



Universidade de Aveiro Departamento de Geociências
2008

**Carla Maria
Lopes Candeias**

**Caracterização ambiental da zona
envolvente à área mineira de Aljustrel**



**Carla Maria
Lopes Candeias**

**Caracterização ambiental da zona
envolvente à área mineira de Aljustrel**

dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Eduardo Silva, Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Apoio financeiro da FCT no âmbito
do Projecto EVALUSE
(POCI/ECM/61699/2004)

Apoio financeiro do Projecto
Europeu EcoRisk
(EV41-CT-2002-0068)

ao rapha

*If you do not know where you are going,
any road will take you there*

*o cacha branco para Alice
Lewis Carol*

o júri

presidente

Prof. Doutor Fernando Joaquim Fernandes Tavares Rocha
professor catedrático da universidade de aveiro

Prof. Doutor Eduardo Anselmo Ferreira da Silva
professor catedrático da universidade de aveiro (orientador)

Doutor João Manuel Xavier Matos
assessor do departamento de prospecção de minérios metálicos do ineti -
instituto nacional de engenharia, tecnologia e inovação

Prof.ª Doutora Amélia Paula Martins Marinho Dias dos Reis
professora auxiliar convidada da universidade de aveiro

Mestre Ana Rita Gonçalves Neves Lopes Salgueiro
instituto superior técnico da universidade técnica de lisboa (co-orientadora)

agradecimentos

A conclusão desta tese de Mestrado só foi possível graças ao envolvimento, directo e/ou indirecto, de algumas pessoas e instituições a quem, por diferentes razões, gostaria de agradecer especialmente:

Ao meu orientador, Prof. Doutor Eduardo Silva da Universidade de Aveiro, por partilhar comigo os seus conhecimentos, não só neste projecto mas em todo o tempo que passei no Departamento de Geociências. Não posso deixar de referir a sua paciência e disponibilidade, sendo um interlocutor sempre disposto a oferecer estímulos e, principalmente, a percorrer novos caminhos, ouvir com interesse todas as questões, dúvidas e problemas que surgiram durante o processo de reflexão. Pela sua amizade.

Ao Prof. Doutor Fernando Rocha, da Universidade de Aveiro, pela colaboração e simpatia e, principalmente, por ter conseguido disponibilidade para a minha tese.

Ao Prof. Doutor Soares de Andrade, da Universidade de Aveiro, pela cedência de bibliografia preciosa.

À Prof.^a Doutora Paula Amélia Marinho Reis, da Universidade de Aveiro, pelas explicações, apoio e paciência da sua colaboração.

Ao Instituto Superior Técnico de Lisboa (IST) pela oportunidade de assistir ao curso de especialização “Análise Espacial de Dados para as Ciências Sociais e do Ambiente”. Esta preciosa ferramenta de trabalho apenas foi possível graças à simpatia, colaboração e paciência da Mestre Rita Salgueiro. Agradecimento que se estende aos Prof. Doutores Jorge Sousa e Henrique Pereira pela excelente forma como transmitem a informação e os conhecimentos. A todos os seus colegas no IST pela simpatia.

À Fundação João Jacinto de Magalhães, uma vez que sem o seu apoio e incentivo não teria sido possível realizar este Mestrado. Não posso deixar de referir a Ana Filipa Gomes e Sandra Barroso pela especial cumplicidade e ao Eng.º Manuel Dias da Silva pelo apoio. Ao Prof. Doutor José Alberto Rafael e ao Prof. Doutor Paulo Trincão por acreditarem.

À Mestre Denise Lara Terroso, da Universidade de Aveiro, pela simpatia e pela disponibilidade na análise dos difractogramas.

Ao Filipe Bernardes pela ajuda preciosa, em tudo o que lhe foi possível. Pela amizade e intermináveis conversas e discussões ao longo destes anos.

Ao Mauro Oliveira, Domingos Duro e Ricardo João pela amizade ao longo destes anos, pelo apoio e por me ouvirem.

Aos funcionários do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, em particular à D.^a Graça, pela generosidade ao longo destes anos.

Aos meus amigos pela paciência nos meus esquecimentos de datas importantes, pelos atrasos, pelos desabafos, pela amizade.

Aos meus pais pelo estímulo ao longo dos anos, pelo amor, por acreditarem na certeza da incerteza. Aos meus manos, cunhadas e sobrinhos por todo apoio e carinho.

Ao Miguel, ao Rapha e à Pipas por suportarem pacientemente as minhas ausências da vida familiar, as minhas impaciências, os meus desabafos. Pelos estímulos nos momentos de fraqueza. Especialmente ao meu filho que muito sofreu com a minha ausência.

Quando mencionamos nomes incorremos no risco de esquecer alguém e, por isso, quero agradecer a todos os que, embora não tenham sido mencionados, estiveram presentes comigo durante este percurso.

A todos agradeço!

palavras-chave

geoquímica ambiental; análise de dados e geoestatística; avaliação de risco; solos; sedimentos de corrente; Aljustrel

resumo

Desde a pré-história, até aos finais do milénio passado, a exploração mineira foi um factor preponderante na estruturação económica e social das populações, nas regiões circundantes dessas explorações. A Faixa Piritosa Ibérica, onde se localiza a região de Aljustrel, constitui o maior distrito mineiro europeu, estendendo-se por uma faixa de aproximadamente 250Km de comprimento e 1Km de largura, que atravessa o sul da Península Ibérica, onde são conhecidas inúmeras minas, abandonadas ou activas.

A Vila de Aljustrel desenvolveu-se em torno das 6 explorações de sulfuretos maciços polimetálicos que contribuíram para o crescimento sócio-económico da área. No entanto verifica-se igualmente um contributo negativo, resultante do impacto, quer visual quer ambiental, da actividade mineira na região, condicionando a qualidade de vida da população devido à contaminação de solos, sedimentos de corrente e águas. Numa altura em que se prevê o recomeço da exploração mineira em Aljustrel, torna-se fundamental a caracterização geoquímica da área, de forma a poder identificar zonas sensíveis que possam afectar os recursos naturais da região e o bem-estar das populações.

De forma a realizar um estudo de geoquímica ambiental é fundamental identificar os elementos contaminantes existentes nos vários meios amostrais. Neste estudo foram colhidas 356 amostras de solo, em 2 campanhas de amostragem, que foram analisadas por ICP-ES OPTIMA para 35 elementos. Foram também colhidas 67 amostras de sedimentos de corrente, ao longo das linhas de água da região, que foram posteriormente analisados por ICP-ES para 36 elementos. Os dados obtidos foram tratados por métodos univariados, bivariados, multivariados e geoestatísticos. Com vista à caracterização das fases suporte e ao estudo de biodisponibilidade foram seleccionadas 4 amostras de solo/escombreira, as quais foram submetidas a análise mineralógica por DRX e análise por extracção química selectiva sequencial.

Deste estudo pode concluir-se que as zonas com maiores teores de metais são coincidentes com as áreas mineiras e que os restantes elementos são coincidentes com as diferentes unidades geológicas da zona estudada. As zonas das escombreiras de Algares/Feitais, das barragens de Estéreis e de Águas Claras e próxima da mina de S. João do Deserto são as áreas que definimos como sendo as mais sensíveis já que apresentam concentrações em As, Cd, Cu, Ni, Pb e Zn, acima dos valores guia propostos, estando correlacionados com as ocorrências minerais e/ou antigas explorações mineiras.

keywords

environmental geochemistry; data analysis and geostatistics; risk assessment; soils; stream sediments; Aljustrel

abstract

Since prehistoric days until the end of the last millennium the mining exploitation was a preponderant factor in social-economic structure of the mine surrounding regions, functioning as a population attractor for these regions. The Iberian Pyrite Belt, where the Aljustrel Mining area is inserted, constitutes the biggest European mining district, covering a band of approximately 250 km long and 1 km wide that crosses the south of the Iberian Peninsula, where innumerable active or abandoned mines and occurrences are located.

The Aljustrel Village was developed around the 6 exploitations of massive polymetallic sulphides that encircle it. The activity had a positive contribution to the social economic growth of the area. On the other hand, the visual and environmental impact of the mining process in the region is a negative consequence conditioning the population life quality, due to soil, sediments and surface water contamination.

At a time when it is foreseen to restart of the mining exploitation in Aljustrel, the geochemical characterization of the area becomes a priority, in order to identify sensible areas from an environmental point of view that consequently affect the natural resources of the region and the populations quality of life. On the other hand, the positive economic impact of the mining process should be balanced with the above mentioned environmental issues.

To characterize the environmental geochemistry is fundamental to identify de contaminant elements. There were 356 samples of soils analysed by ICP-ES OPTIMA for 35 elements. The stream sediments, with 67 samples, were analysed by ICP-ES for 36 elements. The data for soils was analysed univariate, bivariate, multivariate and geostatistical methods. In order to define the bearing-phases and the bioavailability of metals, 4 soil samples were selected and analysed by XRD and selective sequential chemistry leaches.

From the present study is possible to conclude that the high metals contents are coincident with the mining areas and that the remaining elements are related with the geology of the study area..

The concentrations of As, Cd, Cu, Ni, Pb e Zn are higher then the guidelines proposed and are correlated with the minerals occurrence and/or the ancient mineral explorations.

índice geral

1. Introdução.....	001
1.1 exploração mineira vs. gestão de resíduos	003
1.2 objectivos do estudo	004
2. Aljustrel.....	007
2.1. Localização	009
2.2. Clima.....	012
2.3. Flora	013
2.4. Geologia regional	014
2.5. Enquadramento geológico da FPI	018
2.6. Enquadramento geológico da área em estudo.....	024
2.7. Mineralização da FPI.....	028
2.8. Solos	039
2.9. Actividade mineira.....	045
2.10. Impacto ambiental das actividades extractivas na area de Aljustrel.....	055
3. Métodos e técnicas.....	065
3.1. Introdução	067
3.2. Amostragem e preparação de amostras	067
3.3. métodos de análise.....	074
3.4. Tratamento de dados	076
3.5. critérios de avaliação de risco níveis de base	083
4. Caracterização geoquímica dos solos da zona envolvente à área mineira de Aljustrel.....	087
4.1. Introdução	089
4.2. Estatística univariada.....	091
4.3. Distribuição espacial dos elementos	094
4.4. Estatística bivariada	120
4.5. Estatística multivariada.....	125
5. Caracterização geoquímica dos sedimentos do corrente da zona envolvente à area mineira de Aljustrel	135
5.1. Introdução	137
5.2. Estatística univariada.....	140
5.3. Distribuição espacial dos elementos	144
5.4. Estatística bivariada	169
5.5. Estatística multivariada	172
6. Contributos para a avaliação de risco da zona envolvente à area mineira de Aljustrel.....	179
6.1 Minimização problemas contaminação ambiental.....	181
6.2 Avaliação de risco ambiental.....	181
6.3. Avaliação de riscos na prática	183
6.4. Identificação das zonas sensíveis.....	187
6.5. Estudo das fases suporte dos elementos seleccionados.....	194
7. Conclusões.....	201
8. Referências bibliográficas.....	207
9. Anexos.....	221

Índice de figuras

figura 1.1	Processo de gestão resíduos mineiros (adaptado Asante Duah, 1998)	C03
figura 1.2	Projeção de superfície dos corpos minerais de Aljustrel (adaptado Eurozinc, 2007)	C06
figura 1.3	Escondilha das águas das cruvas nas escaninhas	C06
figura 2.1	(a) Localização de Aljustrel em Portugal; (b) <i>Vila de Aljustrel</i> (foto Carla Candéias, 2007)	C09
figura 2.2	Faixa Pirítica ibérica (adaptada de Pacheco <i>et al.</i> , 1998; Martins <i>et al.</i> , 2003)	C11
figura 2.3	Representação da velocidade média [Km/h] do vento em 4 meses do ano segundo os 8 principais rumos, no período de 1951-1980 na Estação Climatológica de Beja (adaptado do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos [v3])	C12
figura 2.4	Representação gráfica das temperaturas média, máxima e mínima mensais registada na Estação Climatológica de Beja, no período de 1951-1980 (adaptado de Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos [v3])	C12
figura 2.5	Representação da precipitação média mensal no período entre 1951-80 (adaptado do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos [v3])	C13
figura 2.6	Flora característica da região de Aljustrel (adaptado [v4])	C14
figura 2.7	Subdivisão das grandes zonas geotectónicas de Portugal Continental (adaptada Juvert <i>et al.</i> , 1977)	C16
figura 2.8	Geologia da zona Sul-Portuguesa (adaptada de Oliveira, 1990a; Carvalho <i>et al.</i> , 1997a)	C19
figura 2.9	Diagrama esquemático do fenómeno ocorrido na Faixa Pirítica Ibérica (adaptado de Martins <i>et al.</i> , 2003)	C20
figura 2.10	Esquema generalizado das fácies de metamorfismo (adaptado Yardley, 1959)	C24
figura 2.11	Geologia da região de Aljustrel (adaptado Schermmerhorn <i>et al.</i> , 1987)	C25
figura 2.12	Estratigrafia de Aljustrel; nesta região apenas são conhecidas as unidades do Cuim e o Complexo vulcano-Silíceo, desconhecendo-se o contacto inferior deste último (adaptado de Matos, 2007)	C26
figura 2.13	Geologia estrutural de Aljustrel (adaptado de Carvalho <i>et al.</i> , 1971a)	C27
figura 2.14	Disposição das unidades dos vulcanitos de Aljustrel (adaptado de Carvalho <i>et al.</i> , 1971b)	C28
figura 2.15	Tipos de depósitos de sulfuretos maciços, contacto geológico e zona de alteração do FPI (adaptado Carvalho, 1979; Baniça, 1983; Baniça <i>et al.</i> , 1990, 1991)	C29
figura 2.15a	Perfil longitudinal das minas de Aljustrel (adaptado de Andrade, 1967)	C31
figura 2.15b	Perfil transversal das minas de Aljustrel (adaptado de Andrade, 1967)	C32
figura 2.17	Projecto da empresa Pirites Alentjanas (adaptado de Eurozinc, 2007)	C32
figura 2.18	Jazigo de Aljares onde se evidenciam as três massas minerais (a) perfil longitudinal (b) perfil transversal (adaptado de Carvalho <i>et al.</i> , 1971b)	C33
figura 2.19	Jazigo de Feilais (a) perfil longitudinal, (c) perfil transversal (adaptado de Carvalho <i>et al.</i> , 1971c)	C36
figura 2.20	Corte geológico do carreamento de Aljustrel (adaptado Schermmerhorn <i>et al.</i> , 1987)	C38
figura 2.21	Carta de solos da área de Aljustrel em estudo (adaptado da Carta de solos de Portugal, folha 529 Aljustrel, CNROA, 1972)	C40
figura 2.22	Maca geológico-mineira da região de Aljustrel (Matos, 2007)	C53
figura 2.23	Recresa de Água Forte onde as águas de mina possuem um pH = 2 (foto Carla Candéias, 2007)	C55
figura 2.24	Escanadeiras modernas (foto Carla Candéias, 2007)	C57
figura 2.25	Tanques de cementação (foto Luis, 2007)	C57
figura 2.26	Maca mineira de Aljustrel; materiais e infra-estruturas mineiras (adaptado de Matos, 2007; Schermmerhorn <i>et al.</i> , 1987)	C69
figura 2.28	Classes rejeitadas da zona mineira de Aljustrel (adaptado Matos, 2007)	C60
figura 2.29	Principais barragens de efluentes de drenagem no complexo mineiro de Aljustrel (adaptado de Matos, 2007; [v5])	C62
figura 2.30	Sector mineiro de Santo Antão onde se localizam as reservas de Estéreis e Água Clara (adaptado de Matos, 2007; [v5])	C63
figura 3.1	Carta topográfica parcel sobreposta à carta geológica da área em estudo (adaptado Schermmerhorn <i>et al.</i> , 1987; Matos, 2007)	C69
figura 3.2	Localização das amostras de solos recolhidas na 1ª campanha de solos no âmbito do Projecto Eurofeu e EcoRisk	C71
figura 3.3	Localização das amostras de solos recolhidas na 2ª campanha de solos no âmbito do Projecto EVALUSE (FOT)	C71
figura 3.4	Pormenor do procedimento de colheita e de embalagem individual das amostras relativa à 2ª campanha de amostragem realizada na zona mineira de Aljustrel (fotos Hugo Garcia e Carla Candéias)	C72

figura 3.5	Localização das amostras de sedimentos do corrente (ribeira da Água Forte, ribeira de Água Azêda, ribeira do barranco do Farrôco e ribeira do Roxo)	C72
figura 3.6	Fluxograma da preparação física das amostras de solos e métodos de análise	C73
figura 3.7	Alguns dos procedimentos após a recepção no laboratório das amostras (fotos Carla Candelas)	C73
figura 3.8	Localização das amostras seleccionadas para extração química sequencial	C76
figura 3.9	Representação esquemática dos modelos com patamar (adaptado Cardoso, 1995; Carrizo, 1999)	C80
figura 3.10	Representação esquemática dos modelos com patamar (adaptado Cardoso, 1995; Carrizo, 1999)	C81
figura 3.11	Modelos esquemáticos isotrópico e anisotrópico de variogramas	C82
figura 4.1	Representação esquemática da sobreposição da malha de amostragem com a geologia	C89
figura 4.2	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável Al [%]	C97
figura 4.3	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável As [ppm]	C98
figura 4.4	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável Ba [ppm]	C99
figura 4.5	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável Bi [ppm]	100
figura 4.6	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável Cd [ppm]	101
figura 4.7	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável Co [ppm]	102
figura 4.8	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável Cr [ppm]	103
figura 4.9	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável Cu [ppm]	104
figura 4.10	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável Fe [%]	105
figura 4.11	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável K [%]	106
figura 4.12	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável Li [ppm]	107
figura 4.13	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável Mo [ppm]	108
figura 4.14	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável Na [%]	109
figura 4.15	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável Ni [ppm]	110
figura 4.16	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável P [%]	111
figura 4.17	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável Pb [ppm]	112
figura 4.18	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável Po [ppm]	113
figura 4.19	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável Sb [ppm]	114
figura 4.20	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável Sh [ppm]	115
figura 4.21	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável Si [ppm]	116
figura 4.22	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável V [ppm]	117
figura 4.23	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável W [ppm]	118
figura 4.24	Cartografia dos teores, variogramas, biplot e histograma da variável Zn [ppm]	119
figura 4.25	Explicação dos cinco primeiros eixos da análise ACP	126
figura 4.26	Projeção das coordenadas das 28 variáveis dos quatro primeiros planos factoriais (eixo 1/eixo 2; eixo 1/eixo 3; eixo 1/eixo 4; eixo 1/eixo 5)	128
figura 4.27	Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 1 e mapa de localização das escomoreiras	130
figura 4.28	Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 2 e mapa de localização das unidades geológicas	131
figura 4.29	Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 3 e mapa de localização das unidades geológicas	132
figura 4.30	Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 4 e mapa de localização das unidades geológicas	133
figura 4.31	Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 5 e mapa de localização das unidades geológicas	134
figura 5.1	Bacia hidrográfica da Ribeira do Roxo com difemologia das sub-bacias (IGAT, 1998; Luis, 2007)	137
figura 5.2	Representação esquemática da sobreposição da malha de amostragem com as bacias hidrográficas	139
figura 5.3	Cartografia dos teores, biplot e histograma da variável Al [ppm]	146
figura 5.4	Cartografia dos teores, biplot e histograma da variável As [ppm]	147
figura 5.5	Cartografia dos teores, biplot e histograma da variável Ba [ppm]	148
figura 5.6	Cartografia dos teores, biplot e histograma da variável Bi [ppm]	149
figura 5.7	Cartografia dos teores, biplot e histograma da variável Cd [ppm]	150
figura 5.8	Cartografia dos teores, biplot e histograma da variável Co [ppm]	151
figura 5.9	Cartografia dos teores, biplot e histograma da variável Cr [ppm]	152
figura 5.10	Cartografia dos teores, biplot e histograma da variável Cu [ppm]	153

figura 5.11	Cartografia dos teores, bloxplot e histograma da variável Fe [ppm].....	154
figura 5.12	Cartografia dos teores, bloxplot e histograma da variável K [ppm].....	155
figura 5.13	Cartografia dos teores, bloxplot e histograma da variável Mn [ppm].....	156
figura 5.14	Cartografia dos teores, bloxplot e histograma da variável Mo [ppm].....	157
figura 5.15	Cartografia dos teores, bloxplot e histograma da variável Na [ppm].....	158
figura 5.16	Cartografia dos teores, bloxplot e histograma da variável Ni [ppm].....	159
figura 5.17	Cartografia dos teores, bloxplot e histograma da variável P [ppm].....	160
figura 5.18	Cartografia dos teores, bloxplot e histograma da variável Pb [ppm].....	161
figura 5.19	Cartografia dos teores, bloxplot e histograma da variável Rb [ppm].....	162
figura 5.20	Cartografia dos teores, bloxplot e histograma da variável Sb [ppm].....	163
figura 5.21	Cartografia dos teores, bloxplot e histograma da variável Sn [ppm].....	164
figura 5.22	Cartografia dos teores, bloxplot e histograma da variável Sr [ppm].....	165
figura 5.23	Cartografia dos teores, bloxplot e histograma da variável V [ppm].....	166
figura 5.24	Cartografia dos teores, bloxplot e histograma da variável W [ppm].....	167
figura 5.25	Cartografia dos teores, bloxplot e histograma da variável Zn [ppm].....	168
figura 5.26	Explicação dos cinco primeiros eixos da análise ACP.....	173
figura 5.27	Projeção das coordenadas das 23 variáveis das quatro primeiras planas factoriais (eixo 1/eixo 2; eixo 1/eixo 3; eixo 1/eixo 4; eixo 1/eixo 5).....	175
figura 5.28	Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 1.....	176
figura 5.29	Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 2.....	176
figura 5.30	Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 3.....	177
figura 5.31	Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 4.....	177
figura 5.32	Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 5.....	178
figura 6.1	Processo da avaliação do risco ambiental (adaptado Asante-Duah, 1998).....	182
figura 6.2	Relação entre gestão e avaliação de riscos (adaptado Asante-Duah, 1998).....	182
figura 6.3	Estrutura conceitual básica de gestão do risco ambiental (adaptado Asante-Duah, 1998).....	183
figura 6.4	Componentes processuais principais da avaliação de risco de um problema de contaminação ambiental (adaptado Asante-Duah, 1998).....	184
figura 6.5	Representação esquemática de um local contaminado (adaptado Asante-Duah, 1998).....	186
figura 6.6	Mapa de teores do elemento As com a escala adaptada aos valores de referência para Portugal.....	187
figura 6.7	Mapa de teores do elemento Cd com a escala adaptada aos valores de referência para Portugal.....	187
figura 6.8	Mapa de teores do elemento Cu com a escala adaptada aos valores de referência para Portugal.....	188
figura 6.9	Mapa de teores do elemento Ni com a escala adaptada aos valores de referência para Portugal.....	188
figura 6.10	Mapa de teores do elemento Pb com a escala adaptada aos valores de referência para Portugal.....	189
figura 6.11	Mapa de teores do elemento Zn com a escala adaptada aos valores de referência para Portugal.....	189
figura 6.12	Mapa de teores do elemento As com a escala adaptada aos valores guia de referência.....	191
figura 6.13	Mapa de teores do elemento Cd com a escala adaptada aos valores guia de referência.....	191
figura 6.14	Mapa de teores do elemento Cu com a escala adaptada aos valores guia de referência.....	192
figura 6.15	Mapa de teores do elemento Ni com a escala adaptada aos valores guia de referência.....	192
figura 6.16	Mapa de teores do elemento Pb com a escala adaptada aos valores guia de referência.....	193
figura 6.17	Mapa de teores do elemento Zn com a escala adaptada aos valores guia de referência.....	193
figura 6.18	Gráfico dos teores [ppm] e percentagens de extração do elemento As para as diferentes amostras e reagentes da sequência de extração.....	194
figura 6.19	Gráfico dos teores [ppm] e percentagens de extração do elemento Cd para as diferentes amostras e reagentes da sequência de extração.....	195
figura 6.20	Gráfico dos teores [ppm] e percentagens de extração do elemento Cr para as diferentes amostras e reagentes da sequência de extração.....	195
figura 6.21	Gráfico dos teores [ppm] e percentagens de extração do elemento Cu para as diferentes amostras e reagentes da sequência de extração.....	195
figura 6.22	Gráfico dos teores [ppm] e percentagens de extração do elemento Mn para as diferentes amostras e reagentes da sequência de extração.....	196
figura 6.23	Gráfico dos teores [ppm] e percentagens de extração do elemento Ni para as diferentes amostras e reagentes da sequência de extração.....	196

figura 6.24	Gráfico dos teores [ppm] e porcentagens de extração do elemento Pb para as diferentes amostras e reagentes da sequência de extração.....	196
figura 6.25	Gráfico dos teores [ppm] e porcentagens de extração do elemento Zn para as diferentes amostras e reagentes da sequência de extração.....	197

Índice de tabelas

tabela 1.1	Medidas mitigantes ao longo das diversas fases de uma mina (adaptado de Meridian Research, 1985)	005
tabela 2.2	Minerais essenciais, acessórios e raros de amostras da mina do Moinho por ordem decrescente segundo a frequência com que ocorrem	035
tabela 2.3	Minerais essenciais, acessórios e raros de amostras da mina de Fetais, por ordem decrescente segundo a frequência com que ocorrem diferentes elementos não	037
tabela 2.4	Relação entre unidades geológicas e pedológicas da área estudada	045
tabela 2.5	Classes de desperdícios na mina de Ajustrel (adaptado de Matos, 2007)	058
tabela 2.6	Classificação dos diferentes tipos de materiais de escoriairas (adaptado Matos, 2007)	060
tabela 2.7	Concentração dos elementos Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, Co, Mn, Fe, As, Au, Cd, Sb, Bi, Hg e S nas amostras de escoriairas (adaptado Matos, 2007)	061
tabela 3.1	Limites de deteção do método analítico (ICP-ES) e ICP-MS utilizado na análise das amostras de solos e de sedimentos de corrente (ACI/E, 2007)	074
tabela 3.2	Limites de deteção do método de extração química sequencial selectiva utilizado na análise das amostras de solos selecionados (Vollrath, 2007)	077
tabela 3.3	Proposta de valores de referência para solos de Portugal (adaptado Ferreira, 2004)	084
tabela 3.4	Valores guia recomendados relativamente a alguns metais (TEG, MEC, PEC) para a avaliação da qualidade de sedimentos e respectivos níveis de preocupação [mg/kg] adaptado Consensus-based sediment quality guidelines, recomendando para aplicação e uso pela Contaminated Sediment Standing Team (2003); Luis, 2007)	085
tabela 4.1	Correspondência entre as amostras recolhidas e a respectiva unidade geológica	090
tabela 4.2	Estatística descritiva do conjunto global de dados analíticos; as concentrações dos elementos estão expressas em ppm	091
tabela 4.3	Estatística descritiva do conjunto de dados analíticos para os terrenos de cobertura da bacia do Sado (151 amostras) com as variáveis Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb; as concentrações dos elementos estão expressas em ppm	092
tabela 4.4	Estatística descritiva do conjunto de dados analíticos para o grupo das rochas filonéticas - doleritos de Messejana (6 amostras) com as variáveis Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb; as concentrações dos elementos estão expressas em ppm	092
tabela 4.5	Estatística descritiva do conjunto de dados analíticos para o grupo do substrato Hercínico Culm (131 amostras) com as variáveis Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb; as concentrações dos elementos estão expressas em ppm	093
tabela 4.6	Estatística descritiva do conjunto de dados analíticos para o grupo do substrato Hercínico sub Culm (68 amostras) com as variáveis Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb; as concentrações dos elementos estão expressas em ppm	093
tabela 4.7	Resumo dos valores mais elevados da mediana, obtidos pela aplicação da estatística descritiva, para as quatro unidades geológicas consideradas	094
tabela 4.8	Resumo das características mais importantes das zonas identificadas com as letras A, B, C, D e E nas cartas de isóteores	096
tabela 4.9	Teores médios dos minérios dos jazigos de Fetais e dos Moinhos	120
tabela 4.10	Resumo da matriz de correlação feita em consideração à globalidade dos resultados (n=306)	121
tabela 4.11	Resumo da matriz de correlação dos terrenos de cobertura da bacia terciária do Sado (n=151)	122
tabela 4.12	Resumo da matriz de correlação do grupo das rochas filonéticas - doleritos da Messejana (n=6)	122
tabela 4.12	continuação	123
tabela 4.13	Resumo da matriz de correlação do grupo do substrato Hercínico Culm (n=14)	124
tabela 4.14	Resumo da matriz de correlação do grupo do substrato Hercínico sub Culm (n=68)	125
tabela 4.15	Valores próprios, variância explicada e variância acumulada	126
tabela 4.16	Coordenadas das 23 variáveis dos cinco primeiros eixos	126
tabela 5.1	Correspondência entre as amostras recolhidas e a sua localização nas respectivas bacias hidrográficas	140
tabela 5.2	Estatística descritiva do conjunto de dados analíticos (67 amostras) todos os elementos são apresentados em ppm	140
tabela 5.3	Estatística descritiva do conjunto de dados analíticos para a bacia hidrográfica do Terranço do Farnoco (20 amostras) com as variáveis Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb	141

tabela 5.4	Estatística descritiva do conjunto de dados analíticos para a bacia hidrográfica da ribeira da Água Azêda (13 amostras) com as variáveis Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb,	142
tabela 5.5	Estatística descritiva do conjunto de dados analíticos para a bacia hidrográfica da ribeira da Água Forte (18 amostras) com as variáveis Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb,	142
tabela 5.6	Estatística descritiva do conjunto de dados analíticos para a bacia hidrográfica da ribeira do Roxo (16 amostras) com as variáveis Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb,	143
tabela 5.7	Resumo dos valores mais baixos, obtidos pela aplicação da estatística descritiva, para as quatro bacias hidrográficas consideradas, por ordem crescente,	143
tabela 5.8	Resumo dos valores mais elevados, obtidos pela aplicação da estatística descritiva, para as quatro bacias hidrográficas consideradas, por ordem decrescente,	144
tabela 5.9	Resumo da matriz de correlação tendo em consideração a globalidade dos resultados (n=67)	169
tabela 5.10	Resumo da matriz de correlação para o Barranco do Farnão (n=20)	170
tabela 5.11	Resumo da matriz de correlação para a ribeira da Água Azêda (n=13)	170
tabela 5.12	Resumo da matriz de correlação para a ribeira da Água Forte (n=18)	171
tabela 5.13	Resumo da matriz de correlação para a ribeira do Roxo (n=8)	172
tabela 5.14	Valores próprios, variância explicada e variância acumulada	173
tabela 5.15	Coordenadas das 23 variáveis dos cinco primeiros eixos	173
tabela 6.1	Elementos fundamentais na avaliação de risco ambiental (adaptado Asante-Duah, 1998)	183
tabela 6.2	Elementos base de um relatório de avaliação de riscos (adaptado de Asante-Duah, 1998)	185
tabela 6.3	Principais elementos de um programa de investigação ambiental (adaptado Asante-Duah, 1998)	186
tabela 6.4	Análise microanalítica das amostras selecionadas para o estudo da extração química sequencial	197

Índice de anexos

anexo 1	Resultados das análises para as diversas amostras de solos recolhidas na 1ª campanha [ppm].	223
anexo 2	Resultados das análises para as diversas amostras de solos recolhidas na 2ª campanha [ppm].	227
anexo 3	Resultados das análises para as diversas amostras de sedimentos de concreto.	229
anexo 4	Parâmetros dos modelos deduzidos a partir dos variogramas experimentais para os elementos considerados.	231
anexo 5	Matriz de correlação tendo em conta a globalidade dos resultados (n = 356).	233
	Matriz de correlação dos terrenos de cobertura da bacia terciária do Sado (n=161).	234
	Matriz de correlação dos grupos das rochas filonéicas - doleritos da Messejana (n=6).	235
	Matriz de correlação do grupo do substrato Hercínico C. In. (n=14).	236
	Matriz de correlação do grupo do substrato Hercínico sub-Culm (n=68).	237
anexo 6	Parâmetros dos modelos deduzidos a partir dos variogramas experimentais para os 5 eixos considerados.	239
anexo 7	Matriz de correlação tendo em conta a globalidade dos resultados (n = 67).	241
	Matriz de correlação da bacia hidrográfica do barranco do Fardão (n=20).	242
	Matriz de correlação da bacia hidrográfica da bacia hidrográfica da ribeira da Água Azéda (n=13).	243
	Matriz de correlação da bacia hidrográfica da bacia hidrográfica da ribeira da Água Forno (n=13).	244
	Matriz de correlação da bacia hidrográfica da bacia hidrográfica da ribeira do Roxo (n=8).	245
anexo 8	Concentrações de As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn [ppm] extraídas para as quatro amostras analisadas (K3, N5, L5 e J6) pelos diferentes reagentes de sequência de extração.	247
anexo 9	Valores em percentagem das concentrações de As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn [ppm] extraídas para as quatro amostras analisadas (K3, N5, L5 e J6) pelos diferentes reagentes de sequência de extração.	249
anexo 10	Difratograma da amostra K3.	251
	Difratograma da amostra N5.	254
	Difratograma da amostra L5.	257
	Difratograma da amostra J6.	260
anexo 11	Nota explicativa da carta dos solos de Portugal.	263

1. introdução

1.1 exploração mineira vs. gestão de resíduos

A camada superficial da Terra contém todos os elementos químicos envolvidos nos processos biológicos, bem como todos os elementos explorados pelo Homem. A importância dos elementos em termos biológicos e/ou industriais não está relacionada com o respectivo teor médio na crosta. O teor médio dos elementos maiores, tais como Na, Mg, Al, Si, K e Fe, nos materiais da superfície terrestre é superior a 1%; os teores médios dos chamados elementos menores, Ti, P, S e Mn, variam entre 1,0 e 0,01%; alguns elementos traço de interesse biológico, tais como, o Be, B, As, Mo e U têm teores médios da ordem de 0,0001%, ou seja 1ppm (parte por milhão); outros elementos com significado biológico, entre os quais o Ag, Cd, Sb, I, Hg e Tl têm teores médios da ordem de 0,1ppm; e outros elementos como o Pt e Au são ainda menos abundantes.

Só com o desenvolvimento tecnológico dos métodos analíticos, nos últimos 60 anos, foi possível estabelecer a importância do papel desempenhado por elementos traço, tais como, Co, Mo, Cr, Se, F, Sn e V nos processos biológicos (Koros, 1989). Provavelmente para a grande maioria dos seres vivos há uma gama de teores óptima para um dado elemento. Fora desta gama de teores poder-se-ão observar efeitos nocivos causados, quer por excesso quer por defeito, do elemento em questão. Existem já vários casos registados de relação causa-efeito entre excesso/defeito de elementos traço (ex. I, F, Se e As) no ambiente e na saúde humana (Crounse *et al.*, 1983; Låg, 1983, 1991).

A exploração mineira faz parte integrante da economia mundial. A extração dos minérios faz-se através de minas sendo que, de todo o material extraído, apenas uma pequena percentagem é usado. São processadas grandes quantidades de material, para cada unidade de produto comercializável. Com esta actividade tanto o solo é perturbado como são produzidas enormes quantidades de desperdícios (figura 1.1).

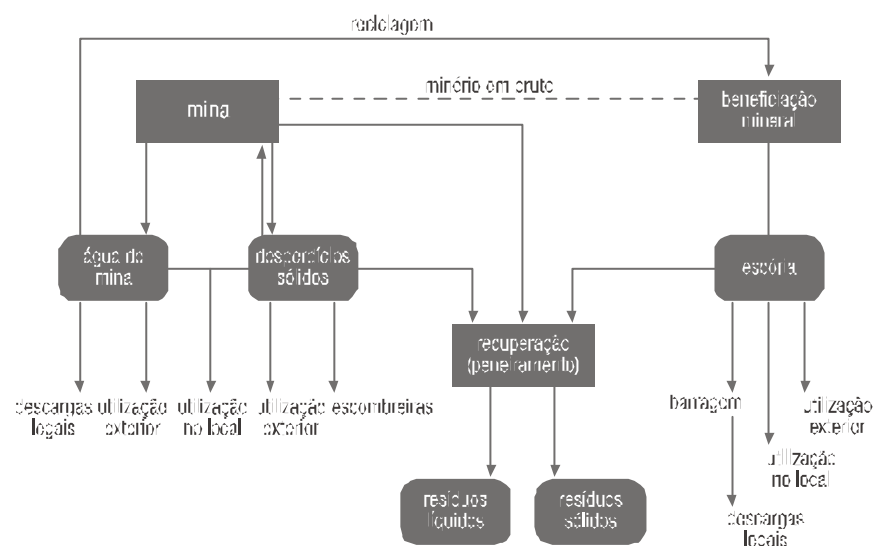


figura 1.1 Processo de gestão resíduos mineiros (adaptado Asante-Duah, 1998)

A exploração mineira desordenada, ou exercida sem o devido acompanhamento, pode causar grandes perturbações de ordem ambiental na área da exploração. Situações de certa nocividade evidenciam-se em minas onde não existiu qualquer preocupação com a gestão ambiental, ou

não foram tomados em conta princípios de desenvolvimento sustentável. Os impactos químicos, devidos aos desperdícios, são os mais preocupantes, pois existe grande tendência para a formação de ácidos e consequente possibilidade de contaminação de solos, sedimentos de corrente, águas, espécies vegetais e animais e da população em geral. O impacto no ambiente que rodeia a mina é, normalmente, significativo e os problemas, mesmo que localizados, não se apresentam de forma uniforme, sendo determinados pelo tipo de mineralização existente e pelos processos durante a exploração (Moore & Luoma, 1990).

A drenagem ácida de mina (DAM) constitui um dos grandes problemas associados à exploração mineira. Esta é devida à reacção de sulfuretos com o oxigénio e a água, produzindo uma solução ácida que dissolve metais e contém sulfato. Outras reacções podem ocorrer provocando grande alteração das características das águas. Por acréscimo a descarga de sedimentos, devido à erosão dos solos desnudados, impede futuras utilizações da terra, degradando também a qualidade das águas. Os poços e tanques abandonados vão-se degradando ao longo do anos, conduzindo a novos problemas ambientais.

Em resumo os problemas normalmente detectados passam por:

- › instabilidade geotécnica e erosiva
- › contaminação de solos e águas
- › poluição eólica
- › impacto visual
- › desordem urbanística e paisagística

Já os impactos ambientais envolvidos numa exploração mineira são, dentro dos mais comuns:

- › escavações de grandes dimensões, quando se tratam de explorações a céu aberto
- › poços e chaminés, muitas vezes mal protegidos, no caso de minas subterrâneas
- › edificações e equipamentos abandonados e, por vezes, contaminados
- › escombrelas (pilhas de estéreis, restos de minérios, lamas)
- › contaminação de solos e sedimentos, por efeito de dispersão mecânica dos materiais acumulados nas escombrelas
- › contaminação das águas superficiais e subterrâneas

Na tabela 1.1 encontram-se discriminadas as diversas fases de uma mina, as necessidades de caracterização dos desperdícios, escombrelas, águas de mina e de drenagem e os passos de beneficiação mineral. A partir destas determinações é possível definir os tipos e quantidades de contaminantes que podem causar danos ambientais, instituindo medidas preventivas. É igualmente importante conhecer, previamente, as características geoquímicas dos solos e águas subterrâneas e de superfície na área em estudo.

1.2 objectivos de estudo

O presente trabalho surge no âmbito de dois projectos de investigação e caracterização da área mineira de Aljustrel, Projecto *e-Ecorisk - A regional Enterprise Network Decision Support System for Environmental Risk and Disaster Management of Large-Scale Industrial Spills* (contract n.º EV41-CT-2002-00068) (Projecto Europeu) e Projecto *EVALUSE - Vulnerabilidade Ambiental da Área Mineira de Aljustrel em Termos de Ocupação do Solo*. Os objectivos destes projectos abarcam:

Tabla 1.1 Medidas mitigantes ao longo das diversas fases de uma mina (adaptado de Meridian Research, 1986)

fase da mina	medida mitigante	objectivo
activa	avaliação hidrogeológica e monitorização de água subterrânea controlo de escurrência barreiras limite filtragem, remoção e tratamento de sistemas sistemas de segurança	identificação de contaminantes controlo de líquidos retenção controlo de líquidos controlo da saúde pública
encerramento	continuidade das medidas iniciadas na fase activa tratamento de águas remoção de sedimentos das barragens estabilização de barragens estabilização de despojeiros cobertura final	tudo o mencionado anteriormente controlo de líquidos remoção de despojeiros controlo de líquidos controlo de líquidos controlo de líquidos
pós-encerramento	monitorização de águas subterrâneas inspecção e manutenção dos sistemas existentes	deteção de contaminantes tudo o mencionado anteriormente
acções correctivas	coços de esgoto barreiras hidráulicas encalimento de vazios paredes barreira compilação de materiais	retenção retenção retenção retenção tratamento

- estudo geoquímico (caracterização geoquímica da zona envolvente à área mineira de Aljustrel)
- avaliação e extensão do impacto das actividades mineiras, na poluição dos solos, sedimentos e águas
- identificação das características geoquímicas da drenagem ácida de mina (DAM) formada nos depósitos de escombrelras
- investigação dos mecanismos de diluição e precipitação química dos metais seleccionados nas áreas correspondentes

A escolha recaiu sobre a área mineira de Aljustrel devido a tratar-se de uma zona da Faixa Pirítica Ibérica onde se encontram extensos corpos minerais subterrâneos (figura 1.2). Devido à exploração intensa que sofreu, existem escombrelras de grandes dimensões, algumas delas datadas dos tempos romanos. A escurrência e infiltração das águas das chuvas (figura 1.3) promovem uma extensa erosão e conseqüente transporte de materiais para os cursos de água. Durante os trabalhos de levantamento, desenvolvidos no âmbito dos referidos projectos, foi evidente a ausência de medidas eficazes que pudessem evitar a erosão das escombrelras e a geração de drenagem ácida de mina (DAM).

O objectivo desta dissertação de Mestrado passa pela caracterização do comportamento geoquímico dos elementos sujeitos a circulação, num sistema onde o equilíbrio existente no ambiente primário foi quebrado pela extracção do minério e, assim, avaliar o seu efeito no ambiente geoquímico superficial. Este trabalho, em particular, apenas se centra na caracterização geoquímica de solos e de sedimentos de corrente, sobre os quais se efectuaram análises químicas, mineralógicas e extracção química selectiva sequencial conforme descrito no capítulo 3. Sobre os dados obtidos foram efectuados tratamentos estatísticos uni e multivariados, sobre o conjunto de elementos químicos analisado. O resultado conseguido com este estudo foi a identificação de

associações de elementos e as suas correlações com as diferentes formações geológicas e com o impacto resultante da actividade mineira que decorre neste desde a idade do bronze.

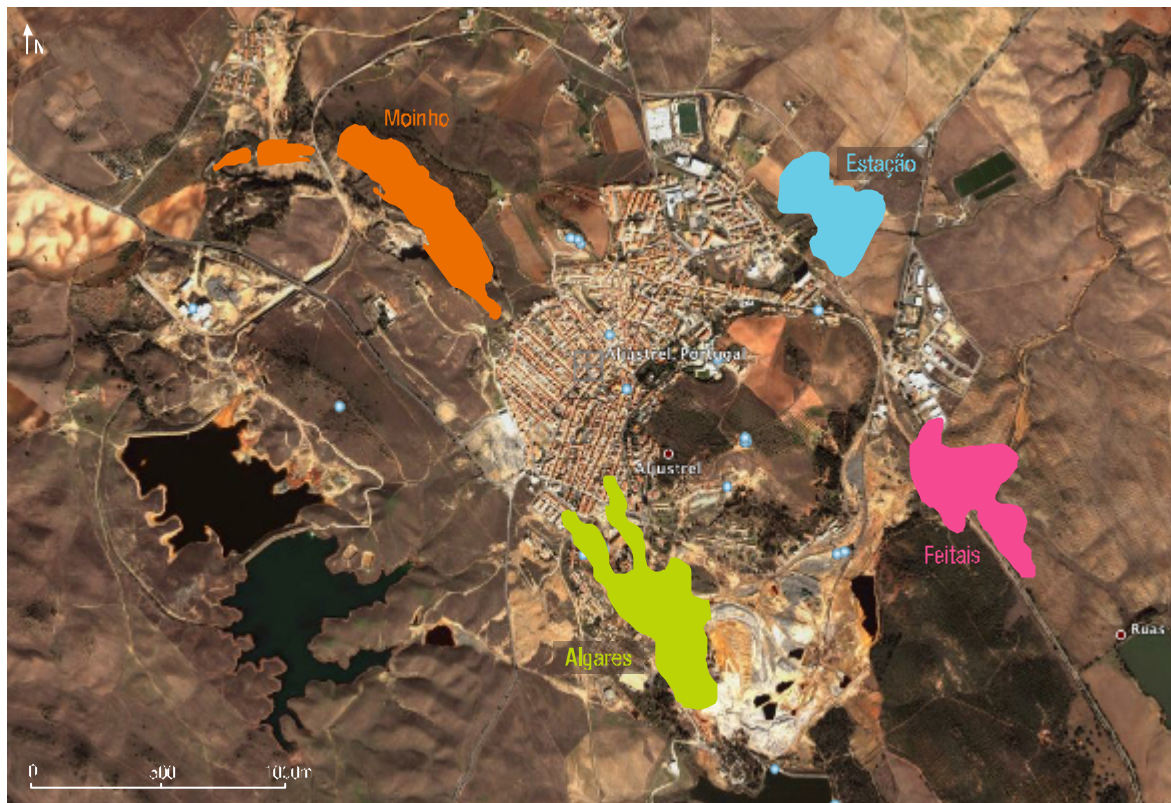


figura 1.2 Projecção de superfície dos corpos minerais de Aljustrel (adaptado Eurozinc, 2007; <http://earth.google.com>, 2007)



figura 1.3 Escorrência das águas das chuvas nas escumbras

2. Aljustrel

2.1. localização

A zona em estudo localiza-se no coração do Baixo Alentejo, distrito de Beja, concelho de Aljustrel, a 175Km a sudeste de Lisboa e 125Km a norte de Faro (figura 2.1a), ocupando uma superfície de 458,4Km². Conta, segundo o *Census 2001* (tabela 1.1), com cerca de 11 mil habitantes. Administrativamente está repartido por cinco freguesias, Aljustrel, Ervidel, Messejana, Rio de Moinhos e São João de Negrilhos. A sede de Concelho, a vila de Aljustrel (figura 2.1b), está situada 37,8Km a sudoeste de Beja e a 5Km da margem esquerda da ribeira do Roxo.



figura 2.1 (a) Localização de Aljustrel em Portugal; (b) Vila de Aljustrel (foto de Carla Candéias, 2007)

Tabela 2.1 Distribuição da população pelas diversas freguesias de Aljustrel

freguesias	população	área [km ²]	densidade [hab./km ²]
Aljustrel	5559	190,5	29,18
Ervidel	1309	38,8	33,74
Vessegana	1112	113,8	9,77
S. João de Negrilhos	1723	77,7	22,18
Rio de Meinhos	864	37,6	22,98
concelho Aljustrel	10567	458,4	23,05

fonte: instituto nacional de estatística. (ine *Census 2001* [w1])

A vila de Aljustrel situa-se numa antiga cidade romana, Vipasca, que foi posteriormente denominada de *Al-lustre*, pelos árabes. Foi conquistada, em 1234 no reinado de D. Sancho II, por D. Paio Peres Correia e pelos Cavaleiros da Ordem de Santiago de Espada. Como recompensa o monarca fez-lhes doação desta praça, bem como de uma vastíssima área, a qual foi confirmada por D. Afonso III. A vila recebe, em 16 de Janeiro de 1252, o seu primeiro Foral, sendo o Foral Novo concedido, por D. Manuel I, em 20 de Setembro de 1510.

Nos dias de hoje a freguesia de Aljustrel ocupa uma área de 190,5Km², o que representa 42% do território do concelho. Esta freguesia tem um total de 5.559 habitantes, representando cerca de 53% da população residente no concelho (tabela 1.1). Actualmente encontram-se recenseados 4.722 eleitores.

A vila de Aljustrel engloba os bairros mineiros de **Algares e Plano**, onde se concentram 83% da população total da freguesia (4.615 habitantes). A restante população dispersa-se por pequenos núcleos, constituídos pelos bairros mineiros de Vale d'Oca (325 habitantes) e de S. João do Deserto (184 habitantes), bem como pelas aldeias da Corte Vicente Anes (225 habitantes) e do Carregueiro (98 habitantes). Na área da freguesia existem 89 montes (habitações rústicas agrícolas), que abrigam uma população residual de 112 habitantes.



moinho



Transtagana

Do património edificado vários elementos podem ser destacados. Considerada um verdadeiro *ex-libris* da povoação, a Ermida de Santa Maria do Castelo vem referida na visitação da Ordem de Santiago de 1482, sendo a sua denominação alterada, a partir de 1510, para Nossa Senhora do Castelo. Desde sempre, esta Ermida esteve ligada à fé das populações do concelho. A Ermida e a área envolvente, que inclui as ruínas do Castelo, foi classificada como Imóvel de Interesse Público em 1992. A Igreja Matriz, ou de S. Salvador, foi construída no século XV, tratando-se de um dos maiores templos portugueses com uma só nave de abóboda lisa, que assenta em paredes de mais de dois metros de espessura. O painel de azulejos, do séc. XVII, frontal ao altar-mor, atribuído a Gabriel del Barco, foi classificado, por Santos Simões, como peça de extraordinário valor artístico. A Igreja da Misericórdia, monumento do século XVII de estilo renascentista, foi centro de assistência aos doentes e o lugar onde se realizavam as cerimónias religiosas da Semana Santa. Devem também ser referenciados os quinze moinhos de vento à volta da povoação, com especial destaque para o de Malpique, recentemente recuperado. Outro local patrimonialmente importante, e de grande beleza, é a área mineira envolvente, com a maquinaria e as estruturas de apoio à mineração já desactivadas. Ainda ligadas à exploração mineira, existem as chaminés, do séc. XIX, denominadas por Transtaganas. A de Algares encontra-se em ruínas mas, na Herdade das Pedras Brancas, a 5Km de Aljustrel, ainda se pode observar um exemplar em razoável estado de conservação.

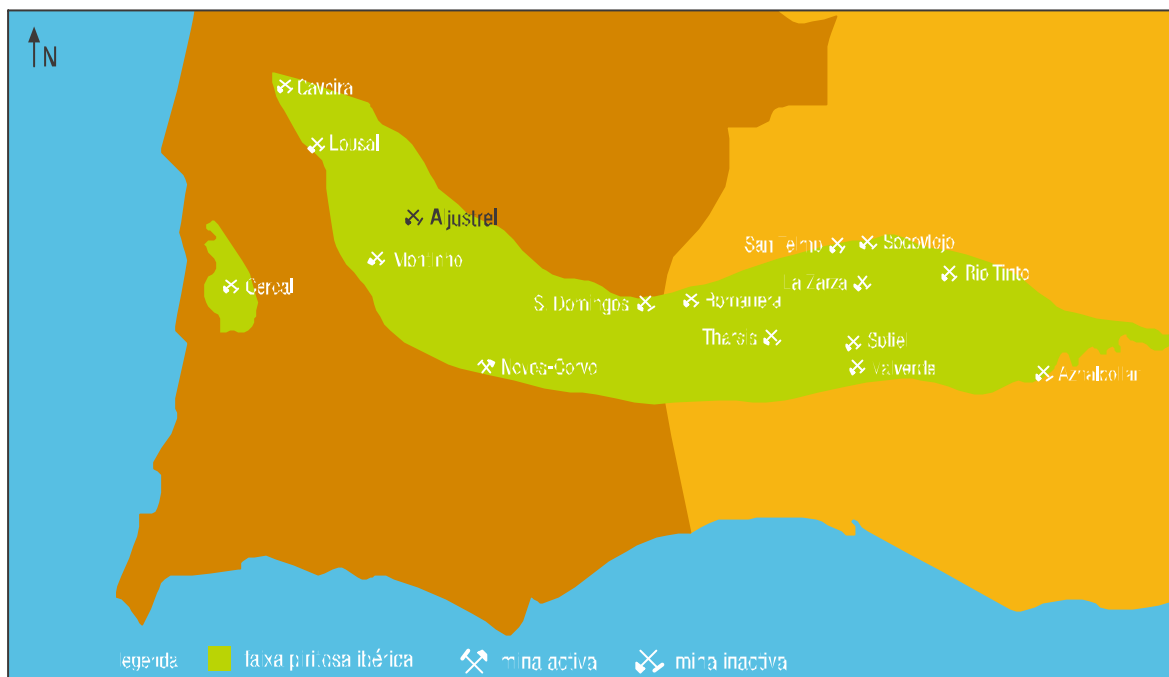


figura 2.2 Faixa Piritosa Ibérica (adaptada de Pacheco *et al.*, 1998; Martins *et al.*, 2003)

Desde a antiguidade mais distante, aos tempos historicamente mais recentes, a actividade que mais marcou a vida económica, cultural e social de Aljustrel foi a indústria extractiva. Tal facto prende-se com a localização da mina de Aljustrel, no sector oeste da Faixa Piritosa Ibérica (FPI) (figura 2.2), que se estende desde Sevilha, no sul de Espanha, até perto de Lisboa, em Portugal, numa distância de 260Km. Esta faixa é composta por alguns dos maiores depósitos maciços de sulfuretos vulcânicos do mundo. O complexo contém cinco depósitos maciços de sulfuretos, ou seja, S. João, Moinho, Algarés, Estação e Feitais. Com certeza pode afirma-se que se trata de uma região conhecida, desde tempos imemoriais, pelas suas jazidas minerais. Não há conhecimento exacto da época em que estas terão começado a ser sistematicamente exploradas, contudo, as diversas ocupações aqui existentes, desde a idade do Cobre, apontam para que a exploração tenha começado, de forma incipiente, 3.000 anos antes de Cristo (Gâmara Municipal de Aljustrel, 2007, 2008 [w2]).

Ainda hoje, não obstante as minas se encontrarem com a actividade suspensa, o número dos funcionários somado ao número dos que trabalham na mina de Neves-Corvo, mostra que o sector mineiro continua a ser o principal empregador do Concelho. No entanto, o conjunto das actividades ligadas ao comércio e serviços, à construção civil, à carpintaria, à serralharia, às artes gráficas, ao serviço automóvel, à fabricação de explosivos civis, entre outras, tem vindo a assumir importância cada vez mais relevante na economia local. No domínio da educação e da cultura, o concelho dispõe de níveis de ensino desde o pré-escolar ao secundário, de um cineteatro, de uma biblioteca municipal e de um museu municipal de arqueologia.

2.2. clima

Com base em dados do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (snirh, 2007, 2008[w3]) para o período de 1951 a 1980 na estação meteorológica de Beja (latitude 38° 01', longitude 7° 52'; altitude de 246 m), pode-se concluir de que se trata de uma zona com clima mediterrânico, caracterizado por Verões longos e secos, e Invernos curtos e moderados[w3].

Os dados apresentados relativos à estação de Beja, são a frequência do vento [% do número médio de vezes/mês que o vento esteve numa direcção], aqui representada em oito rumos (figura 2.3); velocidade média mensal [Km/h]; humidade relativa do ar [%] (com 0% para ar seco e 100% para ar saturado de vapor de água); insolação expressa em horas de sol descoberto.

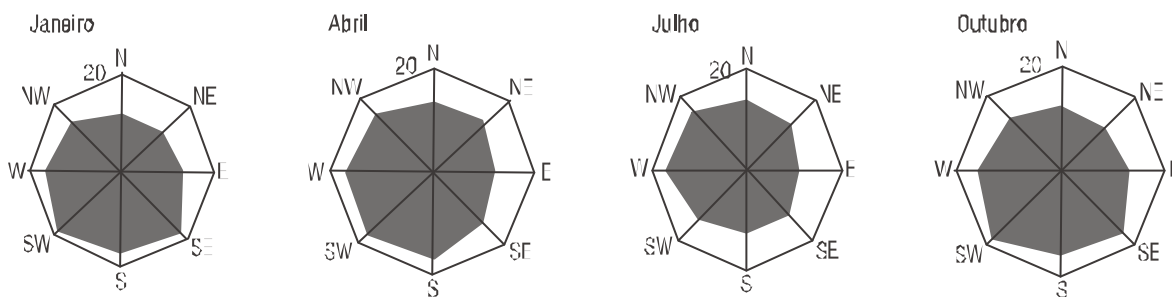


figura 2.3 Representação da velocidade média [Km/h] do vento em 4 meses do ano segundo os 8 principais rumos, no período de 1951-1980 na Estação Climatológica de Beja (adaptado de *Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos* [w3])

Como se pode observar na figura 2.3, os ventos apresentam velocidade média superior em Janeiro nas direcções SW e SE, em Abril nas direcções W-SW, em Julho nas direcções W-NW e em Outubro na direcção SW e SE. No entanto, as velocidades do vento não são significativamente muito elevadas ao longo do ano.

A variação das temperaturas registadas na estação de Beja está representada na figura 2.4. Da análise pode-se verificar que Janeiro apresenta uma temperatura média de 8,2°C e Agosto uma temperatura média de 23°C.

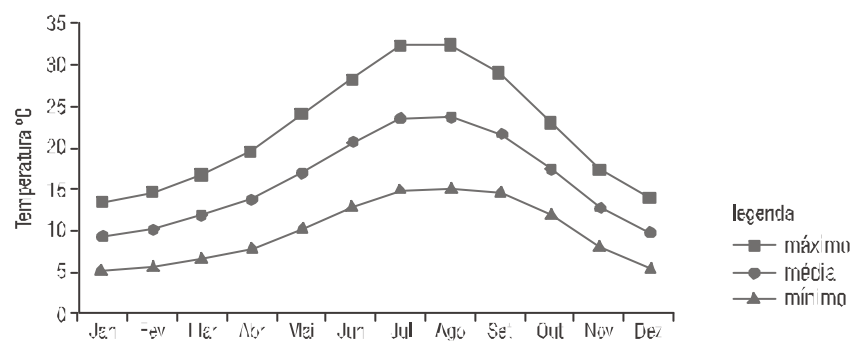


figura 2.4 Reopresentação gráfica das temperaturas média, máxima e mínima mensais registadas na Estação Climatológica de Beja, no período de 1951-1980 (adaptado de *Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos* [w3])

A humidade relativa é consideravelmente superior às 6h da manhã do que às 12h ou às 18h, sendo mais elevada nos meses de Novembro a Março. Os valores de humidade relativa variam de 5% (no Verão) a 90% (no Inverno).

A insolação média anual é de 2800h. Os meses com maior número de horas de insolação são Junho, Julho e Agosto e com menor são, Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro.

A precipitação média anual, no período de 30 anos, é de 561mm e apresenta-se mínima nos meses de Julho e Agosto (< 10mm) e máxima em Dezembro, Janeiro e Fevereiro (> 80mm) (figura 2.5).

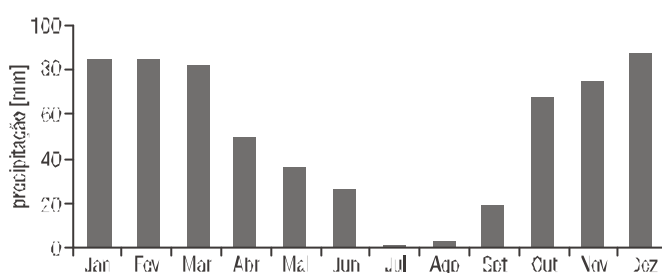


figura 2.5 Representação da precipitação média mensal no período entre 1951-80 (adaptado do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos [n.º3])

A evaporação dá-se sobretudo no Verão e, segundo Richards (1995), com maior importância em águas superficiais, sendo a perda em solos húmidos menos significativa devido à rápida resposta dos solos à insolação, o que contrasta com o efeito atenuante da temperatura nas superfícies de água.

Podemos reforçar a afirmação anterior se considerarmos que a evaporação de um grama de água do solo necessita de 2260J de energia solar (Brady & Weil, 1996), que o solo desta região apesar de pouco desenvolvido (Carvalho Cardoso, 1965) tem um coberto vegetal e que este, através do chamado *índice de área foliar* (Brady & Weil, 1996) diminui a exposição do solo à radiação solar existindo por isso, uma diminuição da evaporação real. Verifica-se ainda que estes solos têm uma tonalidade clara facilitando a reflexão dos raios solares, diminuindo ainda mais a evaporação real.

2.3. flora

A região em estudo apresenta um clima típico mediterrânico dominando, em termos de flora, a azinheira (*Quercus rotundifolia*) (figura 2.6). A degradação continuada e profunda dos bosques ancestrais resulta em matos esclerófilos e termófilos (plantas que só se desenvolvem em terrenos onde as temperaturas podem atingir temperaturas muito elevadas), característicos dos solos ácidos. Normalmente, estes terrenos são dominados pela esteva (*Cistus ladanifer*) e tojo (*Genista hirsuta*) (figura 2.6), acompanhadas por outros bioindicadores de degradação da área, como o sargaço (*Cistus salviifolius*), a roselha (*Cistus crispus*), o chalagaço (*Cistus monspeliensis*), o rosmaninho (*Lavandula luisieri*) (figura 2.6), entre outras. Estas formações termófilas e heliófilas, cuja presença indica um estado de agravamento das condições edafoclimáticas do meio por acção continuada e multiseccular do homem, variam em altura e densidade, dependendo das condições existentes. Ainda como resultado da profunda acção antrópica nestes territórios destaca-se a presença de eucaliptos (*Eucalyptus camaldulensis*).



figura 2.6 Flora característica da região de Aljustrel (adaptação [14])

2.4. geologia regional

No final do Paleozóico, há cerca de 380M.a., tendo-se prolongado até aproximadamente à 280M.a., dá-se um grande evento pela actuação de forças compressivas, designado por Orogenia Hercínica ou Varisca. Este fenómeno foi o resultado da colisão entre dois supercontinentes (Gondwana e Laurásia). Sabe-se hoje, através do estudo das rochas, que a Península Ibérica, na sua constituição, tem maiores afinidades com o Gondwana, actual África.

Portugal, na sua área continental, é formado por três grandes unidades geológicas: o Maciço Hespérico (ou Antigo), as Orlas Mesocenozóicas e as Bacias do Tejo e Sado (figura 2.7), constituindo estas duas últimas a cobertura Epi-Hercínica.

maciço hespérico

Constitui uma das unidades estruturais da Península Ibérica e um segmento da Cordilheira Varisca da Europa. Representa cerca de 70% da superfície de Portugal Continental, e encontra-se coberto por depósitos detríticos discordantes, do Terciário e Quaternário, com espessura não superior a 200-300 metros.. É constituído por rochas sedimentares, ígneas e metamórficas ante-Mesozóicas (i.e. Pré-câmbricas e Paleozóicas), consolidadas sobretudo aquando da orogenia Hercínica (ou Varisca). Este maciço, também designado por Maciço Antigo, possui um núcleo primitivo, e fundamental do território, de idade Câmbrica. Forma um planalto sobrelevado ao mar, adjacente ao qual se instalaram, posteriormente, bacias sedimentares, durante o Mesozóico

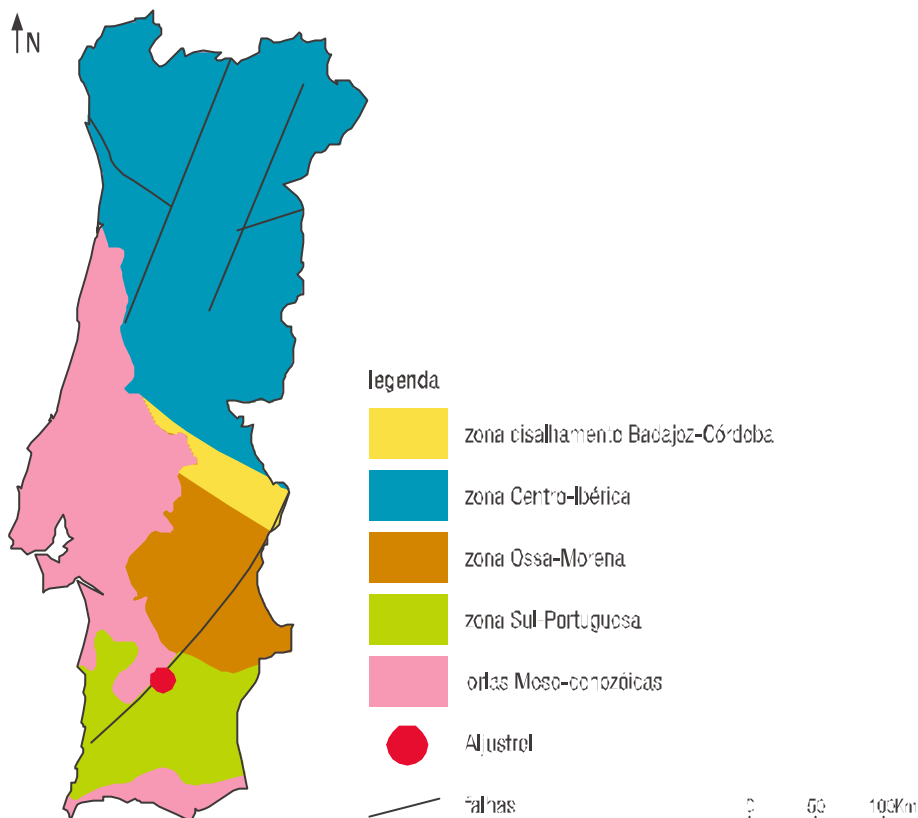


figura 2.7 Subdivisão das grandes zonas geotectónicas de Portugal Continental (adaptado Julivert *et al.*, 1974)

e Cenozóico. Devido ao facto de ter sido dobrado e metamorfozido, com fenómenos de intensa granitização associados (Ferreira *et al.*, 1987) durante a orogenia Hercínica, o Maciço Hespérico tornou-se um núcleo resistente ao dobramento Alpino posterior, apresentando no seu interior, em alguns locais, testemunhos de depósitos sedimentares, de idades muito variadas (desde o Cretácico ao Holocénico) que ajudam a reconstruir a história geológica e geomorfológica.

A periferia do Maciço Hespérico foi invadida pelo mar durante o Mesozóico, e princípio do Cenozóico, tendo sido coberta por sedimentos meso-Cenozóicos. Pela observação dos testemunhos geológicos constata-se que, desde o Pérmico, o nível do mar desceu e as orlas nunca mais foram cobertas pelo mar, tendo a evolução, da fachada ocidental Ibérica, sido controlada pela abertura do Oceano Atlântico. A abertura e fecho do sulco Mesogeu influenciou a evolução da Orla Algarvia, o que tornou o substrato Paleozóico, quer no centro quer na periferia da Península Ibérica, frequentemente coberto por sedimentos mais recentes.

Nos finais da orogenia Hercínica, o Maciço Hespérico foi recortado, no decurso de dois importantes episódios, por uma densa rede de fracturas. O primeiro originou fracturas com orientação NNE-SSW e um sistema conjugado NNW-SSE. O segundo criou fracturas com orientação aproximada E-W, as quais estão, em alguns casos, preenchidas por filões de rocha básica. É possível, no maciço, a definição de zonas com características paleogeográficas, tectónicas, metamórficas e plutónicas distintas, muitas vezes separadas por

importantes acidentes cavalgantes. As estruturas têm direcção predominante NW-SE na área ibérica.

orlas mesocenozóicas	As orlas mesocenozóicas (orla ocidental e orla meridional) formaram-se, a partir do Pérmico, nas margens continentais, a Oeste e a Sul da Península Ibérica, numa relação com episódios preliminares da abertura do Oceano Atlântico e da Mesogeia. São devidas a uma inversão moderada das margens W e SW (Ribeiro <i>et al.</i> , 1979)
orla ocidental ou lusitaniana	<p>Durante o Mesozóico instalou-se, na Bordadura Lusitaniana, uma fossa alongada na direcção NNE-SSW, em cujo eixo os sedimentos apresentam espessura máxima. Dada a reduzida largura da fossa uma grande parte dos sedimentos mesozóicos foram depositados em área litoral e registam todas as oscilações do nível do mar. Daí as alternâncias de sedimentação grosseira e fina e as bruscas variações laterais de fácies que se originaram. Segundo Ribeiro <i>et al.</i> (1979) podem distinguir-se três grandes séries, de acordo com a natureza do material:</p> <ul style="list-style-type: none"> › rochas predominantemente detriticas, as mais abundantes dominando a base do Mesozóico (Reciano e Hetangiano), no Jurássico superior, no Cretácico e, também, durante o Terciário › alternância de rochas margosas e detriticas, frequentes no Jurássico superior e no Cretácico › rochas francamente calcárias, cujas bancadas mais espessas pertencem ao Dogger, constituindo os importantes maciços da Estremadura e da Serra da Arrábida
orla meridional	<p>Trata-se de um estreito talude sedimentar de direcção ENE-WSW, acidentado por flexuras. As séries vão-se tornando mais espessas de W para E, apresentando fácies de maior profundidade neste sentido (Farias <i>et al.</i>, 1987).</p> <p>No contacto com o Maciço Antigo ocorrem níveis de conglomerados e grés vermelhos, de calcários dolomíticos com algumas intercalações de gesso e sal-gema que, em alguns casos, apresentam interesse económico em virtude da estrutura diapírica característica. Esta série inicial termina com um complexo vulcano-sedimentar, coberto por calcários dolomíticos, por vezes calciclásticos, aos quais se sobrepõem formações pelágicas do Dogger-Malm (Martins & Matos, 2003).</p> <p>O Jurássico termina com uma espessa série de plataforma, na qual se intercalam calcários biogénicos e é recoberto por uma série Cretácica, também espessa, à qual se sobrepõe uma série Mio-Pliocénica fundamentalmente calco-arenítica.</p> <p>Resultam da instalação de dois importantes golfos que subdividiram, durante o Terciário, a Orla pós-Paleozóica ocidental. Funcionaram como zonas de subsidência que sofreram preenchimento de natureza detritica.</p>
bacias do tejo e do sado	Os depósitos são sub-horizontais e a sua espessura é muito variável, admitindo-se um máximo de 1400 metros na bacia do Tejo. A bacia do Sado parece ser menos imponente, com menos de 500 metros de espessura. Predominam os níveis arenosos, mais ou menos grosseiros, com intercalações conglomeráticas e argilosas, e calcários lacustres.
2.4.1. zonas geotectónicas	A análise tectono-estratigráfica do Maciço Hespérico permite distinguir as suas principais unidades geoestruturais. Foram-se somando algumas formações de variadas origens e em diferentes lapsos de tempo da era Paleozóica, em

consequência de processos tectónicos convergentes ligados ao fecho do mar de Tethys. A distribuição espacial das unidades tectono-estratigráficas pode ser explicada se considerarmos a subdivisão zonal do Maciço Hespérico (Lolze, 1945; Julivert *et al.*, 1974). Reconhecem-se, de NE para SW, a zona Cantábrica, a zona Oeste-Astúrico-Leonesa, a zona Centro-Ibérica, a zona Ossa-Morena e a zona Sul Portuguesa. Podem ser classificadas como zonas externas, a Cantábrica e a Sul Portuguesa, e como internas as restantes.

Nos domínios das zonas internas o Precâmbrico e o Paleozóico inferior predominam, a deformação é precoce e intensa, o metamorfismo regional é de grau elevado e existem extensas intrusões sin-orogénicas. Já os domínios externos caracterizam-se pelos afloramentos do Paleozóico superior, a deformação é menos intensa e mais tardia, o metamorfismo regional de grau mais baixo e as intrusões sin-orogénicas são mais raras. Na zona Sul Portuguesa a sedimentação é mais profunda e estratificada, com rochas vulcânicas. A partir do Devónico médio pressupõe-se uma margem continental activa. Pode-se observar que tudo se passa como se houvesse uma migração da sedimentação e da orogénese, das zonas interiores para as exteriores.

zona centro-ibérica

Esta zona ocupa cerca de metade do território continental português e caracteriza-se pela ocorrência de uma espessa sequência do tipo *flysch* (Precâmbrico superior a Câmbrico inferior) denominada por Complexo Xisto-Grauváquico (CXG). Sobre esta assentam, discordantes, espessas bancadas quartzíticas do Ordovícico expressas por relevos vigorosos (e.g. cristas quartzíticas do Buçaco). Sobrepostas aos quartzitos ocorrem rochas xistosas, por vezes ardósíferas, com interesse ornamental (por exemplo as ardósias de Valongo). O intenso magmatismo originou, sobretudo, granitóides das séries alcalina e calco-alcalina (Martins & Matos, 2003).

Nesta zona é incluída uma zona de menor dimensão, a zona de Galiza-Trás-os-Montes que constitui um domínio especial situado no sector NE de Portugal (Ribeiro, 1974; Farias *et al.*, 1987) podendo também ser designada por terrenos alóctones. É caracterizada, em território nacional, pela existência de dois maciços de rochas com elevado grau de metamorfismo e de composição máfica e ultramáfica dominante (maciço de Mocris e de Bragança) que teriam correspondido a antigas sequências ofiolíticas.

O contacto com a zona de Ossa-Morena efectua-se através de uma acidente tectónico muito importante, a faixa de cisalhamento de Porto-Tomar (Gama Pereira, 1978; Chaminé, 2000; Chaminé *et al.*, 2003; Ferreira, 2004).

zona de ossa- -morena

Aqui o Precâmbrico é recoberto por conglomerados da base, do Câmbrico, a que se seguem algumas formações de rochas carbonatadas, as quais, por metamorfismo, originaram, ocasionalmente, mármore (exemplo anticlinório de Estremoz-Borba-Vila Viçosa).

A zona de contacto com a zona Centro-Ibérica é constituída, em regra por rochas metamórficas muito tectonizadas, intruídas geralmente por gnaisses e migmatitos, denominando-se por isso de faixa blastomíolítica. O limite sul é constituído por outro acidente tectónico maior, o cavalgamento de Ferreira-Ficalho (Ribeiro *et al.*, 1979).

zona sul- -portuguesa

Esta zona é constituída por rochas mais recentes, comparativamente com as que afloram nas zonas centrais, sendo a que apresenta maior homogeneidade litológica. Trata-se de um extenso afloramento de rochas metassedimentares com características turbidíticas atravessada por metavulcanitos e quartzitos, com orientação média NW-SE (Ferreira, 2004).

Encontra-se dividida em vários domínios estruturais, com tecnoestratigrafia específica (Silva *et al.*, 1990). De norte para sul são o Complexo ofiolítico Beja-Azebuches, o antiforma Pulo do Lobo, a Faixa Piritosa Ibérica, o grupo *Flysch* do Baixo Alentejo e o domínio SW Português (Barriga & Fyfe, 1997).

Comparando a paleogeografia e a tectónica com a da zona de Ossa-Morena, a idade do *flysch*, bem como a idade da deformação principal, tornam-se mais recentes para o quadrante SW. As rochas ígneas são, quase exclusivamente, rochas vulcânicas submarinas, máficas e félsicas, que se encontram cobertas por turbiditos *flysch* com alguns quilómetros de espessura (Barriga & Fyfe, 1997). A correlação entre as fácies sedimentar e vulcânica, determinou que a bacia de subsidência se tenha desenvolvido de nordeste para sudoeste, enquanto que o vulcanismo principal, aparentemente, migrou de sudoeste para nordeste, entre o Devoniano superior e o Viseano (Carvalho, 1976; Ribeiro *et al.*, 1979). A deformação Varisca, na zona Sul-Portuguesa, foi iniciada com a subsidência da bacia, acompanhada de deformação e falhas sin-sedimentares. Isto foi seguido de dois grandes episódios de dobramento, NW-SE, que produziu clivagens S1 e S2, e por pressões tectónicas (Silva *et al.*, 1990).

Uma sequência de rochas máficas e ultra-máficas, com afinidade ofiolítica está exposta, ao longo de quase toda a fronteira entre a zona de Ossa-Morena e a zona Sul-Portuguesa, desde a W de Beja, em Portugal, até perto de Azebuches, em Espanha (Munhá *et al.*, 1986; Quesada *et al.*, 1991). O vulcanismo ácido constitui um metalotecto das massas de sulfuretos maciços característicos da Faixa Piritosa Ibérica (FPI) (IGM, 2000).

A zona Sul-Portuguesa constitui uma cintura arqueada, que configura a subdivisão SW da cintura Ibérica Varisca (Silva *et al.*, 1990). A inclinação estrutural é E-W em Espanha e, em áreas perto da fronteira portuguesa, NW-SE, virando para N-S perto da costa Atlântica. As clivagens e cavalgamentos são vergentes para SW (Silva *et al.*, 1990; Silva, 1998).

A estratigrafia da zona correlaciona-se com os estratos, do Paleozóico sup., do SW da Irlanda e Inglaterra, bem como com a estratigrafia das zonas de orogenia Varisca do hercíniano (Reno) e silesiano (Morávia).

É nesta zona que se encontra a FPI, objecto de estudo deste trabalho.

2.5. enquadramento geológico da FPI

A Faixa Piritosa Ibérica (FPI) constitui a principal fracção da zona Sul Portuguesa, do segmento ibérico da cintura Varisca (Lotze, 1945; Carvalho *et al.*, 1971a; Ribeiro *et al.*, 1979). Localiza-se perto do contacto entre a zona de Ossa-Morena e a zona Sul-Portuguesa, numa área geográfica com cerca de 300Km de comprimento, desde o jazigo de sulfuretos polimetálicos de Lagoa Salgada (somente descoberto na década de 90 do séc. XX) até próximo de Sevilha, e 30 a 60Km de largura (Barriga *et al.*, 1997; Oliveira *et al.*, 1998, 2001; Silva, 1998; Ferreira, 2004). Como se pode observar na figura 2.2 existem, na faixa, várias minas onde têm vindo a ser explorados, intensamente, os depósitos metalogénicos maciços de sulfuretos, destacando-se pirites maciças associadas, em maior ou menor grau, a sulfuretos de metais básicos. Ocorrem também frequentemente intercalações de corpos com concentrações apreciáveis de manganês, jaspe e barite.

Delgado (1910) foi, possivelmente, o primeiro autor a reconhecer a importância geológica desta zona portuguesa. Só na década de setenta o termo Faixa Piritosa Ibérica foi reconhecido geologicamente (Carvalho *et al.*, 1971a; Schermerhorn, 1971). Recentemente Carvalho *et al.* (1997b), resumiu a geologia da FPI (figura 2.8).

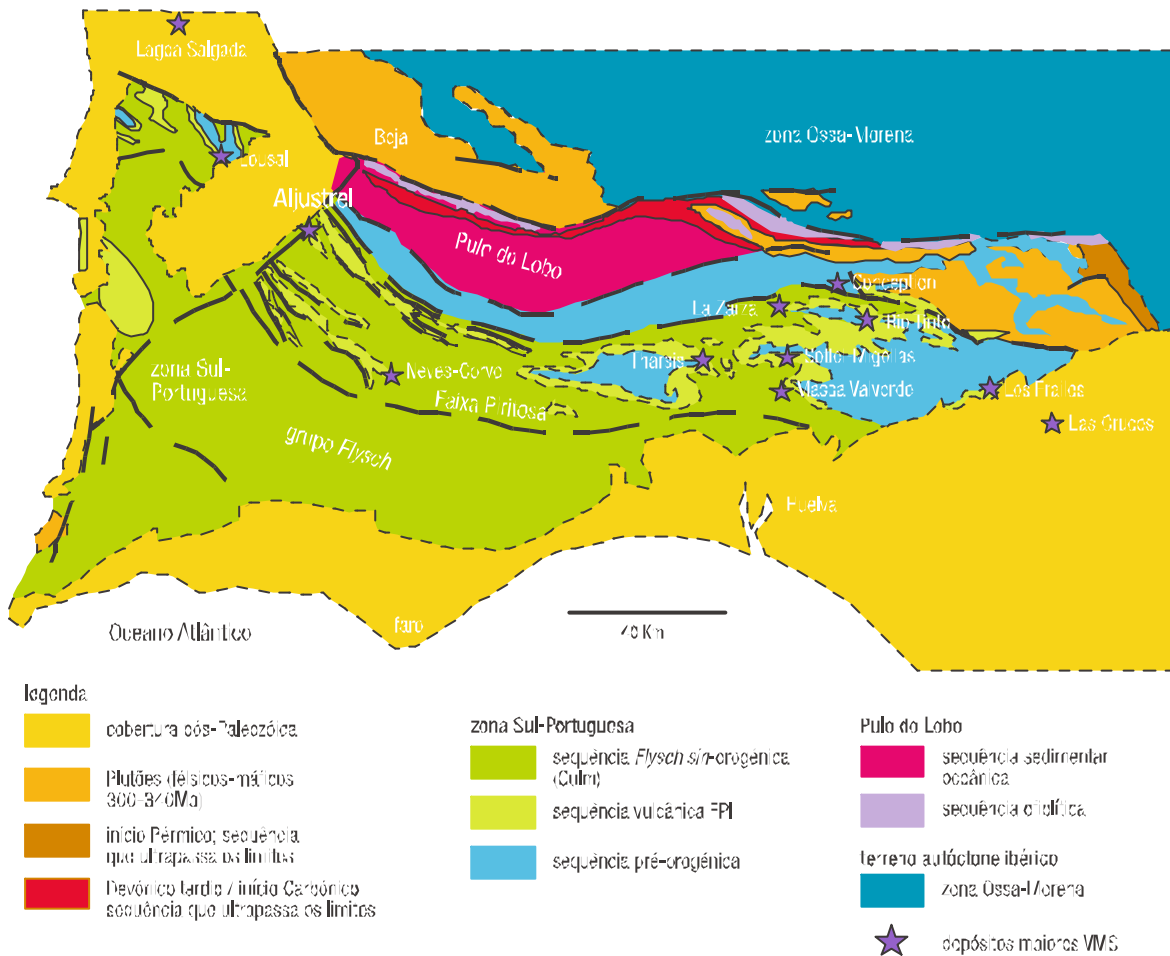


figura 2.8 Geologia da zona Sul-Portuguesa (adaptado de Oliveira, 1990a; Carvalho *et al.*, 1997c)

A área correspondente à actual FPI fazia parte, durante o Devónico superior, de um mar relativamente pouco profundo, algo semelhante ao actual Mar do Norte, com pelo menos 200Km de largura. A partir do final do Devónico, a crosta continental, subjacente a este mar, começou a sofrer distensão, o que provocou o aparecimento de falhas profundas, originando *horsts* (elevações) e *grabens* (depressões). Ao longo destas falhas emergiram magmas de origem mantélica e, também, da fusão de materiais da crosta, o que veio a originar numerosos aparelhos vulcânicos (figura 2.9). As depressões formaram bacias no fundo do mar que foram sendo, sucessivamente, preenchidas por sedimentos finos (predominantemente xistos negros) intercalados com os produtos resultantes da actividade vulcânica. Próximo dos vulcões, as pilhas de rochas vulcânicas, atingiram espessuras na ordem dos 500m, enquanto que nas áreas situadas entre os aparelhos vulcânicos, e também nos altos fundos, depositaram-se produtos televulcânicos finos misturados com sedimentação terrígena. Neste contexto paleogeográfico, a quantidade de sílica disponível na água do mar era de tal ordem elevada que permitiu a proliferação de grande quantidade de microrganismos com carapaça siliciosa, do tipo dos radiolários (hoje preservados como fósseis nas rochas siliciosas finas) e, também, acumulações de chertes e jaspes (Oliveira & Oliveira, 1996).

Por volta do Viseano superior deu-se uma mudança nas condições geodinâmicas, tendo passado de um regime de distensão para uma situação

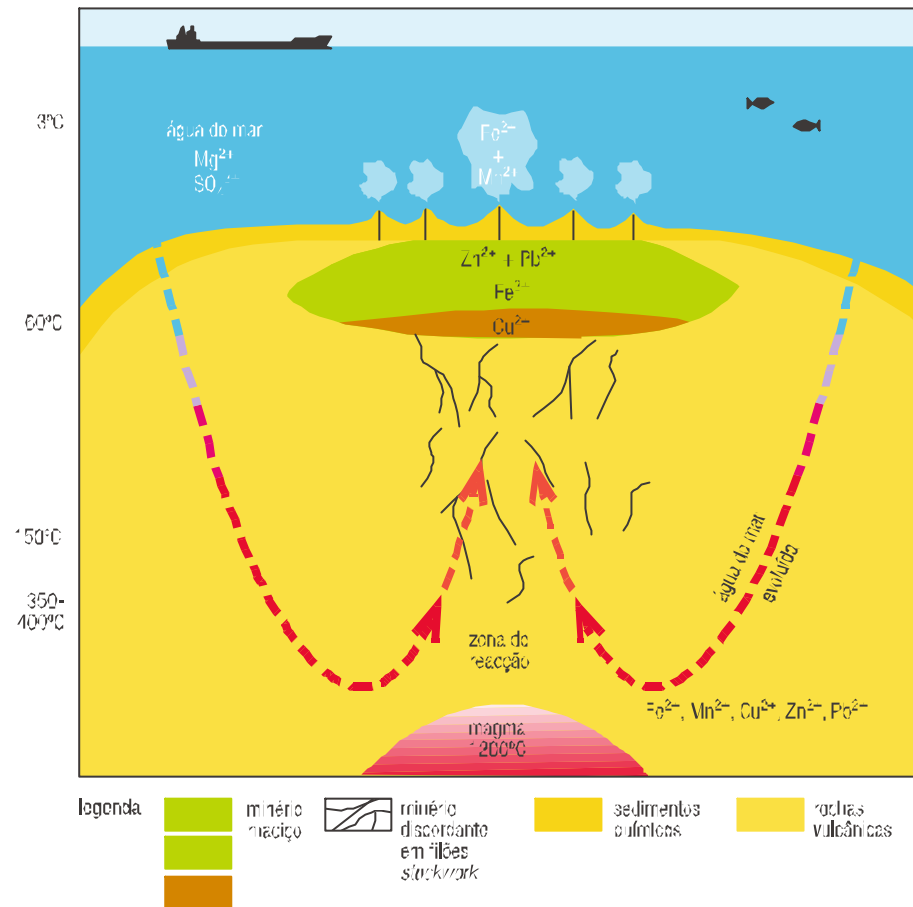


figura 2.9 Diagrama esquemático do fenómeno ocorrido na Faixa Piritosa Ibérica (adaptado de Martins *et al.*, 2003)

compressiva. Esta inversão tectónica poderá ter sido induzida pela colisão entre as massas continentais da zona Sul Portuguesa, a sul, e da zona de Ossa Morena, a norte.

Daqui resultaram movimentos orogénicos que elevaram o fundo do mar, tendo provocado a exposição aérea mais ou menos generalizada. Como consequência deu-se uma forte erosão das terras emersas, cuja carga detritica foi transportada para o fundo oceânico existente a sul, o que veio a constituir os sedimentos do grupo do *Flysch* do Baixo Alentejo. Da continuação da compressão resultou a progressão da onda orogénica para sudoeste, de tal modo que, durante o Estefaniano, toda a área ficou definitivamente incorporada na cadeia Orogénica Varisca. Esta cadeia, que se estendeu por muitos milhares de quilómetros, desde Marrocos, via Europa, até além do Cáucaso, foi gradualmente erodida durante os tempos meso-cenozóicos, e as suas raízes constituem o substrato paleozóico actual do continente europeu.

Os campos hidrotermais descobertos nas cristas oceânicas, onde se podem observar chaminés que emanam fluidos quentes ricos em metais de transição, como ferro, cobre, zinco e ouro, podem ser análogos actuais deste tipo de jazigos.

Em resumo, a FPI consiste num domínio geológico constituído por rochas de origem vulcânica e vulcano-sedimentar, de idades compreendidas entre o Devónico superior e o Carbónico (380-290Ma), que forma uma cintura arqueada

(300Km por 60Km) e se estende desde a zona a Oeste de Sevilha, até à área Norte da zona Sul Portuguesa. Em ambos os extremos da FPI as rochas paleozóicas estão cobertas por sedimentos, constituindo o soco das bacias terciárias de Guadalquivir (Espanha) e Sado (Portugal). Em consequência dos fenómenos geológicos que ocorreram na zona, a FPI acolhe alguns dos maiores depósitos maciços de sulfuretos de origem vulcânica (VHMS) do mundo (Martins *et al.*, 2001), cerca de 90, associados ao Complexo Vulcano-Silicioso, com idade compreendida entre o Fameniano superior e o Viseano superior, o que lhe confere um estatuto de província metalogenética de classe mundial (Matos *et al.*, 2006).

A Faixa Piritosa Ibérica encontra-se subdividida em várias unidades tectono-estratigráficas sendo, da mais antiga para a mais recente:

2.5.1. grupo filito- -quartzítico

PQ
Fameniano
méd. sup.

O Grupo Filito-Quartzítico é composto por uma sequência sedimentar predominante, constituída por filitos, siltitos, quartzitos e quartzograuvaques e aflora, principalmente, no interior de anticlinais. Os micro e macrofósseis das unidades areníticas, perto do cimo desta unidade, são do Devónico superior.

Trata-se do substrato detrítico da faixa piritosa, onde predominam os xistos e os quartzitos, com quartzovaques subordinados, lenticulas e nódulos carbonatados no topo. Todas as serras existentes entre a mina de S. Domingos e Aljustrel, com excepção da serra Branca, estão suportadas por rochas desta unidade.

Os quartzitos chegam a formar cristas imponentes, como sucede nas serras de Alçaria Ruiva, São Barão, Alvares, entre outros (Schermerhorn, 1971). Tratam-se de relevos de dureza que sobressaem nitidamente na penneplanície alentejana. Todas as litologias desta formação apresentam-se fortemente deformadas por esforços tectónicos, o que torna difícil o seu estudo sedimentológico. As cristas quartzíticas referidas, e outras de menor envergadura, evidenciam contudo bancadas com estruturas sedimentares do tipo de estratificação cruzada e *ripples* de oscilação, sugerindo que estes sedimentos tenham sido depositados num mar pouco profundo, que se estendia até, pelo menos, à região de Aljezur e Carrapateira, no Algarve.

2.5.2. complexo vulcano-silicioso

VS
Fameniano sup.-
Viseano sup.

O Complexo Vulcano-Silicioso cobre, em conformidade, o Grupo Filito-Quartzítico, e consiste numa sequência vulcano-sedimentar, com rochas vulcânicas félsicas, intermédias e máficas e sedimentos, como xistos negros, xistos siliciosos, xistos borra-de-vinho, jaspes e chertes. As rochas vulcânicas félsicas são volumetricamente (~70%) mais comuns dos que as máficas ou intermédias. Consistem, primeiramente, em rochas coerentes de fácies vulcânica, com menos tufos (hialoclástico e piroclástico) e re-sedimentos epiclásticos. A secção vulcânica bi-modal é economicamente importante devido a ser nestas unidades que se encontram os depósitos maciços de sulfuretos polimetálicos, assim como as numerosas ocorrências de manganês. As principais rochas com este tipo de sulfuretos são os tufos félsicos, tufitos e, em alguns casos, unidades de xistos negros. Os principais depósitos de manganês (sempre superiores a 10,000 toneladas Mn) são os jaspes que ocorrem nas rochas vulcânicas (Barriga e Fyfe, 1997). Cada centro vulcânico produtivo inclui, normalmente, um a três ciclos de vulcanismo félsico.

Os componentes sedimentares do Complexo Vulcânico-Silicioso incluem um vasto leque de tipos de rochas, como o xisto (negro, cinza escuro, verde e borra-de-vinho), grauvaques, quartzitos, rochas sedimentares químicas

siliciosas (cherte, jaspe) e lenticulas menores de arenito, gradacionais com os centros vulcânicos. As unidades de jaspes são particularmente importantes, uma vez que servem de indicador na prospecção de centros vulcânicos, sendo que, em alguns casos, se encontra em estreita associação com os sulfuretos maciços (Carvalho, 1979; Barriga, 1983, 1990).

É possível encontrar três episódios de vulcanismo ácido na estrada entre Santana e Pomarão, a sul do Monte Salgueiros, uma sucessão aflorante bastante completa. Estas evidências são constituídas por tufos, onde se encontra sedimentação terrígena de xistos negros, xistos e arenitos, e também xistos borra-de-vinho e púrpura. A sucessão é intruída por diabases e microdioritos. Todos estes elementos conferem ao complexo, neste ponto, uma espessura de 500 metros.

A composição do Complexo Vulcano-Silicioso varia de local para local, facto que torna as correlações stratigráficas regionais difíceis de estabelecer. Na mina de S. Domingos, o Complexo é iniciado por vulcanismo básico (basaltos) e intermédio (andesitos) a que se sobrepõe um conjunto de lavas e tufos riódacíticos, que acaba com xistos púrpura, tufitos e grauvaques.

Nas áreas de Albernoa e Aljustrel encontra-se um grande domínio de tufos ácidos sobre os quais ocorrem jaspes, xistos negros, xistos borra-de-vinho e xistos siliciosos. Já em Neves-Corvo encontram-se três episódios vulcânicos principais, um episódio vulcânico inferior com composição intermédia (andesitos), um segundo episódio predominantemente ácido e, na parte superior, um terceiro episódio de vulcanismo básico, com grande expressão na região de Castro Verde e Casével (Leça *et al.*, 1983). Estes episódios vulcânicos são seguidos de xistos negros, xistos púrpura e siliciosos na parte superior.

Na serra do Cercal predominam as rochas vulcânicas ácidas, na forma de lavas riolíticas e de tufos, havendo ainda xistos e tufitos na parte superior (Carvalho, 1976). Na região de Lousal-Caveira encontram-se dois episódios vulcânicos principais, um de composição ácida (riodacitos) e outro de composição básica (basaltos e diabases) e, também xistos variados e tufitos. A espessura destes complexos é da ordem das centenas de metros, sendo que, de entre os vários centros vulcânicos, há um domínio de vulcanitos finos (tufitos, filitos) associados e sedimentos terrígenos também finos (xistos, siltitos), podendo ocorrer jaspes e lenticulas de carbonatos. Neste caso a espessura já é bastante reduzida, em certos casos não atinge valores superiores a 30 metros.

Estudos geoquímicos realizados sobre as rochas vulcânicas evidenciam o carácter bimodal do vulcanismo, isto é, as rochas distribuem-se preferencialmente em dois pólos: basaltos e riólitos (Munhá, 1983). Os primeiros terão sido originados em câmaras magmáticas profundas (mantélicas ou subcelestais), e os segundos resultam de magmas oriundos de materiais da crosta silílica, mais superficiais. As rochas vulcânicas, que no terreno aparentam associação, foram geradas em câmaras magmáticas distintas. A presença em vários locais de estruturas em almofada nos basaltos, mostra que o vulcanismo ácido extruiu em ambientes submarinos e que as rochas vulcânicas ácidas aparecem, frequentemente, com estruturas hialoclásticas (brechas resultantes da reacção das lavas com a possível água do mar), o que indica deposição marinha. A possível ocorrência de ignimbritos (antigas nuvens ardentes) sugere que houve também actividade vulcânica aérea.

É normalmente admitido que os principais centros vulcânicos estariam situados nas áreas de São Domingos, Serra Branca, Albernoa, Aljustrel, Castro Verde,

Rosário, Neves-Corvo, Cercal e Lousal, áreas em que se localizam as principais concentrações de sulfuretos maciços, ocorrendo quase sistematicamente, no topo dos episódios vulcânicos ácidos, o que põe em evidência a íntima relação entre o vulcanismo e as mineralizações (Oliveira e Oliveira, 1996).

2.5.3. grupo *Flysch*

FG
Carbonífero
grupo Culm
de Schornhorst e
Stanton, 1969

O grupo *Flysch* recobre, em conformidade, o Complexo Vulcano-Silicioso e não é mais do que uma unidade muito espalhada na zona oriental da Faixa Piritosa Ibérica. Tratam-se de sedimentos de fácies *flysch*, com vários quilómetros de espessura, que se encontram representados pela formações de Mértola (Viseano superior), Mira (Namuriano) e Brejeira (Namuriano-Vestefaliano superior), com idade decrescente de NE para SW (Oliveira, 1983).

Este grupo apresenta uma sequência depositada por correntes de turbidez numa bacia profunda com forte subsidência, composta, primariamente, de xistos, grauvaques e conglomerados. O estrato superior da zona Sul Portuguesa é interpretado de forma a representar depósitos de sedimentos terrígenos (Grupo Filito-Quartzítico), na margem continental, seguidos de vulcanismo submarino máfico e félsico (Complexo Vulcano-Silicioso).

No grupo *Flysch* denota-se a alteração de vulcanismo para sedimentação, associada a colapso da bacia. As correlações entre as fácies vulcânica e sedimentar sugerem que o vulcanismo migrou de sudoeste para nordeste, enquanto que a subsidência da bacia se desenvolveu de nordeste para sudoeste.

VS e PQ são conhecidos, conjuntamente, pela designação de sub-Culm.

As megaestruturas da faixa piritosa formam os extensos anticlinais do sub-Culm, cuja orientação roda lentamente de W-E em Espanha, para NW-SW em Portugal. As dobras maiores são acompanhadas de dobras secundárias de todas as dimensões e mergulhos variáveis mas, sempre associadas a estas dobras, encontram-se a embridadas falhas de cavalgamento. As estruturas anticlinais e sinclinais variam de dobras apertadas a abertas, direitas, assimétricas, tombadas e são acompanhadas de xistosidade de plano axial, bem desenvolvida. A vergência faz-se para sul ou sudoeste. Estas dobras constituem as estruturas dominantes da FPI; parece razoável considerar que foram geradas durante um único período de dobramento, a fase orogénica principal.

No coração das estruturas anticlinais, as rochas expostas mais antigas são sempre do Devónico superior, ou mais recentes, sugerindo um corte na base do sistema de falhas, consistente com um estilo tectónico de deformação sem cobertura. As rochas da zona Sul-Portuguesa sofreram metamorfismo regional, contemporâneo da primeira fase de deformação varisca, sin a pós-deformacional, que aumenta com a aproximação das áreas interiores do orógeno varisco, de SW para NE. O seu grau vai desde a fácies zeólítica (figura 2.10), no extremo sul, passando pela fácies prehnite-pumpeleite e prehnite-pumpeleite/xistos verdes, à fácies dos xistos verdes a norte (Munhá, 1990).

Foram identificados, nalguns locais, carreamentos sub-horizontais dobrados durante a fase principal, os quais colocam em discordância os estratos do sub-Culm sobre o Culm, e os planos de carreamento foram dobrados em síformes e antifomes pela fase principal, com desenvolvimento de xistosidade de plano axial (em Mértola, considerou-se o carreamento como pós-xistento, mas a xistosidade no sub-Culm cavalgante e no Culm cavalgado mostra orientações semelhantes). Na região de Aljustrel os carreamentos cortam obliquamente as formações cavalgadas do Culm que já estariam dobradas

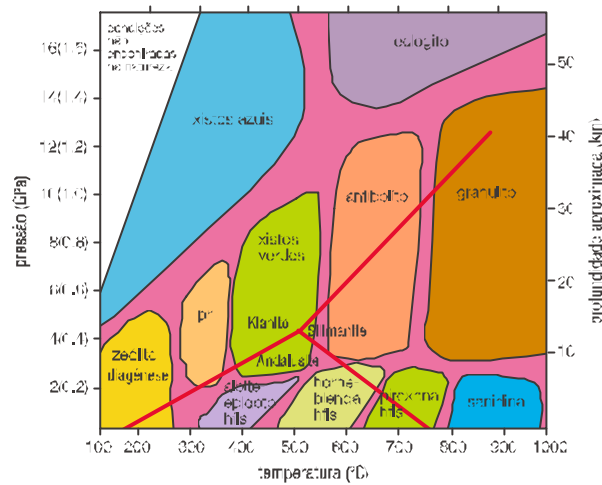


figura 2.10 Esquema generalizado das fácies de metamorfismo (adaptado Yardley, 1989)

(embora sem **clivagem**), sendo que os **carreamentos** se desenvolveram a partir dos núcleos anticlinais de sub-Culm; as raízes dos carreamentos podem ainda ser traçadas. Estes exemplos **ilustram** bem a complexidade tectónica da FPI. Parece ter havido um estado precoce com dobras abertas superficiais, sem xistosidade, localmente acompanhadas de carreamentos sub-horizontais. A deformação continuou durante a fase de deformação principal, tendo as primeiras dobras sido apertadas, os carreamentos foram dobrados e gerou-se a formação de xistosidade. Não se verifica redobramento dos eixos, pois as primeiras dobras são coaxiais com as do dobramento principal. Parece, portanto, provável que os dois dobramentos façam parte da mesma fase orogénica, que gradualmente foi crescendo de intensidade, culminando com a formação de xistosidade de plano axial. Esta xistosidade, quase sempre subvertical, **inclina** geralmente para N ou NE em toda a faixa, sendo a sua intensidade variável. Geralmente nota-se apenas uma xistosidade (excepto as xistosidades de fractura de orientação N a NE relacionadas com uma fase tardia), mas localmente, aparece uma segunda, fazendo ângulo com a primeira.

2.6. enquadramento geológico da área em estudo

A geologia da área de Aljustrel foi descrita por Schermerhorn & Stanton (1969), Schermerhorn & Andrade (1971), Schermerhorn (1976), Barriga (1983, 1990), Barriga & Fyfe (1988; 1997), *Relvas et al.* (1990), *Dawson et al.* (2001), *Carvalho et al.* (1999) entre outros.

A geologia da região de Aljustrel é caracterizada por um subsolo Paleozóico da zona Sul Portuguesa, e uma sequência moderna sedimentar da Bacia Terciária do Sado. A falha, activa, da Messejana, com movimentos NE-SW, define a margem SE desta bacia, a qual se encontra confinada ao bloco norte-occidental da falha (figura 2.11). A falha da Messejana, que se estende desde a costa alentejana até aos arredores de Madrid, possui um desligamento horizontal de 2,5Km. Ao longo desta estrutura é possível observar a ocorrência de um dolerito de idade Jurássica (Schermerhorn & Stanton, 1987).

A sequência estratigráfica (figura 2.12) Paleozóica de Aljustrel é formada pelas seguintes unidades principais (Schermerhorn & Andrade, 1971; Schermerhorn & Stanton, 1987; Leitão, 1998):

- > grupo *Flysch* do Baixo Alentejo, com a Formação de Mértola (Viseano superior)

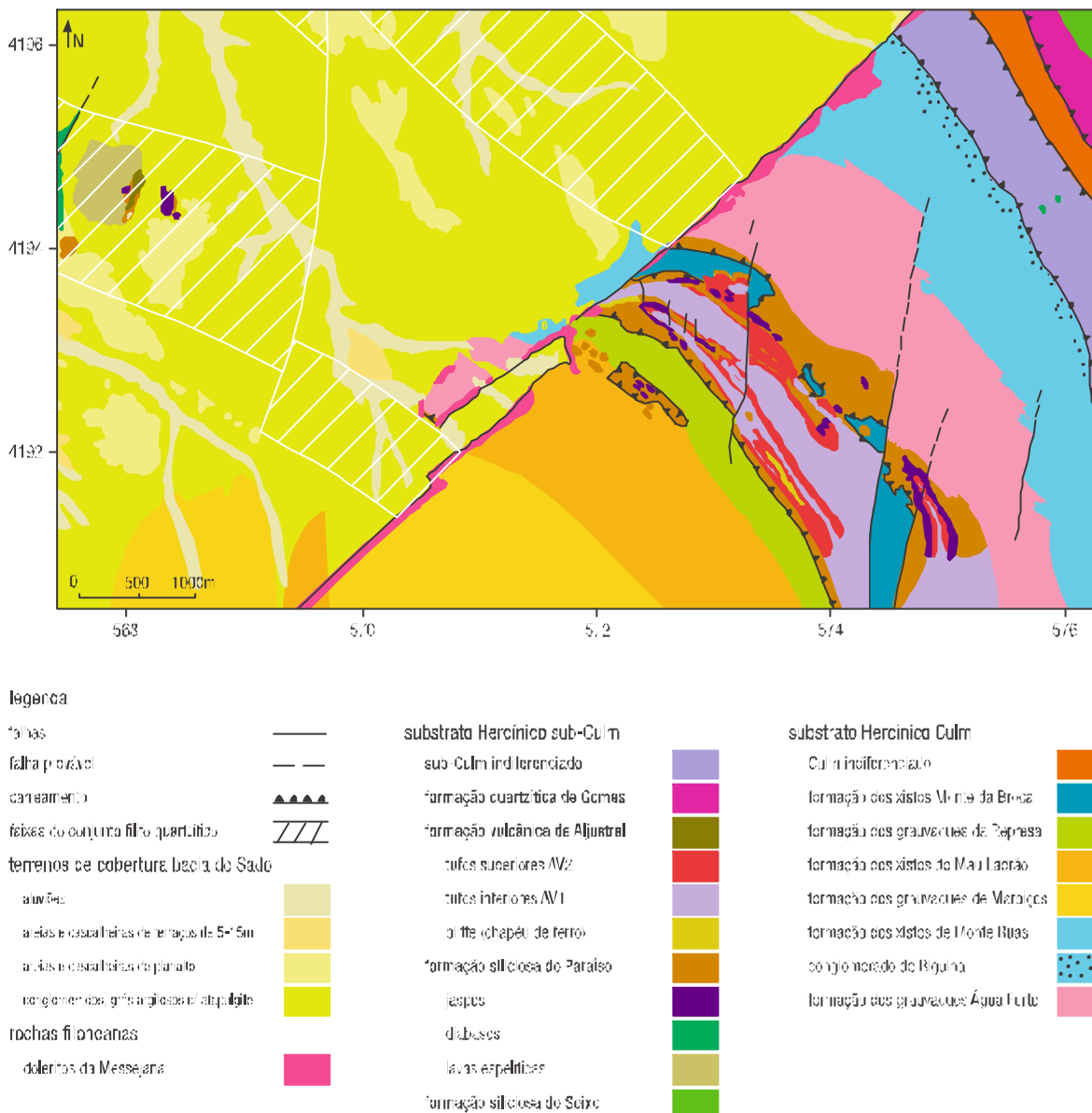


figura 2.11 Geologia da região de Aljustrel (adaptado Schermerhorn *et al.*, 1987)

- **Faixa Piritosa Ibérica, com o Complexo Vulcano-Silicioso (Fameniano superior a Viseano) representado pelas unidades da Formação do Paraíso, Sequências Metavulcânicas felsíticas de mina e Metavulcânicas com megacristais verdes**

A unidade inferior da FPI, o grupo Filito-Quartzítico (Famenirano ao Estruniano) não é reconhecido na área de Aljustrel.

O Anticlinório de Aljustrel CVS (Schermerhorn & Stanton, 1987; Leitão, 1998) está representado numa secção NW-SE ao longo de 1,5Km. Perto da falha da Messejana, na área de S. João, as estruturas Paleozóicas são afectadas por movimentos senis, tendo actualmente uma direcção NE-SW.

Encontram-se identificadas muitas falhas com direcção NW-SE, principalmente nas orlas menores dos anticlinais. A falha de Aljustrel é uma das maiores

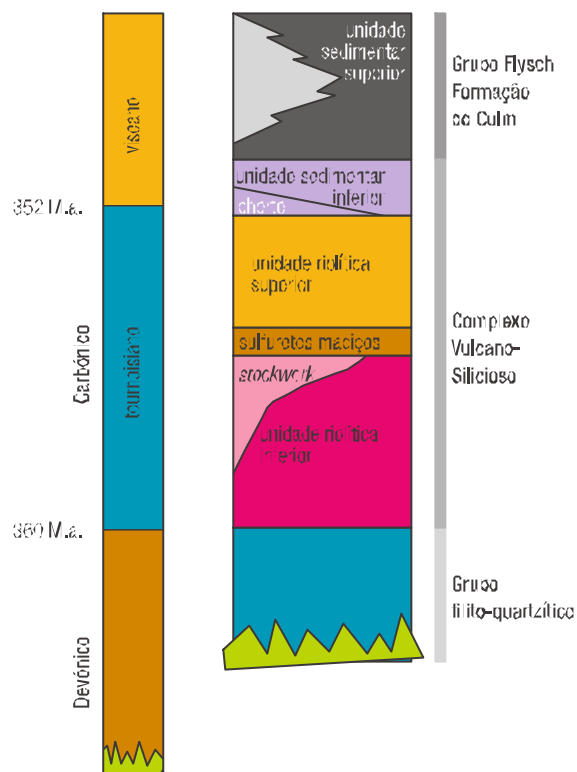


figura 2.12 Estratigrafia de Aljustrel; nesta região apenas são conhecidas as unidades do Culin e o Complexo Vulcano-Silicioso, desconhecendo-se o contacto inferior deste último (adaptado de Matos, 2007)

estruturas e materializa o contacto SW entre o Complexo Vulcano-Silicioso e o grupo *Flysch*. As falhas tardias variscas, com direcção NNE-SSW produziram importantes movimentos direitos, provavelmente conjugados com os da falha da Messejana. Este sistema encontra-se representado de SE para NW pelas falhas de Esteval, Azinhal, Feitais, Represa, Castelo e Moinho (Matos, 2007).

2.6.1. estrutura

A estrutura geológica na área da mina de Aljustrel tem sido estudada exhaustivamente, estando em constante evolução interpretativa. Resumidamente poder-se-á dizer que os sulfuretos maciços se encontram em rochas de natureza vulcânica (vulcânicas de Aljustrel: tufos, riólitos, etc.), que foram sofrendo alterações devido à passagem dos fluídos quentes, e de água do mar, estando tanto mais alteradas quanto mais próximas das zonas mineralizadas (alteração hidrotermal: clorítica, sericítica, siliciosa) (Barriga, 1983).

No topo das rochas vulcânicas encontramos rochas resultantes de precipitação química e rochas sedimentares (formação siliciosa do Paraíso: jaspes, chertes, xistos negros, xistos púrpura, etc.).

2.6.2. geologia de Aljustrel-Gavião

O Complexo Vulcano-Silicioso, designado nesta zona por grupo de Aljustrel, divide-se pela formação siliciosa do Paraíso, na parte superior, e vulcanitos de Aljustrel, ou formação vulcânica de Aljustrel. Estes últimos, que constituem a base, não são ainda conhecidos, uma vez que este grupo apenas aflora a poucos quilómetros a NE, mas pertence a um alinhamento estrutural diferente, onde se lhe sobrepõe a formação siliciosa do Seixo, o equivalente lateral dos vulcanitos de Aljustrel, embora sem características vulcânicas. Em Aljustrel não se conhecem rochas básicas, ao passo que no Gavião aparecem intrusões

de diabase e lavas espiliticas, com estruturas em almofadas cujo desenvolvimento aumenta para noroeste, no sentido do centro básico de Milhuros.

Estruturalmente a região de Aljustrel-Gavião foi dobrada e carreada de forma complexa (figura 2.13). Em Aljustrel o Complexo Vulcano-Silicioso apresenta uma série de dobras principais e secundárias tombadas para sudoeste, das quais se distinguem quatro anticlinais ou anticlinórios sendo, de sudoeste para nordeste, o anticlinal de Santo Antão, anticlinal de Sudoeste, anticlinório Central e anticlinal de Feitais. A estrutura é ainda cortada pela falha da Messejana, responsável pelo afastamento da massa do Gavião da massa de S. João (Leitão, 1998; Dawson *et al.*, 2001).

2.6.3. estratigrafia e litologia de Aljustrel-Gavião

Os vulcanitos de Aljustrel dividem-se em tufos inferiores e tufos superiores. Cada nível subdivide-se, lateralmente, em duas unidades equivalentes. Estas unidades estão dispostas simetricamente em relação ao eixo da estrutura.

Na parte central localiza-se a divisão espessa de tufo com megacristais (AV1-M) coberta pela divisão de tufo verde (AV2-gt), formando o núcleo do anticlinório de Aljustrel. O anticlinal de Feitais e o anticlinal sudoeste de fácies felsítica (AV1-ff) estão cobertos por Tufo de mina (AV2-mt), o qual contém massas de pirite. A Formação Siliciosa do Paraíso assenta em concordância sobre AV2-gt e AV2-mt (figura 2.14).

Estas relações, vistas em pormenor, são mais complexas. Para sudoeste AV1-ff cobre parcialmente AV1-M, o que também parece acontecer para nordeste. Da mesma forma AV2-mt assenta sobre AV2-gt, além disso, a sudeste da mina de Algarés, observa-se AV1-M coberto por uma pequena espessura de AV1-ff, sobre a qual, por sua vez, assenta AV2-gt, seguida de AV2-mt (Carvalho *et al.*, 1971b).

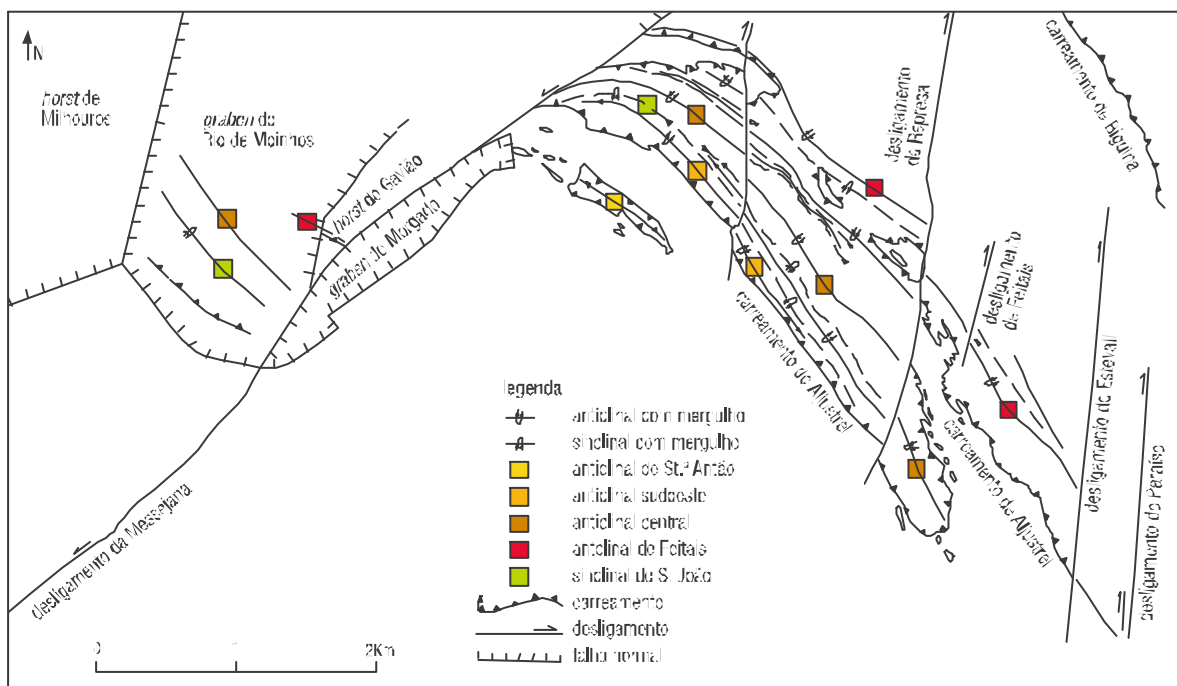


figura 2.13 Geologia estrutural de Aljustrel (adaptado de Carvalho *et al.*, 1971a)

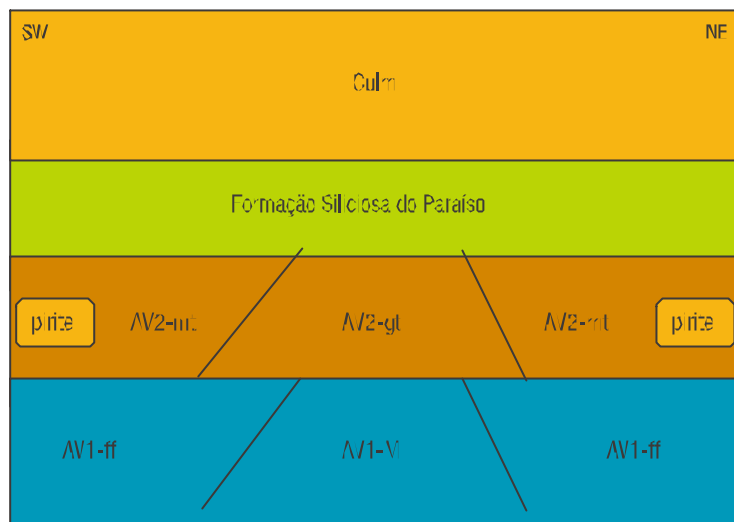


figura 2.14 Disposição das unidades dos vulcanitos de Aljustrel (adaptado de Carvalho *et al.*, 1971b)

A formação siliciosa do Paraíso, com 40-60m de espessura, assenta concordantemente sobre os vulcanitos de Aljustrel. Na sua base aparece um nível descontínuo de jaspe, de espessura variável, podendo mesmo atingir os 10m. Porém, a maior parte da formação siliciosa do Paraíso, consiste em xistos cinzentos-escuros a pretos, com níveis de xistos siliciosos e camadas delgadas de chertes, radiolaritos, tufos (com fenocristais de feldspato e quartzo), tufitos e, mais raramente, grauvaques e calcários.

O Culm, na região de Aljustrel, subdivide-se em formações que se definem pelas suas proporções entre grauvaques e xistos. Assim, da base para o topo, encontram-se grauvaques de Água Forte, xistos de Monte Ruas, grauvaques de Maroiços, xistos de Mau Ladrão, grauvaques de Represas, xistos de Monte da Broca, doleritos da Messejana, camadas sedimentares da bacia Terciária do Sado e formação de Rio de Moinhos (Carvalho *et al.*, 1971a,b).

2.7. mineralização da FPI

Ocorrem três tipos de mineralizações de sulfuretos, na FPI (Strauss *et al.*, 1977; Carvalho *et al.*, 1997a): corpos de sulfuretos estratiformes de maciços polimetálicos (35-51% S ou 66-96% equivalente de pirite), corpos disseminados polimetálicos de pirite (também conhecidos por "safrão", com menos de 35%) geralmente associados a minério e minério fissural ou encordado, que se distingue pela sua proporção relativa em sulfuretos e silicatos (5-25% S). Os depósitos podem ser divididos em três grandes grupos (figura 2.15), autóctones, de transição e alóctones.

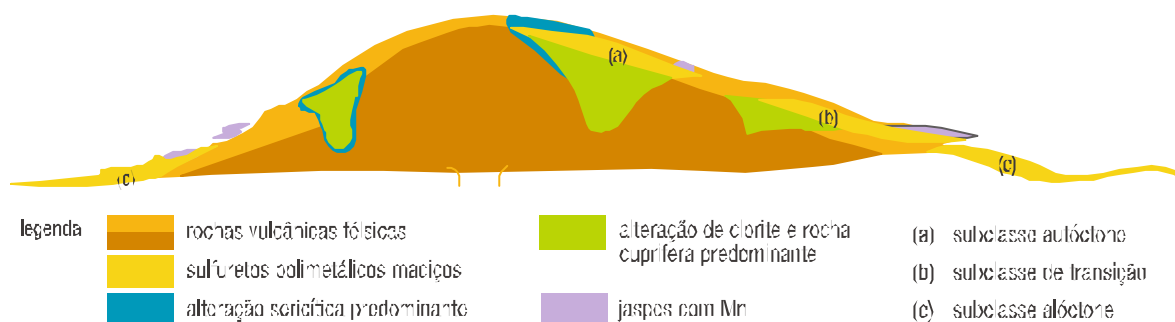


figura 2.15 Tipos de depósitos de sulfuretos maciços, contexto geológico e zona de alteração da FPI (adaptado Carvalho, 1979; Barriga, 1983; Barriga *et al.*, 1990, 1997)

A FPI constitui a maior representação mundial de depósitos maciços de sulfuretos de origem vulcânica, onde se concentram mais de 90 ocorrências individuais. A estimativa de minério gerado, em toda a faixa, é de mais de 1300 milhões de toneladas, dos quais cerca de metade já terão sido explorados ou erodidos. As reservas conhecidas, na área portuguesa, rondam os 350 milhões de toneladas, associados às minas de Aljustrel, S. Domingos e Neves-Corvo. É com base nestes dados que a FPI se encontra classificada como o maior Distrito Mineiro Europeu para metais básicos (Leistel *et al.*, 1994; Carvalho, 1982; Carvalho *et al.*, 1997b).

Alguns dos maiores depósitos são considerados como gigantes (>50Mt), Los Frailes-Aznalcollar – Espanha (>110Mt), Tharsis – Espanha (>100Mt), La Zarza – Espanha (>100Mt) e Sotiel-Migollas – Espanha (>100Mt); outros três são considerados como super-gigantes (> 200Mt), todos em Portugal, ou seja, Rio Tinto (>290Mt), Neves-Corvo (>270Mt), Aljustrel (>230Mt). A composição média das reservas conhecidas é de 1,3% Cu, 2,0% Zn, 0,7% Pb, 0,5g/t Au, 26g/t Ag, 45% S e 40% Fe. Estão também presentes concentrações de metais menores, que vão das dezenas às centenas de ppm, tais como Sn, Co, Cd, Hg, Bi, Sr e In. A grande maioria dos depósitos ocorre em aglomerações que podem representar múltiplos depósitos relacionados com o mesmo centro vulcânico, ou corpos desmembrados e substituídos por fracturas sin-deposicionais ou falhas pós-deposicionais. Os depósitos são normalmente zonados, em zonas de maior grau em zinco perto da parede charneira e zonas ricas em cobre perto da base, separadas por barreiras de menor grau de pirite.

Os depósitos representam lentículas, em conformidade, com extensões aproximadas dos 5Km de comprimento por 1,5Km de largura e 80 a 100m de espessura e são, normalmente, subjacentes por zonas de *stockwork*. Consistem, essencialmente, de pirite (FeS_2) ou, em menores quantidades, blenda (ZnS), calcopirite (CuFeS_2) e galena (PbS), podendo ocorrer também tetraedrite ($(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$), arsenopirite (FeAsS), bornite (Cu_5FeS_4), pirrotite (Fe_{1-x}S ($x=0-0,17$)) e cassiterite (SnO_2).

Os minerais ganga incluem a sílica, carbonatos e barite. As zonas de *stockwork* consistem em alteração de clorite difusa cortada por intrusões e veios de pirite, calcopirite e sílica, que variam lateralmente em alteração difusa de sílica e sericite com disseminações de pirite e blenda.

São conhecidos centenas de pequenos depósitos de manganês dentro do Complexo Vulcano-Silicioso da FPI. Ocorrem em diversas litologias, nomeadamente tufitos, ardósias siliciosas, chertes e jaspes. O conjunto das concentrações de manganês encontra-se, invariavelmente, em rochas vulcânicas tanto máficas como félsicas. Constituem bons indicadores, no campo, de ambientes originados nas etapas finais vulcânicas, mas não podem ser considerados como marcantes na exploração dos depósitos de sulfuretos maciços, pois podem ocorrer associados a episódios vulcânicos produtivos ou não. Os jaspes são particularmente importantes e, talvez, a rocha mais típica da FPI (Carvalho, 1979).

2.7.1. depósitos de sulfuretos maciços vulcanogénicos em Aljustrel

A área mineira de Aljustrel contempla seis massas de pirite dispostas ao longo de uma estrutura do Complexo Vulcano-Silicioso, com cerca de 6Km. Possuem uma mineralogia simples e são compostos, para além da pirite (FeS_2) (> 70%), por menores quantidades de blenda (ZnS), calcopirite (CuFeS_2), galena (PbS), arsenopirite (FeAsS), tetraedrite ($(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$) e sulfossais (Schermerhorn, 1971; Matos & Martins, 2006).

Os depósitos totalizam mais de 300Mt de sulfuretos maciços. Apresentam, normalmente, uma zonagem metálica, devida à forte presença de cobre. A base corresponde a uma zona rica em cobre, constituída por sulfuretos com veios de rochas félsicas alteradas.

As zonas de sulfuretos maciços, ricas em zinco, consistem em pirite de grão fino com menor quantidade de bandas disseminadas de grão fino de blenda, galena, calcopirite e tetraedrite. Os sulfuretos ricos em zinco, economicamente rentáveis, formam uma zona coerente (4 a 4,5% de limite de zinco) e possuem um mergulho moderado, o que os torna um metal com baixo custo de exploração.

A área dos sulfuretos maciços rica em cobre consiste em pirite com menores quantidade de calcopirite, tetraedrite, blenda e galena. As zonas economicamente rentáveis contêm uma mineralização com um limite de cerca de 1,5% de cobre, quantidade decisiva na exploração do sulfureto maciço e da camada subjacente. No entanto a grande maioria dos recursos de cobre encontra-se dentro da mineralização de sulfuretos maciços. O seu tamanho e geometria tornam-nos numa exploração subterrânea de baixo custo.

Das três unidades litostratigráficas da FPI (grupo *Flysch*, Complexo Vulcano-Silicioso e grupo Filito-Quartzítico) é no Complexo Vulcano-Silicioso que se encontram as importantes mineralizações de pirite e manganês.

As massas mineralizadas conhecidas, na área de Aljustrel, que ocorrem perto do topo dos vulcanitos de Aljustrel (rochas vulcânicas), estão dispostas em duas zonas de alinhamento paralelo principais, distribuindo-se, de SE para NW (Schermerhorn & Andrade, 1971; Schermerhorn & Stanton, 1987; Silva *et al.*, 1997), pelo antiforma de Feitais, com as massas de Feitais (54Mt) e Estação (>20Mt), e pelo antiforma SW, com as massas de Algares, Moinho (44Mt), S. João (45Mt) e, a oeste da falha da Mossojana, o jazigo do Gavião (25Mt), sendo que grupo apresenta massas que tendem a ter maiores percentagens médias em cobre e mais baixas para o zinco. Já o alinhamento Norte, correspondente ao flanco normal do anticlinal setentrional, inclui jazigos que formam uma única massa aflorante de grandes dimensões, onde a mineralização e as suas rochas encaixantes mostram forte dobramento (figura 2.17) (Schermerhorn & Stanton, 1987).

2.7.1.1. jazigos do primeiro alinhamento

O **jazigo de Algares** (figura 2.18), que se estende ao longo de 1Km, é constituído essencialmente por três massas mineralizadas, designadas por filão do Muro, filão do Centro e filão Este, com orientação média de 144° de azimuth. Trata-se do único jazigo que aflora com imponente chapéu de ferro, com inclinação para NE entre 52° no extremo SE, a 75° no extremo NW, estando encaixado em AV2-mt, geralmente muito xistificado e, com frequência, sem fenocristais (Andrade, 1967; Carvalho *et al.*, 1971a,b).

Devido a ser um dos jazigos que sofreu exploração mais intensa, a sua forma é quase completamente conhecida. No perfil longitudinal da figura 18a é visível a sobreposição de três massas muito irregulares, tendo atingido espessuras da ordem dos 30m (Andrade, 1967), sendo que toda a mineração se encontra dentro dos pórfiros, na sua fácies superior.

O afloramento da mineralização de Algares, devido ao aspecto característico de chapéu de ferro, provocou, por erosão diferencial, uma colina cuja crista é constituída por aquele afloramento e cujo ponto mais alto se situa próximo do Poço de Viana (Carvalho *et al.*, 1971b).

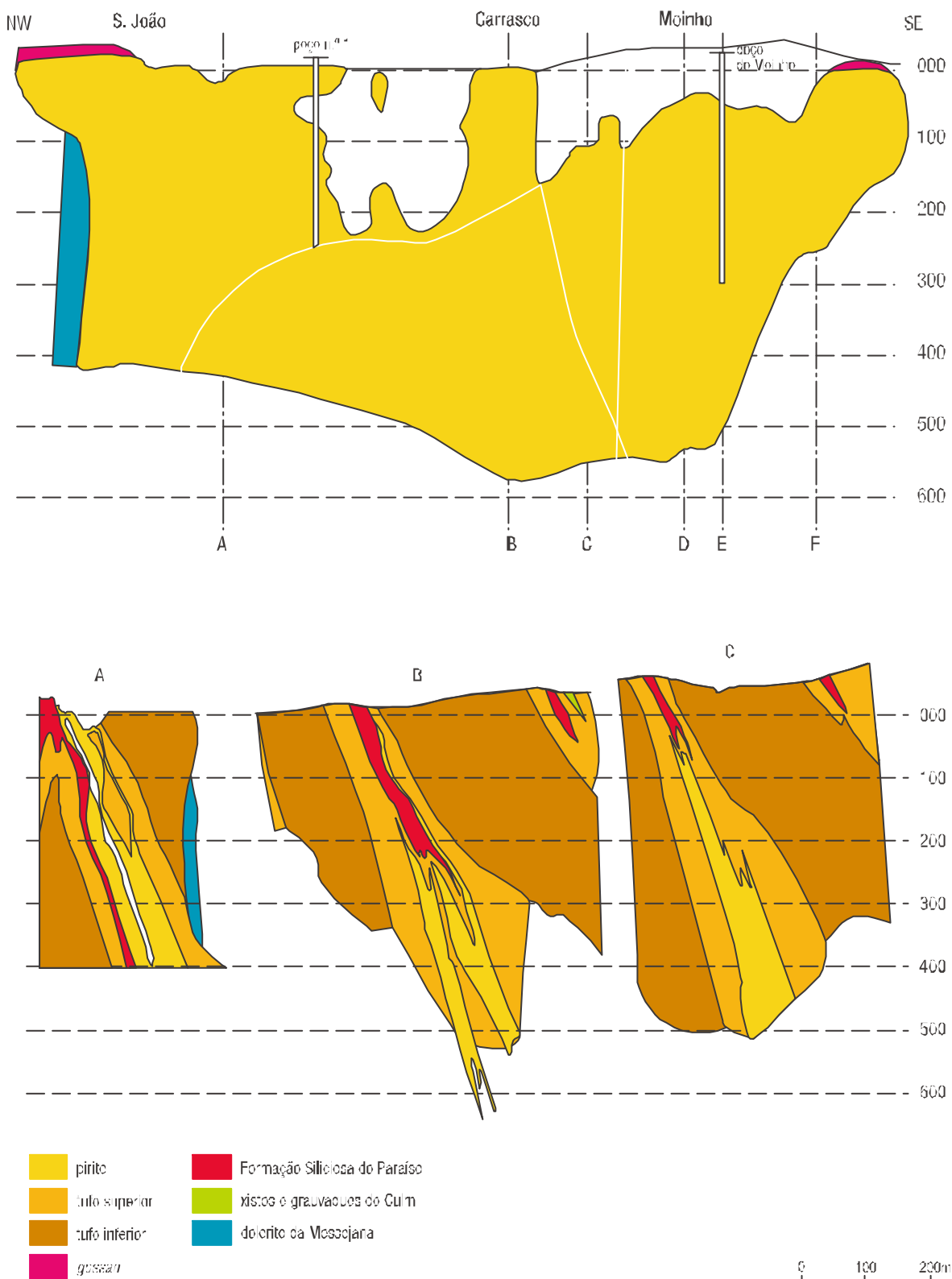
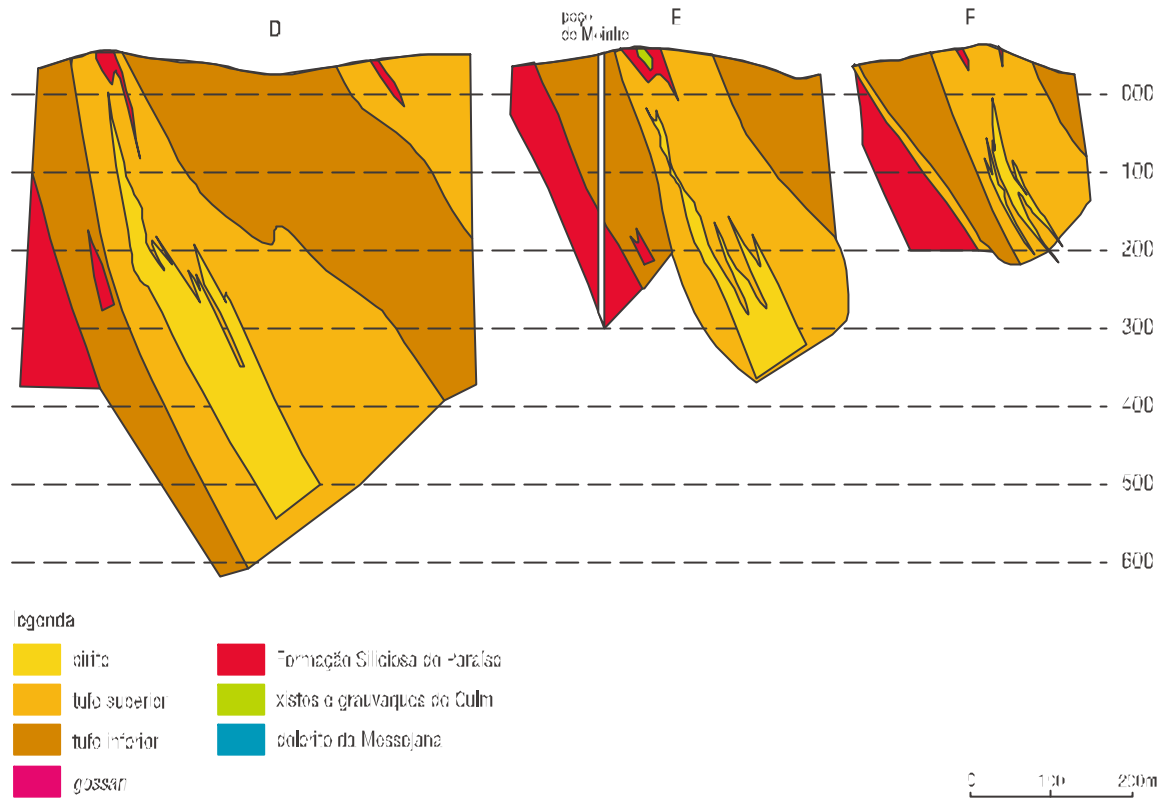


figura 2.16a Perfil longitudinal das minas de Ajustrel (adaptado de Andrade, 1967)



2.16b Perfis transversais das minas de Aljustrel (adaptado de Andrade, 1967)

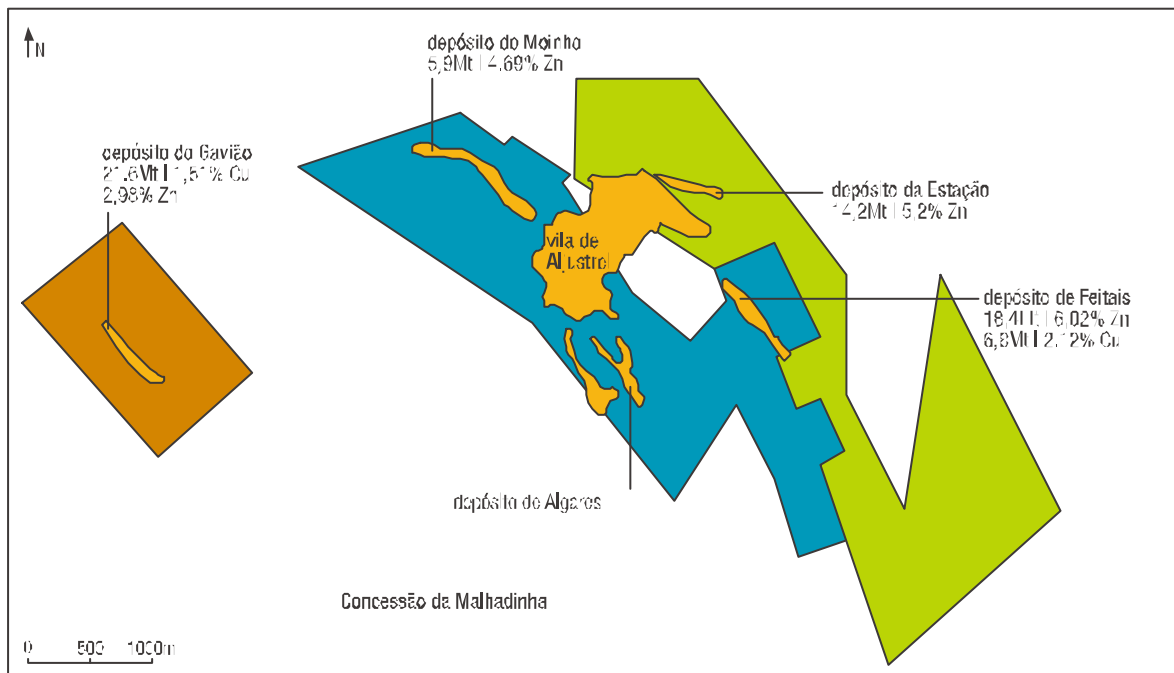


figura 2.17 Projecto da empresa Pirites Nentejanas (adaptado de Eurozinc, 2007)

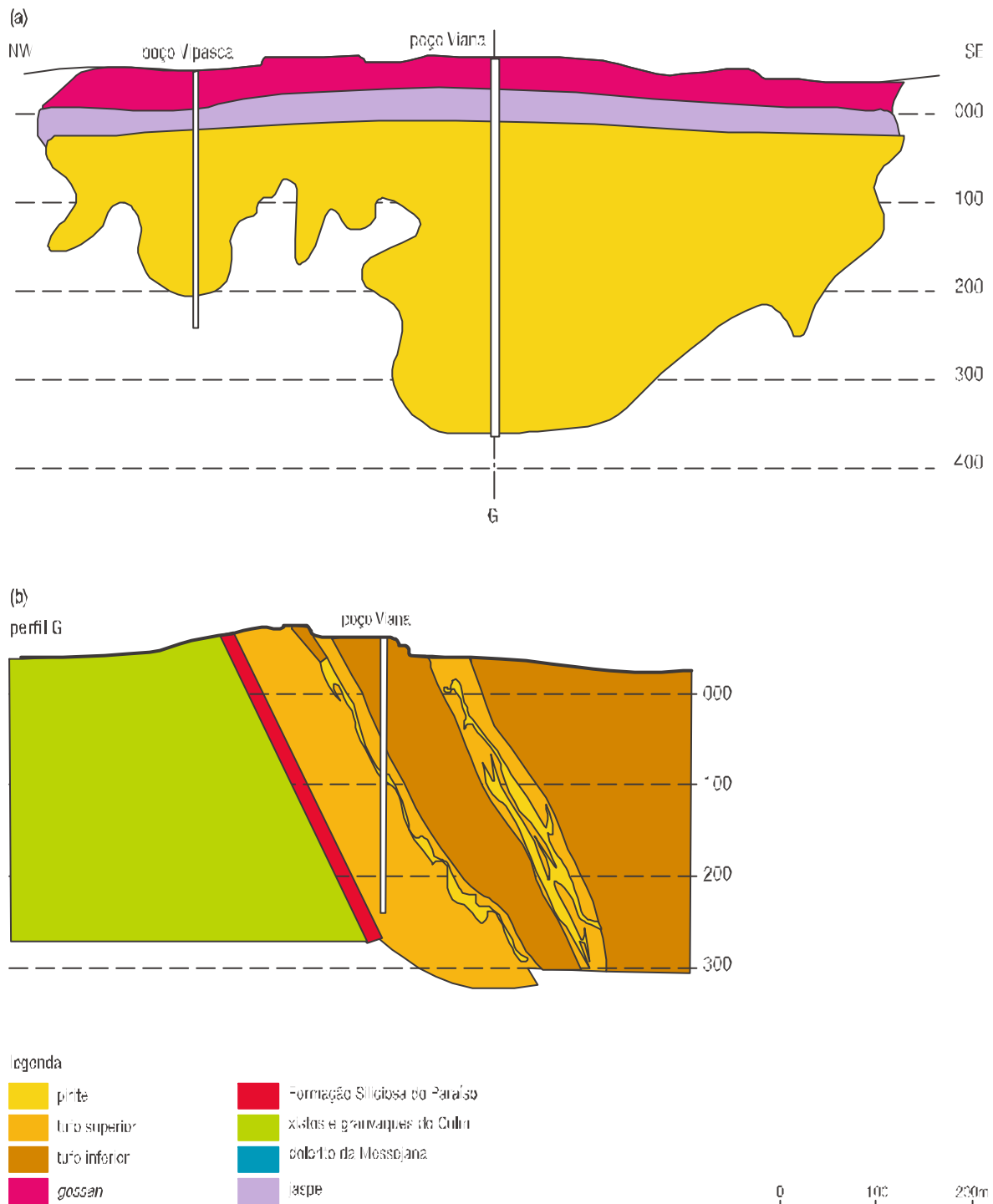


figura 2.18 Jazigo de Aljustrel onde se evidenciam as três massas minerais (a) perfil longitudinal (b) perfil transversal (adaptado de Carvalho *et al.*, 1971a)

O **filão de Muro**, cujo afloramento é visível da colina de Algares, termina em profundidade, na extremidade NW, entre o piso 50 e o 95. O **filão do Centro**, muito estreito na zona NW e mais possante para SE, prolonga-se até aos pisos inferiores. Foi seguido até ao piso 310, onde as suas dimensões e teores o tornavam inexplorável (Andrade, 1967; Carvalho *et al.*, 1971b).

O **filão Este**, constituído por duas “veias”, tinha o seu maior desenvolvimento (possança até 15m) no lado NW dos pisos superiores, até ao 30. Do piso 70 para baixo atingiram possanças de 25 (Carvalho *et al.*, 1971b).

O jazigo de S. João do Deserto é constituído por três massas de pirite designadas, do muro para o tecto, pelo seu número de ordem, Não havia praticamente, chapéu de ferro, pelo menos nas zonas mais largas. Estendendo-se ao longo de 350m, a primeira e a segunda massa, chegam a atingir os 20 a 30m de espessura; enquanto que a terceira não excede os 10m (Andrade, 1967; Carvalho *et al.*, 1971a).

Este jazigo possui orientação EW, motivada pela proximidade imediata da falha da Messejana que o corta, com inclinação subvertical a 78° (Carvalho *et al.*, 1971b).

Para o lado de Aljustrel estas mineralizações prolongam-se por meio de pequenas lentículas até que, a uns 250m de distância e com um comprimento de 150m, se encontra o **filão do Carrasco**, que representa uma massa tubular muito regular com espessura de 2 a 7m, conhecida desde a superfície até ao piso 200 (Andrade, 1967). As massas mineralizadas estão em contacto directo com os xistos siliciosos da **formação siliciosa do Paraíso**. Do piso 200 para cima apenas existem as massas de S. João.

A **mineralização do Moinho**, que se estende ao longo de 550m, é a maior dos três jazigos do primeiro alinhamento. É constituída por três massas principais, conhecidas pelo seu número de ordem de muro ao tecto. Tais massas tendem a ligar-se em profundidade abaixo do piso 255, formando uma única e possante massa com perto de 100m de largura (figura 2.16b) Com uma inclinação que varia de subvertical na extremidade SE a 75° em quase toda a massa, tendendo a deslocar-se para NW e aproximar-se do de S. João, em profundidade (Andrade, 1967; Carvalho *et al.*, 1971a). Situa-se no bordo SW do sinclinal de S. João, na parte superior do AV2-mt, sendo que é constituído por um núcleo central da formação siliciosa do Paraíso, que assenta em Av2-mt e em algumas lentículas de jaspe.

O jazigo do Moinho é do tipo não aflorante (com o ponto mais alto a 50m da superfície), mas, no entanto, possui um chapéu de ferro subterrâneo. Trata-se de um jazigo com características diferentes das de Algares, constituído por óxidos de ferro (hematite) com cavidades parcialmente cheias por terrenos caídos (brechas não consolidadas), rochas lixiviantes, com textura pedregosa, tendo sido encontradas concentrações de pó branco de sulfato de chumbo quase puro (Carvalho *et al.*, 1971a). A interpretação das cartas gravimétricas deverá ter em atenção a textura deste chapéu de ferro. Efectivamente, a influência da sua pouca densidade pode ser suficiente para mascarar, ou até anular, uma anomalia gravimétrica que um jazigo mais denso de pirite deveria indicar. O teor da mineralização no Moinho é do mesmo tipo da de Algares, com uma distribuição dos teores de Zn, Pb e Cu bastante irregular (Carvalho *et al.*, 1971).

As determinações microscópicas em amostras da mina do Jazigo do Moinho permitiram identificar os minerais essenciais, acessórios e raros, seriados na

tabela 2.2 por ordem decrescente, segundo a frequência com que ocorrem (Gaspar, 1996).

A mineralogia e a paragénese do jazigo do Moinho divergem das de Feitais no que respeita, essencialmente, à ocorrência de sulfossais de Bi. Para além da ocorrência de sulfossais de Bi, a calcopirite é também mais abundante.

tabela 2.2 Minerais essenciais, acessórios e raros de amostras da mina do Moinho, por ordem decrescente segundo a frequência com que ocorrem

minerais essenciais	minerais acessórios	minerais raros
pirite [FeS ₂]	bournonite [SbPbCuS ₃]	glaucodoto [(Cl, Fe)AsS]
blenda [ZnS]	tetradrite [Sb ₄ Cu ₁₇ S ₁₃]	gudmundite [FeSbS]
calcopirite [CuFeS ₂]	ternantite [As ₄ Cu ₁₇ S ₁₃]	magnetite [Fe ₃ O ₄]
galena [PbS]	kobellite [Pb ₅ (Bi, Sb) ₈ S ₁₇]	aikinite [PbCuBiS ₃]
arsenopirite [AsFeS]	pirroite [FeS _(1-x)]	harobetsirite [(Bi, Sb) ₂ S ₃]
	esfanite [Cu ₂ FeSnS ₄]	menghinite [Pb ₁₃ CuSb ₇ S ₂₄]
	cassiterite [SnO ₂]	betchilinite [Cu ₁₆ (Fe, Pb)SbS ₆]
	marcassite [FeS ₂]	bismutirite [Bi ₂ S ₃]
	cobaltite [CoAsS]	bismuto nativo [Bi]
	boulangérite [Pb ₅ Sb ₄ S ₁₁]	enargite [Cu ₃ AsS ₄]
	janerosite [Pb ₄ FeSb ₆ S ₁₄]	mackinacite [(Fe, Ni) ₃ S ₈]
	berthierite [FeSb ₂ S ₂]	galenobismutinite [PbBi ₂ S ₄]
		plagionite [PbSb ₈ S ₁₇]
		allockasite [(Co, Fe)AsS]

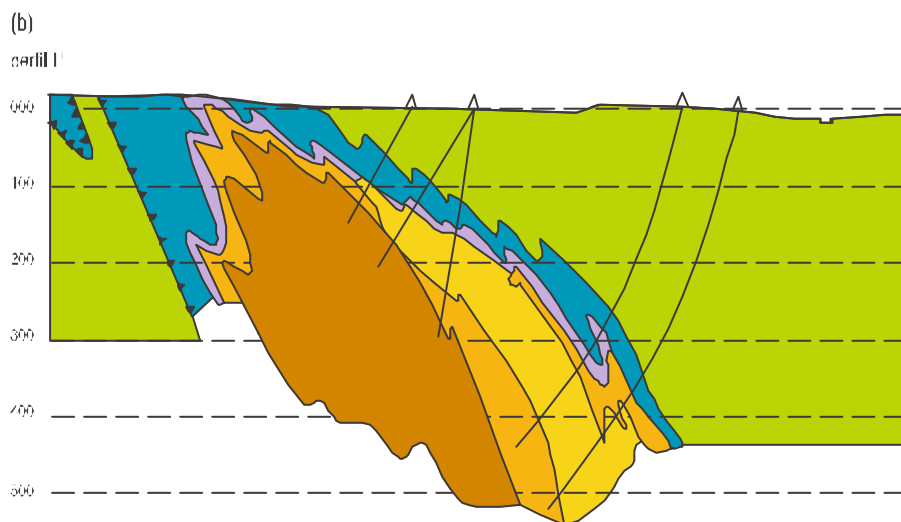
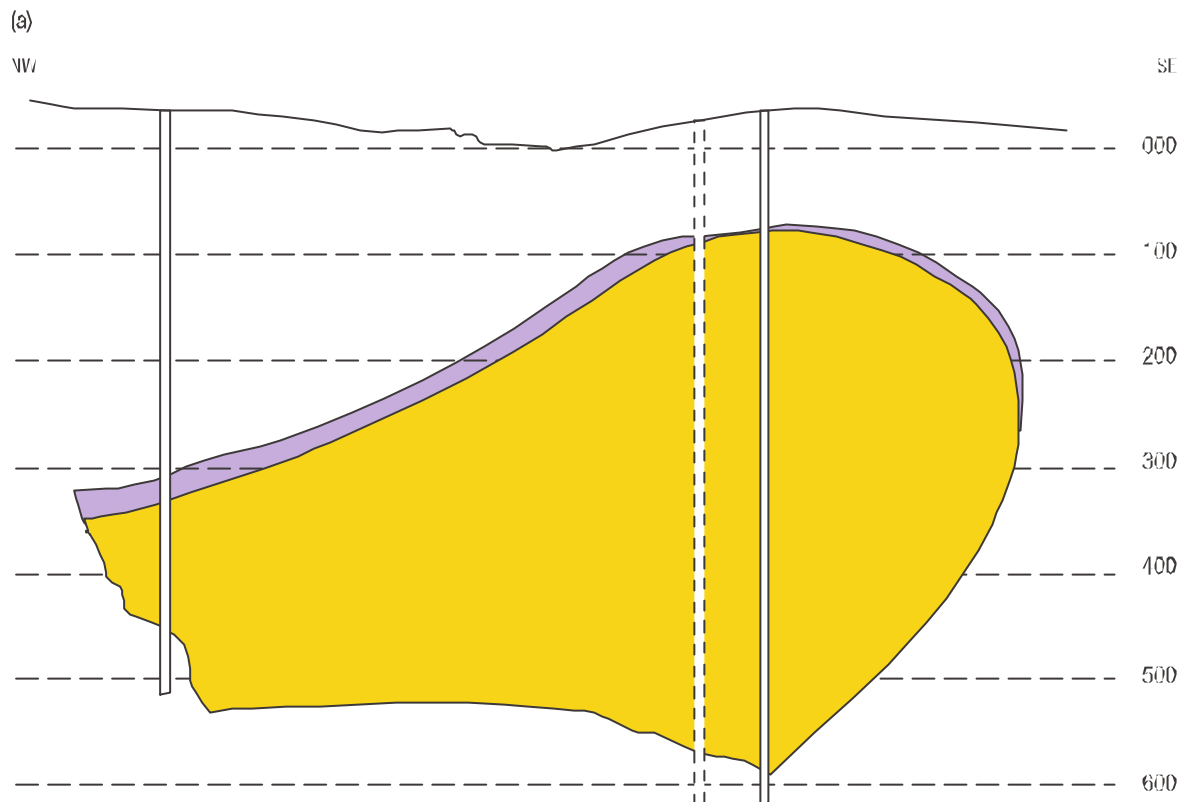
2.7.1.2. jazigos do segundo alinhamento

O jazigo de Feitais (figura 2.19) tem características diferentes das existentes no alinhamento de Algares - S. João. A sua descoberta deve-se, exclusivamente, à aplicação de métodos geofísicos, nomeadamente a gravimetria. Devido a factores como a posição da massa, a distância à superfície e as suas dimensões, a variação da anomalia de Bouger foi intensa, com uma amplitude de 1,2mgal (Carvalho *et al.*, 1971a).

Os últimos estudos efectuados neste jazigo indicam que possui uma enorme massa, a qual ultrapassa os 500m de comprimento por 100m de largura. A anomalia de Bourger é bastante intensa, com uma amplitude na ordem dos 1,0mgal (Eurozinc, 2007).

A posição estratigráfica do jazigo de Feitais é bem nitida. Encontra-se sob o limite inferior da formação do Paraíso, separado desta por lenticulas de jaspe. Do piso 200 para cima, entre a formação do paraíso e a massa, as sondagens cortaram sempre jaspe com espessuras que variam entre os 2 a 8m. Em profundidade, entre o jaspe e a pirite, encontra-se um nível de AV2-mt com tufo da mina, e começa a desenvolver-se, muitas vezes com impregnações piritosas (Carvalho *et al.*, 1971b).

O estudo microscópico efectuado em 200 superfícies polidas de minerais de Feitais revelou os minerais essenciais, acessórios e raros, apresentados na tabela 2.3 por ordem decrescente de frequência (Gaspar, 1996). Os minerais ganga, que ocorrem neste jazigo, são o quartzo, os carbonatos e raramente a barite. É frequente a ocorrência, no seio dos sulfuretos, de relíquias de rochas fortemente sericitizadas ou cloritizadas.



legenda



0 100 200m

figura 2.19 Jazigo de Felais (a) perfil longitudinal; (b) perfil transversal (adaptado de Carvalho *et al.*, 1971a)

tabela 2.3 Minerais essenciais, acessórios e raros de amostras da mina de Feitais, por ordem decrescente segundo a frequência com que ocorrem diferentes elementos não

minerais essenciais	minerais acessórios	minerais raros
pirite [FeS ₂]	bournonite [SbPbCuS ₂]	bismuto nativo [Bi]
blenda [ZnS]	janerosite [Pb ₄ FeSb ₈ S ₁₄]	gudmundite [FeSbS]
calcopirite [CuFeS ₂]	pirrotite [FeS _(1-y)]	kobollite [Pb ₅ (Bi,Sb) ₈ S ₁₇]
tetraedrite [Cu₁₇Sb₄S₁₃]	cassiterite [SnO ₂]	magnetite [Fe ₃ O ₄]
tenantite [Cu₁₂As₄S₁₃]	esfanite [Cu ₂ FeSnS ₄]	hematite [Fe ₂ O]
galena [PbS]	meneghinite [Pb ₁₃ CuSb ₇ S ₂₄]	
arsenopirite [AsFeS]	marcassite [FeS ₂]	
	cobaltite [CoAsS]	

nota: o negrito assinala os minerais que ocorrem em maior quantidade

A pirite de Feitais possui uma composição análoga à dos restantes jazigos, apresentando, porém, teores médios de enxofre e cobre um pouco inferiores, distribuídos de forma heterogénea. Esta massa é marcada pela distribuição dos ferrosos. O Cu concentra-se a muro, o Zn e o Pb concentram-se a tecto, onde o teor de Zn+Pb excede frequentemente os 10% (Carvalho *et al.*, 1971b).

Segundo os estudos de viabilidade deste jazigo, levados a cabo desde 1997 pela empresa Eurozinc, as 24Mt da massa de minério encontrada correspondem a teores de 0,22% Cu; 1,71% Pb; 5,52% Zn; 60,75g/t Ag; 0,72g/t Au (Eurozinc, 2007).

Em 1968, uma abordagem efectuada pelo Serviço de Fomento Mineiro, investigou uma anomalia, mais tarde designada por anomalia da Estação, localizada no flanco noroeste do anticlinal de Feitais. Esta medição gravimétrica surgiu no seguimento de um levantamento geológico na área de Aljustrel, a qual mostrou que o limite poente da grande anomalia de Bourger, centrada na grande massa de pirite de Feitais, coincidia com o desligamento da Represa. Admitindo que o jazigo de Feitais foi cortado pelo desligamento, a sua continuação a noroeste deveria aparecer no lado oeste da falha, onde se fizeram incidir os estudos de gravimetria, que culminaram com a descoberta da massa de pirite da Estação (Carvalho *et al.*, 1971a). A massa de pirite não é, no entanto, tão representativa quanto a de Feitais. De facto enquanto a anomalia de Feitais tem uma amplitude de cerca de 1,0mgal, a anomalia da estação é da ordem dos 0,4mgal.

A massa de pirite da Estação atinge uma espessura de 61m, mas fecha rapidamente em cunha para cima, tal como a massa de Feitais, a cerca de 300m de profundidade. Tem inclinações de 55-60° para NE. O minério desta massa é semelhante ao de Feitais, consistindo em pirite com conteúdos variáveis de blenda, galena, calcopirite e alguma ganga (calcite e sílica microcristalina). A ocorrência destes veios e pontuações de ganga, tornam o minério um tanto impuro.

Na superfície da massa de pirite de Estação encontram-se grauaques maciços do Culm. Por debaixo destes sucede-se a formação do Paraíso, na base da qual ocorrem jaspes com espessuras até 2,5m, sobrejacentes a AV2-mt, horizonte de tufo da mina que, por sua vez, atinge alguns metros de espessura. Por debaixo segue-se, em contacto bem definido, o minério maciço pirítico. Subjacente à massa aparecem brechas de tufos que representam o nível AV1-B (tufo-brecha), no topo de AV1-ff, interpondo-se, por vezes, alguns metros

de rocha clorítica de grão fino. Todas estas rochas estão fortemente xistificadas (Carvalho *et al.*, 1971b).

No que respeita aos depósitos do Gavião, os últimos deste alinhamento, não parece provável que a sua descoberta se deva apenas à aplicação dos métodos geofísicos e geoquímicos, como aconteceu com as outras massas deste alinhamento. Somente a aplicação dos conhecimentos da estratigrafia e da estrutura geológica de Aljustrel poderia ter conduzido à sua descoberta (Carvalho *et al.*, 1971b).

Sabia-se, com efeito, que a piritite da massa de S. João do Deserto era recortada pela falha de desligamento da Messejana, e que a sua continuação deveria ser procurada para sudoeste, por debaixo dos sedimentos do terciário que enchem o graben de rio de Moinhos.

Tal pressuposto levou, em finais de 1969, a que a *Sociedade Mineira de Santiago* efectuasse oito sondagens ao longo do perfil NE-SW, situado a 400m a noroeste do presumível traço do desligamento da Messejana. O objectivo era apenas penetrar a cobertura terciária e colher amostras frescas do substrato paleozóico, a fim de delinear a sua geologia. Conseguiu-se localizar o carreamento de Aljustrel (figura 2.20) e os prolongamentos do sinclinal de S. João e do anticlinal central de Aljustrel. Posteriormente, e com base nestes resultados, a perfuração de uma sondagem inclinada profunda, implantada no flanco nordeste do sinclinal de S. João, cortou 3,5m de piritite.

As sondagens subsequentes, já em 1970, mostraram não só a continuação de minério de S. João, mas também a existência de um novo jazigo importante no flanco sudoeste do sinclinal de S. João, ou seja, na posição da massa do Moinho, mas não ligado a ela. Estava descoberta a massa do Gavião. Apesar das 25,7Mt de massa de minério encontrada, das quais 1,51% Cu, 1,01% Pb e 2,98% Zn (Eurozinc, 2007), a massa do Gavião, não será explorada.

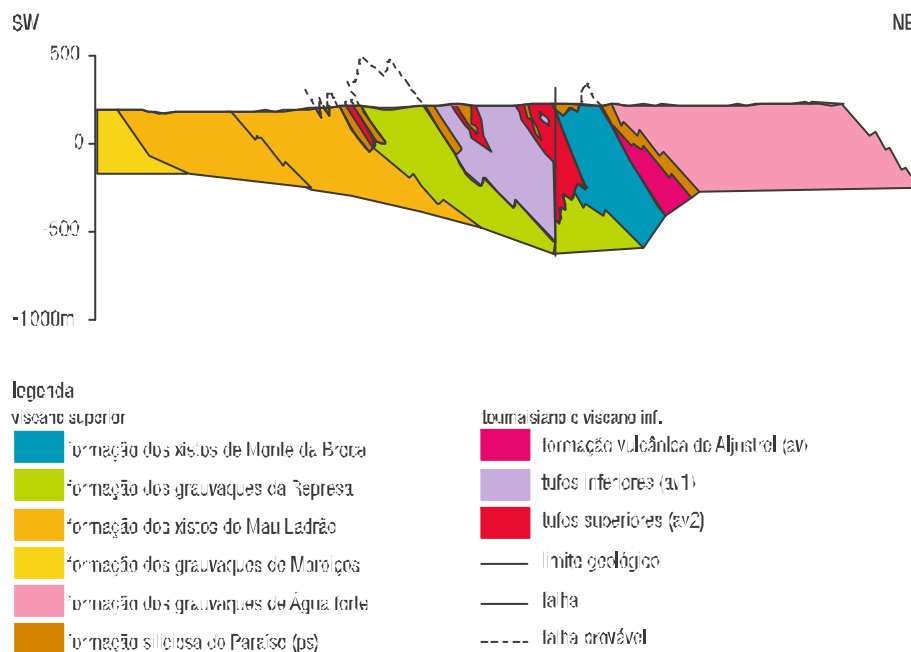


figura 2.20 Corte geológico do carreamento de Aljustrel (adaptado Schermerhorn *et al.*, 1987)

Os últimos estudos efectuados neste jazigo indicam que possui uma enorme massa, a qual ultrapassa os 500m de comprimento por 100m de largura. A anomalia de Bourger é bastante intensa, com uma amplitude na ordem dos 1,0mgal (Eurozinc, 2007).

2.7.1. depósitos de Mn

Um estudo dos sedimentos metalíferos e siliciosos de Aljustrel (Barriga, 1983; Barriga & Fyfe, 1988), indica uma origem hidrotermal destas rochas, e desvenda uma relação próxima com a génese dos minérios associados de sulfuretos (Barriga & Fyfe, 1997).

A área mineira de Aljustrel contém seis depósitos maciços de sulfuretos metalogénicos, com concentrações, rentáveis economicamente, de zinco, chumbo, cobre e prata. Estes depósitos são classificados como VHMS e são considerados como depósitos exalativos formados no, ou perto do, chão oceânico, em bacias controladas por um sistema de falhas. Os depósitos estão, espacial e temporariamente, associados a vulcanismo félsico, o qual é a provável fonte de calor que accionou o sistema hidrotermal.

2.8. pedologia

A formação de um solo é um processo demorado, onde os diversos horizontes do seu perfil resultam da combinação de diferentes fenómenos físicos, químicos e biológicos. Destes destacam-se, pela sua importância, a natureza da rocha-mãe, o clima, a topografia e fisiografia, a vegetação, o tempo e as actividades antrópicas. A sua interacção incute aos solos características e propriedades específicas, originando uma grande variedade. A sua sistematização implica um conhecimento da cobertura pedológica e uma escolha de critérios (génese, morfologia e outras características do solo, clima da região, regime hídrico, etc.) de forma a estabelecer diferentes categorias (Ferreira, 2004).

Com o evoluir dos conhecimentos, e das ferramentas de apoio à análise, a classificação dos solos tem vindo a sofrer alterações. Alguns países desenvolveram um sistema próprio por se considerar como o mais adequado à realidade local. Em Portugal existe a classificação proposta por Cardoso (1974), conhecido como o sistema de classificação português, amplamente divulgado e utilizado. É este sistema que será utilizado no presente trabalho.

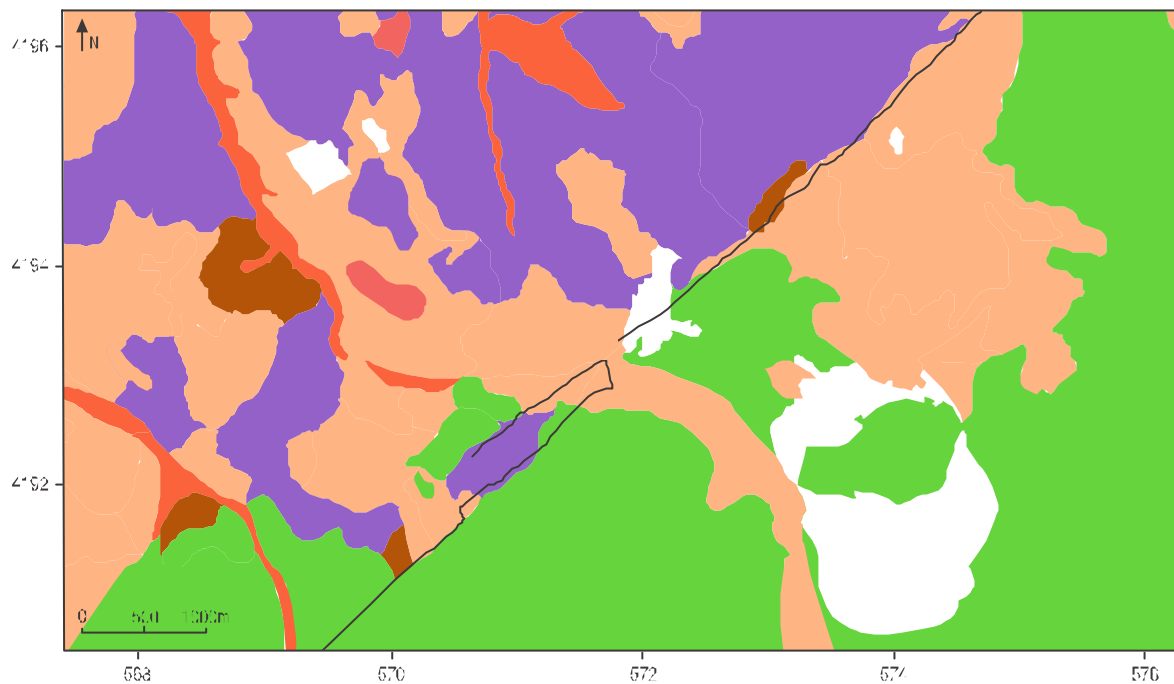
As diversas unidades taxonómicas consideradas na carta de solos de Portugal (CNRDA, 1972) foram agrupadas em 9 unidades de maior âmbito: arenossolos, cambissolos, fluvisolos, leptossolos, luvisolos, podzóis e planossolos, vertissolos e solos cálcicos.

Na figura 2.21 encontra-se a carta de solos correspondente à área estudada no presente trabalho, onde as cores correspondem às presentes na carta de solos de Portugal. Na figura é possível observar que as unidades taxonómicas presentes na área em estudo são, essencialmente, os cambissolos, fluvisolos, leptossolos, luvisolos, planossolos e vertissolos. A E da falha da Messejana, zona de origem vulcânica, apenas se encontram leptossolos e luvisolos, no entanto a W da mesma falha na bacia sedimentar do Sado, as unidades mais abundantes são os vertissolos e os luvisolos, encontrando-se os restantes apenas com representação pontual.

De seguida apresenta-se uma breve descrição das unidades taxonómicas consideradas neste projecto, baseada nos trabalhos de Cardoso (1965), Cardoso *et al.* (1973), Fonseca & Marado (1991), FAO (1988) e Ferreira (2004).

cambissolos

São solos que possuem um horizonte cámbico, sendo os seus horizontes de diagnóstico o A ócrico ou úmbrico, ou um horizonte mólico, que assenta sobre



legenda

fluvisolos vertissolos leptossolos luvisolos cambissolos planossolos área social falha messejana

constituição das unidades pedológicas da área em estudo

	ASoc	área social
cambissolos	Pb	solos hidromórficos, sem horizonte eluvial, para solos argiluvados pouco insaturados, de xistos ou grauwagues ou materiais de ambos
	Pc	solos calcários, cardos dos climas de regime xérico, normais, de calcários não compactos
	Vc	solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, normais, de calcários
	Vct	solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, normais, de arenitos grosseiros associados a depósitos calcários
	Vcx	solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, normais, de xistos ou grauwagues associados a depósitos calcários
fluvisolos	A	solos incipientes, aluvissolos medanos, não calcários, de textura mediana
	Px(d)	solos argiluvados pouco insaturados, mediterrânicos pardos, de materiais não calcários, normais de xistos e grauwagues (fase colgada)
leptossolos	Cpv	carros castanho-avermelhados calcários pouco descarbonatados, de rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas associadas a calcário frável, ou de grés argilosos ou margas
luvisolos	Fc	solos incipientes, fluvisolos dos climas de regime xérico, de calcários compactos ou doleritos
	Ex	solos incipientes, fluvisolos dos climas de regime xérico, de xistos e grauwagues
	Pac	solos argiluvados, pouco insaturados, solos mediterrânicos cardos de materiais calcários, para carros, de margas ou calcários margosos ou calcários não compactos associados com xistos, grés argilosos, argilitos ou argilas ou de grés argilosos calcários (de textura franca a franco-argilosa)
	Pag	solos argiluvados, pouco insaturados, solos mediterrânicos, cardos, de materiais não calcários, para solos hidromórficos, de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas (de textura arenosa a franco-arenosa)
	Pag(p)	solos argiluvados, pouco insaturados, solos mediterrânicos, cardos, de materiais não calcários, para solos hidromórficos, de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas (de textura arenosa a franco-arenosa) (fase pedregosa)
	Ps	solos hidromórficos, com horizonte eluvial, planossolos, de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas
	Pv	solos argiluvados, pouco insaturados, mediterrânicos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de rochas cristalofílicas
	Px	solos argiluvados, pouco insaturados, solos mediterrânicos, cardos, de materiais não calcários, normais, de xistos e grauwagues
	Sb	solos incipientes, solos de baixas (coluvossolos), não calcários de textura mediana
	Sr	solos argiluvados, pouco insaturados, solos mediterrânicos, vermelhos ou amarelos, de material não calcário, normais, de raíças ou materiais airos
	Sr(h)	solos argiluvados, pouco insaturados, solos mediterrânicos, vermelhos ou amarelos, de material não calcário, normais, de raíças ou materiais airos (fase mal drenada)
	Sr(p)	solos argiluvados, pouco insaturados, solos mediterrânicos, vermelhos ou amarelos, de material não calcário, normais, de raíças ou materiais airos (fase pedregosa)
planossolos	Pct	solos calcários, cardos dos climas de regime xérico, normais de arenitos grosseiros associados a depósitos calcários
vertissolos	Bvu	carros castanho-avermelhados, calcários, muito descarbonatados, de doleritos ou gabros ou rochas cristalofílicas básicas associadas a calcários fráveis
	Cb	carros castanho-avermelhados, não calcários, de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas
	Cb(d)	carros castanho-avermelhados, não calcários, de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas (fase colgada)
	Cp	carros pretos, calcários pouco descarbonatados, de rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas associadas a calcário frável, ou grés argilosos calcários ou margas

figura 2.21 Carta de solos da área de Aljustrel em estudo (adaptado da Carta de solos de Portugal, folha 529 Aljustrel, CNROA, 1972)

um horizonte B câmbico com uma saturação em bases menor que 50%. Estes solos não apresentam propriedades sálicas, nem as características diagnósticas dos vertissolos e andossolos. O horizonte B pode não existir se possuírem um horizonte A úmbrico com mais de 25cm de espessura. São solos relativamente pouco evoluídos de perfil AC ou ABC, formados a partir de rochas não calcárias. O horizonte B câmbico é um horizonte de alteração moderada que se traduz por formação de argila, aparecimento de coloração avermelhada devido à acumulação de ferro libertado, desaparecimento da estrutura da rocha originária, não devendo ter textura mais ligeira do que a arenosa-franca.

São os solos mais representados em Portugal, apesar de poderem ter na sua origem diferentes rochas-mãe e condições climáticas distintas. No nosso país surgem associados, maioritariamente, a formações graníticas e em zonas mais húmidas e de relevo mais acentuado. A sua fertilidade, tal como as suas características e propriedades, são muito variáveis.

De acordo com Ferreira (2004) estes solos são particularmente enriquecidos em As e Th, e medianamente enriquecidos em Al, K, e P (enriquecidos em Mg, Fe, Co, V, Cr, Ni, Ba, Zn, Cu, K, Mn).

Os cambissolos que compõem a zona em estudo são, segundo a sua unidade taxonómica:

- › solos hidromórficos, sem horizonte eluvial, para-solos argiluvitados pouco insaturados, de xistos ou grauvaques ou materiais de ambos
- › solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, normais, de calcários não compactos
- › solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, normais, de calcários
- › solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, normais, de arenitos grosseiros associados a depósitos calcários
- › solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, normais, de xistos ou grauvaques associados a depósitos calcários

fluviissolos

São solos que apresentam propriedades flúvicas, sem horizontes de diagnóstico que não seja um horizonte A ócrico, mólico ou úmbrico, ou H histórico, ou um horizonte sulfúrico, podendo apresentar material sulfídico nos primeiros 125cm, ou ainda propriedades sálicas. A designação de *propriedades flúvicas* refere-se a solos aluvionares formados por sedimentos fluviais marinhos ou lacustres que recebem materiais recentes em intervalos regulares.

Os fluviissolos são solos incipientes, uma vez que os processos de formação não actuaram durante tempo suficiente para provocar qualquer diferenciação, a não ser, em muitos casos, uma certa acumulação de matéria orgânica à superfície. Embora por vezes apresentem variação morfológica com a profundidade, não possuem verdadeiros horizontes genéticos. As camadas sedimentares depositadas em diferentes ocasiões diferenciam-se por características diversas, como a textura, cor, teor em matéria orgânica, teor de carbonatos, etc., mostrando normalmente transições abruptas entre elas.

Segundo Ferreira (2004), os fluviissolos, constituem o terceiro grupo de solos mais pobres nos elementos químicos Al, As, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Ni, P, Pb, Sr, Th, V e Zn.

Os fluviissolos que compõem a zona em estudo são, segundo a sua unidade taxonómica:

- › solos incipientes, aluviossolos modernos, não calcários, de textura mediana

- › solos argiluvitados pouco insaturados, mediterrânicos pardos, de materiais não calcários, normais de xistos e grauvaques (fase delgada)

leptossolos Constituem, em geral, solos muito delgados, limitados em profundidade por rocha consolidada. Não possuem outros horizontes de diagnóstico além de um horizonte A mólico, úmbrico ou ócrico, com ou sem horizonte câmbrico. Como solos incipientes que são apresentam fraco desenvolvimento devido à recente exposição da rocha-mãe à acção dos processos de formação do solo ou, mais vulgarmente, por causa da actuação da erosão acelerada que ocasiona a remoção de material, sobretudo o mais fino, à medida que se vai formando. A ligeira meteorização e alguma acumulação de matéria orgânica são, praticamente, as únicas características observáveis a um nível de espessura do solo muito reduzido.

Apresentam um ligeiro enriquecimento em Ba, Cr, Fe, Mg, Sr e Zn e teores elevados em Co, Cu, Mn, e Ni. (Ferreira, 2004).

Os leptossolos que compõem a zona em estudo são, segundo a sua unidade taxonómica:

- › barros castanho-avermelhados, calcários pouco descarbonatados, de rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas associadas a calcário friável, ou de grés argilosos ou margas

luvissolos São solos que possuem um horizonte B árgico com capacidade de troca catiónica maior ou igual a 24cmol(+)/Kg de argila, e a base de saturação de 50% ou mais em todo o horizonte B. Não apresentam horizonte A mólico nem horizonte E que assente abruptamente sobre um horizonte de permeabilidade fraca, devido à distribuição da argila. São solos evoluídos de perfil ABtC em que Bt representa um horizonte árgico, isto é, um horizonte que possui uma percentagem de argila superior à dos horizontes adjacentes. O processo dominante nestes solos é a argiluviação, ou seja, a migração da argila de níveis superiores para o horizonte Bt (Ferreira, 2004).

Surgem de litologias muito variadas, especialmente no Alentejo, em zonas planas, apresentando espessuras e fertilidade igualmente variáveis.

Apresentam teores elevados de Co, Ca, Mn e ainda Ba, Mg e Ni (Ferreira, 2004).

Os luvissolos que compõem a zona em estudo são, segundo a sua unidade taxonómica:

- › solos incipientes, litossolos dos climas de regime xérico, de calcários compactos ou dolomias
- › solos incipientes, litossolos dos climas de regime xérico, de xistos e grauvaques
- › solos argiluvitados, pouco insaturados, solos mediterrânicos pardos de materiais calcários, para-barros, de margas ou calcários margosos ou calcários não compactos associados com xistos, grés argilosos, argilitos ou argilas ou de grés argilosos calcários (de textura franca a franco-argilosa)
- › solos argiluvitados, pouco insaturados, solos mediterrânicos, pardos, de materiais não calcários, para-solos hidromórficos, de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas (de textura arenosa a franco-arenosa)
- › solos argiluvitados, pouco insaturados, solos mediterrânicos, pardos, de materiais não calcários, para-solos hidromórficos, de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas (de textura arenosa a franco-arenosa) (fase pedregosa)

- › solos hidromórficos, com horizonte eluvial, planossolos, de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas
- › solos argiluvitados, pouco insaturados, mediterrânicos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de rochas cristalofílicas
- › solos argiluvitados, pouco insaturados, solos mediterrânicos, pardos, de materiais não calcários, normais, de xistos e grauvaques
- › solos incipientes, solos de baixas (colúviosolos), não calcários de textura mediana
- › solos argiluvitados, pouco insaturados, solos mediterrânicos, vermelhos ou amarelos, de material não calcário, normais, de raíças ou materiais afins
- › solos argiluvitados, pouco insaturados, solos mediterrânicos, vermelhos ou amarelos, de material não calcário, normais, de raíças ou materiais afins (fase mal drenada)
- › solos argiluvitados, pouco insaturados, solos mediterrânicos, vermelhos ou amarelos, de material não calcário, normais, de raíças ou materiais afins (fase pedregosa)

planossolos São solos que possuem um horizonte W alábico e que mostram propriedades estágnicas pelo menos em alguma parte deste horizonte, que assenta abruptamente sobre um horizonte de permeabilidade fraca nos primeiros 125cm. Não têm um horizonte B nátrico ou espódico. São solos evoluídos de perfil AEBtC. Nos planossolos existe um horizonte E eluvial, um horizonte B bastante argiloso, devido em parte à formação de argila *in situ* e, em parte à argiluvitação, processo favorecido pela topografia plana em que se desenvolvem. Este horizonte é compacto e pouco permeável e na época das chuvas as camadas superiores saturam-se rapidamente e a água estagna, formando-se uma toalha temporária por cima do horizonte B. Nesta altura, os óxidos de Fe reduzem-se e solubilizam-se. Nos meses secos, o ferro precipita sob a forma férrica à volta de pequenas raízes e outras passagens formando concreções e manchas avermelhadas, sobretudo na parte inferior do horizonte E.

Estes solos apresentam-se secos e compactos na época seca e são asfixiantes no inverno, o que os torna pouco favoráveis às culturas. Surgem entre Beja, Ferreira do Alentejo e Aljustrel, a partir de conglomerados ou arenitos argilosos, em pequenas manchas rodeados fundamentalmente por luvisolos (Ferreira, 2004).

Os planossolos que compõem a zona em estudo são, segundo a sua unidade taxonómica:

- › solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, normais de arenitos grosseiros associados a depósitos calcários

vertissolos É o grupo dos solos com propriedades vérticas. São solos que na mistura dos 18cm superficiais possuem 30% ou mais de argila em todos os horizontes até uma profundidade de 50cm, desenvolvendo fendas em profundidade, com a largura mínima de 1cm, em alguns períodos secos, a menos que o solo seja regado. Apresentam ainda superfícies polidas de deslizamento que interceptam agregados estruturais cuneiformes ou paralelepípedicos, pelo menos entre 25 e 100cm de profundidade (Ferreira, 2004).

A designação *propriedades vérticas* é usada em relação a solos argilosos que, em algum período, na maioria dos anos devem apresentar uma ou mais das seguintes propriedades: fendas, superfícies polidas, cunhas ou agregados estruturais com a forma de paralelepípedos, as quais não são suficientemente desenvolvidas para que o solo seja classificado como vertissolo (Ferreira, 2004).

Tratam-se de solos evoluídos, de perfil pouco diferenciado, geralmente de cor escura, com apreciável percentagem de argila esmectítica que lhes imprime as características especiais referidas.

A textura argilosa e a baixa permeabilidade tornam estes solos muito susceptíveis à erosão. Nas zonas planas existem problemas de drenagem. Formam-se a partir de rochas ricas em bases, básicas e ultrabásicas.

Constituem o grupo mais enriquecido fazendo claramente a diferença para os elementos Ba, Cr, V e Mg. Os teores mais elevados surgem ligados ao completo ofiolítico de Beja e formações metassedimentares e ao complexo vulcânico de Lisboa. Estes solos apresentam ainda teores elevados em Ca e Sr que deverão estar relacionados com a sua característica de fraca lixiviação na distribuição dos elementos químicos. Os elementos Co, Cr, Ni e V estão associados a solos vérticos desenvolvidos de rochas máficas ou ultramáficas (Ferreira, 2004).

Os vertissolos que compõem a zona em estudo são, segundo a sua unidade taxonómica:

- › **barros castanho-avermelhados, calcários, muito descarbonatados, de dioritos ou gabros ou rochas cristalofílicas básicas associadas a calcários friáveis**
- › **barros castanho-avermelhados, não calcários, de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas**
- › **barros castanho-avermelhados, não calcários, de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas (fase delgada)**
- › **barros pretos, calcários pouco descarbonatados, de rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas associadas a calcário friável, ou grés argilosos calcários ou margas**

Segundo Ferreira (2004) as diversas unidades taxonómicas apresentam características distintivas também no que concerne aos minerais que as constituem:

- › o enriquecimento do vertissolos em anfíbolos e esmectites, hematite, opala, zeólitos, plagioclases e alguns minerais de ferro (pirite, sulfatos de ferro, hematite) correlaciona-se com o material originário, máfico e ultramáfico, e com condições de fraca lixiviação que favorecem a formação dos solos vérticos; a dolomite e a calcite também apresentam teores relativamente elevados, o que não é de estranhar visto que este grupo inclui solos derivados de rochas carbonatadas (vertissolos crómicos calcários e luvisolos cálcicos vérticos).
- › os luvisolos caracterizam-se por apresentarem um ligeiro enriquecimento em plagioclases e quartzo, concentrações intermédias nos restantes minerais e muito baixas em calcite
- › os leptossolos, derivados essencialmente de formações metassedimentares, apresentam-se enriquecidos em micas, clorites e caulinites, e relativamente empobrecidos em feldspatos potássicos, calcite e dolomite
- › nos cambissolos calcários, luvisolos cálcicos e fluvisolos calcários, a calcite e a dolomite apresentam concentrações muito elevadas enquanto que as micas, clorites, plagioclases, opala e zeólitos apresentam concentrações muito baixas
- › os cambissolos, maioritariamente derivados de litologias graníticas ou afins, apresentam elevadas concentrações de micas, caulinites, plagioclases, opala e feldspatos potássicos

relação geologia/pedologia em Aljustrel

Ao sobrepor as cartas geológica e de solos é possível detectar algumas relações, como seria de esperar (tabela 2.4), até porque um solo é o resultado, de entre outros factores, do tipo de rocha-mãe. A separação das características é bastante óbvia, tanto a W como a E da falha da Messejana (figuras 2.11 e 2.21), sendo de realçar que na carta de solos a zona considerada como *área social* abrange as áreas urbanas e a área mineira de *Algares*, sendo esta última uma zona onde se encontram grandes escombreciras, algumas delas evidências das explorações romanas.

tabela 2.4 Relação entre unidades geológicas e pedológicas da área estudada

zona	solo	grupo geológico	unidade geológica
E da falha messejana	luvissoles	substrato Hercínico Culm e Sub-Culm	grauvaques de água forte xistos do monte ruas sub-culm indiferenciado grauvaques de represa
		rochas filonéanas	coleritos da Messejana
	leptossolos	substrato Hercínico Culm e Sub-Culm	grauvaques de marroços xistos de mau ladrão formação do paraíso formação do paraíso xistos de monte broca grauvaques de água forte xistos de monte broca
		rochas filonéanas	coleritos da messejana
W da falha messejana	vertissoles	bacia terciária do Sado	conglomerados e grés
	luvissoles	bacia terciária do Sado	conglomerados e grés areias e cascalheiras
	luvissoles	bacia terciária do Sado	silvões
	cambissolos	bacia terciária do Sado	conglomerados e grés
	leptossolos	substrato Hercínico Culm e Sub-Culm	grauvaques do marroços xistos do mau ladrão grauvaques de água forte
	planossolos	rochas filonéanas bacia terciária do Sado	coleritos da messejana conglomerados e grés

* unidades taxonómicas com presença potencial na área estudada

2.9. actividade mineira

Desde tempos remotos que a ocupação humana de Aljustrel esteve ligada à actividade mineira. A ocupação humana de Aljustrel data de há 5000 anos, durante a Idade do Cobre, conforme está comprovado pelos materiais arqueológicos recolhidos no Castelo. Desde aí nunca mais este território ficou desabitado, contudo, é durante o período romano que a sua ocupação sofreu um grande incremento, com o aproveitamento em larga escala dos seus recursos mineiros, donde era extraído, além do cobre, a prata e o ouro.

As minas de Aljustrel possuem diversas massas de sulfuretos maciços polimetálicos. Entre as massas descobertas, as mais antigas são as de *Algares* e de *São João do Deserto*, e as exploradas mais recentemente são as de *Feitais* e do *Moinho*. Existem também as massas da *Estação* e do *Gavião*, ainda não exploradas devido à sua menor riqueza e contexto geológico-espacial. Toda a abundância em minério desta zona foi, sem dúvida, determinante na atracção que exerceu sobre os vários grupos populacionais que sucessivamente se foram fixando nesta região.

2.9.1. período proto-histórico e romano

É possível encontrar evidências, na área de Aljustrel, da exploração mineira esporádica desde os tempos do Foeniciano, o que inclui um extenso período de trabalho na era Romana. Segundo os dados obtidos, através do registo arqueológico, o mais antigo local de ocupação da área, onde se encontra a vila de Aljustrel, é o morro de Nossa Senhora do Castelo. Nas escavações aí efectuadas têm sido recolhidos inúmeros vestígios de ocupação, dos períodos Neolítico e Calcolítico, nomeadamente do Campaniforme (3º milénio a.C.).

Os trabalhos de arqueologia mineira dão como certa a exploração de alguns dos jazigos, da FPI, em épocas pré-romanas, principalmente nas zonas de afloramento de minérios, já que é aí que os metais nobres e o cobre se concentraram, por processos ligados à alteração supergénica dos minérios.

As evidências mais importantes da exploração pré-romana são (Gaspar, 1996):

- › machados, martelos e escopros de pedra, muitos deles partidos ou gastos, devido à extracção de minérios encontrados nos chapéus de ferro, por vezes junto de ferramentas que se pensa pertencerem a uma época de transição do Calcolítico
- › escórias de diferentes tonalidades com teores de Cu, Ag, Au e Si variáveis, indicadores de uma evolução tecnológica nos processos metalúrgicos ao longo dos diversos períodos históricos
- › ocorrência, junto de alguns jazigos, de cerca de 30Mt de escórias, quantidade que não pode ser justificada apenas pela exploração mineira e metalurgia romanas
- › achados de lingotes de cobre, em forma de “pele de boi esticada”, bem como de utensílios idênticos aos usados na fundição do cobre e prata na Mesopotâmia, durante as idades do Cobre e do Bronze
- › idade dos monumentos megalíticos, alguns deles supostamente edificadas pelos primeiros mineiros e metalúrgicos da Península Ibérica, nas proximidades das minas

A variação da composição química dos minérios supergénicos, ao longo do período de exploração, deixou marcas na composição do cobre obtido. Estudos mostram a presença de pequenas quantidades de prata nos objectos de cobre do III milénio a.C., provenientes da zona SW da Península Ibérica, enquanto que os materiais do II milénio estão contaminados com maiores teores de arsénio, que podem atingir os 5%. Este enriquecimento deverá ter sido a causa da descoberta fortuita de cobre endurecido pelo arsénio, o denominado “bronze não intencional”.

A produção de prata e bronze deverá ter sido iniciada no começo do III milénio a.C., seguindo-se um período de estagnação até à Idade do Bronze final. Os lingotes, em forma de “pele de boi esticada”, serão desta época, bem como as escórias de prata encontradas em Rio Tinto (Wilson, 1983).

Em 1100a.C. estabeleceram-se benfeitorias fenícias na Península, o que desenvolveu substancialmente o comércio dos metais no sector SW.

Nas áreas actualmente pertencentes à empresa Somincor, S.A., exploradora da mina de Neves-Corvo, têm sido levadas a cabo diversas pesquisas arqueológicas. Foram encontrados dois *habitats* da Idade do Ferro, datáveis de um período que medeia os séculos VIII e IIIa.C., ou seja no período do Bronze final, também denominado por Tartéssico.

Nas áreas ocupadas pelas minas de Aljustrel não se efectuaram investigações arqueológicas sobre as evidências dos trabalhos pré-romanos, mas os achados de Neves-Corvo (Maia & Maia, 1986; Fabião, 1992), bem como os estudos do

volume e natureza das escórias e a localização preferencial das construções megalíticas, junto das explorações mineiras, parecem indicar que também em Aljustrel tiveram lugar minerações e metalurgias pré-romanas (Gaspar 1996).

Perto das minas de Aljustrel, Caveira e S. Domingos, o total das escórias ronda os 1,5Mt, onde é possível distinguir vários níveis por cor, textura e intercalação de finas camadas de um depósito argiloso, indicador de paragens no processo metalúrgico. Já no período romano as escórias, das minas de Aljustrel, possuíam um volume de cerca de 450.000t, estando divididas em dois grandes grupos segundo os teores em Cu, as pré-romanas (Cu > 3,5%) e as romanas (Cu > 0,5%) (Veiga, 1880).

Na escórias de Aljustrel foram encontradas tábuas de bronze com a gravação da legislação aplicável naquela província romana, então denominada por *Vicus Vipascencis*. A primeira descoberta destas placas ocorreu em 1876. Esta tábua de lei, designada VIP I, deveria ser a primeira de um conjunto de diversas placas onde se expunham publicamente as regras pelas quais se regia o couto mineiro de *Vipasca*. A legislação é atribuída às minas, e ao couto mineiro, e terá sido criada entre finais do século I a princípios do século II. Nesta tábua de lei são regulamentados:

- › o tipo de negócios, compras e vendas, que podiam ter lugar dentro do couto mineiro, como se deveriam efectuar, quais os impostos que sobre eles recaiam, bem como as multas devidas pelo não cumprimento do estipulado na lei. Havia um intermediário, pregoeiro, que publicitava em voz alta os produtos a transaccionar e recebia as ofertas, de compra, ou venda por parte dos interessados
- › a exploração dos banhos públicos, os horários de funcionamento para homens e mulheres e o preço de utilização, bem como os cuidados de manutenção. Os romanos não possuíam banhos privados e utilizavam os banhos públicos como local de socialização. As mulheres podiam utilizar os balneários na parte da manhã e os homens de tarde, havendo preços diferenciados para ambos os sexos
- › as atribuições dos sapateiros e a sua área de influência. O sapateiro devia fornecer todo o tipo de calçado, sob pena de os habitantes serem autorizados a adquirir sapatos noutra local. O sapateiro também podia fornecer correias de couro e pregos, embora estes fossem de tipo especial, uma vez que se destinavam a sapatos e não serviam para a construção e carpintaria › o trabalho dos barbeiros. Não eram permitidos barbeiros vindos de fora do couto, e os que aqui exerciam a profissão tinham de ser competentes. Os escravos podiam cuidar do cabelo e barba dos seus donos, bem como dos seus companheiros, sem que fosse necessário recorrer aos barbeiros licenciados
- › o negócio dos panos também estava contemplado no regulamento. O homem que procedia à lavagem e coloração dos tecidos, o pisoeiro, tinha um estatuto e regras próprias
- › a actividade dos negociantes de minério, escórias e pedra também estava fortemente regulamentado, uma vez que eram estes artifices que tratavam da metalurgia do minério, transformando-o em lingotes. O minério, de prata ou cobre, depois de sair da mina tinha de ser escolhido, separado, derretido e transformado para poder se vendido. Eram estes artifices metalúrgicos que procediam a esse trabalho. As pedras eram necessárias tanto para os trabalhos mineiros como para a construção de edifícios, e daí a existência de pedreiros, ao mesmo nível dos metalúrgicos

- › a existência de professores (mestre-escola) é também referida a propósito da isenção de qualquer imposto sobre os mesmos, o que indicia que os romanos davam alguma importância à instrução das populações

Outras profissões e actividades estariam regulamentadas nas tábuas seguintes, mas estas nunca chegaram a ser encontradas.

A segunda tábua, descoberta em 1906 nas mesmas escórias, versa a legislação mineira da região de Aljustrel, então conhecida como o couto mineiro de *Mettalum Vipascentis*, pertencente à cidade romana *Vipasca*, fazendo-se no texto referência ao imperador Adriano, com regência entre 117-136d.C. (Veiga, 1880). Alguns dos testemunhos romanos encontrados na área são o poço de Quatro Sarilhos, em Algares, assim como objectos fabricados em esparto, cerâmica de terra *sigillata*, moedas, lingotes de cobre e chumbo, bem como ferramentas.

Na época romana os metais preciosos e o cobre eram explorados a partir de blocos grosseiros, à superfície, e sulfuretos subjacentes aos depósitos de Algares e São João. Os registos desta actividade incluem trabalhos subterrâneos em São João e em poços superficiais e consequentes depósitos de escória. Podem ser vistos, actualmente, no Instituto Geológico e Mineiro (IGM) e no Museu Nacional de Arqueologia, ambos em Lisboa.

A título de curiosidade refere-se que investigadores ingleses reconheceram muitas semelhanças entre esta legislação romana e o sistema contabilístico usado até ao final do século XIX nas minas da Cornualha (Allan, 1965). A legislação continua incompleta, uma vez que falta, pelo menos, uma 3ª tábua.

A partir do volume e tonelagem das escombrelas e dos desmontes de minério efectuou-se o cálculo do seu volume. Os jazigos de Algares e S. João do Deserto, em Aljustrel, foram trabalhados pelos romanos até à profundidade de 118 metros, sendo o seu escorial avaliado em 450.000t. A profundidade prolongou-se para além do nível hidrostático, sendo que o volume de desmontes durante o período pré-romano e romano foi calculado em 150.000m³, equivalente a 750.000t para as minas de Aljustrel e S. Domingos (Gaspar, 1996).

Uma das técnicas de drenagem de mina baseia-se na construção de uma galeria por onde possa ser escoada a água acumulada nos poços de mineração. O uso desta técnica, por parte dos romanos, está perfeitamente documentado, não só através da descoberta de galerias, como pela análise da legislação escrita nas tábuas de bronze recolhidas em Aljustrel, onde se encontra definida a protecção das galerias (artigos 14 a 18, da tábua VIP II).

A iluminação no interior da mina seria feita através de lucernas (candelas ou *candis*) de cerâmica, tendo sido encontrados diversos exemplares destes utensílios. Estas lucernas, leves e de fácil transporte, eram colocadas em nichos escavados na parede das galerias. Substituíam, com vantagem, os archotes que se consumiam depressa, pelas suas dimensões mal cabiam nas galerias apertadas escavadas além de que produziam muito calor, a adicionar às altas temperaturas que se verificavam junto da massa mineralizada. Houveram períodos, nos séculos II e III do império romano, em que terão trabalhado cerca de 2000 pessoas nas minas do antigo povoado *Vipasca*.

A exploração mineira, no período romano, era feita através da abertura de poços, no chapéu de ferro, com cerca de um metro de diâmetro. Ao encontrarem a massa mineralizada (os filões), eram abertas galerias e novos poços interiores, que a seguiam até ao seu desaparecimento. Algumas das galerias eram escoradas com quadros de entivação em madeira de azinheira e, para a

deslocação entre poços e galerias, eram utilizadas escadas feitas de troncos da mesma árvore. As galerias eram muito estreitas e baixas, tendo muitas vezes que se trabalhar de joelhos no chão, pelo que, muitos dos mineiros utilizados eram crianças.

2.9.2. período pós romano

Após a expulsão dos romanos da Península Ibérica, em cerca de 405d.C., e durante a ocupação islâmica, entre 711 e 1492, nota-se a quase, senão total, inactividade nos jazigos da FPI, embora alguns autores apontem a exploração em Aljustrel, onde foram encontradas algumas moedas da época. A toponímia Aljustrel, do árabe *Al-Iustre*, e Algares têm a sua origem árabe bem marcada, o que corrobora estas teorias, ou pelo menos a ocupação das terras.

Inglêz (1932) refere que os imensos escoriais aqui abandonados pelos exploradores romanos, eram de tal modo ricos em teores de cobre que a empresa concessionária das minas, no início do séc. XX, ainda conseguiu extrair, alguns milhares de toneladas de cobre. Este autor afirma mesmo, baseando-se na análise do teor de cobre dos escoriais, que terá havido uma primeira fase de exploração, correspondente aos estratos inferiores dos escoriais, em que apenas interessava explorar a prata, já que esta escória apresentava um rico teor de cobre. Posteriormente terá havido uma fase de abandono ou abrandamento de exploração, correspondente a uma espessa camada de terras aluvionares que cobre a primeira camada de escoriais e, finalmente, uma terceira fase em que todos os minérios seriam explorados e que corresponde aos estratos superiores dos escoriais, que apresentam índice de teor de cobre.

Durante a Idade Média as actividades mineiras foram praticamente abandonadas, sendo que se iniciaram de novo os trabalhos mineiros no século XVIII. D. Sancho concedeu o castelo de Aljustrel, bem como as suas terras à Ordem de Santiago, mas apenas um décimo das minas e seus banhos. Existem indícios de que em 1521 tenha havido alguma produção de sulfato de cobre, pois uma carta régia nomeia um “afinador de Azul” (Leitão *et al.*, 1865).

Só a partir do século XVIII, com maior incidência no século XIX, é que se verifica a retoma significativa da exploração das minas da FPI. A exploração, em meados do século XIX, teve início numa altura em que dos depósitos de Algares e São João se recolhia pirite, usada como fonte de ferro e enxofre. Graças à grande extensão dos depósitos, e à baixa taxa de produção requerida nesta época, a redução da reserva não representava um problema.

O arranque da exploração das grandes massas mineiras de Aljustrel manter-se-ia refém da interioridade e ausência de vias de comunicação, com elevados custos de transporte até ao litoral. Numa primeira fase, o interesse pode ter sido igualmente limitado pela ausência de uma legislação liberal clara quanto aos direitos de exploração, tendo em contas as datas das reformas legislativas; na sequência da primeira reforma de 1830 surge um requerimento de registo de exploração logo na década seguinte; os passos legislativos de 1850 e 1852, são coevos do interesse manifestado pelos investidores ingleses, que abandonarão o projecto Aljustrel devido aos condicionalismos apontados.

Em 1854 chegou a Portugal Nicolas Biava, delegado da confiança do engenheiro francês Ernest Déligny, com a finalidade de adquirir os direitos de descoberta dos jazigos de Aljustrel, Caveira e S. Domingos (Cabral *et al.*, 1888; Roldan & Pego, 1927; Allan, 1965).

Em 1850 tinha sido outorgada, a D. Sebastião de Gargamala, a concessão de Aljustrel, antes de ser atribuída a Nicolas Biava, mas foi-lhe retirada em 1854 por irregularidades ou inactividade (Freire d'Andrade, 1967).

Entre 1867 e 1888 foram retomados os trabalhos nos jazigos até então conhecidos, Algares e S. João do Deserto, pela então concessionária a Companhia de Mineração Transtagana, os quais foram suspensos em 1881, devido à baixa do preço do cobre (Cabral *et al.*, 1888).

A Societé Anonyme Belge dês Mines d'Aljustrel retomou os trabalhos em 1898, após a aquisição de bens e anexos mineiros de Aljustrel ao Banco Fonsecas. Santos e Viana, em 1895 (Freira d'Andrade, 1967).

Este património foi adquirido, pelo Estado Português e pela Companhia União Fabril, S.A. (CUF), juntamente com a empresa luxemburguesa Sogemindus, em 1973, ficando 90% das acções da companhia, em partes iguais, para o Estado Português e CUF.

A dimensão do espaço interior era, e é, definido pela maquinaria utilizada, em função da massa aproveitável (ou filões de pequena dimensão) e teor da mesma. A progressiva substituição do trabalho manual pela máquina obrigava a alargar poços e galerias, bem como à multiplicação no espaço subterrâneo; por seu turno, o uso de maquinaria dependia da pujança da massa mineralizada a desmontar e, naturalmente, da disponibilidade técnica. Só na última década do século XX a técnica de exploração por galerias e pilares, posteriormente cheios com pedra e rejeitados, foi substituída por formas de desmonte de grandes dimensões. A iluminação e a ventilação do espaço subterrâneo evoluíram à medida da tecnologia geral. A luz do gasómetro, que substituiu a candeia de azeite, ou candil, perdurará até ao século XX; ao longo do século, lentamente, impõe-se o uso de lanternas com luz de baterias, quando a electricidade gerada em centrais passou a ser utilizada na iluminação das zonas subterrâneas, bem como no activar os sistemas de ventilação e esgoto. A tubaria era colocada a par. Os geradores de energia permitiam, igualmente o uso de maquinaria que tornava o trabalho de desmonte e afins menos duro, mais rápido e mais seguro.

A utilização de escadarias mecânicas tinha por objectivo facilitar a subida lenta, demorada e penosa dos minérios, após um dia de trabalho. A introdução destes mecanismos (que podiam usar quer a força hidráulica quer a de vapor), em meados do século XIX, eram o expoente máximo da elite mineira. Em Portugal, onde a tradição mineira nunca se impôs, o restrito grupo dos mineiros nunca conseguiu obter os direitos de uma elite, e as condições de trabalho, em relação com as técnicas utilizadas, reflectiam a condição do seu grupo profissional.

O aperfeiçoamento dos meios mecânicos deu origem à sempre actual "jaula" ou "gaiola" que, sendo um elevador, protege os seus utilizadores com uma grade ou correia de segurança. De forma a maximizar o espaço, e rentabilizar o tempo, era frequente justaporem-se dois níveis de utilização, igualmente documentados para o caso da mina de Algares, tanto no século XIX como no século XX; geralmente, havia poços distintos para o pessoal e para o minério. Antes da generalização dos sistemas eléctricos de segurança, na marcha das jaulas, o sistema estava confinado a um operador das gaiolas (localmente designado por arreador), responsável pela sua manobra. Face à dificuldade de comunicação entre os vários piscos, as ordens eram codificadas por um sistema de sinais sonoros. A manobra dos elevadores era feita a partir de um edifício anexo de cada poço, onde se registava, igualmente o número ou nome dos mineiros que desciam em cada turno. Os quadros de chapas individuais foram substituídos pelas fichas individuais, em cartão, para cada trabalhador. Dado o tempo de transporte, entre o exterior e o local de trabalho, bem como

o horário de trabalho e tempo de descanso, as refeições eram tomadas dentro da mina, primeiro em zonas de descanso improvisadas em galerias ou travessas abandonadas e, em tempos mais recentes, em refeitórios subterrâneos dotados de algumas infra-estruturas, com electricidade e água potável; as mesas corridas, os espartões, em tempos mais recentemente substituídos por cestas de verga com o farnel e, naturalmente, o convívio entre os trabalhadores, fazem ainda parte da imagem padrão do mineiro e contam-se entre os factores do forte sentimento de solidariedade entre pares. Outro dos espaços por excelência, do convívio no trabalho, é o balneário, com os tradicionais cestos (de roupa e haveres) pendurados.

Após a extracção do minério este era fragmentado, inicialmente entre os 20-30mm, seguindo-se a ustulação no Vale das Pedras Brancas, a 12Km de S. João, em medas de minério assentes sobre uma cama de mato que servia de combustível. A forma destas telleiras era cónica, com cerca de 1,5m de altura por 8m de diâmetro na base. Este processo durava entre três e quatro meses, e o processo de controlo da temperatura envolvia uma técnica engenhosa, ao qual se seguia o tratamento por via húmida, para lixiviação do cobre, durante 18 a 48 horas. Finalmente ocorria a cementação do cobre, por diversas fases, o que se prolongava por 30 a 48 horas, dependendo da estação do ano (Gaspar, 1996).

2.9.3. século XX

No século XX prosseguiram os trabalhos de exploração mineira em Aljustrel, sendo que, no reinado de D. Manuel II, as minas de Aljustrel, Lousal, Caveira e S. Domingos, começaram a operar em moldes mais modernos (Oliveira e Oliveira, 1996). Só entre 1926 e 1932 foram produzidas 5.154t de cimento de cobre, com um teor médio de 72,38% em Cu, sendo que, segundo os dados oficiais publicados neste período, a exploração total atingiu um total de 792.333t de minério, com um valor médio de 1,29% de Cu (Roldán & Pego, 1927) e entre 1959 e 1974 de 4.888.967t (Soares Carneiro, 1971; Faria *et al.*, 1976).

O relatório interno da empresa Pirites Alentejanas, datado de 1983, indica que, entre 1900 e 1991, os valores das produções anuais totalizaram os 14.905.780t de minério (Gaspar, 1996).

Em síntese, a produção das minas de Aljustrel, durante as primeiras décadas do século passado, teve pouco significado económico, quando comparada com as minas de S. Domingos e do Lousal no mesmo período. Só a partir de 1950 marcaram um lugar cimeiro no mercado nacional, passando a ocupar uma cota de 70% da produção de pirites. O seu destino era, principalmente, a indústria de ácido sulfúrico, tanto interna como externa, sendo que as exportações sofreram um grande aumento. Após 1975 deram-se grandes mudanças, com as alterações do mercado externo, devido à concorrência do enxofre elementar.

A exploração sistemática apenas foi iniciada em meados do século XX, o que levou à descoberta do jazigo de Moinho, em 1954, pelo método de Turam, e os jazigos de Feitais (1964), Estação (1969) e Gavião (1970) por métodos gravimétricos (Queiroz *et al.*, 1989; Leitão 1998). No final da Segunda Guerra Mundial as reservas conhecidas de Algares encontravam-se perto da exaustão, o que, associado às más condições de trabalho em São João, tornaram o trabalho mineiro bastante difícil. Um grande esforço de exploração foi iniciado a sudoeste de São João, levando à descoberta do depósito de Moinho.

Após a Segunda Grande Guerra a produção anual de concentrado de pirite decresceu para 200000-300000t/ano (eg. 1780521t (1946-1953), 248068t em

1953, 195033t em 1977). Entre 1991 to 1993, deu-se uma exploração intensiva do conteúdo em Cu do depósito de Moinho, sendo a produção máxima anual atingida em 1992 (1,2Mt). As expedições das minas de Aljustrel, faziam-se tanto para a indústria nacional como para a Bélgica, Alemanha, Holanda e França. Os fornecimentos à indústria nacional aumentavam de ano para ano, atingindo, em 1965, 155000t anuais, constituindo 49,6% do total (Andrade, 1967).

Após uma série de alterações das condições, que incluem o facto de o Estado controlar os preços dos concentrados de pirites a fornecer à indústria nacional, foram necessárias tomar medidas de rentabilização da empresa mineira. A finalidade das minas de pirite, inicialmente apenas para ácido sulfúrico, teve de ser alterada, passando a abranger a produção de concentrados diferenciais de cobre, chumbo e zinco. Estas minas passaram a depender exclusivamente da extracção dos metais básicos (Cu, Zn+Pb) e, nalguns casos, de metais nobres (Au e Ag) sendo ainda determinantes as cotações nos mercados internacionais.

Na sequência de alguns estudos solicitados pelo governo, a mina de Aljustrel, passou, na década de 70 do século XX, por uma grande transformação, onde se desenvolveram estruturas mineiras para as massas do Moinho e de Feitais. Este investimento permitiu a exploração de mais de 2.000.000t/ano. Uma outra grande vantagem desta alteração de trabalhos foi a beneficiação dos minérios, o que permitiu obter uma maior percentagem de bens, dos materiais explorados. A Empresa Mineira e Metalúrgica do Alentejo (EMMA), passa a ser a concessionária da mina, regida pelos estatutos aprovados pelo decreto-lei n.º 510/79 de 24-12-1979 (Ferrão, 1985).

Em 1991 iniciou-se a produção e concentrados de cobre e zinco, a partir de minérios provenientes da massa do Moinho, na mina de Aljustrel. A extracção deveria atingir para esse ano, segundo a empresa Pirites Alentejanas, 1,15Mt de minério, correspondendo-lhe uma produção de concentrados contendo cerca de 6300t de Cu, 27500t de Zn, 4400t de Pb, 14200t de Ag e 1Mt de pirite flutuada.

Em resultado da baixa de cotações dos metais extraídos, circunstância agravada por um deficiente desempenho técnico dos processos de concentração de minérios (moagem e flutuação em coluna), o investimento acabou por falhar economicamente, provocando a suspensão da lavra mineira em Maio de 1993.

Contribuiu ainda para o insucesso do projecto PPC, a utilização de um método de desmonte de inadequada selectividade e um planeamento mineiro que induzia grandes flutuações nos teores de alimentação da lavoura (Gaspar, 1998).

Entretanto depois de um século de exploração, quase sem interrupção, com reservas calculadas em 170 milhões de toneladas de minério em Aljustrel, aguardam-se, com entusiasmo, soluções para o seu problema. Estas passam pelo desenvolvimento do projecto *Eurozinc*, de quem muito se espera, no sentido de uma viabilização económica destas minas. O actual proprietário das mina do Moinho e Feitais, a empresa Pirites Alentejanas (Grupo Lundin-Eurozinc), em Agosto de 2007, já se encontra a efectuar a limpeza das galerias subterrâneas, de forma a cumprir um plano de início de actividades no começo de 2008. Os concentrados de zinco e cobre, serão obtidos por exploração subterrânea nos depósitos de Moinho e Feitais.

O projecto de produção de concentrados de zinco, em Aljustrel, beneficia, em termos económicos, da infra-estrutura existente desenvolvida para o

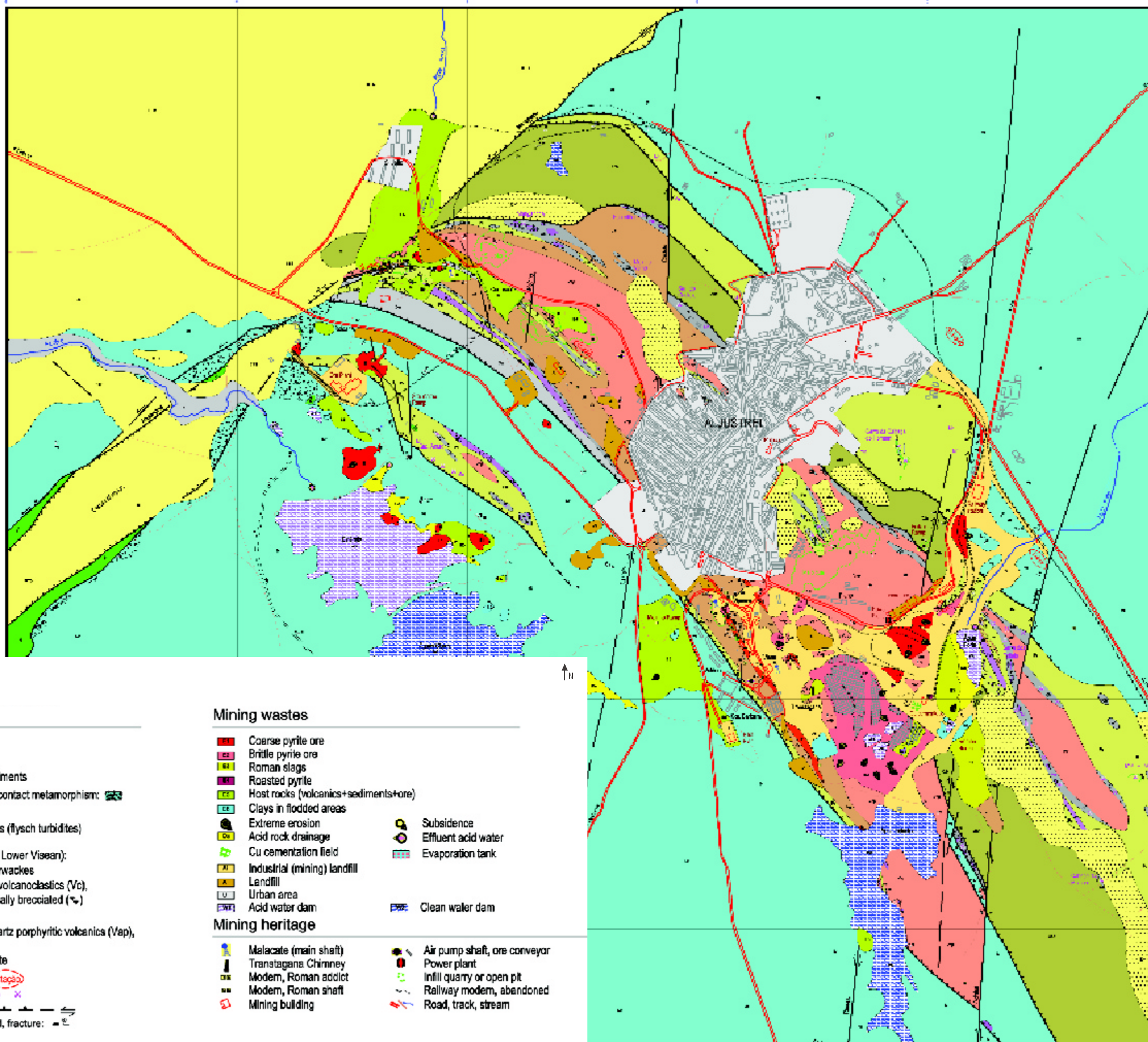


figura 2.22 Mapa geológico-mineiro da região de Aljustrel (Matos, 2007)

Geology

- Alluvial deposits
- Colluvial deposits
- Sado Tertiary Basin: undifferentiated Tertiary sediments
- Messejana Fault Dolerite (Mid. Jurassic), related contact metamorphism:
- South Portuguese Zone Palaeozoic basement:**
- Mértola Fm. (Up. Viséan) - shales and greywackes (flysch turbidites)
- Iberian Pyrite Belt:**
- Volcano-Sedimentary Complex (Up. Famennian - Lower Viséan):
- Canal da Bai Fm. - shales, black shales, rare greywackes
- Paraiso Fm. - siliceous shales and phyllites (Ps), volcanoclastics (Vc), purple shales (Bv), jaspers (J) and cherts (Ch) locally brecciated (↖)
- Polymetallic massive sulphides, gossan (Go)
- Sericitic felsic volcanics (Vsf), coarse feldspar-quartz porphyritic volcanics (Vsp), well cleaved felsic volcanics (Vaf)
- S. João Fm. - black shales with disseminated pyrite
- Aljustrel pyrite orebodies - surface projection:
- Fe - Mn oxides, old mining works:
- Normal fault, reverse f., strike-slip f., movement:
- S0, S1, S2, L1, Di:
- Sedimentary polarity:
- Fold, fracture:

Mining wastes

- Coarse pyrite ore
- Brittle pyrite ore
- Roman slags
- Roasted pyrite
- Host rocks (volcanics+sediments+ore)
- Clays in flooded areas
- Extreme erosion
- Acid rock drainage
- Cu cementation field
- Industrial (mining) landfill
- Landfill
- Urban area
- Acid water dam
- Subsidence
- Effluent acid water
- Evaporation tank
- Clean water dam

Mining heritage

- Malacate (main shaft)
- Transtagana Chimney
- Modern, Roman adit
- Modern, Roman shaft
- Mining building
- Air pump shaft, ore conveyor
- Power plant
- Infill quarry or open pit
- Railway modern, abandoned
- Road, track, stream

projecto PPC. A concretização do projecto exige a preparação e desenvolvimento mineiro da massa de Feitais e Moinho e ainda, a readaptação da lavaria industrial (circuitos de moagem, de flutuação e controlo das operações). Neste momento está estimada uma produção anual de 1,4Mt do depósito de Moinho (Eurozinc, 2007). O tempo de vida esperado para a mina, baseado nas reservas conhecidas, é de dez anos, o que pode ser prolongado quando os recursos inferidos forem actualizados.

A ruralidade envolvente foi coexistindo, misturando-se com os novos traços da cultura industrial: particularmente importante nos tempos marcados pela sazonalidade dos trabalhos agrícolas, ainda no século XIX e vólvor do século, quando a mão-de-obra dava primazia a essa actividade, em detrimento do trabalho na mina, com laboração irregular; o tempo e a cadência do trabalho mineiro foi-se impondo à população, cuja relação com o espaço rural se espelhava na hierarquia do trabalho subterrâneo e de superfície, ou mesmo com a separação dos dois mundos.

O mapa geológico-mineiro da região de Aljustrel foi terminado no ano de 2005. Uma área de 16Km² foi cartografada à escala de 1/5000 (figura 2.22).

2.10. impacto ambiental das actividades extractivas na área de Aljustrel

Após a intensa exploração, ao longo de milhares de anos, das massas de sulfuretos de Aljustrel, encontram-se escombreliras e rochas do Complexo Vulcano-Silicioso espalhadas por vastas áreas. As zonas mineiras de Algarés e São João são as que apresentam maior volume de escórias. As zonas de cémentação de Cu de Algarés estão localizadas a jusante da maior escombrelira de pinte britada, e os seus efluentes estão ligados à represa de Água Forte, com um pH = 2 (figura 2.23).



figura 2.23 Represa de Água Forte onde as águas de mina possuem um pH = 2 (foto Carla Candéias, 2007)

Nos nossos dias as descargas de águas ácidas são efectuadas na margem direita da represa de Santo Antão, perto das actuais instalações fabris (figura 2.23). Os efeitos das descargas são visíveis na drenagem ácida de mina ao longo do vales de Água Azeda, Água Forte e Barranco do Morgado. As infra-estruturas de canal não têm sido eficazes no controlo correcto dos efluentes, ao longo de décadas. Parte das águas usadas na exploração mineira tem

sido tratada quimicamente, nas instalações de processamento de minério, e lançadas no sistema de linhas de água da zona ocidental após o aumento do pH e melhoria da qualidade.

As explorações de Mn-Fe encontram-se representadas por pequenos poços e associadas a escombrelras com menos de 1m de espessura. O impacto ambiental destas explorações não se encontra quantificado mas, a nível local, certamente terá algum significado. Parte destas pequenas minas têm sido usadas, de forma ilegal, para descargas de lixo.

Algumas das infra-estruturas mineiras encontram-se com falta de segurança, com poços abertos e pedreiras que representam algum perigo uma vez que se encontram expostos às áreas urbanas locais (Matos & Martins, 2006). A forte erosão das escombrelras não protegidas é comum nos sectores de Algaes e São João. As paredes do poço de mina de São João e das pedreiras de Malpique e Moinho apresentam grande instabilidade geotécnica.

Nos sectores mineiros de Algaes/Feitais, São João e Santo Antão são perceptíveis os efeitos da exploração mineira que se tem desenvolvido ao longo de milhares de anos (figura 2.23). Os efeitos a ter em consideração em cada um dos referidos sectores são:

- | | |
|----------------|---|
| são joão | <ul style="list-style-type: none"> › gossan de São João, explorados desde a era romana › drenagem ácida de mina desde a era romana › contaminação urbana no poço de mina de São João, onde se tem depositado o lixo urbano de Aljustrel › escórias de pirite e rochas vulcánicas félsicas, xistos negros e siliciosos, jaspe e chertes |
| santo antão | <ul style="list-style-type: none"> › drenagem ácida de mina desde os anos 90 do século XX (projecto de exploração de cobre as empresa Pirites Alentejanas encerrado em 1993) › instalações mineiras actuais da empresa Pirites Alentejanas › escórias dispersas de pirite |
| algaes/feitais | <ul style="list-style-type: none"> › gossan de Algaes aflorante ao longo de 650m › drenagem ácida de mina, muito forte, desde a era romana › principal área de desperdícios resultantes da exploração mineira: com pirite grosseira e britada (figura 2.24), escória romana, escombrelras de rochas vulcánicas félsicas, xistos siliciosos, xistos vermelhos, jaspes e chertes, aterros de resíduos de mina › grande superfície ocupada por tanques de evaporação; tanques de cementação de cobre no sector a jusante do curso de água, onde se verifica uma erosão significativa de escórias de pirite |

Nas Pedras Brancas, cerca de 6Km a SE de Aljustrel, situam-se as escombrelras de escórias modernas (figura 2.23), os tanques de cementação (figura 2.24) onde através de processos de lixiviação com águas ácidas se obtinha cimento de cobre, e ainda as bases das teleiras de ustulação do minério. Estes materiais ocupam uma vasta área, abandonada em 1875, na qual ainda hoje não cresce vegetação, devido à drenagem ácida de mina (Luis, 2007).

O cobre metálico era obtido em Algaes através do processo de cementação em que se utilizavam águas muito ácidas ricas em metais, bombeadas do interior da mina. Estas águas eram ainda enriquecidas em cobre através da sua circulação sobre escombrelras de minério britado, o qual sofria um processo de lixiviação química (Luis, 2007).



figura 2.24 Escombreiras modernas (foto Carla Candeias, 2007)

Os efluentes eram concentrados em tanques de cementação (figura 2.25) onde se lhe juntava sucata, obtendo-se o cobre por troca iónica com o ferro. As águas férreas resultantes da cementação eram posteriormente drenadas para a barragem próxima e daí para o vale, caracterizando-se por uma tonalidade avermelhada e um pH muito ácido (figura 2.23), justificando o nome da ribeira (Água Forte).

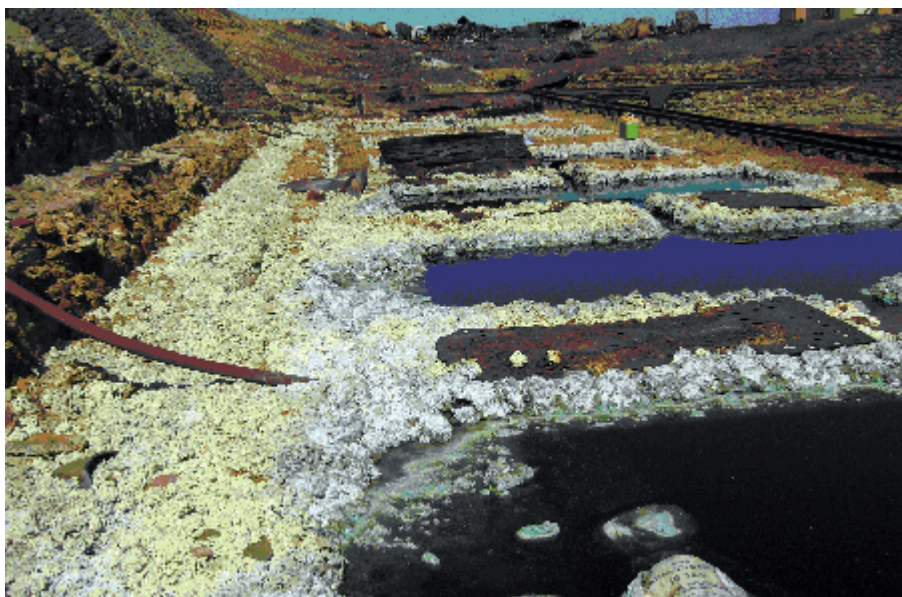


figura 2.25 Tanques de cementação (foto Luis, 2007)

Nas minas de Aljustrel existem diversas escombreiras nas quais os materiais acumulados apresentam uma elevada percentagem de sulfuretos. A alteração destes sulfuretos gera escorrências ácidas (drenagem ácida de mina), com características de águas sulfatadas férricas (Luis, 2007).

As águas de escorrência das escombreiras, provenientes da infiltração das águas pluviais no material acumulado, assim como as águas provenientes da drenagem ácida das minas que contactam directamente com os filões

mineralizados, apresentam frequentemente teores elevados de metais dissolvidos, resultantes de processos químicos de dissolução de fases mineralógicas ricas em sulfuretos, espécies susceptíveis de serem oxidadas pelo oxigénio das águas pluviais. A geração de águas ácidas (drenagem ácida de mina) provoca um impacto significativo na rede hidrográfica quer da zona sul da vila (ribeira de Água Forte) quer na região norte da mesma (ribeira da Água Azeda e barranco do Farrôbo) (Luis, 2007).

Para além das escombrelas, a área em estudo apresenta outros problemas, nomeadamente a existência de diversas barragens com diferentes capacidades que contêm águas limpas, águas ácidas e ainda estéreis de lavarias, o que originou problemas ambientais e de estabilidade; as drenagens ácidas provenientes dos trabalhos subterrâneos, contendo materiais reactivos, originaram contaminação de solos e de linhas de água; verificou-se também a presença de impactos visuais derivados da existência de diversas escavações de grandes dimensões, barragens, escombrelas e edificações arruinadas (Luis, 2007)

2.9.1. distribuição de resíduos na mina de Aljustrel

Com base nos levantamentos efectuados nas zonas afectadas foram identificadas as classes de desperdício da área (tabela 2.5 e figura 2.26).

De acordo com os resultados da tabela 2.5 (Matos, 2007) os sectores mineiros de Algarés e Santo Antão/São João são os que, actualmente, estão ocupados pelas escórias e infra-estruturas mineiras, respectivamente com 763,984m² e 215,289m². Estas áreas com depósitos de materiais resultantes da exploração mineira são caracterizadas pela total ausência de vegetação e ocorrência de drenagem ácida de mina intensa. A dimensão dos grãos dos materiais depende da sua posição vertical e horizontal nas escombrelas. No total estas áreas ocupam uma área de 1414403m², semelhante às áreas urbanas de Aljustrel e São João (1162464m²). A represa de Águas Claras (figura 2.29) e os aterros industriais são considerados como áreas mineiras devido à sua influência directa na actividade extractiva. A represa de águas limpas, conhecida por represa de Águas Industriais, localizada na zona mineira a montante não se considera como área mineira.

tabela 2.5 Classes de desperdícios na mina de Aljustrel (adaptado de Matos, 2007)

classes de desperdícios	área m ²	total m ²
pirite grossa	82 351	
pirite britada	148 745	131 801
pedra mão – pirite menor	363 727	
escória romana	79 809	
óxidos de ferro (pirite calcinada)	414	
aterros mineros confinados	13 66	457 611
aterros mineiros	142 146	
tanques cementação Cu	1068	
tanques evaporação	52 582	
áreas afectadas por drenagem de mina	45 792	
represa de águas ácidas	284 085	
área total afectada pela actividade mineira	1 151 188	1 414 403*

* Inclui a área da represa de Águas Claras

Os resíduos mineiros considerados mais reactivos são as escórias britadas, existentes, predominantemente, em Algarés mas também em São João e Santo Antão. Estima-se que a área total afectada por este tipo de resíduos é cerca de 181801m². No sector meridional de Algarés as colunas de pirite possuem características de forte erosão pluvial. Os efluentes ácidos afectados

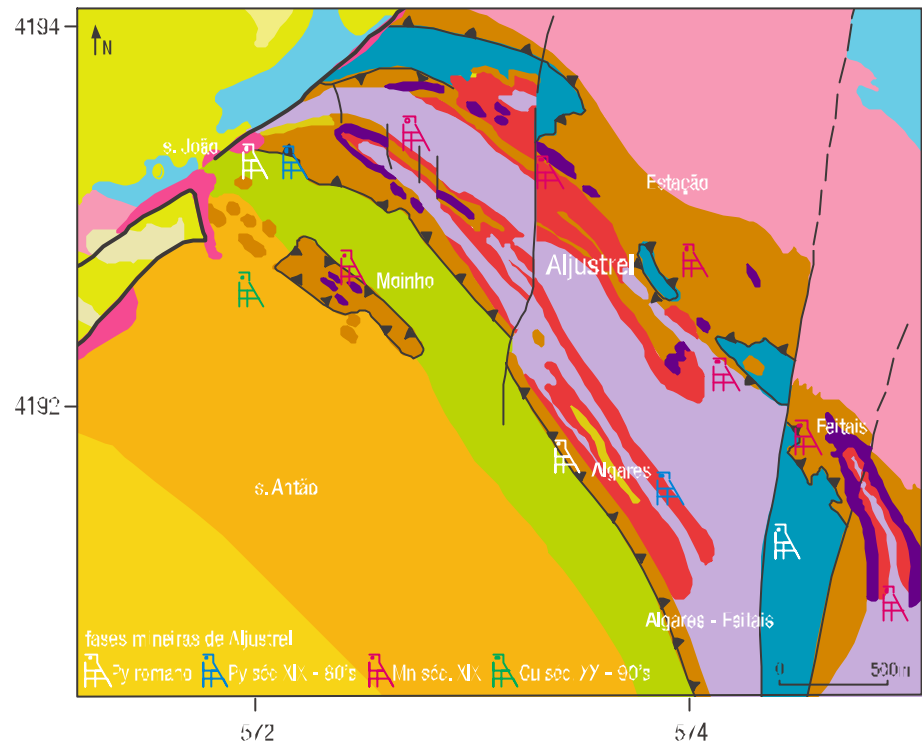


figura 2.26 Mapa mineiro de Aljustrel, materiais e infra-estruturas mineiras (adaptado de Matos, 2007; Schemmerhorn et al., 1987)



figura 2.27 Escomboreiras de pirite britada erodida pelas águas pluviais (João Matos, 2007)

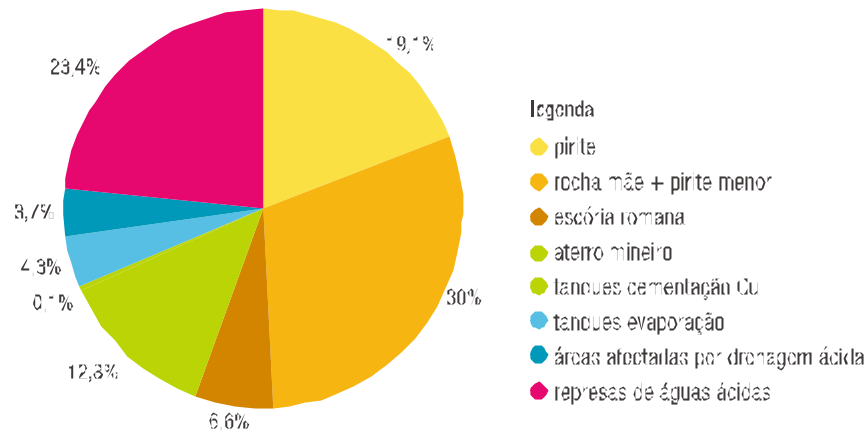


figura 2.28 Classes rejeitadas da zona mineira de Aljustrel (adaptado Matos, 2007)

directamente pelo curso de água do vale de Água Forte (figura 2.29) possuem um pH bastante ácido. O estudo petrográfico de amostras de resíduos permitiu a identificação de calcopirite [CuFeS₂], blenda [ZnS], arsenopirite [FeAsS] intersticial. Foram também identificados vestígios menores de sulfossais no minério de pirite. As concentrações mais representativas de Cu, Zn, Pb, As, Sb estão directamente relacionadas com estes resíduos contaminantes (tabelas 2.6 e 2.7)

As escórias romanas apresentam pirite intersticial e calcopirite menor, com uma distribuição difusa de silicatos de ferro. Os resíduos da era romana encontram-se presentes nas escombreiras retrabalhadas, localizadas no sector a montante da represa de Água Forte.

Outros resíduos são possíveis de ser identificados em Aljustrel, mas apresentam um menor potencial contaminante, afectando uma área de 457611m², como sejam as rochas do Complexo Vulcano-Silicioso, representadas por rochas vulcânicas félsicas, xistos negros e vermelhos, jaspes e chertes.

tabela 2.6 Classificação dos diferentes tipos de materiais de escombreiras (adaptado Matos, 2007)

ID	M (UTM)	P (UTM)	material
EA-2	574101	4191473	pirite grosseira de Aljares
EA-3	574123	4191482	pirite britada de Aljares
EA-4	574172	4191219	pirite britada de Aljares
EA-5	574200	4191211	pirite grosseira de Aljares
EA-6	574286	4191273	pirite britada de Aljares
FA-11	574210	4191673	pirite britada de Aljares
EA-16	574288	4191819	pirite grosseira de Aljares
FA-19	572217	4192197	pirite britada de Barragem
EA 7	574334	4191382	escória + <i>hostrack</i> + minério de Aljares
EA-14	574115	4191793	<i>hostrack</i> + minério de Aljares
EA-20	571978	4193570	<i>hostrack</i> + minério de São João
EA-21	572179	4193880	<i>hostrack</i> + minério de São João
EA-1	574073	4191780	tancue de evaporação de Aljares
EA-18	572309	4192260	tancue de evaporação de Barragem
FA-13	574454	4191623	escórias romanas de Aljares
EA 8	574636	4191321	escórias romanas de Aljares
EA-9	574527	4191363	escórias romanas de Aljares
EA 10	574665	4191371	escórias romanas de Aljares
EA-12	574221	4191620	pirite ustulada de Aljares
EA-16	574223	4192632	manganês de Cabeça do Funicul
EA-17	572907	4193001	manganês de Moinho

tabela 2.7 Concentração dos elementos Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, Co, Mn, Fe, As, Au, Cd, Sb, Bi, Hg e S nas amostras de escomboreiras (adaptado Matos, 2007)

ID	Mo ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ag ppm	Co ppm	Mn ppm	Fe %	As ppm	Au ppb	Cd ppm	Sb ppm	Bi ppm	Hg ppm	S %
EA-2	15,8	2391,7	2707,7	7572	>100	128,9	110	38,32	2168,2	367,5	18,8	308,4	180,1	>100	>10
EA-3	3,7	1046,6	2139	1728	23,6	113,4	56	31,60	877,9	82,7	4,7	105,6	111,1	66,72	>10
EA-4	5,2	854,4	7436,8	1057	25,3	94,9	52	21,47	1257,5	201,3	3,5	98,6	111,7	58,71	>10
EA-5	6,6	7021,2	3727,7	1777	21,3	104,9	57	28,12	2190,6	187,5	3,9	129,8	82,2	50,79	>10
EA-6	3,8	800,4	2898	646	16,2	93,8	35	26,36	721,8	147,1	2	107,9	89,6	44,2	>10
EA-11	11,8	580,2	2189,7	3307	43,1	117,3	82	36,71	1205,7	20	7,3	314,1	98,8	>100	>10
EA-15	3,8	120,7	2006,7	1116	60,3	182,6	41	35,28	1378,7	15,3	2,9	235,1	95,3	92,7	>10
EA-19	14,5	>10000	>10000	>10000	>100	60,7	51	27,34	1970,8	435,6	24,6	>2000	239,2	74,25	>10
EA-7	9	577	2905,9	103	7,3	5,3	20	22,99	2337,9	62,3	0,2	119,5	61,7	12,75	1,02
EA-14	3,8	1406,6	4163,6	295	17,6	8,6	124	11,64	1158,2	107,2	0,6	123,6	41,1	26,19	2,88
EA-20	15,9	746,6	2007,7	509	3,5	77,7	1075	5,69	457	50,2	1,2	58,2	8,5	0,34	0,07
EA-21	2	28,7	1866	233	7,1	3,3	119	1,86	624,2	126,7	0,7	57,5	31,2	23,81	2,56
EA-1	8,5	471,6	3113,6	313	9,4	2,3	41	34,39	4139	115,5	0,7	186,2	86,4	15,3	4,52
EA-18	0,2	7514,9	148,3	>10000	<1	97,9	5827	448	176,9	0,6	774	4,7	0,2	0,17	8,87
EA-13	6,6	2197,8	2621,1	363	9,6	16,6	202	13,82	1626,8	76,7	0,8	117,9	36,7	16,27	1,97
EA-8	3,7	5535,6	3132,7	645	5,9	30,5	354	15,7	482,5	26,7	0,9	52,4	14,2	1,3	0,86
EA-9	3,7	7452,7	2633,3	710	8,4	19,2	280	15,51	630,7	23,2	0,1	76,7	16,9	4,2	0,79
EA-10	4,5	3317,3	2069,4	269	3,6	16,2	749	777	331,3	777	0,2	28,6	12,4	3,46	0,36
EA-12	31,2	282	>10000	676	>100	33,7	109	25,14	9033,7	2594,2	3,3	787,4	681,2	>100	>10
EA-16	8	65,7	79,7	58	<1	6,6	7873	8,43	17,2	390,6	<1	1,6	0,7	0,19	<0,06
EA-17	14,3	95,8	89,4	700	<1	30,9	6697	20,6	704,9	28,7	0,6	42,5	0,5	0,05	<0,05

2.9.2. águas ácidas

Na zona mineira de Aljustrel identificam-se quatro barragens de efluentes, localizadas em (figura 2.29):

- zona industrial antiga de Algares, com a barragem de Água Forte [BAF] (águas ácidas) e a reserva de Água Industrial [BAI] (águas limpas)
- zona industrial de Santo Antão (figura 2.30), com a barragem de Estéreis [BE] (águas ácidas) e a barragem de Águas Claras [BAC] (águas limpas)

As águas ácidas encontram-se a jusante das águas limpas. As barragens de Estéreis/Águas Claras são consideradas como as mais importantes do conjunto de infra-estruturas da mina de Aljustrel, relacionadas com os resíduos mais recentes, e ocupam uma área de 33ha e 28ha respectivamente.

Nos dias de hoje as águas ácidas de mina bombeadas do depósito subterrâneo do Moinho são descarregadas na barragem de Estéreis. O recomeço da produção de minério irá produzir novos resíduos, os quais serão despejados na reserva de Estéreis e, conseqüentemente, submersos. Esta barragem irá constituir um sistema fechado e utilizará uma tecnologia moderna de evaporação, de forma a assegurar que não ocorrerão descargas a jusante (Eurozinc, 1999).

A barragem de Estéreis [BE] é composta por materiais locais, principalmente do tipo *Flysch*. A parede da reserva possui 30m de altura, com uma parte central composta por argila, suportada por um enchimento de terra que inclui gravilha sob um sistema de drenagem. O nível das águas encontra-se a cerca de 3m, com uma capacidade de $2,29 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Eurozinc, 2001).

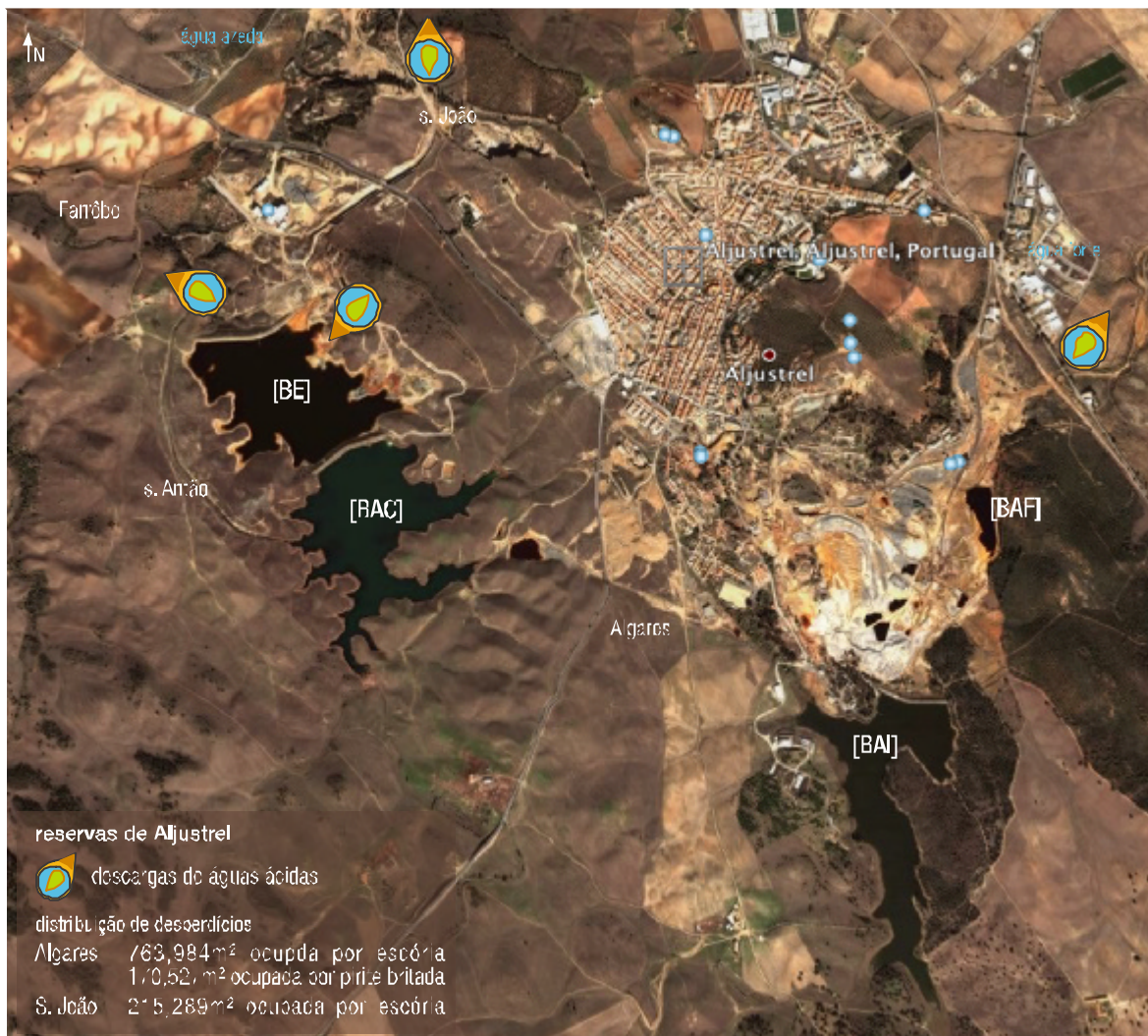


figura 2.29 Principais barragens de efluentes de drenagem no complexo mineiro de Aljustrel (adaptado de Maus, 2007, [165])



figura 2.30 Sector mineiro de Santo António onde se localizam as reservas de Estoréis e Águas Claras (adaptado de Matos, 2007; [A5])

3. métodos e técnicas

3.1. introdução

Para a elaboração de um estudo de análise em geoquímica ambiental é fundamental identificar os elementos contaminantes existentes nos vários meios amostrais. As técnicas de análise hoje disponibilizadas são de tal forma eficazes e precisas que é possível determinar com rigor o tipo de contaminante, a forma como se encontra e a sua origem.

A área em estudo neste projecto ocupa a zona SE da carta militar 529, à escala 1/25000, localizada na zona mineira de Aljustrel. Esta área foi mapeada conforme figura 3.1. É possível observar a clara separação de unidades geológicas, já referida anteriormente, a W da falha da Messejana, onde se encontram os sedimentos da bacia Terciária do Sado, e E da mesma falha, onde se encontram as rochas de origem vulcânica. Pela acção da falha de Messejana foram formados os denominados Doleritos da Messejana, que por si só constituem uma unidade geológica, ou seja, as rochas filoneanas encontradas na região. Outra consequência dos movimentos da falha foi levantamento das rochas vulcânicas.

3.2. amostragem e preparação de amostras

Com vista a compreender o comportamento geoquímico de um conjunto de elementos nesta região mineira, face à milenar intervenção humana na exploração dos recursos minerais, optou-se por analisar dois meios amostrais, os solos e os sedimentos de corrente, por constituírem os meios mais importantes de caracterização de uma área e avaliar o grau de impacto das actividades antrópicas nos diferentes ecossistemas.

Os solos constituem um meio amostral por excelência, podendo dar boas indicações sobre o tipo de rocha mãe bem como definir e localizar, com bastante precisão, focos de poluição presentes na área amostrada. Neste último caso a mobilidade dos elementos constitui uma característica relevante para a interpretação dos resultados.

A colheita de sedimentos de corrente é de extrema importância, uma vez que a conjugação dos resultados obtidos com os de outros meios pode fornecer informação importante para a caracterização do contexto poluente da zona em estudo.

A colheita de solos foi efectuada em duas fases tendo, o primeiro conjunto de amostras (figura 3.2), sido colhido no âmbito do projecto *e-EcoRisk*. Após a análise dos resultados obtidos, numa fase anterior ao presente trabalho, sentiu-se a necessidade de alargar a área de estudo, para que parte da bacia Terciária do Sado fosse parte integrante deste estudo. Nesse sentido foi colhido um segundo conjunto de amostras (figura 3.3) em Outubro de 2006, já no âmbito do presente estudo. Em ambas as campanhas as amostras de solo foram colhidas a cerca de 10-15cm de profundidade.

Com vista a facilitar a identificação dos dois conjuntos de amostras de solos foi convencionada a designação de 1ª Campanha, para as amostras de solos colhidas inicialmente no projecto *e-EcoRisk*, e de 2ª Campanha, para o conjunto de solos colhidos no âmbito desta tese de Mestrado *Caracterização geoquímica de solos e sedimentos de corrente na zona envolvente à área mineira de Aljustrel, ao abrigo do projecto EVALUSE (POCI/ECM/61699/2004)*.

As 156 amostras da 2ª campanha foram colhidas, entre 9 e 13 de Outubro de 2006, segundo uma malha traçada, com base na área total definida para este estudo, no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

Esta amostragem consistiu na colheita de uma amostra no horizonte superficial do solo (horizonte A). As colheitas foram feitas de baixo para cima para evitar a contaminação e mistura das amostras de horizontes inferiores.

O material de colheita nomeadamente pá amostradora e martelo foram sempre passados primeiro no material a ser amostrado, de modo a evitar misturas entre cada colheita.

As amostras de solos foram colhidas para sacos de plástico, previamente preparados, pesando cada amostra entre 1,5 a 2Kg. Cada amostra foi ensacada individualmente e identificada. Para além da pá de aço inoxidável, dos sacos de plástico, caderno de campo e carta topográfica, foram também utilizadas etiquetas de papel, escritas a lápis, que foram colocadas dentro de cada um dos sacos, bem como um marcador indelével para escrever no exterior dos mesmos, de forma a identificar as amostras. Os sacos foram fechados, individualmente com fio de norte (figura 3.4). Cada local de colheita, previamente estabelecido, era agora numerado na respectiva carta topográfica.

Foi realizada também uma campanha de mostragem de sedimentos de corrente que contemplou algumas áreas com forte impacto ambiental (figura 3.5). A utilização de sedimentos como meio de amostragem foi escolhida por apresentar algumas das vantagens, designadamente:

- › normalmente mostra boa representatividade da bacia de drenagem
- › a correlação entre a sua composição e a do rocha-mãe é boa
- › a experiência na sua utilização como meio de amostragem é muito grande
- › a colheita é simples, pode ser barata e não requer meios humanos especializados
- › os dados podem ser usados com um grande número de elementos químicos com diferentes comportamentos geoquímicos (Ferreira, 1993)

Em contrapartida este meio de amostragem também apresenta algumas desvantagens:

- › a rede de linhas de água pode ser irregular ou mesmo inexistente
- › os sedimentos podem representar só certas áreas de erosão ou representar apenas sedimentos argilosos da bacia
- › as fracções finas, normalmente utilizadas, podem ser difíceis de encontrar
- › são facilmente contamináveis em áreas de utilização humana

A localização das amostras recolhidas de sedimentos de corrente é apresentada na figura 3.5, elaborada com o auxílio do software *Surfer 8 Golden Software*.

Os procedimentos tidos com as amostras de solos e de sedimentos de corrente, após recepção no laboratório, foram os seguintes (figuras 3.6 e 3.7):

- › as amostras foram colocadas em tabuleiros de plástico e, sempre que necessário, secas na estufa com temperatura máxima de 40°C
- › depois de secas, numa sala limpa com mecanismo de extracção de poeiras, as amostras foram homogeneizadas e quarteadas; dois quartos opostos da amostra foram arquivados em saco plástico e selados
- › a restante amostra foi desagregada, com o auxílio de um martelo e rolo de madeira, sobre uma folha de papel, substituída entre cada moagem
- › após a desagregação as amostras foram peneiradas para obter uma granulometria inferior a 80mesh, ou 170µm, a fracção mais utilizada em levantamentos geoquímicos (Rose *et al.*, 1992)
- › a fracção <80mesh foi guardada em frasco de plástico esterilizado de 100ml, devidamente referenciados, enquanto que a restante foi rejeitada

Usaram-se equipamentos, ferramentas e contentores apropriados durante todo o processo de preparação física das amostras, de forma a evitar a contaminação. Todos os utensílios utilizados foram lavados, secos e limpos após o peneiramento de cada amostra.

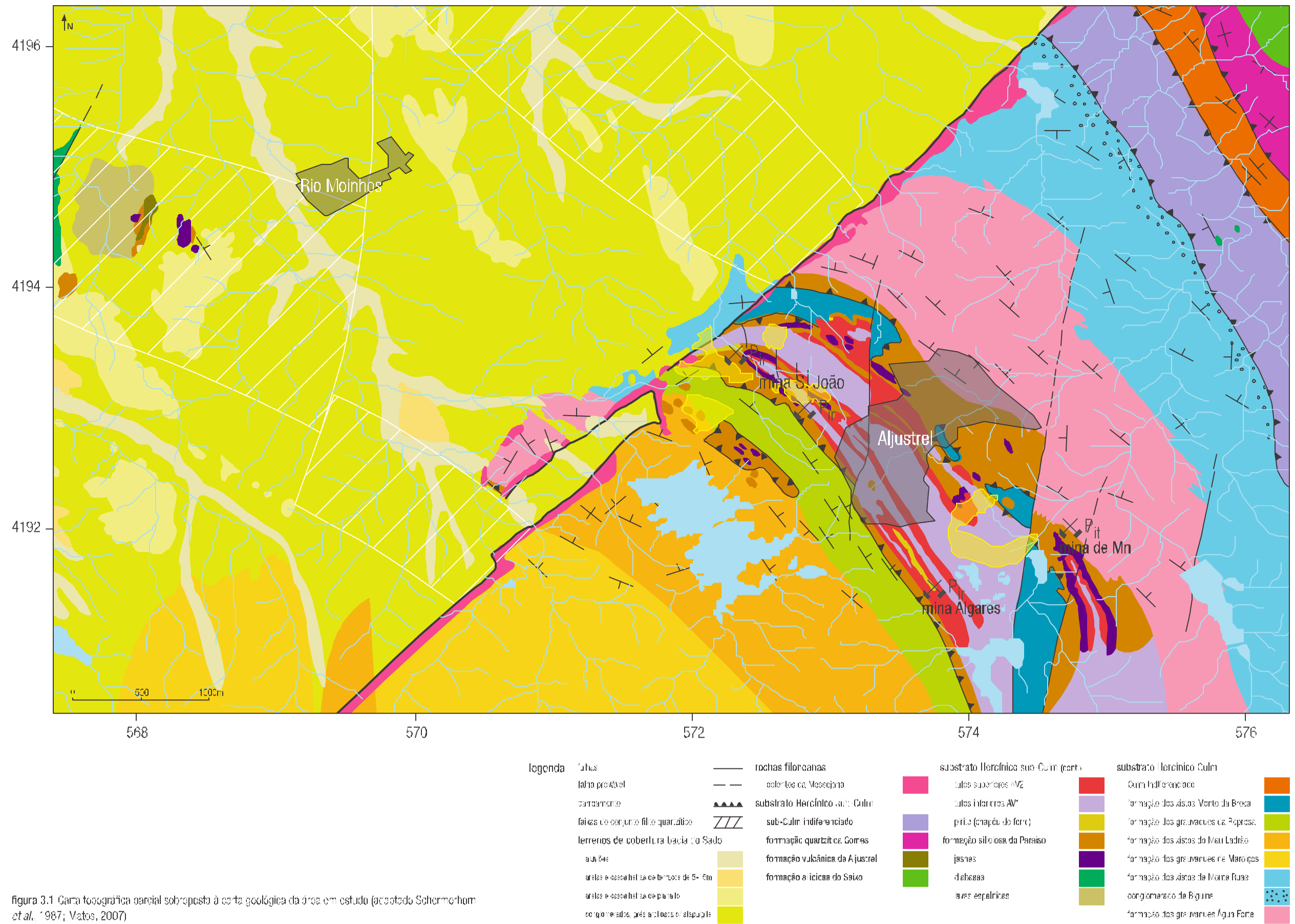


figura 3.1 Carta topográfica parcial sobreposta à carta geológica da área em estudo (adaptado Schermmerhorn et al., 1987; Vatos, 2007)

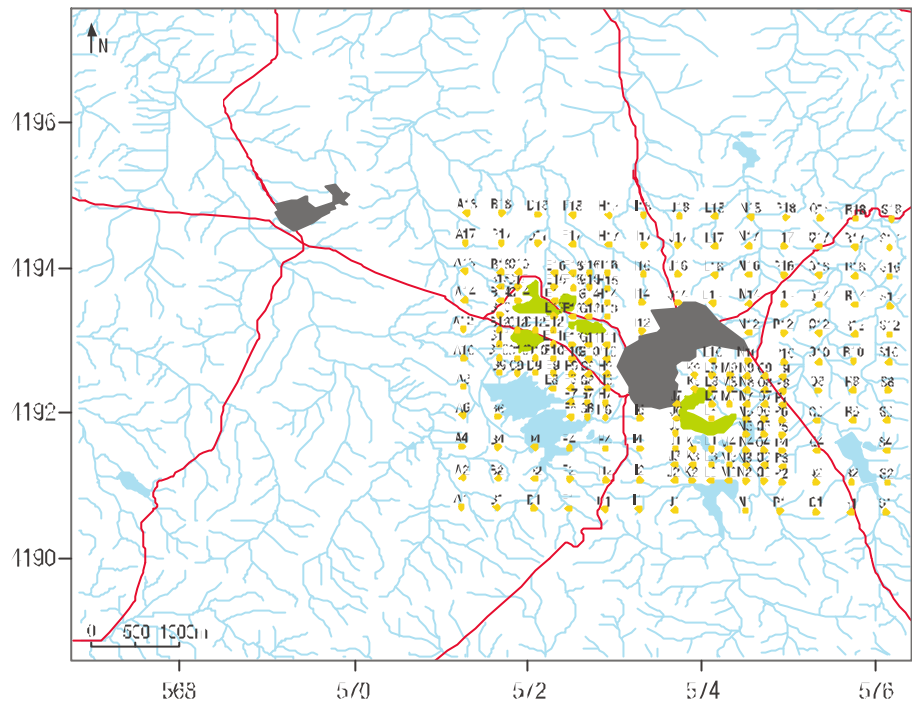


figura 3.2 Localização das amostras de solos recolhidas na 1ª campanha de solos no âmbito do Projecto Europa e EcoRisk

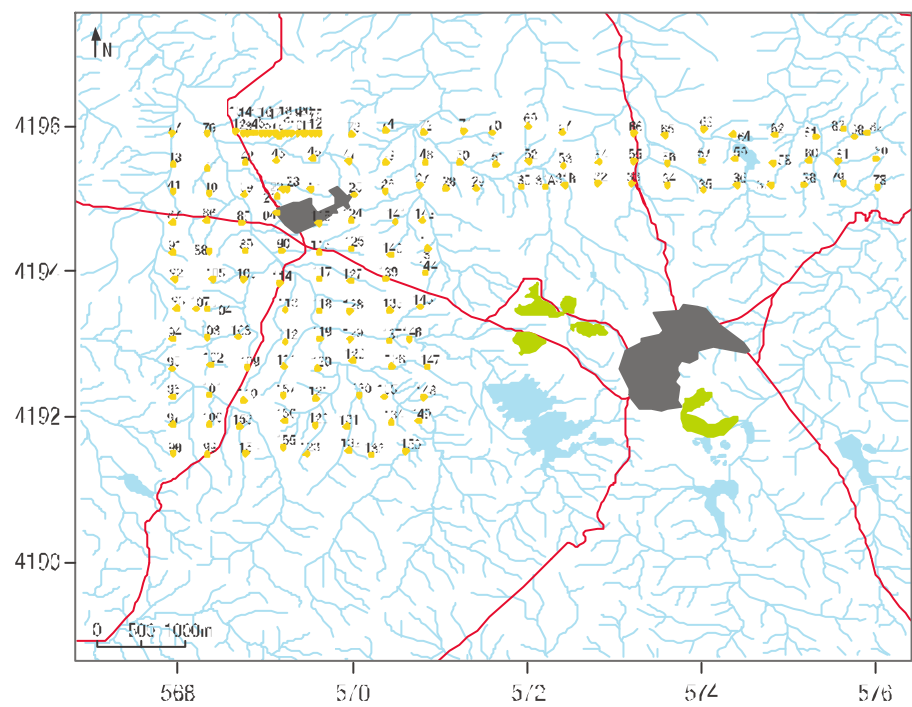


figura 3.3 Localização das amostras de solos recolhidas na 2ª campanha de solos no âmbito do Projecto EVALUSE (FCI)



figura 3.4 Formeior do procedimento de colheita e de embalagem individual das amostras relativa à 2ª campanha de amostragem realizada na zona mineira de Aljustrel (fotos Hugo Garcia e Carla Cardoias)

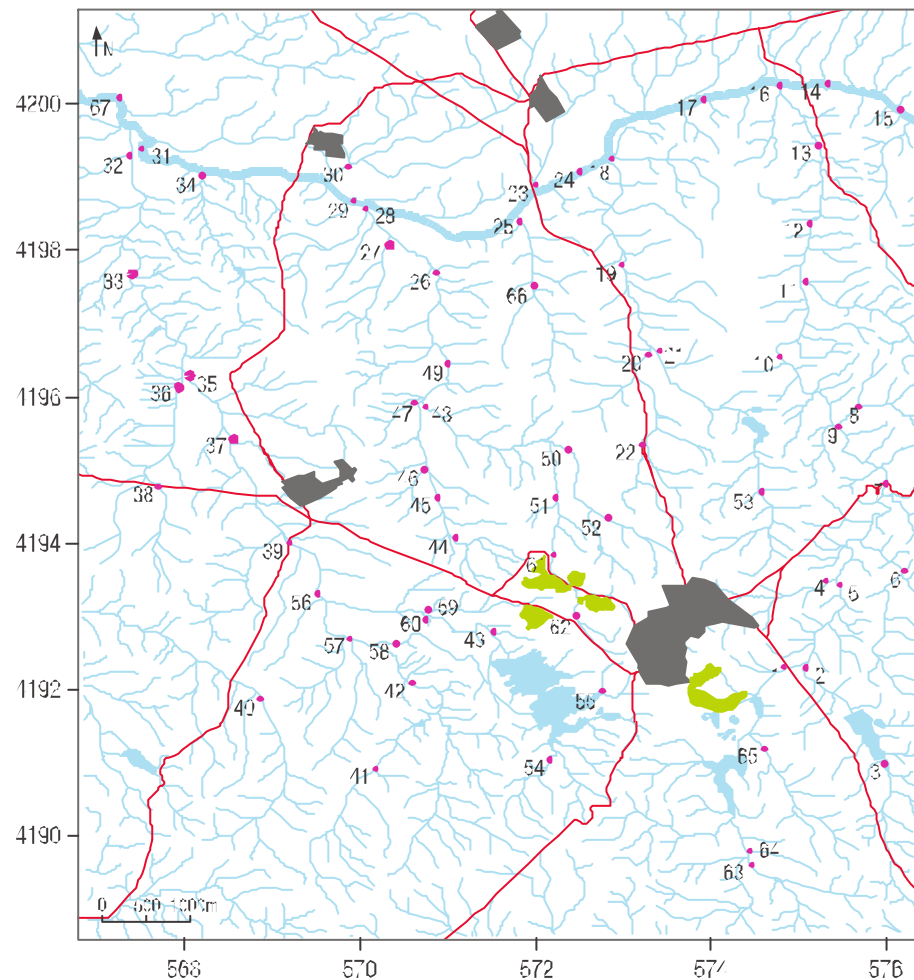


figura 3.5 Localização das amostras de sedimentos do corrente (ribeira da Água Forta, ribeira de Água Azêda, ribeira do barranco do Ferrão e ribeira do Roxo)

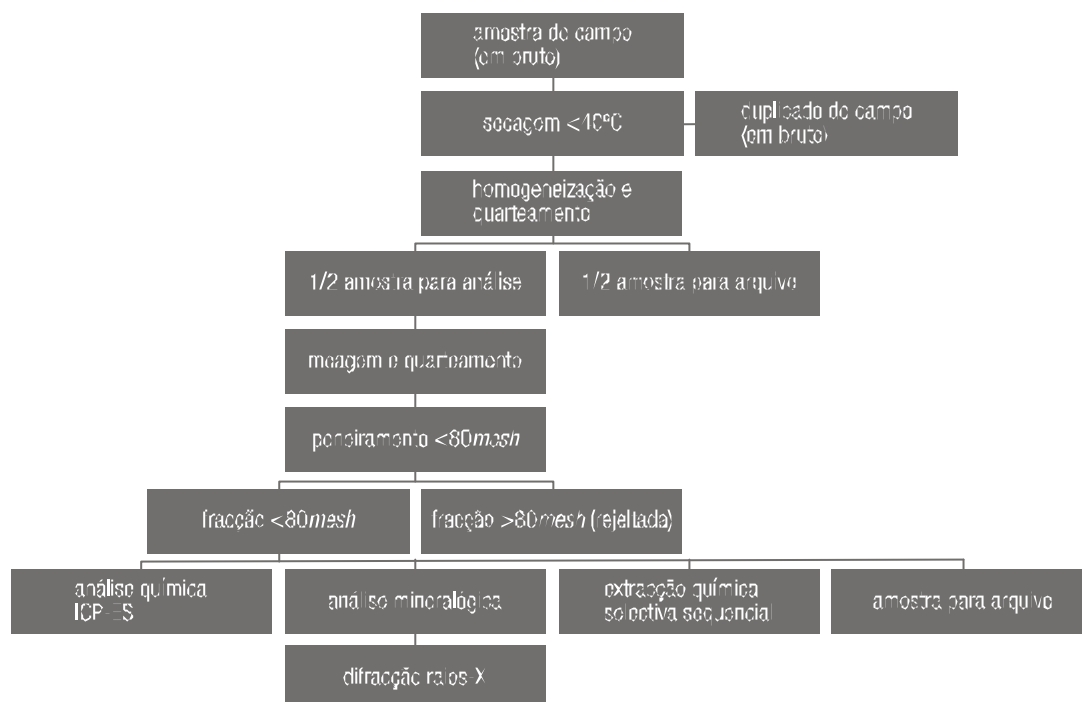


figura 3.6 Fluxograma da preparação física das amostras de solos e métodos de análise



figura 3.7 Alguns dos procedimentos após a recepção no laboratório das amostras (fotos Carla Candeiias)

3.3. métodos de análise

Com vista à caracterização dos solos e sedimentos de corrente, objecto de estudo deste trabalho, foram efectuadas diversas análises, utilizando diferentes metodologias, designadamente a Espectrometria de Emissão de Plasma (ICP-ES), a classificação mineralógica por difracção de raios-X e a extracção química selectiva sequencial.

análise química

A análise química de todas as amostras de solos e sedimentos de corrente foi efectuada no laboratório comercial, internacionalmente acreditado, *ACME Analytical Laboratories Ltd. - ISSO 9002 Accredited Co.*, em Vancouver, no ano de 2007. As amostras de solos foram analisadas para 35 elementos (Ag, Al, As, Au, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn, Zr) por Espectrometria de Emissão de Plasma (ICP-ES OPTIMA). O método analítico utiliza 0,25 gramas de amostra, sendo decomposta com HClO_4 — HNO_3 — HCl — HF , a uma temperatura de $\sim 100^\circ\text{C}$, seguida de uma diluição com água até perfazer 10ml.

As amostras (0,5g) de sedimentos de corrente foram decompostas utilizando 3ml de uma solução mistura de 2ml $\text{HCl}(c)$ —2ml $\text{HNO}_3(c)$ —2ml H_2O , a 95°C , durante uma hora. Em seguida, foi efectuada uma diluição com água desmineralizada até perfazer 10ml por amostra. As soluções foram então analisadas por Espectrometria de Emissão de Plasma Inductivo (ICP-ES) para 36 elementos químicos (Ag, Al, As, Au, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Sn, Sr, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn e Zr, no laboratório *ACME Analytical Laboratories Ltd.*.

A precisão analítica foi determinada por análise de materiais de referência e amostras em duplicado, em cada local de amostragem. Na tabela 3.1 apresentam-se os limites de detecção para os vários elementos químicos.

Nos Anexos I, II e III apresentam-se os resultados das análises químicas efectuadas nas amostras de solos e sedimentos de corrente, para os elementos seleccionados, nos respectivos locais de amostragem.

tabela 3.1 Limites de detecção do método analítico (ICP-ES) e ICP-MS utilizado na análise das amostras de solos e de sedimentos de corrente (ACME, 2007)

elemento	ICP – ES	elemento	ICP – ES	elemento	ICP – ES	elemento	ICP – ES
Ag	0,5 ppm	Cr	2 ppm	Ni	2 ppm	V	2 ppm
Al	0,01 %	Cu	2 ppm	P	0,02 %	W	1 ppm
As	5 ppm	Fe	0,01 %	Pb	5 ppm	Y	0,1 %
Au	1 ppm	K	0,01 %	Sb	5 ppm	Zn	2 ppm
Ba	1 ppm	La	2 ppm	Sc	1 ppm	Zr	2 ppm
Be	1 ppm	Mg	0,01 %	Sn	2 ppm		
Bi	5 ppm	Mn	5 ppm	Sr	2 ppm		
Ca	0,01 %	Mo	2 ppm	Th	2 ppm		
Cd	0,4 ppm	Na	0,01 %	Ti	0,01 %		
Co	2 ppm	Nb	2 ppm	U	10 ppm		

análise mineralógica por difracção de raios-X

O conhecimento da composição mineralógica surge como uma mais valia importante na caracterização dos solos. Os minerais usualmente encontrados resultam da combinação dos minerais herdados da litologia original, minerais resultantes da alteração (transformação) dos primeiros, e novos minerais formados no solo, na sequência do processo de alteração. As concentrações dos diversos elementos químicos estão obviamente relacionadas com a mineralogia do solo.

A determinação qualitativa e quantitativa dos minerais primários fornece indicações muito úteis quanto ao grau de evolução do solo e sobre a sua reserva mineral, que constitui a fonte directa de elementos nutritivos para o desenvolvimento das plantas. Deste modo a caracterização dos minerais primários, como conjunto de minerais alteráveis presentes nos solos, apresenta um valor pedogenético e agrológico (Botelho da Costa, 1995).

Em estudos com objectivos ambientais é prática comum, para além da caracterização geoquímica, o conhecimento da composição mineralógica dos solos, nomeadamente em casos de eventual contaminação (Song *et al.*, 1999; Quental *et al.*, 1997) e todas as implicações de dispersão de poluentes (Huertos, 1998).

Os raios-X são radiações electromagnéticas com a mesma natureza das radiações que compõem a luz branca invisível ao olho humano, com comprimentos de onda cerca de 1000 vezes menores do que os comprimentos de onda da luz visível, daí resultando grandes diferenças nas propriedades dos dois tipos de radiações.

A difracção de raios-X representa um método expedito de análise mineralógica, obtendo-se diagramas que diferem de mineral para mineral consoante as características da equidistância dos planos cristalinos do material. Obtêm-se indicações da qualificação, caracterização e quantificação dos minerais presentes numa argila (Gomes, 1988). Trata-se de uma técnica de análise muito rápida e não destrutiva, aplicável apenas a minerais cristalinos.

Todos os planos reticulares dos cristais são revelados nos diagramas, sendo os planos basais os de maior interesse na identificação das espécies minerais argilosas, em virtude de se conhecer rigorosamente o seu espaçamento. A identificação dos minerais por este método nem sempre é óbvia sendo, por vezes, necessário sujeitar a amostra a determinados tratamentos antes de os submeter, novamente, à análise.

Neste sentido efectuou-se a análise mineralógica de seis amostras (J6, K3, L5 e N5 da 1ª campanha e 31A e 31B da 2ª campanha), previamente seleccionadas por se tratarem de amostras representativas da contaminação, principal objecto de estudo deste trabalho, de forma a determinar as composições mineralógicas respectivas.

O estudo foi efectuado em cerca de 1g de amostra seca e desagregada. Esta é exposta ao feixe de raios-X de um difractómetro X'Pert PW3040/60, constituído por um gerador MPPC, um goniómetro PW 3050, com $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1.54056 \text{ \AA}$) e um microprocessador Philips PW1130/90 com registo em impressora, no laboratório de análise mineralógicas do departamento de Geociências da Universidade de Aveiro. As condições instrumentais utilizadas foram 40kV de voltagem, uma corrente de 30mA, ranhura 1,1,1,0.5mm. Os registos difratométricos foram efectuados entre 2º e 60º (2 θ) com intervalos de 0.02º, sendo contados 2 segundos entre intervalos.

extracção química selectiva sequencial

A caracterização da reactividade química de fases metálicas associadas às fracções inorgânicas e orgânicas é uma forma muito rápida e indirecta de determinar a disponibilidade de metais. As extracções químicas parciais, sequenciais e selectivas são usadas para determinar em que fases suporte se distribuem os diferentes elementos químicos de uma amostra, em geral de sedimentos ou solos. O método utilizado neste trabalho consiste no uso sequencial de reagentes seleccionados, capazes de extrair para a fase líquida

os elementos presentes nos tipos específicos de fases suporte, por reacções de troca iónica, oxidação-redução e dissolução. Os reagentes foram aplicados sequencialmente à fase sólida das amostras seleccionadas, de acordo com a sua agressividade química:

- › acetato de sódio [NaOAc], com pH 5 com vista à extração dos catiões permutáveis adsorvidos pela argila e elementos coprecipitados com carbonatos, à qual se associam elementos cuja solubilidade depende do pH
- › hidroxilamina a frio, para extração de óxidos de Fe amorfo e óxidos de Mn cristalino
- › hidroxilamina a quente, para extração de óxidos de Fe amorfo e cristalino e óxidos de Mn cristalino
- › água régia, para extração de sulfuretos e minerais de argila
- › digestão por quatro ácidos (ou ataque total) onde se irão decompor os silicatos remanescentes

As análises foram efectuadas, no início do ano de 2008, nos laboratórios da empresa certificada *Actlabs Laboratories, Ltd.* As amostras seleccionadas para este estudo foram J6, K3, L5 e N5 (figura 3.8), todas elas pertencentes à primeira campanha de amostragem. A sua selecção foi feita com base nos elevados teores obtidos, na análise química anteriormente descrita, para os elementos As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn. A tabela 3.2 apresenta os limites de detecção do método descrito.

3.4. tratamento de dados

O tratamento dos dados obtidos por Espectrometria de Emissão de Plasma (ICP-ES) (capítulo 3.3.), aliados aos conhecimentos teóricos evidenciados nos capítulos 1 e 2, foi efectuado segundo três métodos:

- › métodos univariados: métodos estatísticos simples e robustos, ou seja, histogramas e *box-plots*

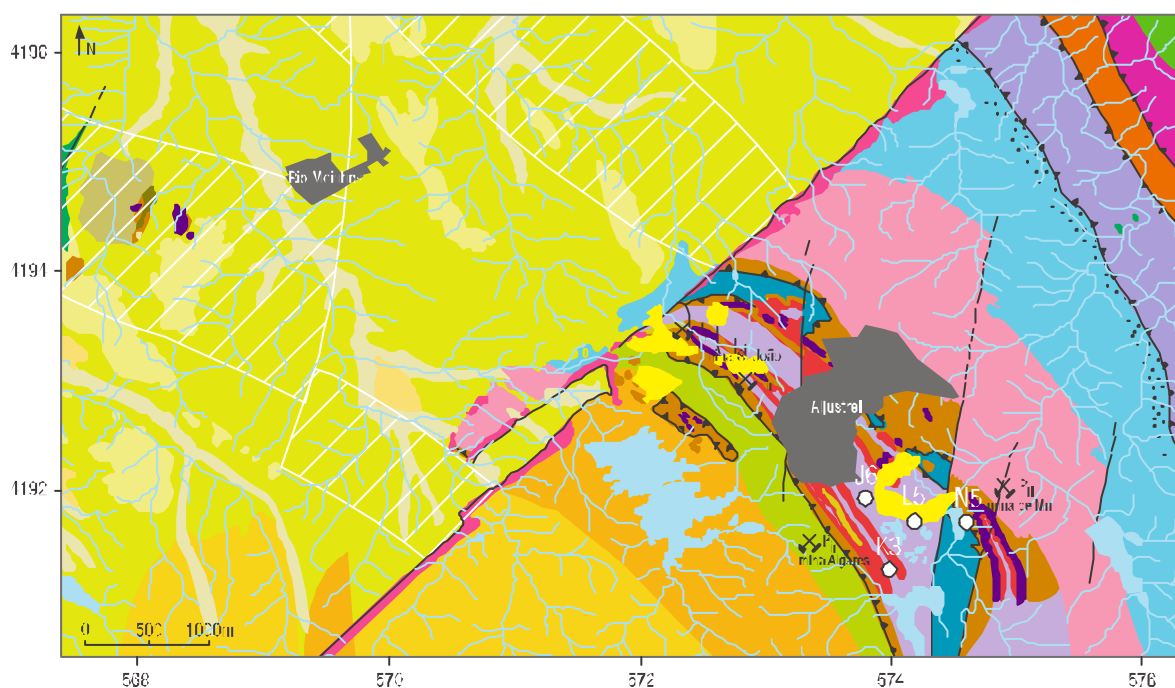


figura 3.8 Localização das amostras seleccionadas para extração química sequencial

tabela 3.2 Limites de detecção do método de extracção química sequencial selectiva utilizado na análise das amostras de solos seleccionados (Actlabs, 2007)

método	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
[a ₁]	0,100	0,100	0,500	0,200	1,000	0,500	0,500	0,200
[a ₂]	0,100	0,010	0,500	0,010	1,000	0,100	0,010	0,100
[a ₃]	0,040	0,005	5,000	0,040	0,040	0,080	0,020	0,500
[a ₄]	0,040	0,005	5,000	0,040	0,040	0,080	0,020	0,500
[a ₅]	0,030	0,010	<0,100	0,100	0,100	0,030	0,040	2,000

com: [a₁] acetato de sódio; [a₂] hidroxilamina a frio; [a₃] hidroxilamina quente; [a₄] água régua; [a₅] ataque total

- métodos multivariados: análise de correlações de coeficientes de *Spearman* e análise em componentes principais (ACP)
- métodos geoestatísticos: cálculo de variogramas experimentais para as quatro principais direcções N-S, E-W, NE-SW e NW-SE e posterior ajuste a um modelo teórico, utilizados na elaboração dos mapas de distribuição espacial dos teores dos vários elementos químicos e na interpretação dos resultados da ACP

métodos univariados

Com o objectivo de caracterizar diferentes litologias em função do comportamento das variáveis e ainda identificar zonas potencialmente anómalas do ponto de vista geoquímico, aplicaram-se neste estudo algumas técnicas de análise de dados e geoestatística univariada, sobre matrizes de dados relativos a solos e sedimentos de corrente.

histograma

Em termos básicos, em estatística, um histograma não é mais do que uma representação gráfica da distribuição de frequências de um teor, normalmente um gráfico de barras verticais. É composto por vários rectângulos adjacentes, que representam a tabela de frequências com perda de informações (valores agrupados por classes) de um conjunto de valores. Na escala horizontal, marcam-se os intervalos de classes, em que cada intervalo representa a base de cada barra; na escala vertical, marcam-se as alturas dos rectângulos ou barras, que são as respectivas frequências absolutas de classes (Lopes, 1999).

Os histogramas devem ser construídos com um mínimo número de dados. Quando estes são aumentados existe a tendência de se formar a representação gráfica de uma curva suave. Entre as mais típicas e características, ocorre a distribuição da curva normal (Kume, 1993).

A construção de histogramas tem um carácter preliminar em qualquer estudo e apresenta-se como um importante indicador da distribuição de dados. Pode indicar se uma distribuição se aproxima de uma função normal, como pode indicar se mistura de populações se apresenta como bimodal.

box-plot

Para este estudo também foram utilizados *box-plots*, elaborados no programa *Andad* (IST), para observar a estrutura dos dados. Este tipo de representação gráfica baseia-se exclusivamente na estrutura inerente dos dados, não partindo de qualquer tipo de assunção que se possa fazer à cerca da normalidade da distribuição dos dados.

Depois de ordenados os teores do menor para o maior, estes ficam separados em quatro grandes grupos, cada um dos quais com ¼ das amostras. Cerca de 50% dos dados, entre o 1º e o 3º quartil, estão incluídos numa caixa, estando a mediana definida por uma caixa verde. Dos limites prolongam-se duas linhas, uma em direcção ao mínimo e outra em direcção ao máximo,

cada uma delas medindo 1,5 vezes a cruz (eventualmente recuando para o último teor real); quaisquer valores fora dos limites das linhas são assinalados com uma cruz (anómalos de 1ª ordem) ou por um losango (anómalos de 2ª ordem) (Ferreira, 2004).

métodos bivariados

A correlação é uma medida entre duas (ou mais) variáveis. Os coeficientes de correlação podem variar entre -1.000 e +1.000. Um valor de -1.000 representa uma correlação negativa perfeita, enquanto que um valor de +1.000 representa uma correlação positiva perfeita. Um valor 0.000 representa a total ausência de correlação (Davis, 1986)

O cálculo dos coeficientes de *Pearson* e de *Spearman* são as formas mais comuns de medir a correlação entre duas variáveis. O primeiro, não usado neste estudo, determina o grau de *proporcionalidade* entre os teores de duas variáveis, isto é, o coeficiente é calculado sobre os dados observados. Já o segundo coeficiente, o de *Spearman*, é um método não paramétrico, que se baseia não nos valores observados mas sim no número de ordem, na posição que cada valor ocupa no conjunto dos dados (Ferreira, 2004).

O coeficiente de correlação de *Spearman* é uma medida alternativa de correlação, que sendo não paramétrica, apresenta maior robustez do que a primeira, uma vez que não está tão dependente de eventuais valores anómalos extremos que se possam observar num conjunto de dados geoquímicos (Ferreira, 2004).

métodos multivariados

As técnicas de análise multivariada de dados sofreram um grande desenvolvimento durante as últimas décadas, sobretudo devido ao grande desenvolvimento das ferramentas de análise. A necessidade, cada vez mais premente, de analisar simultaneamente uma grande quantidade de dados e o desenvolvimento do cálculo electrónico, tornou possível a aplicação destas técnicas com elevada rapidez e segurança de resultados.

De facto alguns dos princípios em que se baseiam alguns dos métodos utilizados na Análise Multivariada de Dados, são conhecidos desde o princípio do século (Cariço, 1999), no entanto a aplicação prática a mais do que duas ou três variáveis era bastante morosa, ou mesmo impraticável.

Estes métodos multidimensionais permitem a confrontação de numerosas informações, sendo a interpretação dos seus dados bastante mais rica relativamente à análise da estatística descritiva univariada. A aplicação destes métodos conduz a representações simplificadas de quadros de dados de grandes dimensões. São, por isso, utensílios de síntese notáveis, com os quais se pode apreender as tendências mais marcantes do conjunto dos dados, hierarquizá-los e eliminar os efeitos marginais ou pontuais que possam perturbar a percepção global dos factos.

análise em componentes principais (acp)

A análise em componentes principais (ACP), ou análise multivariada de elementos, é um método de análise factorial descritivo e quantitativo que simplifica informação de grupos de muitas variáveis a um número reduzido de variáveis transformadas, sem que com isso perca informação. Parte-se de um quadro inicial de dados em bruto, uma matriz Q de dimensões $n \times p$ (n linhas por p colunas) da qual se extrai após intersecção da linha i com a coluna j um atributo qualitativo $K(i,j)$ que relaciona a linha i com a coluna j . Neste caso, trata-se da medição de características de variáveis j nos indivíduos i . Este estudo ACP é feito no universo do espaço das variáveis R_p . Estes métodos

descritivos têm por objectivo generalizar a curva de regressão e procurar no espaço multidimensional a curva óptima para minimizar a perda de informação.

A ACP é um procedimento matemático que parte de N variáveis e gera N novas variáveis, conservando a variância original. É uma técnica matemática que opera sobre a matriz de correlação de um conjunto de variáveis, definindo os eixos de um hiperelipsóide de dispersão que explica a variância total das variáveis analisadas (Carriço, 1999).

Pode-se considerar que uma amostra geoquímica é um ponto no espaço inicial de n dimensões, em que n é o número de elementos analisados. Os teores observados de cada um dos elementos são as diferentes coordenadas dessa amostra no espaço inicial (Carriço, 1999).

Na prática são criadas n “novas” variáveis (vectores próprios, eixos, componentes ou factores), dependentes das correlações das variáveis originais, cada uma delas caracterizada por um valor próprio (*eigenvalue*). Este valor não é mais do que a quantidade de variância explicada pelo respectivo eixo.

As Componentes Principais são calculadas sucessivamente. A variância total inicial só seria totalmente explicada pelo primeiro eixo se as variáveis iniciais se correlacionassem de forma perfeita, isto é, se os coeficientes de correlação fossem iguais a 1 e/ou -1. Na prática tal não acontece, verificando-se por isso que cada um dos n eixos explica parte da variância total inicial. O primeiro é o que explica a maior quantidade de variância e o último é o que explica a menor, uma vez que um determinado eixo i só vai poder explicar a variância que os anteriores eixos $i-1$ não conseguiram explicar. Assim, os primeiros eixos são os que geralmente apresentam maior interesse (Carriço, 1999).

A retenção de um número K limitado de eixos (as componentes principais) explicativos de grande parte da variância total, traduz-se geometricamente por uma transposição de um espaço inicial de n dimensões, em que $K < n$. Este procedimento usual implica uma definição de critérios que permita estipular qual a quantidade de variância explicada que é importante (Carriço, 1999).

Para a caracterização da área em estudo utilizou-se o *software Andad* (IST), com a técnica de estatística multivariada, ACP.

A matriz de dados utilizada neste estudo, com o intuito de separar a componente geológica da componente antrópica (actividades mineira e outras, ou seja, actividades que introduzam alterações no sistema) é composta por um total de 356 indivíduos para os solos e 67 indivíduos para os sedimentos, em ambos os casos com 23 variáveis activas, correspondentes aos teores de Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb (Anexo I, II e III).

métodos geoestatísticos

Alguns dos objectivos da geoestatística passam pela descrição e comportamento espacial dos dados, estimação do valor médio das variáveis numa área ou grande volume, estimação de um valor desconhecido num ponto do espaço específico, entre outros.

variografia

A variografia tem como objectivo a construção de um modelo que caracterize os aspectos estruturais de uma variável regionalizada. Como fase inicial de um estudo geoestatístico, a variografia deve ser precedida de uma análise cuidada da informação existente, contemplando os seguintes aspectos (Carriço, 1999):

- › estudo físico: contexto geológico, tectónica, mineralogia, eventuais trabalhos mineiros, topografia, etc.

- › tipo de material (rochas, águas, solos, sedimentos, etc.) e malha de amostragem (regular ou irregular)
- › definição correcta da variável regionalizada a estudar e do respectivo suporte, tendo em conta que a variável deve ser aditiva, para que todas as combinações lineares sejam possíveis, e homogénea, o que significa que o seu suporte deverá ser constante para que tenha sentido o cálculo do variograma
- › estudo estatístico unidimensional (médias, medianas, variâncias, coeficientes de variação, histogramas, diagramas de extremos e quartis, etc.)
- › garantia da estacionaridade com o tratamento em separado de zonas não homogéneas, e com a exclusão, numa primeira fase, dos valores aberrantes
- › ponderação diferenciada de amostras pertencentes a zonas do espaço com amostragem mais apertada, prevenindo possíveis enviesamentos

cálculo dos variogramas experimentais

Após o estudo preliminar e conhecidas as características fundamentais das variáveis regionalizadas, inicia-se a fase da variografia com a construção dos variogramas experimentais (figura 3.8).

O cálculo do variograma experimental faz-se através da expressão

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2n(C_1)} \sum_{i=1}^{n(C_1)} [Z(x+C_1) - Z(x)]^2$$

com $n(C_1)$ como o número de pares de pontos distanciados de C_1 (covariância). Quanto maior o número de pares de pontos (de amostras) maior o significado estatístico (Carriço, 1999).

Duas questões se colocam neste momento: qual a metodologia a seguir na procura dos pares de pontos distanciados de C_1 , e até que distâncias de C_1 se deve pesquisar (figura 3.9). A amplitude, a , identifica a distância a partir da qual as variáveis se tornam independentes (Carriço, 1999).

No que diz respeito à metodologia de procura dos pares de pontos (n) distanciados de C_1 , esta depende da malha de amostragem utilizada.

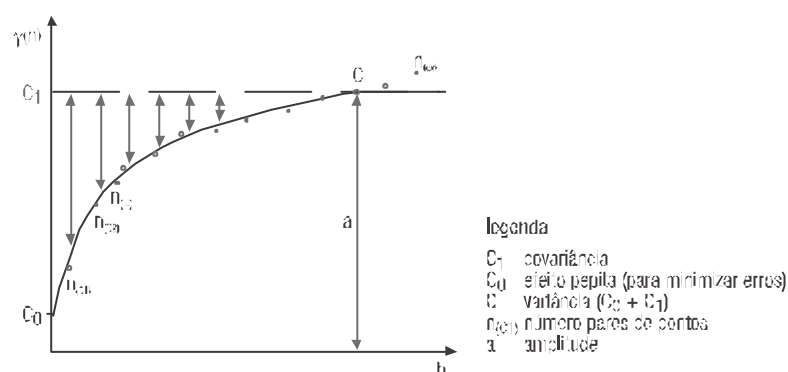


figura 3.9 Representação esquemática dos modelos com patamar (adaptado Cardoso, 1995; Carriço, 1999)

ajustamento do modelo teórico

Calculados os variogramas experimentais, para todas as direcções determinadas, é necessário interpretar as estruturas espaciais evidenciadas e construir um modelo matemático que as sintetize. O modelo encontrado deve ser válido para todo o domínio em estudo, devendo também resumir

toda a informação estrutural da **variável** considerada relevante, uma vez que é com base nesse modelo que será feito o trabalho de estimacão geostatística. Devem evitar-se métodos de ajustamento automático que não do possibilidades de incorporar informaçoes naturalistas relativas à variável regionalizada em estudo (Carriço, 1999).

modelos teóricos
de variogramas
elementares

De acordo com as características dos variogramas estes podem tender ou não para um patamar conforme digam respeito a uma variável estacionária ou apenas intrínseca. De entre os variogramas com patamar destacam-se três tipos de modelos (figura 3.10):

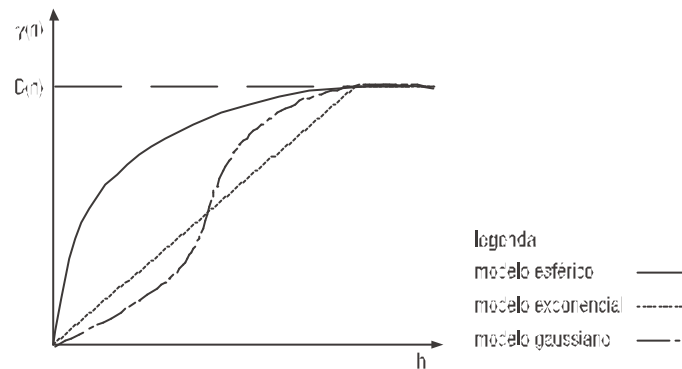


figura 3.10 Representao esquemática dos modelos com patamar (adaptado Cardoso, 1995; Carriço, 1999)

modelo esférico É o modelo mais utilizado no estudo de fenômenos naturais com um comportamento linear junto à origem. A sua expressão analítica é

$$\gamma(h) = c \left[1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \frac{h^3}{a^3} \right] \quad \forall h < a$$

$$\gamma(h) = c \quad \forall h \geq a$$

em que *a* representa a amplitude e *c* o patamar do variograma (Carriço, 1999).

A tangente na origem intersecta o patamar num ponto de abcissa *a'* tal que $a = 1.5a'$.

modelo exponencial É o modelo mais difícil de determinar na prática. Continua a apresentar um comportamento linear junto à origem diferindo do anterior por alcançar o patamar assintoticamente. A tangente na origem intersecta o patamar num ponto de abcissa igual à amplitude *a*. A sua expressão analítica é (Carriço, 1999)

$$\gamma(h) = c \left[1 - e^{-\frac{h}{a}} \right] \quad \forall h \geq 0$$

modelo gaussiano Adapta-se, particularmente, a variáveis muito contínuas. O comportamento junto à origem é parabólico e, tal como no modelo anterior, a tangente na origem intersecta o patamar num ponto de abcissa igual à amplitude *a*. A sua expressão é (Carriço, 1999)

$$\gamma(h) = c \left[1 - e^{-\left(\frac{h}{a}\right)^2} \right] \quad \forall h \geq 0$$

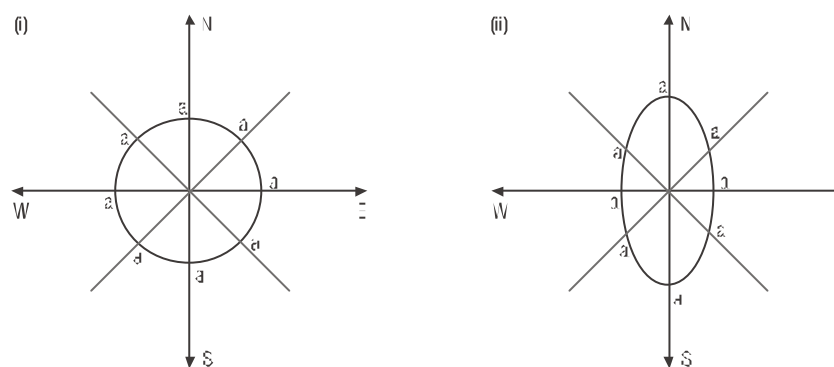
Existem também modelos de variogramas sem patamar no entanto, como não se enquadram neste trabalho, não serão aqui explorados.

estruturas embricadas Quando não é possível ajustar nenhum dos modelos teóricos ao variograma experimental é provável que estejamos na presença da sobreposição de duas ou mais, estruturas, relativas ao mesmo fenómeno mas em escalas diferentes. Este tipo de estruturas, conhecidas como estruturas embricadas, podem ser representadas pela soma de vários variogramas elementares que caracterizam cada uma das estruturas. O modelo embricado é definido pela expressão

$$\gamma(h) = \sum_{i=1}^{N_c} \gamma_i(h)$$

com N_c como o número de estruturas presentes (Carrico, 1999).

isotropia/anisotropia Uma variável regionalizada diz-se isotrópica (figura 3.11) quando o seu variograma depende apenas do módulo de h . É usual, no entanto, o aparecimento de variabilidades espaciais diferenciadas que se reflectem no variograma que apresenta andamentos diversos, consoante a direcção considerada. Neste caso a variável é anisotrópica.



legenda

- (i) variograma isotrópico; as amplitudes (a) são iguais em todas as direcções
 (ii) variograma anisotrópico; a amplitude varia com a direcção; neste caso pode observar-se uma maior continuidade na direcção NS do que na WE (situação típica, por exemplo, de um rio que corre no sentido NS)

figura 3.11 Modelos esquemáticos dos variogramas isotrópico e anisotrópico

krigagem/estimação A krigagem é uma técnica de estimação/interpolação probabilística local. Consiste na procura do melhor estimador do valor real tomado por uma variável regionalizada num determinado domínio, quando conhecidos os valores da variável em zonas estruturalmente ligadas a esse domínio. O estimador será dado pela combinação linear de toda a informação disponível, cujos coeficientes se associam aos valores amostrados e obedecem às suas condições, o não enviesamento e a minimização da variância de estimação.

A concentração geoquímica de base de um dado elemento depende, para um mesmo solo, da granulometria em que é efectuada a análise, da profundidade da colheita da amostra e ainda do método de extracção utilizado (total ou parcial) e do método analítico escolhido para a análise. Este facto deve ser tido em atenção quando se estabelecem comparações.

3.5. critérios de avaliação de risco níveis de base

O termo *concentrações ou níveis de base*, também referido por *background* ou *concentrações de fundo* é entendido como a variação natural na concentração de um dado elemento químico no ambiente superficial. Nos solos as concentrações de base poderão variar, num mesmo local, com factores tão variados como a profundidade de colheita do solo, a fracção escolhida para análise, o método de dissolução da amostra (total ou parcial), o método analítico escolhido, etc. (Ferreira, 2004).

O termo *background* é de utilização comum, principalmente em estudos geoquímicos, aparecendo referido em numerosos trabalhos (Rose *et al.*, 1979; Lepeltier, 1969; Cardoso Fonseca & Serrano Pinto, 1977, etc.) sendo normalmente definido como um único valor, sempre referenciado a teores naturais, e algumas vezes como limite (*threshold*) entre teores anómalos (Salminen & Gregorauskiene, 2000). Segundo Matschullat *et al.* (2000) um *background* geoquímico é caracterizado pela variabilidade regional e é uma função do tempo, embora ainda não exista uma definição satisfatória disponível (Ferreira, 2004).

O termo *geochemical baseline* tem o mesmo sentido, a ausência de contaminação antrópica (excepção para a contaminação difusa pela atmosfera) sendo expresso como um intervalo de concentração elementar característico de um determinado ambiente pedo-geoquímico (Ferreira, 2004).

Uma concentração de *background* verdadeira deveria representar o nível natural de um dado elemento num dado meio sem qualquer tipo de influência humana, o que na prática se revela bastante difícil de encontrar. O termo *baseline* refere-se a teores obtidos num determinado momento e geralmente não corresponde a um *background* verdadeiro. As *geochemical baselines* normalmente exprimem-se como um intervalo de variação na concentração dos elementos, que poderá ser calculado por diferentes metodologias estatísticas, e não como um único valor. Para um dado elemento o valor mais elevado deste intervalo deverá representar o limite superior do intervalo de concentrações naturais (Ferreira, 2004).

Segundo a USEPA (2002) valores muito elevados de *background* não implicam necessariamente a classificação de um local como contaminado, constituindo antes, mais um factor a ser considerado na avaliação e gestão de riscos. As acções de remediação não têm como objectivo repor concentrações inferiores às do *background* (Ferreira, 2004).

A avaliação de locais contaminados requer, em primeira análise, um completo conhecimento dos teores de fundo (*baselines/background*) dos potenciais poluentes. Os elementos Ag, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Ti e Zn têm sido referidos como *priority pollutant metal* (Glanzman & Closs, 1993). Analisando, no entanto, outros documentos legislativos de diversos países podemos constatar referências a outros elementos tais como o Ba, B, Co, Mo, U, V, Be, Se, Sn, S e F (Ferreira, 2004).

No presente trabalho, para os solos, foram seleccionados os elementos As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, além de Mn pela sua importância.

Regra geral a avaliação de solos contaminados é efectuada a partir de valores normativos que estabelecem a concentração de referência e a concentração máxima aceitável que um dado elemento poderá ter num solo, após fixado um risco (para a saúde humana, para os ecossistemas, etc.) aceitável.

Estes valores de concentração máxima para os poluentes em solos são usualmente da responsabilidade dos ministérios do ambiente e formulados

a partir dos resultados de estudos ecotoxicológicos, ou outros. No entanto, normalmente, são baseados em directivas ou recomendações já existentes noutros países. No caso português, em que não existe legislação específica para a avaliação de locais contaminados, têm sido utilizados critérios de outros países (Ferreira, 2004).

Na ausência de interferência humana (práticas agrícolas, actividade industrial ou mineira, etc.), as concentrações dos elementos químicos no solo são largamente dependentes da composição mineralógica do material originário e da variedade de processos pedogenéticos, ou seja, de um conjunto de causas naturais. Ferreira (2004) calculou a concentração máxima que um dado elemento químico poderá ter no solo, sem perda das suas qualidades (aptidões/funções) gerais que neste texto será referido como *valor guia* (VG), e deverá corresponder ao limite superior das concentrações geoquímicas de base (*geochemical baselines*), ou seja, um nível abaixo do qual será possível qualquer uso para o solo.

A tabela 3.3 apresenta os VG para os solos nacionais (Ferreira, 2004), para os 8 elementos químicos estudados.

tabela 3.3 Proposta de valores de referência para solos de Portugal (adaptado Ferreira, 2004)

	VF	VG	VGE	VA	VI	
As	11	22	20	30	55	legenda VI valores de fundo (<i>background</i>) [mg/kg] VG valores guia [mg/kg] VGE valores guia em solos naturalmente enriquecidos [mg/kg] VA solos agrícolas [mg/kg] VI outros usos (com excepção para o industrial/comercial) [mg/kg]
Cd	<0.2	0.6	-	2.5	12	
Cu	16	35	52	100	200	
Ni	16	43	82	75	100	
Pb	21	24	35	200	500	
Zn	55	85	149	300	500	

A análise da qualidade dos sedimentos de corrente foi efectuada com base nos valores propostos no *Consensus-based sediment quality guidelines*, desenvolvido pelo *Contaminated Sediment Standing Team*, em 2003. Na tabela 3.4 apresentam-se caracterizados quatro níveis, para os quais é possível ter uma base precisa de averiguação da presença de concentrações tóxicas de alguns elementos químicos (Luís, 2007).

De acordo com Luís (2007) foi definido um valor abaixo do qual não se observam efeitos de toxicidade (TEC *Threshold Effect Concentration*) e um valor correspondente a um possível efeito de toxicidade (PEC *Probable Effect Concentration*). Verifica-se que existe um aumento de toxicidade entre o nível 1 (inferior a TEC) e o nível 4 (superior a PEC), existindo um valor intermédio (MEC). Em resumo:

nível 1 < TEC < nível 2 < MEC < nível 3 < PEC < nível 4

Para este trabalho, para os sedimentos de corrente, foram analisados em pormenor os elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb e Zn.

tabeLa 3.4 Valores guia recomendados relativamente a alguns metais (TEC, MEC, PEC) para a avaliação da qualidade de sedimentos e respectivos níveis de preocupação [mg/Kg] adaptado *Consensus-based sediment quality guidelines*, recomendando para aplicação e uso pela *Contaminated Sediment Standing Team* (2003) (Luis, 2007)

	TEC	MEC	PEC	ref.ª
As	0,8	21,4	35,0	(a)
Cd	0,95	3,0	6,0	(b)
Cu	32	91	150	(b)
Ni	23	36	49	(c)
Pb	36	83	130	(b)
Zn	120	290	460	(b)

(a) BG (1959); (b) CSQG (2003); (c) Oróstio (1992)

4. caracterização geoquímica dos solos da zona envolvente à área mineira de Aljustrel

4.1. introdução

Neste capítulo pretende-se apresentar a análise das variáveis, individualmente e por comparação, de modo a fornecer um conjunto de medidas e parâmetros de síntese, em tabelas e gráficos, com vista a descrever um conjunto de dados e a pesquisar estruturas e anomalias existentes na área em estudo.

As matrizes de dados, apresentadas nos Anexos I e II, são compostas, no total, por 356 indivíduos e 23 variáveis, correspondentes aos teores Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb. Foram excluídos da análise estatística os elementos Ag, Au e S, por apresentarem valores abaixo do limite de detecção e os elementos U, Th, Ca, La, Mg, Ti, Zr, Ce, Y, Nb, Ta, Be, Sc, Li, Hf por não terem sido consideradas na análise dos dados dos sedimentos de corrente (uma elevada percentagem dos dados estava abaixo do limite de detecção ou apresentavam valores iguais). Também foram eliminados os dados relativos aos indivíduos recolhidos sobre as escombrelas por se considerar, aquando da análise multielementar da 1ª campanha, que alteravam de forma significativa os valores globais.

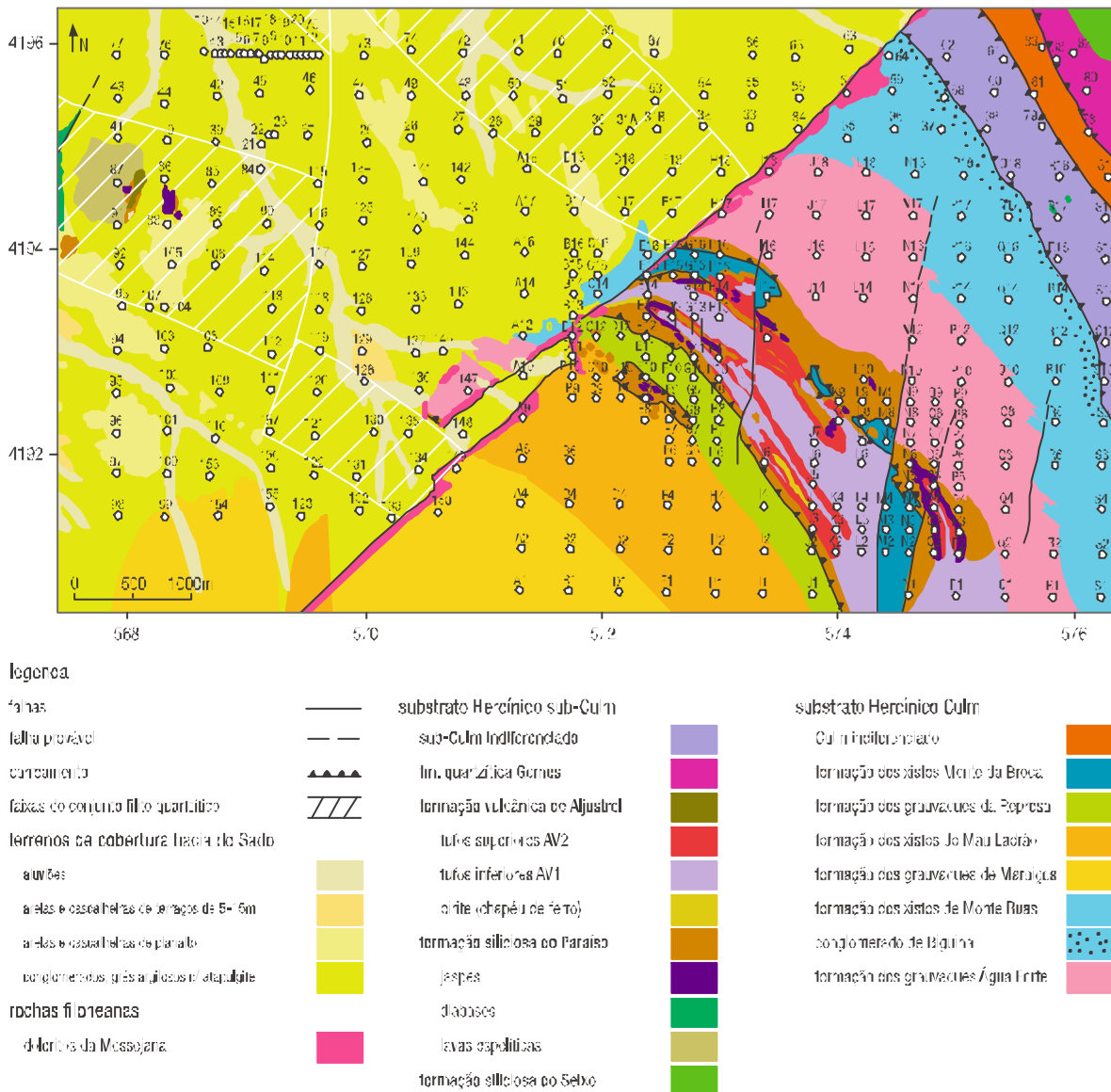


figura 4.1 Representação esquemática da sobreposição da malha de amostragem com a geologia

Das matrizes apresentadas, a primeira coluna corresponde à identificação atribuída a cada amostra, para a fracção granulométrica < 80mesh. As colunas M e P referem-se às coordenadas das amostras, enquanto que as colunas subsequentes apresentam os teores dos vários elementos.

Com base na localização das amostras de solo da 1ª e 2ª campanhas procedeu-se à sua sobreposição com a geologia de forma a definir as diferentes tipologias.

A figura 4.1 apresenta a localização das amostras de solo e respectiva distribuição pelas diferentes unidades geológicas

Da análise da figura anterior verifica-se que os indivíduos amostrados se encontram distribuídos conforme apresentado na tabela 4.1. Da análise optou-se por distribuir as amostras por quatro unidades: camadas do Sado, doleritos da Messejana, Culm e Complexo Vulcano-Silicioso.

tabela 4.1 Correspondência entre as amostras recolhidas e a respectiva unidade geológica

zona geológica	identificação dos indivíduos	% do total
terrenos de cobertura bacia do Sado		12,12%
aluviões	A10, 2, 3, 4, 21, 41, 48, 51, 84, 100, 110, 117, 126, 137, 148, 155	4,19%
areias e cascalheiras	H18, 77, 67, 88, 93, 97, 96, 105, 129, 141	2,81%
conglomerados, grés argilosos com a.apulite	A12, A14, A16, A17, A18, B13, B14, B15, B16, B17, C15, C18, D17, H18, F17, F18, H18, 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31A, 31B, 32, 33, 34, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 63, 65, 66, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 85, 86, 87, 90, 91, 92, 95, 97, 98, 101, 102, 103, 104, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 127, 128, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 138, 139, 140, 142, 143, 144, 145, 146, 153, 156, 157	35,11%
rochas filonéas doleritos da Messejana	A8, B11, B12, H17, H8, 67	1,69%
substrato Hercínico Culm		36,80%
Culm indiferenciado	S18, 81, 83	0,84%
formação dos xistos de Monte da Broca	F15, F16, C15, G16, I14, I8, M2, M3, M11, M7, N2, N3, M	3,65%
formação dos grauwagues da Represa	D12, E10, E11, F9, F10, F11, G8, G9, G10, H6, H7, H8, H9, I4, J1, J2	4,43%
formação dos xistos do Mau Ladrão	A6, B4, B6, B9, B10, C9, C10, D2, D4, D9, E8, F1, F2, F4, G1, F7, F8, G6, G7, I11, I12, I4, I1, I2	8,74%
formação dos grauwagues de Maroços	A1, A2, A4, B1, B2, D1, 39, 149, 150, 154	2,81%
formação dos xistos do Monte Ruas	C14, E16, N18, P14, P16, P17, P18, Q12, Q14, Q16, R6, 78, R10, R12, S1, S2, S4, S6, 35, 36, 37, 59, 64	6,13%
conglomerado da Biguina	Q17, R14, S8, 58	1,12%
formação dos grauwagues de Água Forte	H6, H7, J17, H16, J17, J18, L14, L16, L17, L18, N1, N8, N9, N10, N12, N14, N16, N17, O6, O7, O8, O9, P5, P6, P7, 78, 79, 710, P12, Q1, Q2, Q4, Q6, Q8, Q10, R1, R2, 147	10,61%
substrato Hercínico sub Culm		19,10%
sub Culm indiferenciado	Q18, R16, R17, R18, S10, S12, S14, S16, S17, 38, 60, 61, 62, 79	3,93%
formação quartzítica de Gomes	Q8, 78, 80, 82	1,12%
tufo superiores AV2	F13, F10, H15, H12, J6, J3, J5, K2	2,25%
tufo inferiores A/1	F14, G13, G14, H13, J4, J6, J7, K3, K4, K8, L2, L3, L4, L6, L7, O1, P1	4,73%
formação siliciosa do Paraíso	C12, E10, E12, E13, F15, G11, F11, F16, K9, L9, L10, M8, V9, N1, N5, N6, 74	4,79%
jascoes	59, H17, P2, P3, O2, O3, O6	1,91%
lavas espelíticas	87	0,29%

tabela 4.2 correspondência entre as amostras recolhidas na 1ª campanha e a respetiva unidade geológica das amostras recolhidas na 2ª campanha

4.2. estatística univariada

A Estatística Descritiva desenvolveu um conjunto de medidas de síntese e de representação gráficas com o intuito de descrever e resumir um conjunto de dados, o que irá permitir encontrar as estruturas anómalas presentes (Sousa, 1999). Neste sentido foi efectuado, para cada elemento anteriormente referido, um tratamento estatístico univariado, onde se calculou a média, a mediana, o mínimo, o máximo e o desvio (tabela 4.2), com o auxílio do *software Andad* desenvolvido pelo Instituto Superior Técnico (IST).

tabela 4.2 Estatística descritiva do conjunto global de dados analíticos; as concentrações dos elementos estão expressas em ppm

ID	n	média	mediana	mín.	máx.	coef. variação	coef. assimetria	S ¹
Mo	356	1.6	0.8	0.2	41.8	1.9	7.89	0.86
Cu	356	135	39	10	5414	3	9.04	2.09
Pb	356	417	38	13	20000	5	8.08	8.66
Zn	356	233	88	22	20000	5	13.92	2.33
Ni	356	37	30	2	106	0	0.57	0.05
Co	356	1.7	1.6	3	161	1	7.52	0.10
Mn	356	1134	811	19	27522	2	8.67	0.66
Fe	356	10389	36400	10500	341300	1	6.18	0.25
As	356	99	18	6	3936	4	7.26	4.77
Sr	356	119	57	34	620	1	1.94	0.31
Cd	356	0.6	0.2	0.1	61.6	6.0	16.55	3.65
Sb	356	20.3	2.3	0.7	980.6	4.6	7.41	6.93
Bi	356	6	0	0	322	6	8.74	10.86
V	356	97	700	19	192	0	-0.07	-0.07
P	356	611	550	700	2240	0	2.67	0.30
Cr	356	57	66	6	115	0	-0.05	0.03
Ba	356	375	377	4	777	0	0.77	0.01
Al	356	68101	68600	13000	737300	0	0.07	-0.02
Na	356	6677	6660	1260	34470	1	1.75	0.34
K	356	75226	75700	3100	32400	0	0.37	0.02
W	356	2	1	0	39	2	9.37	0.95
Sn	356	6	2	1	148	3	6.62	2.20
Rb	356	78	76	14	133	0	0.53	0.06

nota: S¹ indica cálculo do coeficiente de assimetria após a logaritmição dos dados

O valor do coeficiente de variação, quando expresso em %, tem sido adoptado, por alguns autores, como uma medida comparativa/distintiva entre populações constituídas por amostras típicas (não afectadas por acções antrópicas), ou seja, da presença de valores extremos, muito afastados das médias ou da existência de muitos valores inferiores ao limite de detecção (Axtmann & Luoma, 1991). As populações que incluem amostras perturbadas apresentam maior variabilidade de teores de metais. Assim, e pela análise da tabela 4.2, verifica-se que a escala de variabilidade, considerando uma indicação da presença de valores extremos (*outliers*), é a seguinte:

Cd > Bi > Pb > Zn > Sb > As > Cu > Sn > Mo > W > Mn > Na > Fe > Co > Sr > P > Ni > Ba > Cr > Rb > K > V > Al

Ainda pela análise da tabela 4.2 constata-se que as variáveis que apresentam maior assimetria na distribuição são as variáveis Cd > Zn > W > Cu > Bi > Mn > Pb > Mo > Co > Sb > As > Sn > Fe > P. A grande maioria das variáveis apresenta uma distribuição do tipo lognormal. As variáveis referidas anteriormente traduzem, na sua globalidade, os elementos representativos da mineralização de Aljustrel (sulfuretos maciços). Pretendendo efectuar a

caracterização das amostras por unidade geológica efectuou-se o tratamento estatístico básico, tendo em consideração a distribuição espacial das amostras de solos (tabela 4.1) pelas unidades geológicas referidas anteriormente. Calcularam-se os valores de média, mediana, mínimo e máximo para as diferentes formações conforme tabelas 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6. Nestas tabelas estão assinalados com a cor laranja os valores mais elevados, registados nas quatro litologias estudadas, enquanto que a cor azul assinala os valores mais baixos registados nas quatro litologias.

tabela 4.3 Estatística descritiva do conjunto de dados analíticos para os terrenos de cobertura da bacia do Sado (151 amostras) com as variáveis Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb; as concentrações dos elementos estão expressas em ppm

ID	n	média	mediana	mínimo	máximo
Mo	15*	0,7	0,6	0,2	3,1
Cu	15*	32	29	10	186
Pb	15*	34	28	13	191
Zn	15*	72	64	22	569
Ni	15*	31	29	8	57
Co	15*	10	16	6	29
Mn	15*	845	803	271	2400
Fe	15*	31735	31200	70500	49100
As	15*	17	15	6	105
Sr	15*	88	78	34	427
Cd	15*	0,2	0,2	0,1	0,9
Sb	15*	2,2	2,1	0,8	8,1
Bi	15*	0	0	0	3
V	15*	93	92	32	175
P	15*	649	520	200	1380
Cr	15*	60	63	16	99
Ba	15*	323	317	137	550
Al	15*	58528	57900	7700	90900
Na	15*	6109	5130	1260	31490
K	15*	12832	12700	3100	22700
W	15*	-	1	0	2
Sn	15*	2	2	-	6
Rb	15*	64	66	16	113

tabela 4.4 Estatística descritiva do conjunto de dados analíticos para o grupo das rochas filonianas - (oleritos da Messejana (6 amostras) com as variáveis Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb; as concentrações dos elementos estão expressas em ppm

ID	n	média	mediana	mínimo	máximo
Mo	6	1,2	0,5	0,4	4,8
Cu	6	89	39	21	367
Pb	6	109	51	32	425
Zn	6	1237	158	43	6852
Ni	6	35	42	21	51
Co	6	7	7	10	30
Mn	6	836	847	537	1245
Fe	6	38400	42200	24700	52100
As	6	24	18	12	49
Sr	6	97	94	68	171
Cd	6	2,2	0,4	0,1	11,7
Sb	6	3,3	1,7	1,3	9,7
Bi	6	0	0	0	1
V	6	119	119	82	161
P	6	625	660	380	890
Cr	6	70	76	58	93
Ba	6	380	360	289	507
Al	6	68907	77800	39300	97000
Na	6	7453	5750	1950	22300
K	6	12817	15800	6000	78400
W	6	1	1	-	2
Sn	6	2	2	-	3
Rb	6	62	79	31	84

tabela 4.5 Estatística descritiva do conjunto de dados analíticos para o grupo do substrato Hercínico Culm (31 amostras) com as variáveis Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb; as concentrações dos elementos estão expressas em ppm

ID	n	média	mediana	mínimo	máximo
Mo	31	1.6	0.8	0.3	15.3
Cu	31	189	53	1	5414
Pb	31	502	55	16	20000
Zn	31	358	108	40	20000
Ni	31	32	32	2	106
Co	31	17	15	5	101
Mn	31	1324	748	19	27522
Fe	31	43139	38800	18500	238000
As	31	31	22	6	2578
Sr	31	149	138	47	300
Cd	31	0.9	0.3	0.1	61.6
Sb	31	26.2	3.0	0.8	980.6
Bi	31	7	1	0	322
V	31	106	105	20	135
P	31	64	570	100	2220
Cr	31	61	62	0	114
Ba	31	420	406	4	1065
Al	31	76469	76100	14300	125900
Na	31	12713	10880	1360	34410
K	31	16595	16400	3200	31100
W	31	2	1	0	39
Sn	31	7	3	1	148
Rb	31	83	82	14	183

tabela 4.6 Estatística descritiva do conjunto de dados analíticos para o grupo do substrato Hercínico sub Culm (68 amostras) com as variáveis Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb; as concentrações dos elementos estão expressas em ppm

ID	n	média	mediana	mínimo	máximo
Mo	68	3.5	1.9	0.3	41.3
Cu	68	264	110	22	1640
Pb	68	1133	95	20	20000
Zn	68	260	115	36	2233
Ni	68	30	32	2	65
Co	68	17	18	3	63
Mn	68	1700	1080	51	12773
Fe	68	51350	40900	13800	311300
As	68	304	49	11	3936
Sr	68	130	105	40	520
Cd	68	0.6	0.3	0.1	6.2
Sb	68	50.0	6.1	0.7	811.0
Bi	68	10	1	0	182
V	68	89	95	19	192
P	68	637	620	210	2240
Cr	68	50	5	6	116
Ba	68	403	470	0	1147
Al	68	73162	72400	13000	137300
Na	68	6711	6070	1290	18120
K	68	18115	17700	4100	32400
W	68	3	2	0	28
Sn	68	12	5	2	110
Rb	68	102	102	24	170

Da análise das tabelas 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6 podemos verificar que, nas quatro unidades geológicas da área em estudo, os valores mais elevados foram registados nos elementos Al, Fe, K, Na, Mn, P e Ba, por ordem decrescente, enquanto que os mais baixos se encontram nos elementos Sb, Sn, W, Mo, Bi e Cd por ordem crescente.

A tabela 4.7 apresenta um resumo dos teores mais elevados obtidos pela aplicação da estatística descritiva para as quatro unidades geológicas consideradas.

tabela 4.7 Resumo dos valores mais elevados da mediana, obtidos pela aplicação da estatística descritiva, para as quatro unidades geológicas consideradas

terrenos cobertura bacia do Sado		rochas filoneanas		Culm		sub Culm	
ID	mediana	ID	mediana	ID	mediana	ID	mediana
Al	57900	Al	77800	Al	70100	Al	72100
Fe	31200	Fe	42200	Fe	38800	Fe	40900
K	12700	K	15800	K	16400	K	17700
Na	5130	Na	5750	Na	10650	Na	6070
Mn	803	Mn	817	Mn	715	Mn	1080
P	520	P	660	P	570	P	620
Ba	317	Ba	360	Ba	406	Ba	420

Da análise da tabela 4.7 observa-se que os valores mais elevados de Al, Fe e P estão associados ao grupo das rochas filoneanas - doleritos da Messejana, enquanto que o valor mais elevado de K, Mn e Ba está associado ao grupo do substrato Hercínico sub Culm e o valor mais elevado de Na associado ao grupo do substrato Hercínico Culm.

4.3. distribuição espacial dos elementos

A distribuição espacial dos teores de metais, num dado ambiente geológico, representa o produto final de uma série de processos naturais no decurso dos quais podem ocorrer fenómenos de empobrecimento/enriquecimento. A introdução de quantidades variáveis de metais, e seus compostos, pelas actividades antrópicas, vai afectar, mais ou menos drasticamente, os padrões naturais de migração em ambiente superficial (Moreno, 2000).

Com vista a este estudo apresenta-se, nas cartas, a variação espacial das concentrações dos elementos químicos nas amostras de solos, efectuado com o programa *Golden Software Surfer v8* (figuras 4.2 a 4.24). Os limites das classes cartografadas correspondem aos seguintes intervalos:

- ›]mínimo, 25%[
- › [25%, 50%[
- › [50%, 75%[
- › [75%, 85%[
- › [85%, 90%[
- › [90%, 94%[
- › [94%, 96%[
- › [96%, máximo[

sendo que se delimitaram as classes abaixo dos 50% com um traço laranja mais forte.

Os mapas foram efectuados utilizando como estimador a krigagem, tendo por base a análise geoestatística (capítulo 3), com o auxílio do software *Surfer*.

Os variogramas foram elaborados para as direcções 0°, 90°, 45° e 135°, para cada um dos elementos, no entanto apenas será apresentada a direcção principal e a sua simétrica. No Anexo IV encontram-se os parâmetros dos modelos deduzidos a partir dos variogramas experimentais.

As figuras 4.2 a 4.24 apresentam a distribuição espacial das variáveis Al, As, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Rb, Sb, Sn, Sr, V, W e Zn. A análise conjunta destas figuras permite verificar que:

- o Al apresenta, claramente, os maiores teores na zona a E da falha da Messejana, com maior incidência nos sectores dos grauvaques de Água Forte, identificados pela letra C, e na formação de xistos do Mau Ladrão, identificada pela letra D (figura 4.2); altos teores de Al podem ser indicadores de solos desenvolvidos a partir de rochas graníticas ou afins
- o As encontra-se, na maior parte da área analisada, com valores abaixo dos 25%, enquanto que os teores mais elevados se encontram associados ao grupo Culm (grauvaques de Represa); a zona, identificada pela letra A, corresponde à zona próxima das escombreliras de Algares/Feitais (figura 4.3)
- o Ba apresenta maiores teores na zona identificada como F, correspondente a uma área próxima de uma mina de manganês (figura 4.4)
- Bi apresenta os teores mais elevados na área da escombreliras de Algares/Feitais (figura 4.5)
- os elementos Cd, Co e Mo apresentam teores mais elevados na proximidade da zona das barragens de Estéreis e de Águas Claras e da mina de S. João do Deserto (zona B) (figuras 4.6, 4.7 e 4.13, respectivamente); a zona A, na proximidade das escombreliras de Algares/Feitais apresenta também teores elevados nas variáveis referidas anteriormente
- para a variável Cr foram destacadas duas zonas anómalas; com a letra C destaca-se a unidade geológica dos grauvaques de Água Forte e com a letra D denota-se a unidade dos xistos do Mau Ladrão, ambas pertencentes ao Culm (figura 4.8)
- o elemento Cu apresenta maiores teores nas zonas identificadas com as letras A (escombreliras Algares/Feitais) e B (barragens de Estéreis e Águas Claras) (figura 4.9); o mapa de teores obtido é semelhante aos obtidos para as variáveis Cd, Co e Mo
- o Fe apresenta os teores mais elevados na área das escombreliras Algares/Feitais (zona A) (figura 4.10); por outro lado constata-se que a formação terciária do Sado apresenta os valores mais baixos, comparativamente às outras formações
- a variável K possui maiores teores na zona C (grauvaques de Água Forte) (figura 4.11); a cartografia permite separar a zona da bacia terciária do Sado (a W da falha da Messejana) da zona vulcânica (a E da falha da Messejana)
- o Mn apresenta maiores teores na zona E (figura 4.12), que corresponde à ocorrência de mineralizações de Mn; ; altos teores de K podem ser indicadores de solos desenvolvidos a partir de rochas graníticas ou afins
- a variável Mo possui os teores mais elevados nas zonas A (escombreliras de Algares/Feitais), B (barragens de Estéreis e Águas Claras) e E (mineralizações de Mn); na zona D encontram-se os teores mais baixos
- o elemento Na apresenta os valores mais elevados associados ao grupo Culm, nos xistos do Mau Ladrão (zona D) e na zona próxima às escombreliras de Algares/Feitais (zona A) (figura 4.14)
- Ni apresenta teores mais baixos na zona próxima das escombreliras de Algares/Feitais (A) (figura 4.15); a zona E assinala a zona enriquecida neste elemento e está associada às mineralizações de Mn

- › P apresenta teores mais elevados na zona identificada com a letra A (escombreiras de Algares/Feitais) e nos grauvaques de Água Forte, pertencentes ao Culm (figura 4.16); contudo esta variável apresenta um comportamento irregular em toda a área estudada; teores elevados de P podem relacionar-se com actividade agrícola
- › Pb tem maiores teores em torno das escombreiras de Algares (figura 4.17); este elemento está normalmente associado a ocorrências mineiras, em zonas com mineralizações e/ou explorações mineiras e respectivas escombreiras e outras actividades antrópicas
- › Rb possui teores mais elevados na zona B, próxima das barragens de Estéreis e Águas Claras e zona C, grauvaques de Água Forte (figura 4.18); a formação do Sado caracteriza-se por apresentar os valores mais baixos
- › o elemento Sb apresenta maiores teores na zona A, próximo das escombreiras de Algares/Feitais; os valores mais baixos apresentam-se nas zonas C e D (grupo Culm) (figura 4.19)
- › Sn tem maiores teores na área A (escombreiras de Algares/Feitais) (figura 4.20); a formação do Sado caracteriza-se por se tratar da zona com teores mais baixos (< 2.4ppm)
- › o Sr apresenta teores mais elevados associados à unidade geológica dos xistos do Mau Ladrão, identificada com a letra D (grupo Culm) (figura 4.21)
- › o V apresenta os teores mais elevados associados ao grupo Culm, destacando-se os grauvaques de Água Forte e xistos de Mau Ladrão (C e D, respectivamente) (figura 4.22)
- › o W apresenta os teores mais elevados nas escombreiras de Algares/Feitais (A) (figura 4.23)
- › o Zn apresenta os teores mais elevados nas áreas circundantes às barragens de Estéreis e Águas Claras (figura 4.24); a cartografia desta variável permite também identificar a área a W da falha da Messejana (bacia terciária do Sado) com os teores mais baixos e a zona a E da falha da Messejana (zona vulcânica) com os teores mais elevados

Desta forma pode-se concluir que as zonas com maiores teores de metais são coincidentes com as áreas mineiras e que os restantes elementos são coincidentes com a geologia da zona estudada.

A tabela 4.8 resume as características mais importantes das zonas A, B, C, D e E.

tabela 4.8 Resumo das características mais importantes das zonas identificadas com as letras A, B, C, D e E nas cartas de isóteores

zona	teores mais elevados em
A zona próxima da mina de Algares	As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mo, P, Pb, Rb, Sb, Sn, W
B mina de S. João do Deserto	As, Ga, Co, Cu, Fe, Mo, Rb, Zn
C grauvaques de Água Forte	Al, C, K, Rb, V
D formação de xistos do Mau Ladrão	Al, C, Na, Si, V
E zona próxima da mina de Mn	Zn, Mn, Mo, Ni, W

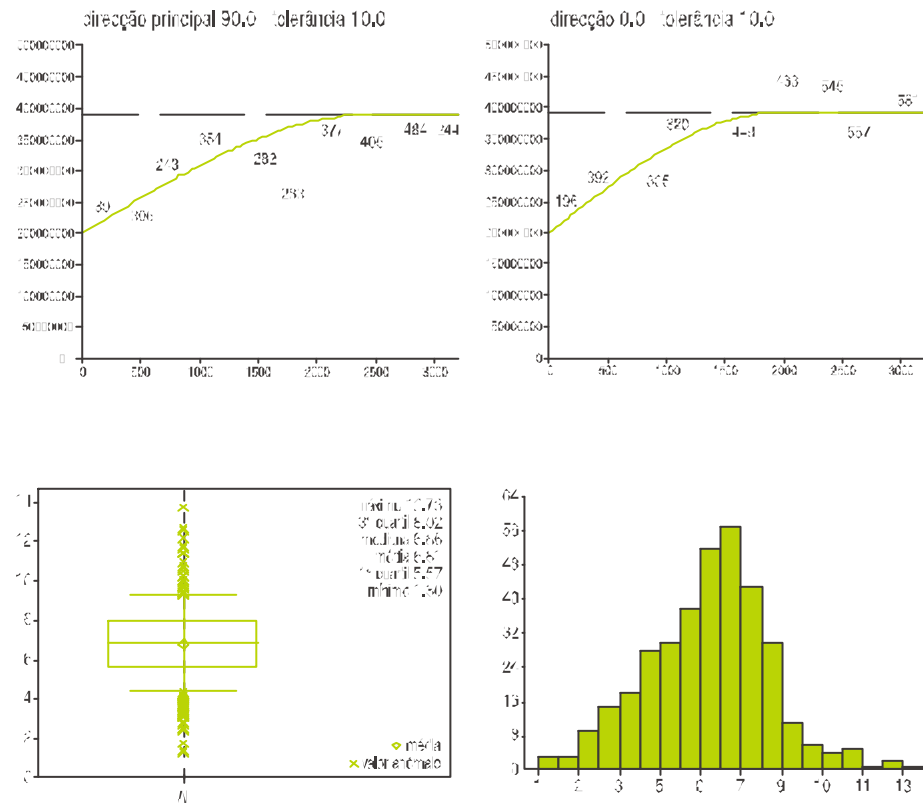
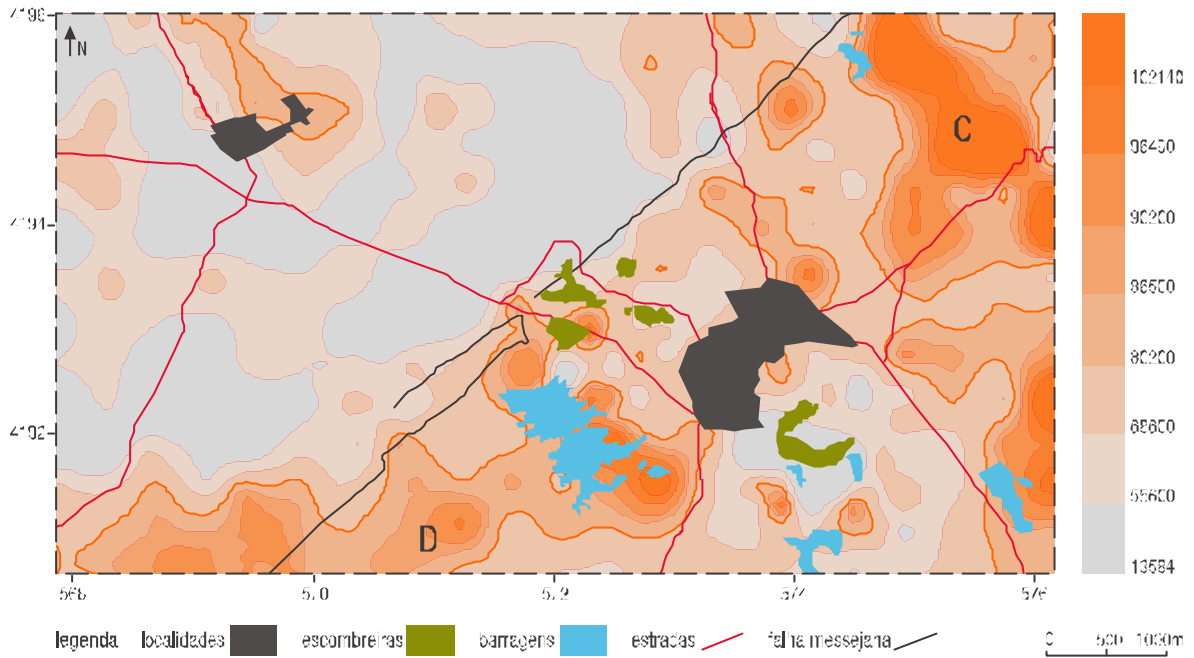


figura 4.2 Cartografia dos leões, variogramas, boxplot e histograma da variável AI [%]

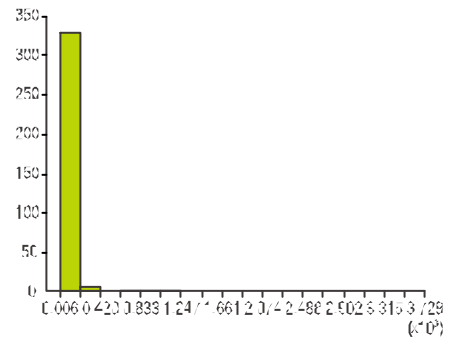
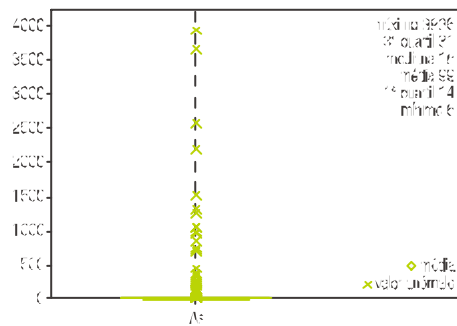
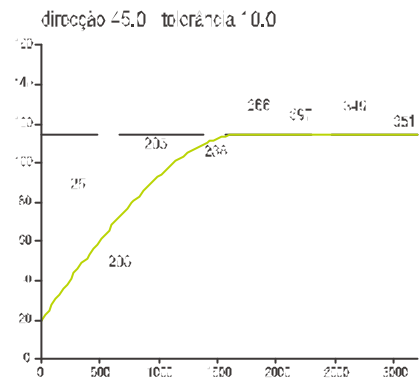
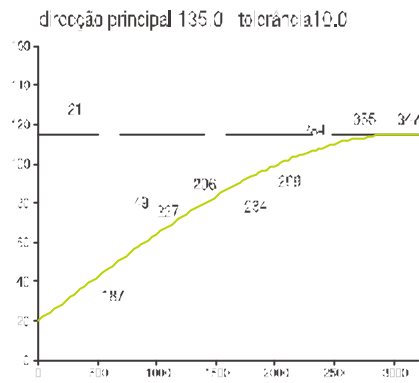
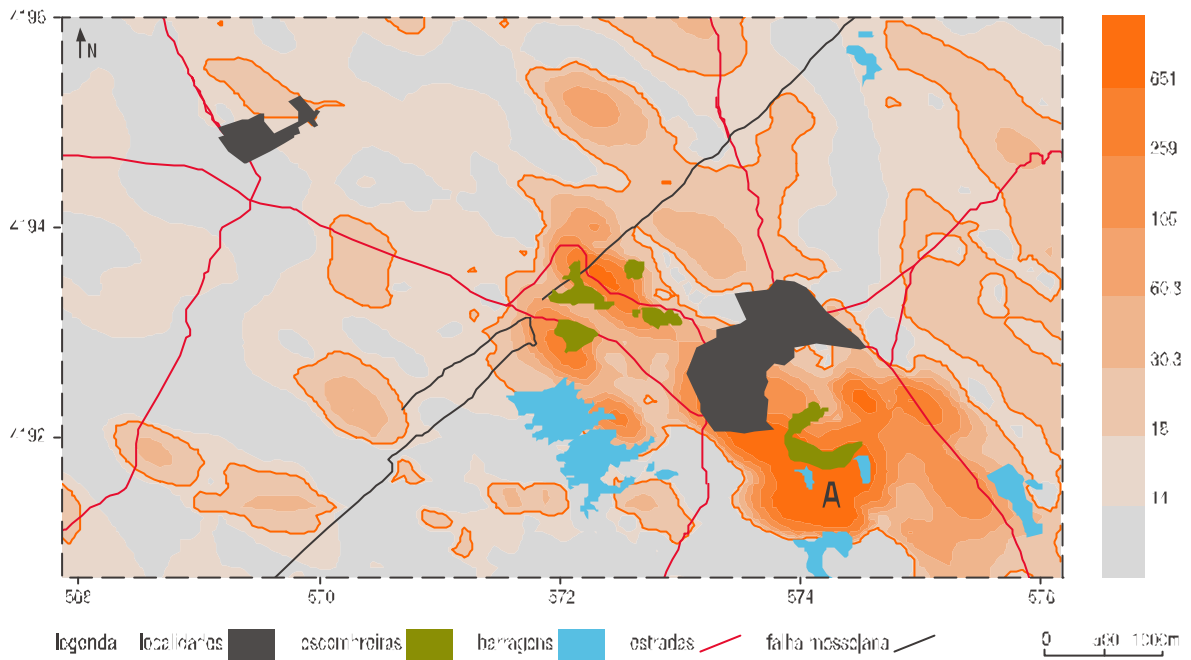


figura 4.3 Cartografia dos teores, variogramas, bloxplot e histograma da variável As [µg/g]

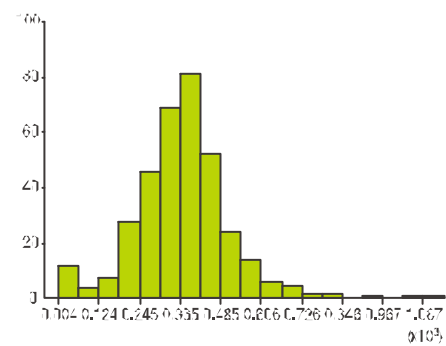
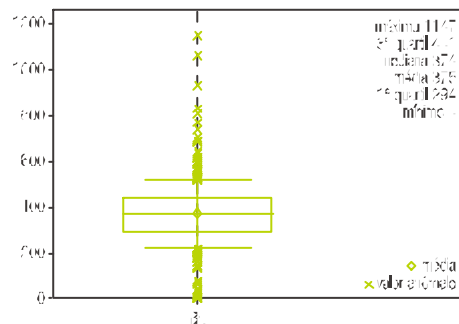
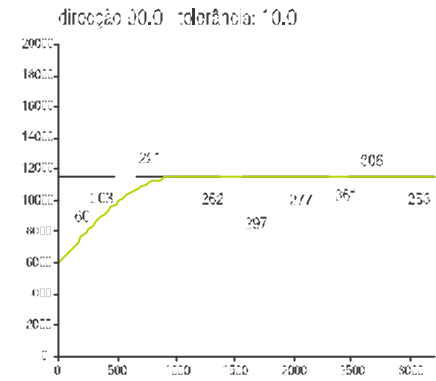
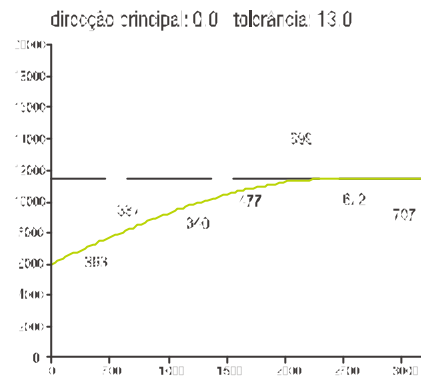
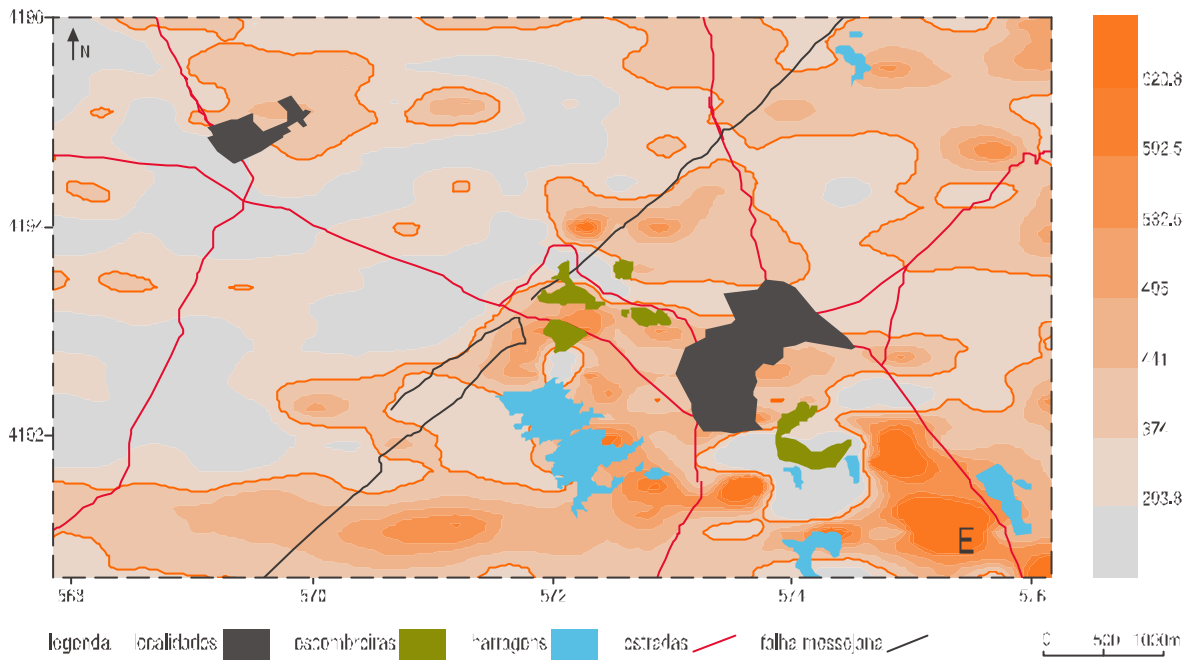


figura 4.4 Cartografia dos teores, variogramas, boxplot e histograma da variável Ba (ppm)

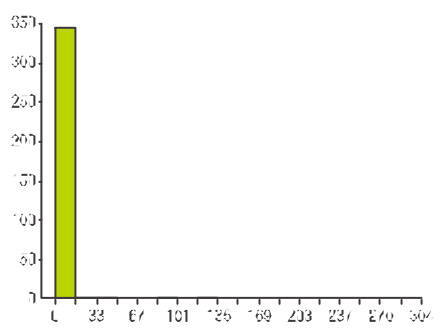
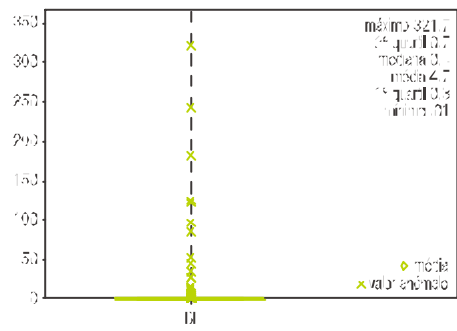
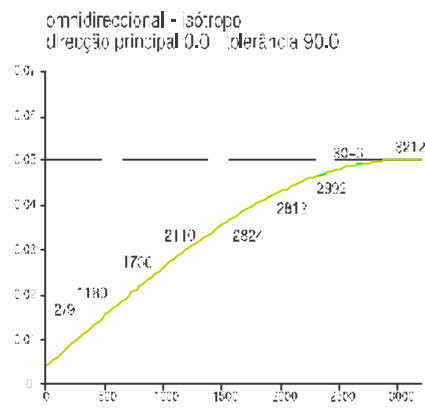
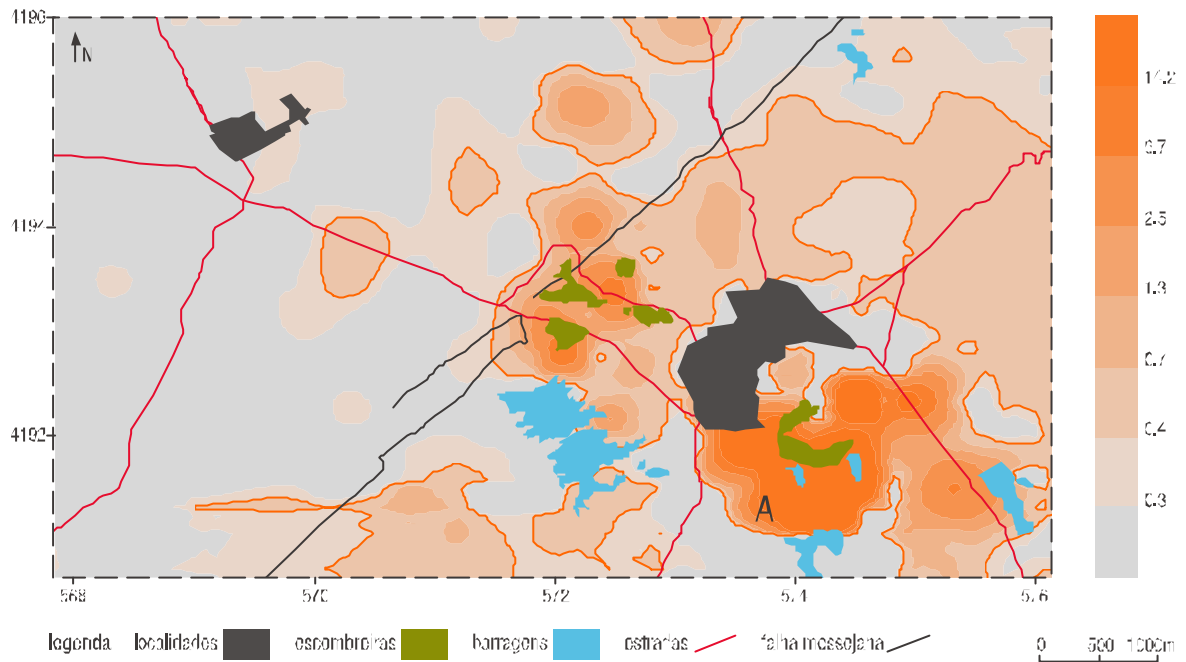


figura 4.5 Cartografia dos teores, variograma, bloplot e histograma da variável Bi [ppm]

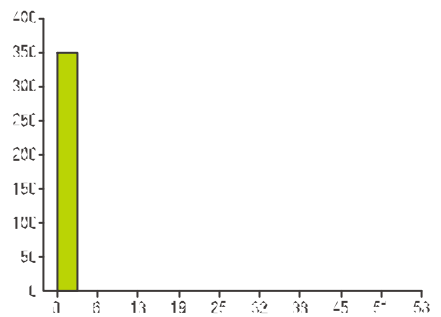
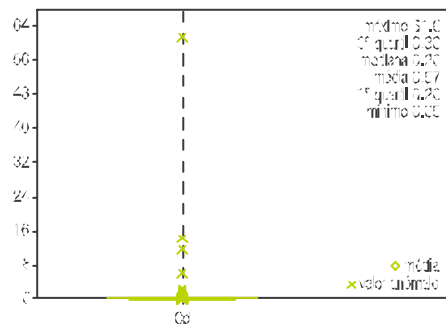
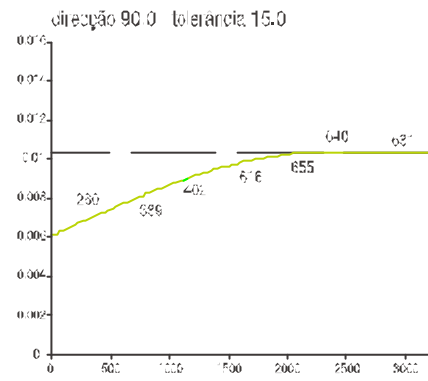
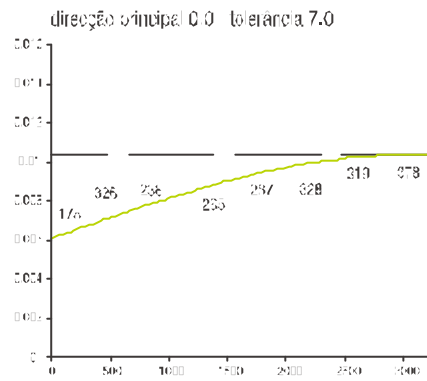
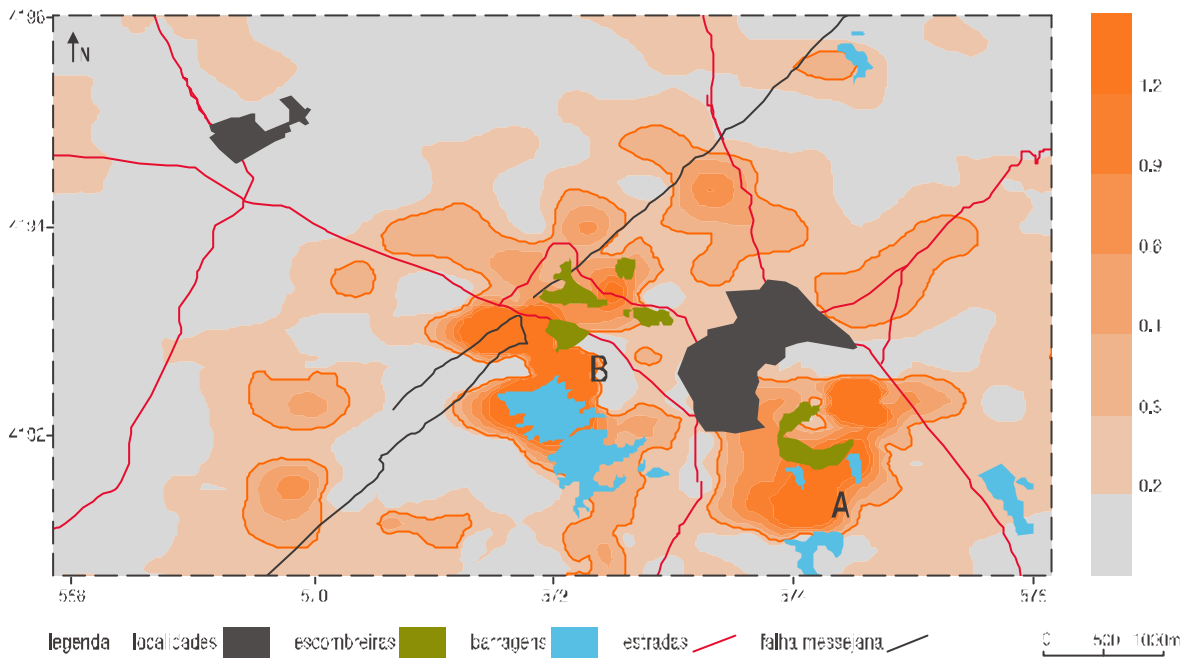


figura 4.6 Cartografia dos teores, variogramas, bloxplot e histograma da variável G0 (ppm)

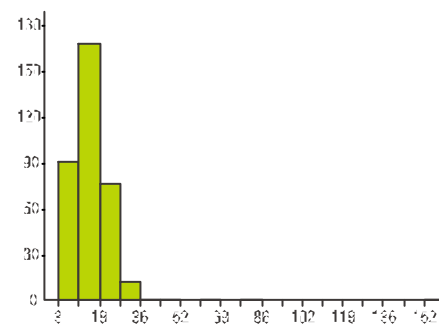
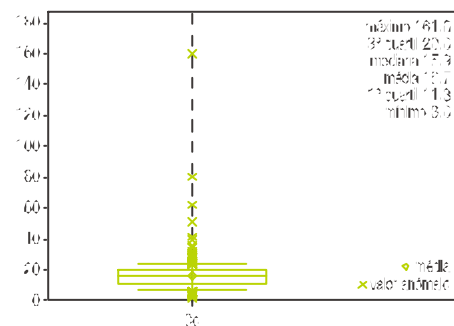
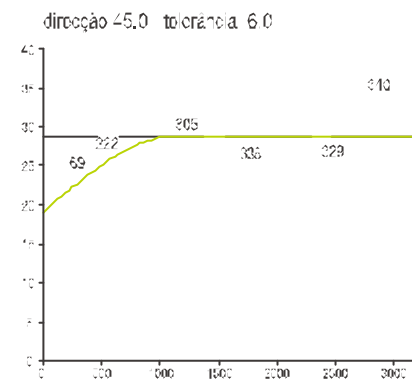
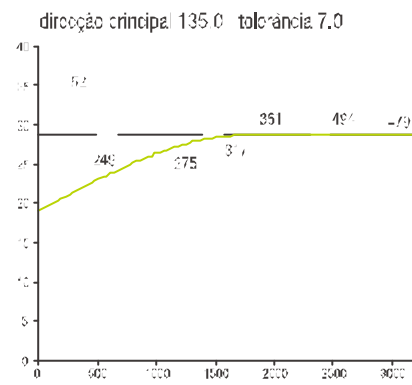
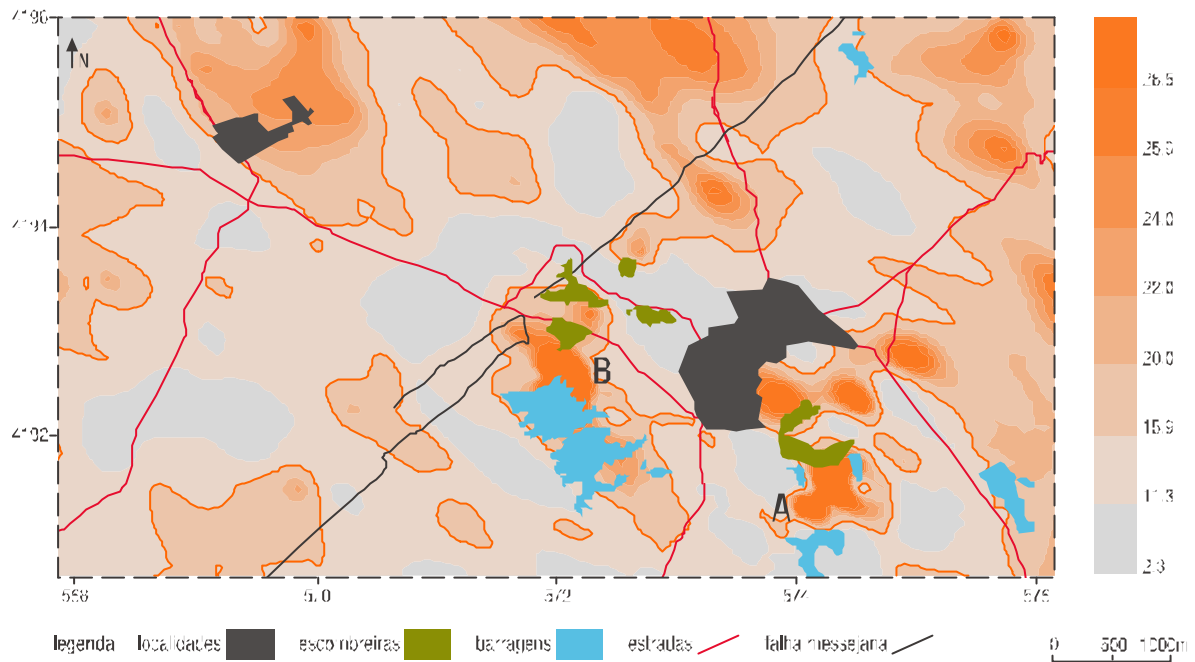


figura 4.7 Cartografia dos teores, variogramas, boxplot e histograma da variável Co [ppm]

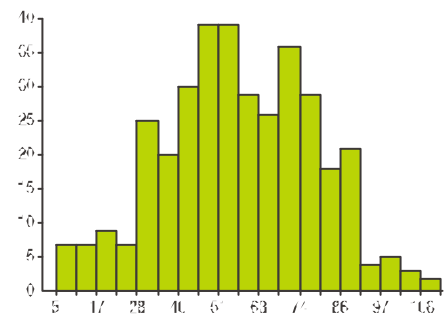
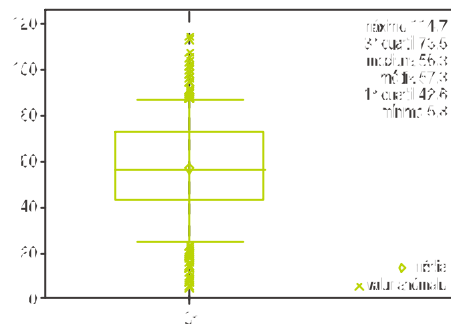
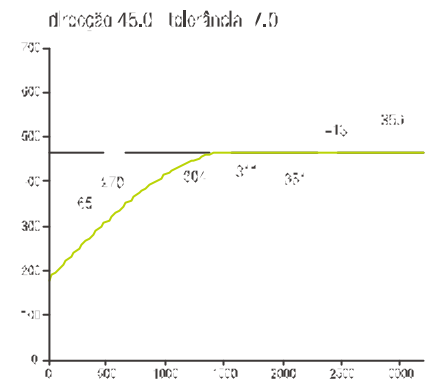
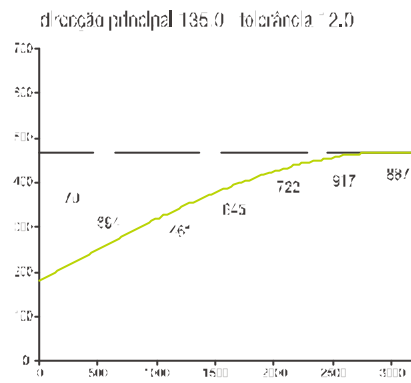
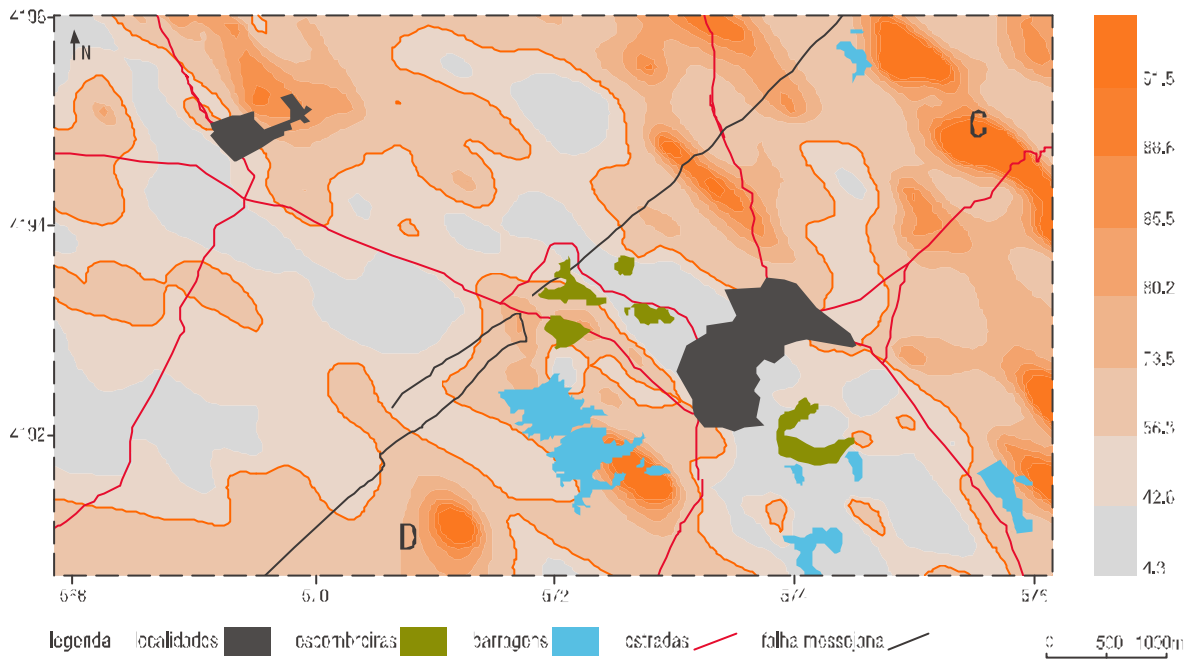


figura 4.8 Cartografia dos teores, variogramas, boxplot e histograma da variável C (ppem)

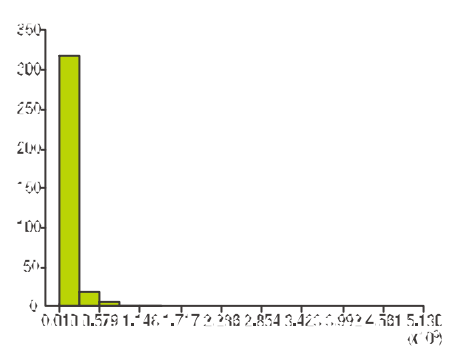
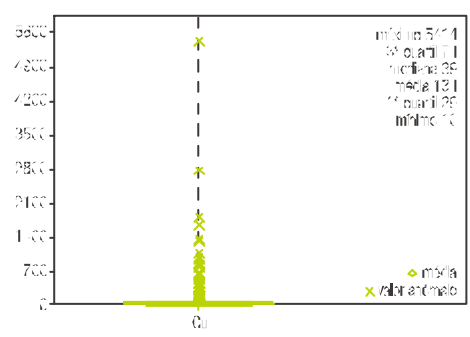
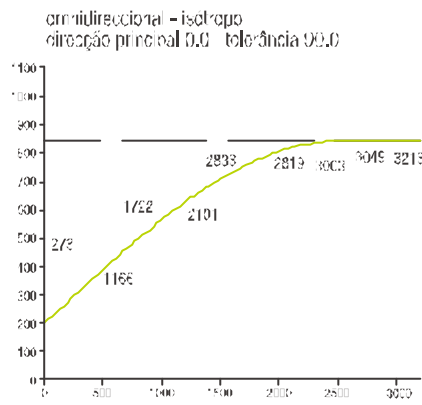
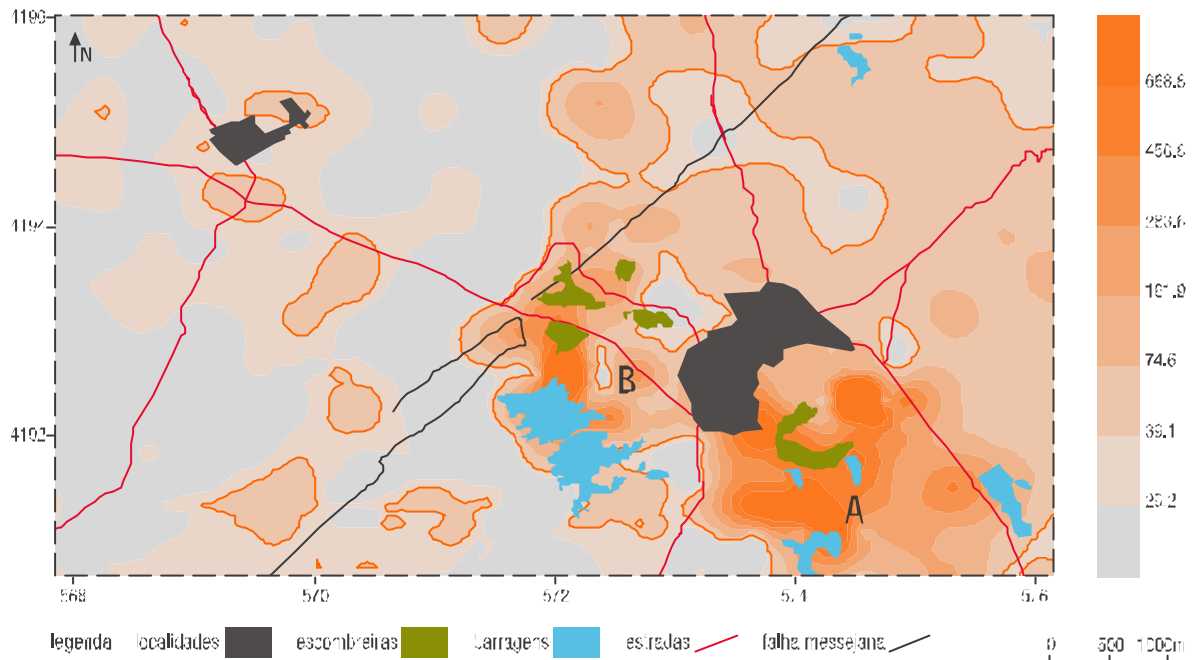


figura 4.9 Cartografia dos teores, variograma, bloxplot e histograma da variável Cu (ppm)

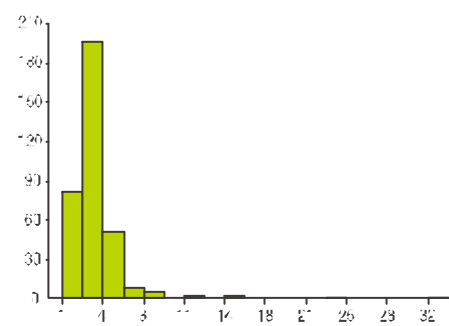
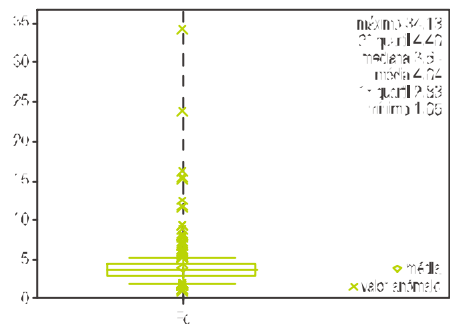
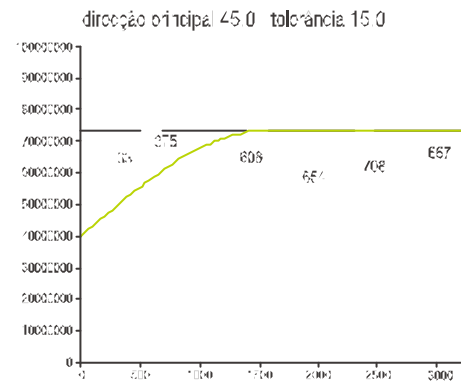
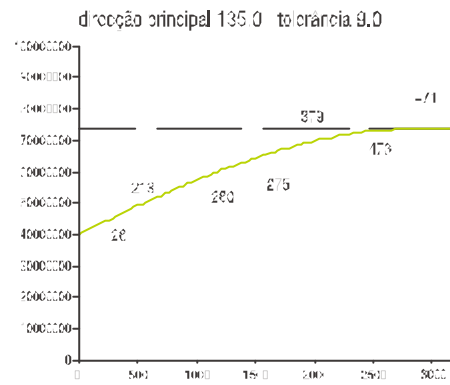
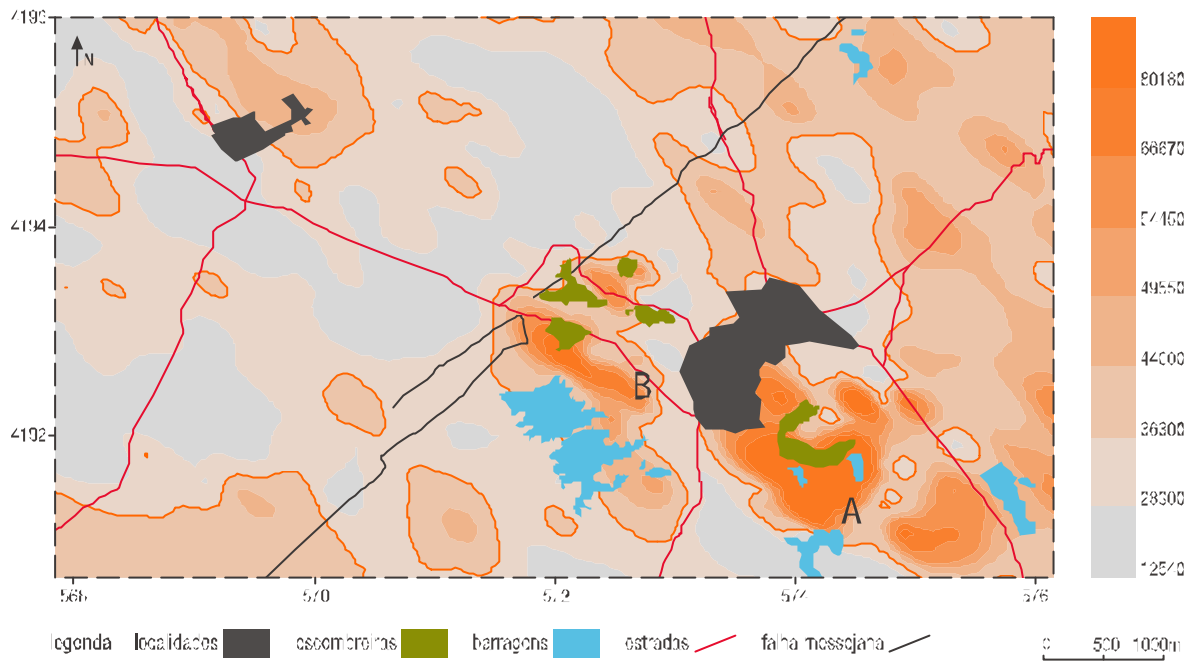


figura 4.10 Cartografia dos teores, variogramas, bloxplot e histograma da variável Fe [%]

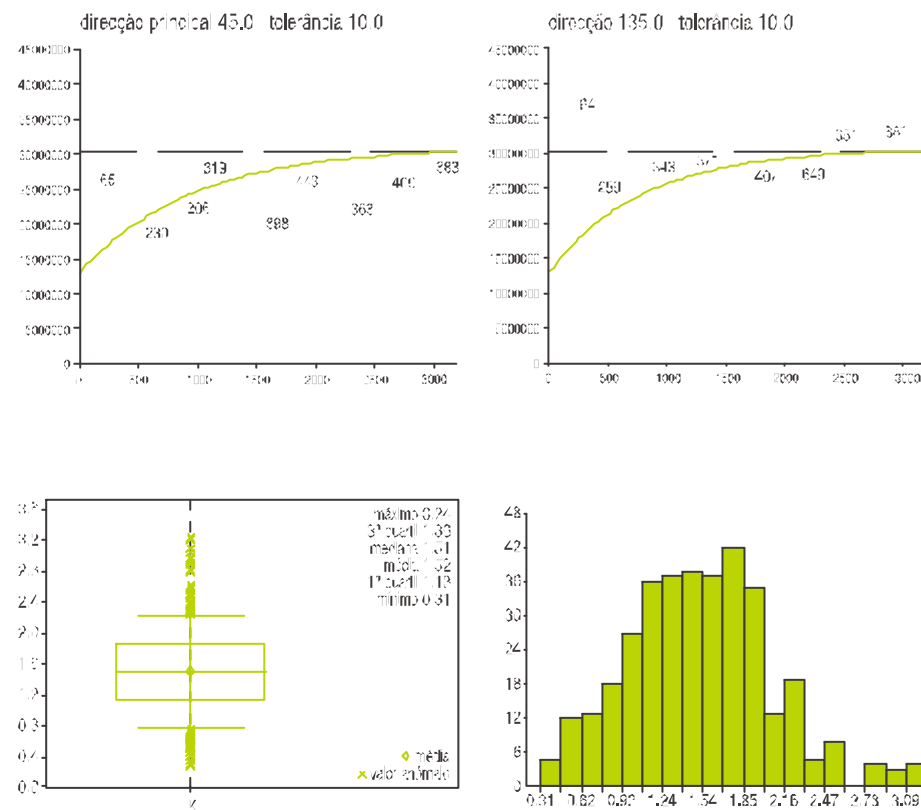
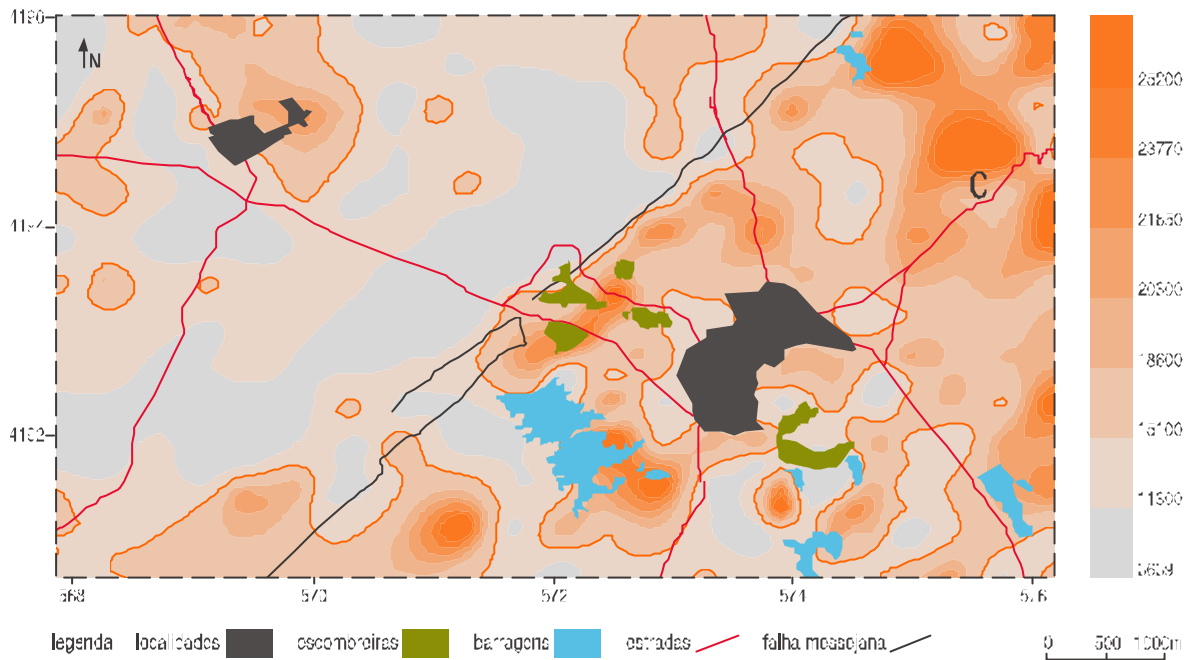


figura 4.11 Cartografia dos terrenos, variogramas, boxplot e histograma da variável K [%]

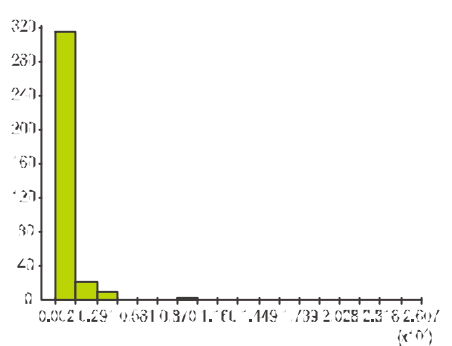
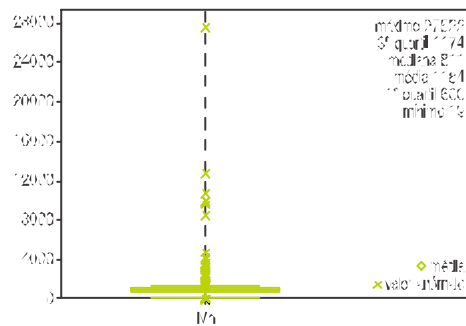
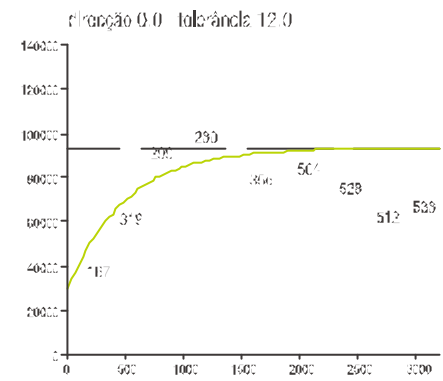
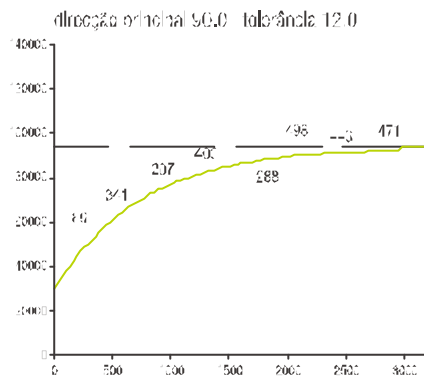
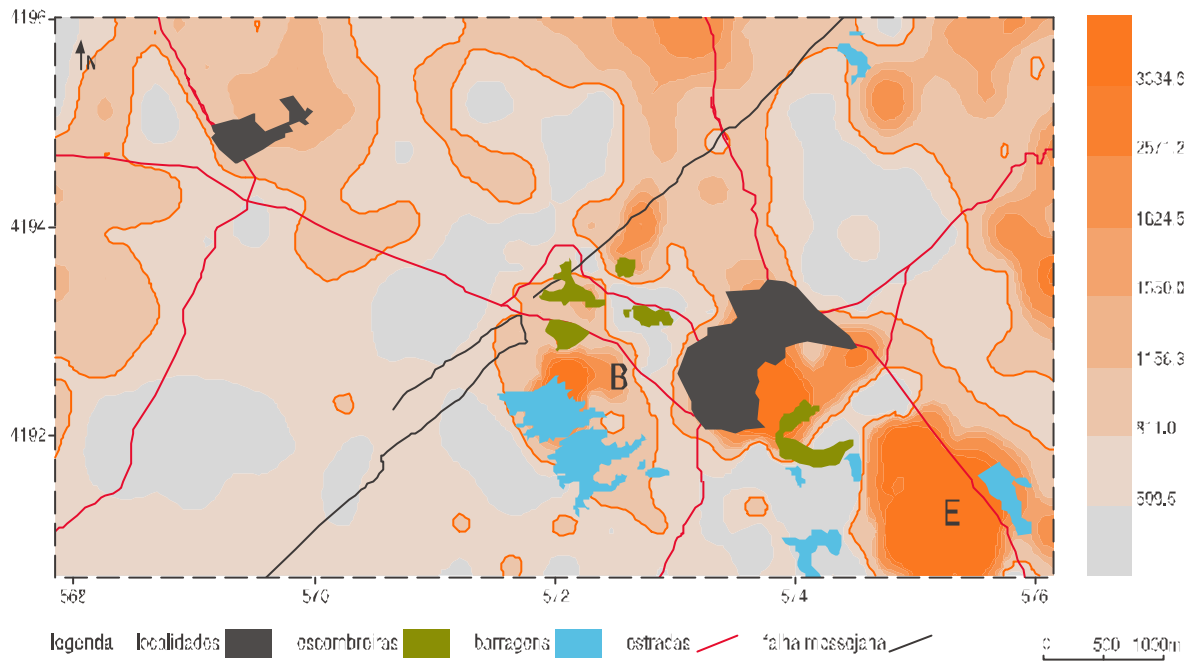


figura 4.12 Cartografia dos solos, variogramas, boxplot e histograma da variável Mn [ppm]

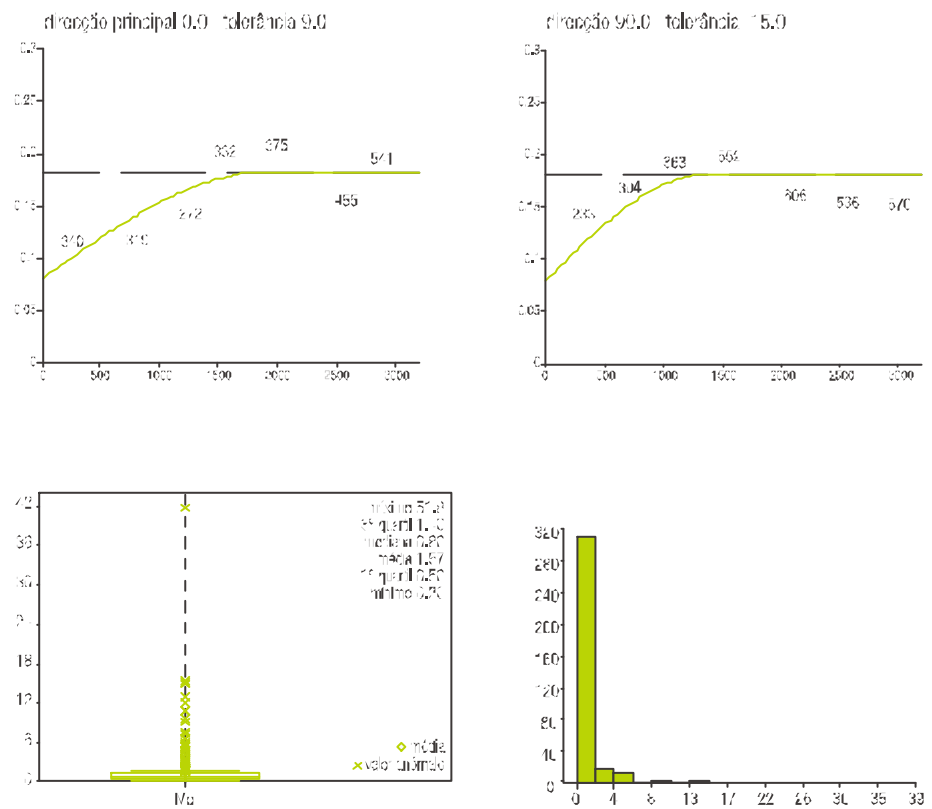
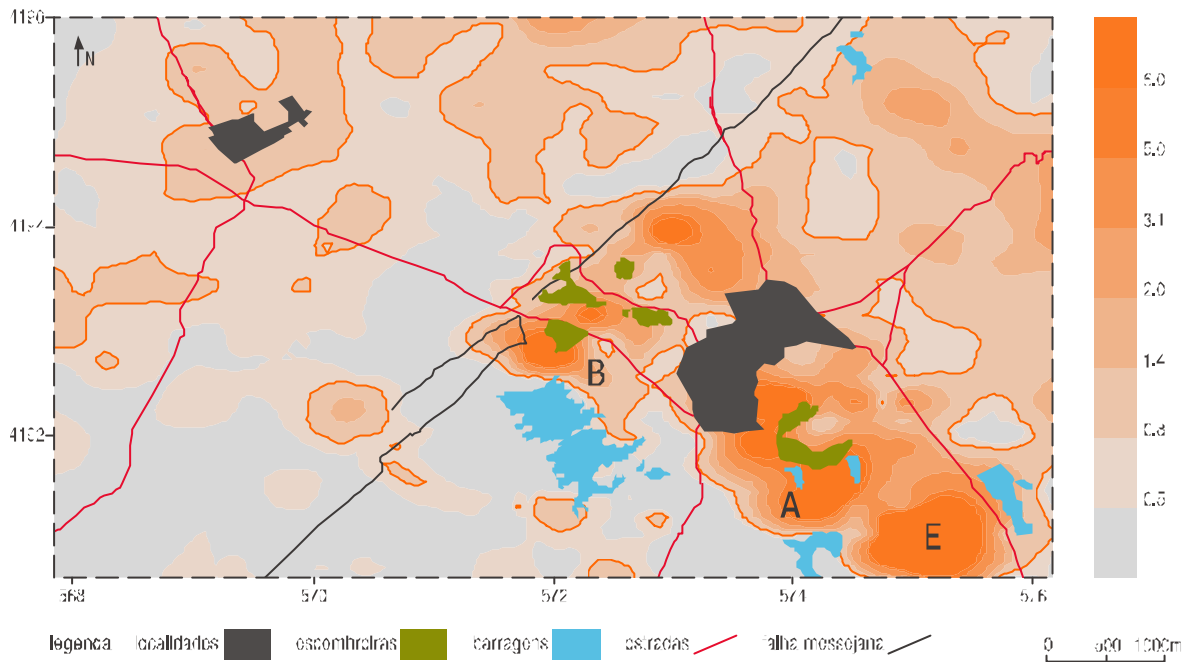


figura 4.13 Cartografia dos teores, variogramas, boxplot e histograma da variável Mo (ppm)

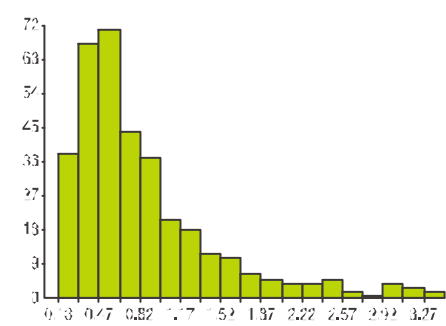
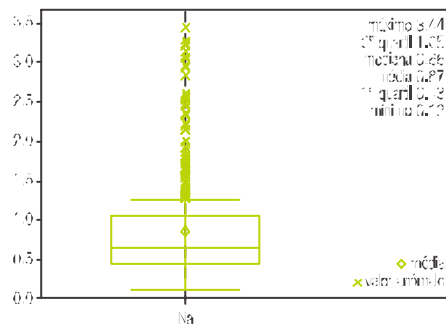
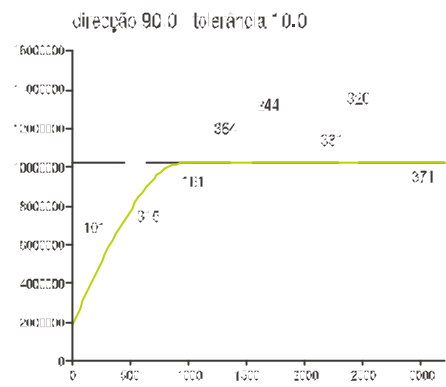
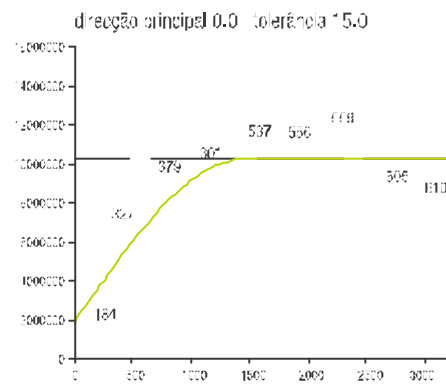
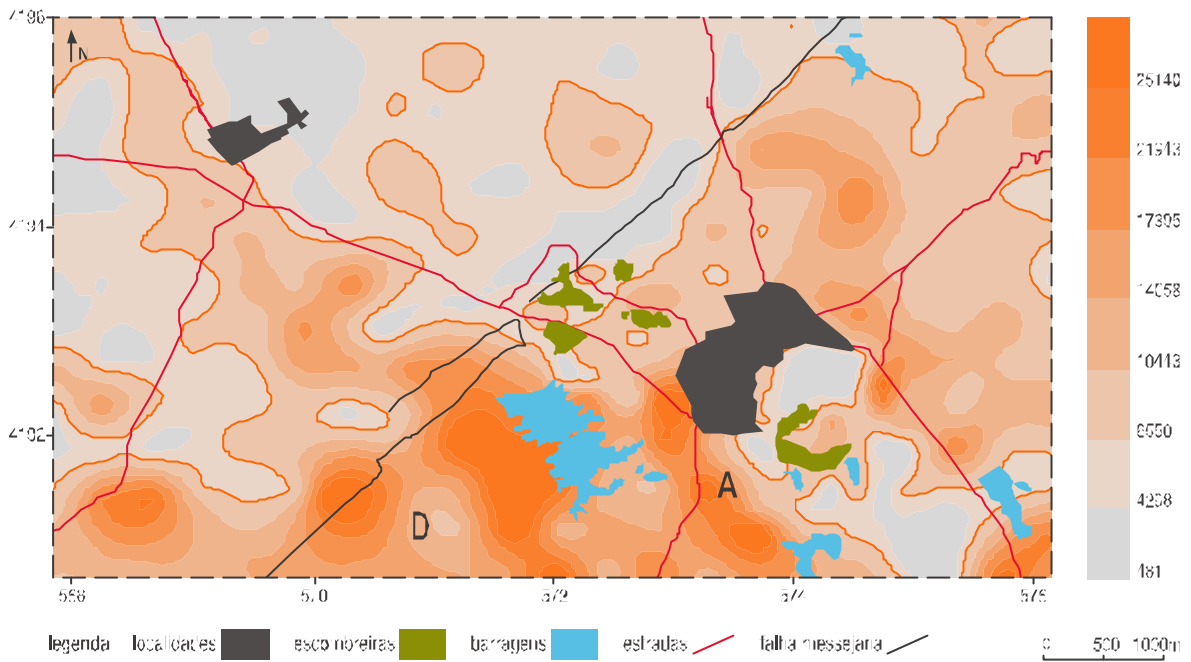


figura 4.14 Cartografia dos teores, variogramas, bloxplot e histograma da variável Na [%]

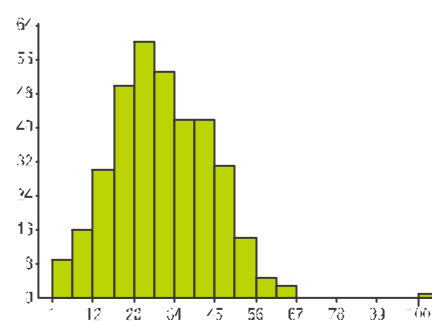
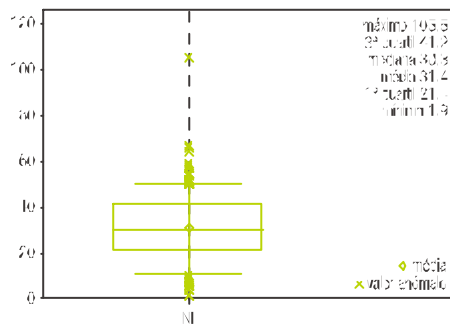
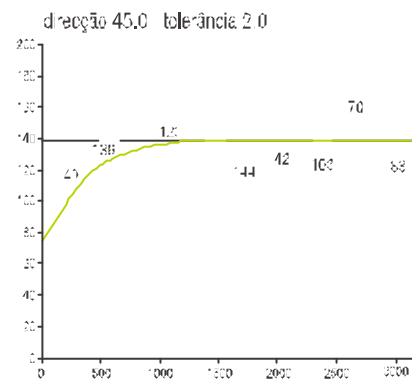
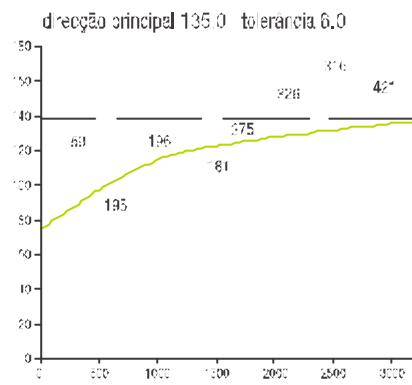
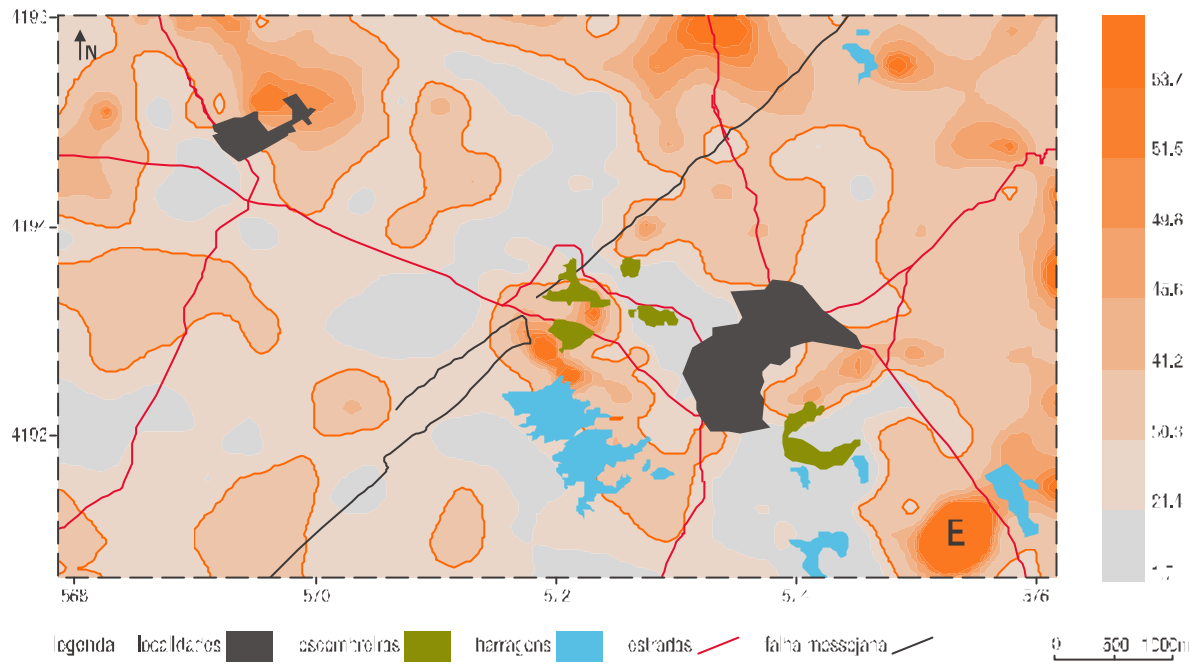


figura 4.15 Cartografia dos teores, variogramas, boxplot e histograma da variável Ni [ppm]

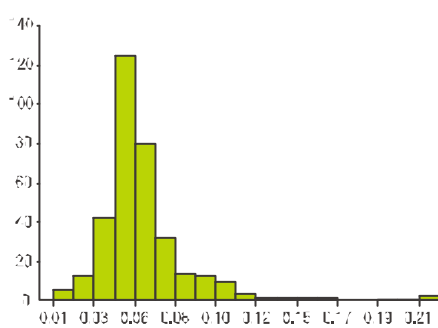
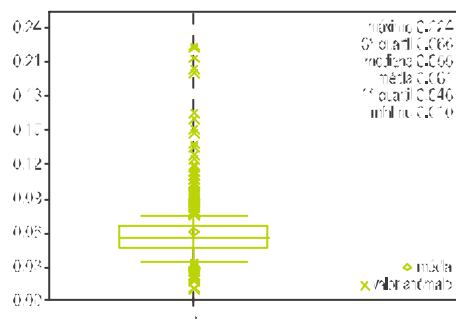
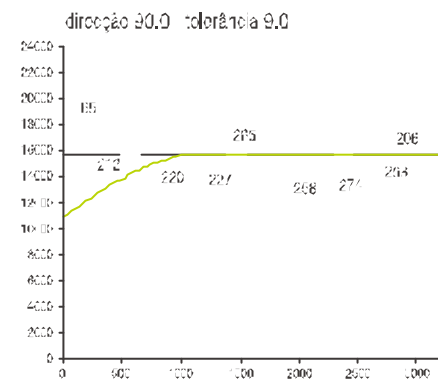
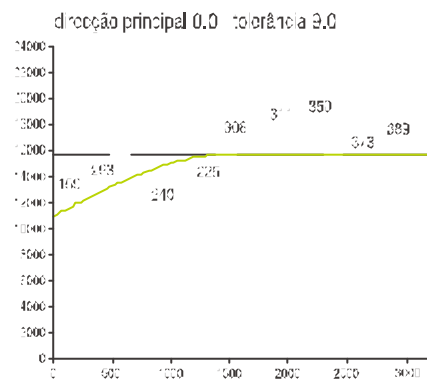
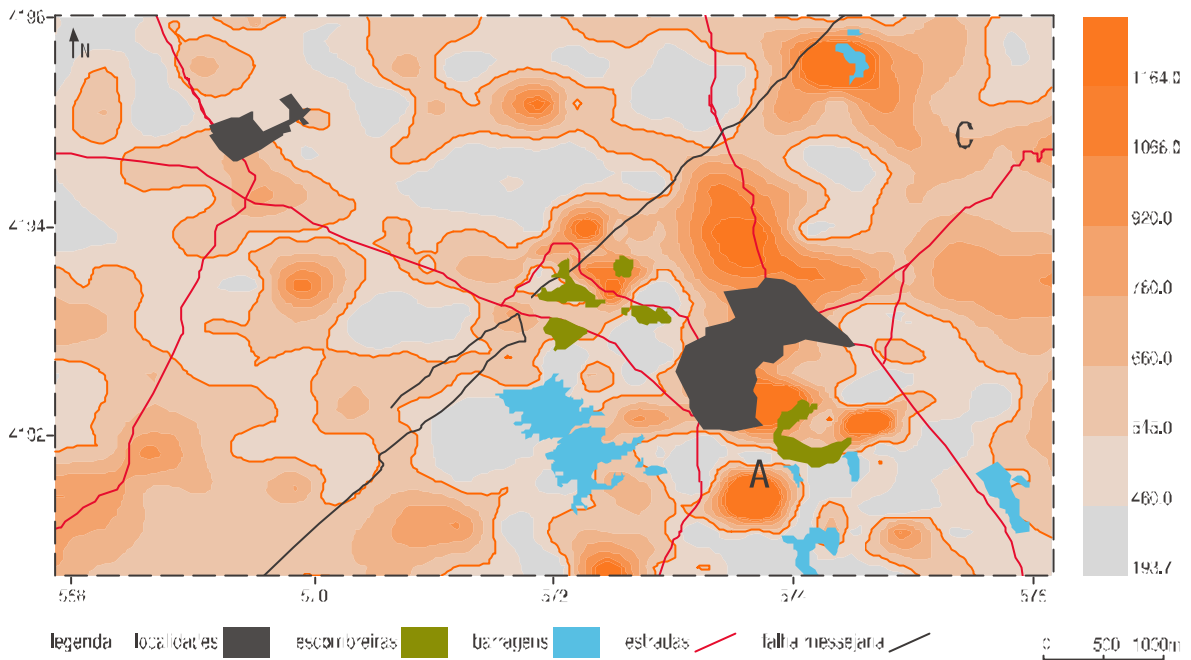


figura 4.16 Cartografia dos teores, variogramas, boxplot e histograma da variável P [%]

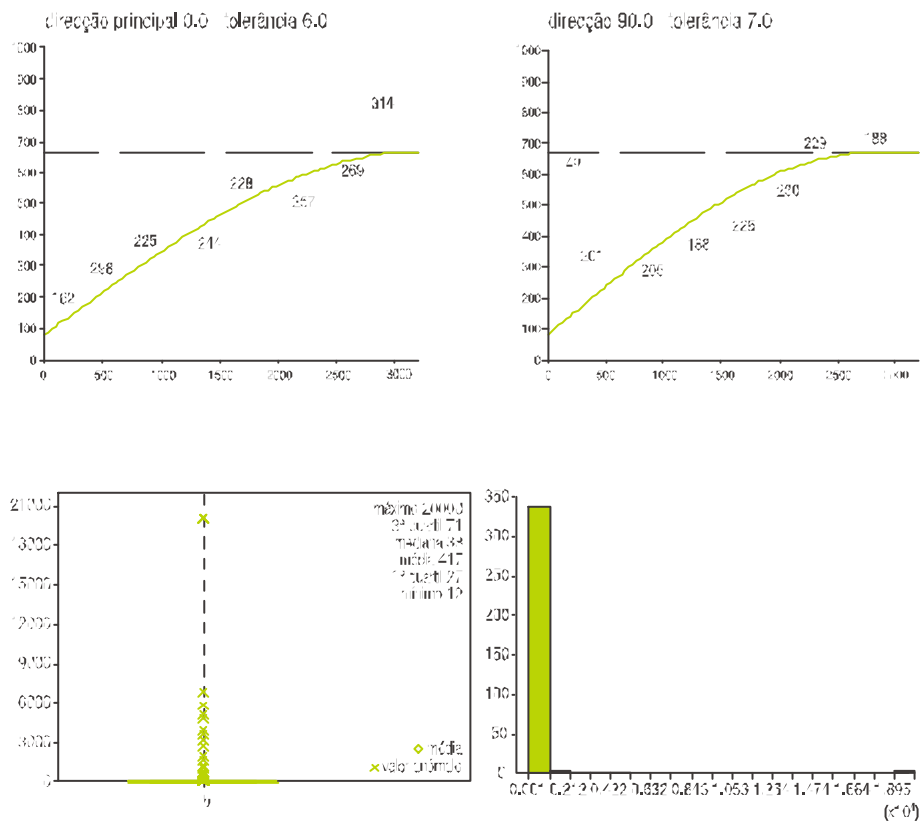
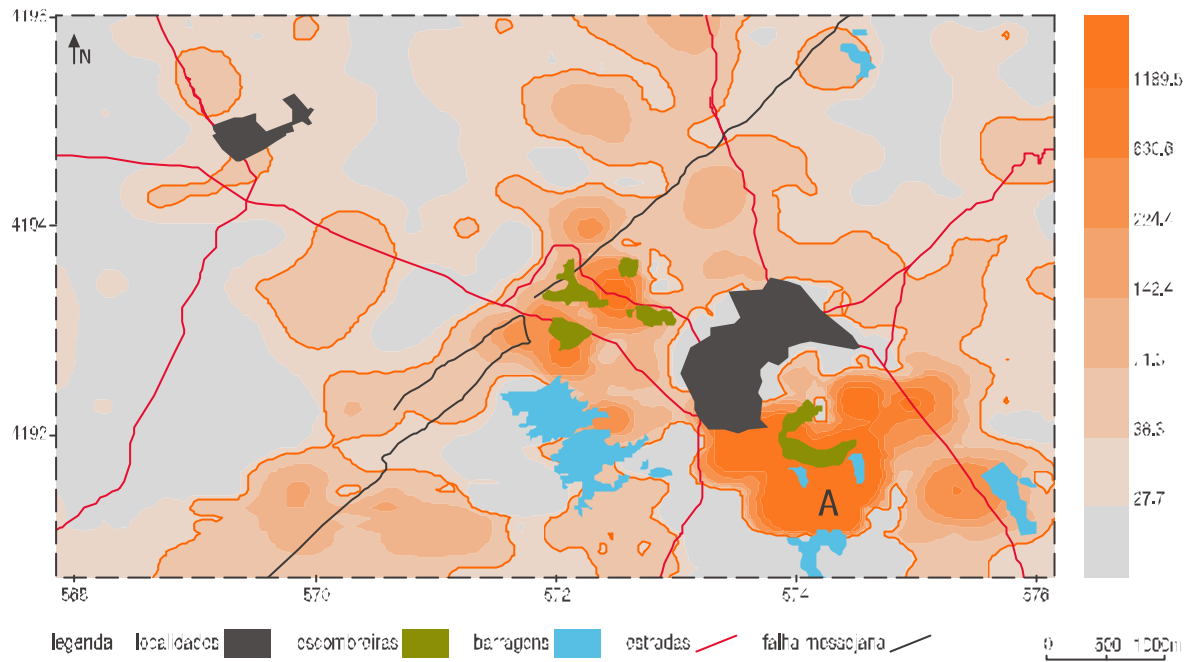


figura 4.17 Cartografia dos terrenos, variogramas, bloxplot e histograma da variável Pb [ppm]

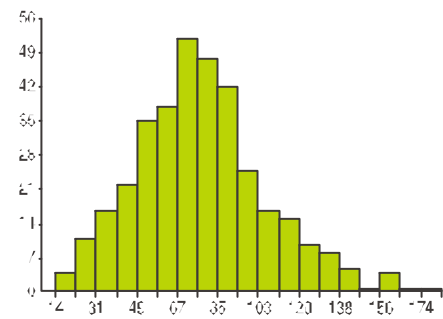
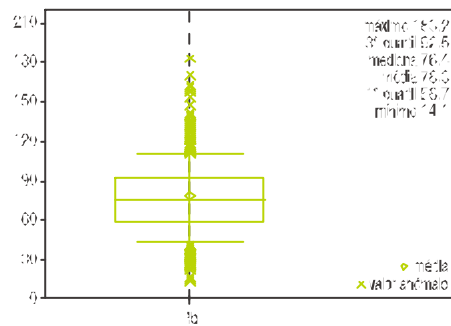
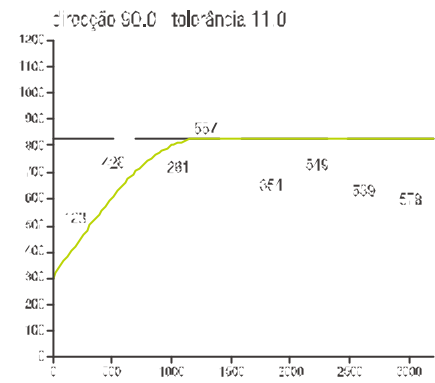
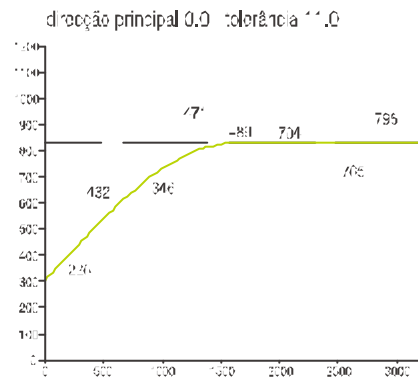
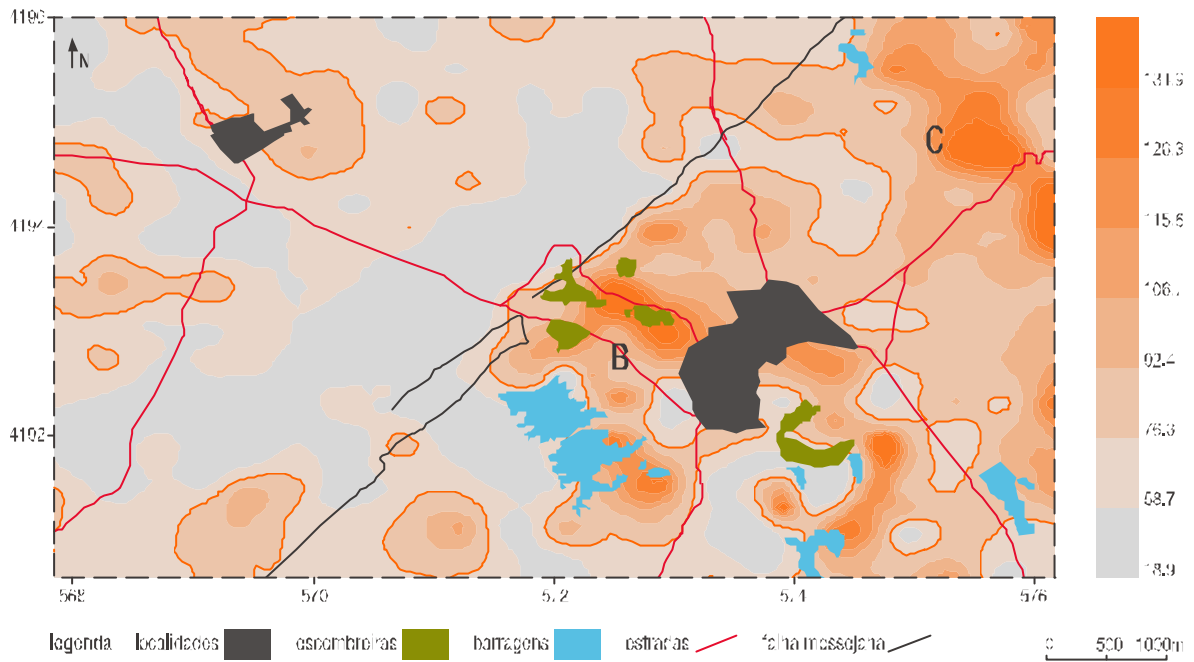


figura 4.18 Cartografia dos teores, variogramas, boxplot e histograma da variável Rb [pon]

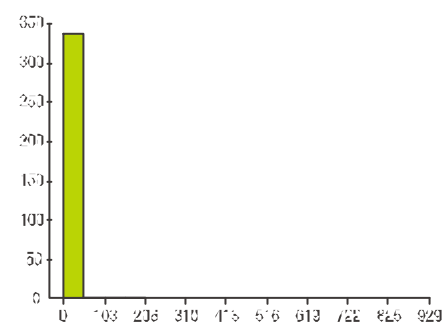
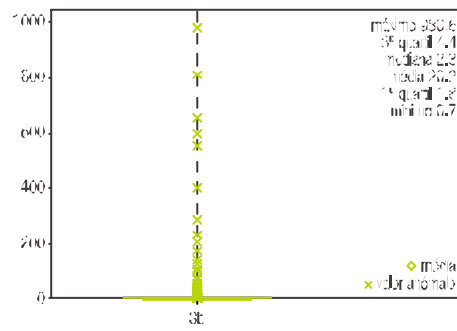
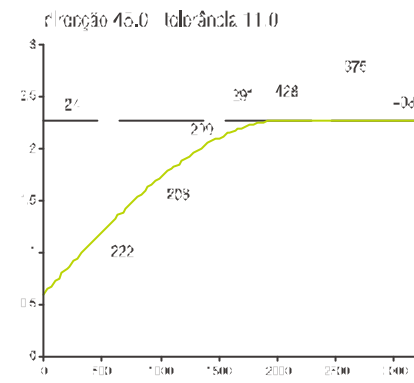
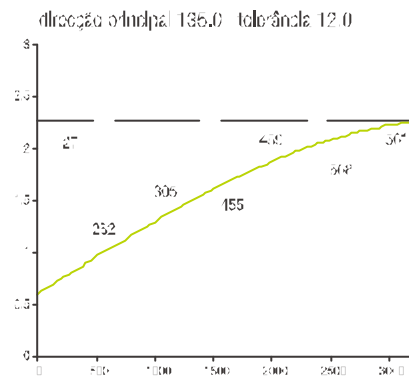
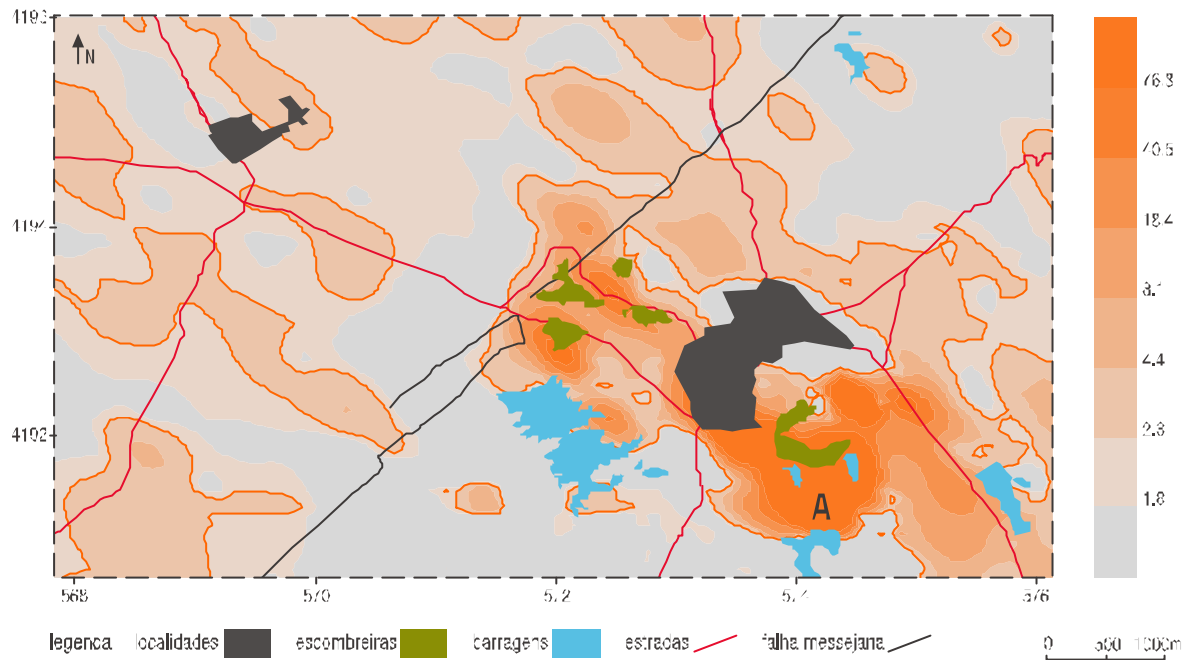


figura 4.19 Cartografia dos terrenos, variogramas, boxplot e histograma da variável Sb [ppm]

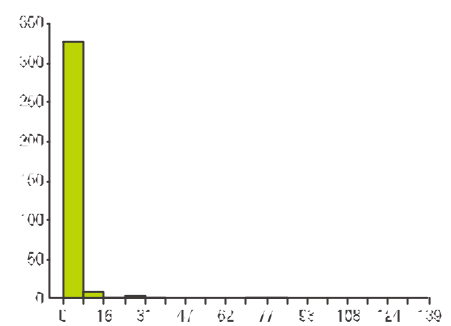
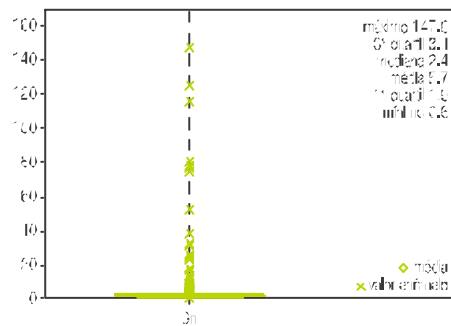
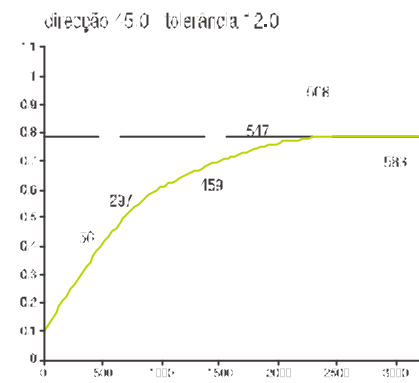
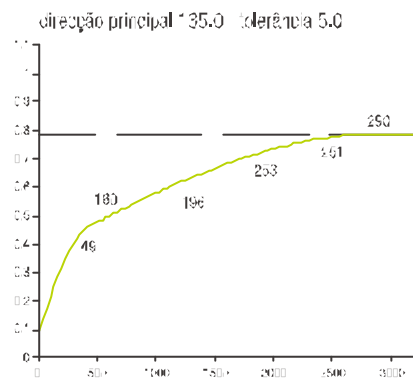
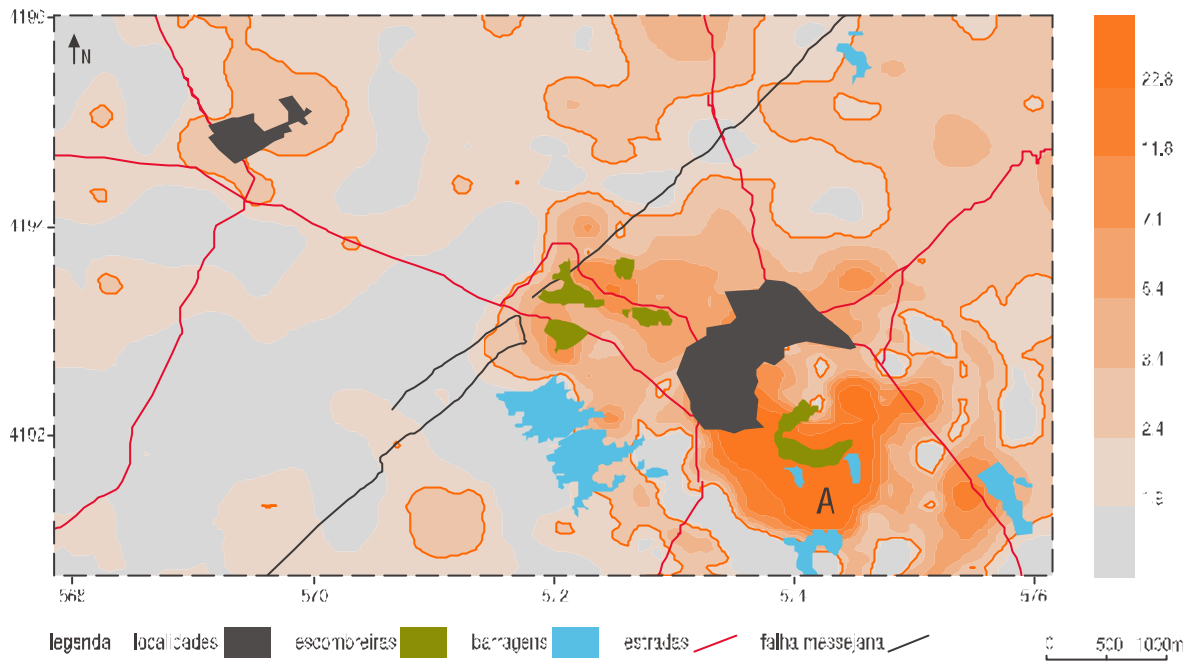


figura 4.20 Cartografia dos teores, variogramas, boxplot e histograma da variável Sn [ppm]

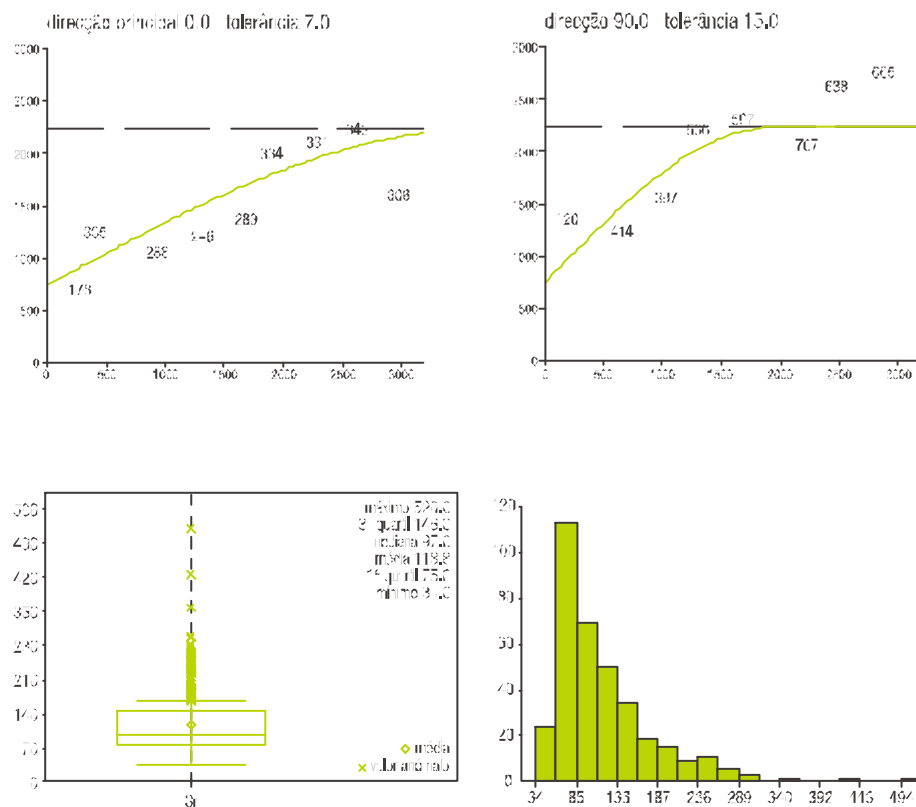
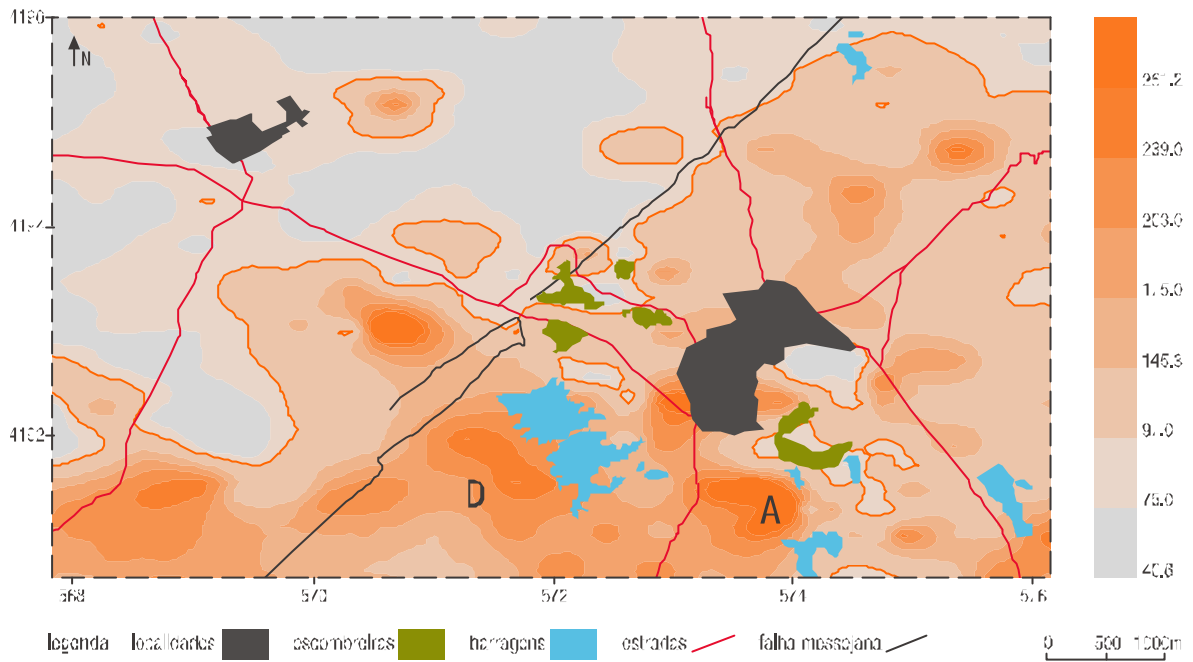


figura 4.21 Cartografia dos locais, variogramas, boxplot e histograma da variável Si (ppm)

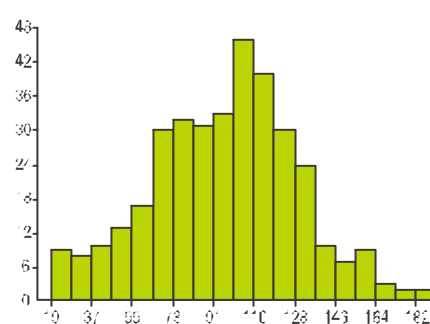
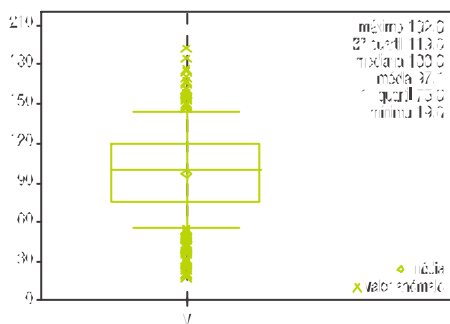
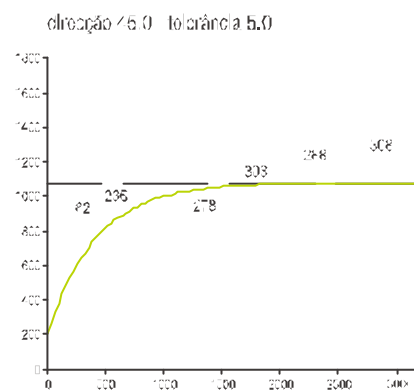
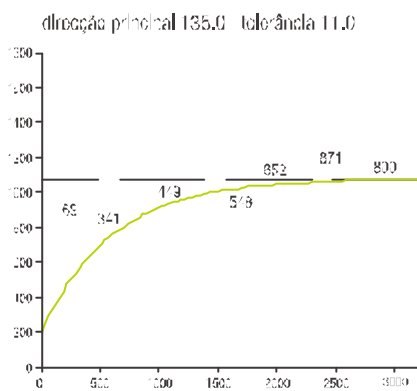
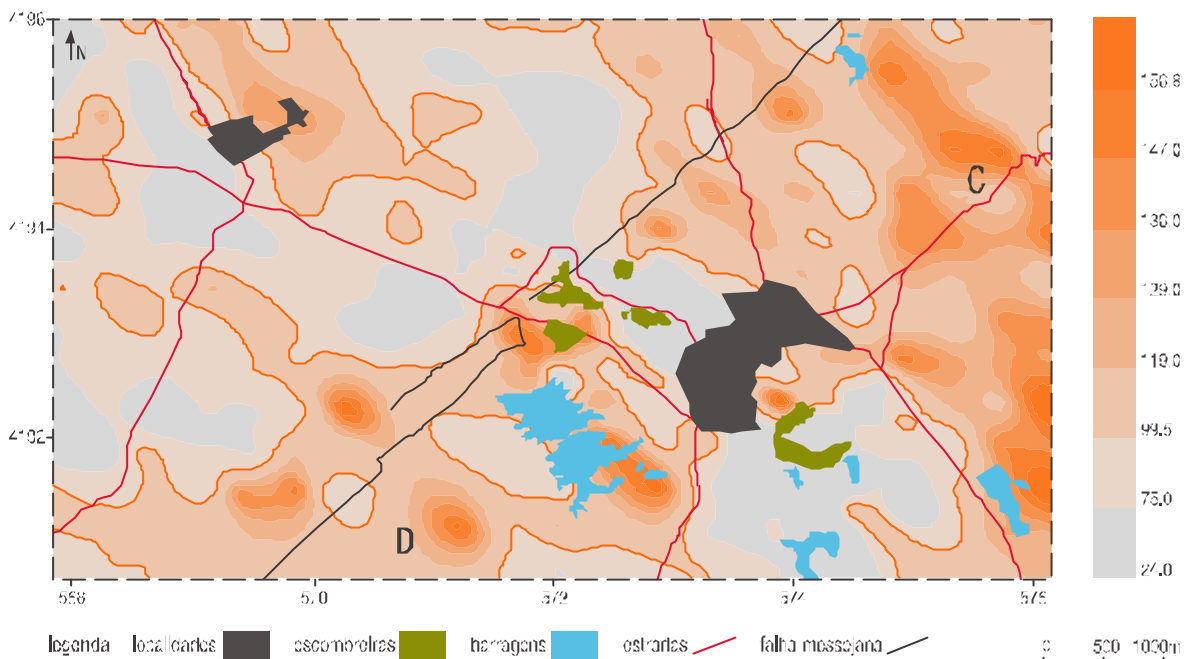


figura 4.22 Cartografia dos teores, variogramas, boxplot e histograma da variável V (ppm)

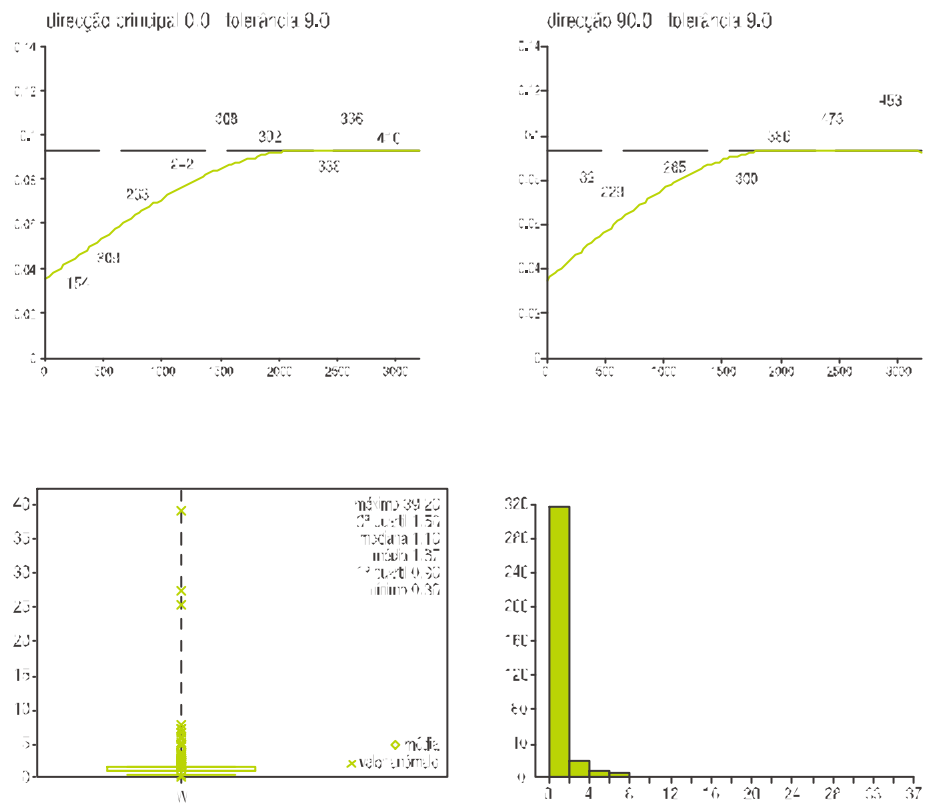
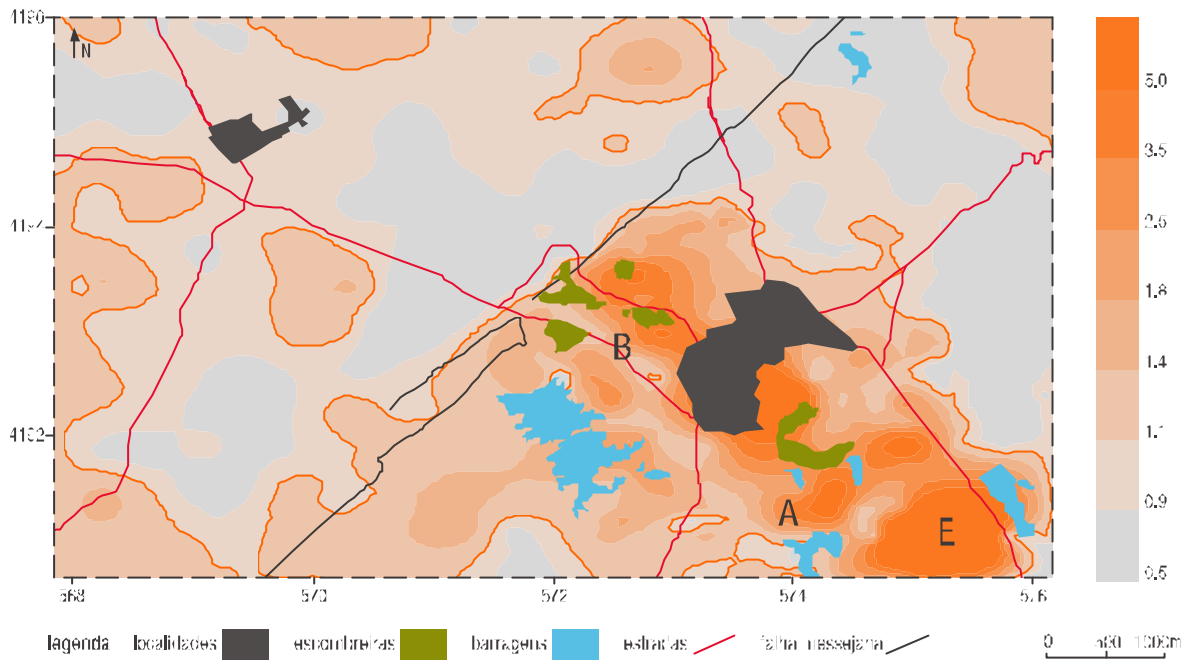


figura 4.23 Cartografia dos teores, variogramas, boxplot e histograma da variável W [ppm]

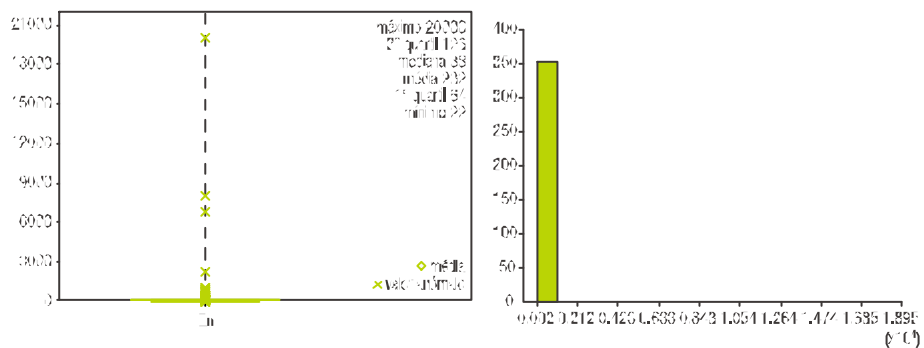
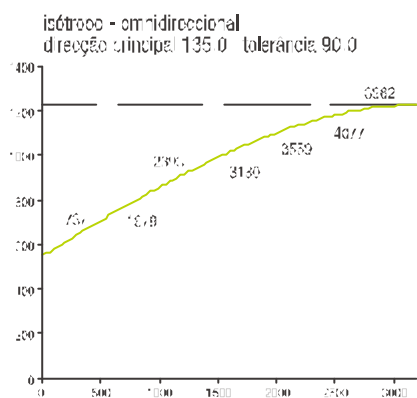
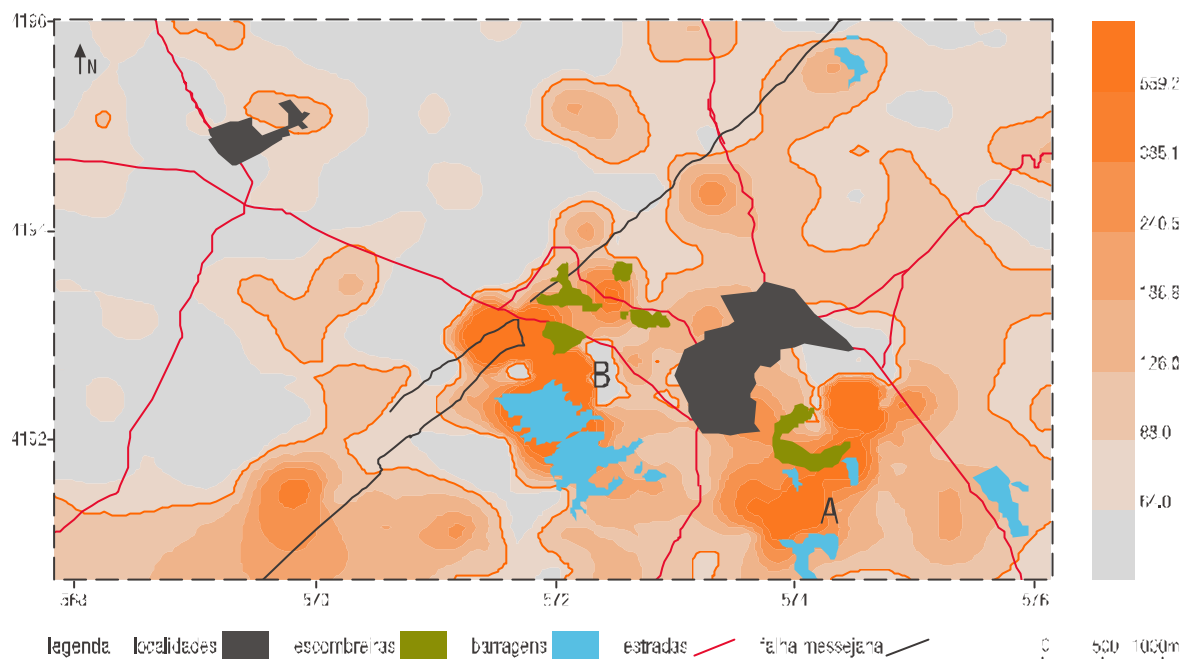


figura 4.24 Cartografia dos teores, variogramas, bloxplot e histograma da variável Zn [poni]

A tabela 4.9 apresenta os teores médios, determinados pelo estudo realizado pelo CVRM (Gaspar, 1986), calculados a partir de análises químicas obtidas pela empresa Pirites Alentejanas SA, dos minérios dos jazigos de Feitais e dos Moinhos.

tabela 4.9 Teores médios dos minérios dos jazigos de Feitais e dos Moinhos

	Moinho	Feitais
Cu	0.9%	0.9%
Zn	3.19%	2.95%
Pb	1.28%	1.27%
S	47.05%	44.95%
Fe	40.02%	38.80%
As	0.55%	0.56%
Sb	700ppm	100ppm
Bi	210ppm	110ppm
Co	700ppm	900ppm
Cd	100ppm	900ppm
Ag	35ppm	40ppm
Se	250ppm	250ppm
Sn	300ppm	300ppm
Mo	20ppm	30ppm
Ni	60ppm	35ppm
Cr	240ppm	300ppm

A unidade dos grauvaques de Água Forte, pertencente ao grupo Culm, é composta por grauvaques albito-líticos, constituídos por quartzo $[\text{SiO}_2]$, alguma albite $[\text{NaAlSi}_3\text{O}_8]$, moscovite $[\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2]$ e quantidades variáveis de fragmentos de rocha (cherte, quartzitos finos, vulcanitos ácidos e alguns fragmentos espiliticos). A matriz tem composição quartzo-sericitico-clorítico $[\text{SiO}_2 - \text{KAl}_2(\text{OH})_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10}) - (\text{Fe},\text{Mg},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{20}(\text{OH})_8]$. A composição desta unidade justifica a associação dos elementos Al, Cr, K, P, Rb, V (tabela 4.13)

A formação de xistos do Mau Ladrão, pertencente ao grupo Culm, é uma formação mista de xistos carbonosos e siltosos com frequentes níveis de grauvaques finos em contacto concordante com a unidade inferior. São também conhecidos pelitos bandados, com alternâncias de laminações de pelito, siltito, e grauvaque fino gradado.

As mineralizações de Mn são constituídas fundamentalmente por óxidos de Mn, designadamente pirolusite $[\text{MnO}_2]$ e psilomelano $[\text{MnO}_2]$, podendo-se encontrar, também em quantidades variáveis a limonite $[2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$, hematite $[\text{Fe}_2\text{O}_3]$ e baritina $[\text{BaSO}_4]$. As zonas próximas das mineralizações caracterizam-se por apresentar teores elevados de Ba, Mn, Mo, Ni, W.

Segundo Straus (1970) os minérios de Mn do SW da Península Ibérica podem apresentar correlações de Ba que podem variar de vestigiais até 1%.

4.3. estatística bivariada

Neste item apresenta-se a análise do comportamento entre pares de elementos através do cálculo da matriz de correlação para um nível de significância de 95%, sendo apresentados os valores de coeficiente de correlação superiores a 0,5 ou inferiores a -0,5 em quadro (Anexo V).

Com o objectivo de simplificar a análise dos resultados são apresentados e discutidos os pares de elementos cujo coeficiente de correlação é superior a 0,8 (tabelas 4.10, 4.11, 4.12 e 4.13).

A tabela 4.10 apresenta os pares de elementos considerando a globalidade dos resultados.

tabela 4.10 Resumo da matriz de correlação tendo em consideração a globalidade dos resultados (n=356)

	Pb	Zn	Mn	As	Sb	Bi	V	Cr	Al	K	Sn	Rb
Cu		0,816		0,824		0,855					0,832	
Pb						0,838						
As					0,841	0,832						
Cd		0,979										
Sb	0,933											
Bi	0,934				0,935						0,821	
V								0,890				
Cr							0,889					
Al										0,802		
K									0,831			0,884
W			0,819									
Sn	0,920				0,945	0,927						
Rb										0,881		

Pela análise da tabela 4.10 observa-se uma maior correlação, por ordem decrescente, entre os elementos Cd/Zn (0,979), Sn/Sb (0,945), Bi/Sb (0,935), Bi/Pb (0,934), Sb/Pb (0,933), Sn/Bi (0,927), Sn/Pb (0,920), V/Cr (0,890), Cr/V (0,889), K/Rb (0,884), Rb/K (0,881), Cu/Bi (0,855), As/Sb (0,841), Pb/Bi (0,838), As/Bi (0,832), Cu/Sn (0,832), K/Al (0,831), Cu/As (0,824), Bi/Sn (0,821), W/Mn (0,819), Cu/Pb (0,816), Al/K (0,802).

Os pares Zn/Cd, Sb/Sn, Sb/Bi, Pb/Bi, Pb/Sb, Bi/Sn e Pb/Sn reflectem a associação de variáveis ligada à paragénese de sulfuretos maciços que ocorreu na área mineira de Aljustrel (tabelas 2.2 e 2.3).

Relativamente aos pares de variáveis V, Cr, K e Rb estas reflectem associações tipicamente geológicas.

O par Mn/W está essencialmente associado às mineralizações de manganês, urbanas e industriais.

A tabela 4.11 apresenta um resumo dos pares de elementos mais representativos, para os dados relativos às amostras dos terrenos de cobertura da bacia terciária do Sado.

Pela análise da tabela 4.11 observa-se, por ordem decrescente, a correlação entre os seguintes pares de elementos Fe/V (0,955), Al/Fe (0,946), V/Fe (0,941), Cr/Ni (0,941), Fe/Al (0,939), Fe/Ni (0,938), Ni/Fe (0,936), Cr/Fe (0,935), Fe/Cr (0,932), V/Al (0,930), Ni/Cr (0,924), K/Al (0,920), Al/V (0,919), Co/Mn (0,914), Al/K (0,908), Al/Ni (0,903), K/Rb (0,896), V/Cr (0,895), Mn/Co (0,890), Sb/As (0,890), Rb/K (0,884), Ni/K (0,881), Al/Cr (0,880), Ba/Al (0,878), Ni/V (0,877), K/Ni (0,877), K/Fe (0,873), Cr/V (0,871), Fe/K (0,870), Cr/Al (0,868), Bi/As (0,864), Fe/Ba (0,861), V/Ni (0,856), Al/Ba (0,854), Cu/Zn (0,853), K/Cr (0,853), Cr/K (0,842), Ba/Fe (0,841), V/K (0,836), K/V (0,836), Co/K (0,833), V/Ba (0,833), Ba/V (0,812), K/Co (0,811), Rb/Al (0,810), Ni/Ba (0,808), Al/Rb (0,807), Ba/K (0,805) e Cr/Ba (0,801).

Tabela 4.11 Resumo da matriz de correlação dos terrenos de cobertura da bacia terciária do Sado (n=51)

	Zr	Ni	Co	Mn	Fe	As	V	Cr	Ba	Al	K	Rb
Cu	0.853											
Ni					0.936		0.877	0.924	0.808	0.902	0.887	
Co				0.974							0.833	
Mn			0.830									
Fe		0.938					0.955	0.932	0.861	0.939	0.870	
Sb						0.890						
Bi						0.864						
V		0.856			0.941			0.835	0.833	0.930	0.836	
Cr		0.941			0.835		0.877		0.801	0.868	0.842	
Ba					0.871		0.812			0.878	0.805	
Al		0.903			0.970		0.919	0.880	0.857		0.908	0.807
K		0.877	0.877		0.873		0.835	0.843		0.920		0.696
Rb										0.810	0.884	

A maioria das associações identificadas tem uma origem litológica, relacionada com os terrenos de cobertura da bacia terciária do Sado. Os terrenos, datados do Paleogénico e Miocénico indiferenciados, são, na sua parte inferior, constituídos por conglomerados-brechas com elementos angulosos e outros mal rolados. Na parte superior trata-se de um conjunto de argilas, por vezes atapulgíticas, de margas com concreções calcárias, de calcários gresosos, às vezes concrecionados, com seixos, e de grés argilosos rosados ou avermelhados (Zbyszewski, 1943, 1947).

A tabela 4.12 apresenta um resumo dos pares de elementos mais representativos para os dados relativos ao grupo das rochas filoneanas, doleritos da Messejana.

Tabela 4.12 Resumo da matriz de correlação do grupo das rochas filoneanas - doleritos da Messejana (n=6)

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Fe	As	Sr	Cd	Sb	Bi	V	P	Cr	Ba
Mo		0.941			0.880	0.880	0.941			0.820	0.893	0.853	0.833		0.880	0.947
Cu	0.937				0.886	0.886	0.943						0.839			0.943
Pb	0.995	0.989		0.943						0.886						
Zn	0.999	0.993	0.997							0.943			0.847			
Ni					1.000	0.943							0.839			
Co	0.977	0.929	0.920	0.972	0.841		0.943						0.839			
Fe					0.948	0.837		0.870		0.886	0.802	0.986			0.886	0.873
As	0.838	0.925	0.899	0.888		0.900	0.805		0.829			0.839				
Cd	0.939	0.995	0.997	1.000	0.975		0.893					0.806	0.928		0.886	
Sb	0.950	0.969	0.938	0.933		0.906	0.974			0.943		0.814				0.639
Bi							0.860	0.889			0.856		0.874		0.926	
V					0.876	0.928	0.964	0.893			0.834	0.838			0.870	
P															0.886	
Cr					0.976		0.956					0.866	0.816	0.884		
Ba	0.875	0.854					0.805	0.906				0.898			0.837	
Al							0.872						0.874		0.802	
Na									0.965							
K				0.966			0.990					0.802	0.926	0.808	0.955	
W	0.808	0.816	0.841	0.804		0.892		0.896		0.808	0.850	0.809	0.970			
Sn					0.871		0.970	0.863			0.815	0.956	0.929		0.946	0.877
Rb					0.954		0.965						0.866	0.815	0.834	

Pela análise da tabela 4.12 observa-se uma maior correlação, por ordem decrescente, entre os elementos Ni/Co (1.000), Cd/Zn (1.000), Fe/K (1.000), Zn/Mo (0.999), Cd/Mo (0.999), Cu/Mo (0.997), Zn/Pb (0.997), Cd/Pb (0.997), Pb/Mo (0.995), Cd/Cu (0.995), Zn/Cu (0.993), K/Fe (0.990), Pb/Cu (0.989), Fe/V

tabela 4.12 continuação

	Al	Na	K	W	Sr	Rb
Mo			0.941		0.924	0.880
Cu			0.943		0.928	0.886
Pb				0.928		
Zn				0.986		
Ni			0.973		0.899	0.829
Co			0.943		0.899	0.829
Fe	0.829		1.000	0.841	0.986	0.943
As			0.829	0.812	0.872	
Sr		0.829				
Cd			0.886	0.986	0.870	0.829
Bi			0.802	0.861	0.874	0.802
V			0.986	0.897	0.877	0.928
P	0.829					
Cr	0.836		0.886	0.812	0.928	0.943
Ba			0.829		0.872	
Al			0.829		0.899	0.943
K	0.918			0.841	0.986	0.943
W					0.800	
Sn	0.800		0.937	0.810		0.986
Rb	0.809		0.972		0.890	

(0.986), Zn/W (0.986), Fe/Sn (0.986), Cd/W (0.986), V/K (0.986), K/Rb (0.986), Sn/Rb (0.986), Sb/As (0.974), Rb/K (0.972), V/Sn (0.971), Sn/Fe (0.970), Sb/Cu (0.969), Na/Sr (0.965), Rb/Fe (0.965), Cr/Fe (0.956), K/Ni (0.956), Sn/Bi (0.956), K/Cr (0.955), V/Fe (0.954), Rb/Ni (0.954), Sb/Mo (0.950), Fe/Ni (0.948), Cr/Ni (0.946), Sn/Cr (0.946), Cu/Fe (0.943), Cu/Ba (0.943), Pb/Zn (0.943), Zn/Cd (0.943), Ni/Fe (0.943), Co/Fe (0.943), Sb/Cd (0.943), Cu/K (0.943), Ni/K (0.943), Co/K (0.943), Fe/Rb (0.943), Cr/Rb (0.943), Al/Rb (0.943), K/Rb (0.943), Mo/Cu (0.941), Mo/Ba (0.941), Mo/Fe (0.941), Mo/K (0.941), Sb/Zn (0.939), Sn/K (0.937), Rb/Cr (0.934), Co/Cu (0.929), Sn/V (0.929), Cd/V (0.928), V/Co (0.928), Cu/Sn (0.928), Rb/W (0.928), V/Rb (0.928), Cr/Sn (0.928), Cd/Bi (0.926), Bi/Cr (0.926), K/V (0.926), As/Cu (0.925), Mo/Sn (0.924), Co/Pb (0.920), K/Al (0.918), Co/Mo (0.917), Cd/Co (0.915), Co/Zn (0.912), W/V (0.910), Sb/Co (0.906), Ba/As (0.906), As/Co (0.900), Cu/V (0.899), Ni/V (0.899), Co/V (0.899), As/Pb (0.899), As/V (0.899), Sb/Ba (0.899), Ni/Sn (0.899), Co/Sn (0.899), Al/Sn (0.899), As/Mo (0.898), Ba/Bi (0.898), V/W (0.897), Rb/Sn (0.896), W/As (0.896), Cd/As (0.893), Mo/V (0.893), V/As (0.893), W/Co (0.892), Bi/As (0.889), As/Zn (0.888), Cu/Ni (0.886), Cu/Co (0.886), Pb/Cd (0.886), Fe/Cd (0.886), Fe/Cr (0.886), Cd/Cr (0.886), P/Cr (0.886), Cu/Rb (0.886), Cd/K (0.886), Cr/Al (0.886), Cr/K (0.886), Mo/Ni (0.880), Cr/P (0.884), Mo/Cr (0.880), Mo/Rb (0.880), V/Ni (0.875), Al/Fe (0.872), Sn/Ni (0.871), Sn/Ba (0.871), V/Cr (0.870), Cd/Sn (0.870), Rb (0.869), Cr/Bi (0.866), Rb/V (0.866), Sn/As (0.863), Bi/W (0.861), Bi/Fe (0.860), Bi/Sb (0.856), Ba/Cu (0.854), W/Sb (0.850), Cr/V (0.846), Zn/V (0.841), Co/Ni (0.841), W/Pb (0.841), Fe/W (0.841), K/W (0.841), V/Bi (0.838), Fe/Co (0.837), V/Sb (0.834), Ba/Cr (0.831), Fe/As (0.829), Fe/Ba (0.829), As/Cd (0.829), Ni/Rb (0.829), Co/Rb (0.829), Fe/Al (0.829), As/K (0.829), Sr/Na (0.829), Cd/Rb (0.829), P/Al (0.829), Ba/K (0.829), Al/K (0.829), Mo/Cd (0.820), W/Cu (0.816), Ba/Mo (0.815), Sn/Sb (0.815), Rb/P (0.815), Sb/Bi (0.814), Al/V (0.814), Bi/Sn (0.814), As/W (0.812), As/Sn (0.812), Cr/W (0.812), Ba/Sn (0.812), Sn/W (0.810), Ba/Fe (0.809), W/Bi (0.809), W/Rb (0.809), K/P (0.808), W/Cd (0.808), As/Fe (0.805), W/Zn (0.804), W/Mo (0.803), Al/Cr (0.802), K/Bi (0.802), Bi/K (0.802), Bi/Rb (0.802), Fe/Bi (0.802) e Sn/Al (0.800).

A obtenção deste número elevado de pares de elementos é justificada pelas características mineralógicas dos doleritos da Messejana. De acordo com Andonaegui (2005) distinguem-se três tipos de piroxenas $[XY(Si,Al)_2O_6]$: augite $[(Ca,Na)(Mg,Fe,Al)(Al,Si)_2O_6]$, enstatite $[MgSiO_3]$ e pigeonite $[(Ca,Mg,Fe^{2+})(Mg,Fe^{2+})Si_2O_6]$. Em geral apresentam uma correlação negativa de TiO_2 em relação a XMg , que por vezes se inverte. A plagioclase $[XY(Si,Al)_2O_6]$ apresenta-se zonada com núcleos muito cálcicos. É também importante a presença tardia de albite $[NaAlSi_3O_8]$ e ortose $[KAlSi_3O_8]$, que formam crescimentos gráficos com quartzo $[SiO_2]$ intersticial entre as piroxenas e as plagioclases. Também se encontram anfíbolas $[XSiO_3]$ e biotite $[K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(F,OH)_2]$ ricas em FeO e TiO_2 .

A tabela 4.13 apresenta um resumo dos pares de elementos com correlações mais significativas, tendo em consideração os dados relativos às amostras representativas do grupo do substrato Hercínico Culm.

tabela 4.13 Resumo da matriz de correlação do grupo do substrato Hercínico Culm (n= 4)

	Pb	Zn	Co	Mn	Fe	As	Sr	Sb	Bi	V	Cr	Al	K	Sn	Rb
Cu	0.803					0.877		0.820	0.880					0.813	
Pb		0.841				0.829		0.805	0.831						
Co		0.855													
As		0.859						0.811	0.852						
Cd		0.987	0.865												
Sn		0.910			0.840	0.803									
Bi		0.963				0.830		0.966							
V											0.921	0.836			
Cr										0.938					
Al										0.824					
Na							0.871								
K															0.889
W				0.873											
Sr		0.963				0.883		0.963	0.982						
Rb													0.877		

Pela análise da tabela 4.13 observa-se uma maior correlação, por ordem decrescente, entre os elementos Cd/Zn (0.987), Bi/Pb (0.982), Bi/Sb (0.966), Sn/Pb (0.963), Sn/Sb (0.963), Cr/V (0.938), V/Cr (0.921), As/Sb (0.911), Sb/Pb (0.910), K/Rb (0.889), Sn/As (0.883), Cu/Bi (0.880), Cu/As (0.877), Rb/K (0.877), W/Mn (0.873), Na/Sr (0.871), Cd/Co (0.865), As/Pb (0.859), Co/Zn (0.855), As/Bi (0.852), Pb/Zn (0.841), Sb/Fe (0.840), V/Al (0.836), Pb/Bi (0.831), Bi/As (0.830), Pb/As (0.829), Al/V (0.824), Cu/Sb (0.820), Cu/Sn (0.813), Pb/Sb (0.805), Sb/As (0.803) e Cu/Pb (0.803).

Refira-se que o grupo do Culm (grupo Flysch-FG) é constituído por uma série de xistos e grauvaques que alternam regularmente (formações de xistos de Monta da Broca, grauvaques da Represa, xistos do Mau Ladrão, grauvaques de Maroiços, xisto de Monte Ruas e grauvaques de Água Forte).

Os grauvaques são constituídos por quartzo $[SiO_2]$, feldspatos (albite-oligoclase $[NaAlSi_3O_8]$ e andesina $[(Na,Ca)Al(Al,Si)Si_2O_8]$) e mais raramente o feldspato potássico $[KAlSi_3O_8]$. A mica mais frequente é a biotite $[K(Mg,Fe)_3(Al,Fe)Si_3O_{10}(OH,F)_2]$. Ocorrem também a piroxena $[(Na,Ca)(Fe,Mg)Si_2O_6]$ e hornoblenda parda $[Ca_2(Mg,Fe,Al)_5(Al,Si)_8O_{22}(OH)_2]$. Encontram-se ainda como acessórios a apatite $[Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)]$, a titanite

[CaTiSiO₅], o epidoto [Ca₂(Al,Fe)₃(SiO₄)₃(OH)], ilmenite [FeTiO₃] e raramente o rútilo [TiO₂] e a turmalina [WX₃Y₆(BO₃)₃Si₅O₁₈(O,OH,F)₄].

Os xistos são constituídos fundamentalmente por quartzo [SiO₂] e sericite [KAl₂(OH)₂(AlSi₃O₁₀)].

A tabela 4.14 apresenta um resumo dos pares de elementos com correlação mais significativos, tendo em consideração os dados relativos às amostras representativas do grupo do substrato Hercínico sub Culm.

tabela 4.14 Resumo da matriz de correlação do grupo do substrato Hercínico sub Culm (n=68)

	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Bi	V	Cr	Sn
Cu		0,873			0,830		0,849	0,902			
Pb			0,856		0,926	0,807	0,945	0,962			0,867
Zn	0,803				0,836	0,807	0,844	0,874			
Ni									0,838		
As							0,946	0,896			
Sb		0,967			0,871			0,976			0,828
Bi		0,948					0,920				0,867
V				0,833						0,874	
Cr									0,852		
Sn		0,879					0,918	0,847			

Pela análise da tabela 4.14 observa-se uma maior correlação, por ordem decrescente, entre os elementos Sb/Pb (0.964), Pb/Bi (0.962), Bi/Pb (0.948), As/Sb (0.946), Pb/Sb (0.945), Pb/As (0.926), Bi/Sb (0.920), Sn/Sn (0.918), Sb/Bi (0.916), Cu/Bi (0.902), As/Bi (0.896), Sn/Pb (0.879), Zn/Bi (0.874), V/Cr (0.874), Cu/Pb (0.873), Pb/Zn (0.869), Bi/Sn (0.867), Pb/Sn (0.861), Cr/V (0.852), Cu/Sb (0.849), Zn/Sb (0.844), Sb/As (0.841), Sn/Bi (0.841), Ni/V (0.838), Zn/As (0.836), V/Ni (0.833), Cu/As (0.830), Sb/Sn (0.828), Pb/Cd (0.807), Zn/Cd (0.807) e Zn/Cu (0.803).

Os pares de variáveis reflectem essencialmente a mineralização de sulfuretos maciços. Refira-se que a mineralização de Aljustrel está essencialmente associada ao Complexo Vulcano-Silicioso.

Os pares de elementos V/Cr e K/Rb definem claramente as características geológicas do Complexo Vulcano-Silicioso. Esta formação é constituída essencialmente por tufos félsicos, tufitos, xistos negros grafitosos, xistos verdes, xistos borra de vinho, grauvaques e jaspes lenticulares. São rochas efusivas muito ácidas com a presença abundante de alcális (sobretudo K). Nestas formações são abundantes os fenocristais de quartzo [SiO₂] no seio de uma matriz microcristalina de sericite [KAl₂(OH)₂(AlSi₃O₁₀)]. Como acessórios apresentam pinte [FeS₂], titanite [CaTiSiO₅] e zircão [ZrSiO₄].

4.5. estatística multivariada

A tabela 4.15 apresenta o resultado do estudo da ACP, conforme explicado no capítulo 3.4., onde constam os valores próprios, a variância explicada de cada eixo e a respectiva variância acumulada. Como se pode verificar pela análise da tabela 4.15 e figura 4.25 as 23 variáveis encontram-se retidas nos cinco primeiros eixos, os quais explicam 78,70% da inércia total.

A retenção do número de factores atendeu a um critério empírico na base dos valores próprios superiores a 1 (Davis, 1986), o que levou à retenção dos cinco primeiros eixos.

tabela 4.15 Valores próprios, variância explicada e variância acumulada

	valor próprio	% exp	% acum
1	6,64	28,87	28,87
2	4,45	19,34	48,21
3	2,85	12,39	60,60
4	2,35	10,20	70,80
5	1,82	7,90	78,70

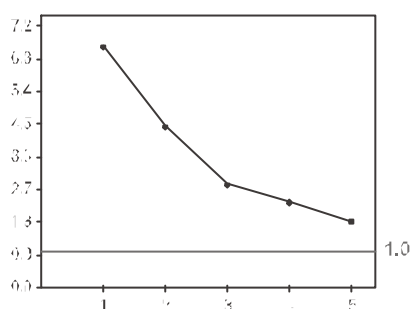


figura 4.25 Explicação dos cinco primeiros eixos da análise ACP

A tabela 4.16 apresenta as coordenadas das 23 variáveis nos cinco primeiros eixos.

tabela 4.16 Coordenadas das 23 variáveis dos cinco primeiros eixos

	1	2	3	4	5
Mo	0,4513	0,4781	0,0513	0,5853	0,0038
Cu	0,6223	0,3049	-0,3334	-0,1594	-0,2076
Pb	0,8385	0,2519	0,3059	-0,1271	0,0593
Zn	0,3550	0,2271	-0,8720	-0,2270	-0,2529
Ni	-0,9116	0,6370	-0,2757	0,0830	0,2172
Co	0,2666	0,5713	-0,0760	-0,2523	-0,0050
Mn	0,0202	0,3699	-0,3532	0,7895	-0,0367
Fe	0,5883	0,4995	0,1603	-0,0073	0,0277
As	0,7754	0,2294	0,2932	-0,0845	-0,0227
Sr	0,0030	0,0449	0,2660	0,1018	-0,8764
Cd	0,3268	0,1993	-0,8527	-0,2774	-0,2388
Sb	0,8071	0,2665	0,2330	-0,1772	0,0523
Bi	0,8766	0,2767	0,2593	-0,1365	0,0531
V	-0,5911	0,6765	0,0719	-0,1501	0,0137
P	-0,0765	0,2393	0,1726	0,2187	-0,0973
Cr	-0,3238	0,5601	0,0859	-0,3763	0,0979
Ba	-0,5328	0,4550	0,0670	0,2794	-0,1732
Al	-0,5417	0,6371	0,2565	-0,2082	-0,3706
Na	-0,0331	-0,2793	0,2107	-0,1176	-0,8203
K	-0,3472	0,7825	0,2734	-0,2491	0,0177
W	0,2701	0,3377	-0,0772	0,8523	-0,0801
Sn	0,8677	0,2701	0,2890	-0,0925	0,0717
Rb	-0,2951	0,6717	0,2373	-0,1755	0,0356

Da análise da tabela 4.14 pode verificar-se que as variáveis com coordenadas superiores a 0,5, em valor absoluto, se encontram assim distribuídas pelos cinco eixos:

eixo 1: Sb, Sn, Bi, Pb, As, Cu, Fe em oposição às variáveis Cr, V, Al, Ba

eixo 2: K, Ni, Rb

eixo 3: Cd, Zn, Co

eixo 4: W, Mn, Mo

eixo 5: Sr, Na

O eixo 1 possui uma percentagem de variância explicada de 28,87% e explica sete das 23 variáveis activas, Sb, Sn, Bi, Pb, As, Cu e Fe, todas com coordenadas positivas, em oposição às variáveis Cr, V, Al e Ba, com coordenadas negativas.

O eixo 2, com uma variância explicada de 19,34%, explica as variáveis K, Ni e Rb com coordenadas positivas.

O eixo 3, com uma variância explicada de 12,39% explica as variáveis Cd, Zn e Co, todas com coordenadas negativas.

O eixo 4 explica as variáveis W, Mn e Mo, com coordenadas positivas. A percentagem de variância explicada é de 10,20%.

E finalmente o eixo 5, com uma variância explicada de 7,90%, explica as variáveis Sr, Na, com coordenadas negativas.

O elemento P não se encontra explicado em nenhum dos sete primeiros eixos.

Segundo Cardoso (1995), a visualização das projecções das variáveis mais representativas permite distinguir as proximidades e oposições existentes entre elas. Para a identificação da qualidade da representação das variáveis em cada plano efectuou-se a projecção das variáveis em cada plano factorial, conforme figura 4.26.

A representação gráfica de uma análise deste tipo é feita numa circunferência de raio unitário ao qual se dá o nome de círculo de correlação e que se centra na origem dos eixos do plano factorial. Quanto mais próximas do círculo as variáveis estiverem mais bem correlacionadas estão no plano, quanto mais próximas estiverem entre si mais bem correlacionadas estão entre si, quanto mais próximas estiverem com um dado eixo mais bem correlacionadas estão com este. Quanto mais próximas estiverem da origem menos correlacionadas estão com o plano e são inconclusivas (Pereira e Sousa, 1991).

O primeiro plano factorial, composto pelos eixos 1 e 2 (figura 4.26), possui 48,21% da informação contida na matriz do coeficiente de correlação entre as variáveis que caracterizam a amostra que compõem a totalidade da amostragem. As variáveis melhor explicadas neste plano são Fe, Cu, Pb, Sb, As, Bi e Sn no eixo 1 e V, Cr, Ba, Al, Ni, K e Rb no eixo 2, que constituem 60,87% do número total de variáveis. A projecção permite ainda separar dois grupos de elementos como grupo i, com as variáveis Fe, Cu, Pb, Sb, As, Bi e Sn, e grupo ii, com V, Cr, Ba, Al, Ni, K e Rb.

O segundo plano factorial, constituído pelos eixos 1 e 3, (figura 4.26) possui 41,26% da informação contida na matriz do coeficiente de correlação entre as variáveis que caracterizam a amostra que compõem a totalidade da amostragem.

Neste caso as variáveis melhor explicadas são o Co, Cd e Zn, identificado como grupo iii.

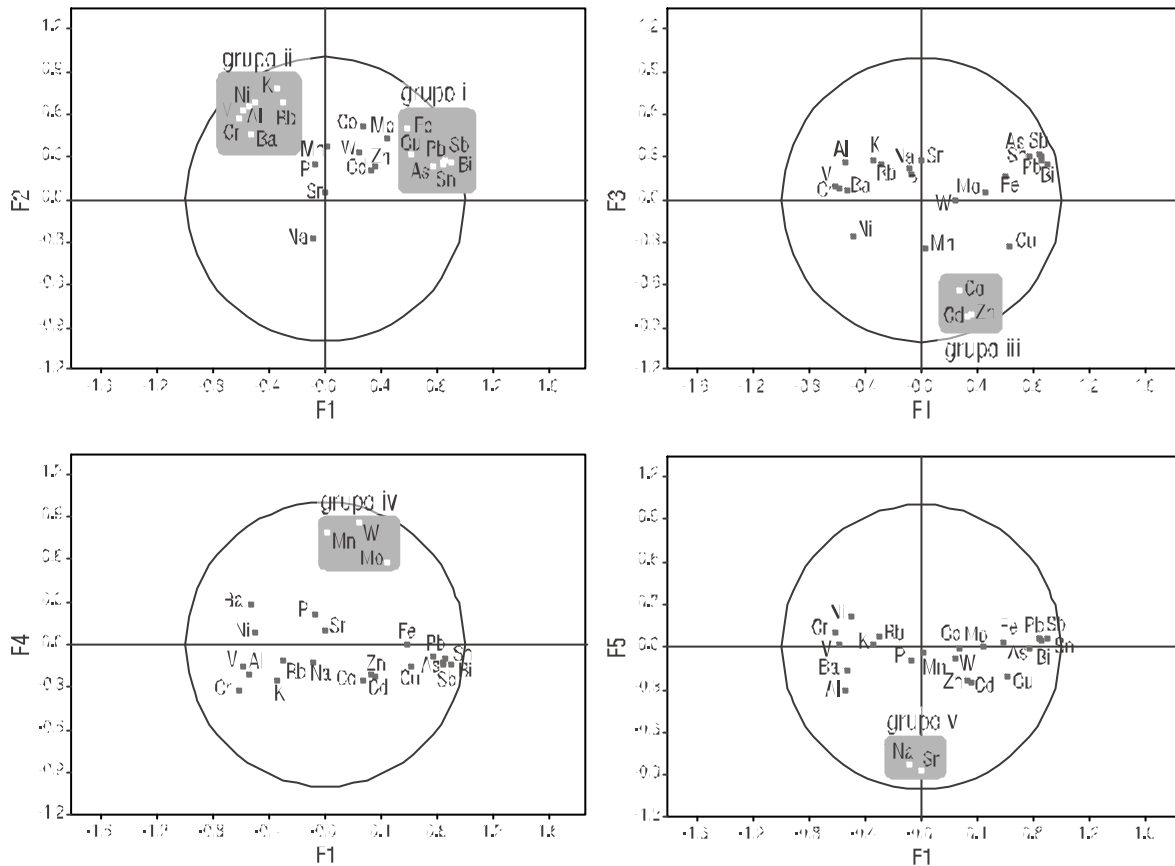


figura 4.26 Projecção das coordenadas das 23 variáveis dos quatro primeiros planos factoriais (eixo 1/eixo 2; eixo 1/eixo 3; eixo 1/eixo 4; eixo 1/eixo 5)

O terceiro plano factorial, formado pelos eixos 1 e 4 (figura 4.26) tem uma representatividade idêntica à do anterior, com 39,07% de variância total e explica as variáveis W, Mn e Mo (grupo iv).

O quarto plano factorial, formado pelos eixos 1 e 5 (figura 4.26) tem uma variância total de 36,77% e explica as variáveis Na e Sr (grupo v).

Os mapas apresentados nas figuras 4.27 a 4.31 foram elaborados da mesma forma que os do capítulo 4.3., com o programa *Golden Software Surfer 8*. No Anexo VI encontram-se os parâmetros dos modelos deduzidos a partir do variogramas experimentais. Estas figuras apresentam a cartografia dos valores das amostras nos eixos 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente, o que permite visualizar a contribuição estimada de cada factor em cada amostra.

A figura 4.27 apresenta a cartografia do eixo 1, que reflecte a associação entre o Fe, Cu, Pb, Sb, As, Sn e Bi. Esta figura, quando comparada com a carta geológica da zona, denota a existência de uma relação com as áreas anteriormente identificadas com a letra A, correspondente à zona das escombreyras de Algares/Feitais e letra B, zona das barragens de Estéreis e de Águas Claras e próxima da mina de S. João do Deserto. Esta distribuição espacial evidencia uma forte ligação com os depósitos de sulfuretos típicos da área em estudo, o que poderá indicar a existência de uma contaminação associada, possivelmente, a dispersão mecânica. De acordo com os dados da tabela 4.19 verifica-se que o minério de pirite apresenta concentrações

significativas de elementos contaminantes (Fe, Cu, Pb, Zn, Ag, Sb, Hg, Se, Co, Au e Cd). As escombreliras romanas são enriquecidas em Pb, Cu, Zn, Fe, As e Sb, enquanto que os óxidos de ferro (pirite ustulada) são também enriquecidas em Au, Pb, Ag, Fe, Sb, Bi, Se, Cu, Zn e Mo.

O mapa relativo ao eixo 2, grupo ii (figura 4.28), explicado pelas variáveis V, Al, Cr e Ba em oposição ao Ni, K, Rb revela uma forte ligação à geologia da zona, tipicamente ao grupo Culm, onde os filitos e quartzitos dominam. Pela análise das cartas de isotores verifica-se a existência de uma forte ligação entre a zona anteriormente identificada com a letra A e a ribeira de Água Forte.

O mapa do eixo 3, grupo iii (figura 4.29), explicado pelo Co, Cd e Zn, evidencia uma forte ligação entre esta associação e as formações do sub Culm, principalmente composto por xistos siliciosos, tufos ácidos, lavas e tufos basálticos.

O mapa correspondente ao eixo 4, grupo iv (figura 4.30), explicado por Mn, W e Mo, quando sobreposto ao mapa geológico e ao cartográfico, mostra claramente a ligação, da anomalia, a uma das antigas explorações de manganês, localizada perto da zona das escombreliras de Algares/Feitais.

Finalmente, o mapa do eixo 5, grupo v (figura 4.31), explicado pela variáveis Na e Sr, está fortemente associado à zona da bacia terciária do Sado.

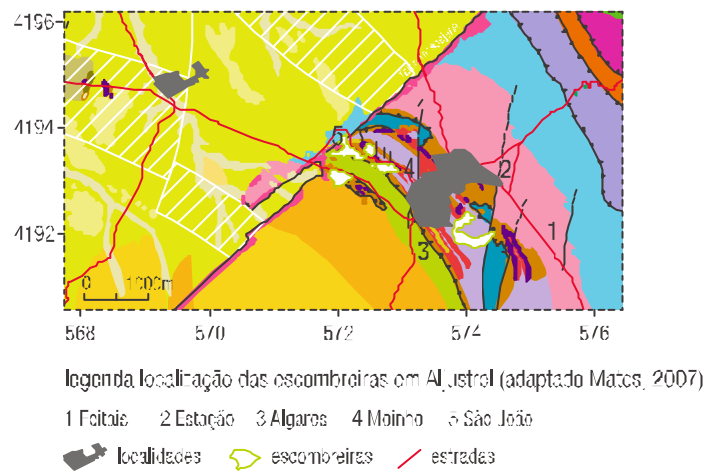
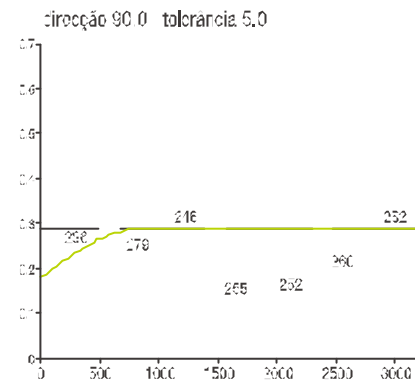
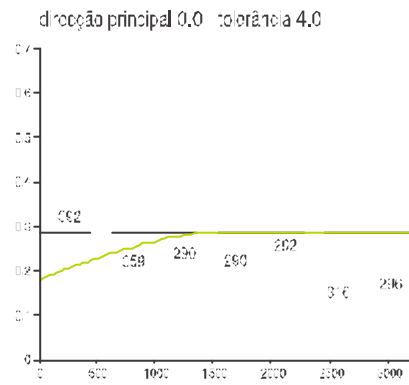
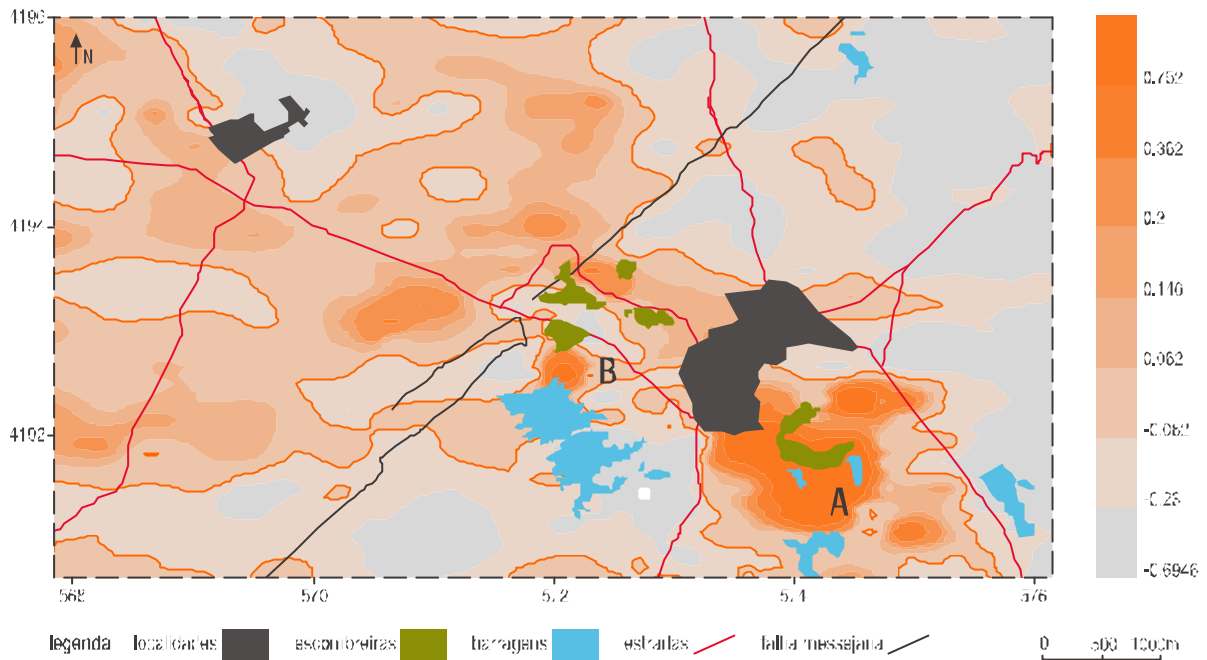


figura 4.27 Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 1e mapa de localização das escombreiras

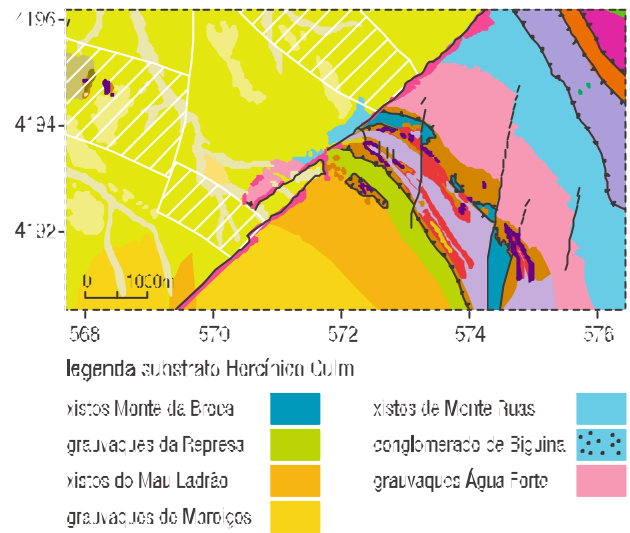
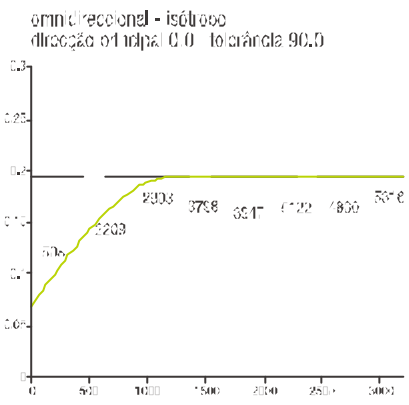
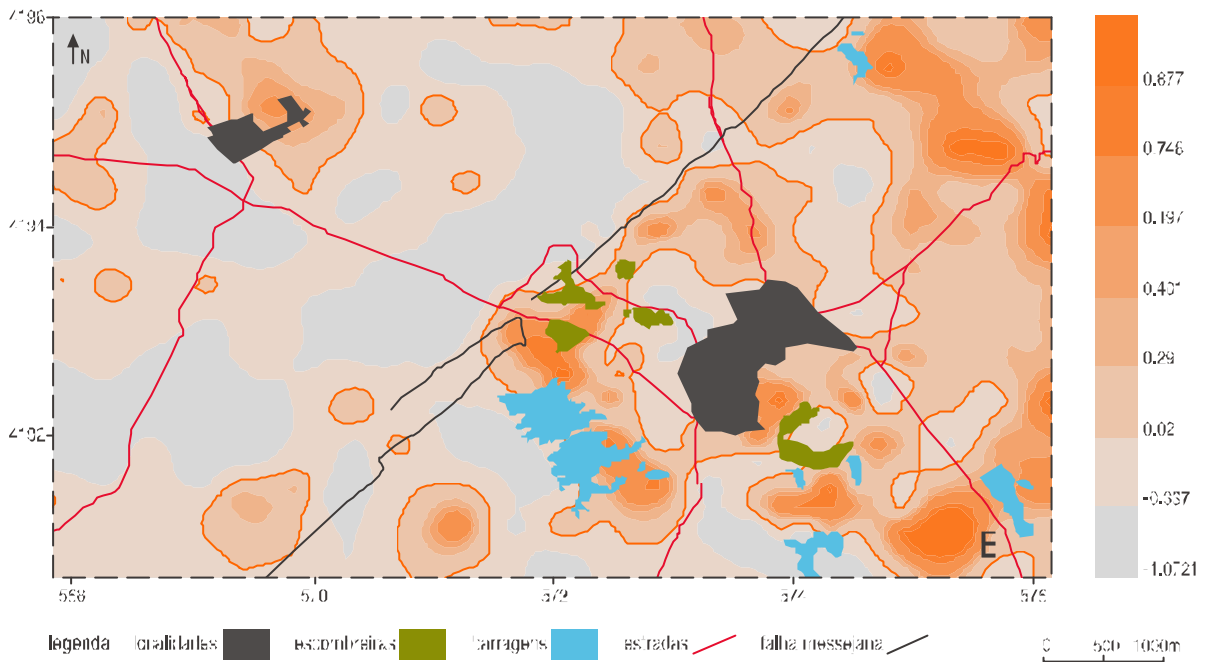
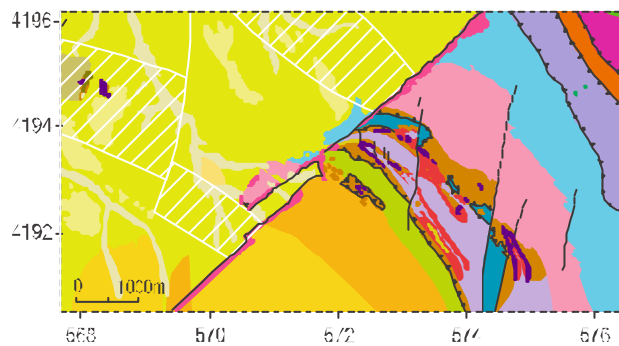
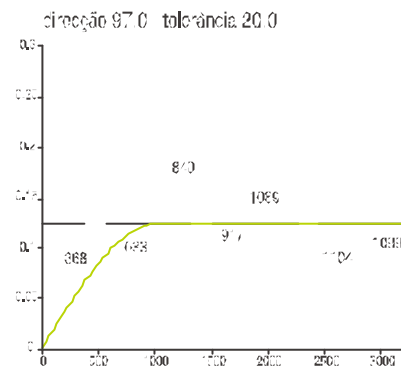
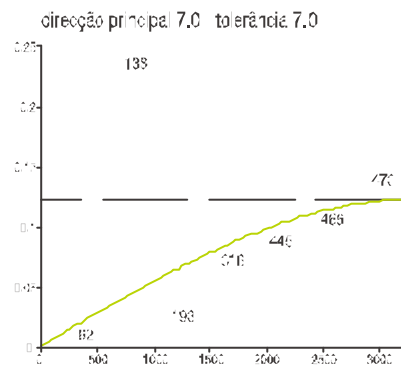
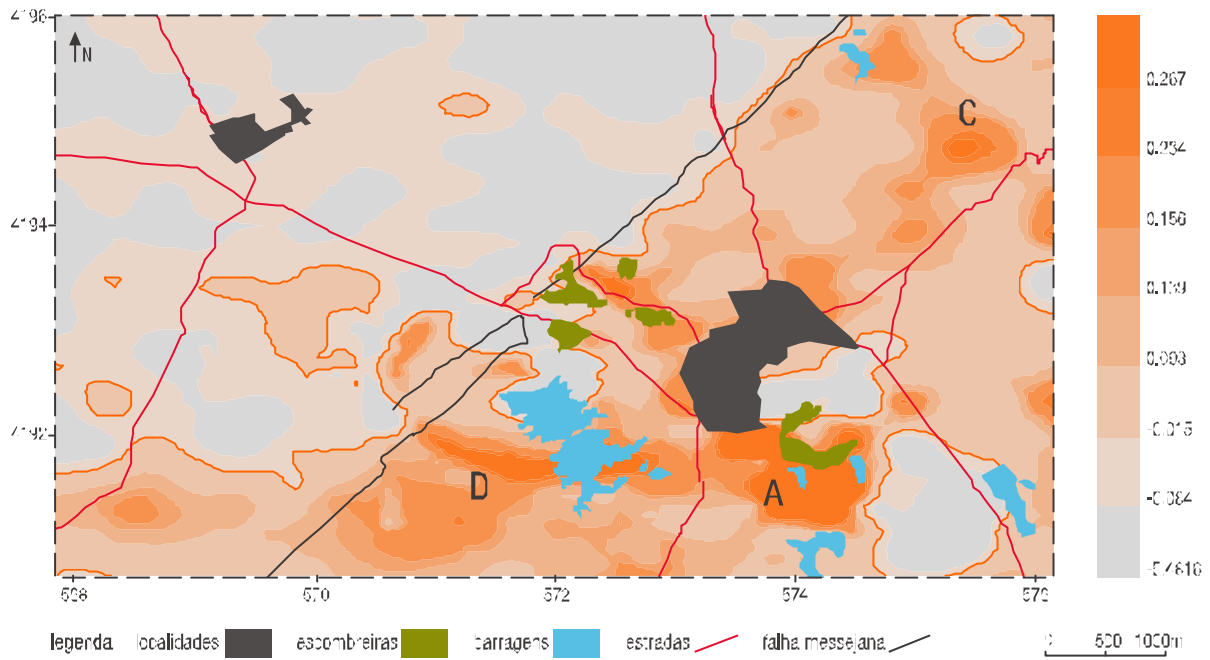


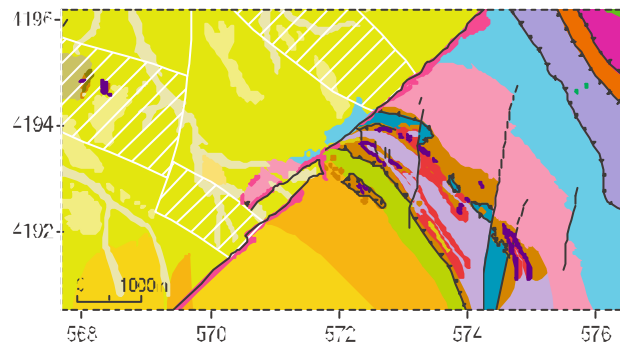
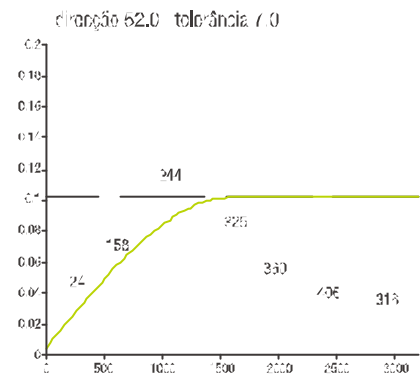
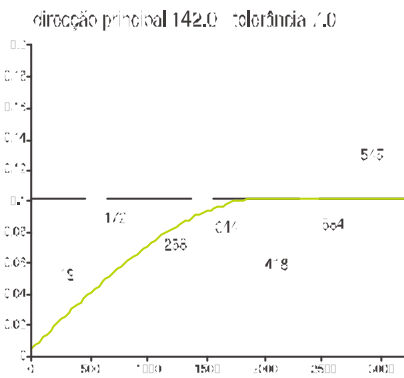
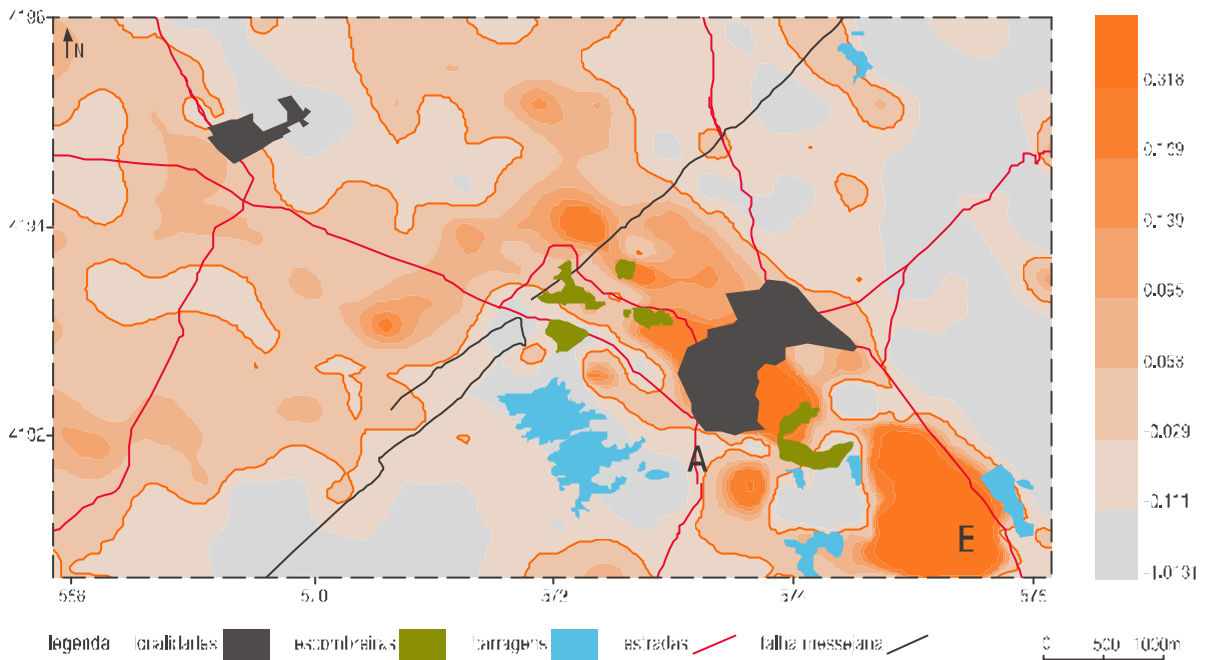
figura 4.28 Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 2 e mapa de localização das unidades geológicas



legenda substrato Hercínico sup-Culm

- | | | | |
|--------------------------|----------------------------|--------------------------|--|
| sup-Culm indiferenciado | fm. vulcânica de Aljustrel | fm. siliciosa do Paraíso | |
| fm. quartzítica de Gomes | tufos superiores AV2 | jasques | |
| fm. siliciosa da Seixn | tufos inferiores AV1 | calcários | |
| | pirite (chapéu de ferro) | lavas escélficas | |

figura 4.29 Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 3 e mapa de localização das unidades geológicas



legenda substrato Hercínico sub-Culm

- | | | |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| sub-Culm indiferenciado | fm. vulcânica de Ajustrel | fm. siliciosa do Paraíso |
| fm. quartzítica de Gomes | litos superiores AV2 | jasces |
| fm. siliciosa do Sexo | litos inferiores AV1 | dabasos |
| | pirite (chapéu de ferro) | lavas espelíticas |

figura 4.30 Cartografia das coordenadas das amostras no sítio 4 e mapa de localização das unidades geológicas

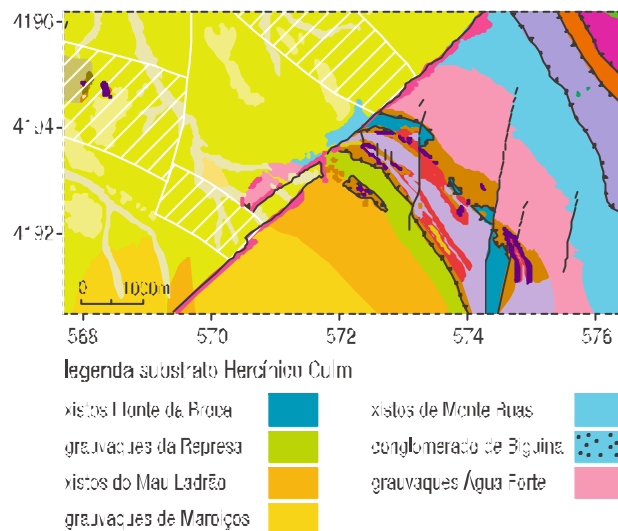
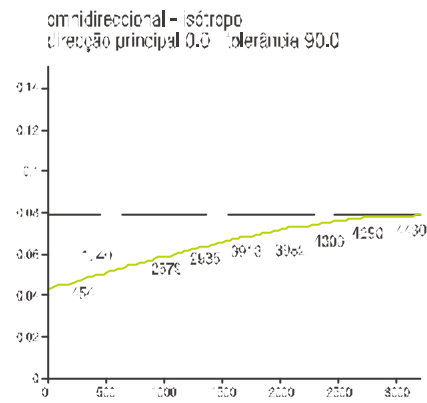
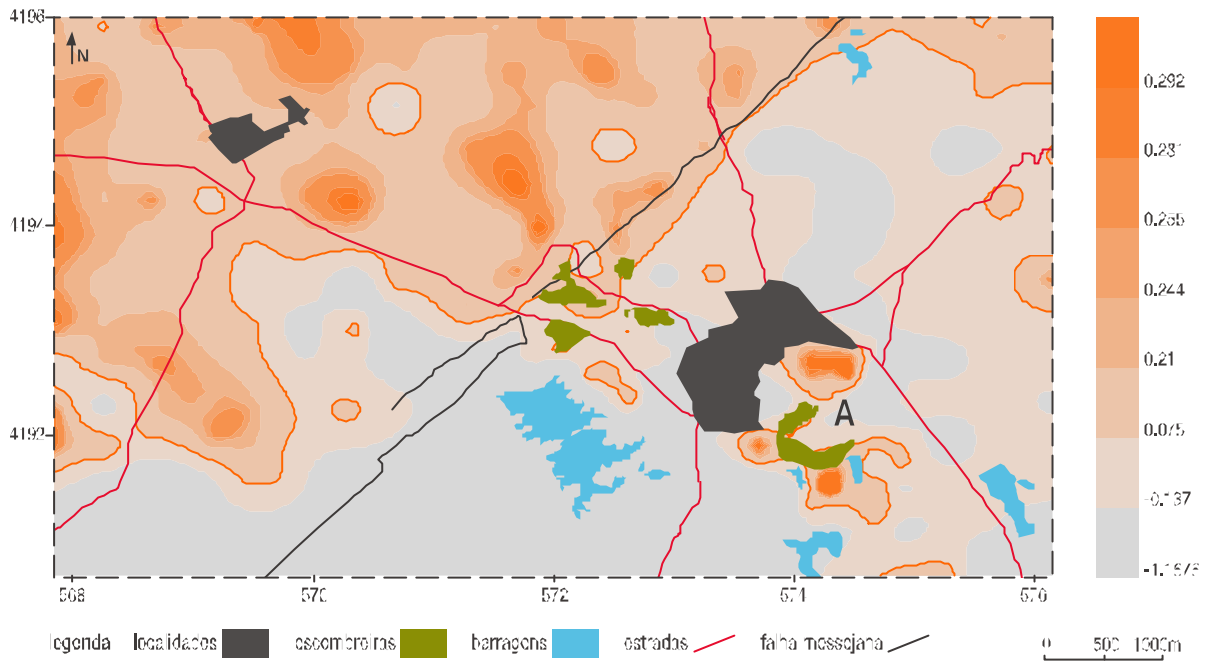


figura 4.31 Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 5 e mapa de localização das unidades geológicas

**5. caracterização geoquímica dos
sedimentos de corrente da zona
envolvente à área mineira de Aljustrel**

5.1. introdução

O Complexo Mineiro de Aljustrel localiza-se na zona de cabeceira de um grupo de sub-bacias hidrográficas, todas afluentes da ribeira do Roxo, que por sua vez é um afluente do rio Sado (figura 5.1). Esta zona é caracterizada por colinas de relevo suave e arredondado, integrando-se na peneplanície Alentejana. Estas ribeiras apresentam um carácter fortemente sazonal (Luis, 2007).

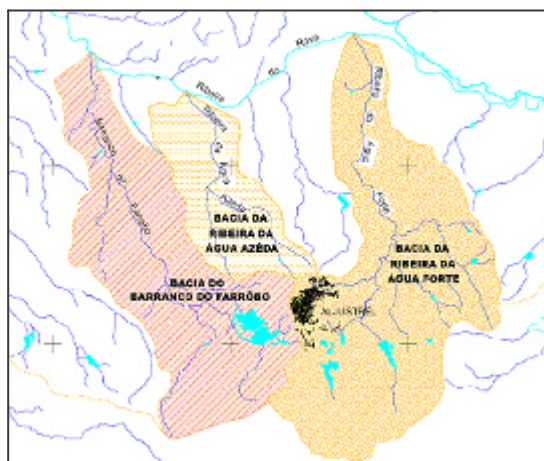


figura 5.1 Bacia hidrográfica da Ribeira do Roxo com diferenciação das sub-bacias (ICAI, 1998; Luis, 2007)

Os aquíferos da base Paleozóica de Aljustrel são do tipo fissural e fortemente controlados por um sistema de fracturas, falhas e trabalhos mineiros subterrâneos. A zona juzante de Aljustrel é dominada pelos sedimentos da Bacia Terciária do Sado, onde ocorrem aquíferos associados a arenitos e conglomerados.

As áreas incluídas e envolventes a estas minas situam-se nas bacias hidrográficas das ribeiras afluentes do Roxo, que de Leste para Oeste são as seguintes (Luis, 2007):

- bacia da ribeira da Água Forte ou Assarias (37.8 Km²);
- bacia do Barranco das Boiças (9.4Km²)
- bacia da ribeira da Água Azeda (12.1Km²)
- bacia do Barranco do Farrôbo (29.3Km²), que inclui as sub-bacias:
 - bacia do Barranco do Morgado (5.5Km²)
 - bacia do Barranco do Gavião (8.1Km²)

Neste trabalho, foram objecto de estudo, a ribeira principal do Roxo e as ribeiras afluentes da Água Forte, da Água Azeda e o Barranco do Farrôbo.

bacia da ribeira do Roxo

A bacia da ribeira do Roxo é um curso de água permanente mas com caudal muito irregular e de carácter torrencial, sendo a principal bacia da zona e constituindo-se como uma das sub-bacias do rio Sado. A sua área de cabeceira, a montante da área de estudo, está regulada pela barragem do Roxo, localizada a cerca de sete quilómetros para montante da confluência da ribeira da Água Forte. Porém, a parte restante deste curso de água recebe contaminação não só da área mineira de Aljustrel como também de várias indústrias transformadoras aí instaladas, principalmente agro-alimentares e pecuárias e dos efluentes dos vários povoados. Fora dos períodos de maior precipitação (final do Outono e Inverno), a contribuição hidrológica dos afluentes da Ribeira do Roxo é praticamente nula (Luis, 2007).

**sub-bacia da
ribeira da
Água Forte
(Assarias)**

A superfície total desta sub-bacia é de 37,8Km² (ICAT, 1998), estando a maior parte desenvolvida sobre terrenos do Carbónico, excepto o troço final, próximo da desembocadura na ribeira do Roxo que corre sobre a cobertura de terrenos pertencentes ao Terciário. Esta ribeira nasce a montante da barragem de Água Industrial, acolhendo as águas de infiltração dessa barragem, e na zona industrial acolhe as descargas da vala de cintura e transbordos da barragem de Água Forte. Recebe ainda outras escorrências superficiais da antiga área industrial, possivelmente da fábrica de explosivos, e as procedentes da ETAR de Aljustrel, além do Barranco do Malhão da Pôpa, onde se situa a barragem de Monte Ruas de uso agropecuário. Conflui na ribeira do Roxo nas proximidades de Chamenica sendo, das três ribeiras estudadas, a que desagua mais a montante na ribeira do Roxo. Finalmente, na zona a jusante, correspondente à parte final do seu percurso, a partir da linha de caminho de ferro deve ser destacada a inexistência de contribuições directas de poluentes de origem mineira. Existe ainda a barragem do Monte Ruas, com funções de abastecimento de águas às actividades agropecuárias dessa herdade, devendo ser destacadas as descargas praticamente não tratadas da ETAR de Aljustrel, realizadas no local denominado por Porto do Malhão de Pôpa. A partir deste local processa-se a mistura das águas ácidas com as residuais urbanas, começando a melhorar a qualidade global destas águas até à sua confluência na ribeira do Roxo. Esta sub-bacia é a que apresenta os maiores problemas hidrológicos e ambientais (Luís, 2007), uma vez que se trata do curso de água afectado pelo grande volume de escórias de Aljares; a água possui um pH extremamente ácido (Água Forte) e uma represa de águas limpas (barragem de Água Industrial).

**sub-bacia da
ribeira da
Água Azeda**

Trata-se de uma sub-bacia com área total de 12,1Km² que nasce junto ao Poço do Moinho. A zona de cabeceira desenvolve-se sobre terrenos do Carbónico, passando a correr sobre a cobertura de terrenos do Terciário, a partir do bairro de S. João e até à sua desembocadura na ribeira do Roxo.

Toda esta zona corresponde também à antiga zona industrial, englobando toda a parte superior da bacia até ao limite Norte do bairro de S. João. Aqui localizam-se a antiga mina a céu aberto de S. João, transformada parcialmente e m aterro camarário, e as antigas escombreiras situadas junto à corta; atravessa as antigas escombreiras que se localizam no bairro de S. João, recebendo os efluentes líquidos domésticos não tratados deste bairro. Apresenta também um conjunto de duas pedreiras (Moinho e S. João) e a corta a céu aberto. apesar de existirem, nesta zona, volumes razoáveis de solos contaminados e de águas ácidas produzidas, estes são substancialmente inferiores aos existentes na bacia da Água Forte.

zona de jusante corresponde a todo o trajecto desta ribeira, desde o limite Norte do bairro de S. João até à confluência na ribeira do Roxo. Nesta zona não se observa a presença de solos contaminados, nem de novos fornecimentos de águas ácidas à ribeira, sendo a actividade económica envolvente, a agricultura extensiva e a criação de gado. As águas ácidas provenientes da zona industrial são diluídas com as águas residuais urbanas provenientes do bairro de S. João, sendo este conjunto diluído, por vezes, com os grandes volumes de águas tratadas na lavaria industrial e descarregadas nesta ribeira, sendo os parâmetros de qualidade desta água muito variáveis e influenciados por estas descargas (Luís, 2007).

**sub-bacia do
Barranco do
Farrôbo**

Trata-se de um curso de água afectado pela nova área mineira de Santo António, onde se encontram as novas instalações de processamento, a represa principal de águas ácidas (Estéreis) e a reserva de águas limpas (Águas Claras).

O rio Sado é o destino final dos efluentes da mina de Aljustrel. Este rio é, também, afectado pelas minas de pirites de Lousal e Caveira. Uma descarga virtual de águas ácidas pode afectar o muito sensível ecossistema do Sado, caracterizado por zonas de pântanos (Reserva Natural do Sado).

Com o objectivo de caracterizar as bacias hidrográficas anteriormente descritas, colheram-se 67 amostras de sedimentos de corrente. A matriz de dados, apresentada no Anexo VI, é composta, no total, por 67 indivíduos e 23 variáveis, correspondentes aos teores Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb. Os restantes elementos não foram considerados pelas razões referidas anteriormente (no caso dos solos) e também para se manter o mesmo conjunto de variáveis de forma a possibilitar a comparação entre os dados dos sedimentos de corrente e dos solos.

Da matriz apresentada a primeira coluna corresponde à identificação atribuída a cada amostra, para a fracção granulométrica < 80mesh. As colunas M e P referem-se às coordenadas das amostras, enquanto que as colunas subsequentes apresentam os teores dos vários elementos.

Os diversos indivíduos encontram-se distribuídos pelas bacia hidrográficas da região, conforme figura 5.2.

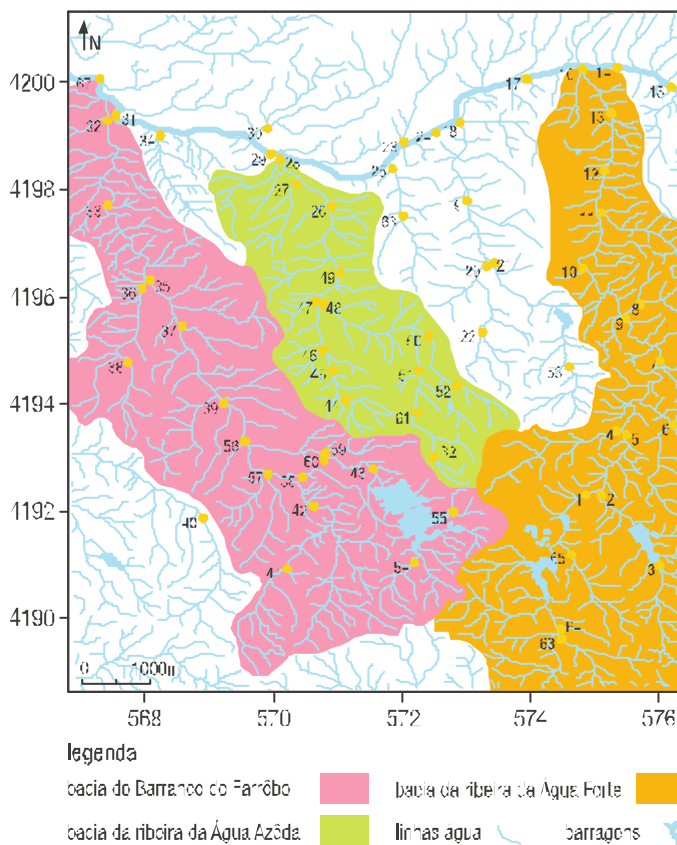


figura 5.2 Representação esquemática da sobreposição da malha de amostragem com as bacias hidrográficas

Da análise da figura anterior verifica-se que os indivíduos amostrados se encontram distribuídos conforme tabela 5.1.

tabela 5.1 Correspondência entre as amostras recolhidas e a sua localização nas respectivas bacias hidrográficas

bacia hidrográfica	identificação dos indivíduos	% do total
bacia do Barranco de Farrôco	31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 64, 67	29,85%
bacia da ribeira da Água Azêda	26, 27, 28, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 60	19,40%
bacia da ribeira da Água Forte	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 63, 64, 66	26,87%
ribeira do Roxo	15, 17, 18, 23, 24, 25, 29, 34	11,94%
amostras não consideradas	19, 20, 21, 22, 53, 66	9,96%

5.2. estatística univariada

A Estatística Descritiva desenvolveu um conjunto de medidas de síntese e de representação gráficas com o intuito de descrever e resumir um conjunto de dados, o que irá permitir encontrar as estruturas anómalas presentes (Sousa, 1999). Nesse sentido foi efetuado, para cada elemento anteriormente referido, um tratamento estatístico univariado, onde se calculou a média, a mediana, o mínimo, o máximo e o desvio, com o auxílio do *software Andad*, desenvolvido pelo Instituto Superior Técnico (IST) (tabela 5.2).

tabela 5.2 Estatística descritiva do conjunto de dados analíticos (67 amostra); todos os elementos são apresentados em ppm

ID	n	média	mediana	mín.	máx.	coef. variação	coef. assimetria	S
Mo	67	1,3	0,7	0,2	8,6	1,3	3,03	0,72
Cu	67	325	16	1,7	2644	1,5	2,60	0,56
Pb	67	251	11	9	1280	2,7	4,54	3,12
Zn	67	449	185	36	3025	1,4	2,41	0,58
Ni	67	28	26	8	58	0,4	0,43	0,12
Co	67	18	16	3	67	0,6	2,28	0,24
Mn	67	976	921	125	2930	0,6	1,06	0,08
Fe	67	68396	36600	17300	380800	1,2	2,63	1,20
As	67	334	21	8	6185	2,7	4,64	3,73
Sr	67	129	112	43	313	0,5	1,04	0,22
Cd	67	0,8	0,3	0,1	5,2	1,3	2,40	0,66
Sb	67	27,7	2,6	1,3	371,8	2,8	3,68	3,86
Bi	67	5	0	0	123	3,5	4,90	5,14
V	67	101	94	35	266	0,4	1,63	0,18
P	67	564	400	130	2770	0,9	3,30	0,59
Cr	67	68	58	20	198	0,5	1,57	0,26
Ba	67	288	282	33	587	0,4	0,07	0,04
Al	67	51948	53800	16800	19000	0,3	-0,23	-0,08
Na	67	9770	7970	3050	28290	0,6	1,77	0,49
K	67	10488	10600	2000	22200	0,4	0,60	-0,02
W	67	1	1	0	4	0,6	3,07	0,49
Sn	67	6	2	1	61	1,9	3,50	1,94
Rb	67	51	47	11	121	0,4	1,04	0,20

Pela análise da tabela 5.2, verifica-se que as variáveis que apresentam coeficientes de variação mais elevados são Bi > Pb, As > Sb > Cu, Sn > Mo, Cd, justificados pela presença de valores extremos (*outliers*). As referidas variáveis apresentam uma distribuição do tipo *lognormal*.

As variáveis referidas anteriormente traduzem na sua globalidade os elementos representativos da mineralização de sulfuretos maciços vulcanogénicos. Todas as variáveis, com excepção de V e Al apresentam distribuições assimétricas positivas (S^+), o que traduz um excesso de valores elevados (*outliers*).

Pretendendo efectuar a caracterização das amostras por bacia hidrográfica efectuou-se o tratamento estatístico tendo em consideração a distribuição espacial das amostras de solos (tabela 5.1) e a sua representatividade (em termos de número de amostras). Para este estudo foram consideradas as bacias hidrográficas do Barranco do Farrôbo, da ribeira da Água Azêda, da ribeira da Água Forte e a ainda da ribeira do Roxo.

Calcularam-se os valores de média, mediana, mínimo e máximo, no conjunto de dados relativos às diferentes bacias, conforme tabelas 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6. Nestas tabelas estão assinalados a cor laranja os valores mais elevados, registados nas quatro bacias, enquanto que a cor azul assinala os valores mais baixos registados nas quatro bacias.

tabela 5.3 Estatística descritiva do conjunto de dados analíticos para a bacia hidrográfica do Barranco do Farrôbo (20 amostras) com as variáveis Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb

	n	média	mediana	mínimo	máximo
Mo	20	0.7	0.5	0.3	2.9
Cu	20	3.9	80	22	1566
Pb	20	92	38	9	763
Zn	20	745	310	97	3025
Ni	20	25	25	15	38
Co	20	18	15	7	56
Mn	20	876	810	317	1572
Fe	20	44930	32300	20300	215300
As	20	426	18	8	6185
Sr	20	162	138	67	313
Cd	20	1.2	0.5	0.1	5.2
Sb	20	25.9	2.5	1.6	314.8
Bi	20	2	0	0	18
V	20	91	93	57	133
P	20	441	400	250	690
Cr	20	49	64	21	79
Ba	20	289	285	123	506
Al	20	53310	53800	27600	79000
Na	20	13406	9620	5810	28290
K	20	9165	9200	4200	11500
W	20	-	-	1	2
Sn	20	3	2	1	31
Rb	20	43	43	21	63

tabela 5.4 Estatística descritiva do conjunto de dados analíticos para a bacia hidrográfica da ribeira da Água Azêca (* 3 amostras) com as variáveis: Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb

ID	n	média	mediana	mínimo	máximo
Mo	13	0,8	0,7	0,2	1,8
Cu	13	209	76	17	1142
Pb	13	41	37	13	90
Zn	13	294	168	36	1005
Ni	13	22	23	8	36
Co	13	18	15	6	67
Mn	13	979	863	430	2050
Fe	13	30992	29800	17300	51200
As	13	27	17	9	72
Sr	13	91	87	43	197
Cd	13	0,5	0,3	0,1	1,6
Sb	13	3,6	2,5	1,7	7,6
Bi	13	0	0	0	1
V	13	88	80	35	202
P	13	372	340	130	1030
Cr	13	49	50	20	71
Ba	13	233	227	87	458
Al	13	40754	39900	16800	71800
Na	13	8220	7820	4470	16740
K	13	7538	6900	2000	19900
W	13	1	1	1	2
Sn	13	3	2	1	13
Rb	13	40	38	11	89

tabela 5.5 – estatística descritiva do conjunto de dados analíticos para a bacia hidrográfica da ribeira da Água Forte (* 8 amostras) com as variáveis: Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb

ID	n	média	mediana	mínimo	máximo
Mo	18	2,3	1,4	0,5	7,1
Cu	18	482	337	28	2644
Pb	18	524	364	23	2627
Zn	18	371	228	87	937
Ni	18	27	29	10	45
Co	18	15	15	3	39
Mn	18	892	863	125	2930
Fe	18	170917	61000	30100	380800
As	18	656	250	9	2490
Sr	18	128	132	53	237
Cd	18	0,6	0,3	0,1	2,6
Sb	18	49,6	22,0	1,7	311,0
Bi	18	14	4	0	123
V	18	100	91	38	266
P	18	327	760	340	2770
Cr	18	71	63	32	198
Ba	18	378	338	33	587
Al	18	54761	61800	28400	17900
Na	18	8608	7100	3050	18370
K	18	13333	13200	6600	27000
W	18	1	1	0	4
Sn	18	12	7	2	61
Rb	18	66	67	43	101

tabela 5.6 Estatística descritiva do conjunto de dados analíticos para a bacia hidrográfica da ribeira do Roxo (16 amostras) com as variáveis Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb

ID	n	média	mediana	mínimo	máximo
Mo	8	0,7	0,7	0,4	1,9
Cu	8	389	134	20	1926
Pb	8	57	46	14	135
Zn	8	592	197	41	2310
Ni	8	38	38	19	58
Co	8	24	25	11	37
Mn	8	1336	1644	548	2463
Fe	8	49225	44400	21600	92400
As	8	67	21	11	188
Sr	8	103	112	78	126
Cd	8	0,9	0,8	0,2	2,5
Sb	8	3,9	2,8	1,6	8,6
Bi	8	1	0	0	2
V	8	142	135	70	198
P	8	431	400	260	600
Cr	8	125	139	40	173
Ba	8	278	276	183	373
Al	8	53788	64700	31500	11200
Na	8	7496	7940	5490	10150
K	8	9375	10300	6600	12600
W	8	1	1	1	1
Sn	8	2	2	1	4
Rb	8	45	47	29	57

Uma análise comparativa dos valores da mediana (tabelas 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6) permite verificar que, nas quatro bacias hidrográficas da área em estudo, os valores mais baixos foram registados para as variáveis Bi, Mo, Cd, W e Sn, distribuídos conforme apresentado na tabela 5.7. No entanto pode-se observar que existe uma variação na ordem de distribuição.

tabela 5.7 Resumo dos valores mais baixos, obtidos pela aplicação da estatística descritiva, para as quatro bacias hidrográficas consideradas, por ordem crescente

Farrôbo		Água Azeda		Água Forte		Roxo	
ID	mediana	ID	mediana	ID	mediana	ID	mediana
Bi	0	Bi	0	Bi	4	Bi	0
Cd	0,5	Cd	0,3	Cd	0,3	Cd	0,3
Mo	0,5	Mo	0,7	Mo	1,4	Mo	0,7
Sn	2	Sn	2	Sn	7	Sn	2
W	1	W	1	W	1	W	1

A tabela 5.8 apresenta os valores de mediana mais elevados obtidos no conjunto de dados das bacias do Barranco do Farrôbo, ribeira da Água Azeda, ribeira de Água Forte e ribeira do Roxo. Os dois valores mais elevados foram registados nos elementos Al e Fe. É possível constatar que as variáveis Na, K, Mn, P, Zn e Ba são também comuns às diferentes bacias em estudo.

De entre os resultados destaca-se ainda a presença de valores extremamente elevados de Cu na ribeira de Água Forte e ribeira do Roxo. Para além destes a ribeira de Água Forte apresenta valores muito elevados de Pb e As, enquanto que a ribeira do Roxo apresenta valores altos de Cr, V e Sr.

Da análise da tabela 5.8 observa-se que os valores mais elevados de Al, Fe, K, P, Pb, Ba, Cu, As e Zn estão associados à bacia da ribeira da Água Forte

labela 5.8 Resumo dos valores mais elevados, obtidos pela aplicação da estatística descritiva, para as quatro bacias hidrográficas consideradas, em ordem decrescente

Farrôbo		Água Azeda		Água Forte		Roxo	
ID	mediana	ID	mediana	ID	mediana	ID	mediana
Al	53800	Al	39900	Al	61800	Al	54100
Fe	32300	Fe	29800	Fe	61000	Fe	44400
Na	3620	Na	7820	K	13200	K	10300
K	3200	K	6900	Na	7100	Na	7940
Mn	810	Mn	863	Mn	863	Mn	1644
P	400	P	340	P	760	P	400
Zn	310	Ba	221	Pb	364	Ba	216
Ba	285	Zn	168	Ba	338	Zr	197
				Cu	331	Cr	139
				As	250	V	135
				Zn	228	Cu	134
						Sr	112

enquanto que os valores mais elevados de Mn, Ba, Cr, V e Sr estão associados à ribeira do Roxo. Os valores mais elevados de Na estão associados ao Barranco do Farrôbo.

5.3. distribuição espacial dos elementos

Com vista à cartografia pontual das concentrações dos elementos químicos nas amostras de sedimentos de corrente consideraram-se como limites de classes os valores correspondentes aos seguintes quartis:

- > [0%, 25%]
- > [25%, 50%]
- > [50%, 75%]
- > [75%, 100%]

As figuras 5.3 a 4.25 apresentam a distribuição espacial das variáveis Al, As, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Rb, Sb, Sn, Sr, V, W e Zn.

A análise conjunta das figuras referidas permite verificar que:

- > o Al apresenta uma clara separação de grandeza dos teores devido à falha da Messejana; da figura 5.3 é possível observar que os teores mais baixos estão associados à Bacia Terciária do Sado enquanto que os mais elevados são registados nos troços das ribeiras que se encontram sob influência de materiais pertencentes ao grupo Culm (xistos do Mau Ladrão e grauvaques de Maroiços) e ao Complexo Vulcano-Silicioso; da análise destaca-se a zona da saída do águas ácidas das barragens do Estórcis e Águas Claras onde os teores são máximos
- > a variável As apresenta teores mais elevados nas zonas sob influência das barragens de Estéreis e Águas Claras, pertencentes à bacia da ribeira de Água Azêda e nos troços onde ocorrem os grauvaques de Água Forte, pertencentes à bacia da ribeira de Água Forte (figura 5.4)
- > da análise da carta de teores (figura 5.5) é visível que toda a área estudada apresenta teores elevados de Ba, destacando-se a barragem de Água Forte, pertencente à bacia da ribeira de Água Forte, e as barragens de Estéreis e Águas Claras; destaca-se ainda uma menor percentagem de teores na Bacia Terciária do Sado
- > o Bi apresenta claramente (figura 5.6) teores mais baixos na ribeira da Água Forte, quando comparado com as restantes ribeiras
- > da análise da figura 5.7 é possível observar que os maiores teores de Cd se localizam em zonas onde se encontram depósitos de pirite, pertencentes à bacia da ribeira da Água Azêda

- › a variável Co apresenta teores mais altos nos sedimentos da bacia da ribeira do Roxo, que corresponde à ocorrência local da formação AV1-tufos inferiores, da formação vulcânica de Aljustrel, e formação siliciosa do Paraíso (figura 5.8)
- › na carta de isoteores do Cr (figura 5.9) existe correspondência entre os teores mais elevados e a ocorrência de areias e cascalheira do planalto, do Plio-Plistocénico
- › a variável Cu apresenta teores mais elevados nos sedimentos colhidos nas bacias das ribeiras de Água Forte e de Água Azeda (perto de barragens de águas ácidas e das escombreiras); é possível, também, observar valores elevados na ribeira do Roxo (figura 5.10)
- › na figura 5.11 verifica-se que os teores mais elevados da variável Fe se localizam na bacia da ribeira de Água Forte, sendo possível associar estes valores à existência de drenagem ácida de mina ao longo de toda a ribeira, até à sua confluência com o rio Roxo
- › os maiores teores de K ocorrem junto das escombreiras, na ribeira de Água Forte; é possível ainda observar, na figura 5.12, uma clara separação de teores registados entre a zona da falha da Messejana e a zona da bacia terciária do Sado
- › a variável Mn apresenta maiores teores na bacia da Ribeira do Roxo (figura 5.13), destacando-se locais onde se encontram pedreiras de manganês
- › a observação da figura 5.14 permite constatar que a área de influência da distribuição espacial de teores da variável Mo está fortemente associada às ribeiras de Água Azeda e de Água Forte, sendo que esta última efectua o transporte em direcção à ribeira do Roxo
- › é na zona dos grauvaques de Maroiços (grupo Culm) que ocorrem maiores teores de Na (figura 5.15), bem como nas zonas de aterro
- › a variável Ni apresenta teores mais elevados nos sedimentos das linhas de água que são iniciadas na área de drenagem do Complexo Vulcano-Silicioso (figura 5.16)
- › o P apresenta maiores teores na bacia da ribeira de Água Forte (figura 5.17), numa área muito influenciada pela ETAR de Aljustrel
- › os maiores teores de Pb foram registados nas ribeiras de Água Azeda e de Água Forte, perto das escombreiras; pela observação da figura 5.18 é possível verificar que as anomalias desta variável são mais circunscritas, devido à sua baixa mobilidade em meio silicatado
- › é notória a distinção da distribuição de teores originada pela diferentes litologias que rodeiam a falha da Messejana (figura 5.19) no que concerne ao elemento Rb; os teores mais elevados localizam-se na zona dos Complexo Vulcano-Silicioso, perto de locais com actividades antrópicas
- › os teores mais altos relativos às variáveis Sb e Sn foram registados nas ribeiras da Água Azeda e Água Forte (figuras 5.20 e 5.21)
- › os maiores teores de Sr ocorrem nos sedimentos da unidade geológica do grupo Culm (grauvaques de Maroiços e xistos do Mau Ladrão) em terrenos do Carbónico, enquanto que os teores mais baixos se localizam em terrenos do Terciário (figura 5.22)
- › a variável V apresenta maiores teores associados aos materiais da bacia da ribeira do Roxo (figura 5.23)
- › os maiores teores de W localizam-se perto dos aterros sanitários da vila de Aljustrel (figura 5.24)
- › pela observação da figura 5.25 os maiores teores da variável Zn localizam-se em zonas com actividade mineira

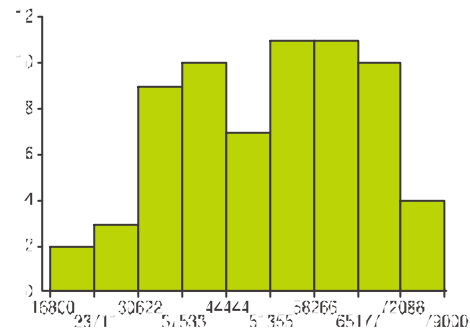
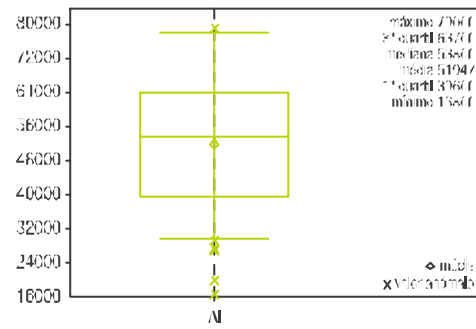
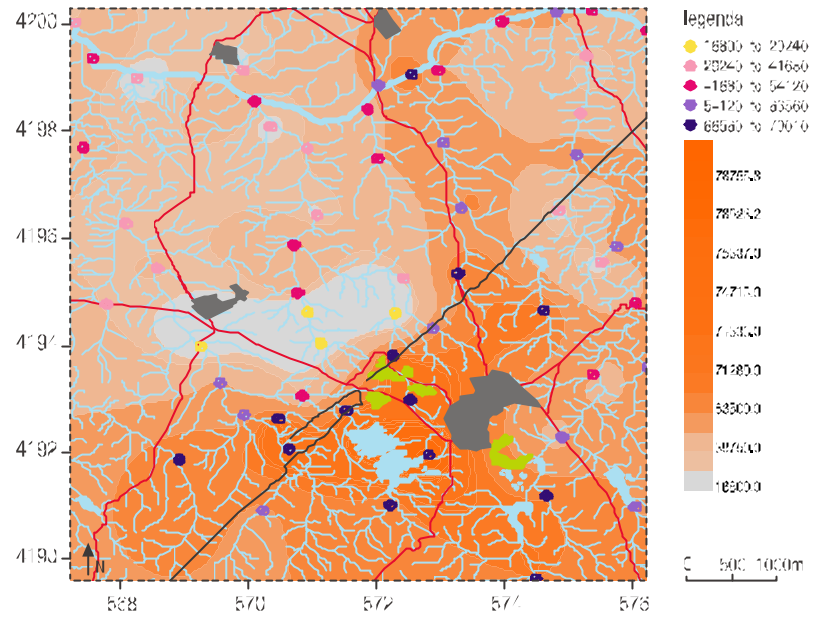


figura 5.3 Cartografia dos teores, *boxplot* e histograma da variável A [ppm]

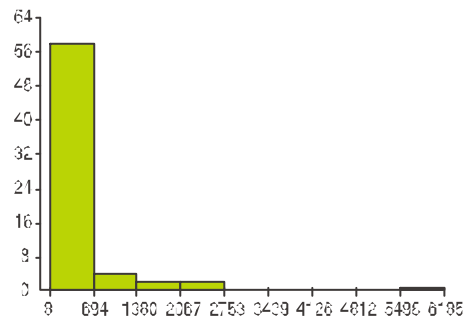
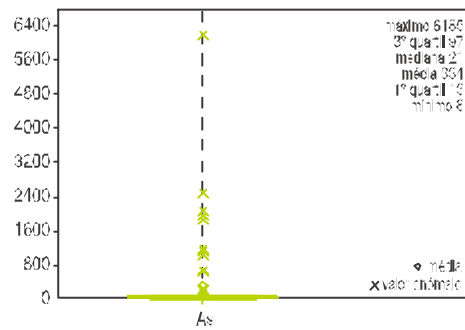
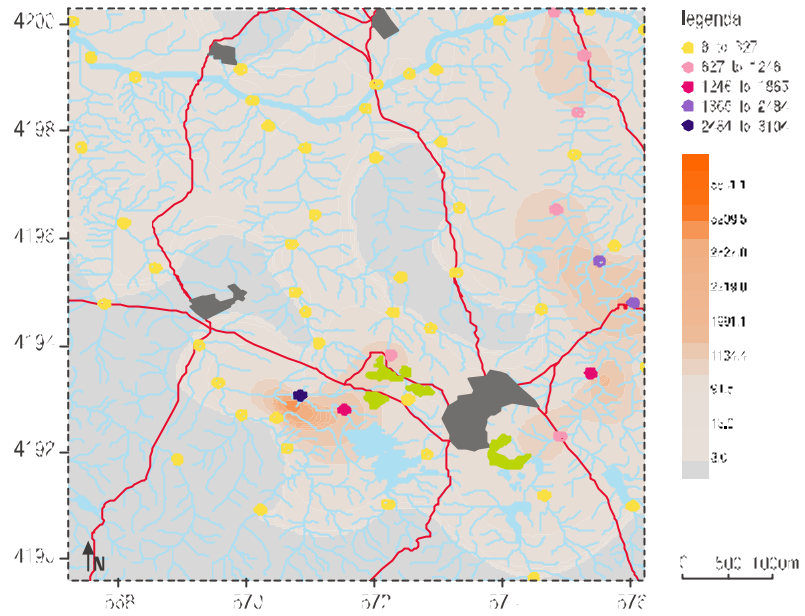


figura 5.4 Cartografia dos leores, *bloxplot* e histograma da variável As [ppm]

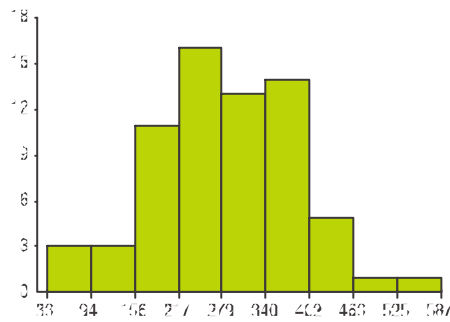
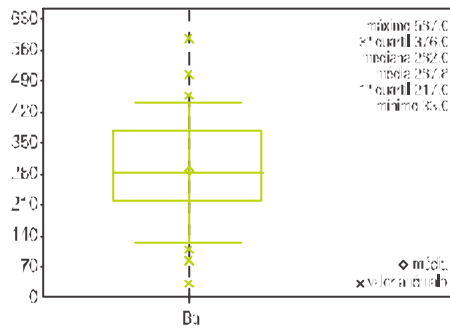
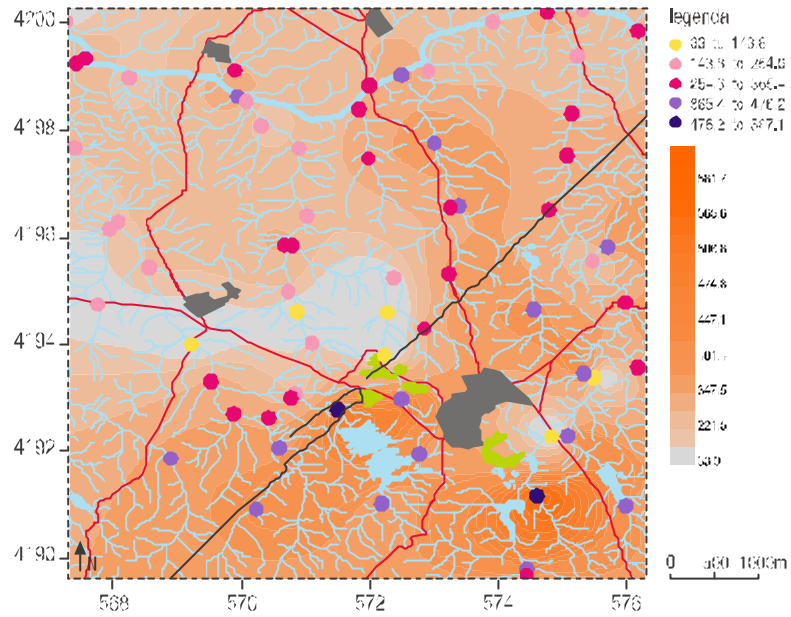


figura 5.5 Cartografia dos teores, *Boxplot* e histograma da variável Ba [ppm]

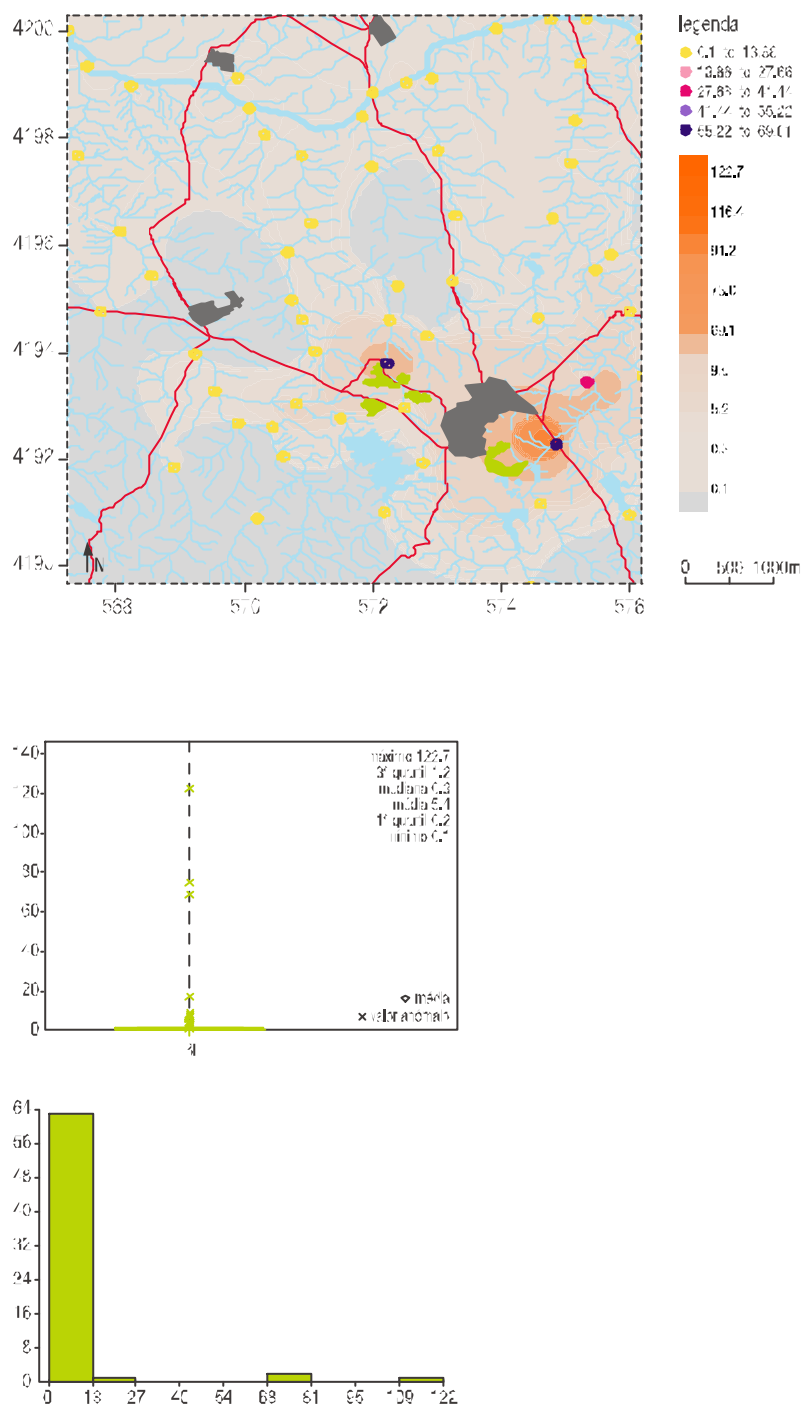


figura 5.6 Cartografia dos teores, *boxplot* e histograma da variável Bi [ppm]

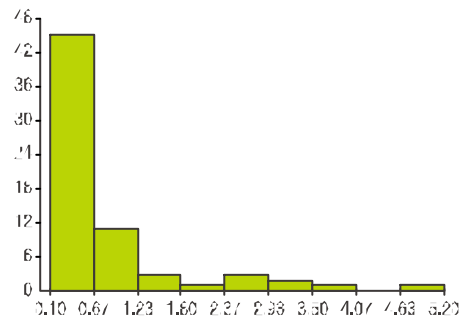
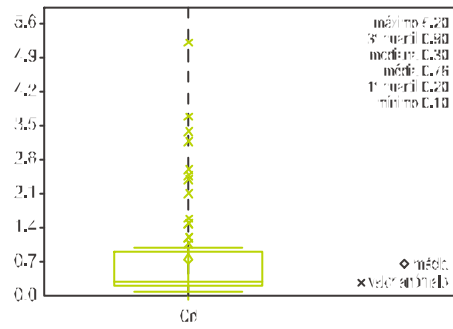
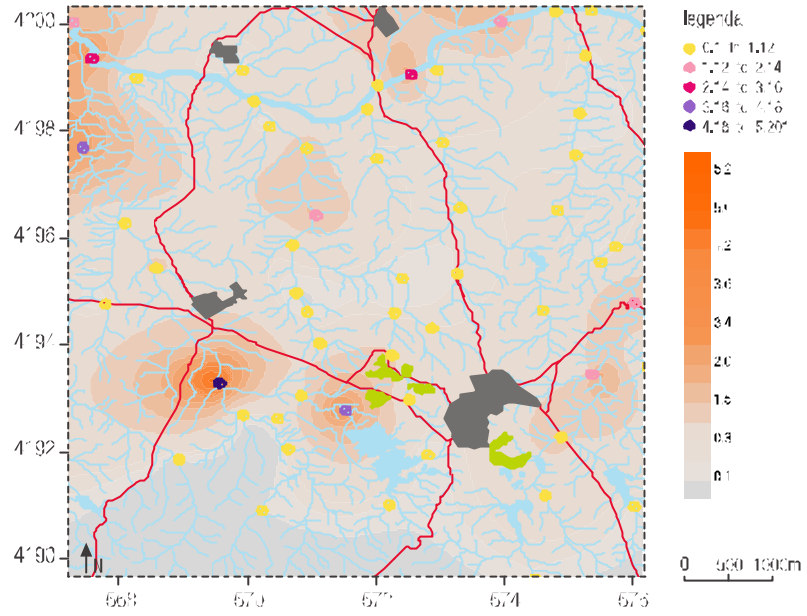


figura 5.7 Cartografia dos teores, *boxplot* e histograma da variável Cr [ppm]

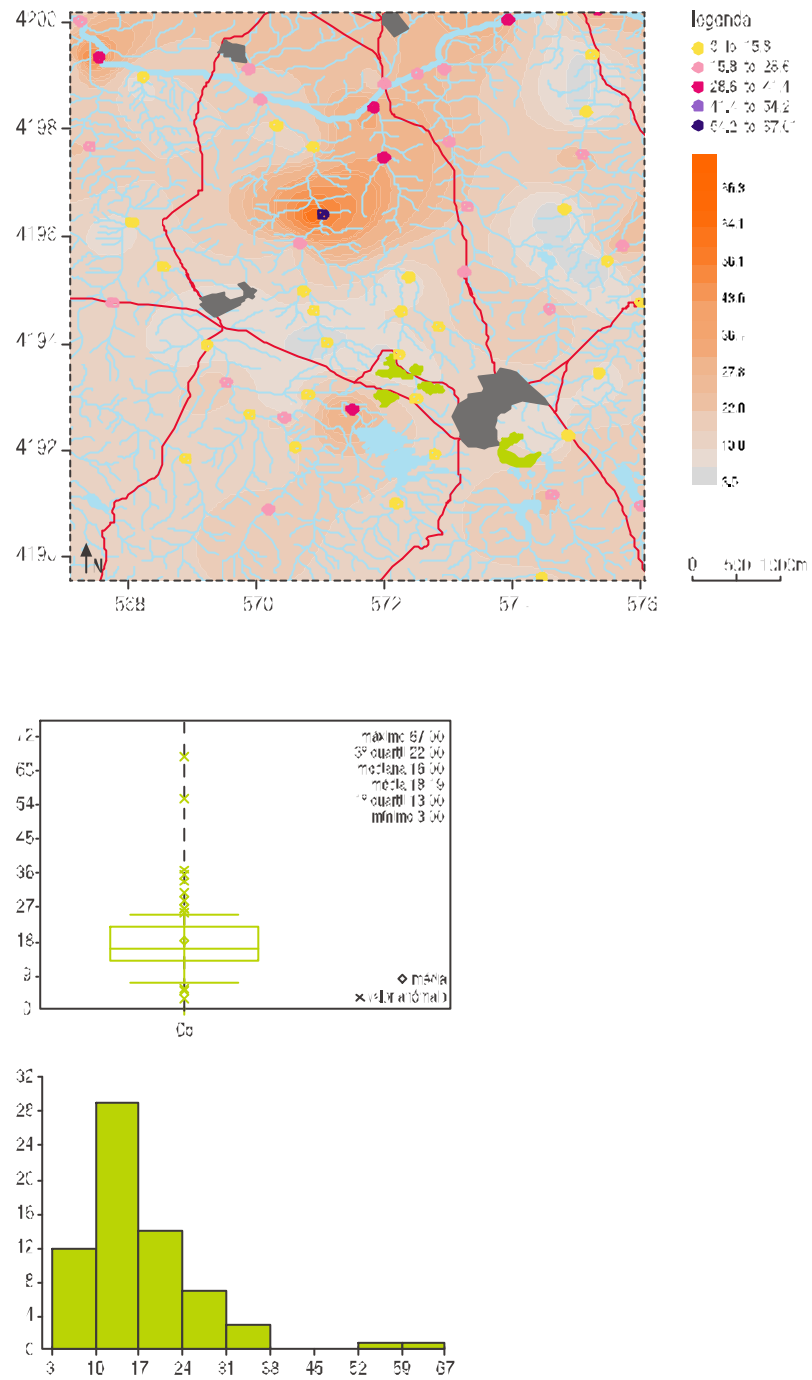


figura 5.8 Cartografia dos teores, *boxplot* e histograma da variável Co [ppm]

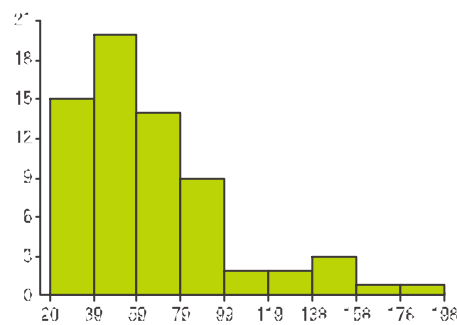
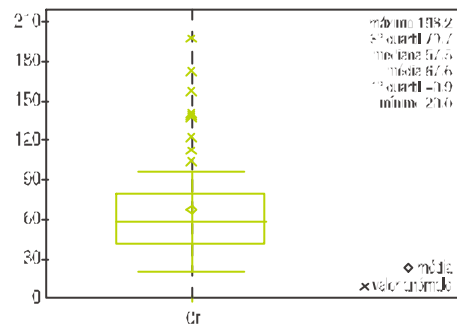
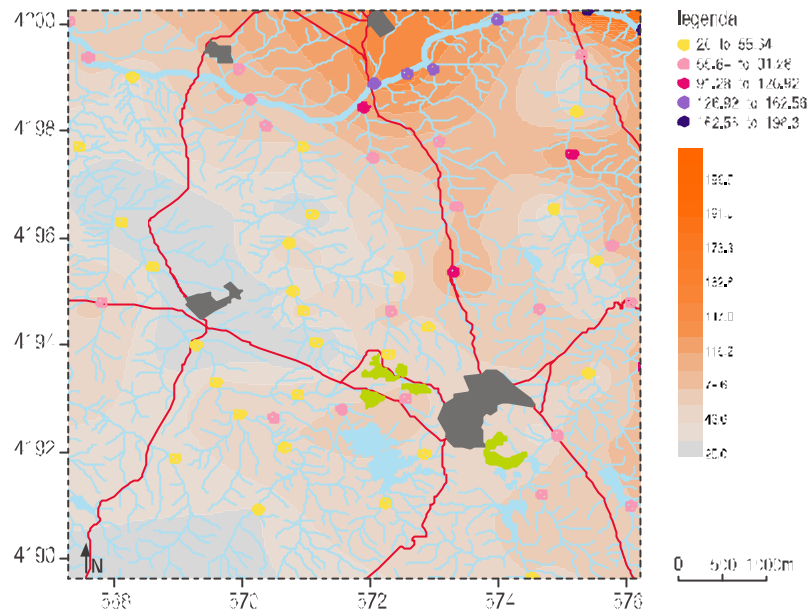


figura 5.9 Cartografia dos teores, *boxplot* e histograma da variável Cr [ppm]

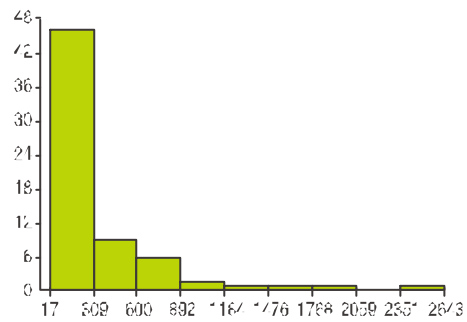
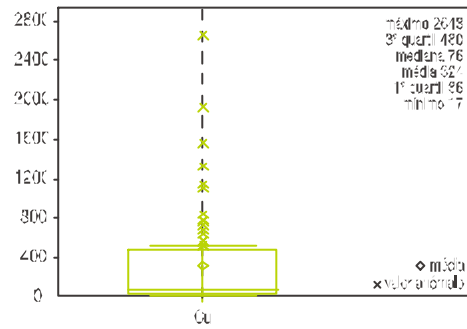
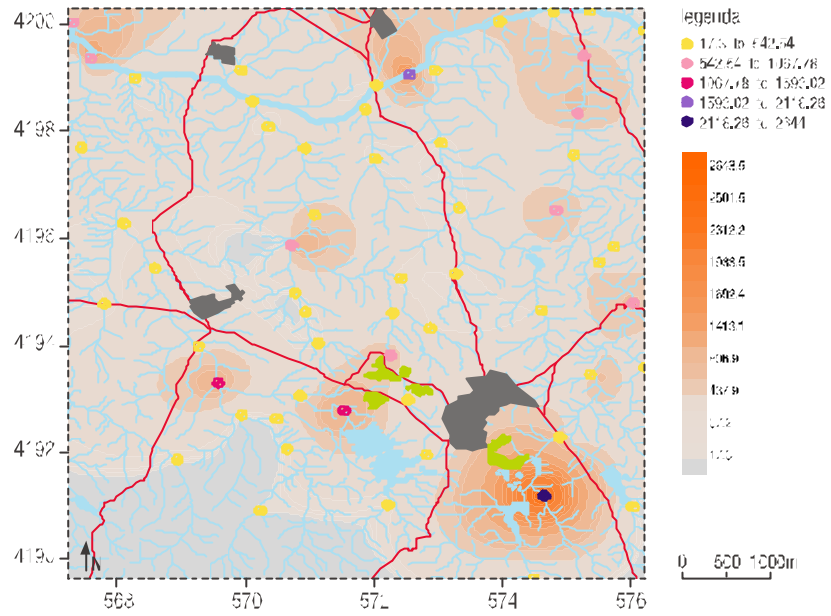


figura 5.10 Cartografia dos teores, *boxplot* e histograma da variável Cu [ppm]

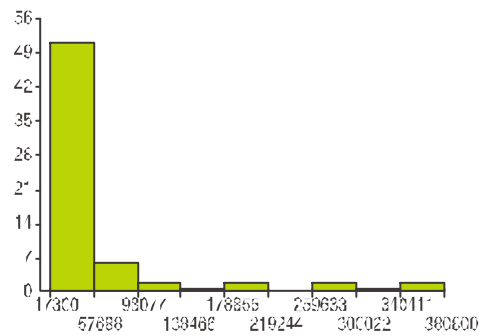
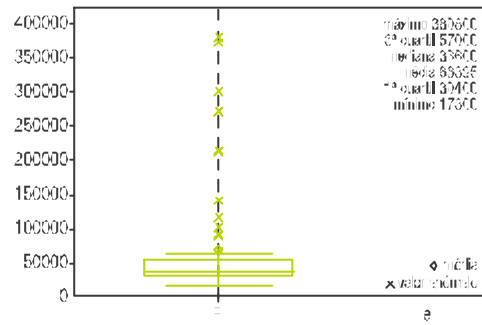
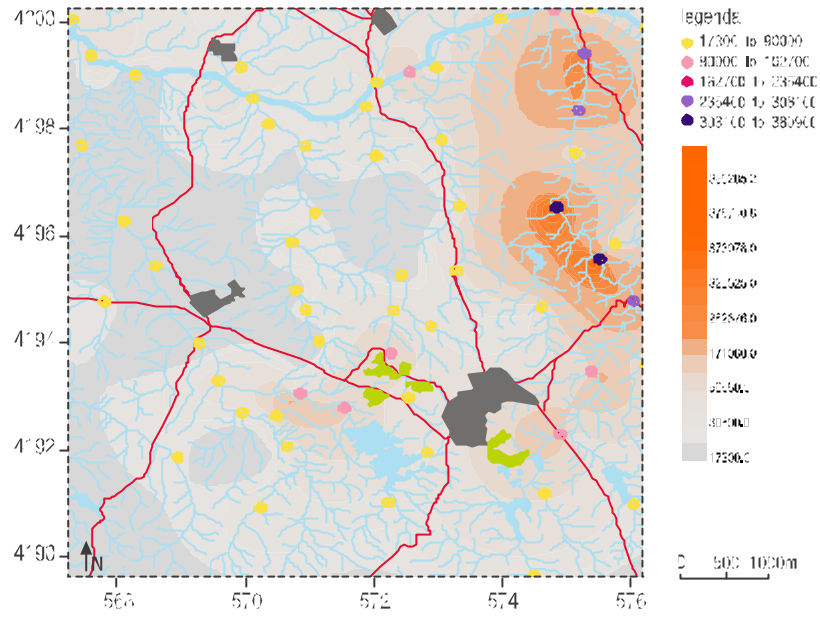


figura 5.11 Cartografia dos teores, *blc/plc* e histograma da variável Fe [ppm]

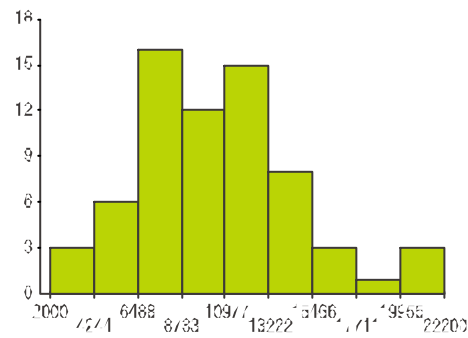
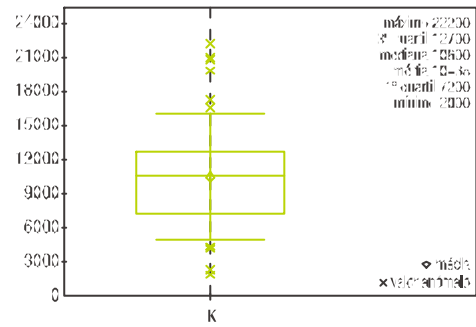
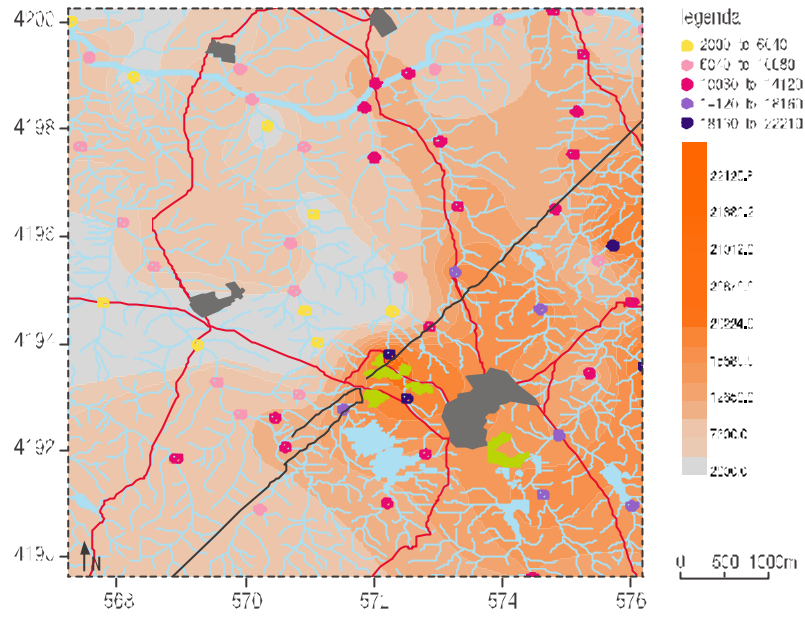


figura 5.12 Cartografia dos teores, *boxplot* e histograma da variável K (ppm)

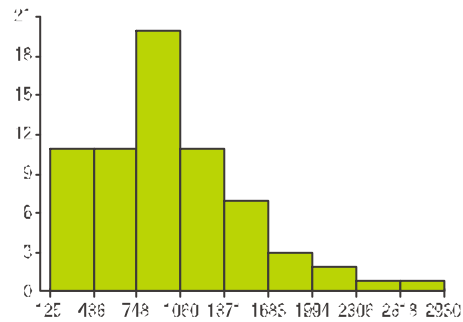
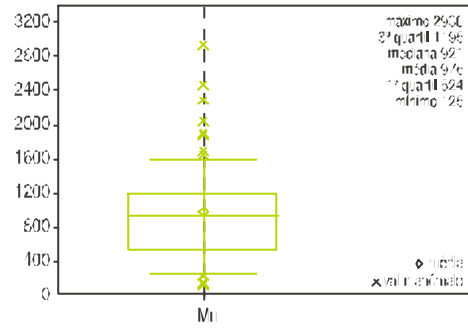
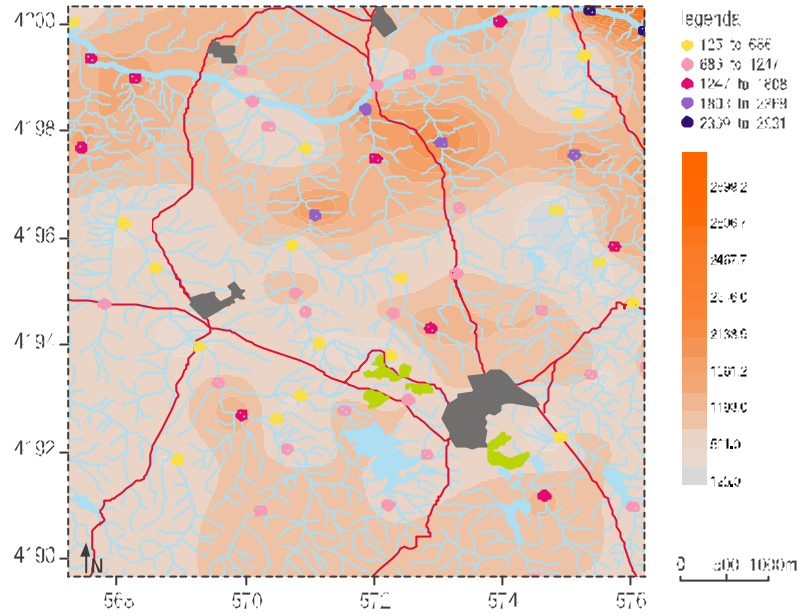


figura 5.13 Cartografia dos teores, *blcxplct* e histograma da variável Mn [ppm]

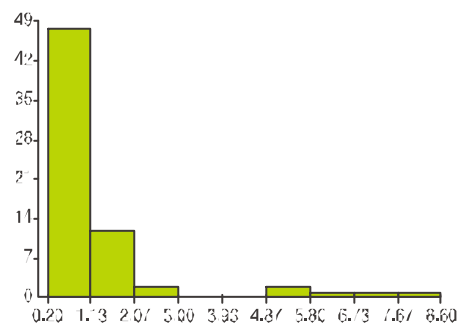
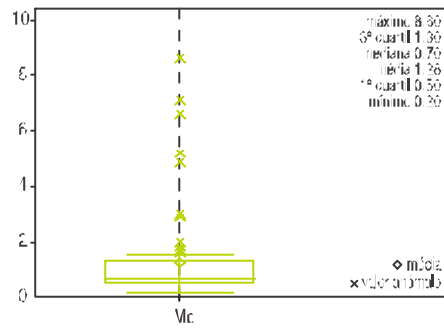
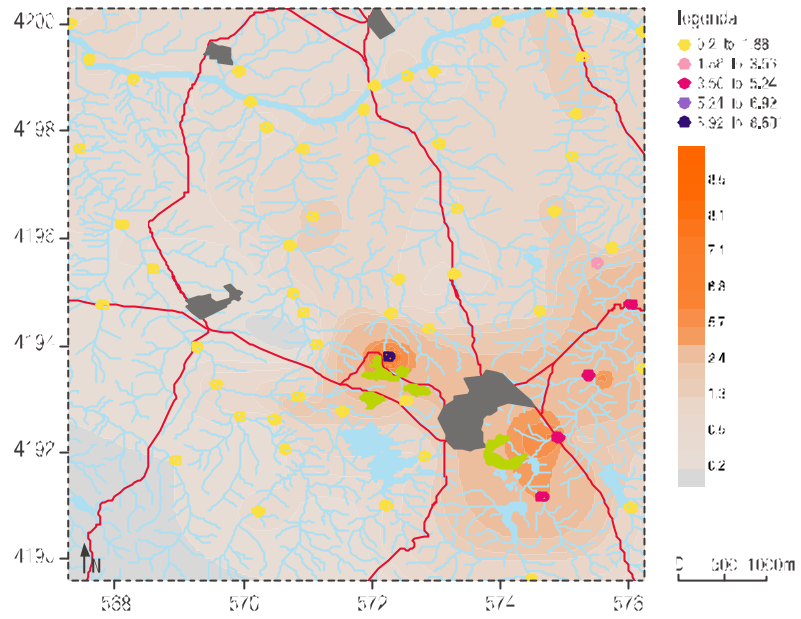


figura 5.14 Cartografia dos teores, *boxplot* e histograma da variável Mo [ppm]

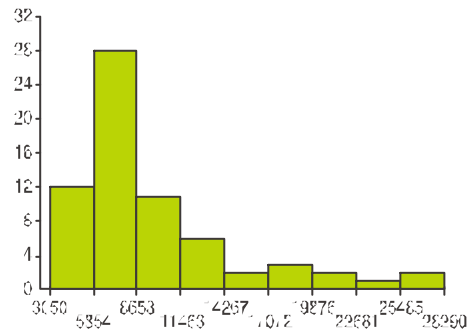
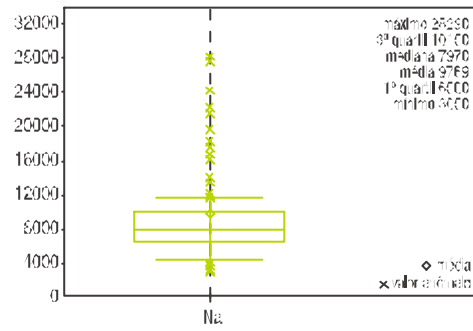
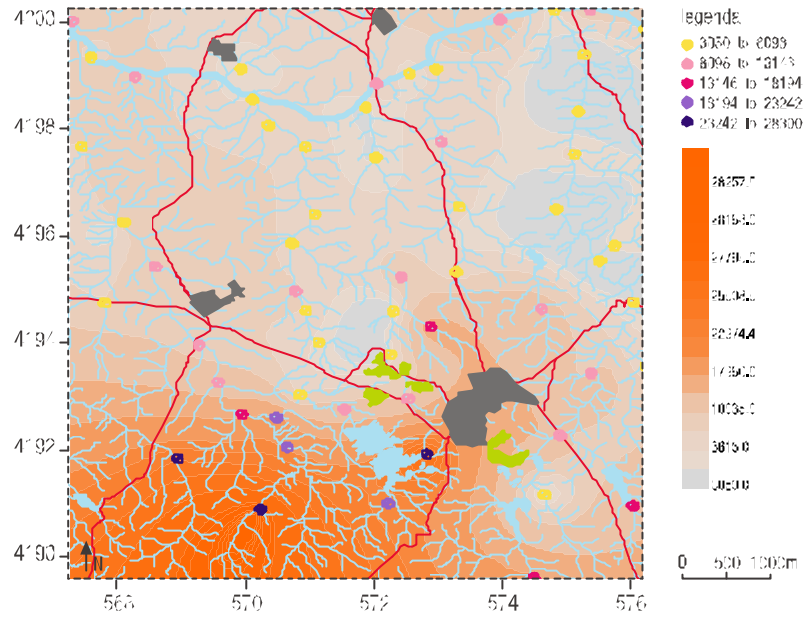


figura 5.15 Cartografia dos teores, *boxplot* e histograma da variável Na (ppm)

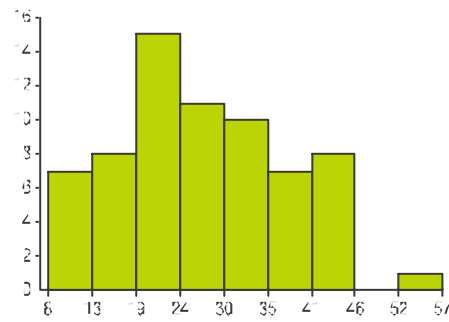
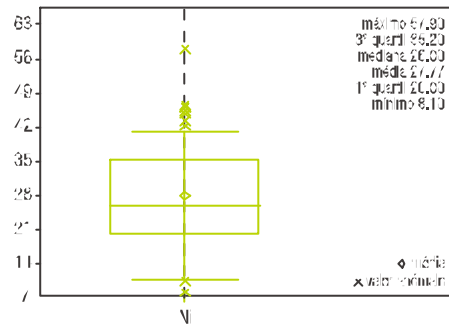
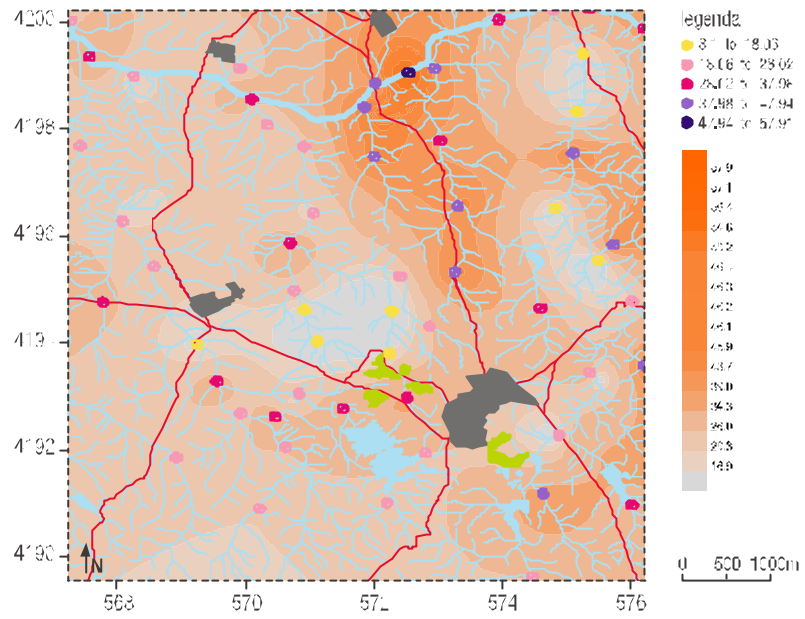


figura 5.16 Cartografia dos topos, *bleplot* e histograma da variável Ni [pom]

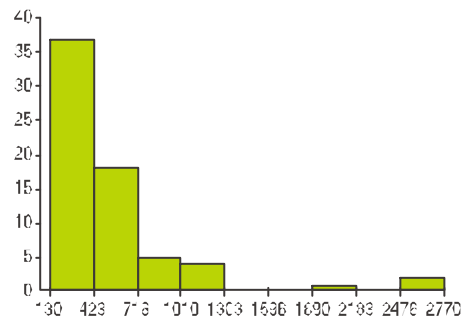
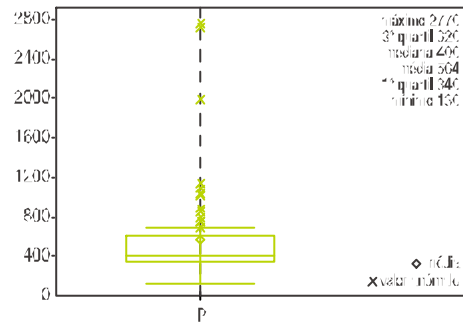
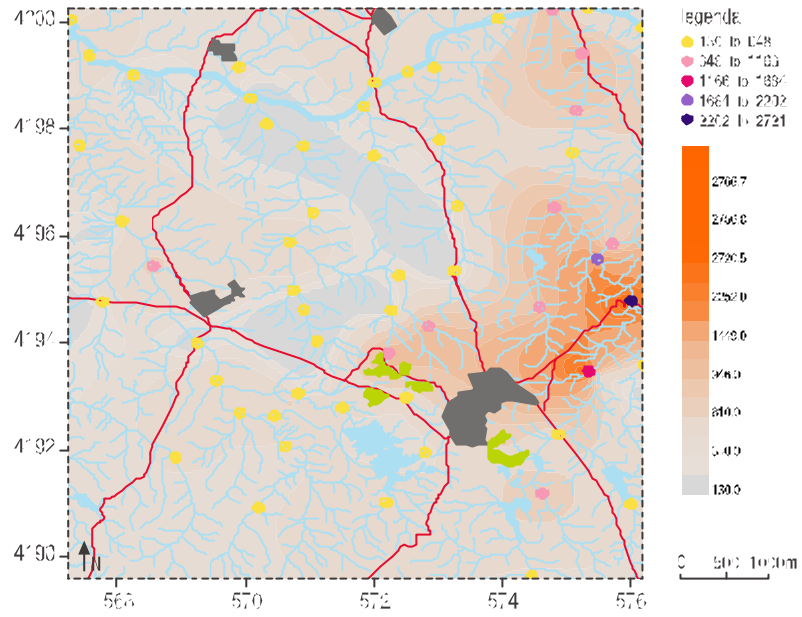


figura 5.17 Cartografia dos teores, *blcplc* e histograma da variável P [ppm]

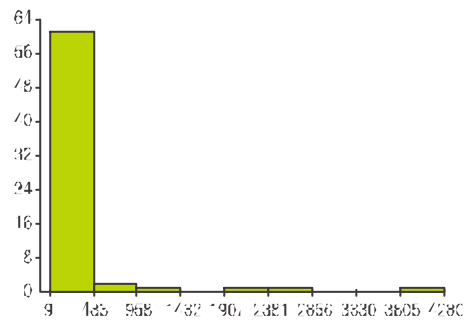
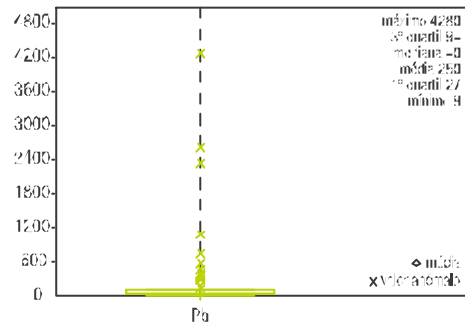
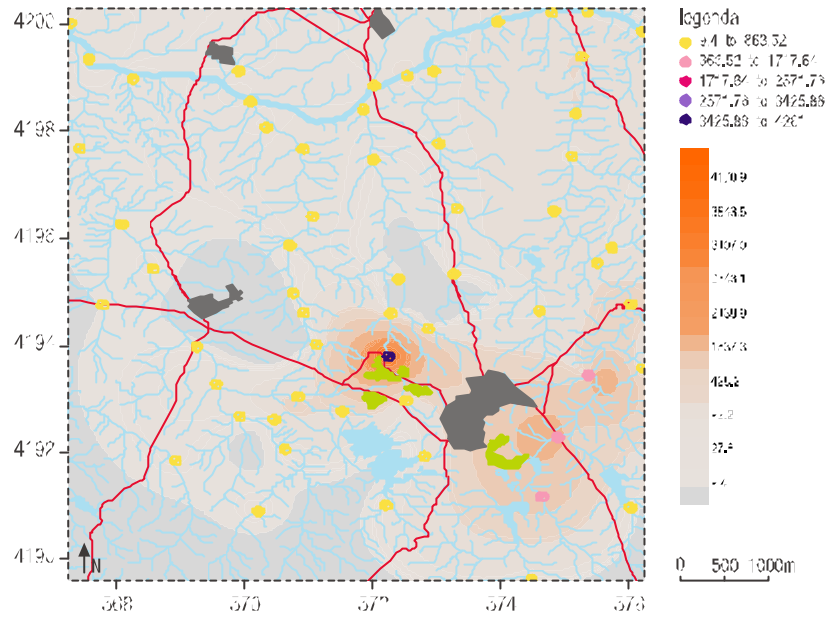


figura 5.18 Cartografia dos topos, *bleplot* e histograma da variável Pa [ppm]

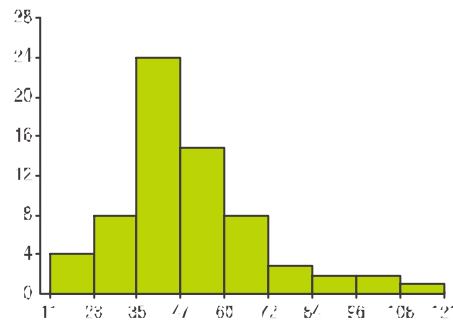
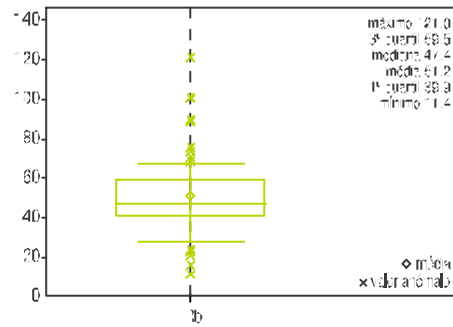
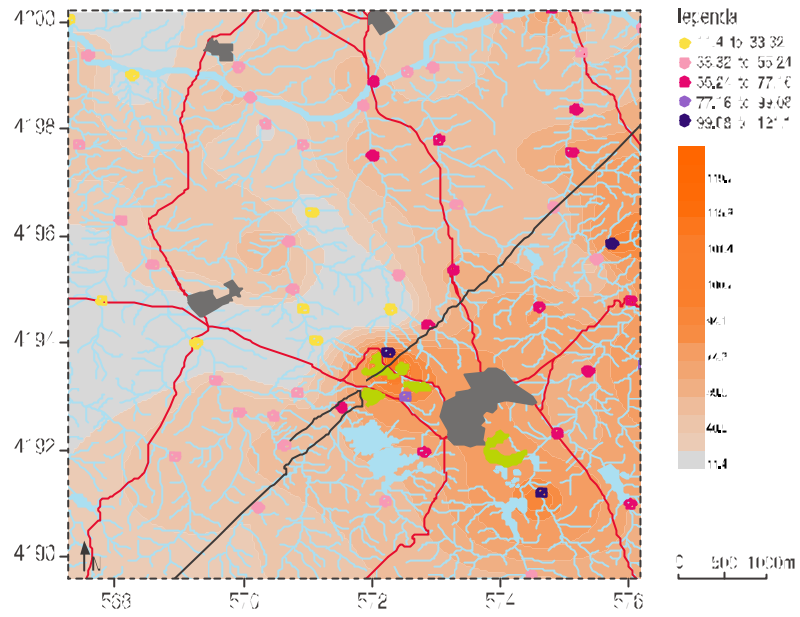


figura 5.19 Cartografia dos teores, *boxplot* e histograma da variável Pb (ppm)

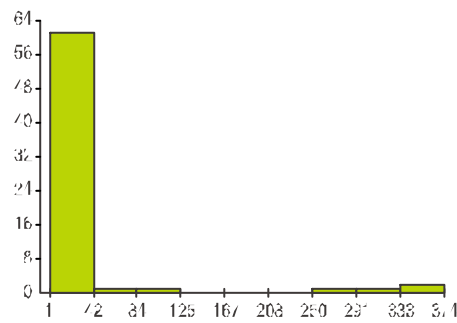
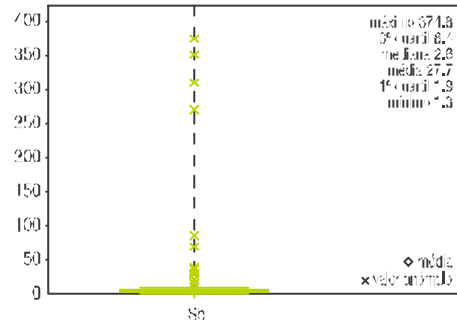
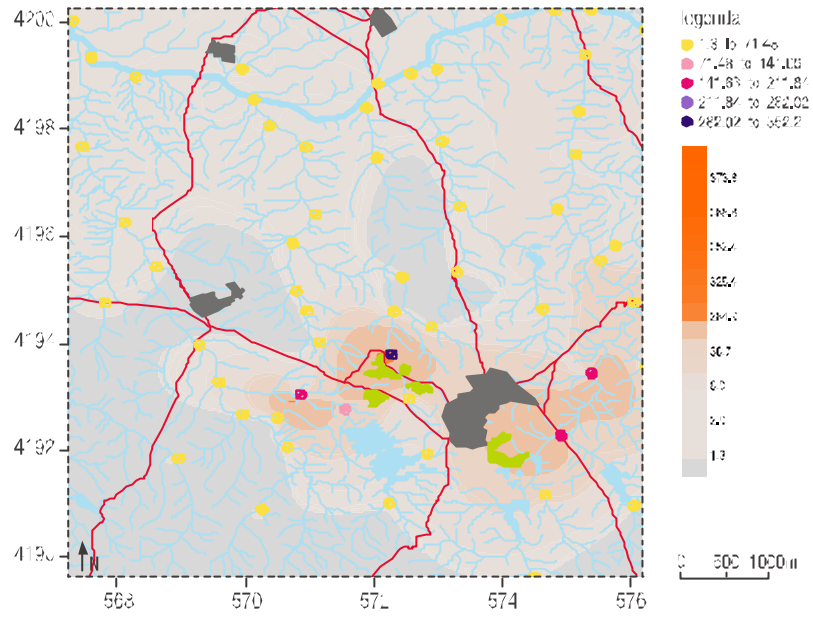


figura 5.20 Cartografia dos pontos, *boxplot* e histograma da variável S₀ [ppm]

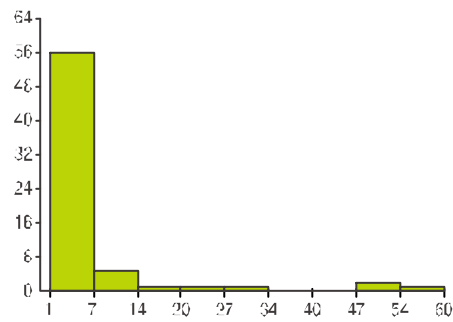
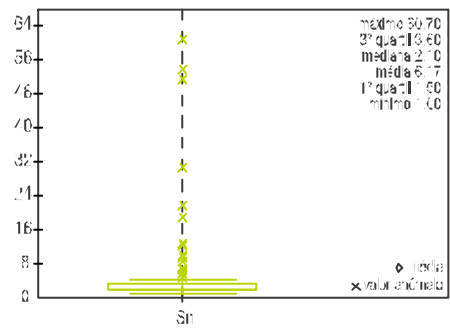
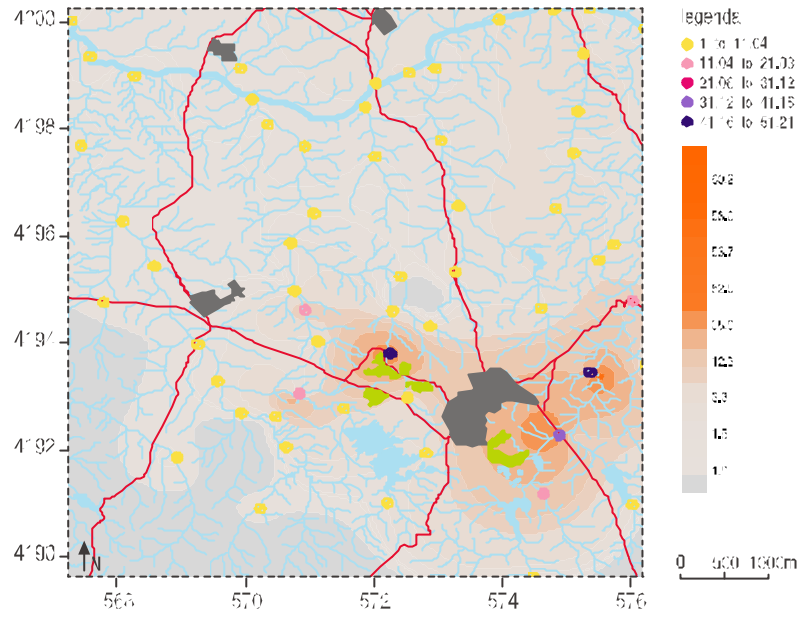


figura 5.21 Cartografia dos teores, *boxplot* e histograma da variável Sn [ppm]

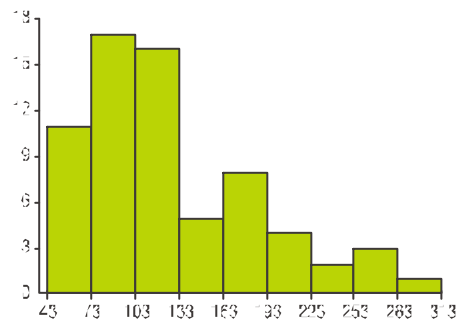
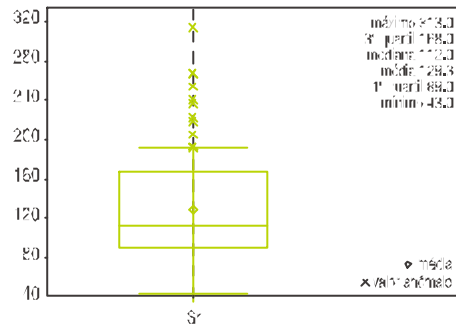
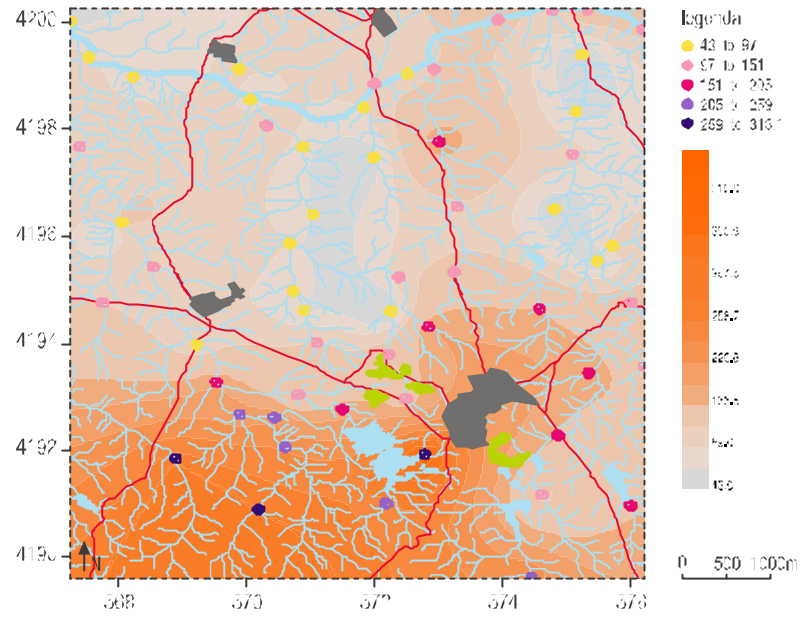


figura 5.22 Cartografia dos teores, *boxplot* e histograma da variável Sr [ppm]

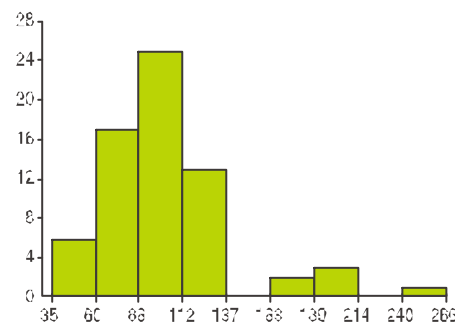
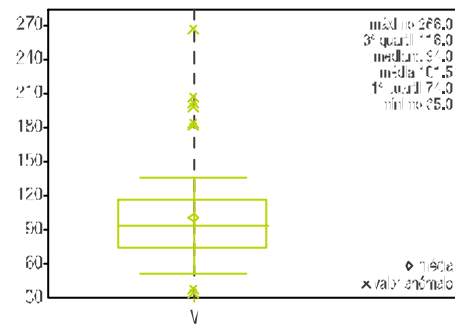
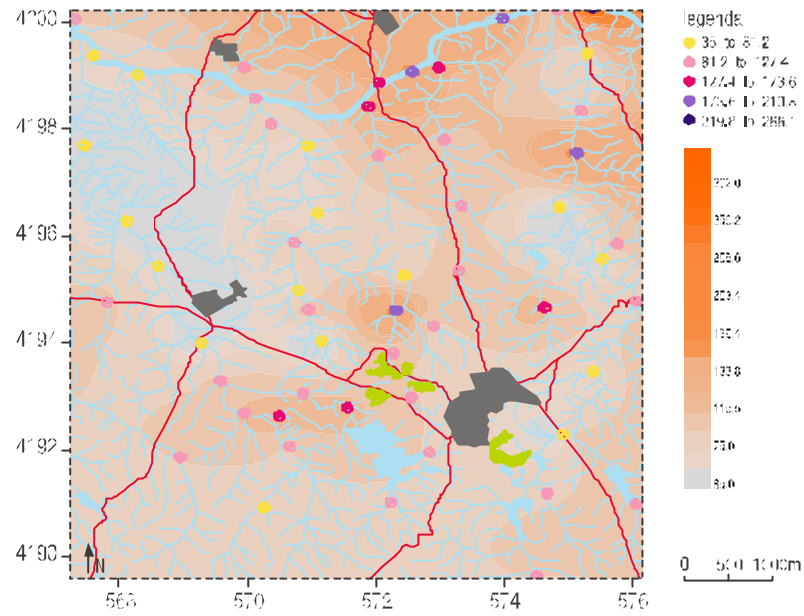


figura 5.23 Cartografia dos teores, *boxplot* e histograma da variável V [ppm]

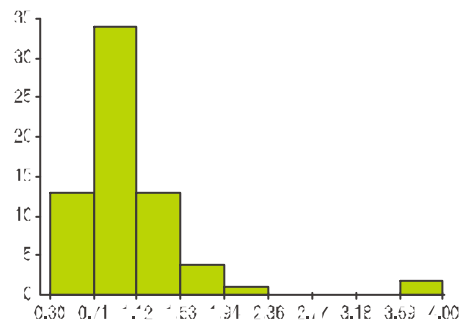
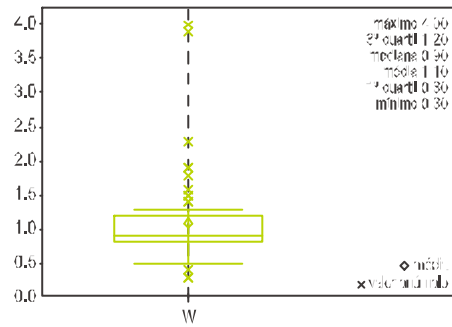
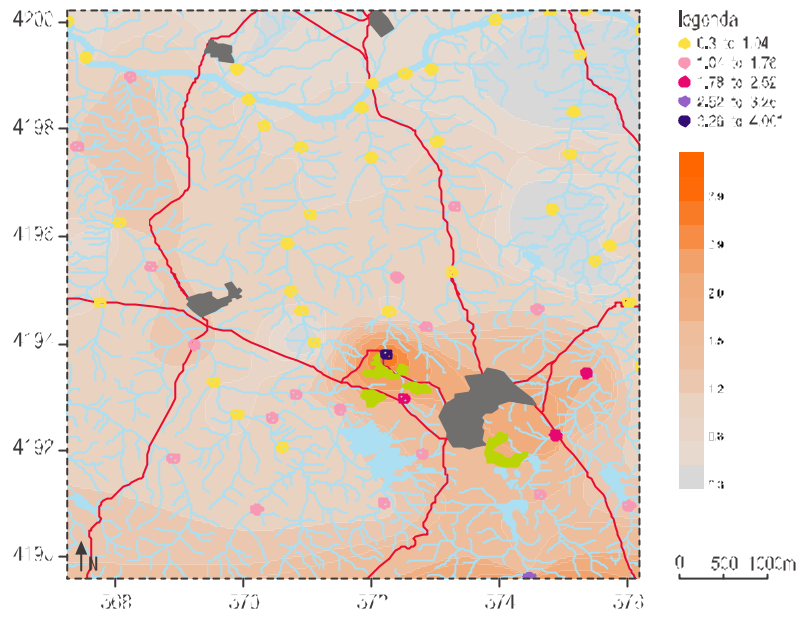


figura 5.24 Cartografia dos teores, *boxplot* e histograma da variável W [ppm]

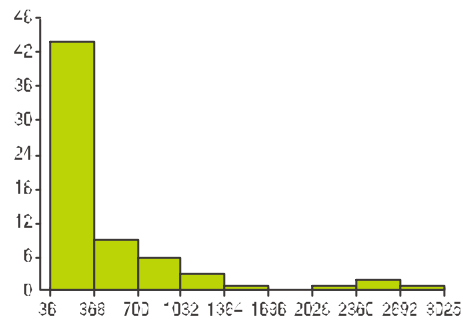
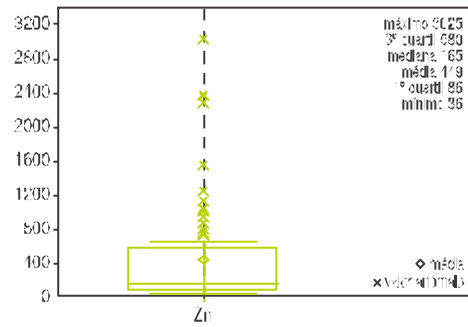
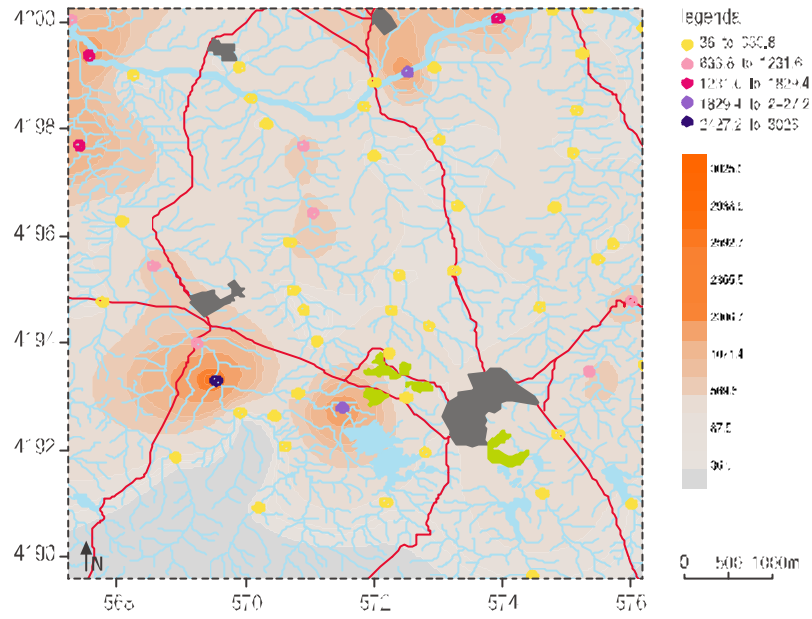


figura 5.25 Cartografia dos teores, *boxplot* e histograma da variável Zn [$\mu\text{g/g}$]

Desta forma se pode avaliar que as zonas com maiores teores de metais são coincidentes com as áreas mineiras e que os restantes elementos são coincidentes com a geologia da zona estudada.

5.4. estatística bivariada

Neste item estudou-se a análise do comportamento entre pares de elementos através do cálculo da matriz de correlação para um nível de significância de 95%, sendo apresentados os valores de coeficiente de correlação superiores a 0.5 ou inferiores a -0.5 em quadro (tabelas apresentadas no Anexo VII).

Por uma questão de simplificar a análise dos resultados são apresentados e discutidos os pares de elementos cujo coeficiente de correlação é superior a 0.8 (tabelas 5.10, 5.11, 5.12 e 5.13).

A tabela 5.9 apresenta os pares de elementos cujos coeficientes de correlação são superiores a 0.8, tendo em consideração a globalidade dos dados.

tabela 5.9 Resumo da matriz de correlação tendo em consideração a globalidade dos resultados (n=67)

	Mo	Pb	Zn	Sr	Sb	Bi	P	K
Pb	0.922							
Cd			0.948					
Sb	0.815	0.856						
Bi	0.834	0.863			0.810			
Cr							0.821	
Na				0.904				
Sn	0.914	0.915			0.910	0.908		
Rb								0.939

Da análise da tabela 5.9 observa-se que os valores de correlação superiores a 0.8 foram registados, por ordem decrescente, entre os seguintes pares de elementos Zn/Cd (0.948), K/Rb (0.939), Mo/Pb (0.922), Pb/Sn (0.915), Mo/Sn (0.914), Sb/Sn (0.910), Bi/Sn (0.908), Sr/Na (0.904), Pb/Sb (0.863), Pb/Sb (0.856), Mo/Bi (0.834), P/Cr (0.821), Mo/Sb (0.815) e Sb/Bi (0.810).

Repare-se que a maioria dos pares, com excepção do K/Rb, Sr/Na e do P/Cr reflectem a presença de uma forte componente antrópica nas ribeiras estudadas, já que os elementos associados a esses pares estão presentes na paragénese dos sulfuretos maciços (tabelas 2.2 e 2.3). Os pares K/Rb, P/Cr e Sr/Na reflectem o contexto geológico local.

A tabela 5.10 apresenta os pares de elementos cujos coeficientes de correlação são superiores a 0.8, tendo em consideração os dados referentes aos sedimentos de corrente do Barranco do Farrôbo.

Pela análise da tabela 5.10 observa-se uma maior correlação, por ordem decrescente, entre os elementos As/Sb (0.998), As/Sn (0.998), Sb/Sn (0.997), As/Bi (0.995), Pb/Bi (0.993), Bi/Sn (0.992), Pb/Fe (0.987), Fe/Bi (0.986), Sb/Bi (0.986), Zn/Cd (0.983), Fe/Sn (0.981), Fe/As (0.979), Pb/As (0.978), Pb/Sn (0.976), Mo/Fe (0.974), Fe/Sb (0.971), Mo/Pb (0.965), K/Rb (0.964), Pb/Sb (0.964), Mo/Bi (0.959), Mo/Sn (0.945), Mo/As (0.941), Mo/Sb (0.929), Al/K (0.903), Ba/K (0.902), Ba/Al (0.901), Cu/Zn (0.898), Sr/Al (0.881), Ba/Rb (0.857), Al/Rb (0.840), Cu/Cd (0.837) e Cu/Co (0.801).

À semelhança dos resultados obtidos na tabela 5.9 constata-se que os pares de elementos reflectem, uma vez mais, a influência da actividade mineira nesta ribeira. Nesta bacia destaca-se a importância das variáveis Fe, As, Mo, Sb, Bi, Cu e Pb. Os pares K/Rb, Al/K, Ba/K, Ba/Al, Sr/Al, Ba/Rb e Al/Rb

tabela 5.10 Resumo da matriz de correlação para o Barranco do Farrôbo (n=20)

	Mo	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Sr	Sb	Bi	Ba	Al	K
Pb	0.965											
Zn		0.893										
Co		0.801										
Fe	0.974		0.987									
As	0.941		0.978		0.979							
Cd		0.837		0.988								
Sb	0.929		0.964		0.971	0.998						
Bi	0.959		0.993		0.986	0.995		0.986				
Al							0.887			0.907		
Na							0.938					
K										0.902	0.903	
Sn	0.945		0.976		0.981	0.998		0.997	0.992			
Rb										0.857	0.840	0.967

reflectem o contexto geológico onde se insere o Barranco do Farrôbo. Refira-se que esta ribeira está inserida, na sua maioria, na formação da Bacia Terciária do Sado (sedimentos indiferenciados) e na formação do Mau Ladrão (xistos e conglomerados).

A tabela 5.11 apresenta os pares de elementos cujo coeficiente de correlação é superior a 0,8, tendo em consideração os dados referentes aos sedimentos de corrente da ribeira da Água Azeda.

Pela análise da tabela 5.11 observa-se uma maior correlação, por ordem decrescente, entre os elementos W/Rb (0.986), Ba/K (0.974), Al/Rb (0.970), Na/Rb (0.944), Pb/Sb (0.942), Al/Ba (0.940), AISb/Bi (0.930), Al/K (0.926), Fe/V (0.919), Ni/Al (0.916), Zn/As (0.901), Ni/Rb (0.895), Mo/Sb (0.872), Ni/Ba (0.871), Cu/As (0.871), K/V (0.870), Cu/Zn (0.869), Mp/Bi (0.850), Pb/Bi (0.849), Sr/Na (0.848), Sn/Rb (0.845), Ni/K (0.833), P/Na (0.832), Mo/Pb (0.810), Al/V (0.808) e As/Sb (0.807).

Ao contrário dos dados do Barranco do Farrôbo verifica-se que a grande maioria dos pares de variáveis representam associações nitidamente ligadas ao contexto geológico local (dominado pelos terrenos de cobertura do Terciário).

tabela 5.11 Resumo da matriz de correlação para a ribeira da Água Azeda (n=13)

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Fe	As	Sr	Sb	P	Ba	Al	Na	K	W	Sr
Pb	0.810															
Zn		0.869														
As		0.871		0.901												
Sb	0.872		0.942				0.807									
Bi	0.850		0.849						0.930							
V						0.919										
Ba					0.871											
Al					0.916						0.940					
Na								0.848		0.832						
K					0.833						0.974	0.926				
W												0.808		0.970		
Rb					0.895								0.974	0.977	0.986	0.845

Neste caso, em particular, destacam-se as variáveis Ni, Al, K e Rb que são responsáveis pela maioria dos pares. A acção antrópica é definida pelos pares Pb/Sb, Zn/As, Mo/Sb, Cu/As, Cu/Zn, Pb/Bi, Mo/Pb e As/Pb. Relembre-se que

a ribeira da Água Azeda atravessa as antigas escombreiras que se localizam no bairro de S. João e que recebe um forte impacto de drenagem ácida de mina.

A tabela 5.12 apresenta os pares de elementos cujo coeficiente de correlação é superior a 0,8, tendo em consideração os dados referentes aos sedimentos de corrente da ribeira da Água Forte.

tabela 5.12 Resumo da matriz de correlação para a ribeira da Água Forte (n=18)

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	Sr	Cd	Sb	Bi	Na	K
Pb	0.909												
Zn	0.827												
Co				0.874									
Mn					0.919								
Cd	0.814	0.837	0.926										
Sb	0.853	0.969						0.852					
Bi		0.910							0.937				
V						0.888							
Cr						0.903					0.953		
Al							-0.905						
W												0.802	
Sr	0.889	0.971						0.851	0.963	0.907			
Rb													0.863

A análise da tabela 5.12 permite constatar que a maior correlação ocorre, por ordem decrescente, entre os elementos Cu/Sn (0.971), Cu/Sb (0.969), Cd/Sn (0.963), Bi/Cr (0.953), Cd/Bi (0.937), Pb/Cd (0.926), Ni/Mn (0.919), Cu/Bi (0.910), Mo/Pb (0.909), Sb/Sn (0.907), Co/Cr (0.903), Mo/Sn (0.899), Co/V (0.888), Zn/Co (0.874), K/Rb (0.863), Mo/Sb (0.853), Sr/Sb (0.852), Sr/Sn (0.851), Cu/Cd (0.837), Mo/Zn (0.827), Mo/Cd (0.814), e em oposição apresenta-se o par Mn/Al (-0.905).

Observa-se que a grande maioria dos pares de variáveis (Cu/Sn, Cu/Sb, Cd/Sn, Cd/Bi, Pb/Cd, Cu/Bi, Mo/Pb, Sb/Sn, Mo/Sn, Zn/Co, Mo/Sb, Sr/Sb, Sr/Sn, Cu/Cd, Mo/Zn e Mo/Cd) estão associadas à mineralização da zona estudada, destacando-se as variáveis Cu e Cd, responsáveis pela maioria dos pares. Note-se que a linha de água começa na barragem de Água Forte, onde são retidas as águas ácidas de mina, apresentando um pH muito baixo. As restantes correlações, Ni/Mn, Co/Cr, Co/B, K/Rb, além dos pares opostos Mn/Al, estão ligadas à geologia da zona estudada, com xistos, xistos negros, grauvaques e jaspes, fortemente ligados ao Complexo Vulcano-Silicioso.

A tabela 5.13 apresenta um resumo dos pares de elementos mais representativos para os dados relativos à bacia hidrográfica da ribeira do Roxo.

Na análise da tabela 5.13 observa-se uma maior correlação, por ordem decrescente, entre os elementos As/Sb (0.995), Pb/Cd (0.991), As/Cd (0.988), Cd/Sb (0.986), As/Bi (0.985), Cd/Bi (0.982), Pb/Fe (0.982), Pb/Bi (0.981), Zn/Bi (0.980), Pb/As (0.978), Sb/Bi (0.977), Pb/Sb (0.972), Cu/Zn (0.970), Pb/Fe (0.969), Zn/Fe (0.962), Zn/Cd (0.958), Fe/Bi (0.951), Fe/Cd (0.949), Zn/As (0.948), Fe/As (0.935), Zn/Sb (0.934), Fe/Sb (0.918), Cu/Fe (0.911), Cu/Bi (0.906), Cu/Pb (0.894), V/Cr (0.877), Cu/Cd (0.870), Fe/Sn (0.846), Cu/As (0.842), Bi/Sn (0.838), Pb/Sn (0.838), Ba/K (0.825), Cu/Sb (0.823), Al/Sn (0.815), Cd/Sn (0.815), Zn/Sn (0.808) e os pares de elementos com correlação negativa são os Cr/W (-0.957) e V/W (-0.800).

tabela 5.13 Resumo da matriz de correlação para a ribeira do Roxo (n=8)

	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Cd	Sb	Bi	V	Cr	Ba	Al
Pb	0.894											
Zn	0.970	0.969										
Fe	0.911	0.982	0.962									
As	0.842	0.913	0.978	0.935								
Cd	0.870	0.991	0.958	0.949	0.988							
Sb	0.823	0.972	0.937	0.978	0.995	0.986						
Bi	0.906	0.981	0.980	0.957	0.985	0.982	0.977					
Cr									0.877			
K											0.825	
W									-0.800	-0.957		
Sr		0.838	0.808	0.846		0.816		0.835				0.815

Na ribeira do Roxo os pares de variáveis são todos de origem antrópica, uma vez que é a bacia que recebe os afluentes das ribeiras de Água Forte e Água Azêda, além do Barranco do Farrôbo.

Tendo em consideração os resultados obtidos podemos constatar que as ribeiras em estudo apresentam a seguinte variação de teores:

- › Água Forte: As (644-2490mg/kg), Cd (0.2-2.6mg/kg), Cu (331-843mg/kg), Zn (197-937mg/kg), Pb (301-2626mg/kg)
- › Água Azêda: As (24-1153mg/kg), Cd (0.2-1.6mg/kg), Cu (126-1142mg/kg), Zn (183-1005mg/kg), Pb (28-4280mg/kg)
- › cursos de água afectados por drenagem ácida de mina: As (1838-6185mg/kg), Cd (0.7-5.2mg/kg), Cu (480-1327mg/kg), Zn (649-2275mg/kg), Pb (397-753mg/kg)

5.5. estatística multivariada

Para este estudo foi utilizada a Análise em Componentes Principais (ACP) de forma a estabelecer uma relação entre as variáveis mais favorável à interpretação das correlações geoquímicas vs. contaminação.

A matriz de dados utilizada no estudo, com o intuito de separar a componente geológica da componente antrópica (actividades mineira e outras, ou seja, actividades que introduzam alterações no sistema), é composta por um total de 67 indivíduos e 23 variáveis activas, correspondentes aos teores de Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Sr, Cd, Sb, Bi, V, P, Cr, Ba, Al, Na, K, W, Sn, Rb.

O resultado do estudo da ACP apresenta-se na tabela 5.14, onde constam os valores próprios, a variância explicada de cada eixo e a respectiva variância acumulada. Como se pode verificar pela tabela 5.14 e figura 5.26 as coordenadas das 23 variáveis encontram-se retidas nos cinco primeiros eixos, os quais explicam 79,68% da inércia total.

A retenção do número de factores atendeu a um critério empírico na base dos valores próprios superiores a 1 (Davis, 1986), o que levou à retenção dos cinco primeiros eixos.

A tabela 5.15 apresenta as coordenadas das 23 variáveis nos cinco primeiros eixos.

Da análise da tabela 5.15 pode verificar-se que as variáveis com coordenadas superiores a 0,5, em valor absoluto, se encontram assim distribuídas pelos cinco eixos:

eixo 1: Sn, Mo, Pb, Sb, Bi, As, W, Fe em oposição à variável Mn

eixo 2: Al, K, Ba, Ni, Rb, Cr

eixo 3: Zn, Cu, Cd, Co em oposição às variáveis Na e Sr

eixo 4: Cd, Zn, Na

eixo 5: P, Ba

tabela 5.14 Valores próprios, variância explicada e variância acumulada

	valor próprio	% exp	% acum
1	6,70	29,1%	29,1%
2	4,77	19,16	48,29
3	3,74	13,66	61,95
4	2,72	9,21	71,16
5	1,96	8,52	79,68

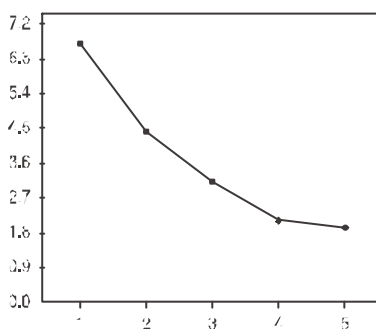


figura 5.26 Explicação dos cinco primeiros eixos da análise AC²

tabela 5.15 Coordenadas das 23 variáveis dos cinco primeiros eixos

	1	2	3	4	5
Mo	0,9272	0,1551	0,1276	-0,1021	-0,1085
Cu	0,3796	0,1819	0,6753	0,2609	0,2627
Pb	0,9731	0,1002	0,0239	-0,0781	-0,2849
Zn	0,1535	0,0892	0,6891	0,6372	0,1470
Ni	-0,3960	0,7439	0,2966	-0,1741	-0,0349
Co	-0,3617	0,3903	0,5208	0,2282	-0,2726
Mn	-0,5208	0,4767	0,2538	-0,0539	-0,3699
Fe	0,5306	-0,2466	0,2805	-0,3265	0,4658
As	0,6540	-0,1378	0,1941	-0,1145	0,1780
Sr	0,1776	0,7711	-0,5899	0,1593	0,0749
Cd	0,2715	0,0908	0,6768	0,6522	0,0735
Sb	0,9006	-0,0028	0,0679	-0,0262	-0,2700
Bi	0,8518	0,0002	-0,0135	0,0329	-0,3822
V	-0,3701	0,4404	0,3078	-0,2867	-0,4247
P	0,3885	0,0582	0,1124	-0,2395	0,5872
Cr	-0,3384	0,5702	0,3970	-0,4165	-0,3740
Ba	-0,2753	0,7527	-0,1041	0,0302	0,5797
Al	0,0968	0,9773	-0,2244	0,1049	0,1461
Na	-0,0479	0,2930	-0,6677	0,5355	-0,0251
K	0,3975	0,7626	-0,1768	-0,2255	0,2303
W	0,5371	0,2932	-0,3747	0,2193	-0,3040
Sn	0,9328	0,0466	0,0347	-0,0248	-0,2555
Rb	0,4887	0,7787	-0,0977	-0,2903	0,1331

O eixo 1 possui uma percentagem de variância explicada de 29.14% e explica oito das vinte e três variáveis activas, Sn, Mo, Pb, Sb, Bi, As, W e Fe, todas com coordenadas positivas, em oposição à variável Mn, esta com coordenadas negativas.

O eixo 2, que possui uma variância explicada de 19.16%, explica as variáveis Al, K, Ba, Ni, Rb e Cr, com coordenadas positivas.

O eixo 3, com uma variância explicada de 13.66%, explica as variáveis Zn, Cu, Cd e Co, com coordenadas positivas, em oposição às variáveis Na e Sr, com coordenadas negativas.

O eixo 4 explica as variáveis Cd, Zn e Na, com coordenadas positivas. A percentagem de variância explicada é de 9.21%. Refira-se que as variáveis Cd e Zn são simultaneamente explicadas pelo eixo 3 e 4.

Finalmente, o eixo 5, com uma variância explicada de 8.52%, explica as variáveis P e Ba, com coordenadas positivas.

O elemento V não é explicado em nenhum dos cinco primeiros eixos.

Segundo Cardoso (1995), a visualização das projecções das variáveis mais representativas permite distinguir as proximidades e oposições existentes entre elas. Para a identificação da qualidade da representação das variáveis em cada plano efectuou-se a projecção das variáveis em cada plano factorial, conforme figura 5.27.

O primeiro plano principal, composto pelos eixos 1 e 2 (figura 5.27), possui 48,29% da informação contida na matriz do coeficiente de correlação entre as variáveis que caracterizam a amostra que compõem a totalidade da amostragem. As variáveis melhor explicadas neste plano são Sn, Mo, Pb, Sb, Bi, As, W, Fe e Mn, no eixo 1, e Al, K, Ba, Ni, Rb e Cr, no eixo 2, que constituem 48,3% do número total de variáveis. A projecção permite ainda separar três grupos de elementos, o grupo vi, com as variáveis W, Mo, Pb, As, Bi, Sb e Fe, o grupo vii com as variáveis Al, K e Rb, e o grupo viii com as variáveis Ni, Cr, Ba e Mn.

O segundo plano factorial, constituído pelos eixos 1 e 3, (figura 5.27) possui 42,80% da informação contida na matriz do coeficiente de correlação, entre as variáveis que caracterizam a amostra que compõem a totalidade da amostragem. Neste caso as variáveis melhor explicadas são o Zn, Cu, Cd e Co, identificadas como o grupo ix e as variáveis Na e Sr, identificadas como o grupo x.

O terceiro plano factorial, formado pelos eixos 1 e 4 (figura 5.27) tem uma representatividade de 38,25% da variância total.

O quarto plano factorial, formado pelos eixos 1 e 5 (figura 5.27) tem uma variância total de 37,66% e explica a variável P, identificada pelo grupo xi.

A cartografia dos factores do eixo 1 (figura 5.28) permite definir a ribeira de Água Forte como aquela em que a associação das variáveis Sr, Mo, Pb, Sb, Bi, As, W e Fe tem mais importância. Esta ribeira recebe os transbordos da barragem de Água Forte assim como outras escorrências superficiais da antiga área mineira e da ETAR. Esta linha de água é também afectada pela introdução de material das escombrelas de Algares e recebe também um forte contributo da drenagem ácida de mina. No caso da ribeira da Água Azêda os volumes de águas ácidas e de materiais das escombrelas são substancialmente inferiores aos da ribeira da Água Forte. Refira-se que a partir do N da bacia de S. João não se observa a introdução de águas ácidas na

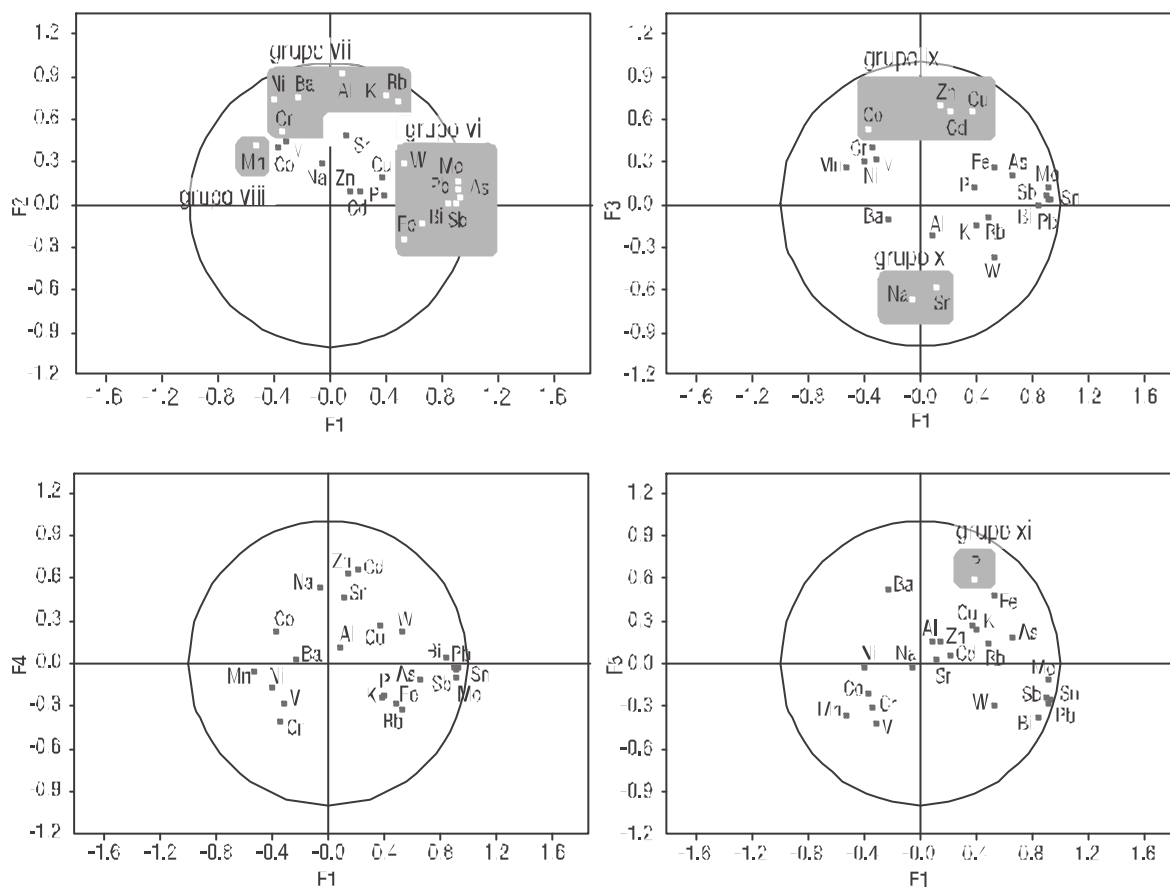


figura 5.27 Projecção das coordenadas das 23 variáveis dos quatro primeiros planos factoriais (eixo 1/eixo 2; eixo 1/eixo 3; eixo 1/eixo 4; eixo 1/eixo 5)

ribeira e que as águas ainda provenientes da área mineira são diluídas pelas águas residuais urbanas, produzindo a diluição das mesmas, o que justifica o facto da expressão do eixo 1 não ser tão significativa como na ribeira da Água Forte.

O mapa correlacionado com o eixo 2 (figura 5.29), explicado pelas variáveis Al, K, Ni, Cr, Ba e Rb (grupo VII), revela uma forte ligação à geologia onde dominam os filitos e quartzitos. A variável Mn (grupo VIII), também explicada neste eixo, reflecte a localização das mineralizações de manganês que ocorrem nesta área (figura 2.21). A explicação de duas mineralizações apostas é dada por diferentes processos de formação. Os sulfuretos polimetálicos estão associados a vulcanismo félsico acompanhado de alterações hidrotermais enquanto que os óxidos de manganês, que ocorrem no seio do Complexo Vulcano-Silicioso, são resultantes da oxidação da rodocrosite $[MnCO_3]$ e rodonite $[(Mn,Fe,Mg,Ca)SiO_3]$. A carta de isotores revela, também, uma forte ligação com a ribeira de Água Forte.

As variáveis explicadas pelo eixo 3 (grupo VIII com Zn, Cu, Cd e Co) reflectem a actividade mineira da região, enquanto o grupo IX (Na e Sr) está associado à geologia da área estudada. No entanto, e após análise das cartas de isotores dos eixos 3 e 4, chegou-se à conclusão de que será necessário apertar a malha de amostragem, no sector da Água Forte, de modo a compreender os factores responsáveis pelas imagens obtidas nestes dois eixos.

Finalmente o mapa do eixo 5, grupo xi (P) é explicado pelas áreas de influência das ETAR's existentes na região envolvente à vila de Aljustrel.

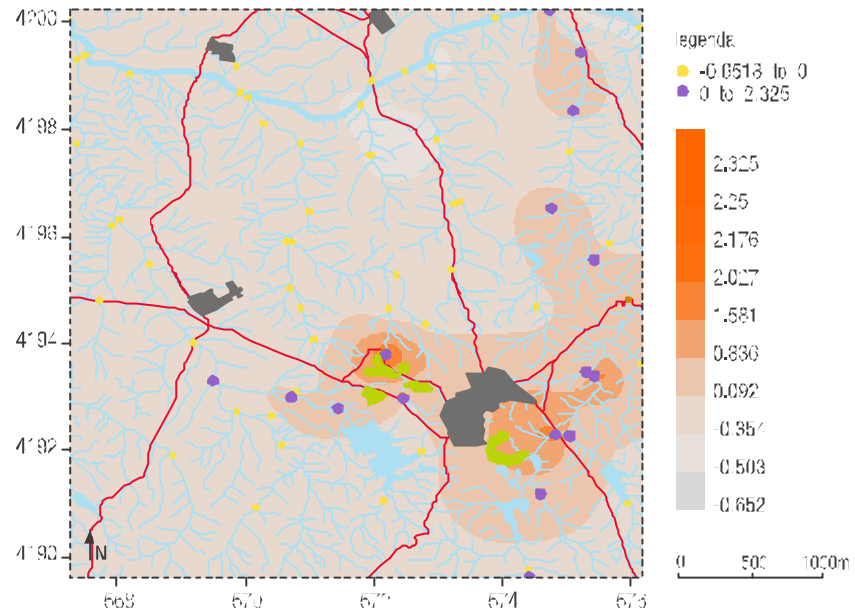


figura 5.28 Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 1

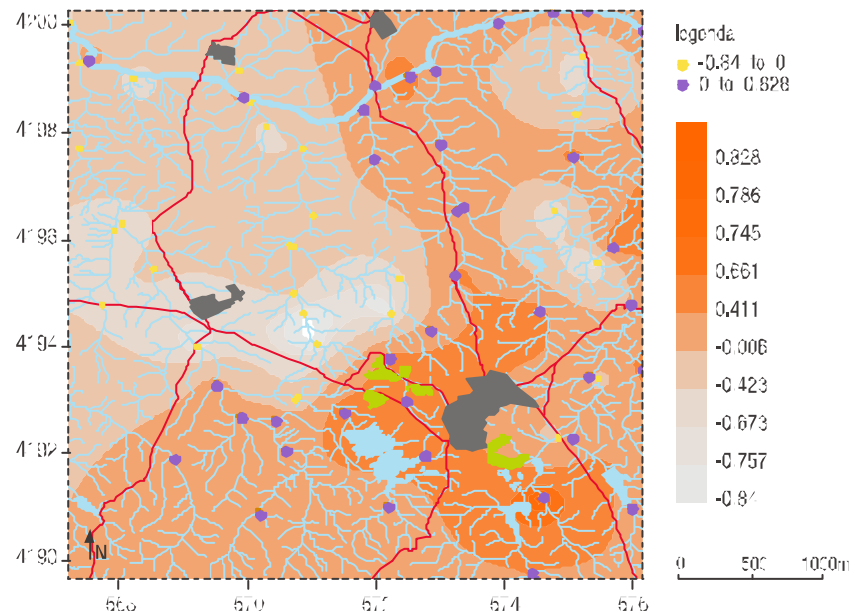


figura 5.29 Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 2

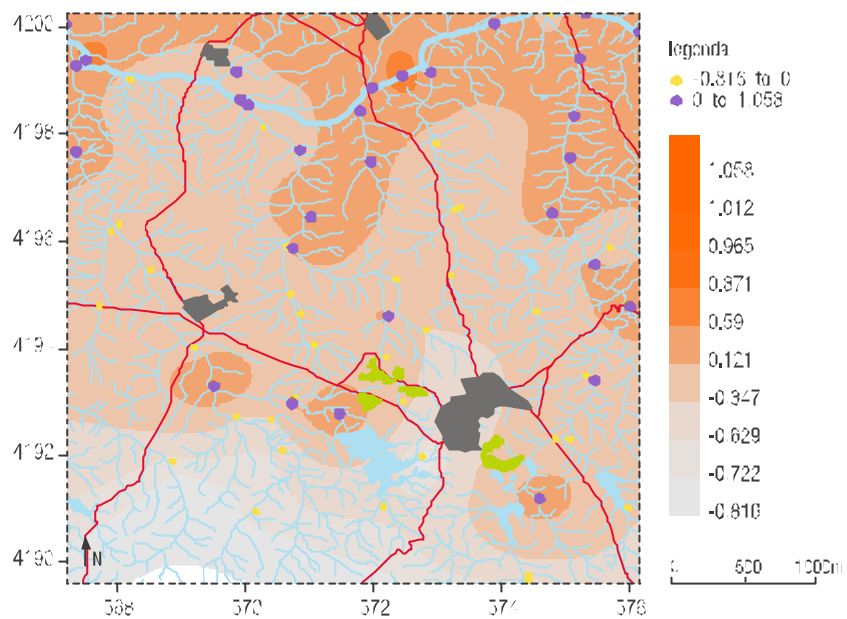


figura 5.30 Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 3

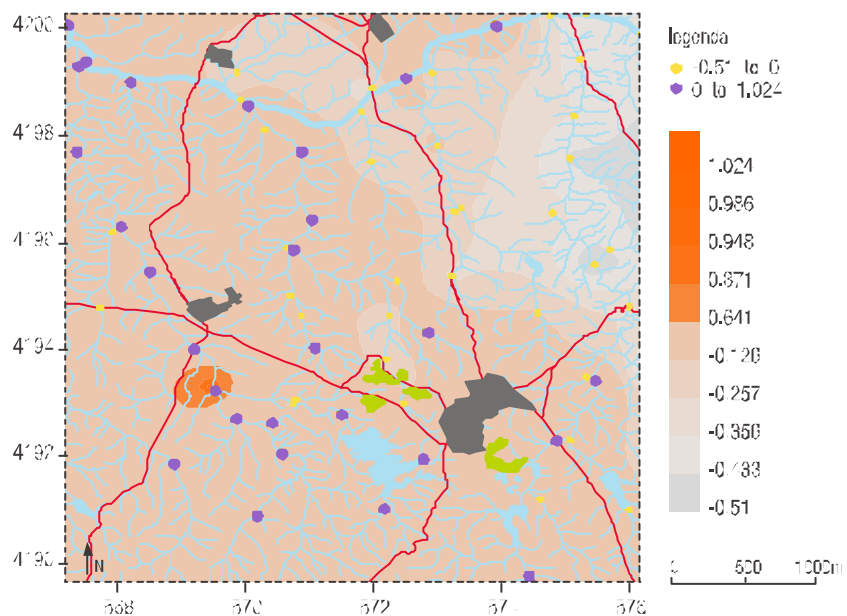


figura 5.31 Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 4

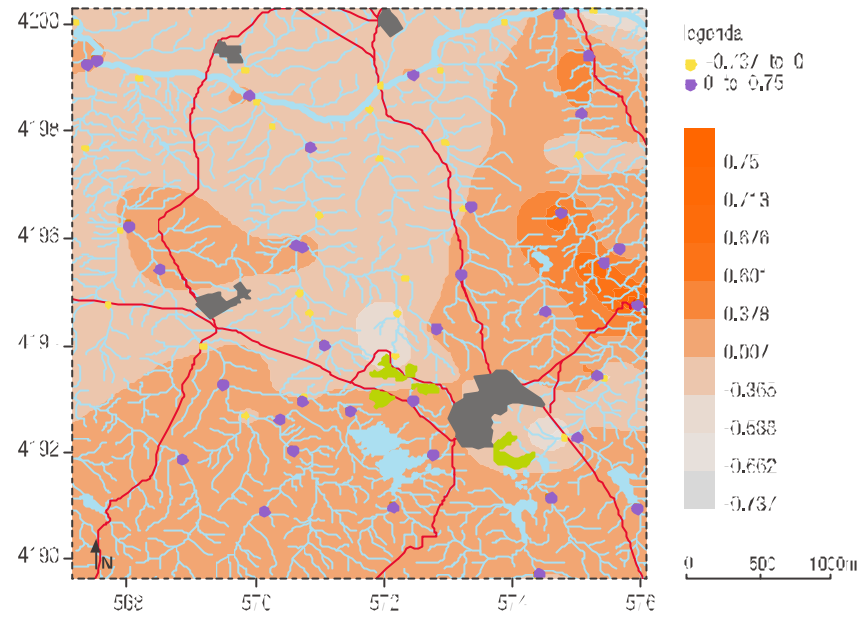


figura 5.32 Cartografia das coordenadas das amostras no eixo 5

**6. contributos para a avaliação de risco
da zona envolvente à área mineira de
Aljustrel**

6.1 minimização problemas contaminação ambiental

As práticas de gestão de resíduos perigosos em vigor no passado são sinónimas da regra simplista *longe da vista, longe do coração*. Estes procedimentos tiveram como resultado o aparecimento de diversos problemas de contaminação ambiental que necessitam de grande atenção nos dias de hoje. Com o avanço do conhecimento da relação entre contaminantes ambientais e os diversos problemas associados à saúde humana e a alguns desastres ecológicos, a *nova sociedade* apercebeu-se da necessidade urgente de limpar os *sinais do passado* (Asante-Duah, 1998).

Os principais problemas associados aos efeitos ecológicos resultantes da exposição a contaminantes ambientais são (Asante-Duah, 1998):

- › a toxicidade, i.e. capaz de causar danos na vida selvagem e vegetação
- › a persistência, i.e. não quebra facilmente, e assim pode persistir e acumular em porções do ambiente
- › a bioacumulação, i.e. pode acumular em corpos de plantas e animais não sendo facilmente expelida, e assim acumular ao longo do tempo com diversas exposições

Em geral a avaliação do risco, que aparenta ser uma das ferramentas mais rápidas de gestão ambiental, procura responder a três questões fundamentais:

- › quais são os riscos que podem advir da presença do contaminante?
- › quais são as probabilidades destes riscos ocorrerem?
- › quais as consequências resultantes desta ocorrência?

Uma análise completa dos riscos, associada a uma dada situação ou actividade, deve dar respostas adequadas, levando a tomar e/ou implementar medidas mitigadoras, aliadas às necessárias decisões e acções correctivas de gestão de riscos (Asante-Duah, 1998).

Dependendo do objectivo da análise de risco os métodos usados na estimativa de riscos, podem ser tanto qualitativos como quantitativos. Desta forma o processo pode ser baseado na análise de dados, na modelação ou numa combinação de ambos.

6.2 avaliação de risco ambiental

A avaliação de risco ambiental tem sido definida como o processo que avalia a possibilidade de ocorrerem efeitos ambientais adversos como resultado da exposição, a um ou mais, elementos, normalmente impostos pelas actividades humanas (figura 6.1) (Bartell *et al.*, 1992; Linlhurst *et al.*, 1995; NRC, 1983; Richardson, 1995; Solomon, 1996; USEPA, 1986, 1988, 1991, 1992, 1994, 1995; Fan & Chang, 1996).

Uma das diversas definições de avaliação de risco, que podem ser encontradas em bibliografia diversa, refere que se trata do uso da informação disponível de forma a avaliar e estimar a exposição a uma substância, e qual o efeito adverso provocado no ambiente (Fan & Chang, 1996). A Agência de Protecção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) (USEPA, 1991) refere que a avaliação de riscos envolve necessariamente a análise da exposição, a determinação do tipo e da magnitude dos efeitos adversos e a previsão de possíveis exposições futuras (figura 6.2).

A avaliação de risco ambiental consiste no processo de organização e análise de dados, da informação existente e das incertezas, de forma a avaliar a possibilidade de ocorrerem efeitos adversos resultantes de um problema de contaminação ambiental. O procedimento típico de gestão de risco ambiental consiste, primariamente em três fases: formulação do problema, análise do problema e caracterização do risco (figura 6.3) (USEPA, 1992).

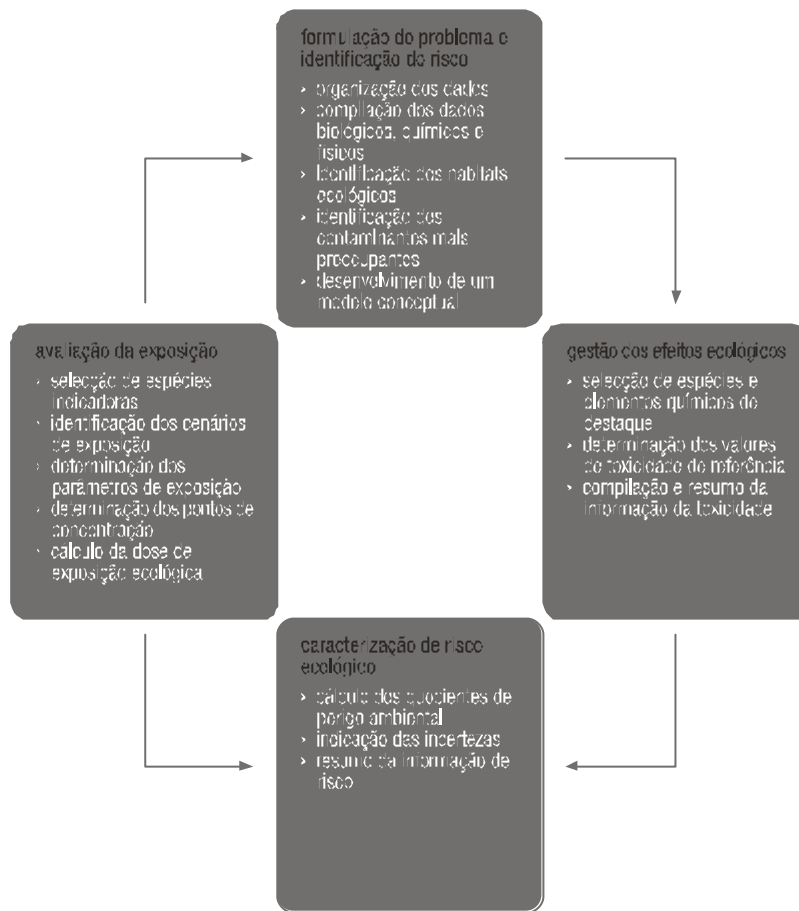


figura 6.1 Processo da avaliação de riscos ambiental (adaptado Asante- Juah, 1998)

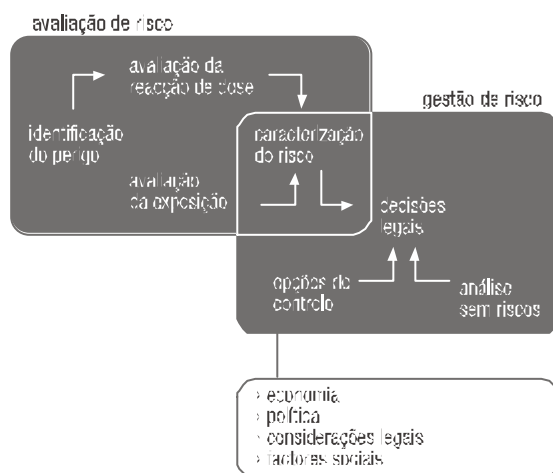


figura 6.2 Relação entre gestão e avaliação de riscos (adaptado Asante- Juah, 1998)

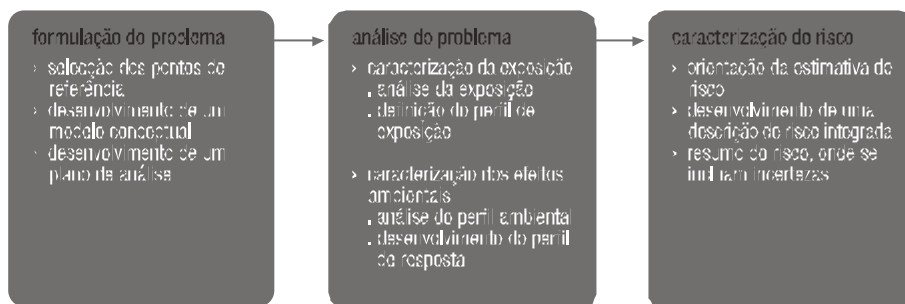


figura 6.3 Estrutura conceptual básica de gestão de risco ambiental (adaptado Asante-Duah, 1998)

A formulação do problema consiste no processo de obter uma avaliação preliminar da hipótese do efeito ambiental. Envolve a determinação de objectivos e limites, a preparação conceptual do modelo e o desenvolvimento do plano de análise. A gestão de limites é essencial para a formulação do problema uma vez que servirão de ligação à gestão do risco, sendo centrais no desenvolvimento do modelo conceptual.

Como se pode observar, na tabela 6.1, a forma como é implementada a avaliação de risco, depende dos seguintes elementos fundamentais:

tabela 6.1 Elementos fundamentais na avaliação de risco ambiental (adaptado Asante-Duah, 1998)

avaliação das características do local <ul style="list-style-type: none"> > natureza e extensão da área contaminada > sensibilidade do ambiente
avaliação da contaminação <ul style="list-style-type: none"> > identificação e caracterização > concentrações biológicas e ambientais > contaminantes tóxicos > fontes de referência
exposição potencial <ul style="list-style-type: none"> > fontes actuais e potenciais da libertação do contaminante > fluxo de libertação dos contaminantes (percursos de migração) > organismos que podem contactar com os contaminantes > condições ambientais sob as quais podem ter ocorrido o transporte e exposição
selecção dos pontos a analisar e medição <ul style="list-style-type: none"> > pontos críticos > avaliação dos habitats potencialmente afectados > avaliação das populações potencialmente afectadas
caracterização do risco ecológico <ul style="list-style-type: none"> > caracterização qualitativa do risco > caracterização quantitativa do risco

6.3. avaliação de riscos na prática

Existem algumas técnicas na condução da avaliação de risco. Invariavelmente os métodos consistem numa série de procedimentos, conforme se exemplifica na figura 6.4 e tabela 6.2 (Asante-Duah, 1998).

Os pontos mais importantes, e que requerem maior atenção durante o processo, estão normalmente relacionados com as seguintes questões:

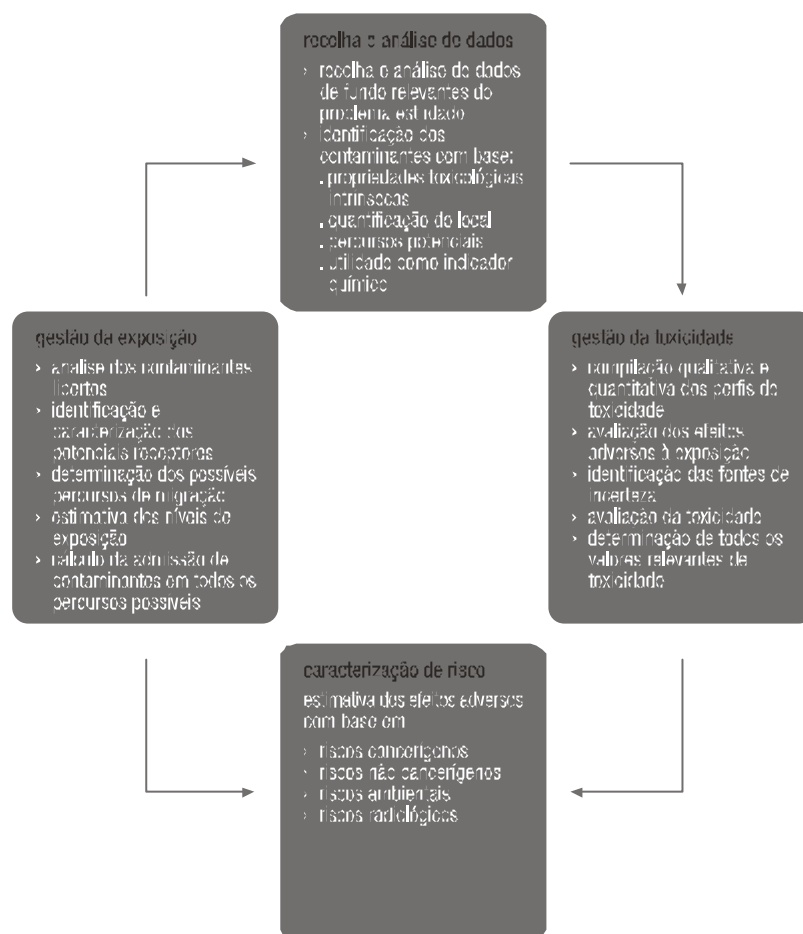


figura 6.4 Componentes processuais principais da avaliação de risco de um problema de contaminação ambiental (adaptado Asante-Duah, 1998)

- > **quais os elementos químicos que representam maiores riscos?**
- > **quais as concentrações dos contaminantes mais preocupantes, tanto no local em estudo como na sua envolvente?**
- > **quais os percursos de exposição mais relevantes?**
- > **quais os grupos populacionais sujeitos ao risco, como resultado de uma possível exposição?**
- > **qual o alcance do risco, a nível geográfico?**
- > **quais as implicações para quaisquer extensões identificáveis e quais as medidas correctivas possíveis?**

Os contaminantes introduzidos no ambiente são controlados por um conjunto complexo de processos, que consistem no transporte, transformação, degradação e atenuação, transferência e/ou absorção biológica e bioacumulação. Os elementos químicos presentes num determinado local podem ser afectados por diversos e complexos processos e fenómenos que facilitem a sua mobilidade e transferência (Asante-Duah, 1998).

Sendo os solos contaminados o principal depósito da maioria dos poluentes ambientais, tornam-se no principal objecto de estudo numa investigação de contaminação ambiental. Isto deve-se ao facto de que os solos servem tanto de meio de exposição a potenciais receptores como de reservatório de longa duração para contaminantes. O facto de se tratar de um repositório inerte

6.4. identificação das zonas de risco Tendo em vista a identificação das áreas potencialmente afectadas efectuou-se, com base nos valores propostos por Ferreira (2004) para os solos de Portugal (tabela 3.3), a cartografia de teores. Os resultados obtidos são apresentados nas figuras 6.6 a 6.11.

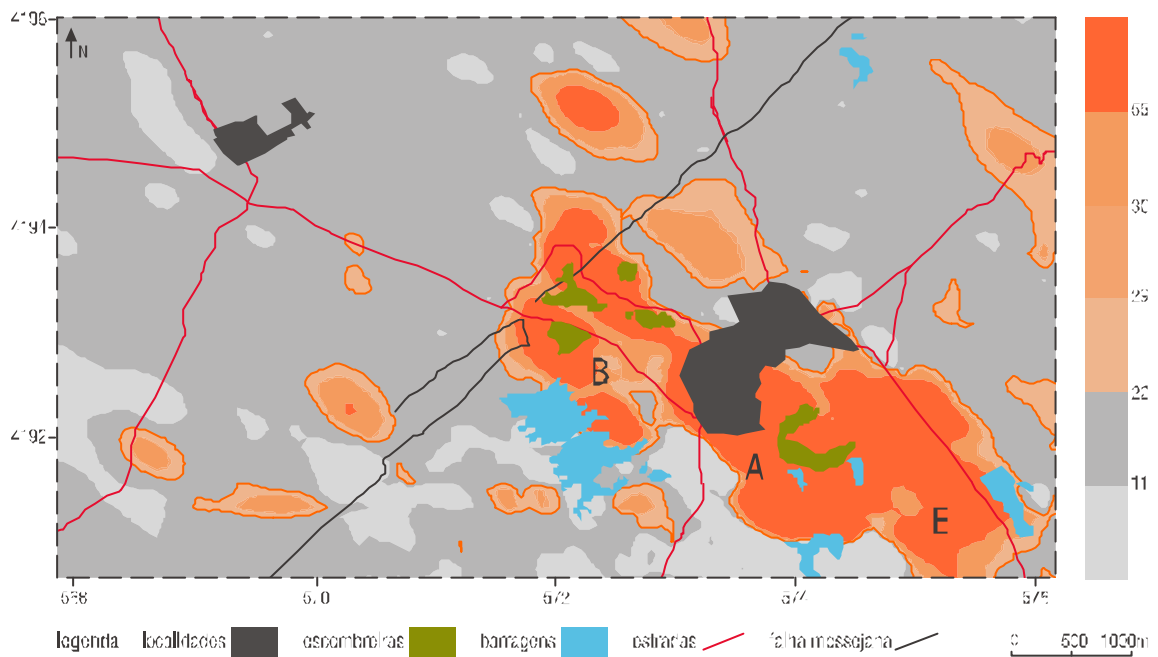


figura 6.6 Mapa de teores do elemento As com a escala adaptada aos valores de referência para Portugal

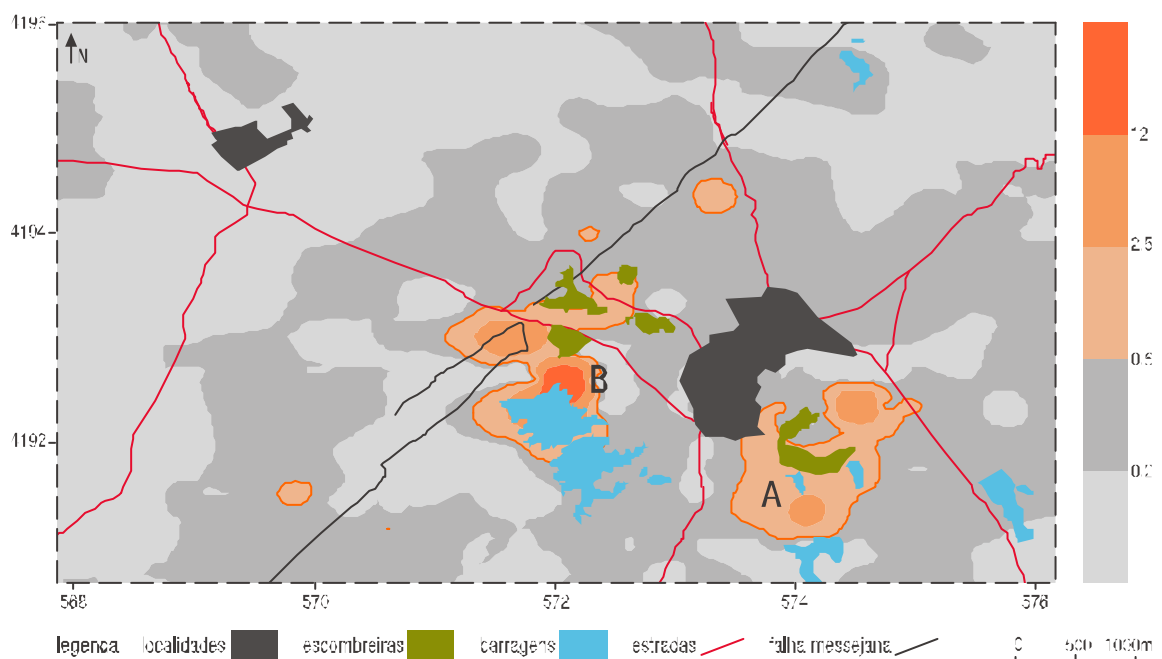


figura 6.7 Mapa de teores do elemento Cd com a escala adaptada aos valores de referência para Portugal

tabela 6.2 Elementos base de um relatório de avaliação de riscos (adaptado de Asante-Duah, 1998)

secção	assunto
sinopse	<ul style="list-style-type: none"> › contexto do problema › processo da avaliação de riscos › objectivo e âmbito da avaliação de riscos › técnicas e métodos usados na avaliação de riscos › bases legais da avaliação de riscos › limites da aplicação da avaliação de riscos
compilação de dados	<ul style="list-style-type: none"> › áreas potencialmente afectadas › considerações específicas sobre a compilação de dados › avaliação da qualidade dos objectivos › identificação de incertezas
avaliação dos dados	<ul style="list-style-type: none"> › considerações gerais da avaliação de dados › identificação, quantificação e classificação dos contaminantes › análise estatística dos dados ambientais mais relevantes › selecção dos elementos químicos mais preocupantes › identificação das incertezas
avaliação da exposição	<ul style="list-style-type: none"> › caracterização do ambiente sujeito a exposição (incluindo o cenário físico e as mobilizações potencialmente em risco) › identificação das áreas fonte, percursos de migração mais significativos e impacto potencial › determinação do destino e processo de transporte dos químicos mais preocupantes › determinação do percurso de transporte para o receptor › desenvolvimento de um modelo conceptual do problema › desenvolvimento de cenários realistas (incluindo o presente e a previsão possível do futuro) › estimativa de locais com maior concentração dos elementos químicos mais preocupantes › quantificação dos níveis de exposição › identificação de incertezas associadas aos parâmetros de exposição
avaliação da toxicidade	<ul style="list-style-type: none"> › compilação das características tóxicas dos elementos químicos mais preocupantes › determinação dos parâmetros mais relevantes de toxicidade › identificação de incertezas
caracterização do risco	<ul style="list-style-type: none"> › estimativa do risco humano › estimativa dos efeitos sistémicos dos elementos tóxicos › estimativa do perigo e efeito ecológico › análise dos parâmetros mais relevantes › identificação e avaliação das incertezas associadas à estimativa do risco
resumo e discussão	<ul style="list-style-type: none"> › resumo da informação de risco › discussão de todas as fontes de informação e incertezas

deve-se à permuta activa dos elementos químicos entre solos, água, ar e elementos biológicos (figura 6.5) (Asante-Duah, 1996; Brooks, 1995; Yong *et al.*, 1992).

A movimentação de contaminantes através dos solos é, normalmente, muito complexa, existindo alguns elementos com capacidade de transporte rápida e outros muito lenta, entre as várias matrizes ambientais. Em geral a afinidade entre os contaminantes e o solo afecta a mobilidade, retardando o transporte. Também o fenómeno de adsorção representa a principal razão pela qual as zonas com sedimentos de corrente se podem tornar muito contaminadas com químicos específicos, orgânicos e inorgânicos. Por outro lado os constituintes químicos, com grau de mobilidade de médio a elevado, podem passar dos solos para a água subterrânea (Asante-Duah, 1998).

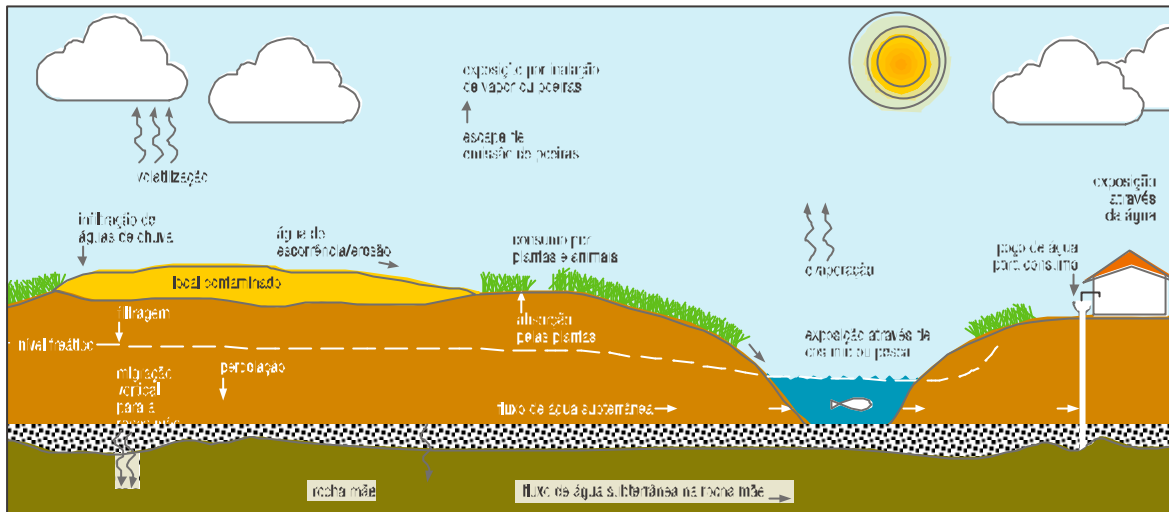


figura 6.5 Representação esquemática de um local contaminado (adaptado Asante-Duah, 1996)

tabela 6.3 Principais elementos de um programa de investigação ambiental (adaptado Asante-Duah, 1998)

tarefa	elementos
definição do problema	<ul style="list-style-type: none"> delimitação de objetivos do projeto, incluindo o nível e o detalhe dos tópicos de interesse determinação da qualidade dos dados
avaliação preliminar	<ul style="list-style-type: none"> colheita e análise da informação existente (i.e. revisão da informação de base descritiva, relatórios anteriores, etc.) análise visual do local (i.e. visitas de reconhecimento) construção de modelo conceptual preliminar
amostragem	<ul style="list-style-type: none"> identificação da informação necessária para concepção do modelo identificação das limitações e constrangimentos (e.g., acessibilidade, amostragem, controlos, utilidades e limitações financeiras) definição da metodologia de amostragem, análise e interpretação de dados determinação de técnicas de exploração e programa de testes
implementação da amostragem	<ul style="list-style-type: none"> condução do trabalho de pesquisa e testes apropriados recolha de amostras compilação e análise de informação, fotografias e comentários das amostras análises de laboratório
avaliação da informação	<ul style="list-style-type: none"> compilação de uma base de dados com informação relevante análise lógica da informação obtida redefinição do modelo conceptual
Interpretação e resultados	<ul style="list-style-type: none"> enumeração das implicações possíveis resultantes da investigação ambiental preparação de relatório com dados e conclusões obtidas

Geralmente a contaminação presente num local pode apresentar as seguintes fases:

- › contaminação adsorvida, nos solos ou substâncias sólidas
- › contaminação da fase gasosa, presente em zonas erróneas devido à volatilização nos gases emitidos pelos solos
- › contaminação dissolvida, em águas, presente tanto nas zonas de solos saturadas como insaturadas
- › elementos livres, como fluidos residuais e imiscíveis

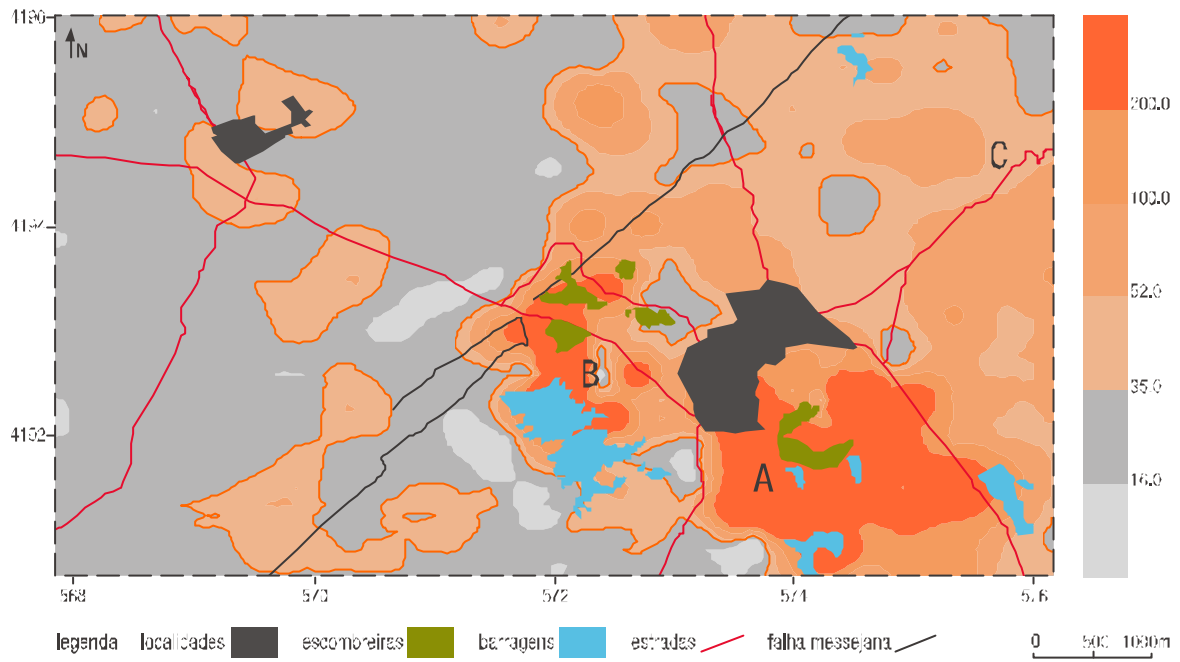


figura 6.8 Mapa de teores do elemento Cu com a escala adotada aos valores de referência para Portugal

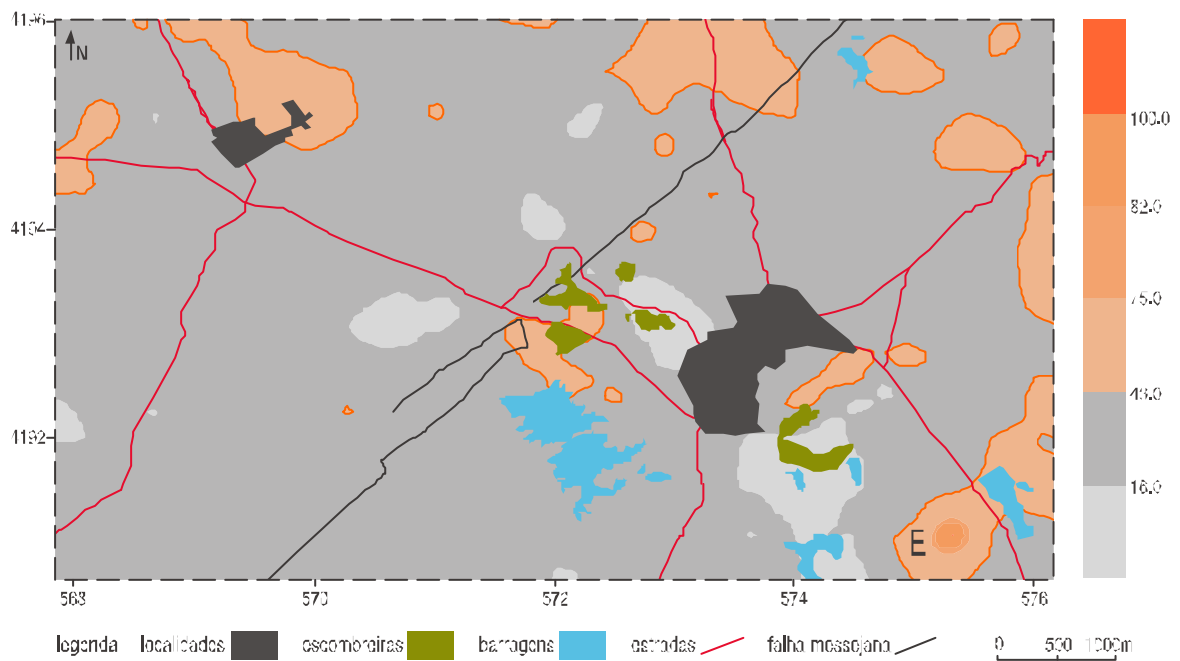


figura 6.9 Mapa de teores do elemento Ni com a escala adaptada aos valores de referência para Portugal

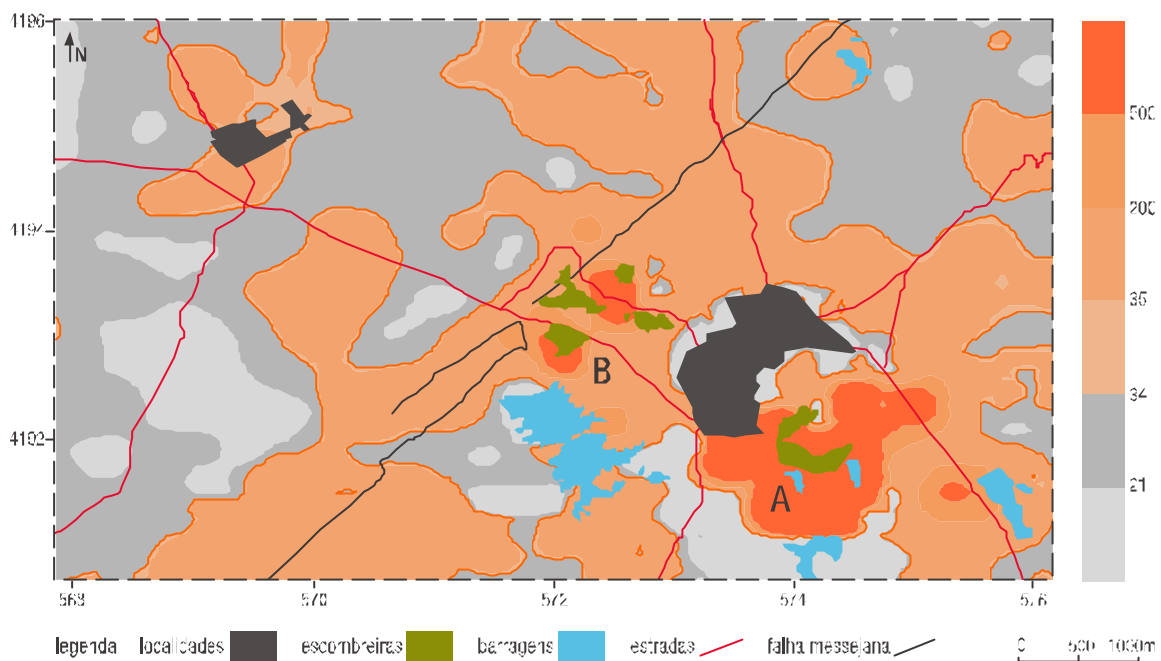


figura 6.10 Mapa de teores do elemento Pb com a escala adaptada aos valores de referência para Portugal

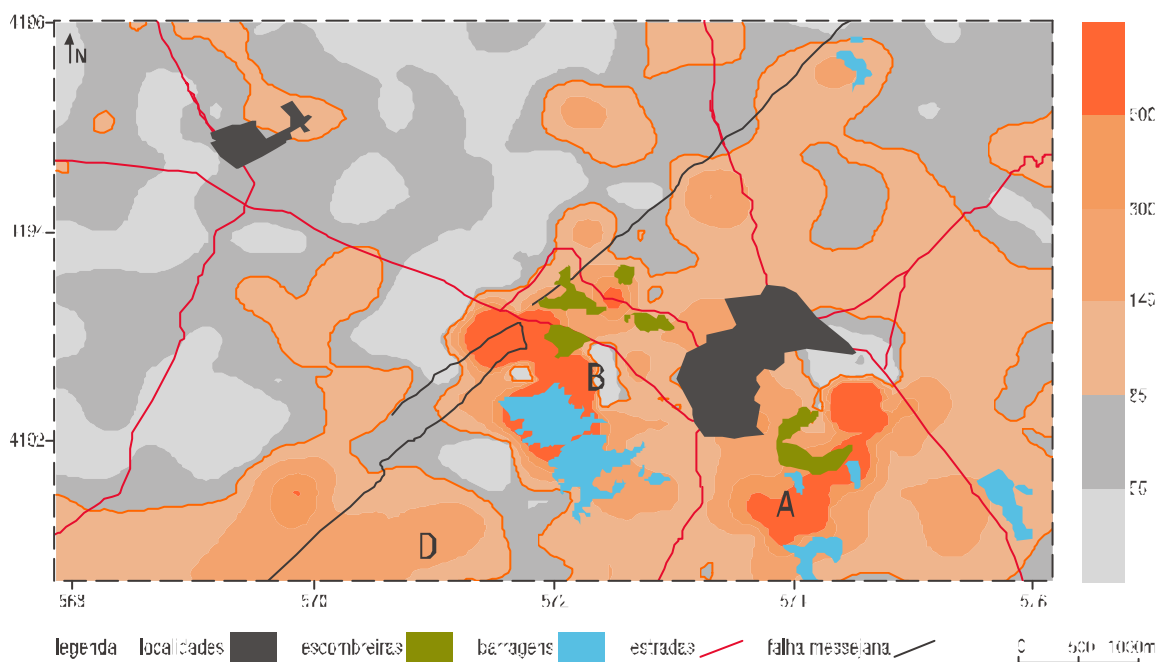


figura 6.11 Mapa de teores do elemento Zn com a escala adaptada aos valores de referência para Portugal

Da análise das figuras é possível verificar que para o elemento:

- › As as concentrações, superiores ao valor guia, se concentram nas zonas anteriormente, identificadas com as letras A, B e E, as quais correspondem às zonas próximas às escombreiras de Algares, mina de S. João do Deserto e minas de Mn, respectivamente
- › Cd ocorre em teores superiores ao valor guia nas zonas A e B, correspondentes à zona próxima da mina de Algares e à mina de S. João do Deserto
- › Cu apresenta teores superiores ao valor guia na zona a E da falha da Messejana, correspondente a enriquecimento natural pela formação vulcânica, no entanto destacam-se as zonas A (zona próxima à mina de Algares), B (mina S. João do Deserto) e C (grauvaques de Água Forte)
- › Ni ocorre apenas pontualmente com valores superiores ao valor guia, destacando-se destes a zona relativa às ocorrências de mineralizações de Mn (zona E)
- › Pb apresenta valores superiores ao valor guia em grande parte da zona estudada, com especial incidência na zona da mina de Algares (A) e da mina de S. João do Deserto (B); destaca-se também valores elevados ao longo da falha da Messejana
- › Zn as concentrações superiores ao valor guia estão localizadas na zona a E da falha da Messejana, sendo que na bacia terciária do Sado os valores elevados distribuem-se de forma pontual; na zona das formações vulcânicas destacam-se as zonas A (mina de Algares), B (mina de S. João do Deserto) e D (formação dos xistos de Mau Ladrão)

Em resumo, as concentrações de As, Cd, Cu, Ni, Pb e Zn são superiores ao valor guia, proposto na tabela 3.3, e estão correlacionados com as ocorrências minerais e/ou antigas explorações mineiras. É de notar que o padrão geoquímico apresentado pelo Cu e Pb sugere, para além das considerações anteriores, contribuições antrópicas de outras origens. No caso do Cu verifica-se a existência certa coincidência entre os locais que apresentam teor superior ao VGE e zonas de intensa actividade agrícola (Ferreira, 2004). O Pb, como referido anteriormente, é um elemento indicador de actividade mineira e agrícola, o que se confirma pelo seu mapa de teores da figura 6.18. A sua distribuição ao longo da área estudada pode ser justificada pela acção combinada de dispersão mecânica com a dispersão química.

Neste estudo também deve ser tido em conta que, segundo Glanzman e Class (1993), o elemento Cd é considerado, a par de outros, como *priority pollutant metal*, ou seja, de grande interesse em termos de impacto ambiental. A sua concentração incide apenas nas zonas mineiras de Algares e S. João, como seria de esperar.

Para os sedimentos de corrente foi efectuada um estudo semelhante ao dos solos. Aos mapas de teores foi aplicada uma escala de acordo com os valores guia recomendados relativamente a alguns metais (TEC, MEC, PEC) para a avaliação da qualidade de sedimentos e respectivos níveis de preocupação, conforme proposto por Luís (2007) (tabela 3.4).

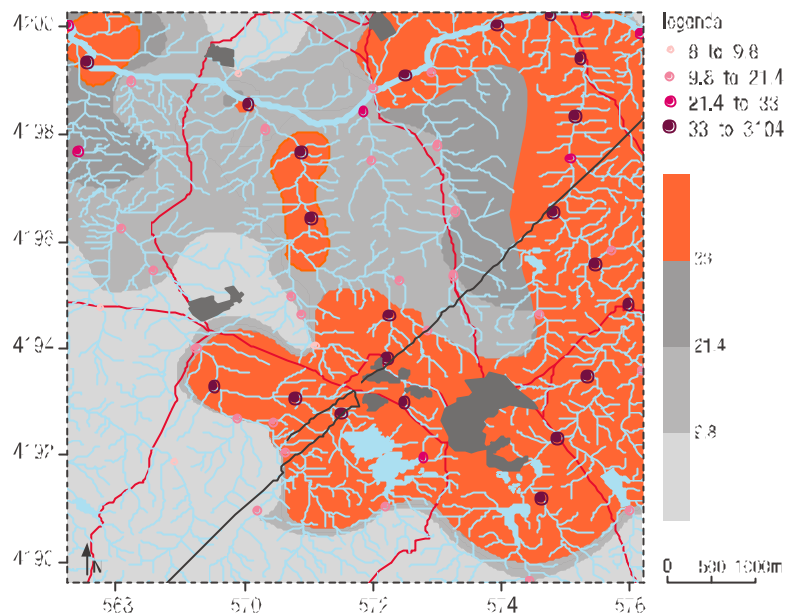


figura 6.12 Mapa de teores do elemento As com a escala adaptada aos valores guia de referência

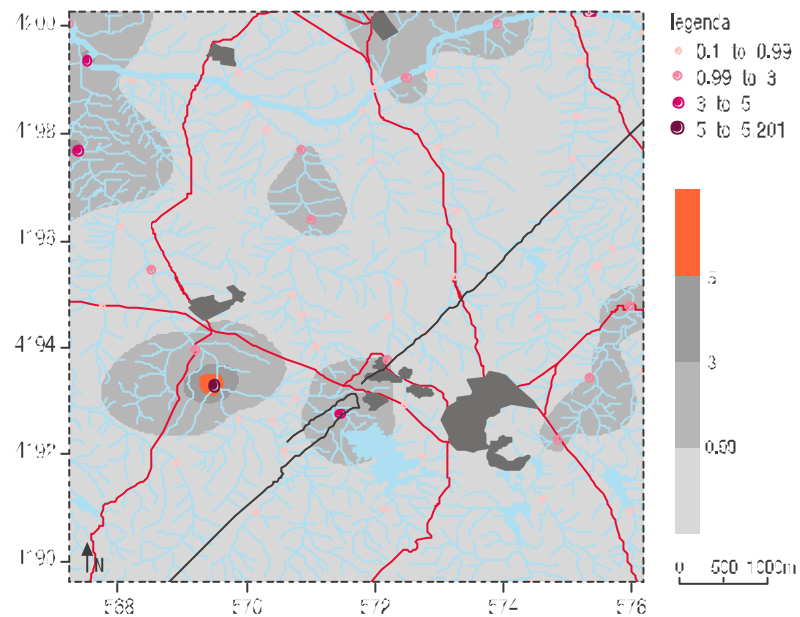


figura 6.13 Mapa de teores do elemento Cd com a escala adaptada aos valores guia de referência

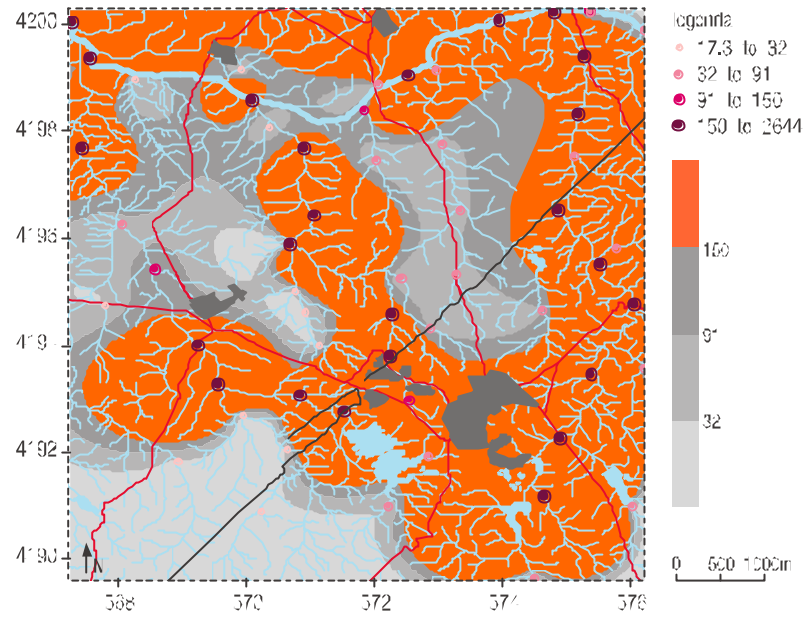


figura 6.14 Mapa de teores do elemento Cu com a escala adaptada aos valores guia de referência.

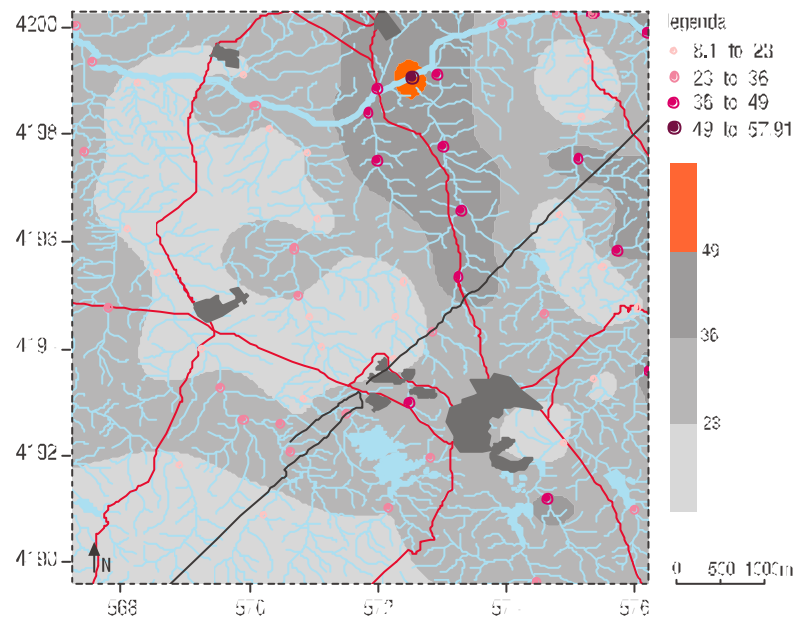


figura 6.15 Mapa de teores do elemento Ni com a escala adaptada aos valores guia de referência.

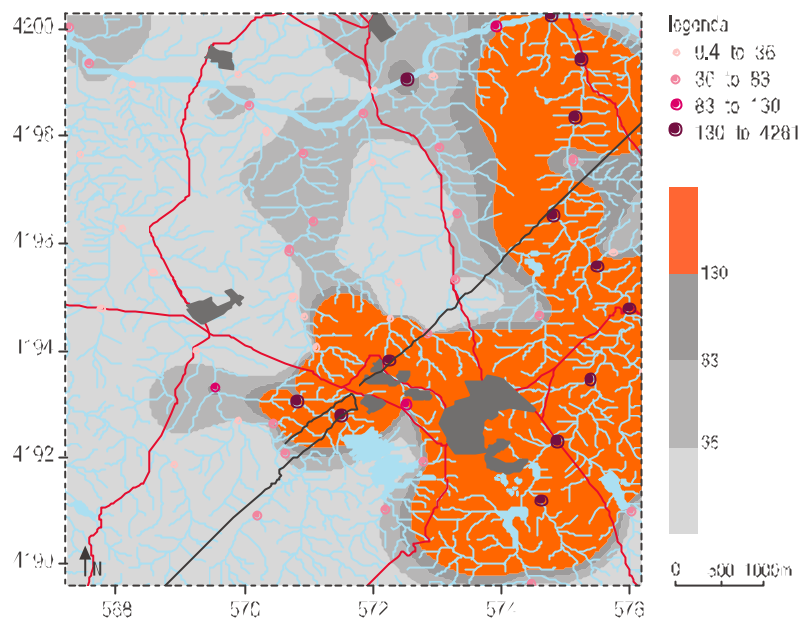


figura 6.16 Mapa de teores do elemento Pb com a escala adaptada aos valores guia de referência

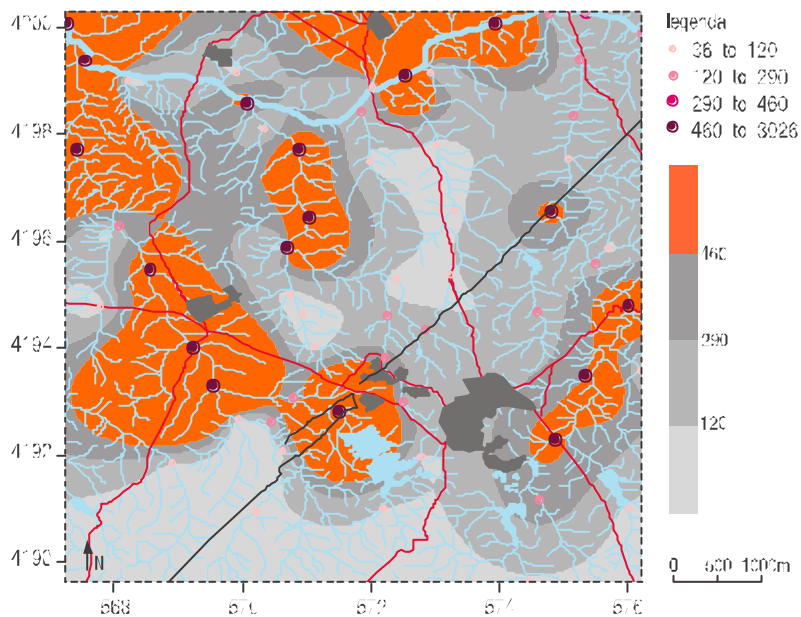


figura 6.17 Mapa de teores do elemento Zn com a escala adaptada aos valores guia de referência

Pela observação das figuras referidas é possível caracterizar a distribuição dos elementos analisados, As, Cd, Cu, Ni, Pb e Zn da seguinte forma:

- › o As apresenta valores superiores ao PEC ao longo de toda a bacia da ribeira de Água Forte, até ao rio Roxo, e também na bacia do Barranco do Farrôbo, na zona da mina de S. João do Deserto
- › o Cd apresenta, em quase toda a área, com excepção de um local na bacia terciária do Sado, perto de S. João, valores inferiores ao PEC

- › o elemento Cu apresenta elevada dispersão ao longo da bacia da ribeira de Água Forte, bacia da ribeira da Água Azêda e ao longo do rio Roxo, com valores superiores ao PEC
- › os teores superiores ao PEC para o elemento Ni apenas se localizam num ponto do rio Roxo
- › o elemento Pb apresenta concentrações superiores ao PEC longo da bacia da ribeira de Água Forte até ao rio Roxo; também se registam valores da mesma ordem de grandeza na bacia do Barranco do Farrôbo, na área circundante da mina de S. João do Deserto
- › o Zn tem teores superiores ao PEC na bacia terciária do Sado, ao longo da bacia do Barranco do Farrôbo e ao longo do rio Roxo

6.5. estudo das fases suporte dos elementos seleccionados

A localização das principais minas abandonadas no nosso país poderá revelar-se de grande importância na interpretação dos padrões geoquímicos apresentados pelos elementos claramente associados a contaminação. Santos Oliveira (1997) e Santos Oliveira *et al.* (2002) efectuaram, à escala nacional, um levantamento destas minas, criando um quadro de referência delineador das principais assinaturas geoquímicas com importância ambiental. Todavia, em solos e sedimentos (meio superficial) as assinaturas geoquímicas produzidas por estas minas deverão revelar-se algo complexas dada a grande variedade litoestratigráfica, litológica e metalogenética das principais zonas geotectónicas. Para a ZSP, na área de Aljustrel, estabeleceram as seguintes associações químicas principais (Ferreira, 2004):

- › explorações de sulfuretos (Cu-Pb-Zn-Fe-As-Sb), acessoriamente com Co, Mn e P
- › explorações de manganês (Mn-Ba-Fe)

Através da análise por extracção química selectiva sequencial, conforme descrito no capítulo 3.3., obteve-se a distribuição das concentrações de As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn [ppm] pelas diferentes fases-suporte, em quatro amostras previamente seleccionadas (K3, N5, L5 e J6). Estes resultados são apresentados nos Anexos VIII e IX. Tendo em consideração os resultados obtidos elaboraram-se os gráficos das figuras 6.18 a 6.25.

A partir dos valores das concentrações obtidas para os elementos As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn [ppm] foram calculadas as percentagens de extracção de cada reagente, conforme tabela apresentada no Anexo IX.

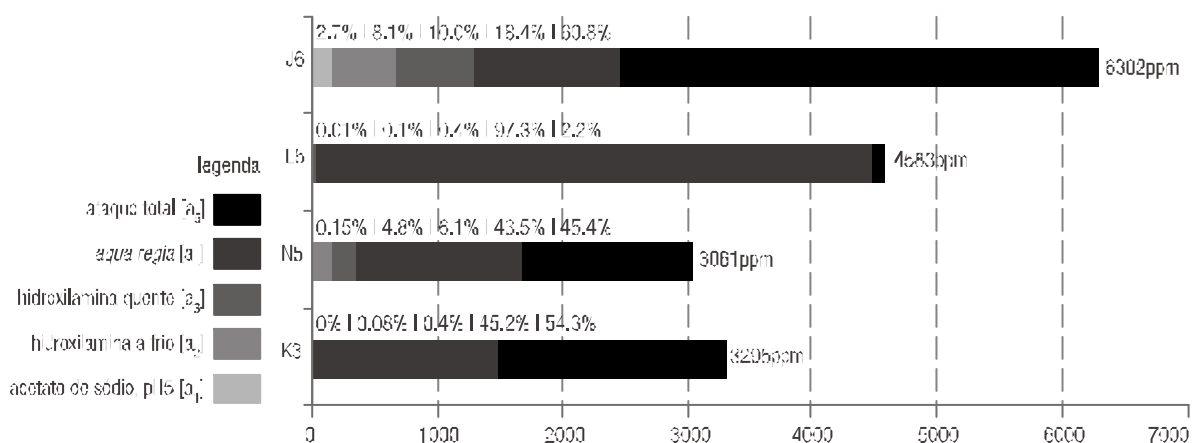


figura 6.18 Gráfico dos teores [ppm] e percentagens de extracção do elemento As para as diferentes amostras e reagentes da sequência de extracção

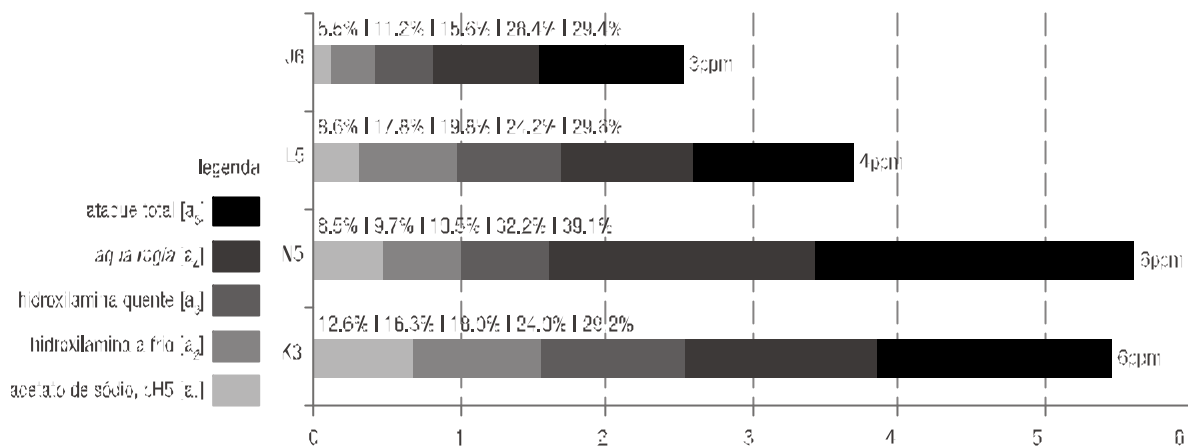


figura 6.19 Gráfico dos teores [ppm] e percentagens de extração do elemento Cd para as diferentes amostras e reagentes da sequência de extração

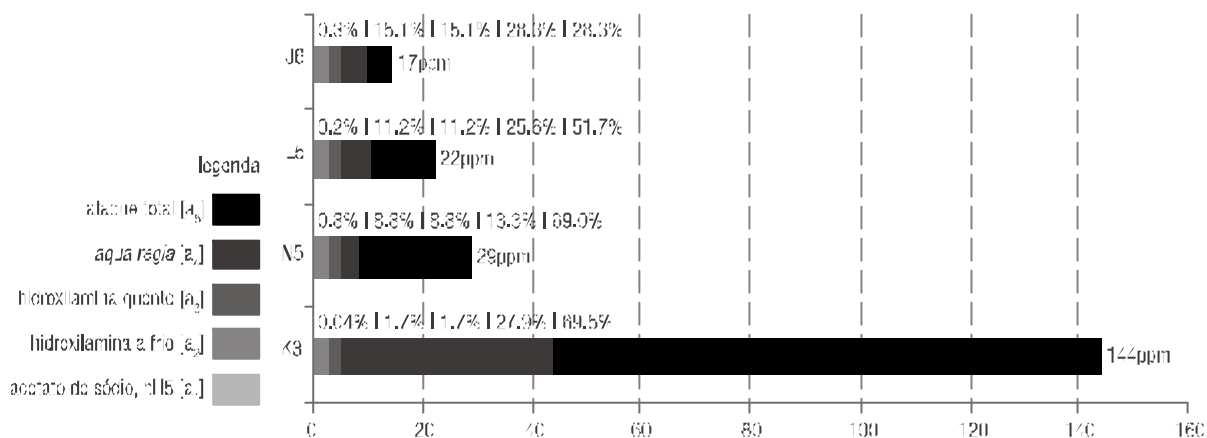


figura 6.20 Gráfico dos teores [ppm] e percentagens de extração do elemento Cr para as diferentes amostras e reagentes da sequência de extração

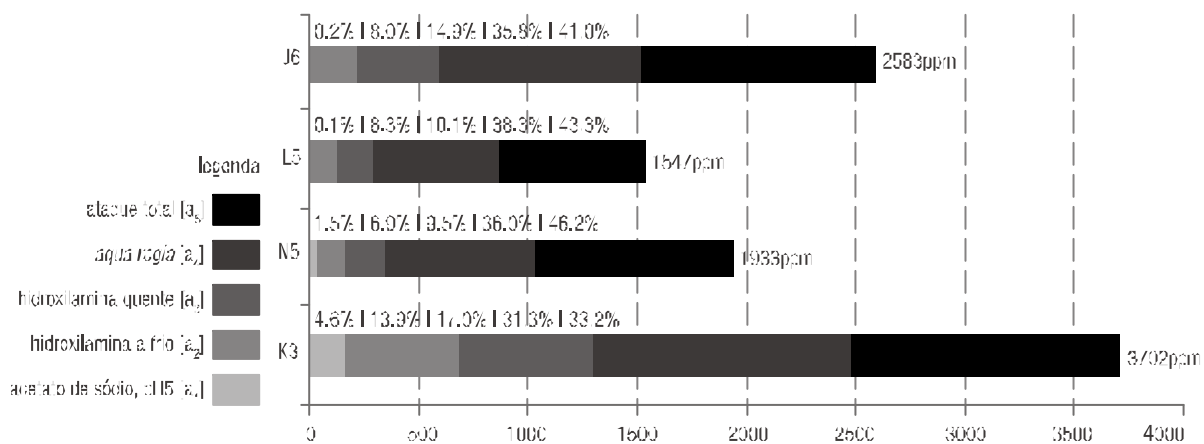


figura 6.21 Gráfico dos teores [ppm] e percentagens de extração do elemento Cu para as diferentes amostras e reagentes da sequência de extração

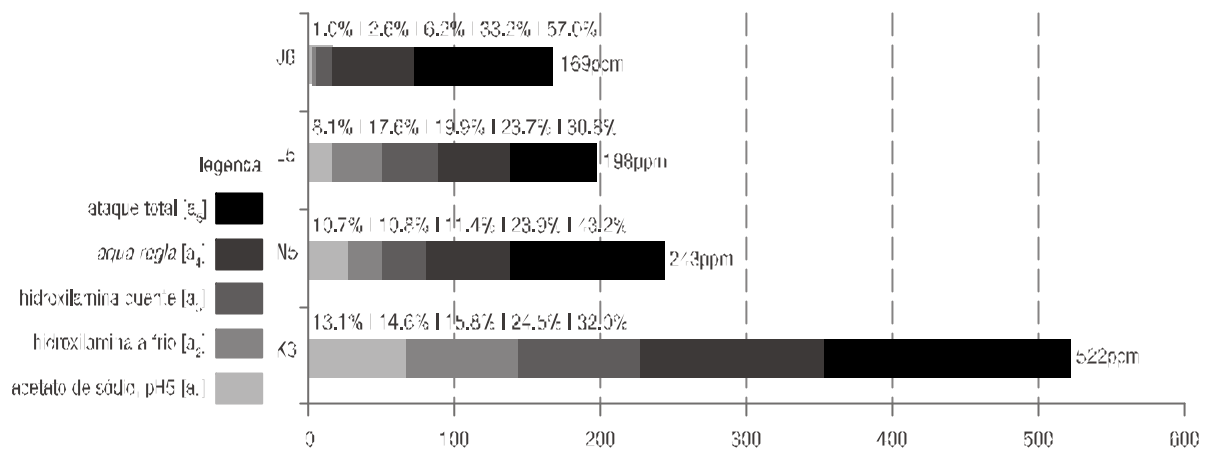


figura 6.22 Gráfico dos teores [ppm] e percentagens de extracção do elemento Vn para as diferentes amostras e reagentes da sequência de extracção

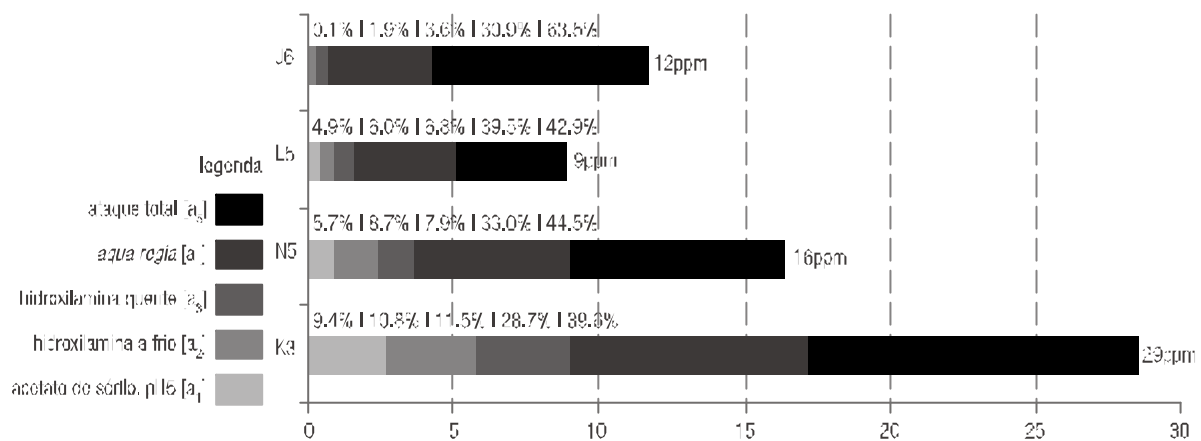


figura 6.23 Gráfico dos teores [ppm] e percentagens de extracção do elemento Ni para as diferentes amostras e reagentes da sequência de extracção

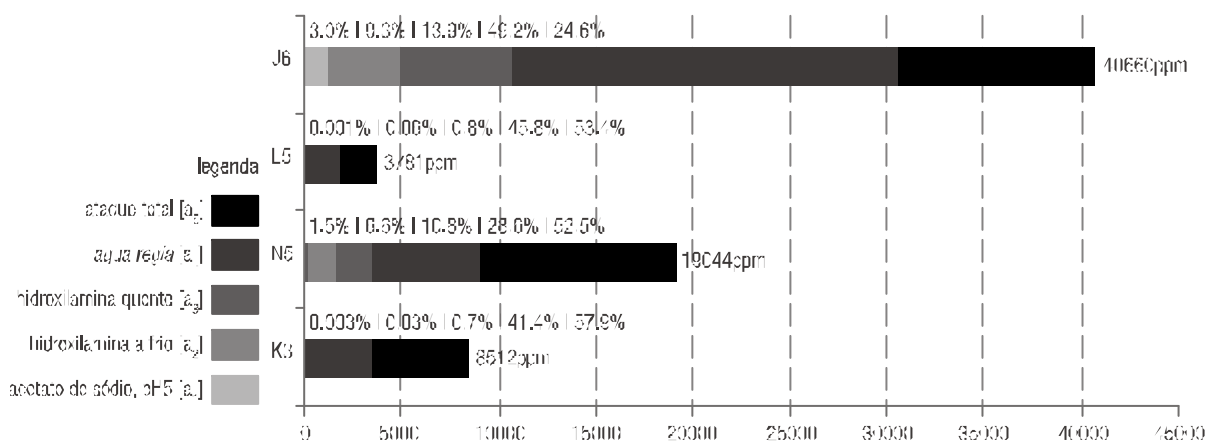


figura 6.24 Gráfico dos teores [ppm] e percentagens de extracção do elemento Pb para as diferentes amostras e reagentes da sequência de extracção

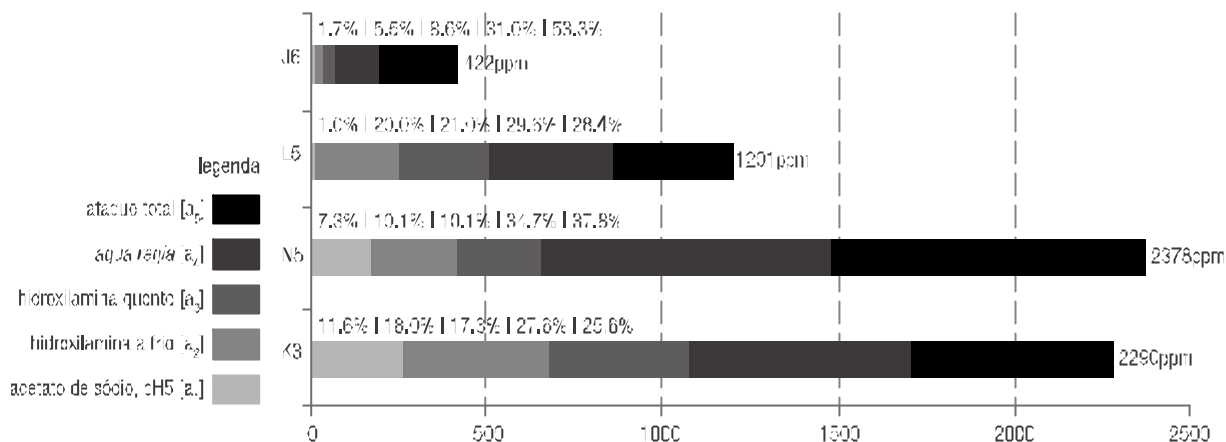


figura 6.25 Gráfico dos teores [ppm] e percentagens de extração do elemento Zn para as diferentes amostras e reagentes da sequência de extração

tabela 6.4 Análise mineralógica das amostras seleccionadas para o estudo da extração química sequencial

	fórmula	K3	N5	L5	J6
Alunite	$KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$	+++	++	+	+
Anidrite	$CaSO_4$	++	+	+	+
Arsenocite	$FeAsS$			v	v
Filossilicatos*	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	+++	-	v	+
Gesso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	-	v	+++++	v
Galena	PbS	v	v	v(?)	v(?)
Goethite	$FeO(OH)$	+	v	+	v
Hematite	Fe_2O_3	-	+	v	v
Jarosite	$KFe^{III}_3(O)_6(SO_4)_2$	++	+++	++++	+++
Magnetite-Maghemite	$Fe_3O_4 - (Fe_2O_3, \gamma-Fe_2O_3)$	++	+-	+++	+-
Opala	$SiO_2 \cdot nH_2O$	v	++	v	v
Pirite	FeS_2	+	+++	++	v
Plagioclase	$(Na, Ca)(Si, Al)_4O_8$	++	+-	v	+
Pumelognite	$PbAl_2(OH)_4(OH)_4 \cdot (H_2O)$	++	v	-	v
Quartzo	SiO_2	++++	++++	-	++++
Siderite	$FeCO_3$	++	v	+	v
Thomsonite	Na_2SO_4	+		+	

legenda: [+, ++, +++, ++++, -] teor médio de abundância; [v, ocorrência vestigial]
 [+, +++, ++++, -] fases mineralógicas que diferenciam, pela sua abundância, a amostra das restantes; [?] incertas;
 [] fases mineralógicas que diferenciam, pela sua ausência, a amostra das restantes; [] essencialmente raras e raras.

As figuras 6.18 a 6.21 apresentam os resultados da extração química selectiva aplicada às diferentes amostras seleccionadas, relativas aos elementos As, Cd, Cr e Cu.

Da observação da figura 6.18 é possível constatar que as fases suporte mais importantes do elemento As, para as quatro amostras estudadas, são os sulfuretos e minerais de argila (arsénio extraído pela *aqua regia*, com percentagem de extração a variar entre 43,5 a 97,3% - amostras N5, K3, L5, por ordem crescente de percentagem de extração) e ainda os silicatos (ataque total com percentagem de extração a variar entre 45,4 e 60,8% - N5, K3, J6).

Deve-se referir que para o elemento As, tendo em consideração os resultados do estudo mineralógico das amostras, este poderá estar associado à presença

de arsenopirite nas amostras de solo, podendo também estar associado à magnetite e pirite. Além disso a percentagem de extracção com acetato de sódio, pH 5.0, (extracção dos catiões permutáveis adicionados pela argila e elementos co-precipitados como os carbonatos) pode variar, em algumas amostras, entre 0.15 e 2.7% (N5 e J6). Estes resultados podem assumir uma grande relevância, já que os teores associados a estas percentagens de extracção (6.9 e 89ppm) são bastante elevados, correspondendo a uma quantidade significativa de As que se encontra na forma biodisponível. De acordo com Reiman & Caritat (1998), valores superiores a 0.06mg/L na água exigem a remediação do local contaminado.

À semelhança da variável As, também o Cd apresenta, como fases-suporte mais importantes, os sulfuretos e minerais de argila (com percentagem de extracção de *aqua regia* a variar entre os 24 e os 32.2% - K3, L5, J6, N5) e os silicatos (percentagem de extracção a variar entre 29.2 e 39.1% - K3, J6, L5, N5, para o ataque total). No entanto constata-se ainda que os teores de Cd se repartem pelas restantes fases suporte (óxidos de ferro amorfos e cristalinos, óxidos de Mn e catiões de troca). De entre estas últimas merece destaque os catiões de troca (percentagem de extracção a variar entre 5.5 e 12.6% - J6, N5, L5, K3) e os óxidos de ferro amorfos (percentagem de extracção a variar entre 9.7 e 17.8% - N5, J6, K3, L5) já que representam as formas de Cd facilmente disponíveis. Tendo em consideração os resultados podemos afirmar que a presença de Cd é justificada pela ocorrência de blenda nas amostras de solo. No entanto ao consultar a tabela 6.4 constata-se que a blenda (ZnS) não foi identificada nas amostras estudadas. Este facto é justificado pelo tipo de amostra utilizado (solo, fracção superior a 2mm) e também pelas concentrações existentes, que não permitem a sua quantificação pelo método de difracção de raios X. O Cd, geralmente, substitui o Zn na rede cristalina da blenda. De acordo com os resultados obtidos constata-se que os teores de Cd facilmente disponíveis podem variar de 0.5 a 1.7ppm. Segundo Reiman & Caritat (1998) valores de Cd acima de 0.004ppm, na água, exigem acções de remediação.

Relativamente aos Cr, apresentado na figura 6.22, verifica-se a dominância dos silicatos como as fases suporte. Os resultados estão de acordo com o contexto geológico onde se inserem as amostras estudadas. Recorde-se que as amostras K3, N5, L5 e J6 se localizam, preferencialmente, nas formações de inferiores e na formação do Paraíso.

O elemento Cu apresenta os sulfuretos e minerais de argila (com percentagem de extracção de *aqua regia* a variar entre os 31.3 e os 38.3% - K3, J6, N5, L5) e os silicatos (percentagem de extracção, para o ataque total, a variar entre 33.2 e 46.2% - K3, J6, L5, N5), como fases-suporte mais importantes. No entanto constata-se que as percentagens de extracção pela hidroxilamina a frio e pela hidroxilamina a quente são significativa. A sua variação dá-se entre os 6.9 e 13.9% (N5, J6, L5, K3), para a primeira, o que revela uma componente importante em óxidos de ferro amorfos, e entre 9.5 e 17.0% (N5, L5, J6, K3) demonstrando uma importante componente em óxidos de Fe amorfo e cristalino e óxidos de Mn cristalino, para a hidroxilamina a quente.

As figuras 6.22 a 6.24 apresentam os resultados da extracção química selectiva, das diferentes amostras estudadas, para os elementos Mn, Ni e Pb.

Da análise do gráfico relativo ao Ni constata-se que os teores se repartem, preferencialmente, pelos silicatos (com uma percentagem de extracção, para o ataque total, a variar entre os 39.6 e 63.5% - K3, L5, N5, J6) e pelos sulfuretos

e minerais de argila (percentagem de extracção, para a *aqua regia*, a variar entre os 28.7 e os 39.5% - K3, J6, N5, L5), constituindo fases em que o Ni se encontra numa forma dificilmente disponível. Refira-se que apesar dos valores obtidos para o acetato de sódio se apresentarem relativamente, elevados, em algumas amostras, estes não constituem um problema, já que os valores das concentrações totais de Ni nas amostras de solo são bastante baixos.

Contrariamente ao elemento anterior o Pb apresenta concentrações extremamente elevadas (valores que variam entre 3781 e 40660ppm). Os resultados obtidos indicam que, para a maioria das amostras, a presença de galena (PbS) é responsável pelos elevados teores de Pb nas amostras de solo, já que as percentagens de chumbo extraído pela *aqua regia* variam entre os 28.6 e os 49.2% (N5, K3, L5, J6). Constatou-se que o resíduo silicatado apresenta valores de percentagem de extracção bastante elevados. Não deve ser posta de lado a importância dos hidróxidos de Pb, representados na amostra K3 pela plumbogummita ($PbAl_3(PO_4)_2(OH)_3 \cdot (H_2O)$).

Refira-se ainda que a percentagem de extracção associada ao acetato de sódio é relativamente baixa na maioria das amostras. Este resultado é justificado pelo facto do elemento Pb se ligar, fortemente, à matéria orgânica presente nos solos, dificultando assim a sua mobilização para as águas subterrâneas.

A figura 6.25 apresenta os resultados da extracção química selectiva do elemento Zn, para as quatro amostras seleccionadas.

Da análise da figura constata-se que as fases suporte mais importantes do Zn são os sulfuretos e minerais argilosos (percentagem de extracção, para a *aqua regia*, com variação entre os 27.6 e 34.7% - K3, L5, J6, N5) e os silicatos (com uma percentagem de extracção a variar entre 25.6 e 53.3% - K3, L5, N5, J6, para o ataque total).

À semelhança do elemento Pb as amostras de solo apresentam, também, valores de Zn elevados (teores que variam entre 422 e 2378ppm). Também se pode referir que uma percentagem significativa de zinco está associada aos óxidos de ferro e de manganês, o que está de acordo com a facilidade deste elemento co-precipitar com os óxidos de Fe e Mn. Os valores de percentagem de extracção obtidos, para o acetato de sódio, (com variação entre os 7.3 e 11.6% - N5, K3) merecem destaque, já que, tendo em consideração os valores elevados das concentrações totais, os valores de Zn disponível podem ser considerados preocupantes (174 e 265ppm), uma vez que podem ser facilmente mobilizados para a água superficial e interferir com as escorrências locais.

Como seria de esperar as imagens obtidas para o Zn e para o Cd são semelhantes, o que indica a forte correlação existente entre estes dois elementos, já que se encontram associados à mesma fase mineralógica (blenda).

7. conclusões

Neste trabalho procurou-se fazer uma caracterização geoquímica detalhada da área envolvente à área mineira de Aljustrel tendo em atenção as orientações propostas nos projectos de investigação e *Ecorisk - A regional Enterprise Network Decision Support System for Environmental Risk and Disaster Management of Large-Scale Industrial Spills* (contract n.º EV41-CT-2002-00068) (Projecto Europeu) e *EVALUSE - Vulnerabilidade Ambiental da Área Mineira de Aljustrel em Termos de Ocupação do Solo*.

A mina de Aljustrel localiza-se na Faixa Piritosa Ibérica (FPI), mundialmente reconhecida pela sua riqueza em jazigos de sulfuretos maciços vulcanogénicos. Os jazigos de sulfuretos da FPI encontram-se associados a uma formação geológica constituída por rochas vulcânicas e sedimentares (Complexo Vulcano-Sedimentar). No centro mineiro de Aljustrel conhecem-se reservas superiores a 250 milhões de toneladas de pirite o que faz desta mina uma das maiores da Faixa, a par de Neves Corvo (mina em actividade localizada próximo de Almodôvar), e de Rio Tinto, Los Frailes-Aznalcollar, Tharsis, La Zarza e Sotiel-Migollas (áreas mineiras actualmente abandonadas e situadas em Espanha) [w4].

A geologia de Aljustrel é caracterizada por um soco paleozóico da zona Sul-Portuguesa, representado pela formação de Mértola, com cerca de 340 a 330 milhões de anos, e pelo complexo Vulcano-Sedimentar da FPI, com cerca de 352 a 330 milhões de anos. As rochas do soco evidenciam uma orientação NW-SE e apresentam um forte controlo estrutural, manifestado por cavalgamentos vergentes para SW e por falhas tardias de orientação N-S e NE-SW. Estes sistemas são representados respectivamente pelos desligamentos subverticais de movimentação direita de Azinhal, Feitais, Represa e Castelo e pela falha da Messejana, de componente normal esquerda. A NW da falha da Messejana o soco Paleozóico encontra-se coberto por sedimentos da bacia Terciária do Sado, representados por areias, argilas, conglomerados e carbonatos. Resumidamente podemos dizer que em Aljustrel afloram [w5] as seguintes unidades geológicas do soco varisco:

- grupo do *Flysch* do Baixo Alentejo:
 - formação de Mértola (Viseano superior) - turbiditos; grauvaques, siltitos, xistos e conglomerados
 - faixa Piritosa Ibérica
- complexo Vulcano-Sedimentar (Fameniano superior - Viseano inferior)
 - formação do Paraíso: xistos argilosos, xistos siliciosos, xistos negros, xistos borra-de-vinho, jaspes, chertes, rochas vulcanoclásticas, mineralizações de óxidos de Fe e Mn
 - sequência vulcânica: vulcanito Felsítico/ vulcanito da Mina, vulcanito Verde/ vulcanito Megacristais – metavulcanitos ácidos e intermédio-ácidos porfíricos localmente com forte alteração sericítica, felsófiros, lavas, brechas vulcanoclásticas, sulfuretos maciços
 - xistos negros de S. João: xistos negros, brechas

A mineração milenar em Aljustrel reflecte-se actualmente em vastas áreas ocupadas por escombreyras com minério, escórias e rochas encaixantes das mineralizações de sulfuretos. A geração de águas ácidas por alteração dos minérios do pirite (drenagem ácida de mina) provoca um impacto significativo na rede hidrográfica, quer da zona sul da vila (ribeira de Água Forte) quer na região norte da mesma (ribeira da Água Azeda e barranco do Farrobo) [w5].

Com o intuito de concretizar esse propósito foi efectuado um levantamento dos problemas que afectam a zona, dos objectivos da avaliação de risco, das técnicas e métodos usados na avaliação e dos limites da aplicação da avaliação dos riscos.

Para a caracterização geoquímica da área foram recolhidas 356 amostras de solos e 67 amostras de sedimentos de corrente, que foram analisadas por métodos estatísticos univariados, bivariados e multivariados.

Deste estudo pode-se concluir que para os solos:

- › a escala de variabilidade dos elementos nas amostras de solo é: Cd > Bi > Pb > Zn > Sb > As > Cu > Sn > Mo > W > Mn > Na > Fe > Co > Sr > P > Ni > Ba > Cr > Rb > K > V > Al;
- › a análise conjunta dos mapas de teores permitiu constatar que a zona próxima da mina de Algares apresenta teores elevados em As, Bi, Cd, Co, Cu, Fe, Mo, P, Pb, Rb, Sb, Sn, W enquanto que a zona de S. João do Deserto se caracteriza por apresentar teores elevados em As, Cd, Co, Cu, Fe, Mo, Rb e Zn, sendo que a zona mais afectada é a que se localiza nas proximidades das barragens de Estéreis e Água Forte. Na zona envolvente às ocorrências/mineralizações de Mn constata-se que os teores mais significativos estão associados às variáveis Ba, Mn, Mo, Ni, W. As áreas relativas aos grauvaques de Água Forte e formação de xistos do Mau Ladrão contêm teores elevados nos elementos Al, Cr, K, Na, P, Rb, Sr, V.
- › a análise em componentes principais permitiu identificar cinco grupos de associações de elementos:
 - . grupo i, com Fe, Cu, Pb, Sb, As, Bi e Sn, que destaca as zonas das escombreliras de Algares/Feitais e das barragens de Estéreis e de Águas Claras, o que evidencia uma forte ligação com os depósitos de sulfuretos típicos da área em estudo
 - . grupo ii, com V, Cr, Ba, Al, Ni, K e Rb, revela uma forte ligação à geologia da zona, tipicamente ao grupo Culm, onde os filitos e quartzitos dominam
 - . grupo iii, com Co, Cd e Zn, indica uma associação às formações do sub Culm
 - . grupo iv, com W, Mn e Mo, o que destaca a forte associação às antigas explorações de manganês
 - . grupo v, com Na e Sr, indica uma associação à zona da bacia terciária do Sado

Relativamente aos sedimentos de corrente, das diferentes sub-bacias hidrográficas afluentes da ribeira do Roxo, pode-se concluir deste estudo que:

- › as variáveis que apresentam os coeficientes de variação mais elevados são Bi > Pb, As > Sb > Cu, Sn > Mo, Cd justificados pela presença de valores extremos (*outliers*); estas variáveis traduzem, na sua globalidade, os elementos representativos da mineralização de sulfuretos maciços vulcanogénicos
- › a ribeira de Água Forte apresenta valores elevados de Al, As, Ba, Bi, Cd, Cu, Fe, Mn, P, Pb, Sb, Sn e Zn; esta linha de água recebe os transbordos da barragem de Água Forte assim como outras escorrências superficiais da antiga área mineira e da ETAR; é uma linha de água também afectada pela introdução de material das escombreliras de Algares (dispersão mecânica), além de um forte contributo da drenagem ácida de mina (dispersão química)

- › a ribeira de Água Azeda apresenta valores elevados de Al, As, Ba, Bi, Cd, Cu, Fe, Mn, P, Pb, Sb, Sn e Zn; os volumes de águas ácidas e de materiais das escombreyras recebidos por esta ribeira, são substancialmente inferiores aos dos da ribeira da Água Forte
- › a bacia do barranco do Farrôbo apresenta os valores mais elevados em As, Bi, Cu, Fe, Mo, Na, Pb e Sb, denotando-se uma forte ligação dos valores registados ao contexto geológico local
- › na ribeira do Roxo é possível observar elevados teores de Ba, Cu, Cr, Mn, Sr e V. Esta ribeira recebe os afluentes das ribeiras de Água Forte e Água Azêda, além do barranco do Farrôbo, denotando-se, por isso, uma forte influência antrópica
- › as variáveis Al, Ba, K e Rb permitem, por outro lado, efectuar a separação entre a bacia Terceária do Sado (teores mais baixos) e o complexo Vulcano-Sedimentar (teores mais elevados), sendo essa separação coincidente com a falha da Messejana
- › merece especial destaque a variável W por apresentar um comportamento distinto das restantes variáveis; este elemento apresenta os teores mais elevados perto dos aterros sanitários da vila de Aljustrel; é evidente a presença de uma forte componente antrópica nas ribeiras estudadas, já que os elementos associados estão presentes na paragénese dos sulfuretos maciços
- › a análise em componentes principais permitiu identificar cinco grupos de associações de elementos:
 - grupo vi, com Sr, Mo, Pb, Sb, Bi, As, W e Fe, associações com mais importância na ribeira de Água Forte; esta recebe os transbordos da barragem de Água Forte e outras escorrências superficiais da antiga área mineira e da ETAR; esta linha de água é também afectada pela introdução de material das escombreyras de Algares além de um forte contributo da drenagem ácida de mina
 - grupo vii, com Al, K, Ni, Cr, Ba e Rb, revela uma forte ligação à geologia onde dominam os fillitos e quartzitos
 - grupo viii, com a variável Mn, reflecte a localização das mineralizações de manganês que ocorrem nesta área
 - grupo ix, com Zn, Cu, Cd e Co, reflectem a actividade mineira da região
 - grupo x, com Na e Sr, associado à geologia da área estudada
 - grupo xi, com F, explicado pelas áreas de influência das ETAR's existentes na região envolvente à vila de Aljustrel

Podem-se então concluir que se dá a presença de uma forte componente antrópica nas ribeiras estudadas, já que os elementos associados são representativos da paragénese dos sulfuretos maciços; a zona mais afectada corresponde à ribeira da Água Forte já que os teores registados foram os mais elevados e uma vez que a extensão da zona afectada é comparativamente maior dos que nas restantes bacias.

A avaliação da toxicidade dos solos foi efectuada tendo como referência aos valores guia, propostos por Ferreira (2001), em particular, para os elementos As, Cd, Cu, Ni, Pb e Zn. A análise conjunta dos resultados, permitiu concluir que os teores superiores aos valores guia de As, Cd, Cu, Ni, Pb e Zn estão correlacionados com as ocorrências minerais e/ou antigas explorações mineiras. É de notar que o padrão geoquímico apresentado pelo Cu e Pb sugere, para além das considerações anteriores, contribuições antrópicas de

outras origens. A distribuição de Pb ao longo da área estudada pode ser justificada pela acção combinada de dispersão mecânica com a dispersão química.

O estudo de amostras de solo colhidas nas áreas consideradas de risco permitiu concluir que o As, Cu, Cd, Pb e Zn constituem os elementos a ter em especial atenção, já que uma percentagem significativa dos teores está associada aos catiões de troca e conseqüentemente na forma biodisponível.

Os estudos efectuados em solos e sedimentos de corrente, objecto de análise desta tese de mestrado, correspondem aos elementos fundamentais da avaliação de risco ambiental indicados por Asante-Duah (1998) (tabela 6.1). Foi efectuada uma avaliação das características do local, avaliação da contaminação e da exposição potencial. Foi também efectuada uma selecção de pontos a recolher amostras, ou seja, os pontos críticos, seguida de uma caracterização de risco ecológico. Estes elementos correspondem aos da tabela 6.2, dos mesmos autores, onde são indicados os pontos essenciais a apresentar num relatório de caracterização de risco ambiental. Neste trabalho apenas não se incluem a estimativa do risco humano, dos efeitos sistémicos dos elementos tóxicos e do perigo e efeito ecológico, ou seja, os elementos finais da referida tabela, por se encontrarem fora do âmbito deste trabalho.

8. referências bibliográficas

- ACME (2007): *Acme Labs Schedule of Services and Fees*, 35pp.
- ALLAN, J.C. (1965): *A mineração em Portugal na Antiguidade*; separate do Boletim de Minas, v. II, n.º 3, 137-218. Direcção geral de Geologia e Minas, Lisboa
- ANDONAEGUI, P.; VILLASECA, C.; LÓPEZ GARCIA, J.A. (2005): *Caracterización de los minerales del dique gabroideo de Mesejana-Plasencia en su sector nor-oriental*; *Geogaceta* 38, Espanha
- ANDRADE, R.F. (1967): *As minas de Aljustrel*; Boletim de Minas 4 (2), Abril-Junho
- ASANTE-DUAH, D.K. (1996): *Managing contaminated sites: problem diagnosis and development of site restoration*; J. Wiley, UK
- ASANTE-DUAH, D.K. (1998): *Risk assessment in environmental management*; Wiley, USA
- AXTMANN, E.V.; LUOMA, S.N. (1991): *Large-scale distribution of metal contamination in the fine-grained sediments of the Clark Fork River, Montana, U.S.A*; *Applied Geochemistry*
- BARRIGA, F.S. (1983): *Hydrothermal metamorphism and ore genesis at Aljustrel, Iberian Pyrite Belt*; Universidade de Ontario, Canada
- BARRIGA, F.S. (1990): *Metallogenesis in the Iberian Pyrite Belt*; *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, Alemanha
- BARRIGA, F.S. (1997): *Introduction to the Iberian Pyrite Belt*; Society of Economic Geologists, Guidebook Series, v. 27
- BARRIGA, F.J.S.; CARVALHO, D.; RIBEIRO, A. (1997): *Introduction to the Iberian Pyrite Belt*; SEG Neves Field Conference.. Guidebook Series
- BARRIGA, F.S.; FYFE, W.S. (1988): *Giant Pyritic basemetal deposits: the example of Feitais (Aljustrel, Portugal)*; *Chemical Geol.*
- BARRIGA, F.S.; FYFE, W.S. (1997): *Multi-phase water-rhyolite interaction and ore fluid generation at Aljustrel, Portugal*; *Mineralium Deposita*
- BARTELL, S.M.; GARDNER, R.H.; O'NEILL, R.V. (1992): *Ecological risk estimation*; Lewis Publishers, U.K.
- BC Ministry of Environment, Lands and Parks (1999): *Criteria for managing contaminated sediment in British Columbia (Draft)*; Prepared pursuant to Section 26(1) of the Waste Management Act
- BLANCHARD, R. (1968): *Interpretation of leached outcrops*; *Reno Boletim Municipal de Aljustrel*; Câmara Municipal de Aljustrel
- BOTELHO DA COSTA, J. (1995): *Caracterização e constituição do solo*; Fundação Calouste Gulbenkian, 5ª edição, Lisboa
- BRADLEY, C.E.; SMITH, D.G. (1989): *Plains cottonwood recruitment and survival on a prairie meandering river floodplain. Milk River, Southern Alberta in Northern Canada*; *Can J Botany*
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. (1996): *The Nature and Properties of Soils*; Eleventh edition. Prentice Hall International Editions
- BROOKS, S.M. (1995): *Environmental medicine*; Mosby-year Book, Inc., MO
- CABRAL, J.A.C.N. e vinte outros (1888) : *Catálogo da Comissão Executiva da Secção de Minas*; Exposição Industrial Portuguesa, Lisboa
- CARDOSO FONSECA, E.; SERRRANO PINTO, M. (1977): *Uso do limiar de anomalia em prospecção geoquímica: visão geral e alguns comentários*; *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 62
- CARDOSO, J.C. (1965): *Os solos de Portugal, sua classificação, caracterização e génese. A sul do rio Tejo*; Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa

- CARDOSO, J.C. (1974): *Classificação dos solos de Portugal - nova versão*; Boletim de solos (SROA), 17, Lisboa
- CARDOSO, J.C. (1995): *Utilização da análise em componentes principais, variografia e krigagem factorial na identificação de anomalias geoquímicas, empregando sedimentos de linhas de água como meio amostral*; tese de doutoramento, Universidade de Aveiro
- CARDOSO, J.C.; BESSA, M.T.; MARADO, M.B. (1971): *Carta de solos do serviço de reconhecimento e de ordenamento agrário*; escala 1:100000; Comissão Nacional do Ambiente, Lisboa
- CARDOSO, J.C.; BESSA, M.T.; MARADO, M.B. (1973): *Carta dos solos de Portugal*; escala 1:1000000; Agronomia Lusitana, Lisboa
- CARRIÇO, M.C.A. (1999): *Aplicação de métodos geomatemáticos no tratamento de dados geoquímicos de sedimentos de linhas de água na zona compreendida entre Moimenta da Beira e Armamar*; tese de mestrado, Universidade de Aveiro
- CARUCCIO, F.T. (1975): *Estimating the acid potential of coal mine refuse; The ecology of resource degradation and renewal*; Blackwell Sci. Publ.
- CARVALHO CARDOSO, J.V.J. (1965): *Os solos de Portugal, sua classificação, caracterização e génese - 1 A sul do Rio Tejo*; Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa
- CARVALHO, D. (1976): *Considerações sobre o vulcanismo de Cercal-Odemira, suas relações com a Faixa Piritosa Ibérica*; Com. Serviços Geológicos de Portugal, v. 60
- CARVALHO, D. (1979): *Geologia, metalogenia e metodologia da investigação de sulfuretos polimetálicos do Sul de Portugal*; Com. Serviços Geológicos de Portugal, v. 65
- CARVALHO, D. (1982): *New paths of massive sulphide exploitation in the Iberian Pyrite Belt*; Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, v. 60
- CARVALHO, D.; BARRIGA, F.J.A.S.; MUNHÁ, J. (1999): *Bimodal-siliciclastic systems – the case of the Iberian Pyrite Belt*; Reviews in Economic Geology, v. 8
- CARVALHO, D.; BARRIGA, F.J.A.S.; RIBEIRO, A. (1997a): *Introduction to the Iberian Pyrite Belt*; SEG Neves Field Conference. Guidebook Series, v..27
- CARVALHO, D.; BARRIGA, F.J.A.S.; RIBEIRO, A. (1997b): *The Iberian Pyrite Belt of Portugal and Spain: examples of bimodal siliciclastic systems*; Barrie T and Hannington M., eds., Volcanic-associated sulfide deposits: processes and examples in modern and Ancient settings, Reviews in economic geology
- CARVALHO, D.; CORREIA, H.; INVERNO, C. (1976): *Contribuição para o conhecimento geológico do Grupo Ferreira-Ficalho. Suas relações com a Faixa Piritosa e o Grupo Pulo do Lobo*; Mem. E not., Mus. Lab. Min. Geol., Universidade de Coimbra, n.º 82
- CARVALHO, D.; GOINHAS, J. OLIVEIRA, V., RIBEIRO, A. (1971a): *Observações sobre a geologia do sul de Portugal e consequências metalogénicas: estudos notas e trabalhos*; Serviço do Fomento Mineiro, v. 20
- CARVALHO, D.; SCHERMERHORN, L., GOINHAS, J.A.C. (1971b): *Principais jazigos minerais do Sul de Portugal*; I Congresso Hispano-Luso-Americano de Geologia Económica. Direcção Geral de Geologia e Minas e Serviços Geológicos. Livro-guia da Excursão

- CBSQG (2000): *Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems*; Arch. Environ. Contam. Toxicol.
- CNROA, Centro Nacional de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (1972): *Carta de solos e de capacidade de uso de solos de Portugal*, n.º 529, escala 1:25000; Direcção-geral da Agricultura e Desenvolvimento Rural, Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Lisboa, Portugal
- CHAMINÉ, H.I. (2000): *Estratigrafia e estrutura da faixa metamórfica de Espinho - Albergaria-a-Velha (zona de Ossa-Morena): implicações geodinâmicas*; Tese de Doutoramento, Universidade do Porto
- CHAMINÉ, H.I.; GAMA PEREIRA, L.C.; FONSECA, P.E.; NORONHA, F.; LEMOS DE SOUSA, M.J. (2003): *Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto - Albergaria-a-Velha - Coimbra - Tomar, entre as zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (maciço Ibérico, W de Portugal)*; Cadernos Laboratório Xeolóxico de Laxe, A Coruña
- CORREIA, E.C.L. (2005): *Definição dos padrões químicos e geológicos naturais do Paul de Arzila e a sua envolvente*; tese de Mestrado, Universidade de Aveiro
- COUTO, R. (2002): *Arrancamento das pregagens e cabos de aço na mina do Moinho - Aljustrel*; 8º Congresso Nacional de Geotecnia, Portugal
- CROUNSE, R.; PORIES, W.; BRAY, J.; RICHARD, M. (1983): *Geochemistry and man: health and disease*; Applied environmental geochemistry, London; Academic Press Geology Series
- CSST (2003): *Consensus based sediment quality guidelines; Recommendations for use & application*; Wisconsin, Dep. of Natural Resources. 35
- DARNLEY, A.G.; BJORKLUND, A.; BOLVIKEN, B.; GUSTAVSSON, N.; KOVAL, P.V.; PLANT, J.A.; STEENFELT, A.; TAUCHID, M.; XUEJING, X. (1995): *A global geochemical database for environmental and resource management; Recommendations for international geochemical mapping*; Unesco Publishing
- DAVIS, C.E. (1993): *The politics of hazardous waste*; Prentice-Hall, USA
- DAVIS, J.C. (1986): *Statistics and data analysis in geology*; John Wiley & Sons, inc., New York, 2nd ed.
- DAWSON, G. L.; CAESSA, P.; ALVERCA, R.; SOUSA, J. C. (2001): *Geology of the Aljustrel Mine area, southern Portugal*; GEODE Workshop "Massive sulfide deposits in the Iberian Pyrite Belt: New advances and comparisons with equivalent systems", Aracena, Spain, October 2001; Aljustrel, Eurozinc, Aljustrel Field Trip Guidebook
- DELGADO, J.F.N. (1910): *Sistemas de lavra da Mina de S. Domingos (1854-1966)*; Mineração no Baixo Alentejo, Câmara Municipal de Castro Verde
- DOMERGUE, C. (1983): *La mine antique d'Aljustrel (Portugal) et les tables de bronze de Vipassa*; Conimbriga, Coimbra, v. XXII
- DOMERGUE, C. ; ANDRADE, R.F. (1971): *Sondagens 1967 et 1969 à Aljustrel (Portugal)*; Note préliminaire, Conimbriga, X, Universidade de Coimbra
- EUROZINC (1999): *Eurozinc Group Technical Information*
- EUROZINC (2000): *Eurozinc Group Technical Information*
- EUROZINC (2005): *Eurozinc Group Technical Information*
- EUROZINC (2007): *Eurozinc Group Technical Information*
- EVANS, L.J. (1989): *Chemistry of metal retention by soils*; in Environmental Science and Technology, 23

- FABIÃO, C. (1982): *O passado proto-histórico e romano*; História de Portugal, dir. J. Mattoso, primeiro volume
- FAN, A.M.; CHANG, L.W. (1996): *Toxicology and risk assessment: principles, methods, and applications*; Marcel Dekker, USA
- FAO (1988): *FAO/UNESCO Soils map of the world: revised legend*; World resources report 60; FAO, Roma
- FARIA, F.L.; LOUIS, J.; CARVALHO, D. SILVA, L.M.; CARNEIRO, F.H.S. (1976): *Programa de aproveitamento dos recursos minerais; Pirites e minérios de Cu, Pb e Zn. I – Pirites. Relatório do grupo de trabalho n.º 4*; Boletim de Minas, Lisboa, v. 13 (1)
- FARIAS, P.; GALLASTEGUI, G.; GONZALEZ LODEIRO, F.; MARQUINEZ, J.; MARTÍN PARRA, L.M.; MARTÍNEZ CATÁLAN, J.R.; PABLO MACIA, J.G.; RODRÍGUEZ FERNANDEZ, L.R. (1987): *Aportaciones al conocimiento de la litoestratigrafía y estructura de Galicia Central*; in: IX Reunión sobre a Geologia do Oeste Peninsular; Memórias Mus. Lab. Miner. Geol. Fac. Ciências da Universidade do Porto, Porto
- FERRÃO, C.N. (1985): *Estudos mineralúrgicos do Jazigo do Moinho realizados na Lavaria Piloto da E.D.M.A.*; Boletim de Minas, Lisboa, v. 22
- FERREIRA, A.M. (1993): *Uso de sedimentos de corrente (amostragem de baixa densidade) na caracterização geoquímica das bacias dos rios Vouga e Mira - implicações em cartografia geoquímica regional*; Dissertação de Mestrado; Universidade de Aveiro
- FERREIRA, M.M.S.I. (2004): *Dados geoquímicos de base de solos de Portugal Continental, utilizando amostragem de baixa densidade*; Tese de doutoramento, Universidade de Aveiro
- FERREIRA, N.; IGLÉSIAS, M.; NORONHA, F.; PEREIRA, E.; RIBEIRO, A.; RIBEIRO, M.L. (1987): *Granitóides da zona Centro-Ibérica e seu enquadramento geodinâmico*; in: F. Bea, A. Carnicero, J.C. Gonzalo, M. López Plaza e M.D. Rodríguez Alonso (eds.): *Geologia de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hesperico*; Editorial Rueda, Madrid
- FONSECA, M.S.; MARADO, M.O. (1991): *Carta de solos de Portugal*; escala 1:2000000; Enquadramento das unidades taxonómicas da classificação do CNROA na legenda da FAO, Lisboa
- FREIRE D'ANDRADE, R. (1967): *As minas de Aljustrel*; Boletim de Minas, Lisboa, v. 4 (2)
- GAMA PEREIRA, L.C. (1978): *Tipologia e evolução da sutura entre a zona Centro Ibérica e a zona de Ossa-Morena no sector entre Alvaiázere e Figueiró dos Vinhos (Portugal Central)*; Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra
- GASPAR, O.C. (1991): *Paragenesis of the Neves-Corvo vulcanogenic massive sulphides*; Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, t. 77
- GASPAR, O.C. (1996): *Microscopia e petrologia de minérios aplicados à génese, exploração e mineralogia dos sulfuretos maciços dos jazigos de Aljustrel e Neves-Corvo*; Estudos, Notas e Trabalhos do Instituto Geológico e Mineiro, t. 38
- GASPAR, O.C. (1998): *História da Mineração dos depósitos de Sulfuretos Maciços Vulcanogénicos da Faixa Piritosa Portuguesa*; Boletim de Minas, Lisboa, v. 35
- GLANZMAN, R.K.; CLOSS, L.G. (1993): *Quality assurance and control guidelines for exploration and environmental geochemistry investigation*; Explore

- GOMES, C.S.F. (1988): *Argilas, o que são e para que servem*; Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa
- HUERTOS, G. (1998): *Mineralogia y medio ambiente*; Boletín de la Sociedade Espanola de Mineralogia, 21
- IGM (2000): *Portugal - Exploration and Mining*; Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa
- INGLÉZ, A. (1932): *Minas do Distrito de Beja*; Álbum Alentejano
- ICAT, INSTITUTO de CIÊNCIA APLICADA e TECNOLOGIA (1998): *Levantamento dos problemas ambientais decorrentes da actividade mineira em Aljustrel*
- JULIVERT, M.; FONTBOTÉ, J.M.; CONDE, L. (1974): *Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares*; Instituto Geológico Minero, España, Madrid
- KENDALL, R.J.; LACHER, T.E.; BUNCK, C.; DANIEL, B.; DRIVER, C.; GRUE, C.E.; LEIGHTON, F.; STANSLEY, W.; WATANABE, P.G.; WHITWORTH, M. (1996): *An ecological risk assessment of lead shot exposure in non-waterfowl avian species: upland game birds and raptors*; Environ Toxicol Chem
- KOROS, E. (1989): *Entry of metals and non-metals into biological systems: The Biogeochemical cycle of elements in nature*; Hungarian Academy of Sciences
- KOSAKEVITCH, P. (1979): *Measurement of the surface tensions of Fe-saturated iron silicate and Fe-saturated calcium ferrite melts by Padday's cone technique*
- KUME, H. (1993): *Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade*. 11^o ed. São Paulo
- LÅG, J. (1983): *Geomedicine in Scandinavia; Applied environmental geochemistry*; Academic Press Geology Séries; London
- LÅG, J. (1991): *Geomedical aspects of geochemical environments*; Environmental geochemistry in Northern Europe: Geological Survey of Finland, Special Paper
- LEÇA, X.; RIBEIRO, A.; OLIVEIRA, J.T.; SILVA, J.B.; ALBOUY, L.; CARVALHO, P.; MERINO, H. (1983): *Cadre géologique des minéralisations de Neves Corvo, Baixo Alentejo, Portugal*; Lithostratigraphie, paléogéographie et tectonique. Mém. BRGM, v. 121
- LEISTEL, J.M.; BONIJOLY, D.; BRAUX, C.; FREYSSINET, Ph., KOSAKEVITCH, A.; LEÇA, X.; LESCUYER, J.L.; MARCOUX, E.; MILÉSI, J.P.; PIANTONE, P.; SOBOL, F.; TEGYEV, M.; THIÉBLEMONT, D.; VIALLEFOND, L. (1994): *The massive sulphide deposits of the south Iberian Pyrite Province: Geological setting and exploration criteria*; document du NRGM, n.º 234
- LEITÃO, J. (1998): *Geologia dos depósitos de sulfuretos maciços de Aljustrel*; Livro-Guia das excursões do V Congresso Nacional de Geologia, Instituto Geológico e Mineiro
- LEITÃO, J.M.; CABRAL, N.; FONSECA, K. (1865): *Relatório a que se refere a portaria de 16 de Agosto de 1865, Mina de Aljustrel*; Boletim de Minas Obras Públicas, Lisboa
- LEPELTIER, C. (1969): *A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation*; Economic geology, 51
- LINTHURST, R.A.; BOURDEAU, P.; TARDIFF, R.G. (1995): *Methods to assess the effects of chemicals on ecosystems*; J. Wiley, U.K.
- LOPES, P.A. (1999): *Probabilidades & Estatística*; 1^a ed., Rio de Janeiro
- LOTT, C. P.M. et al (2004): *Reabilitação de áreas e fechamento de minas*; Brasil Mineral - edição especial mineração e meio ambiente, Brasil, n.º 228

- LOTZE, F. (1945): *Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta: Geotest Forschg*; Berlin, v. 6
- LUÍS, A.T.L.F. (2007): *Efeito de drenagem ácida nos cursos de água da envolvente à zona mineira de Aljustrel*; Tese de mestrado em Geoquímica da Universidade de Aveiro
- MAIA, M.; MAIA, M. (1986): *Arqueologia mineira da área de Neves-Corvo, trabalhos realizados no triénio 1982-4*; Somincor, Neves-Corvo
- MARTINS, A.; ALVES, H.; COSTA, T. (2003): *2000 anos de Mineração em Aljustrel*; brochura da Exposição do Museu Municipal de Arqueologia de Aljustrel, Câmara Municipal de Aljustrel
- MARTINS, I.; MATOS, C. (2003): *Itinerário geo-eco-educacionais como factor de desenvolvimento sustentado do turismo temático associado à Faixa Piritosa Ibérica*; Actas IV Congresso Internacional de Património Geológico Y Minero, SEDPGYM, Utrillas, Espanha
- MARTINS, I.; ROSA, C.; MATOS, C.; ISSLER, J.; CALADO, D. (2001): *Parque Mineiro da Cova dos Mouros*; Catálogo
- MARTINS, J. (2005): *Recuperação ambiental da área mineira de Aljustrel*; Abstracts do III Encontro Comunidades Mineiras de Aljustrel, Câmara Municipal de Aljustrel
- MATOS, J.X. (2005): *Carta geológica e mineira da Mina de Aljustrel esc. 1/5000*; INETI
- MATOS, J.X. (2006): *Carta geológica e mineira da Mina de Aljustrel esc. 1/5000*; INETI
- MATOS, J.X. (2007): *e-ECORISK Project – Aljustrel site*; INETI
- MATOS, J.X.; MARTINS, L.P. (2006): *Reabilitação ambiental de áreas mineiras do sector português da Faixa Piritosa Ibérica: estado da arte e perspectivas futuras*; Boletín Geológico y Minero, Espanha
- MATOS, J.X.; ROSA, C. (2001): *Diagnóstico Preliminar de Minas Abandonadas/Área Sul*; Rel. Int. IGM
- MATSCHULLAT, J.; OTTENSTEIN, R.; REIMANN, C. (2000): *Geochemical background - can we calculate it?*; Environmental Geology, 39(9)
- MERIDIAN RESEARCH, Inc. (1985): *Mitigative measures by stage of mine life*
- MOORE, J. N.; LUOMA, S. N. (1990): *Hazardous wastes from large-scale metal extraction*; Environ. Sci. Technol. 24(9)
- MORALES, J.R. (1999): *Present Status of IPB Activity: A Case of Re-emergence of Mining Activity in Europe?*; 78th Meeting of International Organising Committee of World Mining Congress
- MORENO, F.A. (2000): *Estudo dos mecanismos de dispersão de elementos vestigiais em sedimentos de corrente e águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Antuã - avaliação de riscos e classificação de vulnerabilidades*; Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro
- MUNHÁ, J. (1983): *Hercynian magmatism in the Iberian Pyrite Belt; The Carboniferous in Portugal*, eds. M.J. Lemos de Sousa & J.T. Oliveira; Mem. Serv. Geol. Portugal
- MUNHÁ, J. (1990): *Metamorphic evolution of the South Portuguese/Pulo do Lobo Zone*; in R. Dallmeyer and E. Martinez Garcia Eds., Pre-Mesozoic Geology of Iberia, Springer-Verlag
- MUNHÁ, J.; BARRIGA, F.J.; KERRICH, R. (1986): *High 18O ore-forming fluids in volcanic-hosted base metal massive sulfide deposits: geologic, 18O/16O, and D/H evidence from the Iberian Pyrite Belt*; Grandon, Wisconsin and Blue Hill, Maine, Economic Geology, v. 81

- MUNHÁ, J.; KERRICH, R. (1981): *Sea water basalt interaction in spilites from the Iberian Pyrite Belt*; Contributions Mineralogy Petrology, v. 75
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1994): *Science and judgment in risk assessment*; Washington, DC: National Academy Press.
- NORDSTROM, D.K. (2007): *Geochemical modeling, predictions, and the characterization and remediation of mine site*; GSA Conference 2007
- NORDSTROM, D.K., JENNE, E.A., AND BALL, J.W. (1979): *Redox equilibria of iron in acid mine waters*; Jenne, E.A., ed., Chemical modelling in aqueous systems: Washington, D.C., American Chemical Society
- NRC (National Research Council) (1983): *Risk assessment in the federal government: managing the process*; NAS Press, U.S.A.
- OLIVEIRA, J.T. (1983): *The Marine Carboniferous of South Portugal; A stratigraphic and sedimentological approach*; Memórias SGP
- OLIVEIRA, J.T. (1990a): *South Portuguese Zone; Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, eds. R.D. Dallmeyer e E. Martínez García, Springer-Verlag
- OLIVEIRA, J.T. (1990b): *Stratigraphy and synsedimentary tectonism*; Delmeyer, R. & Martínez García (eds), Pre-Mesozoic Geology of Iberia, Springer-Verlag
- OLIVEIRA, J.T.; OLIVEIRA, V. (1996): *Síntese da geologia da faixa pirítica, em Portugal, e das principais mineralizações associadas*; Mineração no Baixo Alentejo, Câmara Municipal de Castro Verde
- OLIVEIRA, V.; MATOS, J.X.; BENGALA, M.; SOUSA, P. (1998): *Principais alinhamentos vulcânicos a norte da Falha de Grândola, sob formações da Bacia Terciária do Sado e sua potencialidade mineira no contexto da Faixa Pirítica Ibérica*; Actas do V Congresso Nacional de Geologia, Com. IGM
- OLIVEIRA, J.M.S.; FARINHA, J.; MATOS, J.X.; ÁVILA, P.; ROSA, C.; MACHADO, M.J.C.; DANIEL, F.S.; MARTINS, L.; LEITE, M.R.M. (2001): *Diagnóstico ambiental das principais áreas mineiras degradadas do País*; Boletim de Minas 30 (2)
- ONTARIO; PERSAUD, D.R.; JAAGUMAGI, R.; HAYTON, A. (1993): *Guidelines for the protection and management of aquatic sediments in Ontario*; Standards Development Branch; Ontario Ministry of Environment and Energy, Toronto, Canada
- PACHECO, N.; CARVALHO, P.; FERREIRA, A. (1998): *Geologia da Mina de Neves Corco e do Vulcanismo do Anticlínório de Panóias – Castro Verde*; V Congresso nacional de Geologia, livro-guia de excursões
- PEREIRA, G.; SOUSA, A.J. (1991): *Análise de dados para o tratamento de quadros multidimensionais*; Textos de apoio ao curso intensivo de análise de dados
- QUEIROZ, N.; PEREIRA, F.; BENGALA, J.; MOREIRA, J.; FREIRE, J.; VIEGAS, L.; VIANA, M.; GASPAR, O.; PEREIRA, V.; BORRALHO, V. (1989): *Estudos Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro*; t. 50º Aniversário, Porto
- QUENTAL, L.; ABREU, M.M.; VAIRINHO, M. (1997): *Estudo geoquímico-mineralógico de solos num perfil transversal na mina de Vila Ruíva, Alentejo*; Proceedings X Semana Geoquímica/IV Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Braga
- QUESADA, C.; FONSECA, P.; MUNHÁ, J.; OLIVEIRA, J.T.; RIBEIRO, A. (1994): *The Bejaarcebuches ophiolite (Southern Iberian Variscan Fold Belt): Geological characterization and geodynamic significance*; Boletim Geológico y Minero, v. 105

- RELVAS, J.S. (1991): *Estudo Geológico e Metalogenético da Área de Gavião, Baixo Alentejo*; Equiv. MSc Thesis, Universidade de Lisboa
- RELVAS, J.S. (2006): *Hydrothermal Alteration and Mineralization in the Neves-Corvo Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposit, Portugal*; I. Geology, Mineralogy, and Geochemistry. Economic Geology
- RELVAS, J.S. et al. (2001): *Multiple Sources for Ore-Forming Fluids in the Neves Corvo VHMS Deposit of the Iberian Pyrite Belt (Portugal): Strontium, Neodymium and Lead Isotope Evidence*
- RELVAS, J.S.; MASSANO, C.; BARRIGA, F. (1990): *Ore zone hydrothermal alteration around the Gavião orebodies: implications for exploration in the Iberian Pyrite Belt*; VIII Semana de Geoquímica, Lisboa
- RIBEIRO, A. (1974): *Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes oriental*; Mem. n.º 24 (nova série); Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa
- RIBEIRO, A.; ANTUNES, M.T.; FERREIRA, M.P.; ROCHA, R.B.; SOARES, A.F.; ZBYSZEWSKY, G.; ALMEIDA, F.M.; CARVALHO, D.; MONTEIRO (1979): *Introduction à la géologie générale du Portugal*; Serviço Geológicos de Portugal, Special publication
- RICHARDS, D.G. (1995): *Environmental Geochemistry of Heavy Metals in a Portuguese River Basin*; Thesis submitted to the University of Liverpool in fulfilment of the degree of M. Phil
- RICHARDSON, M. (1995): *Environmental toxicology assessment*; Taylor & Francis, U.K.
- ROLDAN, Y; PEGO, M. (1927): *Gisements de pyrites du Portugal*; Réserves Mondiales en Pyrites ; XIV Int. Geol. Congress, Madrid
- ROQUE, M. (2005): *Reabilitação geotécnica e geo-ambiental de áreas mineiras degradadas*; Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal
- ROSE, A.; HAWKES, E.H.; WEBB, A.J. (1992): *Geochemistry in mineral exploration*; Second Edition, Academic Press; London
- ROSE, A.W.; HAWKES, E.H.; WEBB, J.S. (1979): *Geochemistry in mineral exploration*; Academic Press, London
- SALMINEN, R; GREGORAUSKIENB, V. (2000): *Considerations regarding the definition of a geochemical baseline of elements in the surficial materials in areas differing in basic geology*; Applied Geochemistry, 15 (5)
- SANTOS OLIVEIRA, J.M. (1997): *Algumas reflexões com enfoque na problemática dos riscos ambientais associados à actividade mineira*; Estudos, Notas e Trabalhos (39)
- SANTOS OLIVEIRA, J.M.; FARINHA, J.; MATOS, J.X.; ÁVILA, P; ROSA, C.; CANTO MACHADO, M.J.; DANIEL, F.S.; MARTINS, L.; MACHADO LEITE, M.R. (2002): *Diagnóstico ambiental das principais áreas mineiras degradadas do país*; Boletim de minas (39)
- SCHERMERHORN, L. (1971): *An outline stratigraphy of the Iberian Pyrite Belt*; Boletín Geológico y Minero de España, v. 82 (3/4)
- SCHERMERHORN, L. (1976): *The Aljustrel volcanics: Megacryst tuff and green tuff (Aljustrel and Gavião pyrite deposits, South Portugal)*; Mem. Not., Publ. Mus. Lab. Mineral Geol., Universidade de Coimbra
- SCHERMERHORN, L.; ANDRADE, R. (1971): *A Faixa Pirítica do Sul de Portugal*; I Congresso Hispano-Americano de Geologia Económica; Livro-guia da Excursão, n.º4 – Principais Jazigos Minerais do Sul de Portugal
- SCHERMERHORN, L.J.G. (1969): *The deposition of volcanics and pyrite in the Iberian Pyrite Belt*; Mineralium Deposita, v.5

- SCHERMERHORN, L.J.G.; STANTON, W.L. (1969): *Folded overthrust at Aljustrel (South Portugal)*; Geol. Mag., 106
- SCHERMERHORN, L.J.G.; STANTON, W.L. (1987): *Notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal, folha 42D Aljustrel, 1/50000*; Serviços Geológicos de Portugal
- SCHERMERHORN, L.J.G.; STANTON, W. (1987): *Carta Geológica de Portugal, folha 42D Aljustrel, 1/50000*; Serviços Geológicos de Portugal
- SILVA, E.F.; PATINHA, C.; FONSECA, E.E.C. (1995): *Impacto de uma mina abandonada na qualidade da água de superfície: O exemplo da Mina de Talhadas*; in Notas e trabalho do IGM, Portugal
- SILVA, J.B. (1998): *Enquadramento geodinâmico da Faixa Piritosa na Zona Sul Portuguesa*; Livro Guia das excursões do V Congresso Nacional de Geologia, IGM
- SILVA, J.B.; OLIVEIRA, J.T.; RIBEIRO, A. (1990): *Structural outline, South Portuguese zone*; Pre-Mesozoic geology of Iberia, Editions Dallmeyer, R.D. and Martinez Garcia, E., Springer-Verlag
- SINGER, P.; STUMM, W. (1970): *Acidic Mine Drainage: The Rate-Determining Step*; Science v. 167. no. 3921
- SMIRNOV, V. (1971): *Essays on metallogeny; Flushing*
- SOARES CARNEIRO, F. (1971): *Potencialidades minerais da metrópole, Base firme de desenvolvimento do País*; Arquivos da D.G. Minas e Serv. Geol. (2), Lisboa
- SOLOMON, K.R. (1996): *Overview of recent developments in ecotoxicological risk assessment*; in Risk Analysis, 16
- SONG, Y.; WILSON, M.J.; MOON, H.S.; BACON, J.R.; BAIN, D.C. (1999): *Chemical and mineralogical forms of lead, zinc and cadmium in particle size fractions of some wastes, sediments and soils in Korea*; Applied Geochemistry (14)
- SOUSA, A. J. (1999): *Apontamentos da disciplina "Interpretação de Dados Geoquímicos (Geostatística)*; LMPM IST; das aulas do Curso de Mestrado em Geoquímica 2002/2003 da Universidade de Aveiro
- STRAUSS, G.K.; MADEL, J.; FERNANDEZ ALONSO, F. (1977): *Exploration practice for stratabound volcanogenic sulphide deposits in the Spanish-Portuguese Pyrite Belt: geology, geophysics and geochemistry*; Time and Strata-Bound ore Deposits, Springer Verlag
- STRAUSSE, G. (1970): *Sobre la geología de la provincia pirítica del Suroeste de la Península Ibérica y sus yacimientos, em especial sobre la mina de pirita do Lousal, Portugal*; Memória del Instituto Geológico Y Minero de España, Tomo 77, Madrid
- TORRES, V.F. et al. (2004): *A declaração de Milos e o desenvolvimento sustentável*; I Semana Ibero-americana de Engenharia de Minas, Brasil
- USEPA, United States Environmental Protection Agency (1986): *Ecological risk assessment: Hazard evaluation division standard evaluation procedure*, Washington, USA
- USEPA, United States Environmental Protection Agency (1988): *Review of ecological risk assessment methods*; Office of policy, planning and evaluation, Washington, USA
- USEPA, United States Environmental Protection Agency (1991): *Mining waste management (EPA/600/M-91/027)*; Office of solid waste and emergency response, Washington, USA

- USEPA, United States Environmental Protection Agency (1992): *Framework for ecological risk assessment*; Risk assessment forum (EPA/630/R-92/001), Washington, USA
- USEPA, United States Environmental Protection Agency (1994): *Ecological risk assessment issue papers*; Risk assessment forum (EPA/630/R-94/009), Washington, USA
- USEPA, United States Environmental Protection Agency (1995): *Ecological risk: a primer for risk managers (EPA/734/R-95/001)*; Washington, USA
- USEPA, United States Environmental Protection Agency (2002): *Role of background in the CERCLA cleanup program*; United states environmental protection agency, OSWER 9285.6-07P
- USEPA, United States Environmental Protection Agency (2003): *National Ecological screening levels*; Office of solid waste and emergency response, Washington, USA
- USEPA, United States Environmental Protection Agency (2006): *National recommended water quality criteria*; Office of water, Washington, USA
- VEIGA, E.S.P.M. (1880): *A Tabula de Bronze de Aljustrel. Lida, deduzida e comentada em 1876*; Lisboa
- VIANA, A.; ANDRADE, R.F.; FERREIRA, O.V. (1957): *Exploração das minas de Aljustrel pelos Romanos*; Arquivo de Beja, XIII, Câmara Municipal de Beja
- VIDAL, N.T. et al (2003): *Environmental, health and safety management systems for underground mining*; 1st International Conference on Sustainable Development and Management of the Subsurface, The Netherlands
- WARHURST, A.; NORONHA, L. (2000): *Environmental policy in mining: corporate strategy and planning for closure*; CRC press, U.S.A.
- WILHELM, E.; KOSAKEVITCH, P. (1979): *The volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Iberian Pyrite Belt*
- WILSON, A.J. (1983): *New light on mining's ancient history*; in Mining magazine, May:372-375
- YARDLEY, B.W.D. (1989): *An Introduction to Metamorphic Petrology*; Prentice Hall,
- YONG, R.N.; MOHAMED, A.M.O; WARKENTIN, B.P. (1992): *Principles of contaminant transport in soils, in Developments*; in Geotechnical Engineering, 73; Elsevier Scientific Publishers B.V., The Netherlands
- ZBYSZEWSKI, G. (1943): *La classification du paléolithique ancien et la chronologie du quaternaire du Portugal et les provinces adjacentes, analyse geomorphologique*; Mem. Serv. Geol. Portugal, Lisboa n.º 28
- ZBYSZEWSKI, G. (1947): *Hippartion gracile du Vale do Sado*; Comunic. Serv. Geol. Portugal, Lisboa T. XXXVIII
- ZHOROV, V.; LYASHENKO, S.; RONKOVA, V.; ABAKUMOVA, T. (1980): *The particularities of the Black Sea hydrochemical regime, The complex oceanological studies of the Black Sea*; , Naukova Dumka, Kiev
- ZIEMKIEWICZ, PF. (1991): *Calcium Peroxide for Treatment of Acid Mine Drainage*; *Proceedings of the Second International Conference on the Abatement of Acid Mine Drainage*; Montreal

Apontamentos das cadeiras da licenciatura em Eng.ª Geológica, do curso ministrado no departamento de Geociências da universidade de Aveiro

- [w1] <http://www.ine.pt/> (Junho 2007; Fevereiro 2008)
- [w2] <http://www.mun-aljustrel.pt/> (Abril 2007; Fevereiro 2008)
- [w3] <http://www.snirh.pt> (Abril 2007; Fevereiro 2008)
- [w4] <http://portal.icn.pt> (Abril 2007; Fevereiro 2008)
- [w5] <http://earth.google.com/> (Abril 2007; Outubro 2008; Fevereiro 2008)

9. anexos

anexo I Resultados das análises para as diversas amostras de solos recolhidas na 1ª campanha (por)

ID	M	P	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Cd	Mn	Fe	As	Sr	Gd	Sb	Cl	V	P	Cr	Zn	Ni	Mo	W	Sn	Pb	
A1	57-28C	430,75	0,4	217	26,5	82	29,2	11	57	3500	10	138	0,2	0,9	0,8	117	570	32,8	119	7900	4200	6800	11	27	75,7
A2	57-28B	431,5	0,4	52	50,9	766	26,4	13	673	5500	16	132	0,4	1,5	0,8	167	220	0,95	690	9300	3700	30500	17	31	115,4
A3	57-27	431,58	0,3	20,6	28,7	83	30,3	15	679	3700	15	182	0,2	1,7	0,5	117	10	71,7	103	7300	3700	6800	15	21	75,7
A4	57-28	432	0,3	11,4	5,8	58	35,4	8	161	3100	8	167	0,1	1	0,2	72	970	62	605	6900	3900	7800	11	15	32,1
A5	57-28E	432,1	0,4	21,8	71,5	112	28,5	16	587	4100	18	171	0,2	1,5	0,8	119	770	62	283	7300	2200	1100	12	17	58,1
A10	57-29C	432,6	0,3	42,4	50,9	120	25,0	14	657	3400	17	157	0,2	1,8	0,4	107	550	32,2	363	6700	7400	1300	12	13	32,1
A12	57-29I	433,5	0,3	19,6	28,7	59	36	7	129	3500	20	95	0,3	1,7	0,5	117	10	71,7	103	7300	3700	6800	15	21	75,7
A13	57-30E	433,59	0,4	35,3	51,5	66	30,7	3	173	3100	19	133	0,3	1,6	0,1	71	510	32,1	289	6900	3900	7800	11	15	32,1
A16	57-30F	433,99	0,4	20,9	16,2	67	36,8	8	300	2100	18	131	0,4	1,2	0,1	31	510	32,1	317	8200	3800	5200	17	19	25,6
A17	57-31A	434,58	0,5	24,2	27,3	64	40,8	18	797	4200	15	78	0,3	2,7	0,5	114	400	34,8	477	7500	4700	9800	13	25	82,7
A18	57-32E	434,75	0,8	29,1	29,7	59	25,7	11	679	3500	17	131	0,2	1,7	0,1	71	450	32,1	293	6900	3900	7800	11	15	32,1
B1	57-67I	435,7	0,9	27,6	5,9	61	25,9	11	199	3100	16	130	0,1	1,5	0,1	31	510	32,1	351	7500	13500	1300	13	25	82,7
B2	57-67J	436,12	0,8	17,2	12,9	63	19,5	12	679	3200	17	131	0,2	1,1	0,2	31	510	32,1	167	7800	33800	9800	13	16	37
B4	57-68A	437,57	0,3	15,7	20,1	69	30,2	7	267	3500	14	227	0,7	1,6	0,2	30	500	43,8	674	3800	3200	1200	14	16	44,4
B8	57-69I	438	0,4	20,3	25	63	20,4	11	574	3400	19	137	0,2	1,7	0,2	32	510	32,1	303	7800	25400	9800	13	17	47
B9	57-7	438,59	0,4	23,2	28,5	72	20,3	18	950	3900	17	135	0,2	1,6	0,2	130	510	32,1	621	9300	3270	9100	15	17	85,6
B11	57-72E	438,79	1,9	18,1	11,7	113	26	17	899	3400	19	134	0,2	1,5	0,2	130	510	32,1	195	9100	3570	29300	15	17	107,9
B15	57-75F	439	0,3	30,6	126,1	362	50,0	30	245	5200	49	141	1,7	0,7	0,2	137	300	31,8	607	7800	3200	3400	17	17	84,6
B17	57-76E	439,5	0,3	35,9	50,9	53	4,1	17	649	4500	17	84	0,5	4,5	0,5	132	390	34,5	433	9100	5750	3100	17	17	84,6
B19	57-78E	439,58	1	12,9	70,1	57	35,7	19	857	3100	16	78	0,5	3,2	0,2	132	390	34,5	263	7300	3700	4100	17	17	84,6
B19	57-79I	439,59	0,3	21,3	26,1	16	16,5	3	519	2100	17	88	0,6	1,9	0,2	31	510	32,1	381	8100	3900	4900	15	17	21,3
B19	57-79J	439,59	0,3	30,3	21,1	66	26,3	13	785	3100	17	88	0,6	1,6	0,2	112	500	49,5	235	4700	4100	9800	17	18	37
B19	57-79K	439,59	0,3	30,3	21,1	46	16,6	7	268	2200	15	30	0,2	1,6	0,7	30	510	34,4	271	3800	5700	5800	13	14	27,2
B19	57-79L	439,58	0,2	19,3	5,2	33	16,7	27	160	2100	21	37	0,1	2,2	0,1	59	60	42,6	231	4100	3700	1100	14	16	25,6
B19	57-79M	439,58	0,2	15,6	58,2	68	30,7	18	189	3500	16	27	0,3	1,7	0,2	35	510	32,1	171	3500	4300	2100	14	16	25,6
B19	57-79N	439,59	0,2	15,2	18,4	168	32,7	20	196	3500	16	131	0,2	1,9	0,2	132	510	32,1	693	9100	4300	9800	13	18	37
C0	57-9	439,79	2,3	186,2	219,1	450	67,2	28	1249	26500	124	135	1,7	20,4	1,4	154	570	73,6	612	90300	7700	23800	13	14	112,1
C2	57-90E	439,9	0,9	30,2	26,3	690	37,2	19	194	3500	17	128	0,2	2,5	0,2	117	300	33,2	151	7300	3500	7800	15	16	82,7
C11	57-91C	439,58	0,7	26,3	57,4	111	35,2	12	84	3100	16	51	0,2	2,1	0,2	131	370	42,8	369	6300	3270	1300	17	17	84,6
C16	57-91B	439,77	0,7	18,7	56,9	66	15,3	11	676	3300	15	24	0,7	2,7	0,2	31	380	33,2	247	7100	3800	3900	13	17	84,6
C0	57-91C	439,58	0,7	14,3	37,2	30	10,2	10	480	1500	7	24	0,1	1,6	0,4	31	300	23,7	423	24500	4700	6200	17	17	32,9
C1	57-92A	439,73	0,3	11,9	27,3	52	14,3	6	191	1900	6	294	0,1	1,3	0,2	71	310	34,4	438	69400	23700	8800	13	14	32,9
J1	57-92G	439,7	0,3	17,5	55,4	107	38,3	18	956	3400	16	137	0,3	2,7	0,2	132	400	33,1	139	8100	1170	2100	11	16	107,9
J1	57-92H	439,57	0,3	30,7	11,2	61	19,7	10	168	2400	11	135	0,2	1,3	0,2	38	510	44,1	317	7800	2680	1100	14	16	58,8
J0	57-11	439,59	0,3	27,5	33,3	20000	60,5	31	300	3500	49	38	61,9	1,2	0,2	20	100	3,6	33	2300	2700	3200	13	14	112,1
J0	57-11C	439,79	0,3	13,4	15,0	122	36,7	43	503	12900	359	19	1,9	147,3	13,5	140	260	33,7	38	67700	4900	23500	17	17	115,8
J2	57-11D	439,9	2,5	45,7	19,1	155	16	12	116	3900	60	110	0,8	23,2	2,7	163	270	74,4	137	7500	3300	7300	13	16	25,6
J7	57-11E	439,58	0,4	10,1	19,5	37	15,2	8	167	2100	15	77	0,8	1,7	0,2	30	510	32,1	161	4100	3900	5300	15	16	37,8
J6	57-13C	439,7	0,3	21,6	27	47	17,3	7	102	1900	12	30	0,2	1,2	0,2	32	510	32,1	207	3800	3100	6200	13	13	37
E6	57-21A	439,58	0,3	74,1	89,5	419	31,3	20	762	4700	33	205	0,8	4,7	0,2	137	500	75	467	9300	23400	6300	13	16	77,6
E9	57-21I	439,58	2,5	81	12,3	205	15,9	17	377	8700	15	38	0,5	1,6	0,2	111	750	65,2	637	7200	3200	7500	15	16	117,9
E0	57-21J	439,7	1,7	11,1	58,1	122	16,9	15	115	3100	17	118	0,3	1,7	0,2	132	10	33,5	167	7300	13700	7700	13	16	133
E1	57-21K	439,9	0,9	18,2	22,9	167	18,9	24	109	5700	86	116	0,7	2,1	1,5	138	360	31,7	673	9300	3860	2300	17	17	133
E2	57-21L	439,8	0,2	105	79,1	163	58,1	23	120	4200	40	107	0,2	0,7	0,2	147	560	73,6	675	33500	3300	23100	13	16	117,9
E3	57-23A	439,58	0,3	20,3	26,3	205	50,3	18	16	3500	45	58	0,3	1,5	0,2	35	10	55,8	583	3500	3100	3900	13	16	117,9
E1	57-23B	439,58	1,3	10,1	130,4	169	19,9	5	573	5800	130	110	0,2	4,7	0,2	142	1170	27	78	61500	13200	1700	13	16	117,9
E6	57-23E	439,57	0,4	16	37,1	81	22,1	10	173	2600	16	22	0,2	1,7	0,2	30	510	32,1	903	4800	2300	9800	15	16	58,8
E6	57-23F	439,57	0,2	20,0	300,3	275	20,0	15	156	3500	46	117	0,8	2,7	0,2	142	437	61	615	33800	2240	7000	13	16	32,2
E6	57-23G	439,73	0,2	31,3	41,5	157	19,5	11	129	2700	12	115	0,2	1,3	0,1	35	170	53,7	373	6300	1020	4700	12	17	71,9
E1	57-23H	439,56	0,4	29,6	57,5	118	21,7	11	169	3100	17	133	0,3	1,7	0,1	132	210	62	113	6300	1320	1300	15	16	71,9
E1	57-23I	439,56	0,4	81,3	67,1	136	16	21	170	7100	21	119	0,7	1,9	0,2	125	160	83,2	173	9300	1180	2100	12	19	133,3
E1	57-23J	439,58	0,3	41,2	60,7	103	44,3	24	192	5700	41	140	0,4	2,2	0,5	137	700	91,4	693	13000	4750	3100	14	16	134,4
E7	57-24	439,57	1	35,3	59,2	297	27,5	11	508	5800	45	155	0,4	3,5	0,3	157	590	60,5	433	7300	8800	5300	12	17	82,7
E1	57-24B	439,58	1,4	65,3	65,3	11	15,3	2	199	5700	50	120	0,3	1	0,2	133	570	33,6	603	9300	3570	2300	15	16	133
E1	57-24C	439,58	1,4	8,3	106	23,2	11	182	8900	36	11	0,2	1												

anexo I Continuação

ID	M	P	Mo	CJ	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	Fe	As	S*	Cd	Sb	Bi	V	Cr	3a	Al	Na	K	W	Sr	Tb		
11	573.57	419.36	3.8	54.2	146	382	77.7	31	1348	82200	23	116	1	7.8	0.8	141	1170	35.1	478	32400	7200	28100	0.2	5.1	1371	
113	573.549	470.75	0.4	20.5	35.5	57	21	0	638	24100	2	7	0.2	1.7	0.0	82	500	37.5	347	35000	5000	3000	0.7	1.3	37.0	
11	573.701	450.77	0.7	35.3	51.7	153	26.7	2	572	23300	15	9	0.2	2.9	0.0	89	70	35.9	377	35000	1370	1370	1.3	1.9	57.7	
11	573.706	430.12	0.5	30.1	41.5	75	13.7	9	32	16500	10	170	0.7	1.9	0.6	53	170	3.5	202	32000	310	7500	1	1.5	21.6	
13	573.71	419.33	2	108.9	88.9	693	10.9	9	131	16970	16	27.6	1	4.8	1	3	320	61.1	693	6300	11250	14300	1.6	1.1	36.8	
14	573.71	419.35	1.7	170	77.9	477	12.3	8	127	22600	163	35.6	1	23.8	0.5	212	140	20.3	77	37000	3300	7400	7.0	10.9	33.1	
15	573.716	419.35	5.1	400.1	173.0	147	9.9	1	161	17600	268	125	0.7	77.5	14.8	26	20	29	70	25700	2140	3500	5.3	30.4	37.6	
16	573.717	419.37	3.7	619.3	200.0	213	5.3	1	33	87900	306	50	1.7	37	12.9	28	720	14.2	7	27700	2140	22700	5.1	15.9	75.6	
17	573.72	419.38	3	369	1191.9	393	4.3	21	5963	85300	213	112	1.7	71.7	15.9	51	1300	35	617	37000	2700	12600	7.3	38.9	78	
17	573.736	419.35	1.8	39.2	77.2	23	53.3	15	321	39700	25	120	0.4	1	0.7	153	170	63.9	429	63000	3050	7700	7.7	18	37.3	
113	573.741	419.35	1.8	47.6	47.7	29	49.4	18	697	46400	27	170	0.4	2.7	0.5	176	1200	33.5	433	90000	5730	24300	7	10.9	115.0	
117	573.716	419.35	1.7	57.9	33.1	95	59.3	18	632	36900	27	127	0.2	2.6	0.6	117	300	77.8	361	77000	3300	19300	7.3	26	38.9	
113	573.751	419.35	0.8	37	31	95	51.3	18	639	28600	20	126	0.7	2.7	0.1	112	300	77.7	361	73700	1790	13500	0.8	1.9	71.6	
12	573.806	419.37	1.2	390.6	407	807	50.2	27	762	28700	190	216	0.8	20.7	0.6	30	850	60.7	573	73200	3120	13500	7.3	7	37.7	
13	573.81	419.33	4.6	137.3	463.6	607	17.4	7	157	16600	1529	570	1.7	170	26.7	77	1020	73.2	741	97700	3350	29400	3.4	14.4	156.0	
14	573.815	419.37	4.6	199.3	303.2	233	7.3	1	107	15600	157	285	0.8	205.8	33.6	42	260	30.7	63	75800	2740	17100	3.2	31.5	111	
18	573.816	419.36	15.1	110.4	111	187	1.1	2	5394	53100	756	81	0.7	15.7	0.5	130	1070	30.5	397	65000	5740	6700	77.5	1.7	42.1	
19	573.816	419.36	3	92.7	173.8	142	27.4	25	1743	17300	733	116	0.7	15.7	0.5	130	1070	30.5	397	65000	5740	6700	77.5	1.7	42.1	
19	574.229	419.37	0.4	47.1	163.8	205	6.5	4	507	27200	64	105	0.7	8.9	0.7	27	270	15.7	497	65200	3520	17000	6.3	6.8	35.3	
13	574.216	419.34	12.1	1610.2	200.0	2233	7.7	39	51	16700	239	85	5.2	39	161	32.1	27	370	32	5	47000	4350	7400	5.1	81.5	37.3
12	574.21	419.34	6.8	851.3	379.8	795	7	39	113	31100	356	110	0.2	33	1	23.5	38	520	52	11	13000	3350	7400	1.8	31.5	32.0
13	574.21	419.35	2	109.9	82.1	281	10.9	10	993	11200	161	81	0.2	20.3	0.7	38	270	22.1	383	47000	3120	11700	2.7	33	36.5	
17	574.216	419.37	1.5	161	152.6	23	24	10	673	26700	52	82	0.2	7.2	0.5	37	700	34.2	375	57000	3500	13500	7.3	10	30.6	
13	574.226	419.35	3	133.1	233.3	135	57.5	21	35.3	16600	97	156	0.1	10.9	1	113	170	77	195	63700	4770	13700	1.3	3.8	36.5	
13	574.229	419.36	1.5	132.1	119.2	133	12.7	17	1673	25300	59	87	0.1	10.9	1	113	170	77	195	63700	4770	13700	1.3	3.8	36.5	
10	574.231	419.37	1.1	126.8	72.2	77	32.2	15	693	23700	28	40	0.2	10.9	1	113	170	77	195	63700	4770	13700	1.3	3.8	36.5	
14	574.24	419.35	1.5	46.2	65.8	104	20.4	12	979	40500	24	166	0.2	10.9	1	113	170	77	195	63700	4770	13700	1.3	3.8	36.5	
11	574.246	419.35	0.6	39.3	23.6	33	26.5	17	607	26900	9	125	0.2	10.9	1	113	170	77	195	63700	4770	13700	1.3	3.8	36.5	
11	574.251	419.35	0.7	36.3	33.7	107	33.0	18	610	1100	17	126	0.2	10.9	1	113	170	77	195	63700	4770	13700	1.3	3.8	36.5	
119	574.256	419.37	0.8	32.8	31.2	81	20.7	14	674	17700	35	151	0.2	10.9	1	113	170	77	195	63700	4770	13700	1.3	3.8	36.5	
12	574.27	419.37	1.7	122.3	70.5	343	33.3	14	474	15300	27	56	0.5	10.9	1	113	170	77	195	63700	4770	13700	1.3	3.8	36.5	
113	574.272	419.33	7.8	63.3	200.0	195	3.3	15	3	16500	2573	37.1	1.1	551	29.3	30	770	3.5	21	45700	3350	7300	6.3	7.9	140.7	
12	574.276	419.34	15.1	137.8	300.0	105	3.3	81	63	32300	560	87	1.2	38	639	17	20	180	52	7	12000	1125	3500	1.7	11.6	1.1
17	574.28	419.36	0.7	129.1	137.7	173	8.7	7	613	17700	50	111	0.2	8.6	1.6	41	350	13.3	303	47000	3350	13100	7.3	7.1	121.2	
13	574.281	419.33	2.2	153.3	161.5	133	32	25	1623	40600	67	170	0.2	8.6	1.6	41	350	13.3	303	47000	3350	13100	7.3	7.1	121.2	
119	574.285	419.36	3.4	192.9	102.9	105	45.1	2	2633	15600	48	176	0.2	8.6	1.6	41	350	13.3	303	47000	3350	13100	7.3	7.1	121.2	
11	574.286	419.37	0.4	10.6	53.1	75	5.3	1	561	16600	17	85	0.2	8.6	1.6	41	350	13.3	303	47000	3350	13100	7.3	7.1	121.2	
12	574.288	419.37	1	119.2	198.2	140	13.3	7	1067	1100	17	186	0.2	8.6	1.6	41	350	13.3	303	47000	3350	13100	7.3	7.1	121.2	
13	574.288	419.33	1.5	40.4	77.3	209	37.7	37	632	45700	67	94	0.2	8.6	1.6	41	350	13.3	303	47000	3350	13100	7.3	7.1	121.2	
14	574.286	419.34	0.5	143.3	56.1	217	2.8	5	92	16900	569	127	0.7	286.5	37.7	47	480	15.7	45	91700	3240	7400	5.5	7.7	36.8	
15	574.287	419.37	1.5	79.9	63.9	295	6	35	93	15700	121	06	0.2	402.2	33.2	37	200	17	3	33000	3350	13100	6.8	5.6	37.8	
16	574.288	419.35	3.6	165.1	169.1	97	19.4	11	273	11800	71	111	1.7	17.8	3.5	15	350	75.3	27	39700	3350	13100	2.6	18.8	31.3	
17	574.28	419.37	2	466.3	651.3	347	23.3	11	693	47900	220	120	0.7	38.5	0.7	77	1500	43.3	553	63000	3550	14000	2	11.6	33.0	
18	574.28	419.35	3.6	542.4	570.3	1701	3.2	52	103	15400	1266	52	4.2	35	51	25.3	37	70	132	3	3900	3350	13100	7.3	7.1	36.4
19	574.285	419.35	1.7	700.3	263.2	143	19.3	37	1905	20700	135	17	0.2	37	2.5	30	570	37	627	11500	5350	7900	1.5	6.8	136.6	
11	574.286	419.35	3.1	136.3	71.8	123	51.5	35	2612	23300	5	170	0.4	3.9	1	131	500	33.1	130	72000	1750	13500	2.2	3.7	111.7	
11	574.282	419.37	0.8	38	61	35	22	5	433	24700	5	170	0.4	3.9	1	131	500	33.1	130	72000	1750	13500	2.2	3.7	111.7	
12	574.282	419.37	0.8	38	61	35	22	5	433	24700	5	170	0.4	3.9	1	131	500	33.1	130	72000	1750	13500	2.2	3.7	111.7	
14	574.286	419.34	0.5	50.3	63.5	14	15.5	11	55.3	16300	13	120	0.2	1.8	0.4	35	1500	47.7	47	68400	1350	13500	1.3	9.7	36.7	
11	574.282	419.34	0.5	50.3	63.5	14	15.5	11	55.3	16300	13	120	0.2	1.8	0.4	35	1500	47.7	47	68400	1350	13500	1.3	9.7	36.7	
13	574.282	419.34	0.5	50.3	63.5	14	15.5	11	55.3	16300	13	120	0.2	1.8	0.4	35	1500	47.7	47	68400	1350	13500	1.3	9.7	36.7	
11	574.282	419.34	0.5	50.3	63.5	14	15.5	11	55.3	16300	13	120	0.2	1.8	0.4	35	1500	47.7	47	68400	1350	13500	1.3	9.7	36.7	
11	574.282	419.34	0.5	50.3	63.5	14	15.5	11	55.3	16300	13	120	0.2	1.8	0.4	35	1500	47.7	47	68400	1350	13500	1.3	9.7	36.7	
11																										

anexo I Continuação

ID	M	P	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	Fe	As	Sr	Gd	Sb	Cl	V	P	Cr	Ba	Al	Ma	K	W	Sr	Pb
S2	576 126	4 91 57	163	42,8	32,6	105	57,2	19	811	57300	18	161	0,5	1,7	0,4	777	620	102,4	458	106000	3240	24700	1	2,9	113,2
S3	576 131	4 91 21	1,3	28,7	28,5	80	70,5	20	738	67000	21	107	0,2	0,3	0,5	116	710	72,5	830	283000	7310	20200	1	2,8	105,9
S4	576 171	4 92 35	2,1	32,8	39,7	121	62,1	20	322	68300	28	187	0,5	7,5	0,6	186	790	112,6	838	125000	12590	28200	1,1	2,7	126,1
S10	576 143	4 92 75	1,2	38,6	30,2	78	33,7	19	317	44100	17	119	0,5	2,1	0,5	104	630	70,5	378	307000	3040	13400	0,9	2,3	105,7
S12	576 145	4 93 17	1,2	53,7	30,5	84	42,8	25	538	42400	21	112	0,5	1,9	0,4	40	770	78,7	875	85000	8750	13400	0,8	2,3	98,2
S14	576 123	4 93 53	1,2	11,1	7,1	12	07,0	23	171	29300	17	72	0,2	1,3	0,6	59	950	52,1	851	325000	2570	17300	0,2	2,4	89
S16	576 133	4 93 31	1,6	51,7	21,4	79	78,7	16	1188	49300	23	166	0,2	2,1	0,6	158	860	101,8	838	127000	6770	25300	0,5	3,3	183
S17	576 161	4 94 32	2,1	35,4	23,5	20	37,0	20	402	42300	23	157	0,2	2,3	0,5	47	590	34,7	479	108200	5220	23200	0,9	0,7	107,6
S18	576 185	4 94 77	2,1	42,5	32,7	144	35,1	19	1332	32300	27	191	0,2	3,5	0,4	79	890	56,7	272	57200	8090	13700	1,1	3,5	70,9

anexo II Resultados das análises para as diversas amostras de solos recolhidas na 2ª campanha (por)

ID	M	P	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	Fe	As	Sr	Cd	Sb	Bi	V	P	Cr	Ta	Ni	Mo	K	W	Sn	Pb
1	568.625	4195.93	0.7	36.7	29.2	90	47.6	18.4	1048	44500	18	84	0.3	2.6	0.3	123	460	86.3	467	78200	3400	16100	0.9	2.4	88.5
2	568.7	4195.9	0.8	23	42.8	57	29	17.3	937	28100	11	91	0.2	1.9	0.2	79	530	56.5	316	50300	3830	14000	1	2	74.9
3	568.75	4195.3	0.5	27.2	29	58	33.6	17.1	647	33100	12	73	0.1	1.7	0.2	89	380	52.6	366	59500	2860	15100	0.7	2	73.7
4	568.8	4195.8	0.6	26.3	30	62	33.4	16.6	800	32600	13	68	0.1	1.7	0.3	88	560	51.7	338	60500	3730	14300	0.8	2	76.6
5	568.85	4195.9	0.5	38.5	27.7	30	43.7	20.4	1174	41000	14	74	0.2	2.1	0.3	108	530	76	404	74400	3160	17300	0.9	2.3	30.4
6	568.9	4195.9	0.6	38.7	33.9	88	53.4	23	1273	44300	16	75	0.3	2.1	0.3	120	620	82.8	420	78300	3600	19100	1	2.4	71.8
7	568.95	4195.3	0.5	10.5	27.5	95	50.6	21.8	1175	45500	16	78	0.2	2.1	0.3	120	500	83.2	401	80200	2430	19700	0.9	2.4	67.4
8	569	4195.3	0.5	38.5	27	92	48.8	20.5	1226	47700	16	81	0.3	2.2	0.3	124	510	83	406	81800	3110	16900	0.9	2.4	84.2
9	569.05	4195.9	0.4	34	27.8	82	44.4	19.1	1095	38400	14	78	0.2	2.3	0.2	108	460	68.4	361	69500	4040	16600	0.9	2.1	31.3
10	569.1	4195.9	0.5	38.9	28.6	98	50.5	20.4	1178	48200	17	90	0.3	2.6	0.3	128	460	86.1	419	88800	3870	19700	0.9	2.4	30.3
11	569.125	4195.35	0.5	32.7	28.1	82	43	18	976	37300	15	75	0.2	2.1	0.2	104	530	71	346	65700	4760	15300	0.9	1.9	81.2
12	569.175	4195.3	0.5	36.2	32.1	39	45.7	17.9	981	43100	17	83	0.3	2.2	0.3	122	570	82.8	393	81500	3100	16100	0.8	2.2	79.3
13	569.225	4195.9	0.6	39.2	27.6	103	50.8	21.4	1140	46800	18	90	0.2	2.4	0.3	129	530	86.8	417	83500	3300	19300	0.9	2.4	84.7
14	569.275	4195.9	0.6	36	28.4	102	57	20	1100	47400	19	94	0.3	2.5	0.3	134	500	85.1	435	83100	3360	19600	1	2.5	83.9
15	569.325	4195.9	0.5	36.5	28.3	95	51.7	20.7	1131	45200	16	79	0.3	2.3	0.3	122	540	86.7	408	80300	3470	16400	0.8	2.3	73.4
16	569.375	4195.9	0.6	37.4	28.6	97	49.8	20.5	1072	45000	17	80	0.3	2.3	0.3	128	600	86.4	398	84700	2800	16300	0.8	2.5	75.3
17	569.425	4195.9	0.8	40.6	31.4	96	52.7	23.1	1265	46800	17	81	0.3	2.7	0.3	131	570	87	448	86500	2630	20300	1	2.6	92.2
18	569.475	4195.9	0.5	41.2	28.7	102	54.6	21.7	1086	49100	16	88	0.3	2.4	0.3	137	520	91.3	424	90900	4040	22000	0.8	2.7	78.2
19	569.525	4195.9	0.8	22.9	27.2	58	30.2	11.2	600	21000	8	72	0.1	1.5	0.2	64	510	43.3	255	44500	5160	11300	1	2	56.5
20	569.575	4195.9	0.7	24.3	24.1	57	29.3	11.8	817	21100	8	67	0.1	1.4	0.2	68	500	49.9	293	49300	5120	11300	1	2	59.9
21	569.625	4195.94	0.6	35.2	29.7	89	47.3	20.6	858	42300	16	85	0.1	2.2	0.2	117	470	76.7	482	79700	4160	19300	1	2.6	88.3
22	569.675	4195.13	0.9	29.3	55.4	58	33.8	21.7	1076	37500	15	84	0.1	1.8	0.3	90	530	56	363	64700	3670	15400	0.9	2.1	76
23	569.725	4195.13	1	19.7	47	41	31.2	20.3	1047	23600	12	67	0.1	1.4	0.2	63	500	38.6	282	43300	5250	12900	1	1.9	38.9
24	569.775	4195.13	0.7	11.9	32.8	92	57	23.6	1283	47300	19	90	0.2	2.3	0.3	137	470	88.8	450	67700	3520	20700	1	2.7	76.1
25	569.825	4195.35	1.3	43.5	35.1	101	49.6	27.7	1329	49000	18	91	0.1	2.5	0.3	136	570	85	474	83900	3270	22700	0.8	3.1	78
26	570.333	4195.12	0.7	37.3	35.2	85	48.4	25.7	1255	43500	18	80	0.1	2.1	0.3	119	570	83.6	423	81200	3580	18200	1	2.4	30.9
27	570.733	4195.18	0.4	19	23.3	38	17.7	10.9	655	25600	14	258	0.1	1.9	0.2	85	370	54.9	287	52100	7670	5400	0.9	1.2	29.8
28	571.033	4195.11	0.7	36.1	27.8	78	50.2	20.8	980	47000	17	85	0.2	2.2	0.3	125	750	77.2	482	84700	3190	16500	0.9	2.4	31.1
29	571.332	4195.15	1.5	26.2	28.4	47	27.7	10.2	362	37000	19	67	0.1	2.4	0.3	106	570	85.3	524	66800	5180	11900	1	2.3	72
30	571.915	4195.16	1.2	26.2	47.8	73	15.6	14.6	627	18300	18	48	0.1	2.3	0.3	49	1890	29	199	34600	4790	8600	1.1	2.1	51
31A	572.37	4195.17	0.8	109.4	145.1	218	20.1	10.4	712	24600	105	79	0.3	8.1	2.6	55	470	372	335	49300	9100	11300	1.2	3.8	72.3
31B	572.393	4195.19	0.9	186.1	135.6	165	12.7	5.8	241	27000	82	48	0.2	7.5	1.7	43	690	32.8	203	32200	7370	1800	1	2.6	28.4
32	572.793	4195.21	0.5	37	28.8	77	47.3	25.1	1366	36600	12	75	0.2	2.1	0.3	97	340	73.7	381	69300	5010	14900	1.1	2.6	32.6
33	573.13	4195.2	0.6	33.9	47.1	74	33.9	18.9	981	32700	16	85	0.2	2	0.3	99	460	62.0	336	64300	5760	14100	1	2.3	77
34	573.533	4195.18	0.4	33	32.4	80	40.2	19.8	1085	38200	15	80	0.2	1.8	0.3	113	450	72.8	389	71100	3690	15100	0.9	2.2	85.6
35	573.933	4195.1	0.3	53.9	27.6	101	45.5	18.1	534	52900	22	122	0.1	3	0.5	155	840	88.6	495	102800	10680	25700	1.2	3.3	107.6
36	574.333	4195.18	0.7	12.1	21.8	92	35.3	17.7	609	37900	10	136	0.2	1.2	0.3	113	540	57.6	401	76100	9170	16600	1	2.3	89
37	574.733	4195.18	2.1	43.3	21.8	63	31.8	11.6	241.3	46400	19	93	0.2	1.9	0.2	128	1040	86.6	406	73300	9050	16400	0.9	2.4	86.1
38	575.16	4195.19	2.5	48.5	23.7	48	37.1	15.5	896	39900	12	120	0.1	1.7	0.4	140	630	75.3	391	99500	10830	21700	0.6	3.3	112.4
39	568.71	4195.06	0.4	13.8	16	28	12.1	5.4	314	13400	6	76	0.05	1.2	0.1	35	230	21.1	137	28200	5810	5300	0.6	0.9	26.9
40	568.31	4195.07	0.8	12.7	29.2	98	57.7	21.1	1325	48600	16	81	0.2	2.1	0.3	138	700	88.6	436	79500	2190	21900	0.9	2.8	57.9
41	569.905	4195.1	0.4	26.5	15.9	41	26.7	9.6	499	28100	15	60	0.2	3.4	0.2	71	460	43.3	207	43200	6060	7600	0.7	1.4	41.7
42	588.725	4195.5	0.5	23.4	24	52	25.9	11.3	646	29000	9	39	0.1	1.5	0.2	68	370	40.9	285	43800	9070	10300	0.9	1.6	56.7
43	567.905	4195.48	0.5	19.2	12.7	39	31.4	8.4	456	21300	12	55	0.2	2	0.1	49	400	28.5	146	51500	7840	5900	0.7	1	27.9
44	568.295	4195.2	0.8	29.3	27.1	67	37.3	18.6	1075	37600	15	69	0.2	2.3	0.2	92	610	57.7	375	66700	3700	16300	0.9	2	70.5
45	568.037	4195.33	1.6	28.1	56.6	58	34.1	25.3	1789	38400	19	80	0.2	2.3	0.3	107	760	85.2	411	67500	4880	16200	1	2.2	78.6
46	569.508	4195.56	0.5	35.9	29.7	39	49.7	20.6	1090	46000	18	83	0.3	2.6	0.3	130	570	88.1	410	83600	2860	19000	0.9	2.7	83.9
47	568.922	4195.52	1	39	36.2	67	44.8	26	1367	40300	16	73	0.2	2.2	0.3	105	470	73.5	385	68800	3030	16400	1	2.3	73.3
48	570.8	4195.5	1	27.1	27	58	30.3	15.8	800	29100	12	66	0.1	1.8	0.2	80	790	51.8	287	55800	5180	18700	1	2	67.4
49	570.333	4195.5	0.7	26.6	25.9	58	42.7	17.6	846	38100	13	70	0.1	2.1	0.3	103	440	71.2	449	64500	3550	13400	1.1	2.1	75.4
50	571.203	4195.5	0.5	19.3	37.2	49	14.9	10.9	881	16100	9	73	0.1	1.5	0.3	51	340	33.9	279	37800	9800	10400	1.1	1.9	56.6
51	571.623	4195.47	1.2	19.1	38.1	36	19.4	19.4	666	23500	13	57	0.1	1.7	0.2	76	500	48.6	251	47200	4820	10700	1	2.1	34.9
52	572	4195.52	0.7	22.1	27	50	28.5	17.5	902	28100	10	63	0.1	1.4	0.2	75	470	47.4	293	47200	3610	11400	0.8		

anexo II Continuação

ID	M	P	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	Fe	As	Sr	Cd	Sb	Bi	V	Cr	Ta	Al	Na	K	W	Sr	Tb	
93	567.836	4183.48	0.9	29.8	31.8	70	41.2	22.4	1372	37600	15	75	0.1	2.4	0.3	105	620	70.7	433	62900	3480	16800	1.3	2.2	82.6
155	569.161	4181.53	0.4	21.8	15.4	60	20.7	11.3	483	27200	12	271	0.2	1.2	0.2	80	680	33.1	302	53700	5550	10900	0.7	1.2	51.7
94	567.893	4183.06	1.2	16	36.1	29	16.3	13.2	1039	25800	13	47	0.1	1.8	0.2	69	780	39.1	242	15600	2570	11600	1.3	2.1	73.3
186	569.177	4181.93	0.3	18.6	25.8	42	21.8	11.7	384	23800	16	57	0.2	1.8	0.2	76	670	41.4	221	16400	5320	7000	1	1.6	41.2
96	567.906	4182.66	0.3	21.7	30.6	67	23.4	12.6	739	24000	8	130	0.1	1.4	0.2	72	460	38.9	328	57200	12370	12000	1.4	1.9	68.2
157	569.173	4182.28	0.7	22.5	15.7	42	25.7	10.8	502	27300	12	62	0.2	1.9	0.2	77	670	42.1	232	50200	5370	9600	0.8	1.7	52.5
96	567.902	4182.27	0.5	15.5	24.5	24	13	14.6	982	15800	8	46	0.1	1.3	0.2	50	520	29.3	243	36300	2770	10300	1.2	1.6	58.3
97	567.888	4181.88	0.8	17.2	21.8	27	17.4	17	810	18800	9	50	0.1	1.6	0.2	59	520	32.8	220	37900	3780	8700	1.2	1.5	56.1
98	567.807	4181.48	0.3	30.6	28.2	90	31.8	14.4	746	37800	21	194	0.2	2.2	0.3	107	830	54.8	441	75100	6960	16100	1.7	1.8	81.5
99	568.302	4181.48	0.3	22.5	24.7	73	25.3	12.8	801	37800	10	210	0.1	2.8	0.2	97	970	52.6	369	68000	2260	13200	1.8	1.9	54.5
100	568.314	4181.88	0.4	15.8	15.6	31	15.8	5.6	355	18100	13	97	0.2	1.7	0.1	52	540	30.2	161	31000	3620	4700	0.8	0.9	25.9
101	568.309	4182.3	0.3	21.4	33.1	85	20.5	13.1	497	26200	9	187	0.1	1.6	0.2	80	550	42.1	299	60400	17870	10200	1.7	1.6	50.7
102	568.326	4182.71	0.9	25.3	19.8	59	34.8	16.1	989	32200	12	73	0.1	2.1	0.2	96	570	53.8	301	62300	3750	14200	1.7	2	73
103	568.285	4183.08	0.6	27	19.2	64	34.8	13.2	803	33000	15	73	0.2	2.4	0.2	93	690	54.3	274	61400	5210	13500	1	1.9	70.5
104	568.285	4183.48	1.1	31.5	35.8	63	37.5	23.8	1220	38200	16	84	0.05	2.4	0.4	112	670	70.9	414	78700	3520	19900	1.5	2.7	112.9
105	568.243	4183.88	0.5	22.6	18.9	49	28.5	12.2	762	28900	12	68	0.05	1.7	0.2	80	140	50.6	275	55300	5170	12100	1.7	1.6	61.9
106	568.178	4183.88	0.8	31.9	17.8	45	27.7	11.7	676	29300	17	80	0.2	2.5	0.2	72	570	44.2	309	48900	7320	8600	1	1.4	46.7
107	568.174	4183.47	0.6	28.2	23.6	64	33.1	13.9	811	30400	12	80	0.2	2	0.2	85	470	53.1	278	58300	5280	12800	0.9	1.7	71.3
108	568.652	4183.09	0.6	31.8	19.7	63	33.4	13.5	863	33400	15	79	0.2	2.6	0.2	109	490	57.9	308	58300	4770	13100	1	2.1	55.2
109	568.748	4182.66	0.5	22.5	17.8	52	24.5	11.1	663	29200	12	62	0.2	2	0.2	76	660	42.6	223	42200	6410	10100	1.7	1.6	52.6
110	569.689	4182.22	0.5	18.1	19.8	35	14.5	9.1	714	15600	6	69	0.1	1.3	0.2	50	680	32.7	221	34500	6330	9700	1	1.4	50.7
111	569.176	4182.68	0.5	24.9	17.5	56	29.1	11.9	651	27300	11	73	0.2	1.9	0.2	86	450	50.4	254	49500	5550	11300	0.9	1.6	64.8
112	569.183	4183.03	0.4	22.7	13.2	49	24	13.4	810	23800	12	76	0.2	2.1	0.2	75	560	42.1	221	44300	7810	9700	1.7	1.5	52.4
113	569.178	4183.47	0.9	33.3	25	70	41.7	17	833	40300	11	89	0.1	2.3	0.3	126	160	72	366	78100	4350	16500	0.9	2.4	92.5
114	569.132	4183.83	0.5	21.1	18.1	56	25.9	13.5	574	28100	16	69	0.2	2.6	0.2	73	650	40.1	221	47900	7700	8600	0.8	1.4	47.1
115	569.571	4184.66	1.1	23.4	41.8	57	26.5	23.3	1132	26200	11	69	0.1	1.8	0.3	83	680	46.5	297	54100	5700	13900	0.9	2.2	71.8
116	569.572	4184.28	0.7	53.4	35.2	66	25	12	552	27900	14	81	0.2	2.6	0.3	87	860	53.2	278	47600	7150	11600	0.9	2.7	58.7
117	569.582	4183.89	0.5	29.2	21.9	43	17.3	9.8	539	13200	10	64	0.1	1.6	0.2	62	490	28.4	210	41300	13960	8900	1.7	1.4	47.3
118	569.573	4183.46	0.5	35.8	43.1	107	25.8	17.1	753	23600	13	127	0.2	1.8	0.3	97	110	78.7	382	62900	13110	12300	1	1.8	62.8
119	569.589	4183.06	0.7	31.4	27.6	75	34	15.8	811	34000	16	100	0.2	3	0.2	114	560	57.8	345	66000	7800	14100	1	2	70.9
120	569.57	4182.66	0.5	31.9	22.9	63	29.9	12.8	717	31700	16	83	0.3	2.5	0.2	101	550	52.7	324	62100	5570	13100	0.8	1.9	62.7
121	569.544	4182.25	0.4	18.6	17.8	44	21.4	9.8	496	23400	11	59	0.3	1.2	0.2	70	670	41.5	236	40500	5660	7600	0.8	1.4	43.6
122	569.536	4181.86	0.4	17.6	11	41	19.2	7.3	348	21800	11	61	0.2	1.6	0.2	68	170	36.5	186	42300	7760	6600	0.8	1.2	39.9
123	569.429	4181.48	0.3	41.3	24.3	95	34.5	17.6	781	47500	26	121	0.2	2.4	0.3	147	590	73.9	463	90800	6300	27800	0.8	2.2	134.7
124	569.857	4184.72	0.9	31.6	31	70	42.3	21.8	1179	40300	16	87	0.1	2.3	0.3	125	470	73.5	430	77900	4320	16800	1	2.4	97.9
125	569.857	4184.32	0.5	33.9	27.7	77	40.9	17.8	809	38800	14	74	0.1	2.3	0.3	120	690	77.3	331	66300	3530	16500	1	2.2	69.3
126	569.864	4182.77	0.5	29.2	37.1	90	24.7	13.1	612	28300	12	135	0.2	1.6	0.2	95	190	49.8	300	56900	16750	10600	1	1.7	51.3
127	569.841	4183.86	0.7	28.9	31.5	50	24.9	15.8	846	25400	11	75	0.2	1.7	0.2	81	520	46.7	275	49600	7420	11500	1.2	1.8	64.2
128	569.831	4183.44	0.9	35.6	43.8	77	25.7	15.6	746	30900	17	92	0.2	2.1	0.3	86	1250	46.2	303	56900	9230	12400	1.2	2.1	57.2
129	569.842	4183.07	0.5	45.4	47.8	108	24	13.2	720	30800	17	163	0.2	2.3	0.4	99	650	44.3	333	62300	18800	11900	1.3	1.9	54.5
130	570.033	4182.28	0.8	27.7	18	61	30.4	12.5	803	31600	11	123	0.5	2.5	0.2	100	570	42.5	550	63400	6990	17000	1	1.6	56.6
131	569.896	4181.86	0.3	37.6	35.3	123	29.8	13.8	588	35300	12	122	0.2	1.6	0.2	120	500	53.2	324	66400	9870	12500	0.8	1.8	65.3
132	569.875	4181.53	0.8	53	191.3	569	40.7	24	751	43800	21	109	0.9	2.2	0.3	156	830	69.6	434	84200	6360	20500	1.3	2.2	84.8
133	570.178	4181.48	0.3	21.7	37.4	107	13	9.4	509	23100	8	223	0.1	3.9	0.2	82	450	41.9	398	69300	31490	9700	1	1.4	43.7
134	570.106	4181.92	0.5	30.3	25.8	70	22	13.2	506	28100	8	126	0.1	1.1	0.2	108	160	44.2	277	54400	17130	8600	1.7	1.6	45.1
135	570.325	4182.27	2.1	57.1	87.8	133	45.2	21.6	865	47500	37	119	0.3	5	0.4	175	740	66.8	476	74900	2630	17200	1.3	2.3	67.6
136	570.471	4182.69	0.3	30.1	32.8	93	27.5	14	640	33700	18	125	0.2	1.6	0.2	112	620	58.2	315	61000	15330	10100	0.8	1.4	47.9
137	570.401	4183.04	0.7	17.7	35.7	40	13.7	13.2	321	17100	11	65	0.1	1.6	0.2	58	390	29.3	219	34000	7390	9400	1.1	1.7	48.9
138	570.384	4183.45	0.6	56.5	31.2	152	24.9	12.3	675	30500	25	193	0.4	3.1	0.5	101	570	45.4	332	38600	21600	12800	1.5	2.2	59.2
139	570.358	4183.9	0.9	12.1	86.6	83	26.1	15.3	1191	29300	27	72	0.2	4.3	0.7	88	480	17.5	338	52600	5490	13500	1	2.5	68.2
140	570.392	4184.23	1	19.9	32.4	32	15.4	15.5	661	22300	13	41	0.1	1.6	0.2	72	530	36.7	185	36800	4330	8900	0.8	1.6	50.7
141	570.466	4184.68	0.7	24.1	25.8	51	28.5	18	333	30700	13	70	0.1	2.2	0.2	106	460	46.3	288	58800	6090	13300	1	2	76
142	570.776	4184.7	0.5	27.9	26.8	80	28.1	11.7	535	31300	15	73	0.2	2.3	0.2										

anexo III Resultados das análises para as diversas amostras de sedimentos de corrente

ID	coordenadas (UTM) M P	Mo ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	N ppm	Co ppm	Mn ppm	Fe %	Sr ppm	Cd ppm	Sb ppm	Bi ppm	V ppm	Cr %	Cr ppm	Na %	K %	W ppm	Ca ppm	Pb ppm
1	571,86 4192,29	7,1	585,7	2389,1	580	11,8	9	155	74,29	170	1,2	270,2	122,7	58	0,037	38,7	1,398	1,71	2,3	53,6	68,7
2	575,08 4192,28	1,3	298,3	475,2	393	33,1	18	991	4,96	134	0,9	30,1	7,6	100	0,076	77,5	0,954	1,33	1,4	10,7	61,8
3	576,00 4190,98	0,8	50,9	38,6	82	32,3	17	762	3,56	65	0,2	2,5	0,3	10	0,044	78,1	1,343	1,49	1,3	2,4	66,5
4	575,34 4193,46	3	247,7	303,8	390	30	14	132	5,6	188	0,7	1,8	2,8	67	0,277	64,9	0,927	1,2	1,9	27,7	60,8
5	575,19 4193,77	6,6	873,7	2626,6	937	12,3	9	226	21,33	192	2,6	311	77,9	67	0,018	36,7	1,175	1,19	1,9	60,7	67
6	576,20 4193,59	1,3	54,6	24,7	81	14,7	17	1037	4,15	100	0,1	2	0,3	117	0,015	95,6	0,695	2,08	0,7	2,5	90,5
7	576,01 4194,79	4,9	782,7	577,9	798	20	13	610	27,17	132	1,5	70,9	8,6	88	0,272	59,1	0,57	1,27	0,9	12,5	70,9
8	575,77 4195,85	1	43,3	30,7	85	43,1	23	32	4,19	95	0,2	1	0,3	100	0,055	49,1	0,64	2,7	0,9	2,7	100,4
9	575,15 4195,67	2	395,8	300,3	197	10,3	3	125	38,08	53	0,2	33,3	6,5	55	0,2	36,5	0,303	0,9	0,7	7	43
10	571,80 4196,53	1,5	727,1	367,3	559	12,6	5	113	37,3	56	0,5	30,5	5,7	38	0,177	31,9	0,32	1,07	0,3	6,5	47,5
11	575,09 4197,57	0,9	54,2	42,1	114	45,2	23	1870	5,7	97	0,2	1,9	0,3	206	0,037	122,1	0,71	1,32	1	2,2	73,3
12	575,5 4198,35	1,4	765,2	379,3	228	16,1	8	467	27,24	66	0,2	22	4	87	0,08	53,3	0,409	1,11	0,5	3,3	35,4
13	575,24 4199,43	1,2	633,7	373,6	217	15,7	8	362	33,15	54	0,2	1,6	3,2	75	0,104	56,5	0,373	1,14	0,3	3,6	45,7
14	575,33 4200,27	0,5	50,6	23,3	150	35,2	29	2930	6,1	11	0,3	2,7	0,2	266	0,037	198,2	0,918	0,66	0,8	1,7	73,7
15	575,19 4199,90	0,6	55,6	32	165	37,9	23	2463	4,4	123	0,1	2,3	0,2	13	0,077	17,3	0,797	0,77	0,7	1,7	47,7
16	574,77 4200,25	1,7	330,6	369,9	237	27,2	10	433	11,79	101	0,4	33,2	7,2	103	0,057	32,3	0,621	1,33	0,7	3,7	75,8
17	573,92 4200,07	0,9	322,7	106,1	1248	33	31	544	6,93	126	2,7	6,4	1,3	184	0,039	37,6	0,105	0,82	0,8	3	46,8
18	572,92 4199,15	0,7	36,7	29	74	12,2	23	1639	3,8	112	0,3	1,7	0,2	132	0,059	39,3	0,709	0,77	0,7	1,3	70,7
19	573,01 4197,80	0,7	39,6	13,5	89	37,5	27	2233	3,88	193	0,3	1,9	0,2	110	0,037	37,3	0,822	1,13	0,9	1,9	58,5
20	573,29 4196,57	0,5	36,5	37,8	80	39,8	22	1014	3,48	104	0,2	1,7	0,2	95	0,034	78	0,673	1,18	1	2,1	52,4
21	573,35 4196,62	0,8	49,4	36,3	103	46,3	22	1070	4,24	110	0,2	1,9	0,3	110	0,044	93	0,693	1,39	1,1	2,3	35,7
22	573,24 4195,35	0,5	44,4	41,9	113	46	18	923	4,24	125	0,2	2,7	0,3	115	0,02	103,5	0,676	1,6	2,64	2,6	64,3
23	572,00 4198,86	0,5	75	27,6	96	38	20	389	3,67	112	0,3	1,6	0,3	130	0,06	111,2	0,827	1,26	0,8	2,3	37,1
24	572,57 4199,07	1	1826,3	137,3	2370	57,9	27	927	9,21	95	2,5	6,6	1,7	198	0,019	157,3	0,551	1,13	0,7	3,6	39,7
25	577,83 4198,43	1	130,9	45,9	197	40,2	37	1899	4,05	85	0,8	2,8	0,3	135	0,037	112,3	0,549	1,03	0,9	2	45,9
26	570,88 4197,69	0,8	245,7	80,4	765	22,8	14	457	2,32	77	1,7	6,2	0,6	68	0,028	54,3	0,766	0,74	0,9	2,1	38,1
27	570,37 4198,10	0,7	19,9	19	56	22,3	13	933	2,92	117	0,1	1,6	0,1	88	0,027	67,1	0,737	0,56	0,8	1,3	33,7
28	570,06 4198,58	0,6	202,2	33,6	267	20	333	2,98	73	0,7	2,6	0,2	80	0,021	70,5	0,675	0,69	0,8	1,6	3,9	
29	569,94 4198,66	0,7	370,5	58,1	546	32,9	17	548	5,17	89	0,5	3,8	0,6	104	0,035	95,5	0,62	1,22	0,9	2,3	34,2
30	569,88 4199,16	0,5	29,2	21,4	65	21,4	22	138	3,08	93	0,1	1,3	0,1	118	0,036	36,6	0,605	0,72	0,7	1,3	40,8
31	567,54 4199,38	1,2	1066,4	79,1	2363	36	56	1093	6,06	91	3,7	5,4	0,9	83	0,059	79,4	0,738	0,92	0,7	2,5	43,2
32	567,10 4199,30	0,6	131,7	22	1120	26,5	19	1113	10,1	2,1	2,2	0,2	68	0,033	37,1	0,861	0,99	1	1,6	7,9	
33	567,89 4197,70	0,5	312,7	22,7	1552	21,9	23	1872	2,71	108	3,2	3,6	0,3	64	0,05	38,9	0,791	0,75	1,2	1,5	42,9
34	568,22 4199,01	0,4	20,3	14,2	41	19,6	11	1637	2,16	75	0,2	2,7	0,2	70	0,026	40	0,902	0,66	1,3	1	28,5
35	568,05 4196,29	0,4	79,5	20,2	310	19,2	12	524	2,22	117	0,5	2,5	0,2	54	0,042	27,8	0,952	0,69	1,3	1,3	37,5
36	567,91 4196,17	0,7	22,4	17,6	37	24,5	11	416	2,38	10	0,1	2,8	0,2	64	0,027	31,8	0,551	0,65	0,7	1,4	35,1
37	568,51 4195,75	0,7	111,1	26,5	739	22,7	13	625	2,33	108	1	2,2	0,2	65	0,067	37,9	0,957	0,77	1,2	1,4	39,9
38	567,75 4194,77	0,4	27,9	9,4	38	23,4	16	787	3,04	113	0,1	1,8	0,1	105	0,031	61,3	0,802	0,44	0,9	1,1	24,2
39	569,22 4193,99	0,3	267	18,7	1039	15,1	9	358	2,03	89	1,2	2,2	0,1	56	0,023	21,2	0,39	0,42	1,4	1,2	21
40	569,89 4191,86	0,2	23,7	32	92	22,3	14	508	2,93	257	0,1	1,8	0,2	94	0,041	40,9	2,428	1,88	1,1	1,6	45,6
41	570,19 4190,97	0,5	23,6	37,7	62	20,5	18	1231	3,78	237	0,1	2,2	0,2	77	0,039	35,9	2,829	0,87	1,1	1,3	70,1
42	570,60 4192,07	0,7	26	37,6	84	26	13	795	3,23	211	0,1	1,6	0,2	93	0,038	55,6	2,157	1,17	1	1,8	33,1
43	571,49 4192,78	1,6	1326,8	395,8	2276	33,4	36	1630	10,22	132	3,4	85,3	1,7	129	0,04	59,7	1,143	1,42	1,2	9,5	5,8
44	571,09 4194,04	0,2	23,6	13	36	12,4	6	420	1,13	119	0,4	1,4	0,3	35	0,013	20	0,65	0,42	0,5	1	22,5
45	570,89 4197,62	0,7	17,3	35,8	56	13,6	11	156	3,15	10	0,1	2,3	0,2	107	0,019	50,3	0,797	0,27	0,8	12,8	15,9
46	570,73 4197,99	0,5	23,6	20,6	13	20	13	195	2,75	81	0,1	2,8	0,2	65	0,037	35,3	0,828	0,7	1	1,5	47,1
47	570,67 4195,89	0,6	33,5	27,3	60	30,6	17	363	3,2	91	0,3	2,5	0,3	93	0,049	49,1	0,752	1,08	0,9	1,9	56,5
48	570,74 4195,87	1,5	142,2	35,9	1005	32,1	16	427	3,66	74	0,6	6	0,7	72	0,06	53,1	0,691	0,31	1,1	2,3	44,6
49	571,03 4196,44	1,5	332,5	63,2	635	18,1	67	2050	2,89	77	1,6	4,7	0,5	68	0,033	26,6	0,75	0,54	0,9	1,4	38,8
50	572,35 4195,26	0,7	15,3	22,8	72	13,4	8	538	2,52	101	0,1	2,5	0,3	74	0,037	36	0,97	0,65	1,1	1,6	35,1
51	572,26 4197,67	0,8	225,7	27,5	183	8,1	14	1142	5,12	13	0,2	3,3	0,4	202	0,023	67,2	0,747	0,2	0,8	1,2	11,7
52	572,84 4194,32	1,1	75,1	51	168	25,2	16	7417	3,18	194	0,3	3,5	0,4	89	0,03	49,6	1,674	1,18	1,2	2,5	35,9
53	574,35 4194,66	1,1	75,5	42,9	137	30,6	22	1197	3,89	168	0,5	3,3	0,5	137	0,089	67,5	1,221	1,73	1,2	2,5	75,7
54	572,75 4191,02	0,5	33,4	10,7	23	14	367	3,18	237	0,2	1,6	0,3	89	0,053	54	2,227	1,18	1,1	1,9	32,8	
55	572,75 4191,95	0,7	72,4	62,7	107	25,2	14	370	3,75	313	0,1	1,6	0,6	93	0,037	55,2	2,779	1,36	1,6	2,9	62,8
56	569,52 4193,29	0,8	101,4	94,8	3025	23,9	20	1025	4,98	193	5,2	10,9	0,8	100	0,082	46,2	1,192	0,93	0,9	2,1	44,3
57	569,90 4192,69	0,5	29,2	34,7	93	23	13	466	3,22	205	0,3	1,8	0,2	117	0,04	46,6	1,651	0,91	0,3	1,4	42,7
58	570,43 4194,63	0,3	50	40,5	153	32,4	17	666	4	219	0,3	1,5	0,2	133	0,051	37,5	1,963	1,18	1,1	1,3	46,4
59	570,80 4193,06	0,7	10,9	51,1	179	22	13	768	3,11	132	0,1	3,6	0,6	120	0,036	49,2	0,752	0,72	1,2	1,4	35,2
60	570,77 4192,99	2,9	480	753,2	879	17,9	7	377	21,53	138	0,7	374,5	17,5	115	0,067	49,1	0,805	0,95	0,9	30,5	49
61	572,22 4193,87</																				

anexo IV Parâmetros dos modelos deduzidos a partir dos variogramas experimentais para os elementos considerados

ID	C0	1ª estrutura					2ª estrutura				
		modelo	direcção	C1	A1	anis.(1)	modelo	direcção	C2	A2	anis.(2)
Al	20000000	esférico	90	19100000	2500	1,3					
As	20	esférico	135	94,8	3100	1,8					
Ba	6000	esférico	0	5400	2350	2,5					
Bi	0,004	esférico	isótropo	0,0461	3000	1					
Cd	0,0067	esférico	0	0,00425	3000	1,3					
Co	19	esférico	135	9,8	1700	1,5					
Cr	180	esférico	135	287	3000	1,9					
Cu	200	esférico	isótropo	642	2500	1					
Fe	40000000	esférico	135	33400000	2800	1,8					
K	1300000	exponencial	45	17700000	950	1,2					
Mn	30000	exponencial	90	63500	750	1,5					
Mo	0,08	esférico	0	0,1075	1900	1,4					
Na	1900000	esférico	0	5000000	800	1	esférico	0	33/0000	4200	1
Ni		esférico	0	30	1350	1	esférico	0	33	4000	1
P	11000	esférico	0	1760	1500	1,3					
Pb	80	esférico	0	588	3200	1,15					
Rb	300	esférico	0	528	1600	1,3					
Sb	0,6	esférico	135	1,67	3500	1,7					
Sn	0,1	esférico	0	0,27	1000	1	esférico	135	0,415	2850	1,15
Sr	750	esférico	0	1480	3650	1,9					
V	200	exponencial	135	879	600	1,45					
W	0,035	esférico	0	0,0584	2250	1,35					
Zn	550	esférico	isótropo	677	3200	1					

legenda

- C0 - efeito pepita
- C1 - tamanho da 1ª estrutura
- A1 - comprimento 1ª estrutura [m]
- anis.(1) - anisotropia 1ª estrutura [eixo maior/eixo menor]
- C2 - tamanho 2ª estrutura
- A2 - comprimento 2ª estrutura [m]
- anis.(2) - anisotropia 2ª estrutura [eixo maior/eixo menor]

anexo V Matriz de correlação tendo em conta a globalidade dos resultados (n = 356)

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	Fe	As	Sr	Cd	Sb	Bi	V	P	Cr	Ba	Λ	Na	K	W	Sn	Rb		
Mo	1																								
Cu	0.287	1																							
Pb	0.403	0.399	1																						
Zn	0.087	0.652	0.444	1																					
Ni	0.097	-0.125	-0.282	0.093	1																				
Co	0.72	0.18	0.272	0.728	0.103	1																			
Mn	0.508	0.09	-0.07	0.192	0.497	0.278	1																		
Fe	0.499	0.467	0.535	0.169	0.026	0.307	0.108	1																	
As	0.377	0.188	0.775	0.38	-0.305	0.068	-0.050	0.708	1																
Sr	0.112	0.037	0.022	-0.019	-0.183	-0.147	0.019	0.034	0.108	1															
Cd	0.067	0.568	0.099	0.079	0.105	0.719	0.201	0.274	0.114	0.023	1														
Sb	0.429	0.566	0.033	0.193	-0.204	0.282	-0.067	0.589	0.677	0.039	0.113	0.985	1												
Bi	0.100	0.173	0.034	0.170	-0.183	0.295	-0.072	0.589	0.677	0.039	0.113	0.985	0.296	1											
V	0.012	-0.246	-0.295	-0.122	0.739	0.190	0.051	0.053	0.272	0.038	-0.32	0.308	-0.050	-0.078	0.143	1									
P	0.153	0.032	-0.017	-0.079	0.056	-0.073	0.093	0.073	0.057	0.139	-0.083	-0.050	-0.078	0.143	0.222	0.224	1								
Cr	-0.183	-0.264	-0.297	-0.140	0.720	0.173	-0.085	0.033	-0.308	0.038	-0.26	0.377	0.297	0.889	0.222	0.224	0.205	1							
Ba	0.07	-0.153	-0.333	-0.146	0.499	-0.027	0.064	-0.26	-0.327	0.160	-0.155	-0.357	-0.333	0.429	0.224	0.224	0.579	0.579	1						
Λ	-0.062	-0.148	-0.186	-0.121	0.589	0.077	0.006	0.016	0.199	0.324	-0.137	0.237	0.195	0.745	0.58	0.740	0.579	0.579	0.579	1					
Na	-0.203	-0.075	-0.090	-0.063	-0.332	-0.218	-0.200	-0.138	-0.068	0.643	-0.069	-0.094	-0.087	-0.036	-0.02	-0.085	0.002	0.204	0.204	0.204	1				
K	0.037	0.070	0.070	-0.081	0.511	0.137	0.004	0.051	0.084	0.066	-0.08	0.023	0.036	0.642	0.210	0.670	0.664	0.881	0.881	0.881	0.881	1			
W	0.708	0.00	0.86	0.003	0.60	0.040	0.819	0.281	0.73	0.51	-0.004	0.184	0.77	-0.040	0.169	-0.225	0.197	-0.040	-0.040	-0.040	-0.040	-0.040	1		
Sn	0.125	0.516	0.020	0.175	-0.305	0.275	-0.037	0.610	0.743	0.028	0.109	0.945	0.977	-0.337	0.083	-0.320	-0.299	-0.199	-0.097	0.010	0.212	0.212	0.212	1	
Rb	0.070	0.048	-0.064	-0.083	0.407	0.059	0.071	0.114	0.007	0.027	-0.02	0.050	0.063	0.115	0.156	0.222	0.290	0.685	-0.279	0.881	0.048	0.000	0.000	0.000	1

anexo V Matriz de correlação dos terrenos de cobertura da bacia terciária do Sado (n=51)

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	Fe	As	Sr	Cd	Sb	Bl	V	P	Cr	Ba	Al	Nz	K	W	Sr	Rb
Mo	1																						
Cu	0.132	1																					
Pb	0.282	0.680	1																				
Zn	0.028	0.620	0.777	1																			
Ni	0.117	0.264	0.050	0.322	1																		
Co	0.429	0.143	0.210	0.250	0.790	1																	
Mn	0.317	0.151	0.197	0.150	0.737	0.890	1																
Fe	0.148	0.335	0.133	0.706	0.938	0.736	0.618	1															
As	0.212	0.757	0.673	0.405	0.073	0.013	0.007	0.185	1														
Sr	-0.250	0.001	0.012	0.279	-0.093	-0.175	-0.175	-0.010	0.035	1													
Cd	-0.110	0.263	0.402	0.604	0.218	0.046	0.027	0.283	0.270	0.740	1												
Sb	0.186	0.771	0.592	0.365	0.201	0.077	0.150	0.257	0.890	-0.057	0.250	1											
Bl	0.127	0.771	0.701	0.386	0.016	-0.001	0.109	0.078	0.864	-0.043	0.130	0.795	1										
V	0.150	0.247	0.145	0.459	0.856	0.691	0.556	0.941	0.143	0.082	0.336	0.203	-0.021	1									
P	0.237	0.194	0.193	0.181	-0.007	0.038	-0.047	0.113	0.191	-0.067	0.173	0.216	0.062	0.777	1								
Cr	0.140	0.254	0.084	0.297	0.941	0.785	0.711	0.935	0.062	-0.104	0.224	0.167	0.022	0.871	0.008	1							
Ba	0.205	0.272	0.174	0.379	0.786	0.645	0.575	0.841	0.100	0.206	0.257	0.237	0.109	0.872	0.056	0.781	1						
Al	0.104	0.288	0.133	0.445	0.903	0.721	0.621	0.946	0.107	0.055	0.273	0.200	0.049	0.919	0.035	0.880	0.854	1					
Na	-0.210	0.050	0.118	0.151	-0.382	-0.389	-0.377	-0.311	-0.053	0.890	-0.082	-0.085	0.050	-0.197	-0.080	-0.373	-0.745	-0.732	1				
K	0.220	0.230	0.156	0.306	0.877	0.811	0.731	0.873	0.071	-0.068	0.175	0.167	0.047	0.836	0.100	0.343	0.781	0.920	-0.303	1			
W	0.309	0.167	0.309	0.212	0.093	0.312	0.370	0.083	0.090	-0.127	-0.172	0.134	0.146	0.112	0.119	0.072	0.151	0.171	0.172	0.229	1		
Sn	0.346	0.585	0.487	0.368	0.628	0.636	0.718	0.630	0.427	-0.274	0.107	0.639	0.633	0.517	0.133	0.619	0.665	0.613	-0.240	0.664	0.311	1	
Rb	0.273	0.159	0.121	0.282	0.733	0.751	0.655	0.726	0.051	-0.155	-0.015	0.145	0.048	0.696	0.072	0.709	0.698	0.810	-0.307	0.884	0.325	0.599	1

anexo V Matriz de correlação dos grupos das rochas ígneas - doleritos de Messejana (n=6)

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	Fe	As	Sr	Cd	Sb	Bi	V	P	Cr	Ba	Al	Na	K	VI	Sr	Rb	
Mo	1																							
Cu	0.997	1																						
Pb	0.995	0.989	1																					
Zn	0.999	0.993	0.997	1																				
Ni	0.638	0.675	0.608	0.613	1																			
Co	0.917	0.929	0.920	0.912	0.841	1																		
Mn	0.778	0.775	0.735	0.774	0.441	0.652	1																	
Fe	0.620	0.668	0.607	0.596	0.948	0.837	0.348	1																
As	0.398	0.325	0.899	0.888	0.706	0.900	0.606	0.805	1															
Sr	-0.052	-0.077	0.040	-0.023	-0.019	0.161	-0.372	0.568	-0.031	1														
Cd	0.999	0.995	0.997	1.000	0.622	0.915	0.770	0.606	0.893	-0.028	0.943													
Sb	0.950	0.869	0.938	0.939	0.724	0.906	0.668	0.762	0.874	-0.111	0.943													
Bi	0.659	0.766	0.650	0.636	0.731	0.723	0.270	0.860	0.889	-0.115	0.646	0.856	1											
V	0.748	0.782	0.757	0.735	0.875	0.928	0.435	0.954	0.893	0.230	0.742	0.834	0.838	1										
P	0.121	0.181	0.087	0.091	0.787	0.869	0.097	0.758	0.821	-0.118	0.106	0.335	0.625	0.543	1									
Cr	0.551	0.601	0.521	0.520	0.946	0.738	0.260	0.956	0.720	-0.103	0.533	0.723	0.866	0.846	0.884	1								
Ba	0.815	0.864	0.775	0.790	0.784	0.785	0.628	0.809	0.906	-0.386	0.799	0.939	0.898	0.782	0.539	0.831	1							
Al	0.245	0.292	0.261	0.227	0.188	0.593	0.060	0.812	0.403	0.113	0.207	0.303	0.631	0.814	0.754	0.302	0.428	1						
Na	-0.261	-0.288	-0.166	-0.232	-0.225	-0.078	-0.581	-0.121	-0.217	0.965	-0.236	-0.328	-0.228	0.019	-0.211	-0.253	-0.548	0.279	1					
K	0.638	0.586	0.528	0.516	0.956	0.796	0.260	0.990	0.720	0.133	0.525	0.678	0.802	0.926	0.806	0.955	0.731	0.918	0.1049	1				
VI	0.803	0.816	0.841	0.804	0.674	0.892	0.328	0.784	0.896	0.379	0.808	0.850	0.809	0.910	0.322	0.676	0.693	0.642	0.207	0.742	1			
Sr	0.633	0.683	0.622	0.608	0.871	0.794	0.305	0.970	0.863	0.019	0.619	0.815	0.956	0.929	0.729	0.946	0.871	0.800	-0.114	0.937	0.810	1		
Rb	0.473	0.533	0.450	0.450	0.954	0.735	0.315	0.965	0.660	-0.021	0.461	0.621	0.736	0.866	0.815	0.934	0.731	0.868	-0.207	0.972	0.602	0.896	1	

anexo V Matriz de correlação do grupo do substrato Hercínico Calui (n= 4)

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Ca	Mn	Fe	As	Sr	Cd	Sb	Bi	V	P	Cr	Ba	Al	Na	K	W	Sn	Rb
Mo	1																						
Cu	0.250	1																					
Pb	0.573	0.276	1																				
Zn	0.106	0.697	0.084	1																			
Ni	0.253	-0.095	-0.324	0.153	1																		
Co	0.229	0.519	0.276	0.855	0.279	1																	
Mn	0.503	0.098	-0.066	0.233	0.590	0.203	1																
Fe	0.659	0.457	0.681	0.163	0.032	0.367	0.085	1															
As	0.508	0.516	0.859	0.157	-0.323	0.166	-0.036	0.564	1														
Sr	-0.250	-0.219	-0.050	-0.39	-0.303	-0.230	-0.73	-0.323	-0.072	1													
Cd	0.033	0.588	0.040	0.987	0.181	0.865	0.250	0.088	0.108	0.22	1												
Sb	0.674	0.521	0.910	0.184	-0.326	0.305	-0.056	0.640	0.803	-0.29	0.17	1											
Bi	0.600	0.356	0.983	0.104	-0.334	0.318	0.070	0.765	0.830	0.081	0.071	0.866	1										
V	-0.210	-0.383	-0.399	-0.289	0.585	-0.117	-0.066	-0.116	-0.415	-0.118	-0.273	-0.422	-0.413	1									
P	-0.013	-0.119	-0.087	0.71	0.121	-0.162	0.072	-0.032	-0.040	0.93	0.59	0.113	0.120	0.193	1								
Cr	-0.300	-0.355	-0.399	-0.278	0.490	-0.119	-0.204	-0.116	-0.416	-0.149	-0.264	-0.416	-0.410	0.938	0.278	1							
Ba	0.072	-0.251	0.397	0.281	0.516	-0.207	0.704	0.117	-0.316	0.08	0.267	0.417	0.422	0.746	0.221	0.109	1						
Al	-0.285	-0.365	-0.323	-0.335	0.365	-0.254	-0.146	-0.133	-0.297	0.185	-0.318	-0.410	-0.368	0.824	0.20	0.790	0.430	1					
Na	-0.403	-0.005	-0.180	-0.748	-0.400	-0.071	-0.277	-0.373	-0.301	0.871	-0.72	-0.196	-0.184	-0.31	-0.205	-0.138	-0.183	0.143	1				
K	-0.096	-0.130	0.131	0.226	0.500	-0.036	0.065	0.088	-0.054	0.31	0.229	-0.117	-0.150	0.755	0.272	0.770	0.460	0.770	0.411	1			
W	0.652	0.033	0.196	-0.028	0.409	0.002	0.873	0.268	0.187	-0.07	-0.037	0.83	0.190	-0.38	-0.078	-0.258	0.352	-0.106	-0.199	-0.040	1		
Sn	0.618	0.434	0.963	0.116	-0.344	0.218	0.055	0.771	0.833	0.20	0.072	0.963	0.982	-0.440	0.072	0.442	0.403	-0.373	0.218	0.139	0.205	1	
Rb	0.073	-0.042	-0.142	-0.202	0.467	-0.102	0.045	0.101	-0.037	-0.483	-0.211	-0.159	-0.161	0.519	0.186	0.524	0.506	0.559	-0.535	0.877	0.057	-0.105	1

anexo VI Parâmetros dos modelos deduzidos a partir dos variogramas experimentais para os 5 eixos considerados

ID	CO	estrutura				
		modelo	direcção	C1	A1	anis.(1)
eixo 1	0,18	esférico	0	0,1085	1640	2
eixo 2	0,07	esférico	isótropo	0,1235	1200	1
eixo 3	0,002	esférico	/	0,122	1500	1,5
eixo 4	0,005	esférico	142	0,097	2000	1,25
eixo 5	0,043	esférico	isótropo	0,036	3300	1

legenda

- CO coeficiente
- C1 parâmetro da estrutura
- A1 comprimento da estrutura [m]
- anis.(1) anisotropia da estrutura (eixo maior/eixo menor)

anexo VII Matriz de correlação tendo em conta a globalidade dos resultados (n = 67)

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mr	Fe	As	Sr	Cc	Sb	Bi	V	P	Cr	Ba	Al	Na	K	W	S1	Rb
Mo	1																						
Cu	0,460	1																					
Pb	0,922	0,324	1																				
Zn	0,116	0,672	0,085	1																			
Vi	0,220	0,112	-0,273	0,337	0,511	1																	
Co	-0,155	0,235	-0,223	0,337	0,511	1																	
Mn	0,286	0,116	-0,328	0,027	0,783	0,662	1																
Fe	0,425	0,336	0,330	0,099	-0,352	-0,307	-0,391	1															
As	0,504	0,268	0,736	0,777	-0,307	-0,287	-0,349	0,548	1														
Sr	0,045	-0,161	0,082	0,555	0,073	0,100	0,046	-0,209	0,003	1													
Cd	0,194	0,574	0,777	0,948	0,059	0,374	0,015	0,051	0,165	-0,007	1												
Sb	0,815	0,264	0,866	0,732	0,373	0,244	-0,359	0,405	0,787	0,106	0,198	1											
Bi	0,834	0,224	0,863	0,692	-0,302	-0,216	-0,328	0,298	0,402	0,178	0,178	0,810	1										
V	-0,160	0,000	-0,31	0,077	0,505	0,320	0,570	-0,168	0,083	0,077	-0,033	-0,099	-0,162	1									
P	0,422	0,222	0,214	0,071	-0,29	-0,181	-0,178	0,565	0,325	0,005	0,068	0,166	0,081	-0,185	1								
Cr	-0,161	0,014	-0,180	0,009	0,708	0,316	0,569	-0,119	-0,167	-0,108	-0,033	-0,180	-0,189	0,821	-0,080	1							
Ba	-0,143	0,183	-0,281	0,078	0,570	0,242	0,252	-0,116	-0,113	0,172	-0,042	-0,283	-0,394	0,227	0,188	0,204	1						
Al	0,148	0,131	0,30	0,051	0,592	0,164	0,127	-0,184	-0,052	0,631	0,027	0,063	0,035	0,257	0,071	0,387	0,743	1					
Na	0,146	0,253	0,081	0,170	0,772	0,088	0,208	0,301	0,137	0,904	-0,039	0,050	0,020	-0,050	-0,170	-0,206	0,285	0,485	1				
K	0,441	0,152	0,391	-0,057	0,719	-0,011	-0,058	0,127	0,110	0,295	-0,032	0,270	0,274	0,076	0,257	0,152	0,587	0,773	0,100	1			
W	0,532	0,017	0,604	-0,039	0,727	0,749	-0,148	-0,112	0,043	0,407	0,026	0,464	0,501	-0,143	0,068	-0,230	0,008	0,347	0,297	0,378	1		
Sr	0,914	0,312	0,915	0,700	-0,295	-0,248	-0,342	0,377	0,580	0,227	0,192	0,910	0,908	-0,153	0,253	-0,173	-0,273	0,069	-0,042	0,320	0,524	1	
Rb	0,585	0,205	0,517	-0,068	0,350	0,019	-0,002	0,135	0,162	0,220	-0,034	0,356	0,354	0,050	0,305	0,156	0,486	0,685	0,001	0,339	0,727	0,433	1

anexo VII Matriz de correlação da bacia hidrográfica do barranco de Faróbo (n=20)

	Mb	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	Fc	As	Sr	Cd	Sb	Al	V	P	Cr	Ba	Al	Na	K	W	Sn	Rb	
Mb	0.488																							
Cu	0.965	0.372																						
Pb	0.278	0.888	0.223																					
Zn	0.023	0.571	-0.072	0.459																				
Ni	0.186	0.801	0.021	0.659	0.772																			
Co	-0.057	0.308	-0.220	0.354	0.500	0.621																		
Mn	0.971	0.382	0.987	0.207	-0.028	0.066	0.85	1																
Fc	0.941	0.240	0.978	0.103	-0.187	-0.105	-0.297	0.979																
As	-0.057	-0.335	0.001	-0.286	0.039	-0.134	0.228	-0.008	-0.050															
Sr	0.202	0.837	0.140	0.983	0.477	0.642	0.438	0.28	0.334	0.287	1													
Cd	0.929	0.206	0.964	0.082	-0.227	-0.138	-0.372	0.971	0.998	-0.063	0.011													
Sb	0.959	0.303	0.993	0.165	-0.146	-0.047	0.272	0.986	0.995	0.027	0.071	0.986												
Al	0.377	0.160	0.411	-0.029	0.407	0.074	0.078	0.22	0.326	0.398	-0.050	0.306	0.364	1										
V	0.173	0.468	0.391	0.469	0.276	0.388	0.216	0.51	0.363	0.006	0.788	0.39	0.377	0.019	1									
P	0.277	0.479	0.135	0.195	0.770	0.587	0.370	0.209	0.057	0.178	0.204	0.042	0.098	0.572	0.235	1								
Cr	0.795	0.159	0.216	0.053	0.403	0.260	0.780	0.86	0.985	0.801	0.037	0.052	0.133	0.742	0.372	0.372	1							
Ba	0.097	0.049	0.115	-0.080	0.473	0.177	0.321	0.22	0.073	0.881	-0.088	-0.006	0.047	0.556	0.38	0.498	0.901	1						
Al	-0.112	-0.398	-0.168	-0.399	-0.006	-0.161	0.783	-0.158	-0.197	0.938	-0.399	-0.119	-0.194	0.207	-0.107	0.095	0.688	0.790	1					
Na	0.248	0.132	0.252	0.039	0.451	0.208	0.279	0.227	0.156	0.731	0.032	0.773	0.182	0.481	0.185	0.484	0.902	0.903	0.682	1				
K	-0.169	-0.308	-0.110	-0.202	-0.247	-0.258	-0.779	-0.190	-0.138	0.423	-0.223	-0.145	-0.125	-0.094	-0.236	-0.259	0.258	0.237	0.381	0.350	1			
W	0.945	0.235	0.976	0.093	-0.180	-0.088	0.288	0.981	0.998	0.021	0.024	0.997	0.962	0.333	0.388	0.087	0.112	0.063	-0.167	0.179	-0.113	1		
Sn	0.373	0.175	0.302	0.278	0.208	0.690	0.061	0.90	0.245	0.358	0.271	0.429	0.857	0.840	0.541	0.964	0.317	0.252	0.417	0.113	0.179	-0.113	1	
Rb	0.373	0.175	0.302	0.278	0.208	0.690	0.061	0.90	0.245	0.358	0.271	0.429	0.857	0.840	0.541	0.964	0.317	0.252	0.417	0.113	0.179	-0.113	0.252	1

anexo VII Matriz de correlação da bacia hidrográfica da beira hidrográfica da ribeira da Água Azêca (n=13)

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	Fe	As	Sr	Cd	Sb	Bi	V	P	Cr	Ba	Al	Na	K	W	Sn	Rb
Mo	1																						
Cu	0.604	1																					
Pb	0.810	0.397	1																				
Zn	0.568	0.869	0.616	1																			
Ni	0.526	0.272	0.489	0.326	1																		
Co	0.761	0.363	0.327	0.397	-0.004	1																	
Mn	0.346	-0.077	0.138	-0.054	0.784	1																	
Fe	0.271	0.298	0.257	0.179	0.002	0.028	1																
As	0.698	0.871	0.670	0.901	0.296	0.289	-0.050	0.491	1														
Sr	0.498	-0.320	0.177	-0.314	0.378	-0.211	0.085	-0.282	-0.327	1													
Cd	0.466	0.495	0.586	0.734	0.067	0.784	0.369	0.690	0.568	0.235	1												
Sb	0.872	0.547	0.942	0.575	0.539	0.239	0.025	0.366	0.807	0.096	0.503	1											
Bi	0.880	0.398	0.849	0.436	0.516	0.333	0.026	0.366	0.642	0.241	0.317	0.930	1										
V	0.098	-0.025	-0.029	-0.143	-0.297	-0.096	0.189	0.919	0.770	-0.303	-0.289	0.046	0.056	1									
P	0.507	0.236	0.326	0.163	0.469	0.057	0.273	0.770	0.648	0.026	0.312	0.279	0.279	0.080	1								
Cr	0.712	0.036	0.189	0.147	0.297	-0.256	-0.732	0.661	0.239	-0.077	-0.206	0.213	0.225	0.595	0.013	1							
Ba	0.626	0.077	0.819	0.162	0.871	0.077	0.090	0.091	0.797	0.672	0.160	0.607	0.688	-0.287	0.530	0.178	1						
Al	0.665	0.253	0.586	0.278	0.916	-0.015	0.009	0.025	0.305	0.618	0.073	0.629	0.658	-0.274	0.685	0.148	0.940	1					
Na	0.271	-0.223	0.287	-0.169	0.355	-0.069	0.246	-0.775	-0.232	0.878	-0.726	0.786	0.759	-0.228	0.837	-0.097	0.537	0.995	1				
K	0.622	0.070	0.604	0.667	0.832	0.064	0.031	0.062	0.751	0.660	0.008	0.617	0.727	0.161	0.518	0.184	0.974	0.926	0.548	1			
W	0.795	0.337	0.667	0.105	0.680	-0.001	0.122	0.288	0.277	0.484	-0.052	0.707	0.781	0.076	0.523	0.235	0.781	0.808	0.518	0.870	1		
Sn	0.032	-0.160	0.173	0.173	-0.037	-0.162	0.175	0.701	-0.139	0.038	0.232	0.012	0.061	0.161	0.097	0.175	-0.067	-0.121	0.114	0.330	0.736	1	
Rb	0.573	0.002	0.543	0.062	0.895	-0.059	0.021	0.014	0.728	0.612	-0.018	0.567	0.652	-0.214	0.518	0.186	0.970	0.944	0.531	0.986	0.845	-0.065	1

anexo VII Matriz de correlação da bacia hidrográfica da ribeira da Água Forte (n=3)

	Mg	Ca	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	Fe	As	Sr	Cr	Sb	Bi	V	U	Cr	Ba	Al	Na	K	W	Sn	Hb	
Mg	1																							
Ca	0.609	1																						
Pb	0.909	0.779	1																					
Zn	0.827	0.775	0.779	1																				
Ni	-0.393	-0.762	-0.452	-0.527	1																			
Co	0.283	-0.068	-0.317	-0.374	0.874	1																		
Mn	-0.384	-0.209	-0.428	-0.432	0.762	0.919	1																	
Fe	0.213	0.277	0.273	0.429	-0.792	-0.762	-0.630	1																
As	0.631	0.296	0.623	0.762	-0.766	-0.666	-0.640	0.783	1															
Sr	0.173	-0.238	0.277	0.177	0.056	0.788	0.140	-0.581	-0.787	1														
Cr	0.814	0.320	0.887	0.926	-0.395	-0.229	-0.314	0.207	0.697	0.305	1													
Sb	0.853	0.272	0.989	0.762	-0.576	-0.359	-0.441	0.234	0.672	0.768	0.852	1												
Bi	0.799	0.208	0.970	0.597	-0.465	-0.505	-0.381	0.125	0.788	0.263	0.654	0.937	1											
V	-0.394	-0.393	-0.363	-0.408	0.670	0.772	0.888	-0.465	-0.467	0.038	-0.271	-0.330	-0.292	1										
U	0.211	0.179	-0.067	0.358	-0.284	-0.357	-0.244	0.439	0.701	-0.168	0.182	0.087	0.182	-0.367	1									
Cr	-0.274	-0.320	-0.417	-0.423	0.666	0.780	0.903	-0.480	-0.508	-0.041	-0.302	-0.384	-0.333	0.953	-0.273	1								
Ba	0.366	0.791	-0.568	-0.348	0.657	0.783	0.868	-0.500	-0.618	0.067	-0.397	-0.688	-0.693	0.081	0.135	0.147	1							
Al	-0.756	-0.082	-0.239	-0.330	0.775	0.679	0.470	-0.905	-0.665	0.523	-0.164	-0.282	-0.225	0.322	-0.328	-0.309	0.672	1						
Na	0.007	-0.377	0.779	-0.098	0.077	0.765	0.105	-0.597	-0.286	0.937	0.114	0.212	0.284	0.071	-0.717	-0.088	-0.075	0.196	1					
K	0.033	0.042	-0.039	0.174	0.592	0.321	0.031	-0.486	0.353	0.007	-0.087	0.081	0.078	-0.143	-0.230	0.046	0.240	0.612	0.025	1				
W	0.250	-0.077	0.295	0.090	-0.028	0.777	0.007	-0.792	-0.177	0.799	0.222	0.291	0.389	-0.142	-0.207	-0.275	0.007	0.106	0.802	0.005	1			
Sn	0.899	0.368	0.971	0.769	-0.435	-0.292	-0.377	0.125	0.569	0.322	0.851	0.963	0.907	-0.356	0.006	0.380	-0.539	-0.196	0.207	0.037	0.353	1		
Hb	0.271	0.325	0.724	0.005	0.625	0.464	0.171	-0.477	-0.235	-0.032	0.051	0.039	0.052	0.012	-0.758	0.082	0.441	0.630	-0.107	0.863	0.074	0.118	1	

anexo VII Matriz de correlação da bacia hidrográfica da beira do Roxo (n=8)

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	Fe	As	Sr	Cd	Sb	Bi	V	Cr	Ba	Ni	Na	K	W	Sn	Rb	
Mo	1																						
Cu	0,636	1																					
Pb	0,790	0,894	1																				
Zn	0,691	0,970	0,969	1																			
Ni	0,896	0,682	0,589	0,574	1																		
Co	0,742	0,237	0,453	0,302	0,654	1																	
Mn	0,863	-0,335	0,205	0,277	-0,185	0,263	1																
Fe	0,743	0,911	0,982	0,962	0,658	0,437	-0,246	1															
As	0,714	0,812	0,978	0,948	0,431	0,695	0,152	0,935	1														
Sr	-0,042	-0,110	0,158	0,035	0,136	0,315	0,253	0,213	0,208	1													
Cd	0,799	0,870	0,991	0,968	0,619	0,477	-0,168	0,918	0,968	0,131	1												
Sb	0,736	0,823	0,972	0,934	0,380	0,388	0,143	0,918	0,995	0,156	0,986	1											
Bi	0,700	0,906	0,981	0,980	0,477	0,327	-0,288	0,951	0,985	0,104	0,982	0,977	1										
V	0,597	0,583	0,731	0,659	0,588	0,632	0,219	0,783	0,699	0,683	0,698	0,652	0,642	1									
Cr	-0,170	0,114	0,042	0,059	0,556	0,206	-0,422	0,157	-0,057	0,489	-0,003	-0,088	0,143	0,345	1								
Ba	0,291	0,316	0,417	0,344	0,700	0,518	0,104	0,528	0,373	0,770	0,341	0,273	0,305	0,877	0,648	1							
Ni	0,598	0,655	0,585	0,584	0,653	0,217	-0,538	0,662	0,418	-0,190	0,499	0,421	0,524	0,337	0,162	0,323	1						
Na	0,510	0,707	0,896	0,686	0,792	0,360	-0,603	0,788	0,578	0,218	0,620	0,539	0,656	0,599	0,579	0,632	0,813	1					
K	-0,382	-0,341	-0,132	-0,170	-0,672	-0,291	0,302	-0,216	0,065	0,475	-0,068	0,060	-0,038	-0,034	-0,138	-0,122	-0,720	-0,484	1				
W	0,116	0,356	0,321	0,303	0,600	0,177	-0,631	0,382	0,190	-0,093	0,262	0,178	0,300	0,153	0,379	0,269	0,675	0,758	-0,517	1			
Sn	-0,296	-0,327	0,427	0,349	-0,748	-0,540	0,102	-0,552	-0,335	-0,703	0,327	0,273	-0,320	-0,800	-0,710	-0,957	-0,439	-0,746	0,259	-0,364	1		
Rb	0,688	0,753	0,838	0,808	0,583	0,382	-0,382	0,846	0,798	0,237	0,815	0,771	0,838	0,658	0,315	0,500	0,671	0,815	-0,116	0,693	-0,495	1	
	0,166	-0,140	0,047	0,092	0,207	0,203	0,280	0,113	-0,449	0,426	0,030	-0,062	-0,063	0,270	0,389	0,147	0,474	0,506	0,126	0,742	-0,622	0,441	1

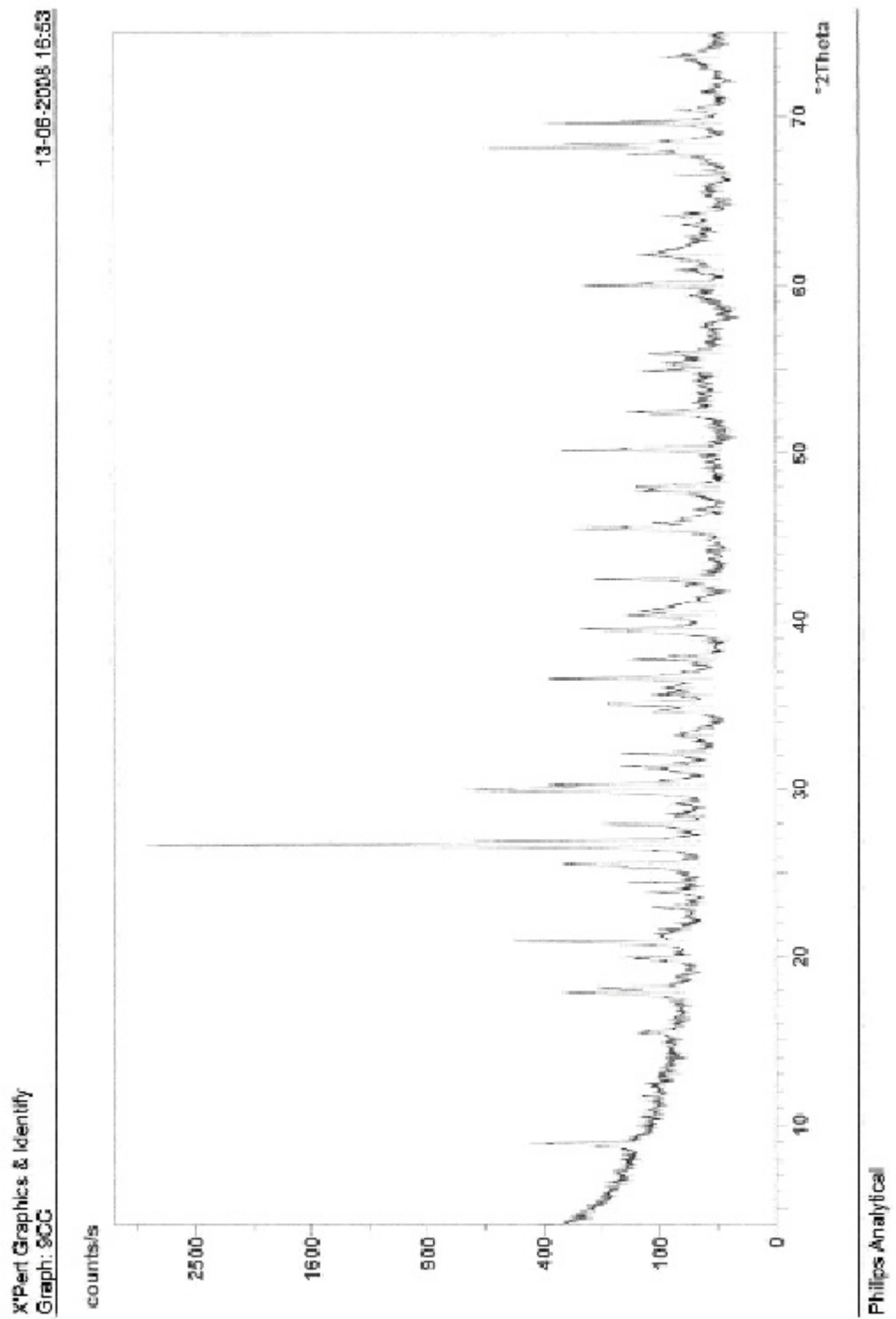
anexo VIII Concentrações de As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn [ppm] extraídas para as quatro amostras analisadas (K3, N5, L5 e J6) pelos diferentes reagentes de sequência de extração

	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
K3								
[a ₃]	1730,00	1,60	100,00	1230,00	167,00	11,30	4930,00	586,00
[a ₁]	1430,00	1,31	38,00	1160,00	128,00	8,20	3520,00	632,00
[a ₃]	11,90	0,38	2,60	620,00	82,60	3,20	69,60	396,00
[a ₂]	2,03	0,89	2,60	513,00	70,00	3,08	2,36	412,00
[a ₁]	0,02	0,69	0,05	170,00	68,30	2,05	0,23	266,00
N5								
[a ₃]	1330,00	2,20	19,70	893,00	105,00	7,30	10000,00	898,00
[a ₁]	1330,00	1,82	3,80	605,00	58,00	5,40	5450,00	826,00
[a ₃]	188,00	0,53	2,60	183,00	27,70	1,20	2060,00	241,00
[a ₂]	148,00	0,51	2,60	133,00	26,30	1,42	1260,00	239,00
[a ₁]	4,46	0,48	0,05	28,70	25,90	0,94	284,00	174,00
L5								
[a ₃]	3930,00	1,10	11,50	670,00	61,00	3,80	2020,00	341,00
[a ₁]	4430,00	0,90	5,70	502,00	47,00	3,50	1730,00	356,00
[a ₃]	16,90	0,73	2,60	156,00	39,40	0,60	28,60	262,00
[a ₂]	5,66	0,30	2,60	128,00	34,90	0,64	2,21	240,00
[a ₁]	0,23	0,32	0,05	0,90	10,10	0,43	0,02	12,00
J6								
[a5]	3610,00	1,00	16,60	1060,00	96,00	7,40	10000,00	225,00
[a4]	4030,00	0,72	4,70	325,00	56,00	3,60	20000,00	131,00
[a3]	288,00	0,40	2,60	386,00	10,50	0,42	6660,00	36,40
[a2]	39,80	0,28	2,60	208,00	4,36	0,22	3,90,00	23,00
[a1]	0,30	0,14	0,05	5,80	1,70	0,02	1210,00	7,00

anexo IX Valores em percentagem das concentrações de As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn [ppm] extraídas para as quatro amostras analisadas (K3, N5, L5 e J6) pelos diferentes reagentes de sequência de extração

	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
K3								
a ₁	64,332	23,221	69,517	33,225	32,005	39,580	57,917	26,530
a ₂	45,226	23,924	26,973	31,334	27,530	28,722	41,352	27,598
a ₃	0,361	17,954	1,738	16,991	15,811	11,522	0,700	17,249
a ₄	0,080	16,300	1,738	13,857	14,565	10,788	0,028	17,931
a ₅	0,000	12,601	0,335	4,632	13,080	9,387	0,003	11,572
N5								
a ₁	46,718	33,053	69,002	46,205	43,228	44,678	52,510	37,763
a ₂	43,458	32,307	13,310	35,960	23,878	33,028	28,018	37,735
a ₃	6,143	10,434	8,757	9,469	11,404	7,890	10,765	10,135
a ₄	4,836	9,638	8,757	8,882	10,828	8,685	6,616	10,050
a ₅	0,146	8,621	0,175	1,485	10,863	6,749	1,431	7,317
L5								
a ₁	46,074	23,605	51,685	43,312	30,716	42,860	53,427	28,333
a ₂	53,653	24,223	25,318	38,270	23,630	39,476	45,757	29,312
a ₃	0,203	19,733	11,236	10,035	19,859	6,774	0,756	20,983
a ₄	0,067	17,822	11,236	8,275	17,531	6,041	0,058	19,383
a ₅	0,003	8,613	0,225	0,055	8,115	4,860	0,001	0,339
J6								
a ₁	44,800	33,368	62,338	41,041	56,353	63,788	27,537	53,267
a ₂	50,756	23,345	17,937	35,814	33,223	30,886	49,188	31,013
a ₃	3,574	15,533	9,488	14,945	6,229	3,594	13,320	8,617
a ₄	0,866	11,103	9,488	7,976	2,587	1,903	9,321	5,445
a ₅	0,004	5,611	0,130	0,225	1,009	0,129	2,376	1,657

anexo X Difractograma da amostra X3



anexo X Difractograma da amostra K3 (cont.)

X'Pert Graphics & Identify

(searched) peak list: 9CC

13-06-2008 16:53

Original scan: 9CC

Date: 07-05-2008 10:15

Description of scan:

Used wavelength:

K-Alpha1

K-Alpha1 wavelength (Å): 1,5405600

K-Alpha2 wavelength (Å): 1,5443900

K-Alpha2/K-Alpha1 intensity ratio: 0,5000

K-Alpha wavelength (Å): 1,5405600

K-Beta wavelength (Å): 1,3922200

Peak search parameter set:

As Measured Intensities

Set created:

17-11-2000 14:40

Peak positions defined by:

Minimum of 2nd derivative

Minimum peak tip width (°2Theta): 0,00

Minimum peak tip width (°2Theta): 1,00

Peak base width (°2Theta): 2,00

Minimum significance: 0,60

d-spacing (Å)	Relative Intensity (%)	Angle (°2Theta)	Peak Height (counts/s)	Background (counts/s)	Tip Width (°2Theta)	Significance
9,89285	10,78	8,93140	313,90	137,71	0,10000	4,04
8,44346	0,63	10,46851	18,22	112,11	0,08000	0,70
7,57464	1,14	11,67322	33,12	99,17	0,12000	0,61
7,13098	0,55	12,38655	15,98	92,74	0,40000	1,05
5,70336	2,20	15,52386	64,17	71,42	0,12000	0,69
4,97236	9,51	17,82344	276,75	62,14	0,08000	1,53
4,88448	5,54	18,14679	161,20	60,94	0,08000	1,57
4,44376	3,96	19,96413	115,41	55,81	0,06000	1,90
4,24632	15,90	20,90255	463,07	53,94	0,10000	5,27
4,10246	1,74	21,64426	50,67	52,46	0,06000	0,97
3,87226	1,71	22,94790	49,81	49,86	0,16000	1,61
3,72476	2,77	23,86979	80,57	48,02	0,08000	0,85
3,63579	2,67	24,46279	77,88	46,84	0,08000	1,91
3,51439	4,34	25,32165	136,29	45,12	0,06000	0,92
3,48088	9,22	25,56953	268,35	44,63	0,14000	5,97
3,33949	100,00	26,67163	2911,58	42,43	0,10000	13,00
3,31390	19,41	26,88141	565,01	42,01	0,08000	1,75
3,19488	6,30	27,90276	183,41	39,97	0,16000	7,00
3,13462	1,01	28,43029	29,52	38,88	0,20000	1,27
3,05982	1,13	29,16106	32,83	37,46	0,16000	0,85
2,98173	22,42	29,94239	652,75	35,90	0,16000	8,83
2,95428	11,87	30,22722	345,54	35,34	0,10000	2,65
2,85154	3,65	31,34372	106,25	33,11	0,12000	2,21
2,83109	1,54	31,57603	44,79	32,64	0,08000	0,75
2,78409	5,05	32,12338	147,14	31,55	0,08000	1,58
2,69424	1,27	33,22512	36,90	29,35	0,32000	1,40
2,58757	2,72	34,63725	79,13	27,56	0,06000	0,84
2,56171	5,13	34,99801	149,38	27,44	0,16000	5,33

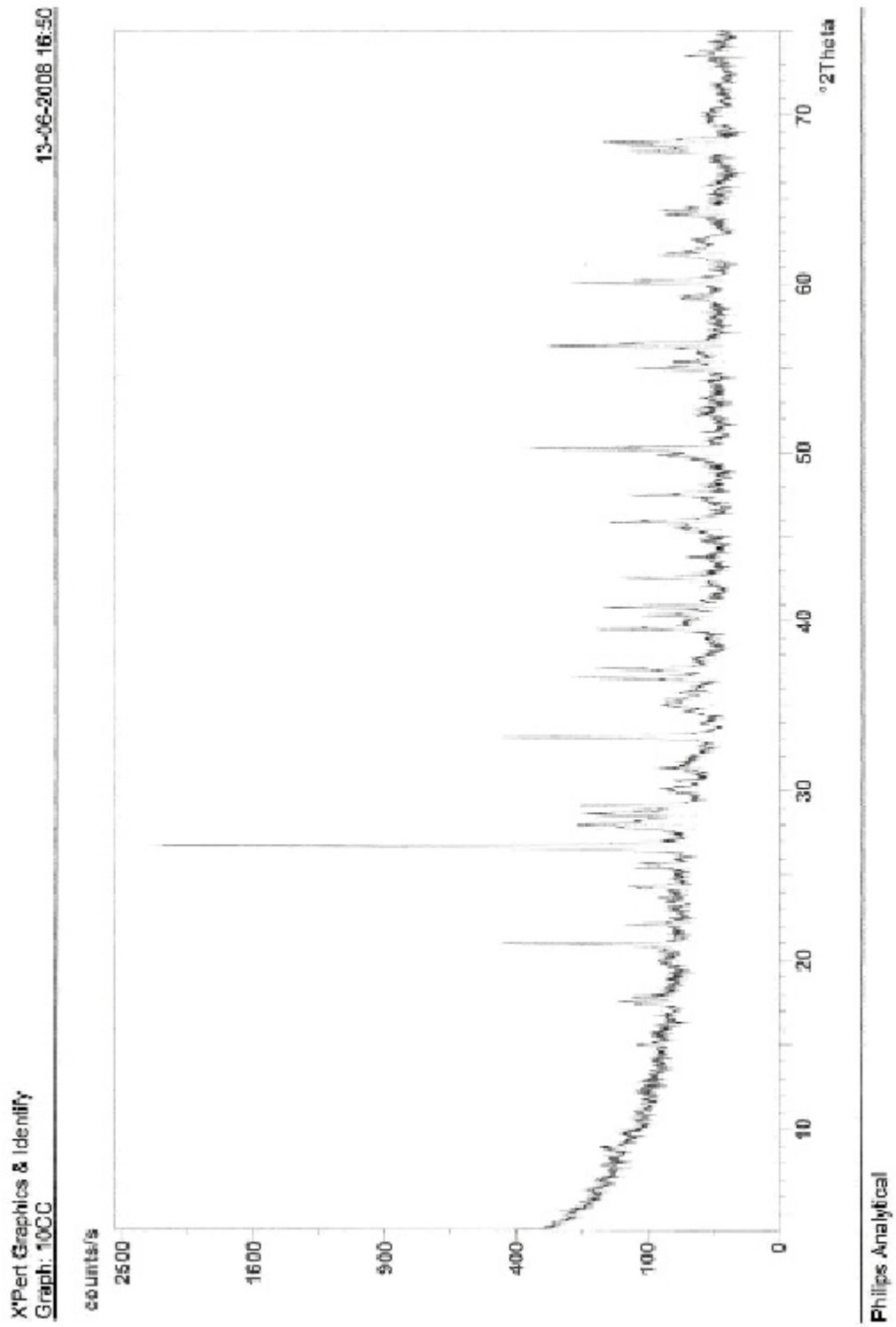
anexo X Difractograma da amostra K3 (cont.)

X'Pert Graphics & Identify
(searched) peak list: 9CC

13-06-2008 16:53

d-spacing (Å)	Relative Intensity (%)	Angle (°2Theta)	Peak Height (counts/s)	Background (counts/s)	Tip Width (°2Theta)	Significance
2,51848	2,19	35,61877	63,71	27,21	0,08000	0,63
2,49179	2,09	36,01320	60,85	27,07	0,10000	0,66
2,45480	12,35	36,57501	359,61	26,87	0,08000	2,74
2,38560	4,87	37,67521	141,81	26,48	0,06000	0,70
2,37781	4,20	37,80337	122,15	26,43	0,06000	0,76
2,27881	8,79	39,51245	256,07	25,82	0,08000	1,48
2,23520	5,01	40,31639	145,79	25,54	0,08000	0,87
2,21925	3,65	40,61890	106,19	25,43	0,12000	0,62
2,14459	1,23	42,09887	33,89	24,90	0,12000	0,63
2,12573	7,65	42,48993	222,88	24,76	0,10000	2,94
2,02045	0,44	44,82135	12,79	23,93	0,16000	0,76
1,99151	9,98	45,50883	290,70	23,68	0,08000	1,83
1,97820	2,96	45,83244	86,23	23,57	0,08000	2,20
1,94510	0,72	46,65799	20,98	23,27	0,16000	0,92
1,90340	3,49	47,74304	101,39	22,88	0,12000	0,87
1,89324	4,14	48,01532	120,42	22,79	0,12000	1,72
1,81679	11,08	50,17207	322,46	22,02	0,10000	4,17
1,81186	5,03	50,31793	146,50	21,97	0,06000	1,47
1,77104	0,67	51,56179	19,55	21,60	0,08000	0,60
1,74363	4,93	52,43346	143,41	21,42	0,08000	0,63
1,70698	0,62	53,64829	18,05	21,17	0,20000	0,68
1,69588	0,75	54,02772	21,72	21,09	0,20000	0,63
1,67059	4,29	54,91410	124,84	20,90	0,12000	2,43
1,65791	2,15	55,36967	62,62	20,81	0,16000	2,98
1,64341	3,47	55,90105	101,13	20,70	0,08000	0,86
1,63879	1,75	56,07251	51,09	20,66	0,10000	0,63
1,59770	0,54	57,64756	15,58	20,33	0,24000	0,66
1,55528	0,98	59,37498	28,45	20,17	0,24000	1,18
1,54084	8,74	59,98786	254,33	20,18	0,08000	2,36
1,53693	3,94	60,15631	114,77	20,19	0,08000	0,95
1,52009	1,03	60,89290	29,91	20,20	0,32000	2,93
1,49914	3,30	61,83628	96,23	20,22	0,20000	1,48
1,46283	1,25	63,54754	36,47	20,25	0,16000	0,74
1,45184	2,71	64,08588	78,98	20,26	0,06000	1,03
1,42601	0,45	65,38984	13,10	20,29	0,16000	0,68
1,40363	1,99	66,56657	57,89	20,31	0,06000	0,74
1,38228	5,09	67,73206	148,21	20,33	0,12000	3,53
1,37428	21,19	68,18009	616,87	20,34	0,06000	2,29
1,37112	10,65	68,35930	309,97	20,34	0,08000	2,52
1,35022	13,02	69,56779	379,14	20,37	0,06000	2,18
1,34690	5,16	69,76412	150,20	20,37	0,06000	1,06
1,33702	1,53	70,35554	44,63	20,38	0,12000	0,63
1,31931	0,55	71,44350	15,91	20,40	0,24000	1,36
1,28728	2,38	73,50743	69,27	22,46	0,12000	0,75

anexo X Difractograma da amostra N5



anexo X Difractograma da amostra N6 (cont.)

X'Pert Graphics & Identify
(searched) peak list: 10CC

13-06-2008 16:50

Original scan: 10CC Date: 07-05-2008 11:30
Description of scan:

Used wavelength: K-Alpha1

K-Alpha1 wavelength (Å): 1,5405600
K-Alpha2 wavelength (Å): 1,5443900
K-Alpha2/K-Alpha1 intensity ratio: 0,5000
K-Alpha wavelength (Å): 1,5405600
K-Beta wavelength (Å): 1,3922200

Peak search parameter set: As Measured Intensities
Set created: 17-11-2000 14:40
Peak positions defined by: Minimum of 2nd derivative
Minimum peak tip width (°2Theta): 0,00
Minimum peak tip width (°2Theta): 1,00
Peak base width (°2Theta): 2,00
Minimum significance: 0,60

d-spacing (Å)	Relative Intensity (%)	Angle (°2Theta)	Peak Height (counts/s)	Background (counts/s)	Tip Width (°2Theta)	Significance
9,95058	1,68	8,87948	38,43	136,30	0,32000	1,53
5,90553	1,53	14,98931	35,05	76,56	0,12000	1,40
5,06396	3,80	17,49151	86,89	65,61	0,06000	0,79
4,97165	2,25	17,82600	51,35	64,63	0,08000	0,86
4,46392	0,97	19,87304	22,25	39,27	0,24000	1,12
4,24078	17,44	20,93017	398,25	56,95	0,10000	5,16
4,01528	2,96	22,12006	67,61	54,35	0,08000	0,88
3,77746	0,57	23,53194	13,12	51,25	0,16000	0,65
3,66063	3,11	24,29426	71,06	49,58	0,16000	1,52
3,49420	3,49	25,47041	79,25	47,00	0,06000	1,59
3,46511	2,50	25,68788	57,05	46,52	0,08000	1,06
3,33455	100,00	26,71190	2284,10	44,28	0,10000	12,72
3,30644	4,98	26,94325	113,83	43,77	0,04000	0,65
3,20874	4,39	27,77982	100,25	41,94	0,10000	0,90
3,18846	8,02	27,96002	183,09	41,54	0,12000	2,08
3,12233	5,46	28,56466	124,27	40,22	0,08000	0,98
3,10936	6,87	28,68634	157,02	39,95	0,08000	0,90
3,06549	7,83	29,10592	178,89	39,03	0,16000	5,34
2,95936	1,46	30,17404	33,31	36,69	0,16000	0,66
2,91899	1,41	30,60151	32,14	35,75	0,14000	1,76
2,85569	2,52	31,29703	57,64	34,23	0,06000	0,63
2,70384	18,56	33,10373	423,82	30,43	0,08000	3,16
2,63653	0,21	33,97431	4,82	28,76	0,24000	0,64
2,53468	2,28	35,09757	52,05	27,09	0,16000	1,13
2,53380	1,96	35,39622	44,24	26,65	0,08000	0,70
2,51091	1,39	35,72978	31,24	26,16	0,08000	0,86
2,45351	7,55	36,59487	172,38	24,88	0,08000	1,85
2,41736	7,05	37,16200	161,05	24,05	0,08000	1,65

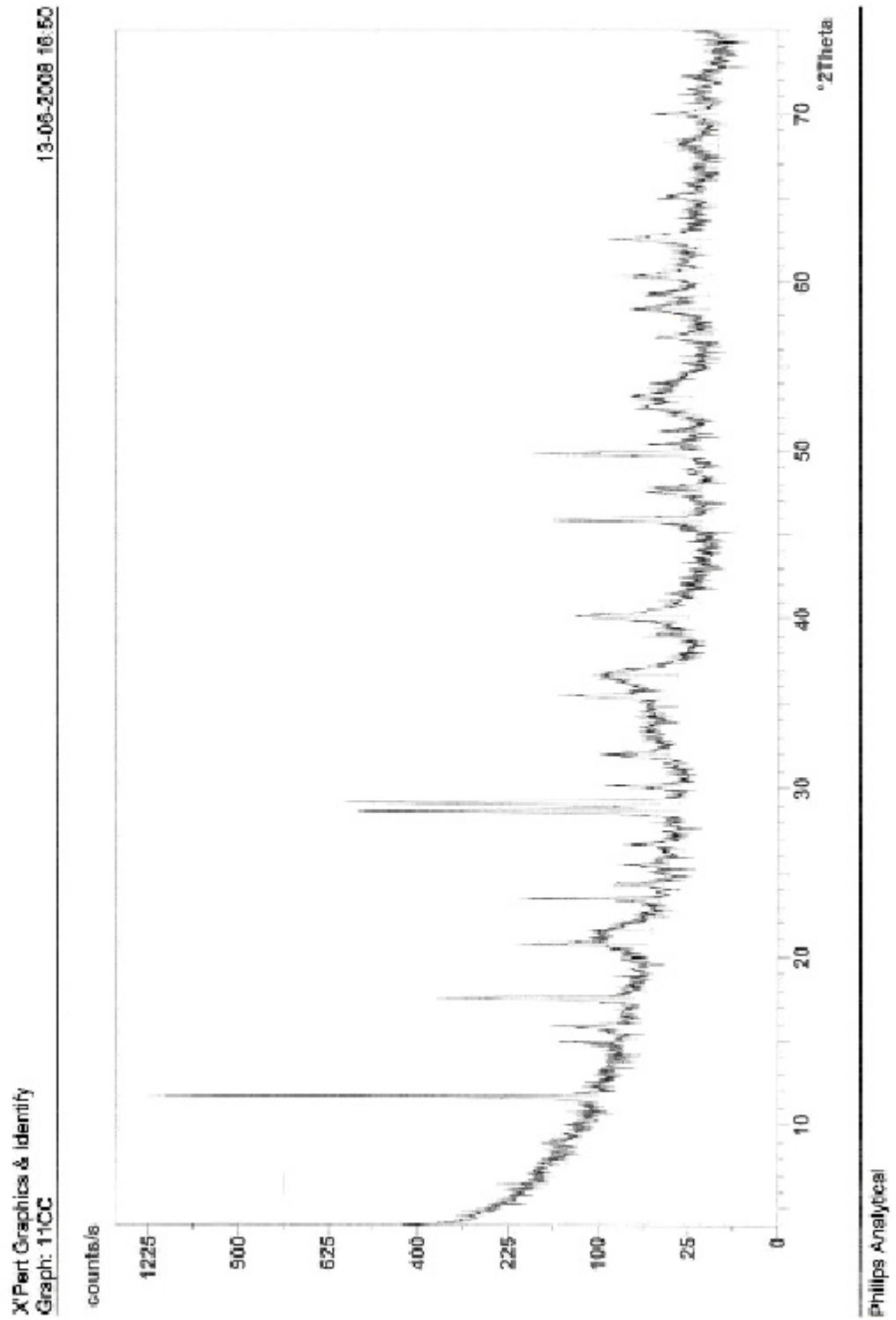
anexo X Difractograma da amostra N5 (cont.)

X'Pert Graphics & Identify
(searched) peak list: 10CC

13-06-2008 16:50

d-spacing (Å)	Relative Intensity (%)	Angle (°2Theta)	Peak Height (counts/s)	Background (counts/s)	Tip Width (°2Theta)	Significance
2,37861	0,73	37,79016	16,74	23,12	0,32000	0,87
2,27782	7,43	39,53037	169,72	21,81	0,08000	2,47
2,23335	3,17	40,54753	72,37	21,60	0,06000	2,12
2,20844	6,73	40,82656	153,82	21,49	0,10000	2,45
2,12446	4,83	42,51705	110,32	21,07	0,12000	2,93
2,06873	0,29	43,72051	6,54	20,77	0,40000	1,20
1,99544	1,16	45,41428	26,48	20,35	0,20000	0,74
1,97789	6,38	45,83988	145,76	20,25	0,10000	2,34
1,91330	4,76	47,47820	108,66	19,84	0,08000	1,19
1,82895	2,62	49,81565	59,90	19,26	0,16000	1,09
1,81560	16,18	50,20709	369,48	19,17	0,06000	1,72
1,81090	6,14	50,34652	140,15	19,13	0,04000	3,13
1,78222	0,74	51,21470	16,81	18,92	0,08000	0,67
1,74927	0,77	52,25174	17,60	18,66	0,16000	1,07
1,73748	0,64	52,63333	14,32	18,57	0,12000	0,63
1,71853	0,61	53,25910	14,03	18,41	0,24000	1,15
1,66982	4,11	54,94130	93,91	18,00	0,08000	1,02
1,65761	2,08	55,38060	47,53	17,89	0,06000	1,03
1,63182	12,61	56,33328	288,03	17,65	0,08000	2,86
1,62724	4,31	56,50597	98,42	17,61	0,08000	1,20
1,56207	1,79	59,09120	40,95	16,97	0,08000	0,76
1,53988	10,50	60,02909	239,81	16,74	0,06000	0,95
1,53619	4,56	60,18833	109,07	16,70	0,08000	0,99
1,50054	2,41	61,77268	33,72	16,31	0,12000	1,63
1,48037	0,68	62,69926	15,44	16,08	0,40000	1,57
1,45183	2,24	64,08624	51,22	15,74	0,12000	1,70
1,44655	2,46	64,34843	56,21	15,67	0,12000	1,69
1,41609	0,34	65,90561	7,73	15,29	0,48000	0,74
1,38114	4,42	67,79537	100,85	15,10	0,10000	2,47
1,37409	5,58	68,19106	127,38	15,08	0,08000	1,39
1,37094	7,07	68,36934	161,56	15,08	0,08000	2,07
1,36693	1,39	68,59798	31,74	15,07	0,08000	0,79
1,34129	0,65	70,09868	14,77	15,02	0,32000	0,72
1,31724	0,19	71,57309	4,26	14,98	0,48000	0,66
1,29096	0,66	73,26394	15,00	15,76	0,06000	0,99
1,28732	1,60	73,50511	36,53	16,02	0,12000	1,93

anexo X Difratograma da amostra L5



anexo X Difractograma da amostra L5 (cont.)

X'Pert Graphics & Identify (searched) peak list: 11CC

13-06-2008 16:51

Original scan: 11CC
Description of scan:

Date 07-05-2008 12:54

Used wavelength: K-Alpha

K-Alpha1 wavelength (Å): 1,5405600
K-Alpha2 wavelength (Å): 1,5443900
K-Alpha2/K-Alpha1 intensity ratio : 0,5000
K-Alpha wavelength (Å): 1,5405600
K-Beta wavelength (Å): 1,1922200

Peak search parameter set: As Measured Intensities
Set created: 17-11-2000 14:40
Peak positions defined by: Minimum of 2nd derivative
Minimum peak tip width (°2Theta): 0,00
Minimum peak tip width (°2Theta): 1,00
Peak base width (°2Theta): 2,00
Minimum significance: 0,60

d-spacing (Å)	Relative Intensity (%)	Angle (°2Theta)	Peak Height (counts/s)	Background (counts/s)	Tip Width (°2Theta)	Significance
7,56590	100,00	11,68675	1133,63	99,65	0,06000	4,52
5,91940	6,47	14,95400	73,90	73,85	0,08000	1,14
5,58751	8,07	15,84778	91,43	70,32	0,06000	1,51
5,05109	23,77	17,54343	269,44	63,62	0,10000	3,11
4,46974	1,10	19,84690	12,44	54,77	0,20000	0,62
4,27353	14,28	20,76798	161,85	51,80	0,12000	2,96
4,11643	3,87	21,56989	43,92	49,21	0,32000	1,15
3,79086	13,96	23,42254	158,31	43,25	0,08000	2,31
3,65823	3,91	24,31047	44,29	40,39	0,10000	1,27
3,49401	2,51	25,47176	28,40	37,13	0,24000	1,97
3,33519	2,09	26,70663	23,66	34,46	0,10000	0,82
3,11397	45,92	28,64298	520,60	30,87	0,10000	5,81
3,06449	48,33	29,11563	547,85	30,10	0,16000	12,68
2,96372	4,83	30,12862	54,72	28,63	0,16000	1,98
2,79132	3,69	32,03792	41,80	37,05	0,28000	3,09
2,53229	8,26	35,41805	93,60	37,19	0,08000	0,70
2,44823	5,08	36,67670	57,64	31,32	0,48000	2,23
2,30514	1,75	39,04258	19,86	23,38	0,08000	0,73
2,24588	8,61	40,11636	92,60	24,60	0,24000	3,52
1,97832	11,97	45,82948	135,71	16,52	0,10000	1,87
1,91087	2,77	47,54480	31,45	17,58	0,24000	1,81
1,89991	2,59	47,83618	29,31	17,76	0,06000	0,61
1,86651	0,36	48,74728	4,07	18,33	0,40000	1,48
1,83085	14,30	49,76042	162,07	19,34	0,06000	0,92
1,81017	3,27	50,36822	37,04	20,03	0,06000	1,05
1,78379	1,98	51,16664	22,49	20,94	0,08000	0,90
1,74072	3,10	52,52778	33,13	22,64	0,12000	0,73
1,72111	3,58	53,17311	40,63	23,47	0,20000	1,08

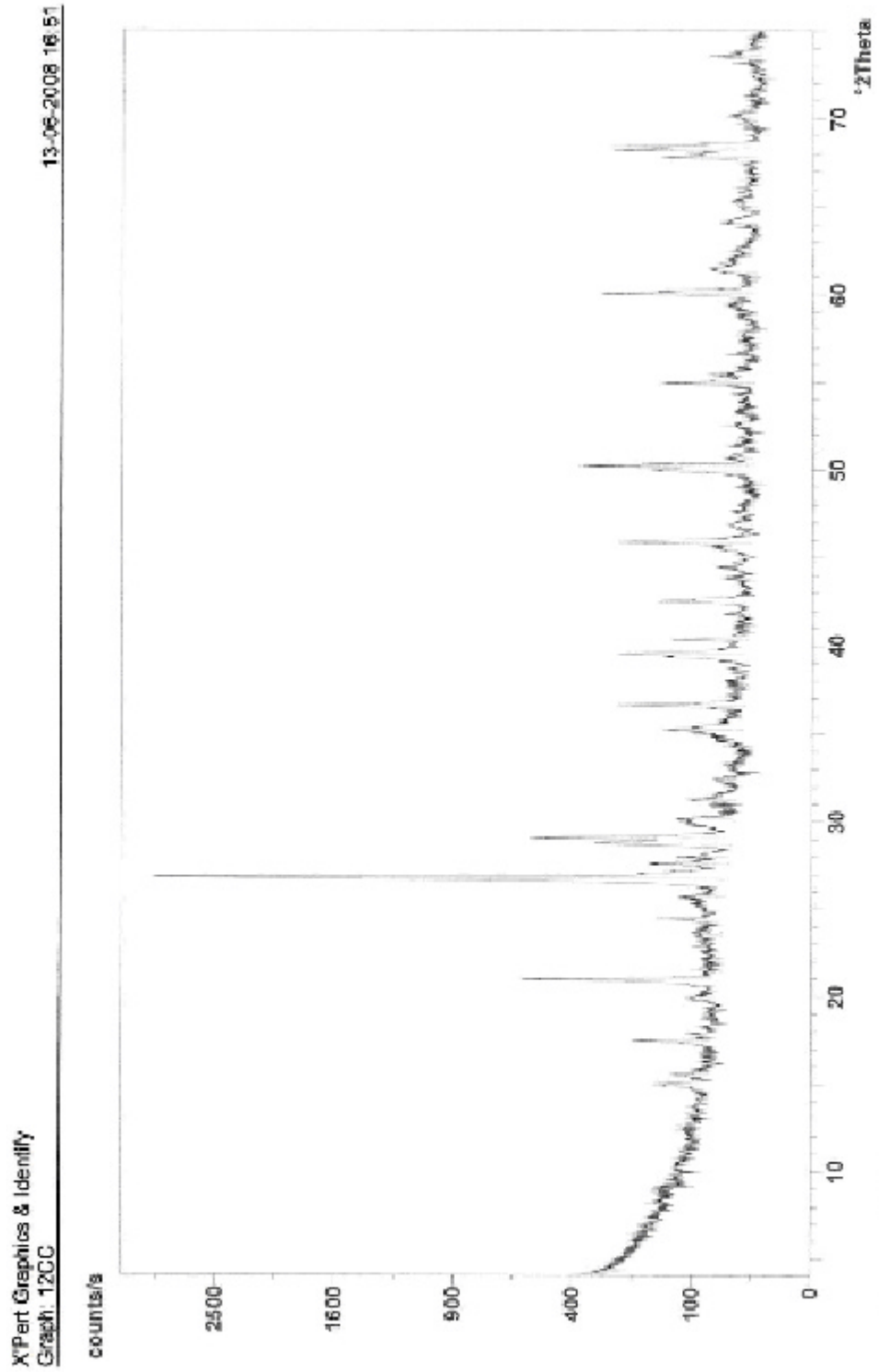
anexo X Difraclograma da amostra L5 (cont.)

X'Pert Graphics & Identify
(searched) peak list: HCC

13-06-2008 16:51

d-spacing (Å)	Relative Intensity (%)	Angle (°2Theta)	Peak Height (counts/s)	Background (counts/s)	Tip Width (°2Theta)	Significance
1,62160	2,42	56,72046	27,41	13,63	0,16000	0,83
1,57876	3,97	58,40551	45,01	14,98	0,12000	0,97
1,55930	3,21	59,20637	36,41	14,67	0,16000	0,60
1,53253	4,81	60,34690	54,56	14,22	0,24000	2,40
1,48401	5,66	62,33757	64,13	13,37	0,16000	1,19
1,43386	2,54	64,98722	28,79	12,42	0,16000	0,65
1,40087	0,64	66,71475	7,29	11,74	0,40000	0,94
1,37456	1,39	68,14194	15,76	11,19	0,64000	1,65
1,34366	2,84	69,95704	32,25	10,48	0,16000	1,30
1,33118	1,11	70,71066	12,63	10,19	0,10000	0,68
1,30848	0,95	72,12705	10,74	9,64	0,24000	0,81

anexo X Difractograma da amostra J6



anexo X Difraclograma da amostra J6 (cont.)

X'Pert Graphics & Identify
(searched) peak list: 12CC

13-06-2008 16:52

Original scan: 12CC

Date: 07-05-2008 14:05

Description of scan:

Used wavelength:

K-Alpha

K-Alpha wavelength (Å): 1,5405600

K-Alpha2 wavelength (Å): 1,5443900

K-Alpha2/K-Alpha intensity ratio: 0,5000

K-Alpha wavelength (Å): 1,5405600

K-Beta wavelength (Å): 1,3922200

Peak search parameter set:

As Measured Intensities

Set created:

17-11-2000 14:40

Peak positions defined by:

Minimum of 2nd derivative

Minimum peak tip width (°2Theta):

0,00

Minimum peak tip width (°2Theta):

1,00

Peak base width (°2Theta):

2,00

Minimum significance:

0,60

d-spacing (Å)	Relative Intensity (%)	Angle (°2Theta)	Peak Height (counts/s)	Background (counts/s)	Tip Width (°2Theta)	Significance
9,98609	0,73	8,84784	21,82	136,43	0,40000	1,53
7,04443	0,56	12,55523	16,71	94,28	0,40000	0,71
5,90648	2,69	14,98683	80,66	80,95	0,10000	1,10
5,70001	2,10	15,53305	63,19	78,21	0,10000	0,97
5,07565	5,04	17,45786	151,35	71,57	0,12000	3,28
4,44760	1,60	19,94668	48,10	65,28	0,10000	0,66
4,24489	17,29	20,90970	519,36	63,09	0,12000	8,81
3,77827	1,17	23,52682	35,14	57,15	0,48000	1,44
3,64487	3,84	24,40091	115,21	55,16	0,08000	1,35
3,46778	1,97	25,66770	59,28	52,28	0,20000	1,51
3,33434	100,00	26,71361	3003,36	49,91	0,14000	28,65
3,23482	3,93	27,55135	118,13	48,00	0,10000	1,70
3,18781	2,53	27,96587	75,86	47,06	0,06000	1,66
3,10627	9,49	28,71550	284,91	45,36	0,14000	5,42
3,07454	16,03	29,01835	481,40	44,67	0,16000	11,56
2,96698	2,64	30,09469	79,20	42,23	0,24000	2,43
2,89456	1,10	30,86620	32,92	40,47	0,12000	1,06
2,86061	2,14	31,24182	64,28	39,62	0,16000	1,55
2,76397	0,81	32,36364	24,43	37,07	0,16000	0,72
2,70613	0,33	33,07502	9,89	35,45	0,40000	1,44
2,54572	3,51	35,25372	105,38	32,55	0,10000	1,61
2,45238	7,86	36,61238	236,10	31,69	0,12000	5,34
2,37000	0,45	37,93263	13,43	30,86	0,40000	1,06
2,27222	7,75	39,54121	232,66	29,85	0,08000	1,31
2,23363	3,69	40,34606	110,82	29,34	0,08000	1,42
2,15923	0,58	41,80011	17,49	28,43	0,24000	1,74
2,12421	4,39	42,52225	131,91	27,97	0,10000	2,03
2,06560	0,71	43,79015	21,37	27,18	0,12000	0,63

anexo X Difractograma da amostra J6 (cont.)

X'Pert Graphics & Identify
(searched) peak list: 12CC

13-06-2008 16:52

d-spacing (Å)	Relative Intensity (%)	Angle (°2Theta)	Peak Height (counts/s)	Background (counts/s)	Tip Width (°2Theta)	Significance
2,03758	1,18	44,42430	35,34	26,78	0,12000	1,79
1,97746	8,34	45,85052	250,57	25,88	0,10000	2,56
1,93789	0,77	46,84202	23,04	25,26	0,20000	0,65
1,89850	0,26	47,87378	7,94	24,61	0,48000	0,97
1,82569	4,75	49,91069	142,58	24,07	0,08000	0,99
1,81544	12,00	50,21198	360,55	24,04	0,08000	2,95
1,81083	3,88	50,34882	116,51	24,03	0,04000	2,52
1,79975	1,00	50,68055	29,88	24,00	0,12000	0,64
1,77791	0,44	51,34816	13,07	23,93	0,10000	0,62
1,73871	0,64	52,59312	19,12	23,81	0,20000	0,81
1,71610	0,44	53,34043	13,29	23,74	0,24000	0,84
1,68763	0,78	54,31341	23,34	23,64	0,16000	0,73
1,66998	4,64	54,93582	139,46	23,58	0,08000	1,27
1,65684	1,89	55,40854	56,63	23,54	0,06000	1,10
1,62443	0,56	56,61267	16,89	23,42	0,20000	0,92
1,59571	0,27	57,72614	11,19	23,31	0,32000	0,70
1,55269	0,66	59,48388	19,78	23,14	0,28000	1,49
1,53997	9,70	60,02544	291,46	23,09	0,08000	2,13
1,53538	4,79	60,20155	143,91	23,07	0,06000	0,67
1,51169	1,25	61,29449	37,48	22,97	0,28000	2,31
1,48357	0,66	62,55797	19,83	22,84	0,16000	0,73
1,45195	1,16	64,08041	34,72	22,70	0,16000	1,06
1,42762	0,59	65,30652	17,82	22,58	0,24000	1,03
1,38118	4,10	67,79315	123,16	22,34	0,12000	3,23
1,37377	8,41	68,20937	252,70	22,30	0,06000	0,92
1,37045	8,69	68,39736	260,93	22,28	0,08000	2,40
1,34068	0,70	70,13534	20,91	22,11	0,32000	1,33
1,28668	1,72	73,54730	51,80	19,06	0,10000	1,21
1,28342	1,02	73,76497	30,77	19,06	0,12000	0,85

anexo XI nota explicativa da carta dos solos de Portugal

símb.	descrição
A	solos incipientes, aluviossolos modernos, não calcários, de textura mediana
Aa	solos incipientes, aluviossolos modernos, não calcários, de textura pesada
Aac	solos incipientes, aluviossolos modernos, calcários, (para-solos calcários), de textura pesada
Aacm	solos incipientes, aluviossolos modernos, calcários, molicos, de textura pesada
Aau	solos incipientes, aluviossolos modernos, não calcários, húmicos, de textura pesada
Ae	solos incipientes, aluviossolos modernos, calcários, (para-solos calcários), de textura mediana
Aem	solos incipientes, aluviossolos modernos, calcários, molicos, de textura mediana
Al	solos incipientes, aluviossolos modernos, não calcários, de textura ligeira
Alc	solos incipientes, aluviossolos modernos, calcários, (para-solos calcários), de textura ligeira
Alcm	solos incipientes, aluviossolos modernos, calcários, molicos, de textura ligeira
Alu	solos incipientes, aluviossolos modernos, não calcários, húmicos, de textura ligeira
Ap	solos podzolizados, podzóis (não hidromórficos), sem surraipa, normais, de areias ou arenitos
Apc	solos podzolizados, podzóis (não hidromórficos), sem surraipa, normais, de areias ou arenitos, cobertos por areias soltas
Aph	solos podzolizados, podzóis hidromórficos, sem surraipa, de areias ou arenitos
Apq	solos podzolizados, podzóis (não hidromórficos), sem surraipa, normais, de material coluvado derivado de quartzitos
Apr	solos podzolizados, podzóis (não hidromórficos), sem surraipa, para-solos líticos, de materiais arenáceos pouco consolidados
Art	afloramento rochoso de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas básicas afins
Are	afloramento rochoso de calcários ou dolomias
Arct	afloramento rochoso de arenitos calcários
Arcl	afloramento rochoso de calcários cristalinos associados a outras rochas cristalofílicas
Arf	afloramento rochoso de dioritos ou gabros
Arg	afloramento rochoso de granitos ferruginosos
Arq	afloramento rochoso de quartzitos ferruginosos
Argn	afloramento rochoso de granitos ou quartzodioritos
Argp	afloramento rochoso de gnaisses ou rochas afins
Arm	afloramento rochoso de micasas ou rochas afins
Arp	afloramento rochoso de pórfiros
Arq	afloramento rochoso de quartzitos ou rochas afins
Arsl	afloramento rochoso de sienitos
Ar	afloramento rochoso de arenitos
Arb	afloramento rochoso de arenitos do "buçaco"
Aix	afloramento rochoso de xistos ou grauwaques
As	solos halomórficos, solos salinos, de salinidade moderada, de aluviões, de textura mediana
Asa	solos halomórficos, solos salinos, de salinidade moderada, de aluviões, de textura pesada
Asac	solos halomórficos, solos salinos, de salinidade moderada, de aluviões, de textura pesada, calcários
Asc	solos halomórficos, solos salinos, de salinidade moderada, de aluviões, de textura mediana, calcários
Asl	solos halomórficos, solos salinos, de salinidade moderada, de aluviões, de textura ligeira
Aslc	solos halomórficos, solos salinos, de salinidade moderada, de aluviões, de textura ligeira, calcários
Ass	solos halomórficos, solos salinos, de salinidade elevada, de aluviões, de textura mediana
Assa	solos halomórficos, solos salinos, de salinidade elevada, de aluviões, de textura pesada
Assac	solos halomórficos, solos salinos, de salinidade elevada, de aluviões, de textura pesada, calcários
Assc	solos halomórficos, solos salinos, de salinidade elevada, de aluviões, de textura mediana, calcários
Assl	solos halomórficos, solos salinos, de salinidade elevada, de aluviões, de textura ligeira
Asslc	solos halomórficos, solos salinos, de salinidade elevada, de aluviões, de textura ligeira, calcários
At	solos incipientes, aluviossolos antigos, não calcários, de textura mediana
Ata	solos incipientes, aluviossolos antigos, não calcários, de textura pesada

anexo XI nota explicativa da carta dos solos de Portugal (cont.)

símb.	descrição
Aac	solos incipientes, aluviossolos antigos, calcários, (para-solos calcários), de textura pesada
Aau	solos incipientes, aluviossolos antigos, não calcários, húmicos, de textura pesada
Aca	solos incipientes, aluviossolos antigos, calcários, (para-solos calcários), de textura mediana
Ad	solos incipientes, aluviossolos antigos, não calcários, de textura ligeira
Adc	solos incipientes, aluviossolos antigos, calcários, (para-solos calcários), de textura ligeira
Adu	solos incipientes, aluviossolos antigos, não calcários, húmicos, de textura ligeira
Au	solos incipientes, aluviossolos antigos, não calcários, húmicos, de textura mediana
U	solos incipientes, aluviossolos modernos, não calcários, húmicos, de textura mediana
Ba	barros pardos, não calcários, de arenitos argilosos, argilas ou argilitos
Bac	barros pardos, calcários, muito descarbonatados, de arenitos argilosos, argilas ou argilitos, calcários
Bbc	barros castanho-avermelhados, calcários, muito descarbonatados, de basaltos associados a calcário friável
Bc	barros pardos, calcários, não descarbonatados, de arenitos argilosos, argilas ou argilitos, calcários
Bca	barros pardos, calcários, pouco descarbonatados, de arenitos argilosos, argilas ou argilitos, calcários
Bp	barros pretos, não calcários, de dioritos ou gabros ou outras rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas
Bpa	barros pretos, não calcários, de arenitos argilosos, argilas ou argilitos
Bpac	barros pretos, calcários, muito descarbonatados, de calcários associados a argilitos gresosos ou argilas, ou argilas duras, ou margas compactas
Bpc	barros pretos, calcários, muito descarbonatados, de dioritos ou gabros ou outras rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas, associados a calcário friável
Bpca	barros pretos, calcários, muito descarbonatados, de calcários e/ou margas, arenitos argilosos, argilas ou argilitos, calcários
Bva	barros castanho-avermelhados, calcários, não descarbonatados, de formações argilosas calcárias
Bvac	barros castanho-avermelhados, calcários, pouco descarbonatados, de margas ou de tufos vulcânicos, ou de rochas eruptivas básicas associadas a calcário
Bvc	barros castanho-avermelhados, calcários, muito descarbonatados, de dioritos ou gabros ou rochas cristalofílicas básicas associadas a calcário friável
Bvca	barros castanho-avermelhados, calcários, muito descarbonatados, de calcários e/ou margas, arenitos argilosos, argilas ou argilitos, calcários
Ca	solos hidromórficos, sem horizonte eluvial, para-aluviossolos (ou para-coluviossolos), de aluviões ou coluviais de textura mediana
Caa	solos hidromórficos, sem horizonte eluvial, para-aluviossolos (ou para-coluviossolos), de aluviões ou coluviais de textura pesada
Caac	solos hidromórficos, sem horizonte eluvial, para-aluviossolos (ou para-coluviossolos), de aluviões ou coluviais de textura pesada, calcários
Caac	solos hidromórficos, sem horizonte eluvial, para-aluviossolos (ou para-coluviossolos), de aluviões ou coluviais de textura mediana, calcários
Cal	solos hidromórficos, sem horizonte eluvial, para-aluviossolos (ou para-coluviossolos), de aluviões ou coluviais de textura ligeira
Calc	solos hidromórficos, sem horizonte eluvial, para-aluviossolos (ou para-coluviossolos), de aluviões ou coluviais de textura ligeira, calcários
Co	barros castanho-avermelhados, não calcários, de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas
Coa	barros castanho-avermelhados, calcários, não descarbonatados, de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas associados a calcário friável
Cd	solos hidromórficos, sem horizonte eluvial, para-barros, de rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas
Co	barros pretos, calcários, pouco descarbonatados, de rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas associadas a calcário friável, ou de grés argilosos calcários ou margas
Coa	barros pretos, calcários, pouco descarbonatados, de materiais coluviais dos solos da família Bpca

anexo XI nota explicativa da carta dos solos de Portugal (cont.)

símb.	descrição
Çpc	barros pretos, calcários, não descarbonatados, de rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas associadas a calcário friável, ou de grés argilosos calcários ou margas
Çpca	barros pretos, calcários, não descarbonatados, de materiais coluviais dos solos da família Bpca
Çpv	barros castanho-avermelhados, calcários, pouco descarbonatados, de rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas associadas a calcário friável, ou de grés argilosos calcários, ou margas
Çpvc	barros castanho-avermelhados, calcários, não descarbonatados, de rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas associadas a calcário friável, ou grés argilosos calcários, ou de margas
Dp	depósitos de pedras, normalmente por calhaus rolados depositados pelos cursos de água
Eb	solos incipientes, litossolos dos climas de regime xérico, de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas básicas afins
Ec	solos incipientes, litossolos dos climas de regime xérico, de calcários compactos ou dolomias
Ed	solos incipientes, litossolos dos climas de regime xérico, de dioritos ou gabros
Eg	solos incipientes, litossolos dos climas de regime xérico, de granitos ou quartzodioritos
Egn	solos incipientes, litossolos dos climas de regime xérico, de gnaisses ou rochas afins
Ep	solos incipientes, litossolos dos climas de regime xérico, de pórfiros
Ee	solos incipientes, litossolos dos climas de regime xérico, de quartzitos ou rochas afins
Et	solos incipientes, litossolos dos climas de regime xérico, de outros arenitos
Etc	solos incipientes, litossolos dos climas de regime xérico, de arenitos calcários
Ets	solos incipientes, litossolos dos climas de regime xérico, de "grés de silves" ou rochas afins
Ex	solos incipientes, litossolos dos climas de regime xérico, de xistos ou grauvaques
Ka	solos móicos, castanozemes, (não argiluviosos), normais, de argilas ou de argilitos, ou de argilas metamorfizadas
Kab	solos móicos, castanozemes, argiluviosos, pardos, de basaltos ou outras rochas eruptivas básicas
Kac	solos móicos, castanozemes, argiluviosos, pardos, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários
Kb	solos móicos, castanozemes, (não argiluviosos), normais, de basaltos ou outras rochas eruptivas básicas
Kla	solos móicos, castanozemes, (não argiluviosos), rendziniiformes, de argilas ou de argilitos ou de argilas metamorfizadas
Klb	solos móicos, castanozemes, (não argiluviosos), rendziniiformes, de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas básicas
Kr	solos móicos, castanozemes, (não argiluviosos), rendzinas, descarbonatadas
Krc	solos móicos, castanozemes, (não argiluviosos), rendzinas, calcárias
Ksb	solos móicos, castanozemes, (não argiluviosos), normais, de materiais coluviais de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas básicas
Kved	solos móicos, castanozemes, argiluviosos, vermelhos ou amarelos, de calcários compactos ou dolomias
Kvero	solos móicos, castanozemes, argiluviosos, vermelhos ou amarelos, de calcários compactos ou dolomias associados a rochas detríticas arenáceas
Lb	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, de basaltos, doleritos ou outras rochas eruptivas básicas
Lp	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, pardoos de arenitos finos e grosseiros interestratificados
Lv	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, vermelhos de arenitos finos e grosseiros interestratificados
Mnb	solos litólicos, húmicos, normais, de basaltos
Mng	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de granitos
Mnga	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de microgranitos ou rochas cristalofílicas afins
Mngn	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de gnaisses
Mult	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de arenitos finos e grosseiros interestratificados
Murrg	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de quartzodioritos

anexo XI nota explicativa da carta dos solos de Portugal (cont.)

símb.	descrição
Mhn	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de gnaisses ou rochas afins
Mhq	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de quartzitos
Mhqx	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de material coluviado derivado de quartzitos e xistos não básicos
Mhr	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de materiais arenáceos pouco consolidados
Mhs	solos litólicos húmicos câmbicos, normais, de sienitos
Mhsq	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de material coluviado de solos derivados de granitos
Mhsn	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de material coluviado de solos derivados de gnaisses ou rochas afins
Mhsq	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de material coluviado de solos derivados de quartzitos
Mhst	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de material coluviado de solos derivados de arenitos
Mhstb	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de material coluviado de solos derivados de arenitos e basaltos
Mhstg	solos litólicos, húmicos, para-solos orgânicos, de material coluviado de solos derivados de granitos
Mhsx	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de material coluviado de solos derivados de xistos ou grauvaques
Mht	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de arenitos grosseiros
Mhto	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de arenitos finos micáceos
Mhx	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de xistos ou grauvaques
Mol	solos litólicos, húmicos, normais, de materiais pouco consolidados (de textura franco-arenosa a franca)
Mstb	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, de material coluviado de solos derivados de arenitos e basaltos
Mstg	solos litólicos, húmicos, câmbicos, para-solos orgânicos, de material coluviado proveniente de granitos
Msvn	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, avermelhados, de material coluviado de solos derivados de gnaisses ou rochas afins
Mt	mistura de terras não calcárias
Mvf	solos litólicos, húmicos, normais, avermelhados, de rochas ferruginosas
Mvfq	solos litólicos, húmicos, normais, avermelhados, de material coluviado derivado de rochas ferruginosas e quartzitos
Mvl	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, avermelhados, de material inconsolidado de textura mediana
Mvn	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, avermelhado de gnaisses e rochas afins
Mvx	solos litólicos, húmicos, câmbicos, normais, avermelhados, de xistos
Pa	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de depósitos argilíceos não consolidados
Pal	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de basaltos ou outras rochas afins
Pac	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos de materiais calcários, para-barros, de margas ou calcários margosos ou de calcários não compactos associados com xistos, grés argilosos, argilitos ou argilas ou de grés argilosos calcários (de textura franco-argilosa a argilosa)
Paco	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais calcários, para-barros, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários (de textura franco-argilosa a argilosa)
Paq	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, para-solos hidromórficos, de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas (de textura arenosa ou franco-arenosa)
Paqc	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais calcários, para-solos hidromórficos, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários
Paqn	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, para-solos hidromórficos, de gnaisses ou rochas afins associados a rochas detríticas arenáceas

anexo XI nota explicativa da carta dos solos de Portugal (cont.)

símb.	descrição
Paqo	solos argiluvíacos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, para-solos hidromórficos, de arenitos finos, argilas ou argilitos (de textura franca a franco-argilosa)
Paqp	solos argiluvíacos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, para-solos hidromórficos, de rochas microfíticas (óófilos) associadas a rochas eófilicas arenáceas
Paqr	solos argiluvíacos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, para-solos hidromórficos, de materiais arenáceos finos micáceos não consolidados
Paqx	solos argiluvíacos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, para-solos hidromórficos, de xistos ou grauvaques associados a rochas detríticas arenáceas
Pal	solos argiluvíacos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de depósitos de textura mediana não consolidados
Paó	solos argiluvíacos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, para-barros, de arenitos finos, argilas ou argilitos
Par	solos litólicos, não húmicos pouco insaturados, normais, de materiais arenáceos pouco consolidados (de textura arenosa a franco-arenosa)
Par*	solos litólicos, não húmicos pouco insaturados, normais, de materiais arenáceos pouco consolidados, com materiais lateríticos
Pat	solos argiluvíacos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de arenitos argilosos
Patc	solos argiluvíacos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais calcários, normais, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários
Pato	solos argiluvíacos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de arenitos finos, argilas ou argilitos
Pb	solos hidromórficos, sem horizonte eluvial, para-solos argiluvíacos pouco insaturados, de xistos ou grauvaques ou de materiais de arenitos
Pbc	solos argiluvíacos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais calcários, para-barros, de calcários margosos associados a arcoses ou rochas afins
Pbd	solos argiluvíacos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de basaltos ou doleritos
Pc	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, normais, de calcários não compactos
Pc'	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, para-barros, de calcários não compactos associados a dioritos, ou gabros, ou rochas eruptivas, ou cristalofílicas básicas, ou de materiais afins
Pca	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, para-barros, de formações argiláceas associadas a depósitos calcários
Pcb	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, normais, de basaltos ou rochas afins, associadas a depósitos calcários
Pcd	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, para-litossolos, de calcários compactos (travertinos)
Pcdc	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, para-litossolos, de outros calcários compactos
Pcde	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, normais, de calcários e margas inter-estratificados
Pcg	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, normais, de granitos ou quartzodioritos associados a depósitos calcários
Pcm	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, normais, de calcários margosos
Pcn	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, normais, de gnaisses associadas a depósitos calcários
Pcr	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, normais, de conglomerados calcários
Pca	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, normais, de margas ou materiais afins
Pcs	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, para-barros, de margas ou materiais afins
Pcsd	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, normais, de margas e calcários compactos inter-estratificados

anexo XI nota explicativa da carta dos solos de Portugal (cont.)

símb.	descrição
Pcs.f	solos calcários, pardos, dos climas de regime xérico, para-barros, de margas e calcários compactos inter-estratificados
Pcs.t	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico normais, de margas e arenitos finos inter-estratificados
Pcs.t'	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, para-barros, de margas e arenitos finos inter-estratificados
Pcl	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, normais de arenitos grosseiros associados a depósitos calcários
Pctc	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, para-litossolos, de arenitos calcários compactos
Pcx	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, normais, de xistos ou grauvaques associados a depósitos calcários
Pc-	solos hieromórficos, sem horizonte eluvial, para-barros, de margas ou calcários margosos ou arenitos calcários
Pbc	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais calcários, para-solos hidromórficos, de areosas ou rochas afins associadas a depósitos calcários
Pbg	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, para-solos hidromórficos, de areosas ou rochas afins
Pg	solos litólicos, não húmicos pouco insaturados, normais, de granitos
Pga	solos litólicos, não húmicos pouco insaturados, normais, de microgranitos ou rochas cristalofílicas afins
Pgr	solos hieromórficos, com horizonte eluvial, planossolos, de granitos associados a depósitos arenáceos grosseiros
Pgm	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, de granitos em transição para quartzodioritos
Pgrm	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, de rochas eruptivas de granitos em transição para quartzodioritos, associados a depósitos arenáceos
Pgn	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de gnaisses ou rochas afins
Pgri	solos argiluviosos muito insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de gnaisses ou rochas afins
Pgr	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de gnaisses e rochas afins, associados a depósitos arenáceos grosseiros
Pgr'	solos litólicos, não húmicos, normais, de granitos associados a depósitos arenáceos grosseiros
Pl	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, pardos, de materiais arenáceos pouco consolidados (de textura franco-arenosa a franca)
Pm	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, para-barros, de dioritos ou quartzodioritos ou rochas microfánéricas ou cristalofílicas afins
Pmc	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais calcários, para-barros, de dioritos ou quartzodioritos ou rochas microfánéricas ou cristalofílicas afins associadas a depósitos calcários
Pmcd	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais calcários, para-barros, de calcários duros
Pmg	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de quartzodioritos
Pmgi	solos argiluviosos muito insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de quartzodioritos
Pmh	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, para-solos hidromórficos, de quartzodioritos
Pmr	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de rochas cristalofílicas
Ppg	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, de rochas microfílicas claras

anexo XI nota explicativa da carta dos solos de Portugal (cont.)

símb.	descrição
Pom	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, para solos hidromórficos, de rochas microfíticas (pórfiros)
Pon	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, de gnaisses ou rochas afins
Poq	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, de quartzolitos ou rochas afins
Por	solos podzolizados, ortzós, (não hidromórficos), com surra-pa, com a2 incipiente, de materiais arenáceos pouco consolidados
Pot	solos podzolizados, ortzós, (não hidromórficos), com surra-pa, com a2 incipiente, de ou sobre arenitos
Pox	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos pardos, de materiais não calcários, normais, de pórfiros ídricos xistificados
Pq	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de quartzitos ou rochas afins
Pqx	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de material coluviado derivado de quartzitos e xistos não básicos
Ps	solos hidromórficos, com horizonte eluvial, planossolos, de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas
Psn	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, de sleritos
Pl	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, de arenitos finos micáceos (de textura arenosa a franco-arenosa)
Plc	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, normais, de arenitos finos calcários (de textura franco-arenosa a franca)
Plco	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, normais, de arenitos finos calcários (de textura franca a franco-argilosa)
Pto	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, pardos, de arenitos finos micáceos (de textura franco-arenosa a franca)
Pt	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, de materiais arenáceos finos micáceos não consolidados
Puvc	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, húmicos, de material coluviado de solos derivados de calcários compactos ou dolomias
Pux	solos argilviados muito insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, húmicos, de xistos ou grauvaques
Puxr	solos argilviados muito insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, húmicos, de xistos ou grauvaques, associados a materiais arenáceos
Puxv	solos argilviados muito insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, húmicos, de xistos ou grauvaques, associados a materiais arenáceos
Pv	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de rochas cristalílicas
Pvh	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de basaltos ou doleritos
Pvc	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, normais, de material coluviado dos solos da família Vcc
Pvd	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, normais, de material coluviado dos solos da família Vcd
Pvl	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de rochas microfíticas (pórfiros)
Pvx	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de material coluviado de solos derivados de xistos
Px	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de xistos ou grauvaques
Pxf	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de xistos ou grauvaques associados a material coluviado de rochas ferruginosas e quartzitos

anexo XI nota explicativa da carta dos solos de Portugal (cont.)

símb.	descrição
Px	solos argiluvados pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de xistos ou grauvaques associados a rochas detriticas arenáceas
Pz	solos podzolizados, podzóis, (não hidromórficos), com surraipa, com A2 bem desenvolvido, de areias ou arenitos
Pze	solos podzolizados, podzóis, (não hidromórficos), com surraipa, com A2 bem desenvolvido, de areias ou arenitos, cobertos por areias eólicas
Pzh	solos podzolizados, podzóis, hidromórficos, com surraipa, de areias ou arenitos
Pzmg	solos podzolizados, podzóis, (não hidromórficos), com surraipa, com A2 bem desenvolvido de morcias graníticas
Pzc	solos podzolizados, podzóis, (não hidromórficos), com surraipa, com A2 bem desenvolvido, de material coluviado derivado de quartitos
Qb	solos litólicos, húmicos, para-litossolos ou rankers, de basaltes ou doleritos ou outras rochas eruptivas básicas
Qu	solos litólicos, húmicos, para-litossolos ou rankers, de uifritos
Qg	solos litólicos, húmicos, para-litossolos ou rankers, de granitos
Qga	solos litólicos, húmicos, para-litossolos ou rankers, de granitos finos
Qgn	solos litólicos, húmicos, para-litossolos ou rankers, de gnaisses
Ql	solos litólicos, húmicos, para-litossolos ou rankers, de materiais arenáceos pouco consolidados
Qn	solos litólicos, húmicos, para-litossolos ou rankers, de gnaisses ou rochas afins
Qq	solos litólicos, húmicos, para-litossolos ou rankers, de quartitos
Qsg	solos litólicos, húmicos, para-litossolos ou rankers, de material coluviado de solos derivados de granitos
Qsn	solos litólicos, húmicos, para-litossolos ou rankers de sienitos
Qstg	solos litólicos, húmicos, para-solos orgânicos, de material coluviado de solos derivados de granitos
Qt	solos litólicos, húmicos, para-litossolos ou rankers, de arenitos
Qta	solos litólicos, húmicos, para-litossolos ou rankers, de arenitos argilosos
Qtg	solos litólicos, húmicos, para-solos orgânicos, de granitos
Qx	solos litólicos, húmicos, para-litossolos ou rankers, de xistos ou grauvaques
Rc	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, para-regossolos osamíticos, de materiais arenáceos pouco consolidados de cimento calcário
Rcg	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, para-regossolos osamíticos, de materiais calcários arenáceos
Rcgc	solos incipientes, regossolos osamíticos, para-hidromórficos, de materiais calcários arenáceos
Rg	solos incipientes, regossolos osamíticos, normais, não húmicos
Rgc	solos incipientes, regossolos osamíticos, para-hidromórficos, húmicos cultivados
S	solos hidromórficos, solos salinosm de salinidade moderada de rochas detriticas, não descriminadas
Sag	solos hidromórficos, sem horizonte eluvial, para-solos argiluvados pouco insaturados, de rochas detriticas argiláceas
Sah	solos argiluvados pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, para-solos hidromórficos, de depósitos argilosos não consolidados, em geral com substrato impermeavel
Sar	solos litólicos, não húmicos, para-hidromórficos, de materiais arenáceos pouco consolidados, de textura ligeira
Sb	solos incipientes, solos de baixas (coluviossolos), não calcários, de textura mediana
Sba	solos incipientes, solos de baixas (coluviossolos), não calcários, de textura pesada
Sbac	solos incipientes, solos de baixas (coluviossolos, calcários, (para-solos calcários), de textura pesada
Sbamc	solos incipientes, solos de baixas (coluviossolos), calcários, mórficos, de textura pesada
Sbau	solos incipientes, solos de baixas (coluviossolos), não calcários, húmicos, de textura pesada
Sbc	solos incipientes, solos de baixas (coluviossolos), calcários, (para-solos calcários), de textura mediana
Sbl	solos incipientes, solos de baixas (coluviossolos), não calcários, de textura ligeira
Sblc	solos incipientes, solos de baixas (coluviossolos), calcários, (para-solos calcários), de textura ligeira

anexo XI nota explicativa da carta dos solos de Portugal (cont.)

símb.	descrição
Solnc	solos incipientes, solos de baixas (columiossolos), calcários, mólicos, de textura ligeira
Solu	solos incipientes, solos de baixas (columiossolos), não calcários, húmicos, de textura ligeira
Somc	solos incipientes, solos de baixas (columiossolos), calcários, mólicos, de textura mediana
Sou	solos incipientes, solos de baixas (columiossolos), não calcários, húmicos, de textura mediana
Souc	solos incipientes, solos de baixas (columiossolos), calcários, húmicos, de textura mediana
Sob	barros castanho-avermelhados, não calcários, de material coluviado de basaltos ou rochas efusivas
Scv	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, normais, de material coluviado dos solos da família Vcv
Sfq	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, de material coluviado derivado de rochas ferruginosas e quartzitos
Sg	solos hidromórficos, sem horizonte eluvial, para-regosolos, de rochas detriticas arenaceas
Skb	solos mólicos, castanotemes, não argilviados, de materiais coluviados derivados de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas básicas
Slb	solos litólicos não húmicos, pouco insaturados, normais, de material coluviado de solos da família Lb
Slot	solos litólicos não húmicos, pouco insaturados, normais, de material coluviado de solos da família Lpt
Slvt	solos litólicos não húmicos, pouco insaturados, normais, de material coluviado de solos da família Lvt
So	solos orgânicos hidromórficos, solos turfosos com materiais sábricos, sobre materiais arenosos
Sob	solos hidromórficos, com horizonte eluvial, solos planossólicos, de materiais derivados de xistos ou grauwagues
Sohc	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de material coluviado dos solos da família Pof
Soe'	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, para-barros, de materiais coluviados de solos calcários
Soes'	solos calcários, pardos dos climas de regime xérico, para-barros, de materiais coluviais de margas
Sog	solos orgânicos hidromórficos, solos turfosos com materiais sábricos, sobre materiais argilosos
Sogn	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, de material coluviado derivado dos solos da família Pgn
Somb	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, para-barros, coluviados de basalto
Soñ	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, de material coluviado derivado de gnaissos ou rochas afins
Soqx	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de material coluviado dos solos da família Pox
Sovb	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de material coluviado dos solos da família Pvb
Sox	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, normais, de material coluviado de solos derivados de xistos ou grauwagues
So	solos litólicos não húmicos, pouco insaturados, normais, de material coluviado dos solos da família Ppo
Sqx	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, de material coluviado de solos de quartzitos e xistos
Sr	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de de "rañas" ou becósitos afins
Sr'	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, com materiais lateríticos, de "rañas" ou materiais afins
Sr	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de arenitos arcóicos ou arcoses
Srth	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, para solos hidromórficos, de arenitos arcóicos ou arcoses
Ss	solos halomórficos, solos salinos, de salinidade elevada, de rochas ócticas, não desorimadas
Sfbg	solos orgânicos hidromórficos, solos turfosos com materiais sábricos, sobre material de baixas graníticas

anexo XI nota explicativa da carta dos solos de Portugal (cont.)

símb.	descrição
S.g	solos orgânicos hidromórficos, solos turfosos com materiais sápricos, sobre granitos
Sugn	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, pardos, de materiais não calcários, húmicos, de material coluviado de solos de gnaisses e rochas afins
Su _r	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, húmicos, de "rañas" ou materiais afins
Su _{rt}	solos argiluviosos muito insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, húmicos, de arenitos arcóicos ou arcosos
Su _{vn}	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, húmicos, de material coluviado de solos de gnaisses e rochas afins
Sv _o	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de material coluvial dos solos da família -V _o
Sv _o '	solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, para-barros, de materiais coluviados de solos calcários
Sv _{gn}	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de material coluviado dos solos da família -V _{gn}
Sv _{mb}	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, para-barros, de basaltos
Sv _n	solos lúlicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, avermelhados de material coluviado derivado de gnaisses ou rochas afins
Sv _{qx}	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de material coluviado dos solos da família -V _{qx}
Sv _x	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de material coluviado dos solos da família -V _x
V _a	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de ecótipos argiláceos não consolidados (de textura franca a franco-argilosa)
V _{ac}	solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, normais, de rochas detriticas argiláceas calcárias (de textura franco-argilosa a argilosa)
V _{ac} '	solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, para-barros, de rochas detriticas argiláceas calcárias
V _{acd}	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de argilas duras associadas a calcários duros
V _{aco}	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, para-barros, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários
V _{ag}	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, para-solos hidromórficos, de arenitos argilosos ou rochas afins (de textura arenosa a franco-arenosa)
V _{aco}	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, para-solos hidromórficos, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários
V _{agn}	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de gnaisses ou rochas afins associados a rochas detriticas arenaceas
V _{ago}	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, para-solos hidromórficos, de arenitos finos, argilas ou argilitos (de textura franca a franco-argilosa)
V _{agx}	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, para-solos hidromórficos, de xistos em meteorização
V _{al}	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de ecótipos de textura mediana não consolidados
V _{ao}	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, para-barros, de arenitos finos, argilas ou argilitos
V _{al}	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, normais, de arenitos arcóicos argilosos

anexo XI nota explicativa da carta dos solos de Portugal (cont.)

símb.	descrição
Va.u	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, normais, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários
Va.n	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de arenitos finos, argilas ou argilitos (de textura franco-argilosa a argilosa)
Vc	solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, normais, de calcários
Vc'	solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, para-barros, de calcários não compactos, associados a dioritos ou gabros ou rochas eruptivas ou cristalofílicas básicas, ou de materiais afins
Vcc	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, normais, de calcários cristalinos ou mármoreos ou rochas cristalofílicas calcio-silíceas
Vcc	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, normais, de calcários compactos ou dolomias
Vcc'	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, para-barros, de calcários compactos ou dolomias
Vcc+	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, normais, de calcários compactos ou dolomias, recarbonatados
Vccc	solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, para-litosolos, de calcários compactos associados a calcários brandos
Vccd	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, normais, de calcários compactos ou dolomias, cobertos por areias eólicas
Vccr	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, normais, de calcários compactos ou dolomias, cobertos de materiais arenosos grosseiros
Vccf	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de calcários grossos ou arenitos calcários
Vcm	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, para-barros, de margas ou calcários margosos
Vcmo	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, para-barros, de arenitos finos, argilas ou argilitos, calcários
Vcr	solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, normais, de conglomerados calcários
Vcs	solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, normais, de "grés de silves" calcários de textura franco-arenosa a franca
Vcsd	solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, normais, de margas e calcários duros margosos interestratificados
Vcsd'	solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, para-barros, de margas interestratificadas associadas a calcários compactos
Vcso	solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, normais, de arenitos semelhantes ao "grés de silves" ou argilitos, calcários (de textura franca a franco-argilosa)
Vcst	solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, normais, de margas e arenitos interestratificados
Vcst'	solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, para-barros, de margas e arenitos interestratificados
Vct	solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, normais, de arenitos grosseiros associados a depósitos calcários
Vcv	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, normais, de calcários cristalinos associados a outras rochas cristalofílicas básicas
Vcx	solos calcários, vermelhos dos climas de regime xérico, normais, de xistos ou grauwauques associados a depósitos calcários
Vcc	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, para-hidromórficos, de arcoses ou rochas afins associadas a depósitos calcários
Vcy	solos argilviados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, para-hidromórficos, de arcoses ou rochas afins
V'	solos lítólicios, não húmicos, pouco insaturados, normais, de rochas ferruginosas

anexo XI nota explicativa da carta dos solos de Portugal (cont.)

símb.	descrição
Vgm	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, avermelhados, de granito em transição para quartzodioritos
Vgn	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de gnaisses ou rochas afins
Vgnl	solos argiluviosos muito insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos, de materiais não calcários, normais, de gnaisses ou rochas afins
VI	solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, de materiais arenáceos pouco consolidados (de textura franco-arenosa a franca)
Vm	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, para-barros, de dioritos ou quartzodioritos ou rochas microfanelíticas afins
Vmb	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, para-barros, de basaltos
Vmc	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, para-barros, de dioritos ou quartzodioritos ou rochas microfanelíticas ou cristalofílicas afins associados a depósitos calcários
Vmcl	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, para-barros, de calcários duros
Vmg	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários normais de quartzodioritos ou rochas cristalofílicas afins
Vq	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de quartzitos ou rochas afins
Vqx	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de material coluviado derivado de quartzitos e xistos não básicos
Vt	litólicos, não húmicos, pouco insaturados normais, de arenitos grosseiros
Vtc	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de outros arenitos
Vtcc	solos calcários vermelhos das zonas de regime xérico normais de arenitos finos associados a depósitos calcários
Vtd	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários, normais, de arenitos calcários
Vtdc	solos litólicos, não húmicos pouco insaturados, para solos calcários, de arenitos calcários
Vtdc+	solos litólicos, não húmicos pouco insaturados, para solos calcários, de arenitos calcários, recarbonatado
Vto	solos litólicos, não húmicos pouco insaturados, normais, avermelhados, de arenitos finos micáceos (de textura franco-arenosa a franca)
Vtr	estes solos passaram a Sr
Vts	solos litólicos, não húmicos pouco insaturados, normais, de "grés de silves" ou rochas afins
Vual	solos argiluviosos muito insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, húmicos, de depósitos (de textura mediana) não consolidados
Vuatc	solos argiluviosos muito insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, húmicos, de arenitos finos argilosos ou argilitos
Vugn	solos argiluviosos muito insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, húmicos, de gnaisses ou rochas afins
Vugnr	solos argiluviosos muito insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, húmicos, de gnaisses ou rochas afins associados a rochas detriticas calcárias
Vuqx	solos argiluviosos pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, húmicos, de material coluviado derivado de quartzitos e xistos básicos
Vux	solos argiluviosos muito insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, húmicos, de xistos ou grauvaques
Vuxf	solos argiluviosos muito insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, húmicos, xistos ou grauvaques associados a material coluviado derivado de rochas ferruginosas e quartzitos

anexo XI nota explicativa da carta dos solos de Portugal (cont.)

símb.	descrição
Vuxr	solos argilizados muito insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, húmicos, de xistos ou grauwagues associados a rochas detríticas arenáceas
Vx	solos argilizados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de xistos ou grauwagues
Vxf	solos argilizados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de xistos ou grauwagues associados a materiais coluviados derivados de rochas ferruginosas a quartzitos
Vxr	solos argilizados pouco insaturados, solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais não calcários, normais, de xistos ou grauwagues associados a rochas detríticas arenáceas
Assoc	área social

fases utilizadas na carta dos solos de Portugal

- (a) fase agropédica
- (d) fase de gaza
- (e) fase espessa
- (h) fase mal drenada
- (i) fase inumedável
- (p) fase pedregosa

