46	-0,37	0,50	0,14	-0,03	-0,64	1,00				
	sol	-0,04	-0,02	-0,35	-0,02	0,07	0,83	0,46	0,04	-0,15	-0,13	-0,06	-0,03	-0,05	-0,07	0,04	-0,07	0,25	0,10	0,31	1,00			
Cd	veg	-0,44	-0,32	-0,24	0,00	-0,25	0,18	0,29	0,83	-0,14	-0,59	-0,27	-0,81	0,27	0,09	0,75	0,10	-0,53	-0,27	0,33	0,05	1,00		
	sol	-0,55	-0,46	0,31	0,06	-0,53	-0,21	-0,29	0,53	-0,38	-0,20	0,10	-0,26	0,69	0,07	0,28	-0,25	0,22	-0,44	-0,07	-0,26	0,18	1,00	

Anexo 5.4 – Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson dos dados correspondentes às amostras de solos e *Pterospartum tridentatum* no perfil PV (n = 9; os coeficientes de correlação linear significativos para $p < 0,05$ encontram-se a negrito).

		As		Sb		Ag		Au		Cu		Pb		Zn		Cr		Ni		Co		Cd		
		veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	sol	veg	Sol	veg	sol	
As	veg	1,00																						
	sol	0,15	1,00																					
Sb	veg	0,23	-0,36	1,00																				
	sol	-0,33	-0,15	-0,42	1,00																			
Ag	veg	0,47	0,08	-0,15	0,02	1,00																		
	sol	-0,24	-0,13	-0,34	0,99	0,06	1,00																	
Au	veg	-0,42	-0,25	0,33	0,46	-0,12	0,50	1,00																
	sol	0,07	-0,32	-0,23	0,37	0,03	0,37	-0,06	1,00															
Cu	veg	0,26	-0,15	-0,10	-0,46	0,43	-0,49	-0,65	0,17	1,00														
	sol	0,14	0,99	-0,39	-0,17	-0,01	-0,16	-0,30	-0,34	-0,17	1,00													
Pb	veg	-0,22	-0,23	0,41	-0,33	-0,33	-0,41	-0,19	-0,29	0,25	-0,22	1,00												
	sol	0,41	0,77	0,07	-0,62	0,22	-0,59	-0,50	-0,33	0,29	0,74	0,13	1,00											
Zn	veg	0,29	0,41	0,01	-0,15	0,23	-0,15	-0,23	0,39	0,08	0,35	0,03	0,57	1,00										
	sol	0,23	0,95	-0,34	-0,23	0,10	-0,23	-0,39	-0,15	0,02	0,94	-0,09	0,84	0,61	1,00									
Cr	veg	-0,16	0,41	-0,49	0,26	0,52	0,23	-0,13	-0,04	0,37	0,34	0,05	0,31	0,21	0,44	1,00								
	sol	-0,28	-0,06	-0,29	-0,13	-0,71	-0,20	-0,24	0,04	-0,18	0,06	-0,05	-0,26	-0,35	-0,10	-0,56	1,00							
Ni	veg	-0,06	0,02	-0,47	-0,12	-0,37	-0,19	-0,56	-0,14	0,08	0,14	-0,04	-0,12	-0,46	-0,04	-0,29	0,83	1,00						
	sol	0,14	0,75	-0,70	0,05	0,08	0,05	-0,28	0,17	-0,08	0,76	-0,58	0,37	0,36	0,74	0,25	0,26	0,24	1,00					
Co	veg	0,19	0,22	-0,32	-0,45	0,03	-0,50	-0,90	-0,22	0,66	0,28	0,29	0,44	-0,13	0,28	0,23	0,27	0,65	0,12	1,00				
	sol	0,15	0,98	-0,39	-0,09	0,10	-0,09	-0,29	-0,27	-0,15	0,97	-0,15	0,76	0,50	0,97	0,46	-0,10	0,00	0,73	0,22	1,00			
Cd	veg	-0,15	0,60	-0,71	0,04	-0,05	-0,04	-0,47	0,28	0,08	0,61	-0,08	0,39	0,58	0,72	0,39	0,25	0,24	0,76	0,29	0,68	1,00		
	sol	0,17	0,05	0,46	-0,33	-0,44	-0,33	-0,07	0,24	-0,21	0,06	0,37	0,27	0,65	0,23	-0,45	0,13	-0,21	0,00	-0,22	0,12	0,22	1,00	