



FCTUC DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA TERRA

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

LAGOAS DE QUIAIOS

CONTRIBUIÇÃO PARA O SEU CONHECIMENTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

Dissertação para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia
Geológica, na especialidade de Hidrogeologia e Recursos Hídricos

Ana Maria de Aguiar Castilho

Orientador: Prof. Doutor Manuel Marques da Silva

Co-orientador: Prof. Doutor Fernando Pedro Ortega Figueiredo

**Coimbra
2008**

LAGOAS DE QUIAIOS

CONTRIBUIÇÃO PARA O SEU CONHECIMENTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

Dissertação para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Geológica, na especialidade de Hidrogeologia e Recursos Hídricos

Ana Maria de Aguiar Castilho

Orientador: Prof. Doutor Manuel Marques da Silva
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Co-orientador: Prof. Doutor Fernando Pedro Ortega Figueiredo
Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade de Coimbra

**Coimbra
2008**

Apoio financeiro do POCI 2010, no âmbito do III Quadro Comunitário de Apoio.

Apoio financeiro da FCT e do FSE, no âmbito do III Quadro Comunitário de Apoio.



Agradecimentos

Este trabalho de doutoramento foi feito de partilha e raramente foi solitário. Gostaria de agradecer às pessoas e às instituições que tanto me ajudaram e, especialmente:

- ao meu orientador, Professor Doutor Manuel Marques da Silva, pela paciência, pela disponibilidade e pela clareza com que respondeu a cada dúvida, mas sobretudo pela sua ajuda ao longo destes anos;
- ao meu co-orientador, Prof. Doutor Fernando Pedro Ortega Figueiredo, pela ajuda constante e pelos empurrões (leves...) que não me deixaram ficar parada, mesmo quando parecia não conseguir dar um passo;
- ao Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e ao Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, pelas facilidades cedidas e pelo suporte financeiro;
- aos coordenadores dos laboratórios de Difracção e Fluorescência de Raios X, Geofísica, Hidrogeologia, Paleontologia, Químico, Sedimentologia, pela cedência de material e equipamentos, apoio técnico e facilidades de acesso;
- ao Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, pela cedência do equipamento Geonics EM34 e todo o apoio prestado;
- à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) e ao Programa POCI 2010, pelo financiamento concedido através do Projecto EcOwet (POCI/CTE-GEX/58951/2004);
- ao Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), que cedeu, ao abrigo do protocolo que assinou com a FCTUC, os materiais cartográficos necessários à execução deste trabalho;
- à empresa Águas da Figueira S. A.;
- à Direcção Geral dos Recursos Florestais (DGRF);
- à Comissão de Coordenação e Desenvolvimento da Regional do Centro (CCDRC);
- às autoridades locais, principalmente às Juntas de Freguesia de Bom-Sucesso e da Tocha, na figura dos seus presidentes: Vítor Margato e Júlio Loureiro de Oliveira;
- ao Prof. Doutor Manuel Senos Matias pelo acompanhamento, objectividade e prontidão que sempre acompanharam os seus conselhos;
- ao Prof. Doutor António Ferreira Soares pela crítica construtiva e pelo confronto de ideias;
- ao Prof. Doutor Luís Gama Pereira, por todo o apoio e pelos esclarecimentos prestados;
- à Prof. Doutora Teresa Melo, pela coordenação do projecto EcOwet e pela seu auxílio esclarecido e eficaz;
- à Dr.^a Randi Danielsen, pela ajuda inestimável durante o trabalho de campo e pela análise palinológica;

- ao Prof. Doutor Pedro Dinis, pela ajuda constante, por todas as sugestões e pelas longas conversas que me permitiram aprender;
 - ao Prof. Doutor Pedro Callapez, pela sua amizade e pela análise malacológica;
 - ao Prof. Doutor Rui Pena dos Reis, ao Prof. Doutor Pedro Proença e Cunha e ao Prof. Doutor Luís Victor Duarte pelos esclarecimentos e ajuda na área da sedimentologia;
 - ao Prof. Doutor José Manuel Azevedo e à Prof.^a Doutora Ana Isabel Andrade, pelos ensinamentos e pela ajuda no trabalho de campo de hidrogeologia;
 - aos Eng.^{os} Carlos Grangeia e Hélder Hermosilha, pelo acompanhamento e conselho nos trabalhos de prospecção geofísica;
 - à Prof.^a Doutora Manuela da Vinha e ao Eng.^o António Rodrigues, pela ajuda com as análises químicas de água;
 - ao Prof. Doutor João Serra Pratas, pela ajuda na digestão das amostras de sedimentos;
 - a todos os docentes do Departamento de Ciências da Terra que tantas vezes me ajudaram e, sobretudo, aos Prof. Doutores Fernando Carlos Lopes e Pedro Santarém Andrade;
 - a todos os funcionários do Departamento de Ciências da Terra, que me auxiliaram no trabalho de campo, na construção de dispositivos de segurança de furos e de recolha de sedimentos de fundo, no trabalho laboratorial, na pesquisa bibliográfica e cartográfica, em trabalhos de cariz administrativo e que tantas vezes me salvaram de contratempos;
 - às bolseiras Ana Machadinho, Fátima Cardoso e Selma Lima, pelas horas de trabalho conjunto e pela experiência que partilhámos no âmbito do projecto EcOwet;
 - a todos os alunos que participaram no trabalho de campo durante as diversas campanhas efectuadas: Ana Rita Almeida, André, António Brás, Carla Rocha, Carmo, Daniel, Denise, Diogo Cuteta, Diogo Gaspar, João Raposo, Johnny Pato, José, Kenesménio, Marco Brito, Marco Costa, Maria, Renato, Ricardo Cruz, Ricardo Ferreira, Ricardo Silva, Rui Jorge, Rui Silva;
 - à empresa de Manuel e António Tavares e aos seus funcionários João, António e Pedro, pela execução dos piezómetros e pela paciência com que atenderam aos meus pedidos, mesmo que implicassem mais trabalho;
 - aos habitantes da zona de estudo, que disponibilizaram os seus poços e furos para que pudesse fazer este trabalho e que me receberam com tanta simpatia;
 - ao Francisco, que foi o meu ponto de apoio durante esta viagem; à Sofia e à Matilde que foram o meu porto seguro, à Áurea...
- ... e a todos os que deram o melhor de si para que este trabalho fosse possível.

Agradeço-te sobretudo a Ti, que me ajudas nesta caminhada que é a Vida e na busca da verdadeira Sabedoria.

Resumo

Na zona costeira a norte da serra da Boa Viagem, entre as Dunas de Quiaios, a ocidente, e a planície da Gândara, a oriente, existem pequenas lagoas naturais de água doce, referidas neste trabalho como Lagoas de Quiaios. Para melhor conhecer a geologia e a hidrogeologia da região costeira, onde se enquadram estas zonas húmidas naturais, desenvolveu-se trabalho de investigação em diversas áreas específicas do conhecimento.

O trabalho de campo, de reconhecimento geológico e hidrogeológico, sinalizou dois aspectos que necessitavam de estudo e pesquisa específicos. Por um lado, a existência de uma cobertura arenosa quase total e a escassez de dados geológicos de sondagens mecânicas, dificultava a definição das unidades geológicas em profundidade; por outro, a inexistência de pontos de acesso aos aquíferos, sobretudo aos mais profundos, na região ocidental das lagoas, tornava difícil a sua caracterização a uma escala mais detalhada.

Para ultrapassar estes problemas recorreu-se à aplicação de técnicas de prospecção geofísica, com especial utilização do método electromagnético. Após a execução de perfis de condutividade eléctrica aparente, com direcções aproximadamente paralelas e perpendiculares à linha de costa actual, estabeleceram-se sectores (geofísicos) cujos materiais apresentavam comportamentos electromagnéticos semelhantes. Efectuou-se ainda um perfil de geo-radar, que permitiu demarcar alguns níveis confinantes, provavelmente constituídos por paleossolos, e onde foi possível visualizar algumas das estruturas associadas aos edifícios dunares da zona meridional da lagoa das Braças.

Definiram-se os locais onde seriam instalados os piezómetros que constituíram a rede de monitorização para recolha de dados sobre as características hidrodinâmicas e hidroquímicas dos aquíferos.

A análise das amostras recolhidas aquando da execução das sondagens mecânicas para instalação dos piezómetros, permitiu definir unidades sedimentares cuja associação revelaria as unidades aquíferas e confinantes existentes na zona em estudo. Os materiais recolhidos possibilitaram ainda a execução de algumas análises polínicas e malacológicas, que forneceram esclarecimentos acerca da génese e do ambiente de formação das diversas unidades sedimentares.

A informação hidrogeológica recolhida através da rede de monitorização, entretanto instalada na zona ocidental das lagoas, conjugada com a informação da água subterrânea de poços e furos encontrados a oriente e com os dados da água superficial de lagoas e linhas de água, possibilitou a determinação de fluxos de água e a elaboração de mapas de parâmetros hidrodinâmicos e hidroquímicos.

Os resultados obtidos foram analisados segundo os processos hidrogeoquímicos actuantes e foram apontadas hipóteses para a evolução da água subterrânea no interior dos aquíferos.

Toda a informação foi combinada de modo a elaborar um modelo hidrogeológico conceptual, com o recurso a ferramentas de estatística e análise de dados, assim como, através de modelação hidrogeológica. As conclusões retiradas da junção de todos os resultados obtidos permitiu conhecer melhor a geologia recente desta área costeira, caracterizar as unidades aquíferas e as relações entre a água superficial e água subterrânea na envolvente destas zonas húmidas.

Abstract

Quiaios lakes are small, freshwater lakes, located north of a coastal mountain (serra da Boa Viagem) between the Quiaios sand dunes, to the west, and Gândara plain, to the east.

In order to better understand the geology and the hydrogeology of this coastal region, several specific fields of research were investigated.

The existence of an almost uniform sand cover and the lack of geological data from mechanic drilling difficult the definition of the geological units in depth. Plus, the absence of access points to the aquifer, in the western region, made almost impossible the characterization of the hydrogeological units.

To overcome these problems, geophysical prospection techniques were applied, like the electromagnetic method and georadar. Profiles of apparent electric conductivity were made, along parallel and perpendicular directions to the coast line. Geophysical sectors were established, in areas of similar electromagnetic behaviour. Furthermore, a few confining layers, probably formed by paleosoils, were identified along with some sedimentary structures associated to sand dunes, in the meridional area of Braças lake.

The location of the piezometers that composes the groundwater monitoring system was defined to collect data about the hydrodynamic and hydrochemical characteristics of groundwater in different aquifer units.

The analysis of sediment samples, collected during the mechanic drilling, allowed the definition of sedimentary units, whose association would reveal the aquifer units and the confined layers present in the study area. The samples collected also made possible some paleontological analysis that clarified the knowledge of the sedimentary units.

Hydraulic parameters were estimated from grain size analysis and compared with hydrogeological data obtained from the groundwater monitoring, of piezometers, wells located at the eastern areas, and surface waters.

Water flow maps and hydrochemical maps were made and the results were analysed according to the hydrogeochemical processes. The evolution of the groundwater within aquifer units was attempted.

All the information was combined to define the hydrogeological model of the area, using statistical and data analysis tools as well as hydrogeological modulation.

The conclusions withdrawn from the combination of all the results allowed to have a better understanding of the recent geology of this coastal region, to characterize the aquifer units and the relationships between groundwater and surface water in the region.

Índice Geral

Capítulo 1	
Introdução, objectivos e metodologia	45
1.1 Objectivos	48
1.2 Metodologia	49
1.2.1 Fase de preparação do trabalho	49
1.2.2 Trabalho de campo	50
1.2.2.1 Prospecção electromagnética com condutivímetros Geonics EM31 e EM34	51
1.2.2.2 Geo-radar (GPR)	53
1.2.2.3 Sondagens Mecânicas	55
1.2.2.4 Recolha de sedimentos de fundo	60
1.2.2.5 Amostragem de águas subterrâneas	61
1.2.2.6 Amostragem de águas superficiais	63
1.2.2.7 Medição de níveis piezométricos	63
1.2.3 As amostras de sedimentos no laboratório	64
1.2.3.1 Análises granulométricas	65
1.2.3.2 Determinação da mineralogia da fracção silto-argilosa	69
1.2.4 As amostras de água no laboratório	73
1.2.5 Estatística e análise de dados	74
1.2.5.1 Análise Grupal (AG)	75
1.2.5.2 Análise em Componentes Principais (ACP)	76
Capítulo 2	79
Enquadramento e evolução	
2.1 Enquadramento geral	81
2.2 Enquadramento geológico	84

2.3 Enquadramento morfoestrutural	89
2.3.1 Evolução da deformação	93
2.4 Enquadramento hidrogeológico	97
2.4.1 Sistema Aquífero Quaternário de Aveiro	98
2.4.2 Sistema Aquífero Viso-Queridas	102
2.5 Eco-hidrologia das águas superficiais – lagoas das Braças e da Vela	104
2.6 Perspectiva histórica da evolução das lagoas	107

Capítulo 3

Método electromagnético e geo-radar na definição das unidades hidrogeológicas	113
3.1 Método electromagnético	115
3.1.1 Recolha de dados de condutividade eléctrica aparente	118
3.1.2 Tratamento dos dados	121
3.1.3 Interpretação dos resultados	127
3.1.3.1 EM1 – PTB (Praia da Tocha-Berlengas)	127
3.1.3.2 EM2 – MRE (Morros Este)	131
3.1.3.3 EM3 – MRW (Morros Oeste)	133
3.1.3.4 EM4 – BS (Bom Sucesso)	136
3.1.3.5 EM5 – NNF (Corta-fogo a oeste do bar Nenúfar)	138
3.1.3.6 EM6 – VLV (Vala da Lavadia)	141
3.1.3.7 EM7 – CC (Praia da Costinha - Camarçãõ)	143
3.1.3.8 EM8 – 2CFSB (2º Corta-fogo a sul da lagoa das Braças)	147
3.1.3.9 EM9 – EC (Estrada da Costa)	150
3.1.3.10 EM10 – ELN (Estrada das Lagoas Norte)	154
3.1.3.11 EM11 – ELS (Estrada das Lagoas Sul)	157
3.1.3.12 EM12 – BE (caminho a E da Lagoa das Braças)	159

3.1.4 Perfis adicionais	161
3.1.4.1 EM13 – RP (caminho para SW no Hospital Rovisco Pais)	162
3.1.4.2 EM14 – VRP (vala aberta a norte do Hospital Rovisco Pais)	163
3.1.5 Análise conjunta dos perfis	165
3.2 Geo-radar (GPR)	171
3.2.1 Recolha e interpretação de dados de geo-radar	174
3.3 Algumas considerações sobre os resultados obtidos	179
3.4 Marcação dos furos de sondagem	182
Capítulo 4	
Análise das unidades sedimentares	185
4.1 Litofácies	188
4.1.1 Areias de Cor Clara - WS	188
4.1.2 Areias com Óxidos de Ferro – WS p	190
4.1.3 Areias com Lodo Orgânico – WS m	192
4.1.4 Areias com Areão – WS g	193
4.1.5 Lodos Orgânicos - OM	195
4.1.6 Lodos Cinzentos com Conchas - SM	197
4.1.7 Areias Grosseiras com Conchas - SS	199
4.1.8 Areias Argilosas Micáceas - McS	201
4.1.9 Areias Angulosas Mal Calibradas - APS	202
4.1.10 Areias Argilosas Esverdeadas - MGS	204
4.1.11 Argilas Avermelhadas - RC	206
4.1.12 Sequências de litofácies e sua distribuição geográfica	208
4.2 Textura	213
4.2.1. Litofácies APS	217
4.2.2 Litofácies McS	218

4.2.3 Litofácies MGS	219
4.2.4 Litofácies OM	220
4.2.5 Litofácies RC	221
4.2.6 Litofácies SM	222
4.2.7 Litofácies SS	223
4.2.8 Litofácies WS	224
4.2.9 Litofácies WS g	225
4.2.10 Litofácies WS m	226
4.2.11 Litofácies WS p	226
4.2.12 Comparação das texturas das litofácies	227
4.3 Análise de dados granulométricos	229
4.3.1 Ficheiros de partida	229
4.3.2 Estatística descritiva	230
4.3.3 Testes de ajustamento	238
4.3.4 Matrizes de correlação	239
4.3.5 Análise Grupal	241
4.3.6 Análise em Componentes Principais das populações granulométricas	255
4.3.7 Comparação entre os resultados de AG e ACP e a representação bivariada	266
4.4 Composição mineralógica da fracção silto-argilosa	271
4.4.1 Difractogramas de agregados não orientados (< 63 µm) de 2° a 60° (2θ)	271
4.4.2 Difractogramas detalhados de 59° a 63° (2θ)	282
4.4.3 Difractogramas de lâminas sedimentadas (< 2 µm) de 2 a 30°(2θ)	284
4.5 Algumas considerações sobre as unidades sedimentares	293
4.5.1 Litofácies RC e MGS	293
4.5.2 Litofácies APS	298

4.5.3 Litofácies McS	299
4.5.4 Litofácies WS, WS m, WS p e WS g	300
4.5.5 Litofácies OM	306
4.5.6 Litofácies SM e SS	307
Capítulo 5	
Hidrogeologia	311
5.1 Definição das unidades hidrogeológicas	313
5.1.1 AQF1 – Areias eólicas superiores	314
5.1.2 AQT1-W – Lodos cinzentos com conchas	315
5.1.3 AQF2-W – Areias grosseiras com conchas	315
5.1.4 AQT1-E – Areias com lodo orgânico ou com óxidos de ferro	315
5.1.5 AQF2-E – Areias eólicas inferiores e areias com areão	316
5.1.6 AQT2-E – Areias argilosas micáceas	316
5.1.7 AQF3-E – Areias angulosas mal calibradas	316
5.1.8 Substrato cretácico – argilas, siltes e areias argilosas	316
5.1.9 Análise conjunta das secções hidroestratigráficas	325
5.2 Parâmetros hidráulicos das unidades hidrogeológicas	326
5.2.1 Estimação da condutividade hidráulica (K) a partir de distribuições granulométricas	329
5.2.2 Estimação da transmissividade (T) a partir da condutividade hidráulica	335
5.3 Piezometria das formações aquíferas	337
5.3.1 Enquadramento hidrográfico – definição dos limites da zona em estudo	337
5.3.2 Superfícies piezométricas do aquífero superior freático (AQF1)	342
5.3.3 Superfícies piezométricas do aquífero inferior semiconfinado (AQF2)	347
5.3.4 Secções das superfícies piezométricas	349
5.3.5 Evolução temporal das superfícies piezométricas dos aquíferos superior e inferior	353
5.3.6 Posição relativa das superfícies piezométricas no mesmo período temporal	356

5.4 Hidroquímica	361
5.4.1 Composição química de águas subterrâneas e superficiais	362
5.4.2 Análise de dados das análises químicas de água	368
5.4.2.1 Análise Grupal	371
5.4.2.2 Análise em Componentes Principais	379
5.4.2.3 Distribuição espacial das amostras segundo as componentes principais	389
5.4.3 Identificação dos processos hidrogeoquímicos dominantes na área em estudo	395
5.4.3.1 Dissolução e precipitação de carbonatos	395
5.4.3.2 Alteração de silicatos	402
5.4.3.3 Adsorção e troca iónica	407
5.4.3.4 Reacções de oxidação-redução	415
5.4.3.5 Comportamento de iões metálicos em solução	425
5.4.3.6 Processos hidrogeoquímicos actuantes nas águas superficiais	433
5.5 Algumas considerações sobre a hidrogeologia do sistema aquífero	443
Capítulo 6	
Considerações finais e recomendações	449
Bibliografia	457

Índice de figuras

Capítulo 1

Figura 1.1 - Procedimento utilizado na recolha de dados com os condutivímetros Geonics EM31 (fig.1.1a) e Geonics EM34 (fig. 1.1b), segundo Cruz <i>et. al.</i> (2005).	51
Figura 1.2 - Detalhe do amostrador 1 e do aspecto da escavação inicial.	55
Figura 1.3 – Colocação do tubo de revestimento em aço.	55
Figura 1.4 – Detalhe da limpadeira com a válvula de esfera terminal.	56
Figura 1.5 – Imagens da recolha de amostras.	56
Figura 1.6 – Injecção de água no furo.	57
Figura 1.7 – Detalhe da preparação do piezómetro – zona ranhurada.	58
Figura 1.8 – Imagem da colocação do piezómetro.	58
Figura 1.9 – Desenho das peças que compõem o dispositivo X-SedFun de recolha de sedimentos de fundo.	60
Figura 1.10 – Imagem da Célula de Fluxo Contínuo em funcionamento.	61
Figura 1.11 – Imagem do mini laboratório de campo.	62
Figura 1.12 – Fluxograma mostrando a sequência de análises granulométricas.	66
Figura 1.13 – Exemplo de uma representação dos resultados das análises granulométricas.	67
Figura 1.14 – Representação de uma caixa de bigodes, com a indicação da mediana, Q1 e Q3, <i>outliers</i> e extremos.	74
Figura 1.15 – Retroacção em Análise Factorial (adaptado de Garcia Pereira, 1990).	76
Figura 1.16 – Efeito discriminante da Análise Factorial.	78

Capítulo 2

Figura 2.1 – Enquadramento geográfico da área envolvente às Lagoas de Quiaios.	81
Figura 2.2 – Enquadramento Geológico – excerto da Folha 19-A da Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50000, editada pelos Serviços Geológicos de Portugal.	84
Figura 2.3 – Unidades pliocénicas e quaternárias do Baixo Mondego (Soares, 1999).	88
Figura 2.4 – Unidades morfoestruturais e seu enquadramento regional (adaptado de Dinis, 2004).	89

Figura 2.5 – Enquadramento estrutural. Adaptado de Cabral & Ribeiro (1988), de Barbosa <i>et al.</i> , (1988) e de Soares <i>et al.</i> , (1993).	91
Figura 2.6 – Esquema conceptual da evolução Mesozóica e Cenozóica da placa ibérica (em planta e em corte). Adaptado de Casas Sainz & Faccena (2001).	95
Figura 2.7 – Enquadramento hidrogeológico – adaptado do Atlas da Água (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos – INAG).	97
Figura 2.8 – Excerto adaptado da folha nº13 da Carta Chorographica de Portugal (Folque, 1866).	108
Figura 2.9 – Excertos da Carta Geographica de Portugal (Folque, 1865), com pormenores do reconhecimento geológico efectuado “ <i>sobre ella</i> ”.	109
Figura 2.10 – Excertos de imagens da Carta Geológica de Portugal, publicada em 1899, com levantamentos efectuados por Nery Delgado e Paul Choffat.	109
Figura 2.11 – Detalhe da folha19-A, da Carta Corográfica de Portugal (I.G.C., 1935).	110
 Capítulo 3	
Figura 3.1 – Campos primário (Hp) e secundário (Hs) criados para diversas posições das bobinas transmissora (Tx) e receptora (Rx) relativamente ao corpo condutor (segundo Figueiredo & Catarino, 2001).	115
Figura 3.2 – Amplitudes dos valores de condutividades no caso de águas de diversas proveniências (3.2.1) e para diversos tipos de rochas (3.2.2) (adaptado de Orellana, 1972; Telford <i>et al.</i> , 1976; Keary & Brooks, 1984; Parasnis, 1997; Reynolds, 1997).	117
Figura 3.3 – Localização dos perfis onde foram obtidos os valores de condutividade eléctrica aparente. Imagem de fundo criada por montagem de imagens do Goggle Earth (2007).	120
Figura 3.4 – Profundidades de investigação aparentes utilizadas nos perfis HDs e VDs (fontes: ¹ Ogilvy <i>et al</i> , 1991; ² Figueiredo, 2006).	121
Figura 3.5 – Distribuição dos valores de condutividade eléctrica aparente (MedHDVD).	123
Figura 3.6 – Escala cromática para intervalos de contorno, comum a todas as pseudossecções.	124
Figura 3.7 – Perfis de condutividade aparente (mS/m) projectados na área envolvente das lagoas.	125
Figura 3.8 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) <i>versus</i> distância (m) para o perfil EM1–PTB.	127
Figura 3.9 – EM1–PTB - Pseudossecção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas.	128

Figura 3.10 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) <i>versus</i> distância (m) para o perfil EM2–MRE.	131
Figura 3.11 – EM2–MRE - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas.	132
Figura 3.12 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) <i>versus</i> distância (m) para o perfil EM3–MRW.	133
Figura 3.13 – EM3–MRW - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas.	135
Figura 3.14 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) <i>versus</i> distância (m) para o perfil EM4–BS.	136
Figura 3.15 – EM4–BS - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas.	137
Figura 3.16 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) <i>versus</i> distância (m) para o perfil EM5–NNF.	138
Figura 3.17 – EM5–NNF - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas.	140
Figura 3.18 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) <i>versus</i> distância (m) para o perfil EM6–VLV.	141
Figura 3.19 – EM6–VLV - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas.	142
Figura 3.20 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) <i>versus</i> distância (m) para o perfil EM7–CC.	143
Figura 3.21 – EM7–CC - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas.	145
Figura 3.22 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) <i>versus</i> distância (m) para o perfil EM8–2CFSB.	147
Figura 3.23 – EM8–2CFSB - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas.	149
Figura 3.24 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) <i>versus</i> distância (m) para o perfil EM9–EC.	150
Figura 3.25 – EM9–EC - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas.	151
Figura 3.26 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) <i>versus</i> distância (m) para o perfil EM10–ELN.	154
Figura 3.27 – EM10–ELN - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas.	156

Figura 3.28 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) <i>versus</i> distância (m) para o perfil EM11–ELS.	157
Figura 3.29 – EM11–ELS - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas.	158
Figura 3.30 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) <i>versus</i> distância (m) para o perfil EM12–BE.	159
Figura 3.31 – EM12–BE - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas.	160
Figura 3.32 – Localização dos perfis adicionais e dos pontos de medida onde foram obtidos os valores de condutividade eléctrica aparente. Imagem de fundo retirada do Goggle Earth (2009).	161
Figura 3.33 – EM13 – RP - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas.	162
Figura 3.34 – EM14 – VRP - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas.	163
Figura 3.35 – Imagem da área onde foi efectuado o levantamento geofísico, com marcação de sectores individualizados pelas suas propriedades electromagnéticas.	166
Figura 3.36 – Esquema de um sistema de geo-radar (adaptado de Fernandes, 2006).	171
Figura 3.37 – Interpretação do perfil de geo-radar, efectuado sobre os 2900 m mais orientais do perfil EM8-2CFSB, com as interfaces marcadas a cores diferentes.	175
Figura 3.38 – Sobreposição da informação resultante dos levantamentos electromagnéticos com a informação geológica da folha 19-A (Cantanhede).	180
Figura 3.39 – Legenda geológica da figura 3.38, segundo a folha 19-A (Cantanhede) da Carta Geológica de Portugal (Barbosa <i>et al.</i> , 1988).	181
Figura 3.40 – Localização dos furos de sondagem efectuados para instalação da rede de monitorização de água subterrânea.	183

Capítulo 4

Figura 4.1– Distribuições granulométricas características de uma amostra WS (F17A6).	189
Figura 4.2 – Distribuição granulométrica característica de uma amostra WS (F13A1).	189
Figura 4.3 – Imagem da amostra F1A3 (litofácies WS) obtida na lupa binocular.	190
Figura 4.4 – Distribuições granulométricas características de uma amostra WS p (F3A8).	191
Figura 4.5 – Imagem da amostra F12A7 (litofácies WS p) obtida na lupa binocular.	191
Figura 4.6 – Distribuições granulométricas características de uma amostra WS m (F8A2).	192

Figura 4.7 – Imagem da amostra F8A2 (litofácies WS m) obtida na lupa binocular.	193
Figura 4.8 – Distribuição granulométrica característica de uma amostra WS g (F8A2).	194
Figura 4.9 – Distribuição granulométrica característica de uma amostra WS g (F7A9).	194
Figura 4.10 – Imagem da amostra F7A7 (litofácies WS g) obtida na lupa binocular.	195
Figura 4.11 – Distribuições granulométricas características de uma amostra OM (EST1-3).	196
Figura 4.12 – Imagem da amostra EST1-3 (litofácies OM) obtida na lupa binocular.	196
Figura 4.13 – Distribuições granulométricas características de uma amostra SM (F5A5).	197
Figura 4.14 – Imagem da amostra F5A5 (litofácies SM) obtida na lupa binocular.	198
Figura 4.15 – Imagem da amostra F18A10 (litofácies SM) obtida na lupa binocular.	198
Figura 4.16 – Distribuições granulométricas características de uma amostra SS (F19A3).	200
Figura 4.17 – Imagem da amostra F5A8 (litofácies SS) obtida na lupa binocular.	200
Figura 4.18 – Distribuições granulométricas características de uma amostra da litofácies McS (F1A24).	201
Figura 4.19 – Imagem da amostra F1A25 (litofácies McS) obtida na lupa binocular.	202
Figura 4.20 – Distribuição granulométrica característica de uma amostra da litofácies APS (F9A14).	203
Figura 4.21 – Imagem da amostra F9A12 (litofácies APS) obtida na lupa binocular.	203
Figura 4.22 – Distribuições granulométricas de uma amostra do topo da litofácies MGS (EST1-2).	204
Figura 4.23 – Distribuições granulométricas de uma amostra da base da litofácies MGS (EST1-8).	205
Figura 4.24 – Imagem da amostra EST1-2 (topo da litofácies MGS) obtida na lupa binocular.	205
Figura 4.25 – Imagem da amostra EST1-8 (base da litofácies MGS) obtida na lupa binocular.	206
Figura 4.26 – Imagem da amostra EST1-9 (litofácies RC) obtida na lupa binocular.	207
Figura 4.27 – Distribuição granulométrica de uma amostra da litofácies RC (EST1-9).	207
Figura 4.28 – Perfil geológico WNW-ESE, com um exagero vertical de 20 vezes, segundo a direção indicada na planta de localização.	211
Figura 4.28 (a) – Legenda do perfil da figura 4.28.	212
Figura 4.29 – Diagrama de Folk para classificação textural de sedimentos grosseiros.	214
Figura 4.30 – Diagrama de Folk para classificação textural de sedimentos finos.	214

Figura 4.31 – Diagrama adaptado de Flemming (2000) para classificação textural de sedimentos.	216
Figura 4.32 – Amostras da litofácies APS projectadas no diagrama de Folk para sedimentos grosseiros.	217
Figura 4.33 – Amostras da litofácies APS projectadas no diagrama de Folk para sedimentos finos.	217
Figura 4.34 – Amostras da litofácies McS projectadas no diagrama de Folk para sedimentos grosseiros.	218
Figura 4.35 – Amostras da litofácies McS projectadas no diagrama de Folk para sedimentos finos.	219
Figura 4.36 – Amostras da litofácies MGS projectadas no diagrama de Folk para sedimentos grosseiros.	219
Figura 4.37 – Amostras da litofácies MGS projectadas no diagrama de Folk para sedimentos finos.	220
Figura 4.38 – Amostras da litofácies OM projectadas no diagrama de Folk para sedimentos finos.	221
Figura 4.39 – Amostras da litofácies RC projectadas no diagrama de Folk para sedimentos finos.	221
Figura 4.40 – Amostras da litofácies SM projectadas no diagrama de Folk para sedimentos grosseiros.	222
Figura 4.41 – Amostras da litofácies SM projectadas no diagrama de Folk para sedimentos finos.	222
Figura 4.42 – Amostras da litofácies SS projectadas no diagrama de Folk para sedimentos grosseiros.	224
Figura 4.43 – Amostras da litofácies WS projectadas no diagrama de Flemming.	224
Figura 4.44 – Amostras da litofácies WS g projectadas no diagrama de Folk para sedimentos grosseiros.	225
Figura 4.45 - Amostras da litofácies WS m projectadas no diagrama de Flemming.	226
Figura 4.46 – Amostras da litofácies WS p projectadas no diagrama de Flemming.	227
Figura 4.47 – Projecção de todas as amostras no diagrama de Folk para sedimentos grosseiros.	228
Figura 4.48 – Projecção de todas as amostras no diagrama de Folk para sedimentos finos.	228
Figura 4.49 – Número de modas das distribuições granulométricas das litofácies.	232
Figura 4.50 – Moda principal das distribuições granulométricas das litofácies.	232
Figura 4.51 – Média das distribuições granulométricas das litofácies.	233

Figura 4.52 – Mediana das distribuições granulométricas das litofácies.	233
Figura 4.53 – Calibração das distribuições granulométricas das litofácies.	234
Figura 4.54 – Assimetria (S_k) das distribuições granulométricas das litofácies.	234
Figura 4.55 – Curtose (K) das distribuições granulométricas das litofácies.	235
Figura 4.56 – Razão Assimetria/Curtose (S_k/K) para cada litofácies.	235
Figura 4.57 – Dimensão \emptyset_{10} (10% das partículas são mais grosseiras do que a dimensão indicada, em \emptyset).	236
Figura 4.58 – Dimensão \emptyset_{90} (90% das partículas são mais grosseiras do que a dimensão indicada em \emptyset).	236
Figura 4.59 – Percentagem da fracção inferior a 63 μm das litofácies.	237
Figura 4.60 – Percentagem da fracção superior a 2000 μm de cada litofácies.	237
Figura 4.61 – Importância relativa das variáveis contínuas na criação do grupo 1.	245
Figura 4.62 – Importância relativa das variáveis contínuas na criação do grupo 3.	245
Figura 4.63 – Importância relativa das variáveis contínuas na criação do grupo 2.	246
Figura 4.64 – Diagrama de extremos e quartis com a calibração dos grupos.	248
Figura 4.65 – Diagrama de extremos e quartis com a assimetria dos grupos.	248
Figura 4.66 – Diagrama de extremos e quartis com a curtose dos grupos.	249
Figura 4.67 – Diagrama de extremos e quartis com o número de modas dos grupos.	249
Figura 4.68 – Diagrama de extremos e quartis com o percentil \emptyset_{90} dos grupos.	250
Figura 4.69 – Diagrama de extremos e quartis com a calibração dos grupos.	250
Figura 4.70 – Representação gráfica dos grupos TSC, nos eixos factoriais 1 e 2.	260
Figura 4.71 – Representação gráfica dos grupos TSC, nos eixos factoriais 1 e 3.	261
Figura 4.72 – Representação gráfica dos grupos TSC, nos eixos factoriais 2 e 3.	262
Figura 4.73 – Representação gráfica dos grupos TSC, nos eixos factoriais 1G1 e 2G1.	264
Figura 4.74 – Representação bivariada das amostras das litofácies nos eixos média, calibração, assimetria e curtose.	267
Figura 4.75 – Representação bivariada das amostras das litofácies APS, McS, MGS, OM, SM, e SS, nos eixos média, calibração, assimetria e curtose.	268
Figura 4.76 – Representação bivariada das amostras das litofácies WS, WS g, WS m e WS p, nos eixos média, calibração, assimetria e curtose.	268

Figura 4.77 – Representação das proporções de minerais em termos de litofácies e de amostras.	281
Figura 4.78 – Resultados da análise de XRD de lâminas sedimentadas – percentagem de minerais.	285
Figura 4.79 – Projecção da razão I(002)/I(001) <i>versus</i> abertura do pico de 10 Å, nas ilites analisadas (segundo Thorez, 1973; citado em Gomes,1988; e de Kübler & Jaboyedoff, 2000).	286
Figura 4.80 – Diagrama triangular Sm-K-I da fracção inferior a 2 µm por litofácies.	286
Figura 4.81 – Diagrama triangular I-K-Chl-V-Int da fracção inferior a 2 µm por litofácies.	287
Figura 4.82 – Proporções de minerais, presentes na fracção inferior a 63 µm, da sondagem EST1.	295
Figura 4.83 – Relações entre picos de minerais, da fracção inferior a 2 µm, na sondagem EST1.	296
Figura 4.84 – Diagrama bivariado (desvio-padrão - % silto-argilosa) representando as litofácies WS, WS m e WS p.	302
Figura 4.85 – Diagrama de correlação do desvio-padrão e da percentagem de indivíduos finos das Areias da Gândara (Carvalho, 1983).	302
Figura 4.86 – Diagrama de correlação do desvio-padrão e da percentagem de indivíduos finos das areias de dunas holocénicas (Carvalho, 1983).	304
Figura 4.87 – Diagrama bivariado (desvio-padrão - % silto-argilosa) representando a litofácies WS.	304

Capítulo 5

Figura 5.1 – Mapa com a localização das sondagens cuja informação foi utilizada no modelo geológico tridimensional e que irá constituir o mapa de localização das secções hidroestratigráficas das figuras 5.2 a 5.5.	314
Figura 5.2 – Secção WNW-ESE 1 com um exagero vertical de 25 vezes, segundo a direcção indicada na planta de localização.	317
Figura 5.3 – Secção WNW-ESE 2 com um exagero vertical de 25 vezes, segundo a direcção indicada na planta de localização.	318
Figura 5.4 – Secção WNW-ESE 3 com um exagero vertical de 25 vezes, segundo a direcção indicada na planta de localização.	319
Figura 5.5 – Secção WNW-ESE 4 com um exagero vertical de 25 vezes, segundo a direcção indicada na planta de localização.	320
Figura 5.6 – Secção SSW-NNE 1 com um exagero vertical de 25 vezes, segundo a direcção indicada na planta de localização.	321

Figura 5.7 – Secção SSW-NNE 2 com um exagero vertical de 25 vezes, segundo a direcção indicada na planta de localização.	322
Figura 5.8 – Secção SSW-NNE 3 com um exagero vertical de 25 vezes, segundo a direcção indicada na planta de localização.	323
Figura 5.9 – Secção SSW-NNE 4 com um exagero vertical de 25 vezes, segundo a direcção indicada na planta de localização.	324
Figura 5.10 – Enquadramento hidrográfico e hidrogeológico da zona em estudo.	337
Figura 5.11 – Localização dos pontos de água utilizados no estudo piezométrico.	339
Figura 5.12 - Superfície freática do aquífero superior (AQF1), em Abril de 2008.	344
Figura 5.13 - Superfície freática do aquífero superior (AQF1), em Outubro de 2007	345
Figura 5.14 - Superfície piezométrica do aquífero inferior (AQF2), em Abril de 2008.	348
Figura 5.15 – Cortes com dados das superfícies piezométricas dos aquíferos superior e inferior, cuja localização está marcada na planta da figura 5.15 (a).	351
Figura 5.16 – Diferença de nível piezométrico do aquífero superior (AQF1) entre Abril de 2008 e Outubro de 2007. Estimação por subtracção de malhas.	354
Figura 5.17 – Diferença de nível piezométrico do aquífero inferior (AQF2) entre Abril de 2008 e Outubro de 2007. Estimação por subtracção do nível piezométrico em furos.	355
Figura 5.18 – Diferença de nível piezométrico entre o aquífero superior (AQF1) e o aquífero inferior (AQF2), em Abril de 2008. Estimação por subtracção do nível piezométrico em furos duplos	357
Figura 5.19 – Diferença de nível piezométrico entre o aquífero superior (AQF1) e o aquífero de inferior (AQF2), em Outubro de 2007. Estimação por subtracção do nível piezométrico em furos duplos.	358
Figura 5.20 – Localização dos pontos de amostragem. Diagramas de Stiff das amostras analisadas, com indicação dos aquíferos a que pertencem e do tipo de captação, em Julho de 2007.	363
Figura 5.21 – Diagrama de Piper com a projecção das amostras de água subterrânea, de água superficial e de água da chuva, com indicação do tipo de captação (furo ou poço). Colheita efectuada em Julho de 2007.	365
Figura 5.22 – Diagramas de extremos e quartis, para algumas das variáveis, e sua distribuição nas unidades aquíferas.	367
Figura 5.23 – Resultado da Análise Grupal por Classificação Hierárquica.	372
Figura 5.24 – Distribuição geográfica das amostras dos grupos HC1, HC2 e HC3.	374
Figura 5.25 – Projecção das variáveis e das amostras nas componentes 1 e 2.	382
Figura 5.26 – Projecção das variáveis e das amostras nas componentes 1 e 3.	384
Figura 5.27 – Projecção das variáveis e das amostras nas componentes 2 e 3.	385

Figura 5.28 – Projecção das variáveis e das amostras nas componentes 1 e 4.	386
Figura 5.29 – Projecção das variáveis e das amostras nas componentes 2 e 4.	387
Figura 5.30 – Distribuição espacial dos valores das amostras na componente 1.	389
Figura 5.31 – Distribuição espacial dos valores das amostras na componente 2.	390
Figura 5.32 – Distribuição espacial dos valores das amostras na componente 3.	390
Figura 5.33 – Distribuição espacial dos valores das amostras na componente 4.	392
Figura 5.34 – Distribuição espacial dos valores das amostras na componente 5.	392
Figura 5.35 – Distribuição espacial dos valores das amostras na componente 6.	394
Figura 5.36 – Distribuição espacial de pH (dados de furos e poços).	397
Figura 5.37 – Distribuição espacial de alcalinidade (mg/L de CaCO ₃).	397
Figura 5.38 – Distribuição espacial de Ca ²⁺ , Mg ²⁺ e Sr ²⁺ (mg/L).	398
Figura 5.39 – Distribuição espacial de CO ₂ (dados de furos e poços) (mg/L).	399
Figura 5.40 – Distribuição espacial da relação rNa/r(Ca+Mg) (elementos em meq/L).	399
Figura 5.41 – Distribuição espacial da relação rSr/rCa x 10 ³ (ambos em meq/L).	399
Figura 5.42 – Distribuição espacial dos índices de saturação em calcite, aragonite e dolomite.	401
Figura 5.43 – Distribuição espacial de sílica (mg/L) (dados de furos e poços).	403
Figura 5.44 – Distribuição espacial de alumínio, sódio e potássio (dados de furos e poços).	404
Figura 5.45 – Distribuição espacial dos índices de saturação em albite e feldspato alcalino (dados de furos e poços).	405
Figura 5.46 – Distribuição espacial do índice de saturação em quartzo, ilite e caulinite (dados de furos e poços).	406
Figura 5.47 – Distribuição espacial do índice de troca de bases ITB ou relação [rCl-r(Na+K)]/rCl (elementos em meq/L) (dados de furos e poços).	412
Figura 5.48 – Distribuição espacial das razões rK/rNa, r(Na+K)/r(Ca+Mg) e rMg/rCa (elementos em meq/L) (dados de furos e poços).	414
Figura 5.49 – Sequência de processos redox função de <i>pe</i> para pH igual a 7 (adaptado de Stumm & Morgan, 1996 e com as correcções introduzidas por Appelo & Postma, 2005).	416
Figura 5.50 – Distribuição espacial de <i>pe</i> e O ₂ (dados de furos e poços).	419
Figura 5.51 – Distribuição espacial de NO ₃ ⁻ e NO ₂ ⁻ (dados de furos e poços).	420
Figura 5.52 – Distribuição espacial de Mn ²⁺ e Fe ²⁺ (dados de furos e poços).	421

Figura 5.53 – Distribuição espacial de SO_4^{2-} (dados de furos e poços).	421
Figura 5.54 – Distribuição espacial dos índices de saturação em gesso, hematite e pirolusite (dados de furos e poços).	423
Figura 5.55 – Distribuição espacial do índice de saturação de barite (dados de furos e poços).	424
Figura 5.56 – Distribuição espacial de crómio, chumbo e cobre (dados de furos e poços).	428
Figura 5.57 – Distribuição espacial de cádmio, zinco e níquel (dados de furos e poços).	429
Figura 5.58 – Distribuição espacial de boro, bário e lítio (dados de furos e poços).	430
Figura 5.59 – Distribuição pontual de pH na lagoa da Vela.	435
Figura 5.60 – Distribuição pontual de Eh (mV) na lagoa da Vela.	436
Figura 5.61 – Distribuição pontual de condutividade eléctrica da água na lagoa da Vela.	437
Figura 5.62 – Distribuição pontual de oxigénio dissolvido (%) na lagoa da Vela.	438
Figura 5.63 – Imagem do testemunho Nf , com sedimentos de fundo recolhidos na lagoa da Vela. Escala centimétrica de profundidades. Local assinalado a vermelho nas figuras 5.59 a 5.62.	439
Figura 5.64 – Imagem do testemunho Vn , com sedimentos de fundo recolhidos na lagoa da Vela. Escala centimétrica de profundidades. Local assinalado a vermelho nas figuras 5.59 a 5.62.	440
Figura 5.65 – Imagem do testemunho V , com sedimentos de fundo recolhidos na lagoa da Vela. Escala centimétrica de profundidades. Local assinalado a vermelho nas figuras 5.59 a 5.62.	440
Figura 5.66 – Imagem do testemunho Ve , com sedimentos de fundo recolhidos na lagoa da Vela. Escala centimétrica de profundidades. Local assinalado a vermelho nas figuras 5.59 a 5.62.	441
Figura 5.67 – Imagem do testemunho BW , com sedimentos de fundo recolhidos na margem ocidental da lagoa das Braças. Escala centimétrica de profundidades.	441

Índice de tabelas

Capítulo 1

Tabela 1.1 - Parâmetros operacionais dos condutivímetros Geonics EM31 e EM34 (adapt. de Ogilvy <i>et al.</i> ; 1991).	52
Tabela 1.2 - Selecção dos valores de condutividade medidos com o EM31 e EM34 utilizados para efectuar os mapas VDs e HDs (segundo Figueiredo, 2006).	53
Tabela 1.3 – Resumo das análises efectuadas aos sedimentos amostrados nos furos F1 a F28 e em EST.	64
Tabela 1.4 – Cálculo dos parâmetros de estatística descritiva da curva granulométrica através do Método dos Momentos em escala de <i>phi</i> (adaptada de Blott & Pye, 2001).	68
Tabela 1.5 – Terminologia usada para descrever calibração, assimetria e curtose, calculadas pelo Método dos Momentos em escala de <i>phi</i> (adaptada de Blott & Pye, 2001).	69

Capítulo 2

Tabela 2.1 – Unidades aquíferas do Sistema Quaternário de Aveiro – parâmetros hidráulicos.	99
Tabela 2.2 – Análises químicas de águas do sistema aquífero Quaternário de Aveiro.	100
Tabela 2.3 – Análises químicas de águas do sistema aquífero Viso-Queridas.	103
Tabela 2.4 – Análises físico-químicas de águas das lagoas das Braças e da Vela.	104

Capítulo 3

Tabela 3.1 – Características dos perfis de prospecção electromagnética efectuados entre Tocha, a norte, e Quiaios, a sul.	119
Tabela 3.2 – Parâmetros estatísticos dos valores de condutividade eléctrica aparente, obtidos nos perfis EM1 a EM12.	122

Capítulo 4

Tabela 4.1 – Resumo da informação obtida nas sondagens.	208
Tabela 4.2 – Estatística descritiva das distribuições granulométricas das amostras por litofácies.	231
Tabela 4.3 – Aplicação do teste K-S para ajuste a leis de distribuição normal.	238

Tabela 4.4 – Coeficientes de correlação de Spearman para as variáveis do ficheiro GRANREP.	240
Tabela 4.5 – Parâmetros dos centróides dos grupos formados na fase inicial.	243
Tabela 4.6 – Distribuição das litofácies, nos grupos formados inicialmente.	244
Tabela 4.7 – Centróides dos subgrupos formados no Grupo 1.	246
Tabela 4.8 – Centróides dos subgrupos formados no Grupo 3.	247
Tabela 4.9 – Distribuição das litofácies, nos grupos e subgrupos formados.	251
Tabela 4.10 – Distribuição das amostras por grupo TSC.	252
Tabela 4.11 – Comunalidades iniciais e após a extracção.	255
Tabela 4.12 – Matriz de correlação das variáveis escolhidas na fase exploratória.	256
Tabela 4.13 – Matriz de componentes principais, após a rotação, para dois conjuntos de variáveis.	258
Tabela 4.14 – Comunalidades iniciais e após extracção das componentes.	259
Tabela 4.15 – Valores próprios e variância explicada obtidos na extracção e após a rotação.	259
Tabela 4.16 – Matriz de componentes principais da análise efectuada aos grupos 1 e 3.	263
Tabela 4.17 – Valores próprios e variância explicada obtidos na extracção e após a rotação, para o ficheiro das amostras dos grupos 1 e 3.	263
Tabela 4.18 a) – Resultados da análise de XRD de 2-60° (2 θ) – áreas de picos.	272
Tabela 4.18 b) (continuação) – Resultados da análise de XRD de 2-60° (2 θ) – áreas de picos.	273
Tabela 4.19 – Dados de difracção de raios X de feldspatos.	275
Tabela 4.20 – Resultados da análise de XRD de 2-60° (2 θ) – áreas de picos de minerais argilosos.	278
Tabela 4.21 – Resultados da análise de XRD de 2-60° (2 θ) – proporções entre minerais.	280
Tabela 4.22 – Valores de d (060) e 2 θ para micas e minerais argilosos.	282
Tabela 4.23 – Resultados da análise de XRD de 59-63° (2 θ) – áreas de picos.	283

Capítulo 5

Tabela 5.1 – Valores de porosidade e condutividade hidráulica para materiais geológicos de origem sedimentar.	328
Tabela 5.2 – Valores de cedência específica (S_y) e de armazenamento específico (S_s) para materiais geológicos de origem sedimentar.	328

Tabela 5.3 – Valores de C [$1/(\text{cm}\cdot\text{s})$] para a equação de Hazen (segundo Hazen 1911, citado em Domenico & Schwartz, 1990; Weight & Sonderegger, 2000; Fetter, 2001).	330
Tabela 5.4 – Valores de C_F e i para a equação de Shepherd (adaptado de Shepherd, 1989, citado em Weight & Sonderegger, 2000; Fetter, 2001).	331
Tabela 5.5 – Valores de K (m/d) das unidades hidrogeológicas e das litofácies que as constituem, determinados pelas equações de Hazen, Freeze & Cherry, Shepherd e Konezy-Carman (para d_{50} e d_{10}).	332
Tabela 5.6 – Valores aproximados da transmissividade das unidades aquíferas (m^2/d), calculados após a estimação de K pelas equações de Hazen e Konezy-Carman.	336
Tabela 5.7 – Profundidade das captações estudadas (em metros).	340
Tabela 5.8 – Pontos de água utilizados na definição das superfícies piezométricas.	341
Tabela 5.9 – Raios de influência estimados para furos que captam no aquífero inferior.	349
Tabela 5.10 – Distribuição das amostras recolhidas por aquífero ou água superficial, tipo de captação ou local de recolha.	361
Tabela 5.11 – Aplicação de testes K-S para algumas das variáveis.	369
Tabela 5.12 – Correlações mais significativas.	370
Tabela 5.13 – Distribuição de águas subterrâneas e superficiais nos grupos HC.	375
Tabela 5.14 – Comunalidades iniciais e após a extracção das componentes.	379
Tabela 5.15 – Valores próprios e total de variância explicada obtida após a rotação.	381
Tabela 5.16 – Matriz de componentes principais obtida após a rotação.	381
Tabela 5.17 – Ponto isoeléctrico (pH_{PZC}) de alguns minerais comuns em solos e sedimentos (segundo diversos autores indicados abaixo).	408
Tabela 5.18 – Capacidade de troca catiónica de alguns minerais comuns em solos e sedimentos (segundo Appelo & Postma, 2005).	410
Tabela 5.19 – Papel das partículas suspensas na regulação de elementos vestigiais em lagos (segundo Stumm & Morgan, 2005)	427
Tabela 5.20 – Alguns parâmetros físico-químicos em águas superficiais (lagoas e linhas de água).	433
Tabela 5.21 – Concentração de elementos maiores em águas superficiais (lagoas e linhas de água).	433
Tabela 5.21 – Concentração de elementos menores e vestigiais em águas superficiais (lagoas e linhas de água).	434

Índice de abreviaturas e símbolos

σ_ϕ	Calibração ou calibragem em ϕ
ACP	Análise em Componentes Principais
AG	Análise Grupal
AMS	Espectrometria de aceleração de massa (<i>Accelerator Mass Spectrometry</i>)
APS	Areias angulosas mal calibradas
AQF1	Aquífero superior freático
AQF1/AQF2	Aquífero superior e aquífero inferior sem camada confinante a separá-los
AQF2-E	Aquífero inferior oriental instalado em areias eólicas inferiores e areias com areão
AQF2-W	Aquífero inferior instalado em areias grosseiras com conchas
AQF3-E	Aquífero inferior oriental instalado em areias angulosas mal calibradas
AQT1-E	Aquitardo oriental instalado em areias com lodo orgânico e/ou óxidos de ferro
AQT1-W	Aquitardo ocidental instalado em lodos cinzentos com conchas
AQT2-E	Aquitardo oriental instalado em areias argilosas micáceas
b	Espessura saturada de um aquífero
BC	Antes de Cristo (<i>Before Christ</i>)
BP	Antes do presente (<i>Before Present</i>)
C	Carbono
CCDRC	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento da Regional do Centro
CDD	Camada Dupla Difusa
Chl	Clorite
CI	Cromatografia iónica
CMCt	Câmara Municipal de Cantanhede
CMFF	Câmara Municipal da Figueira da Foz
Cont.	Continuação
CTC	Capacidade de troca catiónica
\underline{d}	Espessura de uma camada
$d(060)$	Reflexões das faces (060) em difractogramas de raios X

DCT	Departamento de Ciências da Terra
DEF	Défice hídrico
DGRF	Direcção Geral dos Recursos Florestais
DM	Distância ao mar
DO	Oxigénio dissolvido (<i>Dissolved Oxygen</i>)
<i>E</i>	Este
E. B.	Balanço eléctrico da análise de água (%)
E^0	Potencial redox de referência (V)
EC	Condutividade Eléctrica da Água (<i>Electrical Conductivity of water sample</i>)
ECI	Ensaio de comparação interlaboratorial
ECI	Ensaio de comparação interlaboratorial
EF	Estrada florestal
Eh	Potencial redox relativo a meia reacção do par H_2/H^+ (V)
EN	Estrada Nacional
ETP	Evapotranspiração potencial
ETR	Evapotranspiração real
EXC	Excedente hídrico
Extrem.	extremamente
FCT	Fundação para a Ciência e a Tecnologia
FCTUC	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
FK	Feldspato alcalino
Fortem.	fortemente
GPR	Geo-radar (<i>Ground Penetrating Radar</i>)
GPS	Sistema de posicionamento global (<i>Global Position System</i>)
GRANFACT	Ficheiro de dados granulométricos para análise factorial
GRANREP	Ficheiro representativo de dados granulométricos
GRANTOT	Ficheiro global de dados granulométricos
HC	Método de classificação hierárquica
HC1	Grupo obtido por classificação hierárquica nº1

HC2	Grupo obtido por classificação hierárquica nº2
HC3	Grupo obtido por classificação hierárquica nº3
Hp	Campo primário
Hs	Campo secundário
I	Ilite
I.C.	Índice de cristalinidade da ilite
ICP-OES	Espectrometria de Emissão Óptica, com plasma acoplado indutivamente
IGeoE	Instituto Geográfico do Exército
Int	Interestratificados
IQR	Amplitude inter-quartis, diferença entre 75% e 25% da distribuição
IS	Índice de saturação
ITB	Índice de troca de bases
K	Caulinite
K	Condutividade Hidráulica
K_{ϕ}	Curtose em ϕ
LCA	Linha de costa actual
LD	Limite de detecção
MCD	Modelo de Camada Dupla
McS	Areias argilosas micáceas
MCT	Modelo de Camada Tripla
MGS	Areias argilosas esverdeadas
MIF	Factor de intensidade de minerais (<i>Mineral Intensity Factor</i>)
MO	Matéria orgânica
N	Norte
NE	Nordeste
NMMA	Nível médio do mar actual
NW	Noroeste
ϕ	(ϕ) igual a $-\log_2 d$ (em mm) / 1 mm
OM	Lodos orgânicos

OMA	Outros Minerais Argilosos
OSL	Luminiscência (<i>Optically stimulated luminescence</i>)
Pg	Plagioclase
pH	$-\log [H^+]$
pH (25 °C)	pH corrigido para uma temperatura de 25 °C
pH _{PZC}	pH em que uma determinada superfície apresenta carga neutra
PP	Precipitação
Q	Caudal
Q1	Primeiro quartil, corresponde a 25% da população
Q3	Terceiro quartil, corresponde a 75% da população
Qz	Quartzo
RC	Amplitude do coeficiente de reflexão (geofísica)
RC	Argilas avermelhadas (litofácies)
RELACRE	Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal
RS	Reserva de água disponível para as plantas
Rs	Resíduo seco, obtido por evaporação a 105°C
Rx	Antena receptora
S	Sul
S	Coeficiente de armazenamento
SE	Sudeste
SEC	Condutividade eléctrica específica para uma temperatura de 25 °C
SGP	Serviços Geológicos de Portugal
Sk _ø	Assimetria (<i>skewness</i>) em Ø
Sm	Esmectite
SM	Lodos cinzentos com conchas
SS	Areias grosseiras com conchas
SW	Sudoeste
T	Transmissividade
TDS	Total de Sólidos Dissolvidos (<i>Total of dissolved solids</i>)

Temp (°C)	Temperatura
TSC	Método de classificação em dois passos (<i>Two-Step Cluster</i>)
TSC1	Grupo obtido por <i>Two-step clustering</i> nº1
TSC2	Grupo obtido por <i>Two-step clustering</i> nº2
TSC3	Grupo obtido por <i>Two-step clustering</i> nº3
TSS	Total de Sólidos Suspensos (<i>Total of suspended solids</i>)
Tx	Antena transmissora
V	Vermiculite
V/p	Razão vale/pico
W	Oeste
WS	Areias de cor clara
WS g	Areias com Areão
WS m	Areias com lodo orgânico
WS p	Areias com óxidos de ferro
\overline{X}_ϕ	Média da granulometria em ϕ
XRD	Difracção de raios X (<i>X-ray diffraction</i>)

Índice de unidades e grandezas

Grandeza	Unidade	Símbolo	Dimensões
Aceleração	metro por segundo ao quadrado		m/s^2
Área	metro quadrado	m^2	
Carga eléctrica	coulomb	C	A.s
Comprimento	metro	m	
Comprimento	ångström	Å	$10^{-10} m$
Concentração		mol/m^3	
Concentração	gramas por litro de amostra	g/L	
Concentração	partes por milhão de peso de amostra	ppm	mg/kg
Concentração	partes por bilião de peso de amostra	ppb	$\mu g/kg$
Concentração	milimoles por litro de amostra	mmol/L	mg/L / (peso molecular)
Concentração	miliequivalentes por litro de amostra	meq/L	mmol/L . (carga do ião)
Concentração	molalidade	mM	mmol/kg (de água)
Concentração	normalidade	N	eq/L
Condutância	siemens	S	$A^2 \cdot s^3 / (kg \cdot m^2)$
Condutividade eléctrica	siemens por metro mhos por metro	S/m mhos/m	$A^2 \cdot s^3 / (kg \cdot m^3)$
Constante de Boltzman		k	$1,38 \times 10^{-23} J/K$
Constante de Faraday		F	$96,4853 \times 10^3 C mol^{-1}$ ou $96,4853 \times 10^3 J V^{-1} mol^{-1}$
Constante dos gases perfeitos		R	$8,31470 J mol^{-1} K^{-1}$
Corrente eléctrica	ampere	A	
Densidade de massa		kg/m^3	
Força	newton	N	$kg \cdot m/s^2$

Frequência	hertz	Hz	1/s
Massa	quilograma	kg	
Massa	tonelada	t	1000 kg
Número de Avogadro		N_a	$6,022 \times 10^{23}$ /mol
Potência	watt	W	$\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3$
Pressão	pascal	Pa	$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$
Pressão	bar	bar	100 000 Pa
Pressão	atmosfera	atm	$1,013 \times 10^5$ Pa
Quantidade de matéria	mol	mol	
Resistência eléctrica	ohm	Ω	$\text{kg} \cdot \text{m}^2/(\text{s}^3 \cdot \text{A}^2)$
Temperatura em Celsius	grau Celsius	$^{\circ}\text{C}$	$\text{K} - 273,15$
Temperatura termodinâmica (T)	kelvin	K	$^{\circ}\text{C} + 273,15$
Tempo	segundo	s	
Tempo	minuto	min	60 s
Tempo	hora	h	3600 s
Tempo	dia	d	24 h = 86400 s
Tensão eléctrica	volt	V	$\text{kg} \cdot \text{m}^2/(\text{s}^3 \cdot \text{A})$
Turvação ou Turbidez	unidade de turbidez de Formazina	FTU	
Velocidade	metro por segundo		m/s
Volume	metro cúbico		m^3
Volume	litro	L	$0,001 \text{ m}^3$
Condutividade hidráulica / permeabilidade (K)	comprimento por tempo		Exemplo: m/d
Transmissividade (T)	área por tempo		Exemplo: m^2/d
Coefficiente de armazenamento (S = $S_y + S_r$)	adimensional ou comprimento por comprimento		
Resistividade (ρ) (ou resistência específica)	ohm metro	ohm.m ou Ωm	$\text{kg} \cdot \text{m}^3/(\text{s}^3 \cdot \text{A}^2)$
Permitividade eléctrica (ϵ)	farad/m	F/m	$\text{A}^2 \cdot \text{s}^4/(\text{kg} \cdot \text{m}^3)$

Frequência angular ($\omega=2\pi f$)	radianos/s		rad/s
Permeabilidade magnética (μ)	H/m		kg.m/(s ² .A ²)
Indutância	henry	H	Wb/A ou kg.m ² /(s ² .A ²)
Fluxo magnético (B)	weber	Wb	V.s ou kg.m ² /(s ² .A)
Densidade de fluxo magnético	tesla	T	Wb/m ² ou kg/(s ² .A)
Caudal (Q)	volume por tempo		Exemplo: m ³ /d
Porosidade (n)	volume de vazios por volume total		
Viscosidade dinâmica	Pa.s		kg/(m.s)
Gradiente hidráulico ($i=-dh/dl$)	comprimento por comprimento		
Permeabilidade Intrínseca (em darcy)	darcy	darcy	9,87x10 ⁻⁹ cm ²
DO <i>Dissolved Oxygen</i> (Oxigénio dissolvido)	concentração		mg/L
E ⁰ Potencial redox de referência	volt	V ou mV	
Balanço eléctrico da análise de água – EB			(%)
EC - <i>Electrical Conductivity of water sample</i>	condutividade eléctrica da água	μ S/cm	
Eh	potencial redox relativo a meia reacção do par H ₂ /H ⁺	V ou mV	
pH	$-\log [H^+]$		
TDS	concentração	mg/L	

Prefixos de unidades	Símbolo	Factor
giga	G	10^9
mega	M	10^6
quilo	k	10^3
hecto	h	10^2
deca	da	10^1
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
mili	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}

Índice de equações

Equação 1.1	66
Equação 1.2	73
Equação 1.3	73
Equação 1.4	
Equação 1.5	
Equação 3.1	116
Equação 3.2	172
Equação 3.3	172
Equação 3.4	173
Equação 3.5	173
Equação 4.1	279
Equação 5.1	326
Equação 5.2	326
Equação 5.3	327
Equação 5.4	327
Equação 5.5	327
Equação 5.6	327
Equação 5.7	330
Equação 5.8	331
Equação 5.9	331
Equação 5.10	396
Equação 5.11	403
Equação 5.12	403

Índice de equações

Equação 5.13	403
Equação 5.14	409
Equação 5.15	411
Equação 5.16	411
Equação 5.17	417
Equação 5.18	418
Equação 5.19	418

Capítulo 1

**Introdução,
objectivos
e metodologia**

As hipóteses têm um carácter imaginativo e inspirativo... são aventuras de espírito.
(Medawar, 1964)

Na zona costeira entre Quiaios e Tocha existem algumas lagoas naturais, sendo as de maiores dimensões actualmente conhecidas por Lagoa das Braças, Lagoa da Vela, Lagoa Salgueira e Lagoa dos Teixoeiros.

Integradas num extenso campo dunar, que segue paralelamente à linha de costa actual com uma largura de cerca de 7 km, as lagoas situam-se na zona de transição entre as dunas transversas com formas bem preservadas, a ocidente (Dunas de Quiaios) e os edifícios dunares mal conservados, a oriente, já na região da Gândara (no conceito de Choffat, 1900; Girão, 1922 e Carvalho, 1964; citados em Almeida, 1995).

As zonas húmidas formadas por este pequeno cordão de lagoas, com uma direcção aproximadamente paralela à linha de costa actual, suportam inúmeras espécies e *habitats*, actividades agrícolas e de pesca. Algumas delas sustentam ainda o abastecimento público de água às populações e contribuem para o desenvolvimento de actividades de turismo, lazer e bem-estar (Martins, Raposo, Pimentel, Silveira, Sousa & Raimundo, 2006).

Legislação comunitária, como a Directiva 79/409/CEE, de 2 de Abril (Directiva das Aves) e a Directiva 92/43/CEE, de 21 de Maio (Directiva *Habitats*), relativas à conservação de aves selvagens e à preservação dos *habitats* naturais, fomentaram a classificação e a constituição de Sítios da Rede Natura 2000, entre eles um designado por “Dunas de Mira, Gândara e Gafanhas” (PTCON0055), aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros nº76/2000, de 5 de Julho, do qual fazem parte estas zonas húmidas.

O seu estado actual reflecte as pressões ambientais que sofreram, de forma cumulada ao longo do tempo, mas com maior intensidade nos últimos anos, e que contribuíram para a sua degradação. São exemplo disso a actividade agrícola e pecuária (sobretudo na Lagoa da Vela); as intervenções florestais; a poluição aquática; a modificação do regime hidrológico (sobretudo na Lagoa das Braças); as modificações físicas com a regularização das margens e a erosão marginal; a pressão humana e a introdução e invasão de espécies exóticas (Martins *et al.*, 2006).

É do máximo interesse a requalificação destas zonas húmidas, mas para tal é necessário a contribuição de todos os intervenientes. A reabilitação dos ecossistemas degradados e a conservação dos valores naturais, só se consegue fazer de forma sustentável através do conhecimento destes sistemas naturais, em todas as suas vertentes, envolvendo entidades e população, através da educação e sensibilização ambiental.

1.1 Objectivos

O objectivo geral deste trabalho de dissertação, para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Geológica, é a caracterização geológica e hidrogeológica da zona costeira onde se inserem as lagoas de Quiaios. Para tal, desenvolveu-se trabalho de investigação em diversas áreas do conhecimento de modo a:

- conhecer a geologia da área envolvente das lagoas, definindo as diversas unidades sedimentares que servem de suporte físico às unidades hidrogeológicas;
- definir e caracterizar as unidades hidrogeológicas existentes na área em estudo (pertencentes aos sistemas aquíferos Quaternário de Aveiro e Viso-Queridas);
- determinar os principais fluxos de água superficial e subterrânea e a interdependência existente entre eles;
- identificar as principais zonas de recarga e descarga de água subterrânea na zona de estudo;
- caracterizar quimicamente as águas subterrâneas, em especial as unidades do sistema aquífero Quaternário de Aveiro existentes na zona de estudo;
- caracterizar quimicamente as águas superficiais e em especial as das zonas húmidas estudadas, procurando identificar os mecanismos responsáveis pelo seu quimismo;
- relacionar os conhecimentos geológicos e hidrogeológicos obtidos com os dados de ecologia e biologia existentes;
- utilizar os resultados obtidos para divulgação em publicações de carácter mais geral, de modo a fornecer elementos que possam ser utilizados pelos decisores, promover a sensibilização ambiental e a preservação dos valores naturais.

1.2 Metodologia

O conhecimento dos sistemas lacustres da região de Quiaios envolveu várias abordagens, devido sobretudo à escassez de informação geológica e hidrogeológica, desta zona particular, recoberta quase totalmente por areias de duna. Por isso, tornou-se necessário recorrer a métodos de prospecção geofísica, para se proceder à modelação das estruturas geológicas (e hidrogeológicas) em profundidade, seguida da execução de sondagens mecânicas, com recolha de amostras. Aplicaram-se técnicas de análise sedimentológica para definição das unidades sedimentares encontradas, tendo em conta a globalidade dos dados obtidos. Caracterizaram-se as unidades hidrogeológicas da zona e efectuaram-se recolhas de amostras de águas subterrâneas e superficiais para a análise dos parâmetros hidrogeoquímicos.

1.2.1 Fase de preparação do trabalho

Na fase inicial que antecedeu o trabalho de campo, procurou-se a bibliografia necessária à sua realização, a qual foi registada em folhas de dados para ser facilmente consultada. Reuniram-se informações de índole geológica, hidrogeológica geofísica, climatológica, pedológica, cartográfica, fotográfica, estatística e outras sobre a área em estudo.

Promoveram-se contactos com entidades de várias competências na área em estudo, nomeadamente a Direcção Geral de Florestas (DGF) – Circunscrição Florestal do Centro, a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro (CCDRC), o Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), a empresa Águas da Figueira S. A., a Empresa de Desenvolvimento Económico e Social de Cantanhede (INOVA), a Câmara Municipal da Figueira da Foz (CMFF), as Juntas de Freguesia de Bom Sucesso (JFBS), da Tocha (JFT) e de Quiaios (JFQ), as forças de segurança, em especial a GNR.

Junto das entidades competentes solicitaram-se todas as autorizações necessárias para a realização dos trabalhos previstos (prospecção geofísica; sondagens mecânicas e execução de piezómetros). A partir de Maio de 2006, este trabalho de doutoramento contou também com o apoio financeiro do projecto POCI/CTE-GEX/58951/2004, co-financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e pelo Programa Operacional Ciência e Inovação 2010.

Idealizou-se uma estrutura de base de dados, para colocar os dados recolhidos através da consulta bibliográfica e os dados que seriam recolhidos nas fases de trabalho de campo e de laboratório, de modo a facilitar a sua leitura e interpretação. Os registos de sondagens mecânicas, anteriormente efectuadas na zona, foram colocados no *software* RockWorks[®]2006 de modo a obter perfis e modelos a três dimensões (3D).

Criaram-se ou adaptaram-se fichas de registo de campo ou de laboratório, para dados de prospecção electromagnética, inventário hidrogeológico, sondagens mecânicas, amostragem, piezometria e mineralogia.

Foi concebido e experimentado um dispositivo para recolha de testemunhos de sedimentos de fundo, através de um sistema de êmbolo, em material plástico, aço inox e silicone. Este dispositivo foi construído nas oficinas do Departamento de Ciências da Terra (DCT), da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC), a partir de um modelo desenvolvido pela autora (X-SedFun).

1.2.2 Trabalho de campo

O trabalho de campo iniciou-se em 2005, altura em que se efectuaram alguns perfis usando métodos electromagnéticos, mas intensificou-se a partir de Março de 2006. Nesse ano, completaram-se cerca de 60 km de perfis de condutividade eléctrica aparente, obtidos com os condutivímetros Geonics EM31 e EM34 em perfis com direcções aproximadas NNE-SSW e WNW-ESE, que se estenderam até à costa.

Experimentalmente, utilizou-se ainda um equipamento de geo-radar (GPR) para efectuar um perfil com cerca de 3 km, sobreposto a um perfil efectuado com os condutivímetros Geonics EM31 e EM34.

O primeiro inventário hidrogeológico foi realizado em 2006, nos poços e furos disponíveis à data e que se situavam a oriente das lagoas, cobrindo apenas cerca de 1/3 da área total em estudo. Mediram-se no campo pH, Eh, condutividade eléctrica da água (EC), total de sólidos dissolvidos (TDS), oxigénio dissolvido (DO), turbidez (ou turvação) e temperatura da água e também a temperatura do ar. Calculou-se a média e o desvio padrão de pelo menos 5 medidas e efectuou-se o registo em folha própria onde foram ainda colocados outros dados relativos à propriedade do furo ou poço, localização e nível piezométrico.

O trabalho de campo continuou em 2007, com a preparação e acompanhamento da execução de 28 sondagens mecânicas efectuadas por uma equipa de sondadores contratada para o efeito e do acompanhamento de uma sondagem efectuada para a instalação de uma fundação, com recolha de amostras de sedimentos e instalação de 27 piezómetros com cimentação da parte superior do furo e colocação de tampas e fechaduras. Após esta fase completou-se o inventário hidrogeológico e efectuou-se a amostragem de águas subterrâneas e superficiais, com recolha de parâmetros de campo num total de 54 amostras.

Recolheram-se testemunhos integrais de sedimentos de fundo nas lagoas das Braças, Vela, Salgueira e Teixoeiros, com o dispositivo X-SedFun. Perfuraram-se locais e colheram-se sete testemunhos, três na Lagoa da Vela, dois na Lagoa das Braças e um em cada uma das outras duas lagoas, atingindo-se profundidades máximas de 0,90 m, tendo-se recolhido ainda testemunhos de sedimentos mais superficiais com cerca de 0,30 m.

Para um estudo mais detalhado da Lagoa da Vela, mediu-se a altura da coluna de água e alguns parâmetros físico-químicos como pH, Eh, EC, DO e temperatura da água num total de 46 locais, escolhidos aleatoriamente no interior da lagoa. Recolheram-se 6 amostras de água onde se determinou alcalinidade (mg de CaCO₃), CO₂ dissolvido e turbidez, mas dada

a elevada homogeneidade dos parâmetros estudados, seleccionaram-se apenas três para análise química.

A medição de níveis piezométricos e a determinação de parâmetros físico-químicos da água foi repetida semestralmente, agora já com a rede de observação alargada a mais de uma centena de pontos.

1.2.2.1 Prospecção electromagnética com condutivímetros Geonics EM31 e EM34

Dados de condutividade eléctrica aparente (mS/m) foram obtidos com recurso a condutivímetros Geonics EM31 e EM34, utilizando o método electromagnético, no domínio frequência, nas configurações de dipolo vertical e dipolo horizontal (figura 1.1).

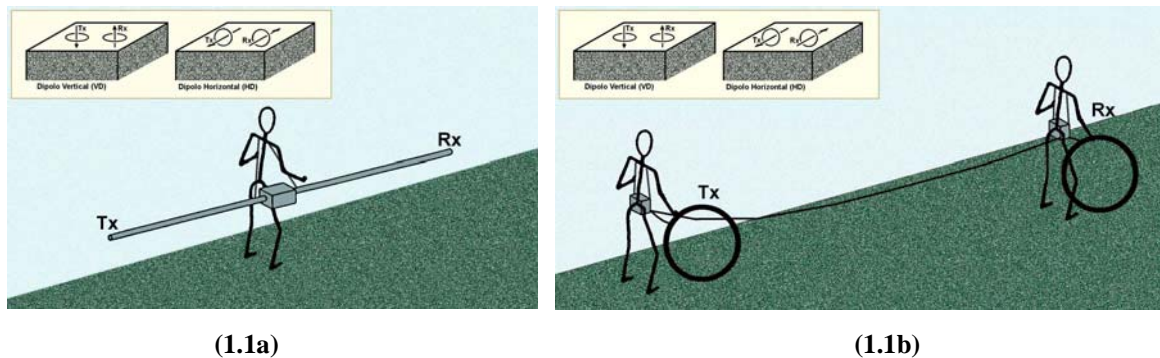


Figura 1.1 - Procedimento utilizado na recolha de dados com os condutivímetros Geonics EM31 (fig.1.1a) e Geonics EM34 (fig. 1.1b), segundo Cruz *et. al.* (2005).

Os perfis, quase rectilíneos, foram realizados na sua maioria ao longo de aceiros, em direcções aproximadamente paralelas e perpendiculares entre si. O espaçamento utilizado, entre pontos de medida consecutivos, foi de 20 m nas zonas mais próximas das lagoas e de 40 m nas restantes zonas.

Em cada ponto amostrado foram efectuadas duas leituras com o condutivímetro EM31, com separação de 3,66 m entre bobinas, nos dipolos horizontal (HD) e vertical (VD), e seis leituras com o condutivímetro EM34, com separações entre bobinas de 10, 20 e 40 m, nos dipolos HD e VD (figura 1.1). Este conjunto de configurações permite atingir profundidades de penetração efectiva que variam entre 2,2 m e 50,6 m (tabela 1.1). As medidas efectuadas no campo são sempre referidas à posição da bobine transmissora (Tx) dos equipamentos (Mc Neil, 1980).

Em alguns pontos foram efectuadas réplicas de medidas, em dias diferentes, tendo-se verificado uma diferença de condutividade eléctrica aparente sempre inferior a 2%. Recolheram-se também medidas com direcções perpendiculares, como forma de avaliar a anisotropia do meio, tendo as diferenças sido mínimas.

Tabela 1.1 - Parâmetros operacionais dos condutivímetros Geonics EM31 e EM34
(adapt. de Ogilvy *et al* ; 1991).

#	Tipo de conductivímetro	Espaçamento entre bobines (m)	Orientação dos dipolos	Frequência (Hz)	Profundidade de penetração efectiva (m)
1	EM31	3,66	HD	9800	2,2
2	EM31	3,66	VD	9800	4,6
3	EM34	10,00	HD	6400	5,9
4	EM34	10,00	VD	6400	12,6
5	EM34	20,00	HD	1600	11,8
6	EM34	20,00	VD	1600	25,3
7	EM34	40,00	HD	400	23,5
8	EM34	40,00	VD	400	50,6

VD - Dipolo Vertical (Bobines na posição horizontal)

As leituras que foram afectadas por algum ruído electromagnético situaram-se junto aos aglomerados urbanos de Camarçã, Tocha, Praia da Tocha e Morros e não foram incluídas nos perfis.

À fase de amostragem seguiu-se a do tratamento dos dados. Cada perfil foi analisado individualmente e relacionado com os dados obtidos a partir dos conhecimentos geológicos existentes sobre esta zona e dos *logs* de sondagens anteriormente efectuadas. Tomou-se em consideração a topografia e as coordenadas UTM – Fuso 29 – WGS 84 de cada ponto de medida, para possibilitar a execução de modelos 3D com o *software* RockWorks®2006.

O tratamento inicial dos dados foi essencialmente qualitativo, recorrendo-se a métodos de representação dos dados das condutividades aparentes medidos no campo para posterior interpretação.

As oito leituras, correspondentes às profundidades de investigação indicadas na tabela 1.1, foram colocadas em folhas de cálculo Excel®. Cada perfil foi então inicialmente analisado pelo Método das Médias de VDs e HDs proposto por Figueiredo (2006), que se baseia nas médias aritméticas dos dados das leituras VD e HD (tabela 1.2). Com o *software* Surfer® construíram-se então as secções verticais ao longo dos perfis. Este método tem, como limitação, o facto de os resultados obtidos continuarem a ser qualitativos, gerados a partir dos dados de condutividade e profundidade aparentes, mas apresenta a grande vantagem de possibilitar a visualização da distribuição dos valores da condutividade quer em profundidade quer lateralmente.

Tabela 1.2 - Selecção dos valores de condutividade medidos com o EM31 e EM34 utilizados para efectuar os mapas VDs e HDs (segundo Figueiredo, 2006).

#	Equipamento	Profundidade efectiva* (m)	Mapa VDs	Mapa HDs
1	HD3,66-EM31	2,2	HD3,66-EM31	HD3,66-EM31
2	VD3,66-EM31	4,6	VD3,66-EM31	VD3,66-EM31
3	HD10-EM34	5,9	HD10-EM34	HD10-EM34
4	VD10-EM34	12,6	VD10-EM34	-----
5	HD20-EM34	11,8	-----	HD20-EM34
6	VD20-EM34	25,3	VD20-EM34	-----
7	HD40-EM34	23,5	-----	HD40-EM34
8	VD40-EM34	50,6	VD40-EM34	VD40-EM34

Para determinar profundidades e condutividades reais teria que ser feita a modelação geofísica dos dados, com o recurso ao *software EMIX34*® ou ao *software Interpex*® *IX1Dv.3.36*. Esta última aplicação informática trata dados de resistividade, polarização induzida, magneto-telúricos, e electromagnéticos, importados sob a forma de ficheiros X, Y, Z, podendo combinar medidas de condutividade aparente, de vários pontos ao longo de perfis, que se tenham obtido com os condutivímetros EM31, EM34 ou EM38.

Os dados de sondagens mecânicas e os resultados dos perfis de geo-radar seriam incorporados na modelação geofísica para melhorar a reprodutibilidade do modelo.

1.2.2.2 Geo-radar (GPR)

GPR. (*Ground Penetrating Radar*) ou geo-radar é uma técnica geofísica electromagnética, não destrutiva, que tem numerosas aplicações nos campos da Geologia, e especificamente na Hidrogeologia, Engenharia, Arqueologia, Ambiente etc.

Os objectivos definidos para a aplicação deste método foram os seguintes:

- a definição da geometria e número de níveis confinantes de lodo e podzol, que se admitia estarem até aos 10 m de profundidade;
- a localização do substrato de permeabilidade reduzida, cujo topo se situa a cerca de 20 m;
- a identificação de possíveis estruturas geológicas.

A aplicabilidade deste método de prospecção ao primeiro objectivo foi testada no terreno, efectuando-se um perfil experimental (2D), com cerca de três quilómetros de comprimento.

A antena seleccionada, com uma frequência de 250 MHz, era biestática, blindada e foi acoplada a um veículo todo-o-terreno, que se deslocava a uma velocidade média de 4 km/h. O modo de aquisição foi contínuo, a frequência de aquisição de traços foi de 0,07 s, sendo o perfil efectuado com georreferenciação em tempo real. Pretendia-se uma resolução capaz de definir com continuidade os níveis de lodos e podzol, que apresentam permeabilidade mais reduzida e maior conteúdo em água.

As principais condicionantes logísticas do método de geo-radar prendem-se com as características do terreno, como irregularidades da superfície, vegetação, presença de água e dispersão de materiais ferromagnéticos; com os espaços disponíveis, os acessos aos locais de prospecção e a segurança da equipa (Hermosilha, 2007). No caso do trabalho aqui apresentado a acoplagem do aparelho de geo-radar ao terreno foi muito boa, assim como os acessos e o espaço disponível, uma vez que o perfil foi efectuado ao longo de um corta-fogo desmatado, em areia de duna, que tinha sido anteriormente utilizado para a recolha de dados de condutividade eléctrica aparente com os aparelhos Geonics EM31 e EM34.

O processamento do sinal foi efectuado de uma forma simplificada, através do *software* REFLEX[®]-Win Vr. 3.5.5 (2004), incluindo:

- correcção da posição do tempo zero, efectuada automaticamente pelo programa de processamento a partir do ponto da primeira inflexão da onda-ar;
- filtro “*dewow*” que consiste na remoção da componente inicial do sinal e decaimento das frequências mais baixas, permitindo assim o contraste entre reflexos de amplitude positiva e de amplitude negativa;
- aplicação de alguns filtros na tentativa de melhorar o resultado obtido: correcção de ganho e passabanda;
- correcção topográfica, com os dados obtidos pela georreferenciação em tempo real.

1.2.2.3 Sondagens Mecânicas

As sondagens mecânicas para reconhecimento geológico e colocação de piezómetros foram efectuadas usando um método artesanal, mas eficiente e rigoroso, bem apropriado para sedimentos não consolidados. Esta técnica permite a colheita de amostras relativamente inalteradas, a intervalos escolhidos pelo operador, tendo cada amostra um comprimento mínimo de 0,10 m até cerca de 0,40 m.

O furo é iniciado com a desmatização, seguida de uma escavação inicial vertical, com um diâmetro de cerca de 250 mm, recorrendo a um amostrador capaz de retirar areia seca (figura 1.2).



Figura 1.2 - Detalhe do amostrador 1 e do aspecto da escavação inicial.

Quando se atinge o nível freático, se alcança a profundidade máxima de utilização deste amostrador (entre 2 e 2,50 m dependendo do operador) ou sempre que as condições do terreno o exijam, coloca-se no interior da escavação um tubo de revestimento em aço, com 102 mm de diâmetro externo e cerca de 85 mm de diâmetro interno, para sustentar as paredes do furo (figura 1.3).



Figura 1.3 – Colocação do tubo de revestimento em aço.

Na fase seguinte a furação efectua-se através de uma limpadeira cilíndrica com uma válvula de esfera terminal, que é introduzida por meio de varas ou de cabos dentro do tubo de aço exterior (figura 1.4).



Figura 1.4 – Detalhe da limpadeira com a válvula de esfera terminal.

Esta limpadeira é deslocada verticalmente de modo a deixar entrar o sedimento, de baixo para cima, encerrando-o por intermédio da esfera. Quando se desejar pode interromper-se a furação e retirar a amostra invertendo a limpadeira (figura 1.5).



Figura 1.5 – Imagens da recolha de amostras.

Pontualmente, para que se possa efectuar uma desagregação de sedimentos não consolidados ou quando não haja necessidade de recolha de amostras de sedimentos, pode usar-se a injeção de água no furo de modo a facilitar o trabalho e a aumentar a rapidez de perfuração (figura 1.6). No entanto, sempre que se deseje, a injeção de água pode ser interrompida e a limpadeira cilíndrica volta a usar-se para efectuar a recolha de amostras representativas de uma determinada camada de sedimento.



Figura 1.6 – Injecção de água no furo.

A injeção de água foi utilizada para furos de profundidade maior, em situações que não exigiam a recolha de amostras, como no caso da zona comum nos furos múltiplos. A água injectada era escolhida de furos situados no mesmo ambiente, tendo-se evitado a mistura de água de outras origens.

No final da execução do furo pode ser colocado um piezómetro, antes de retirar o tubo de revestimento exterior. Os piezómetros usados neste trabalho foram efectuados em tubo de polietileno com 76 mm de diâmetro externo. A zona ranhurada foi coberta com várias camadas de rede de PVC, para a limitar a entrada de finos, sendo a sua extremidade inferior tapada por um taco de madeira (figura 1.7).

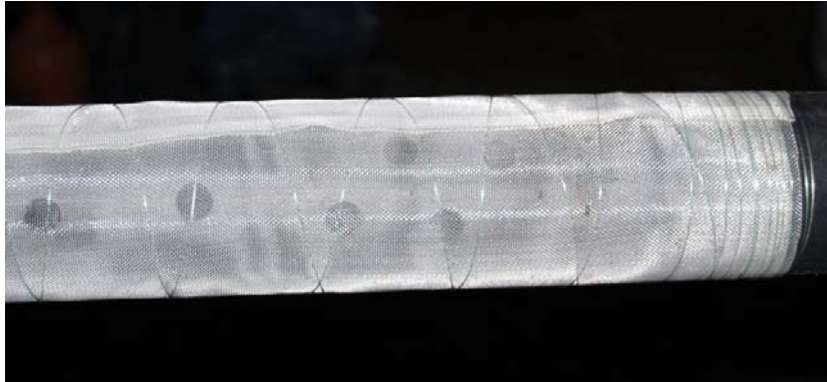


Figura 1.7 – Detalhe da preparação do piezómetro – zona ranhurada.

O piezómetro construído desta maneira foi depois colocado no interior do tubo de aço que foi seguidamente retirado (figura 1.8).



Figura 1.8 – Imagem da colocação do piezómetro.

Por último, fez-se a limpeza do furo através da bombagem de água com moto-bomba, até esta se apresentar livre de finos.

A cimentação da parte superior do furo (cabeçal) foi efectuada com um molde de 0,40 m de diâmetro e 0,80 m de altura, sendo depois colocado um tampão com fecho na parte superior do piezómetro.

A localização dos piezómetros foi determinada com base nos levantamentos geofísicos efectuados anteriormente, de modo a poder responder a perguntas relacionadas com a definição da geometria dos corpos líticos e a permitir uma amostragem conveniente das unidades hidrogeológicas.

O método utilizado e descrito anteriormente foi escolhido, de entre vários métodos disponíveis e economicamente viáveis, por três razões principais: a possibilidade de controlo sobre a furação e a maior fiabilidade na recolha de amostras; a não utilização de polímeros ou argilas bentónicas para sustentar as paredes do furo e o seu baixo custo.

A velocidade de execução de furos é relativamente baixa, tendo os trabalhos de furação e cimentação decorrido durante 16 dias, de cerca de 10 horas de trabalho cada, ocupando entre 5 a 6 pessoas por dia. Os trabalhos de preparação e planificação iniciaram-se cerca de 2 meses antes e envolveram análise de dados de campanhas anteriores, pedidos de autorização às autoridades competentes, solicitação de meios de transporte às autoridades locais e escolha dos percursos, planificação do registo das sondagens mecânicas e compra de material de recolha e transporte de amostras.

A escolha do diâmetro do furo foi a máxima possível para o equipamento de furação disponível, de modo a permitir a introdução de um tubo de aspiração com válvula de retenção de fundo, que ajudaria nas operações de bombagem e na recolha de amostras de água.

A dimensão linear do tubo ralo foi escolhida caso a caso, dependendo das características da captação, mas foi sempre superior a 1 m. Devido às características dos sedimentos atravessados e do método de furação escolhido não se procedeu à colocação de filtro de seixo fino, já que a diferença entre o diâmetro de furação e o dos piezómetros aplicados foi mínima e o tubo exterior foi retirado muito lentamente, de modo a que os sedimentos atravessados pudessem ocupar o espaço livre naturalmente, preservando a localização das camadas e mantendo tanto quanto possível a geometria e características hidrogeológicas do meio.

Em alguns pontos, foram efectuados furos múltiplos de modo a poder estudar várias unidades hidrogeológicas. Estes furos foram colocados a uma distância mínima de cerca de 2 m, captando cada um deles uma unidade diferente para não haver mistura de águas de diferentes origens.

Os furos assim executados estiveram de repouso entre 6 a 8 meses, antes de serem de novo bombeados para entrarem em funcionamento como pontos da rede de monitorização.

Este método de furação baseia-se num método de percussão manual, inventado na China há mais de 4000 anos, que é muito utilizado hoje em dia pelas vantagens já referidas. Os

seus equivalentes mecânicos modernos (métodos de percussão mecânica) têm grande aplicação na execução de furos pouco profundos (os equipamentos vêm geralmente preparados para furos até 30 m) em materiais pouco consolidados, em áreas muito diversas da Geologia Aplicada (Hidrogeologia, Geotecnia, Sedimentologia, Pedologia, etc.) (Driscoll, 1986).

1.2.2.4 Recolha de Sedimentos de Fundo

Após a fase de sondagens mecânicas e em simultâneo com a amostragem de água superficial, tornou-se necessário efectuar uma recolha de sedimentos de fundo nas lagoas estudadas. Para tal foi concebido um dispositivo, semelhante a um êmbolo, em material plástico de Policloreto de Vinilo (PVC), leve, quimicamente inerte, inócuo e fácil de trabalhar.

Este dispositivo (X-SedFun) é constituído por um tubo externo de PVC, que pode ter vários diâmetros, sendo os mais utilizados os diâmetros 25 mm e 33 mm, e um êmbolo que se desloca internamente ao tubo de revestimento e que apresenta um diâmetro compatível com o tubo externo (figura 1.9).

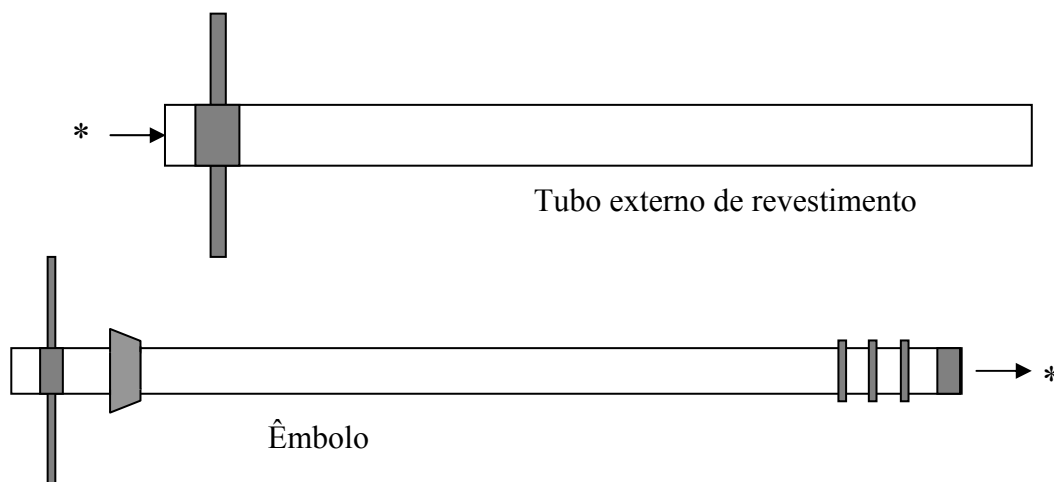


Figura 1.9 – Desenho das peças que compõem o dispositivo X-SedFun de recolha de sedimentos de fundo.

O êmbolo é construído para ser compatível com as dimensões do tubo externo, da amostra que se quer retirar e da coluna de água, tendo em regra um comprimento de 1,5x a 2x o comprimento da amostra pretendida. O tubo externo terá o comprimento equivalente à dimensão em que se desloca o êmbolo e à coluna de água.

Estes dois tubos terão uma dimensão máxima de 3 m, sem recorrer a extensões, mas este comprimento já torna difícil a execução da amostragem, mesmo com dois operadores.

As principais vantagens deste dispositivo, resultam do seu reduzido peso, da facilidade de operação, e da possibilidade de conservação de amostras intactas já que o tubo de PVC pode ser facilmente cortado. Os inconvenientes são comuns a outros dispositivos idênticos, já que existe alguma dificuldade em reter amostras de fundos muito arenosos ou com sedimentos muito soltos e em perfurar níveis mais consistentes.

Com este dispositivo, conseguiram recolher-se sedimentos com um comprimento de 0,80 a 0,90 m, em locais e circunstâncias semelhantes àqueles onde Danielsen (2006), usando um amostrador Livingstone®, recolheu testemunhos com cerca de 0,80 m.

1.2.2.5 Amostragem de águas subterrâneas

A fase de amostragem de água subterrânea decorreu cerca de 6 meses após a instalação da rede de monitorização, a seguir ao período húmido, o que coincidiu com a fase das primeiras regas dos campos agrícolas. O processo de recolha de amostras decorreu no final de Julho de 2007. Iniciou-se nos furos e só depois se estendeu aos poços, para que estes pudessem ter sido já esvaziados cerca de 3 vezes antes de se efectuar a colheita (Lloyd & Heathcote, 1985; citado em Appelo & Postma, 2005).

Iniciou-se a bombagem dos furos com uma moto-bomba portátil HONDA® WX10, com um caudal moderado. Na saída de água da bomba, montou-se um sistema de torneiras que permite escolher a direcção e o caudal de saída do fluxo. Colocou-se então a célula de fluxo contínuo, que se encheu de água do furo, regulando a torneira de entrada para que o fluxo fosse laminar. Colocaram-se os eléctrodos WTW® 340i, previamente calibrados e testados em soluções padrão, na célula de fluxo, ajustando-os através de *O-rings* e tapando todas as entradas não ocupadas, de modo a eliminar o contacto entre a água do furo e o ar atmosférico. Registaram-se os parâmetros pH, Eh, EC, DO e temperatura da água até estabilizarem e anotaram-se 5 medidas, para o cálculo da média e desvio padrão destes parâmetros. Este processo demorava aproximadamente 30 a 40 minutos (figura 1.10).



Figura 1.10 – Imagem da Célula de Fluxo Contínuo em funcionamento.

Após a estabilização dos parâmetros recolheu-se água do furo, através da torneira de recolha de amostras, com a preocupação de não haver perda de gases para a atmosfera. Efectuaram-se então titulações para determinar a alcalinidade (em mg/L de CaCO_3) e a percentagem de CO_2 dissolvido, com recurso a tituladores digitais da marca HACH®, através dos métodos 8203 e 8205, respectivamente (HACH, 2006).

A turbidez foi medida através de um turbidímetro HANNA® HI 93703, que consegue medir intervalos de 0,00 a 50,00 FTU ($\pm 0,01$) e de 50 a 1000 FTU (± 1).

Foram depois recolhidas 4 amostras: a primeira não filtrada, a segunda filtrada e mantida a temperaturas abaixo de 4 °C, a terceira filtrada e acidificada com HNO_3 , a pH inferior a 2, e a quarta filtrada. A filtragem foi efectuada, através de membranas tipo MF, em ésteres de celulose, com poros de 0,45 μm , colocadas em porta-filtros para seringas, directamente para frascos de polietileno de alta densidade próprios para recolha de amostras de água, previamente limpos e passados por água desionizada (figura 1.11).



Figura 1.11 – Imagem do mini laboratório de campo.

Foi ainda efectuada a recolha de uma amostra que servisse de testemunho de campo, tendo-se usado água desionizada que, depois de filtrada, acidificada ou refrigerada, foi entregue ao laboratório para ser analisada juntamente com as outras amostras. A referência desta amostra era idêntica às outras, usando-se o número de um furo em que não se colocou piezómetro.

O procedimento usado em poços de grande diâmetro foi idêntico ao descrito para os furos. Dada a grande proliferação de poços deste tipo escolheram-se poços que estavam a ser utilizados para rega e em que o seu conteúdo já tivesse sido esvaziado no mínimo 3 vezes, de preferência em período de enchimento. Utilizou-se a célula de fluxo para a medição dos parâmetros referidos atrás e a recolha de amostras foi realizada de igual modo.

Por precaução, as amostras foram todas transportadas em caixas térmicas com cargas geladas que as mantiveram a temperaturas inferiores a 4 °C até chegarem ao laboratório onde foram analisadas.

1.2.2.6 Amostragem de águas superficiais

Todas as lagoas e valas de drenagem existentes na zona foram amostradas, durante o período de colheita de amostras de água.

Registaram-se os parâmetros pH, Eh, EC, DO e temperatura da água, com os eléctrodos WTW® 340i, colocados directamente na água. Determinou-se a alcalinidade, a quantidade de CO₂ dissolvido e a turbidez. A validação dos resultados foi efectuada de acordo com o descrito no capítulo 1.2.2.5.

Recolheram-se quatro amostras de água nas mesmas condições das recolhidas em furos e poços, para posterior análise, em locais únicos nas lagoas das Braças, Salgueira e Teixoeiros e em 3 locais da Lagoa da Vela.

Na Lagoa da Vela, efectuaram-se ainda campanhas de amostragem inicialmente mais alargadas, medindo-se a altura da coluna de água, pH, Eh, EC, DO e temperatura da água num total de 46 locais. Recolheram-se inicialmente 6 amostras de água, onde se determinou alcalinidade, CO₂ e turbidez. Os resultados eram muito semelhantes o que possibilitou a escolha de apenas 3 amostras para análise química. Os locais foram escolhidos de modo a representarem as diferentes zonas, em termos de altura da coluna de água e dos parâmetros físico-químicos analisados.

As amostras foram transportadas para o laboratório de acordo com o descrito no capítulo 1.2.2.5

1.2.2.7 Medição de níveis piezométricos

Os níveis foram medidos inicialmente só no sector este, mas após a instalação dos piezómetros a rede alargou-se a mais de uma centena de pontos, tentando abranger as duas unidades hidrogeológicas do Aquífero Quaternário de Aveiro estudadas: aquífero superior freático e aquífero de base. Este último apresenta uma densidade de pontos bastante inferior ao primeiro, dada a diferença no tipo e na quantidade de captações que o exploram.

As medições foram efectuadas com um medidor de nível Geotechnical Instruments® DM2.1-30, e anotadas em ficha própria onde se referem também as coordenadas e a altura da parede do poço, em relação à qual se faz a medida, que permitem depois calcular o nível hidrostático (NHE).

Em fase de amostragem, as medidas dos níveis eram efectuadas antes da bombagem, para não serem afectadas por rebaixamentos, no próprio furo ou em furos próximos.

Para a medição de níveis de lagoas e valas de drenagem utilizaram-se pontos de acesso fácil e calculou-se o NHE recorrendo-se à determinação da cota do terreno por georreferenciação, e sobreposição com os dados do Modelo Digital do Terreno (MDT).

1.2.3 As amostras de sedimentos no laboratório

As amostras de sedimentos recolhidas nas sondagens mecânicas foram transportadas para o Laboratório de Preparação de Amostras do DCT-FCTUC, onde foram secas ao ar. Posteriormente foram separadas 4 a 5 subamostras por quarteamento: uma para ser guardada como testemunho e as restantes para efectuar análises granulométricas, morfoscópicas, mineralógicas e químicas. As subamostras foram seladas e guardadas em sacos de polietileno.

As camadas com mais matéria orgânica foram também amostradas para pesquisa de pólen, e congeladas para posterior análise. Nas camadas com maior conteúdo faunístico foram ainda recolhidas amostras para análise malacológica, efectuadas no Laboratório de Paleontologia do DCT-FCTUC.

Foram recolhidas fotografias das amostras, em lupa binocular, nas mesmas condições de ampliação, para que se criasse um arquivo de imagens com vista à sua rápida e fácil visualização.

Os testemunhos mais compridos dos sedimentos de fundo colhidos com o dispositivo X-SedFun foram guardados congelados, enquanto que os mais curtos foram abertos e fotografados. Depois de registados e amostrados, foram secos ao ar e guardados, selados, em sacos de polietileno.

Tabela 1.3 – Resumo das análises efectuadas aos sedimentos amostrados nos furos F1 a F28 e em EST.

	EST	F1	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15
Amostras colhidas	12	33	16	3	10	1	11	11	14	6	12	11	5	5	4
Crivagens	9	11	6	0	6	0	0	7	3	0	0	7	0	4	2
Laser	10	18	12	3	8	0	6	9	10	5	8	10	4	5	2
Crivagem+laser	8	10	6	0	6	0	0	7	1	0	0	7	0	4	1
Amostras tratadas	11	19	12	3	8	0	6	9	12	5	8	11	4	5	3
Dif RX<63	8	3	2	0	3	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0
Dif RX<2	7	3	2	0	3	0	0	3	3	0	0	0	0	1	0
RX	8	3	2	0	3	0	0	3	3	0	0	0	0	1	0
Lupa	12	33	16	3	10	1	11	11	14	6	12	11	5	5	4

	F16	F17	F18	F19	F20	F21	F22	F23	F24	F25	F26	F27	F28	Total	%
Amostras colhidas	11	6	12	6	23	2	5	7	15	1	6	5	14	267	100
Crivagens	6	5	7	6	12	0	0	3	9	0	0	0	7	110	41
Laser	5	5	11	5	18	0	4	2	15	1	6	5	10	197	74
Crivagem+laser	3	5	6	5	11	0	0	2	9	0	0	0	7	98	37
Amostras tratadas	8	5	12	6	19	0	4	3	15	1	6	5	10	210	79
Dif RX<63	0	0	4	0	7	0	0	0	2	0	0	0	3	37	14
Dif RX<2	0	0	3	0	9	0	0	0	2	0	0	0	5	40	15
RX	0	0	4	0	9	0	0	0	2	0	0	0	5	43	16
Lupa	11	6	12	6	23	2	5	7	15	1	6	5	14	267	100

Nota: Dif RX<63 - difractogramas da fracção silto-argilosa de agregados não orientados;

Dif RX<2 - difractogramas da fracção inferior a 2 µm de lâminas sedimentadas.

RX – difractogramas de qualquer tipo

1.2.3.1 Análises granulométricas

As análises granulométricas dos sedimentos foram efectuadas nos laboratórios de Sedimentologia (LabSed), do DCT-FCTUC.

As amostras consideradas representativas de uma determinada unidade foram sujeitas a dois tipos de análises granulométricas, conforme as suas distribuições.

A análise granulométrica da generalidade das amostras com menos de 5% de fracção superior a 2 mm foi efectuada por difracção de laser, num aparelho Coulter® LS 230, capaz de determinar o tamanho de partículas entre 0,04 e 2000 μm . Nas amostras escolhidas, com fracção silto-argilosa maior do que 5%, a análise granulométrica por difracção de laser foi obrigatória. Para as amostras com percentagem em peso da fracção superior a 2 mm acima de 5%, fez-se ainda a crivagem, em coluna de $\frac{1}{2}$ Ø até 63 μm .

Ambos os métodos foram utilizados em amostras que tivessem simultaneamente mais do que 5% de material superior a 2 mm e mais do que 5% de material inferior a 63 μm , ou sempre que se quis comparar os resultados.

Anteriormente à análise granulométrica, os sedimentos secos foram desagregados com cuidado para que os clastos se separassem bem (na maioria das amostras esta tarefa foi muito facilitada dado o seu elevado grau de friabilidade). Não se efectuaram outros tratamentos nesta fase, já que se pretendia comparar resultados e, para isso, foi usado o mesmo tipo de preparação para todas elas (Allen & Thornley, 2004).

Para validação dos resultados da análise por difracção de laser, foi efectuada a determinação da granulometria de uma amostra padrão recomendada pelo fabricante (Coulter®LSControlG15). A curva padrão obtida era idêntica à da amostra teórica, a média era inferior em 1,83 μm (0,188Ø) ficando dentro dos limites definidos pelo desvio padrão. Foram ainda efectuadas análises por difracção de laser a pelo menos 2 réplicas de todas as amostras, podendo este valor subir para as 5 réplicas dependendo do coeficiente de variação entre elas.

Nas amostras analisadas pelos dois métodos, crivagem e difracção de laser, a sequência analítica é a que se mostra na figura 1.12.

A fracção inferior a 63 μm , nas amostras crivadas, foi seca ao ar e pesada, tendo a sua percentagem sido calculada com base no peso total da subamostra 1. Após a crivagem as restantes fracções foram guardadas para futuras análises (mineralógica e morfoscópica), e as suas percentagens em peso foram calculadas, sendo os resultados guardados em folhas de cálculo Excel®, para posterior tratamento.

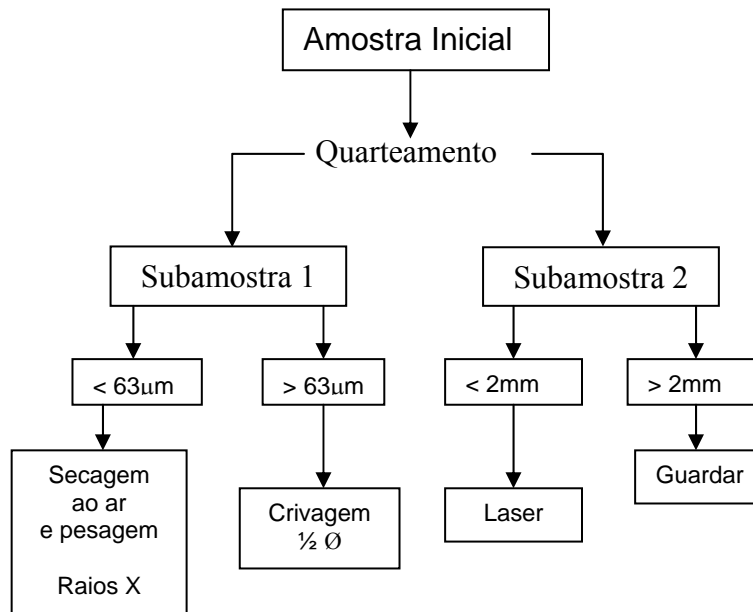


Figura 1.12 – Fluxograma mostrando a sequência de análises granulométricas.

Na subamostra 2, a fracção inferior a 2 mm foi separada, passando a amostra seca e bem desagregada num peneiro do mesmo diâmetro, sendo posteriormente foi analisadas por difracção de laser. Na grande maioria das amostras a fracção superior a 2 mm era inexistente ou muito reduzida (inferior a 1%) e portanto a amostra foi analisada integralmente. Após as análises efectuadas às réplicas das amostras, os valores médios em termos de percentagem de volume, foram exportados no formato Excel® e colocados no mesmo ficheiro que continha os dados da crivagem.

Os resultados das análises foram organizados em histogramas, cuja escala horizontal escolhida foi a escala de ϕ (\emptyset), em que:

$$\emptyset = -\log_2 d \text{ (em mm) } / 1 \text{ mm} \quad \text{(equação 1.1)}$$

Este escala era idêntica para os dois métodos, crivagem e laser e foi construída por ordem crescente de \emptyset , o que indica que os tamanhos maiores se encontram do lado esquerdo da curva e os menores do lado direito. Nos gráficos apresentados, não existe a conversão directa para a dimensão em mm, mas existe uma escala por classes, de acordo com a classificação de Udden-Wentworth (1922, citado em Lewis & McConchies, 1994 b).

Os resultados das análises granulométricas foram apresentados num conjunto de dois histogramas, um para a análise por difracção de laser (colunas a branco) e outro para a análise por crivagem (colunas cinzentas) (figura 1.13).

Para combinar os dois tipos de análise idealizou-se uma curva de frequência empírica, que assumiu a conversão das percentagens em volume, obtidas pela análise de difracção de laser, em percentagens em peso, assumindo densidades idênticas de modo a poder completar os dados da análise por crivagem (figura 1.13).

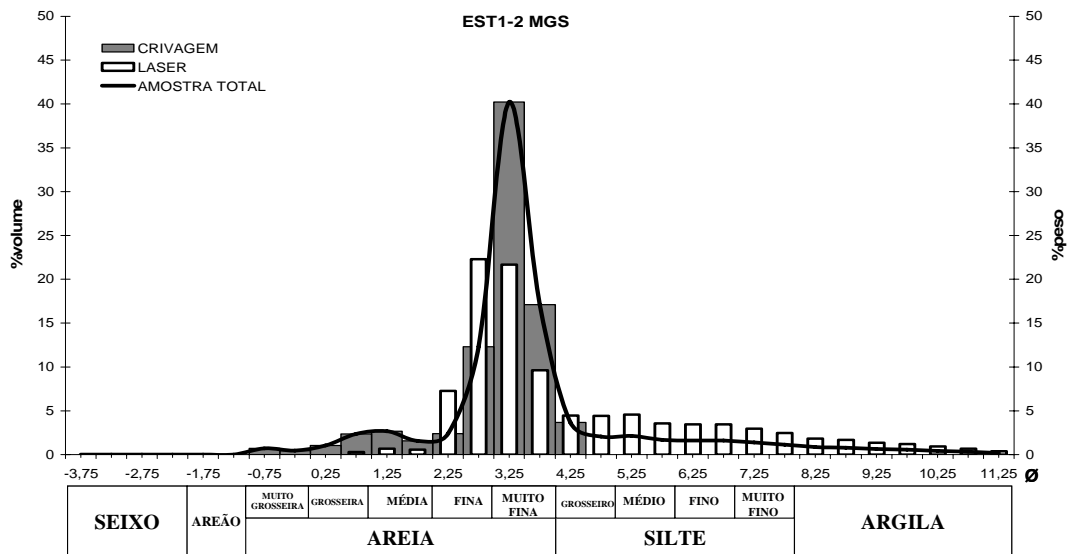


Figura 1.13 – Exemplo de uma representação dos resultados das análises granulométricas.

A conversão volume/peso que esteve na base da curva de frequência combinada (amostra total) foi construída do seguinte modo:

- as percentagens das fracções superiores a 63 µm foram calculadas directamente a partir dos resultados obtido na crivagem;
- as percentagens das fracções de $\frac{1}{2} \emptyset$, inferiores a 63 µm, foram calculadas convertendo os resultados da percentagem em volume, obtidos pela difracção de laser, em percentagens em peso, considerando o peso total desta fracção, determinado antes da crivagem.

A curva combinada só pode ser entendida como uma aproximação à realidade, uma vez que os dois métodos de análise geram resultados que não podem ser comparáveis directamente.

Goossens (2008) efectuou análises granulométricas de 4 amostras de sedimentos silto-argilosos utilizando 10 métodos diferentes. Verificou que os instrumentos de difracção laser produziam os melhores resultados para os critérios utilizados, seguidos pelas técnicas de zonamento por sensores eléctricos (Coulter Multisizer 3), técnicas de sedimentação e métodos ópticos, mas que os resultados desta análise dependiam muito dos critérios em que se baseava.

As variações dependiam do tipo de sedimento, da quantidade disponível, da velocidade de medida, da complexidade do protocolo utilizado, do processamento dos dados, da reprodutibilidade dos resultados e da finalidade do estudo. Os resultados obtidos diferiam bastante na quantificação da fracção argilosa: os métodos ópticos registaram quantidades praticamente nulas; os métodos de difracção laser detectavam uma quantidade superior à que era determinada pelo método de Atterberg, mas inferior à determinada pelos métodos que utilizam técnicas de sedimentação (Sedigraph) (Goossens, 2008).

Para estudar a subestimação da fracção argilosa Konert & Vandenberghe (1997) compararam técnicas de difracção de laser, crivagem e pipetagem. Usualmente as fracções mais grosseiras são determinadas por crivagem, sendo as fracções finas determinadas por pipetagem, utilizando a lei de Stokes. Estes autores compararam estes métodos com o método de difracção de laser em amostras de sedimentos fluviais, eólicos e lacustres e verificaram que é bastante preciso sendo a sua reprodutibilidade, testada em materiais certificados, muito boa. No entanto, as fracções inferiores a 2 µm apresentam um acréscimo de dimensão de cerca de 0,25 Ø, causado pela não esfericidade das partículas. Assim, a dimensão de 2 µm obtida através da pipetagem corresponde a cerca de 8 µm medida pelo método de difracção de laser (Konert & Vandenberghe, 1997).

Com estas ressalvas, se o tipo de sedimentos permite uma análise granulométrica completa utilizando apenas uma técnica, então, a facilidade de utilização, a velocidade de medida e o tipo de processamento de dados, torna o método de difracção laser bastante vantajoso. Além disso, é sempre melhor comparar análises granulométricas completas, efectuadas através de um único método do que utilizando métodos diferentes.

Utilizaram-se então, sempre que possível, análises completas efectuadas por difracção de laser, excepto nos sedimentos em que a fracção superior a 2 mm era maior do que 5%.

A partir das análises granulométricas por laser, crivagem e combinação dos dois métodos (amostra total), determinaram-se os parâmetros de estatística descritiva das populações granulométricas. O tamanho médio (média), a dispersão de grãos em torno da média (calibração, calibragem ou desvio-padrão), a dispersão preferencial de grãos de um dos lados da curva (assimetria) e a concentração de grãos junto do tamanho médio (curtose ou angulosidade), foram calculados através do Método dos Momentos (Friedman, 1961; Friedman & Sanders, 1978, citados em Friedman, Sanders & Kopaska-Merkel, 1992) (tabela 1.4). Determinaram-se ainda modas e alguns percentís importantes para a caracterização dos sedimentos.

Tabela 1.4 – Cálculo dos parâmetros de estatística descritiva da curva granulométrica através do Método dos Momentos em escala de *phi* (adaptada de Blott & Pye, 2001).

Média	Calibração	Assimetria	Curtose
$\bar{x}_o = \frac{\sum f m_o}{100}$	$\sigma_o = \sqrt{\frac{\sum f (m_o - \bar{x}_o)^2}{100}}$	$Sk_o = \frac{\sum f (m_o - \bar{x}_o)^3}{100 \sigma_o^3}$	$K_o = \frac{\sum f (m_o - \bar{x}_o)^4}{100 \sigma_o^4}$

Os cálculos de parâmetros granulométricos foram baseados na escala logarítmica de ϕ , e a mediana e outros percentis foram calculados a partir da curva cumulativa, usando interpolações lineares entre os pares de pontos mais próximos (Blott & Pye, 2001).

A terminologia utilizada para descrever o tamanho médio das partículas é a usada na escala modificada de Udden-Wentworth (Udden, 1914 e Wentworth, 1922, citados em Lewis & McConchie, 1994a e Bolt & Pye, 2001). A terminologia empregue para descrever intervalos de calibração, assimetria e curtose, calculados através do Método dos Momentos em escala de ϕ , é a descrita em Blott & Pye (2001) (tabela 1.5).

Tabela 1.5 – Terminologia usada para descrever calibração, assimetria e curtose, calculadas através do Método dos Momentos em escala de ϕ (adaptada de Blott & Pye, 2001).

Calibração (σ_ϕ)		Assimetria (Sk_ϕ)		Curtose (K_ϕ)	
Muito bem calibrada	< 0,35	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	> 1,30	Muito platicúrtica	< 1,70
Bem calibrada	0,35-0,50	Assimétrica no sentido dos finos	0,43 a 1,30	Platicúrtica	1,70-2,55
Moderadamente bem calibrada	0,50-0,70	Simétrica	0,43 a -0,43	Mesocúrtica	2,55-3,70
Moderadamente calibrada	0,70-1,00	Assimétrica no sentido dos grosseiros	-0,43 a -1,30	Leptocúrtica	3,70-7,40
Mal calibrada	1,00-2,00	Fortemente assimétrica no sentido dos grosseiros	< -1,30	Muito leptocúrtica	>7,40
Muito mal calibrada	2,00-4,00				
Extremamente mal calibrada	> 4,00				

1.2.3.2 Determinação da mineralogia da fracção silto-argilosa

Existem vários métodos de determinação da mineralogia da fracção argilosa, mas o método utilizado neste trabalho foi a difracção de raios X (XRD) pela facilidade de utilização e pela existência dos meios técnicos necessários à sua execução.

O aparelho de difracção de raios X utilizado foi um Philips® Analytical X-Ray PW3710, com goniómetro PW1050, gerador de raios X PW1830, existente no Laboratório de Difracção de raios X do DCT-FCTUC. As condições de funcionamento foram as seguintes: ampola de cobre, tensão do gerador de 40 kV, com uma corrente de 20 mA, sem monocromador e cuidadosamente alinhado.

Os resultados foram tratados com o *software* de difracção PC-APD, e são apresentados o número de picos determinados para um nível mínimo de significância de 0,5 a 0,75, e os

valores de $^{\circ}(2\theta \text{ CuK}\alpha)$ ou abreviadamente $^{\circ}(2\theta)$, $d\alpha_1(\text{\AA})$ e $d\alpha_2(\text{\AA})$, largura do pico a meia altura $^{\circ}(2\theta)$, intensidade do pico, intensidade do *background*, intensidade relativa e significância, para todos os picos encontrados.

As fracções das amostras com dimensão inferior a 63 μm , separadas por via húmida e secas ao ar, foram utilizadas para uma análise preliminar de XRD, em agregados não orientados. Esta análise serviu para se ter uma ideia da mineralogia e da proporção relativa de minerais argilosos e não argilosos na fracção em estudo.

Foram depois preparadas suspensões de partículas com granulometria inferior a 2 μm , separadas por centrifugação, após desagregação e lavagem, que foram colocadas em lâminas de vidro e secas ao ar. Deste modo, estudaram-se também agregados orientados em lâminas sedimentadas.

Toda esta preparação foi feita com o cuidado de efectuar danos mínimos (químicos ou físicos) nos minerais presentes e sobretudo nos minerais argilosos, usando a regra de Moore & Reynolds (1997) de “fazer o mínimo possível à amostra antes de a submeter aos raios X”. Todos os tratamentos só foram efectuados após a análise preliminar, no caso de se verificar a sua necessidade.

As análises de XRD foram efectuadas em agregados não orientados, na fracção de granulometria inferior a 63 μm , separada por via húmida e seca ao ar. Estes agregados foram inicialmente sujeitos a análises de difracção de raios X para intervalos de $2^{\circ}(2\theta)$ a $60^{\circ}(2\theta)$, com um passo (*step*) de $0,020^{\circ}(2\theta)$ e velocidade que corresponde a $0,02^{\circ}(2\theta/\text{s})$.

Posteriormente, efectuaram-se ainda difractogramas mais detalhados: o primeiro com intervalos de $34^{\circ}(2\theta)$ a $39^{\circ}(2\theta)$, com um passo de $0,010$ ou $0,005^{\circ}(2\theta)$ e velocidades de $0,004^{\circ}(2\theta/\text{s})$ e $0,002^{\circ}(2\theta/\text{s})$, respectivamente, para analisar picos específicos de clorites, ilites e caulinites e o segundo, com intervalos de $59^{\circ}(2\theta)$ a $63^{\circ}(2\theta)$, com um passo de $0,010$ ou $0,005^{\circ}(2\theta)$ e velocidades de $0,004^{\circ}(2\theta/\text{s})$ e $0,002^{\circ}(2\theta/\text{s})$, respectivamente, para analisar picos de difracção de faces 060, muito úteis para distinguir tipos de micas e de minerais de argila (Moore & Reynolds, 1997).

As lâminas sedimentadas foram utilizadas em 3 difractogramas: o primeiro com a amostra seca ao ar (natural); o segundo após a exposição a vapores de etileno-glicol durante um período mínimo de 48h; e o terceiro após aquecimento a 550°C por um período de 2 horas. Estes tratamentos são feitos sequencialmente na mesma lâmina. Os difractogramas foram colhidos com intervalos de $2^{\circ}(2\theta)$ a $30^{\circ}(2\theta)$ e de $2^{\circ}(2\theta)$ a $15^{\circ}(2\theta)$, com um passo $0,020^{\circ}(2\theta)$ e uma velocidade de $0,02^{\circ}(2\theta/\text{s})$.

Foi ainda efectuado outro difractograma às lâminas sedimentadas para resolver o pico duplo da caulinite-clorite, usando intervalos de $24^{\circ}(2\theta)$ a $28^{\circ}(2\theta)$, com um passo de $0,010$ ou $0,005^{\circ}(2\theta)$ e velocidades de $0,004^{\circ}(2\theta/\text{s})$ e $0,002^{\circ}(2\theta/\text{s})$, até que se conseguissem individualizar os dois picos.

Os resultados obtidos a partir destes difractogramas foram usados para identificar os minerais presentes na matriz silto-argilosa e para tentar calcular a sua proporção relativa (Thorez, 1976; Gomes, 1988; Moore & Reynolds, 1997; Kahle, Kleber & Jahn, 2002; Pe-Piper, Dolansky & Piper, 2005). A classificação dos minerais argilosos foi efectuada de acordo com Moore & Reynolds (1997), baseada em Bailey (1980), Brindley (1981), Hower & Mowatt (1966) e Srodon (1984) (citados em Moore & Reynolds, 1997).

O cálculo da abundância relativa de minerais foi feito assumindo que se trataria apenas de uma aproximação semi-quantitativa, que poderia ser útil para a análise estatística e para a comparação das amostras entre si, não se pretendendo efectuar uma determinação quantitativa rigorosa. Esta era muito difícil de conseguir nas condições de trabalho existentes, dada a falta de padrões que preenchessem os requisitos exigidos: morfologia cristalina e distribuição granulométrica semelhantes e inexistência de picos resultantes de sobreposições (Moore & Reynolds, 1997).

Para tal, utilizaram-se duas abordagens distintas:

- a primeira, usando factores de intensidade de minerais (MIF) (Moore & Reynolds, 1997) sendo o resultado recalculado para um total de 100 % (Kahle, Kleber & Jahn, 2002);
- a segunda, comparando áreas de picos de minerais seleccionados, que não apresentem sobreposições nem interferências significativas, e calculando a sua abundância relativamente ao pico maior observado para cada mineral (Pe-Piper, Dolansky & Piper, 2005).

Os valores utilizados para os MIF foram obtidos a partir dos valores mais consensuais obtidos por outros autores citados em Kahle, Kleber & Jahn (2002).

Assim foram considerados os seguintes MIF:

Illite – pico 10 Å no diagrama glicolado – 1,0;

Caulinite - pico 7 Å no diagrama glicolado – 0,5;

Vermiculite – pico 14 Å no diagrama glicolado – 0,34;

Clorite – pico de 14 Å no diagrama aquecido a 550°C – 0,5;

Esmectite – pico de 17 Å no diagrama glicolado – 0,25;

Interestratificados – valor variável conforme o tipo de minerais envolvido e a sua percentagem relativa (geralmente entre 0,4 e 0,6).

A escolha dos picos usados para o cálculo das áreas, segundo o processo descrito em Pe-Piper, Dolansky & Piper (2005), foi feita após a observação dos difractogramas existentes para o conjunto das amostras e dos minerais encontrados e estão identificados pelo seu valor de d (em Å).

As condições de trabalho, de leitura dos difractogramas e de cálculo das áreas dos picos foram idênticas e obtidas directamente a partir do *software* PC-APD, sempre que se verificavam as condições de leitura requeridas e que se prendiam com a inexistência de sobreposições e interferências significativas.

Para estudar a cristalinidade da illite analisaram-se os picos de 10 Å, das faces (001), nos difractogramas de lâminas sedimentadas da fracção inferior a 2 µm, segundo procedimento descrito em Kübler & Jaboyedoff (2000). Determinou-se a abertura do seu pico (001) a meia altura ($\Delta 2\theta$ CuK α), também designado como índice de Kübler ou índice de Segonzac, inversamente proporcional ao índice de cristalinidade da illite (I.C.) (Gomes, 1988; Kübler & Jaboyedoff, 2000).

Preferiu-se a medida deste valor nos difractogramas glicolados, já que este pico é geralmente mais estreito nestes difractogramas do que nos difractogramas de lâminas sedimentadas secas ao ar.

O valor, em ° (2θ CuK α), foi extraído directamente a partir dos resultados do *software* de difracção PC-APD. O erro médio associado a estas medições é de $\pm 0,06^\circ$ ($\Delta 2\theta$ CuK α) para um intervalo de confiança de 95% (Kübler & Jaboyedoff, 2000).

Os limites da escala original são de $0,42^\circ$ (2θ CuK α) entre a anquizona e a diagénese e de $0,25^\circ$ (2θ CuK α) entre a anquizona e a epizona (Kübler, 1967, 1969, 1984, 1987 e 1997; citados em Kübler & Jaboyedoff, 2000).

Determinou-se igualmente a razão das intensidades dos picos das faces (002) e (001), de 5 e 10 Å, respectivamente. O índice de Esquevin estabelece a relação entre esta razão e o índice de Kübler e traduz a razão $Al_2O_3/(FeO+MgO)$ nas folhas octaédricas das ilites e das micas, permitindo distinguir as ilites aluminosas ($>0,3$) e as ilites magnesianas e ferríferas ($<0,3$) (Gomes, 1988). Thorez (1973; citado em Gomes, 1988) divide esta razão em 4 intervalos:

- de 0 a 0,15 – D – zona da biotite;
- de 0,15 a 0,3 – C – zona da moscovite-biotite;
- de 0,3 a 0,4 – B – zona da phengite;
- maior do que 0,4 – A – zona da moscovite.

O conteúdo em ferro das clorites pode ser calculado através do procedimento descrito em Brindley & Brown (1980), no entanto, devido à coexistência de caulinite estes valores não puderam ser considerados.

O índice de cristalinidade da esmectite foi determinado segundo procedimento descrito em Biscaye (1965; citado em Thorez, 1976).

1.2.4 As amostras de água no laboratório

As amostras de água preparadas no campo foram transportadas e guardadas a temperaturas inferiores a 4 °C para serem analisadas no Laboratório Químico I, do Departamento de Ciências da Terra, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

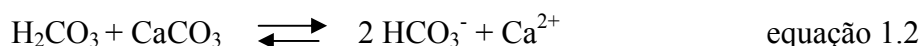
Os principais catiões e alguns elementos traço, num total de 16 elementos, foram medidos por Espectrometria de Emissão Óptica, com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES) recorrendo ao aparelho HORIBA® Jobin Yvon JY2000-2.

Os aniões Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , F^- e Br^- , foram determinados por cromatografia iónica (CI) com recurso ao aparelho Dionex® -ICS-3000.

O controlo de qualidade foi assegurado por ensaios de comparação interlaboratorial (ECI), organizados pela Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal (RELACRE).

Foi ainda determinado o resíduo seco (Rs) por evaporação a 105 °C, tendo-se calculado o total de sólidos dissolvido (TDS) através dos resultados analíticos.

O ião bicarbonato foi determinado a partir dos resultados da alcalinidade, medida *in situ* em mg/L de CaCO_3 e posteriormente convertida para mg/L de HCO_3^- , através do factor de conversão 1,21928, obtido da relação entre as duas espécies, pela reacção química:



Os dados de Eh, em volts, medidos com o eléctrodo SenTix ORP (platina - prata/cloreto de prata), marca WTW, foram convertidos em valores do eléctrodo de hidrogénio, segundo as instruções do fabricante.

Estes valores foram posteriormente foram usados no cálculo de *pe* através da seguinte relação (Morel & Hering, 1993; Appelo & Postma, 2005):

$$Eh = \frac{2,303 \times R \times T}{F} \times pe \quad \text{equação 1.3}$$

em que *Eh*, é o potencial redox, medido com o eléctrodo de hidrogénio, em volts (V); sendo *R* igual a 8,31470 J/(mol.K); *T* a temperatura em graus Kelvin (°C+273,15) e *F* a constante de Faraday, igual a 96,4853x10³ C/mol ou 96,4853x10³ J/(V.mol).

Os valores de condutividade eléctrica da água (EC) foram convertidos automaticamente em valores de condutividade eléctrica específica (SEC) para uma temperatura de 25 °C. Foi ainda efectuada a correcção dos valores de pH, medidos à temperatura da água, para valores obtidos à temperatura de 25 °C, referido como pH (25 °C).

O processamento dos resultados das análises físico-químicas foi efectuado com recurso a vários tipos de *software*: Microsoft Office®, *Surfer*®, *Rockworks*®2006, *SPSS*®16.0 e *PHREEQC*®.

1.2.5 Estatística e análise de dados

A aplicação inicial de ferramentas estatísticas permitiu descrever os dados de uma forma objetiva, identificar leis de distribuição das populações e a interdependência entre as variáveis. Esta fase é importante já que se queria verificar, comparar e sumariar os dados estatísticos de uma forma global e por grupos, identificar casos anómalos e respectiva frequência e saber quais as limitações existentes à aplicação das técnicas de análise de dados previstas. Estas técnicas foram aplicadas em todos os tipos de dados recolhidos neste trabalho, mas sobretudo em dados de análises granulométricas de sedimentos e de análises químicas de água.

Construíram-se diagramas de extremos e quartis (Caixas de Bigodes ou *boxplot*) das populações, que dão informações sobre medidas de tendência central (mediana), dispersão e assimetria das populações analisadas, representando graficamente a mediana, o primeiro e terceiro quartis (Q1 e Q3), e os valores anómalos *outliers* e extremos (SPSS, 2007).

A figura 1.14 apresenta uma explicação detalhada sobre os diagramas usados, em que:

- a mediana corresponde ao valor de 50% da população;
- Q1 e Q3, a 25% e 75% respectivamente;
- a amplitude inter-quartis (IQR) é a diferença entre Q3 e Q1;
- as linhas ou “bigodes” situam-se entre Q1 e $Q1-1,5IQR$ e entre $Q3+1,5IQR$;
- os outliers são valores que se situam entre $Q1-3IQR$ e $Q1-1,5IQR$ ou entre $Q3+1,5IQR$ e $Q3+3IQR$;
- extremos são valores abaixo de $Q1-3IQR$ ou acima de $Q3+3IQR$.

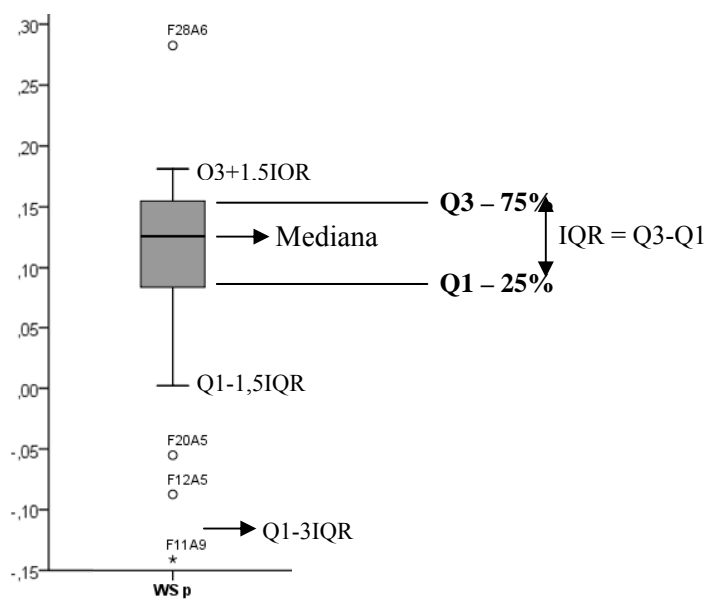


Figura 1.14 – Representação de uma caixa de bigodes, com a indicação da mediana, Q1 e Q3, outliers e extremos.

O principal objectivo da análise de dados foi a identificação de grupos de amostras e de grupos de variáveis, com recurso a ferramentas como a Análise Grupal (AG) e a Análise em Componentes Principais (ACP).

1.2.5.1 Análise Grupal (AG)

A análise grupal é uma ferramenta exploratória, concebida para revelar grupos naturais em conjuntos que de outra maneira não seriam visíveis.

Existem diversos métodos de agrupamento ou de classificação, cujo objectivo é a criação de grupos, de indivíduos (amostras) ou propriedades (variáveis), que apresentam elevada similitude entre si, sendo esta maior do que a que existe em relação a qualquer elemento exterior a esse grupo. Os critérios que definem esta similitude dependem do conjunto de partida e do método de classificação utilizado.

Consideram-se assim dois grandes tipos de métodos de classificação tradicionais: os métodos de classificação hierárquicos (HC) e os métodos não hierárquicos. Nos primeiros métodos, os grupos que se vão formando, vão sendo sucessivamente incluídos noutros de maiores dimensões, produzindo estruturas em árvore (ou dendrogramas). Este processo pode ser de aglomeração ou de divisão do grupo inicial que contém a totalidade dos dados e não necessita de saber, à priori, quantos grupos vão ser criados nem os seus parâmetros iniciais. Os métodos não hierárquicos formam grupos que resultam de subdivisões da matriz inicial, de tal forma que, no interior de cada classe a similitude é máxima. Estes métodos alteram a posição das amostras dentro dos grupos, à medida que se vai processando, até à disposição final num número de grupos previamente fixado e cujos parâmetros deverão ser conhecidos.

Um outro método de classificação, desenvolvido pela empresa de *software* SPSS®16.0, estendeu a medida de distância desenvolvida por Banfield e Raftery (1993) a variáveis qualitativas e utilizou um processo de agrupamento em dois passos, semelhante ao BIRCH proposto por Zhang, em 1996. Este método foi chamado de TSC (*TwoStep Cluster Component*).

Este procedimento tem algumas vantagens que o diferenciam das tradicionais técnicas de agrupamento:

- pode usar tanto variáveis quantitativas como qualitativas, discretas ou contínuas, desde que consideradas independentes entre si;
- selecciona automaticamente o número óptimo de grupos, comparando diferentes soluções de agrupamento;
- permite a análise de conjuntos com grande quantidade de dados.

O método TSC de agrupamento utiliza uma medida de similitude que assume que as variáveis são independentes entre si. Cada variável contínua é considerada normal e cada variável discreta é considerada multinomial. Testes empíricos indicam, no entanto, que este procedimento é bastante robusto em relação aos pré-requisitos, tanto de independência como de distribuição.

Apresenta uma limitação, já que pode ser condicionado pela ordem dos indivíduos no ficheiro inicial, pelo se efectua inicialmente um posicionamento aleatório dos indivíduos nesse ficheiro.

1.2.5.2 Análise em Componentes Principais (ACP)

A Análise em Componentes Principais (ACP) permite, sem hipóteses prévias sobre as leis de distribuição das variáveis, retirar um pequeno número de factores (ou componentes) de um conjunto inicial de dados. Os factores reproduzem em certa medida as relações de semelhança e diferença, ou mesmo oposição, no interior do conjunto das amostras, das variáveis ou em ambos.

Uma vez que estes métodos produzem resultados diferentes conforme a codificação utilizada, é necessário efectuar com cuidado ambas as fases havendo sempre a preocupação de referir a interpretação dos resultados à codificação utilizada.

O estudo de ACP foi conduzido em duas fases:

- 1) a fase descritiva, onde é explorado o conjunto total de dados com o intuito de retirar factores que os possam explicar;
- 2) a fase explicativa, em que se procura interpretar os resultados e retirar conclusões.

Estas fases são muitas vezes cíclicas, podendo haver retroacção após a fase explicativa, que pode mesmo atingir a codificação inicial dos dados, dando-lhe formas que melhor permitam a sua interpretação (figura 1.15).

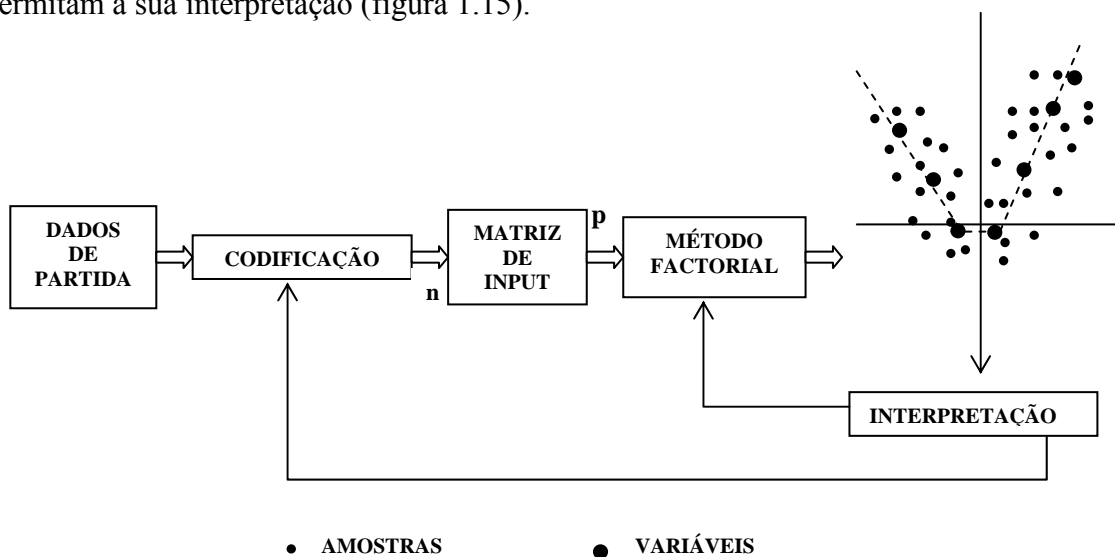


Figura 1.15 – Retroacção em Análise Factorial (adaptado de Garcia Pereira, 1990).

A codificação representa o conjunto de transformações e subdivisões dos dados iniciais, de modo a poder submeter matrizes de dados que possam conduzir a resultados facilmente interpretáveis e representativos da realidade que se quer analisar. Torna-se muitas vezes útil combinar diferentes codificações com diferentes métodos e efectuar sucessivas retroacções, analisando os resultados em cada caso, de modo a perceber as melhorias produzidas na interpretação e na fiabilidade da descrição dos fenómenos envolvidos e que podem justificar a realidade observada.

A Análise em Componentes Principais é um método descritivo de análise de dados, utilizado para sintetizar a informação contida em matrizes de dados de n linhas (amostras ou indivíduos) por p colunas (variáveis ou propriedades), constituída por números reais resultantes de medidas. Assim, cada linha da matriz, correspondendo a uma amostra, representa um vector no espaço \mathbf{R}^p e cada coluna, correspondendo a uma variável, representa um vector em \mathbf{R}^n . Este conjunto pode ser considerado como uma nuvem de n pontos em \mathbf{R}^p , ou de p pontos em \mathbf{R}^n . A ACP tem por objectivo reduzir a dimensionalidade deste espaço perdendo-se o mínimo de informação.

O algoritmo de ACP começa por uma standardização das variáveis, uma vez que a sua natureza e variância são diferentes, após o que se calcula a matriz de correlação. É a partir da matriz de correlação ou de inércia, que se inicia o cálculo dos factores ou componentes, sendo o primeiro eixo factorial, aquele que apresenta a máxima soma de quadrados das projecções da nuvem inicial, podendo ser calculado através da fórmula:

$$\mathbf{X}'\mathbf{X} \cdot \mathbf{U}_1 = \lambda_1 \cdot \mathbf{U}_1 \quad \text{equação 1.4}$$

em que \mathbf{U}_1 é o primeiro vector próprio da matriz de correlação ou de inércia $\mathbf{X}'\mathbf{X}$ e λ_1 é o respectivo valor próprio, que mede a fracção da inércia relativa ao eixo 1.

O algoritmo desenvolve-se, desta forma, até extrair todos os eixos da nuvem de pontos, que serão p em \mathbf{R}^p . A solução da ACP é o conjunto de eixos factoriais \mathbf{U}_i , vectores próprios da matriz $\mathbf{X}'\mathbf{X}$, sendo a parte da inércia explicada por cada eixo dada pelos valores próprios λ_i (equação 1.5).

$$\mathbf{X}'\mathbf{X} \cdot \mathbf{U}_i = \lambda_i \cdot \mathbf{U}_i \quad \text{com } i= 1, 2, \dots, p \quad \text{equação 1.5}$$

A rotação da matriz de correlação dará posteriormente os factores, nos quais se projectará a nuvem de indivíduos.

Através do algoritmo de ACP a nuvem de n linhas (amostras ou indivíduos) fica reduzida a um novo referencial de p eixos, tal que os eixos de ordem mais elevada têm uma percentagem de variância explicada muito pouco significativa.

Seleccionando um número razoável de eixos $p_1 \lll p$, de tal forma que a quantidade de informação que se perca seja a menor possível, a interpretação dos dados é conseguida de uma forma muito eficaz.

Esta selecção é um dos passos importantes do processo de ACP, já que dela depende a informação que se desperdiça de modo a facilitar a interpretação dos dados, podendo ser efectuada através da fixação de critérios à partida:

- 1) fixam-se o número de factores a reter;
- 2) escolhe-se um valor mínimo para a variância explicada pelos eixos;
- 3) adopta-se um valor mínimo para os valores próprios dos eixos λ_i , (por exemplo 1 na normalização de Kaiser).

Após todo este processo, os resultados serão visualizados graficamente, em projecções de amostras e/ou variáveis nos eixos factoriais adoptados.

A interpretação dos resultados é auxiliada pelas posições relativas de amostras e variáveis, no espaço definido pelos eixos, e mesmo pelas formas de determinados grupos obtidas após a projecção, que permitem muitas vezes uma discriminação clara de conjuntos de dados.

De facto, a posição das variáveis em relação aos eixos é de tal forma que, as que mais contribuem para a sua formação, são as que estão a uma distância máxima da origem, existindo uma certa correlação espacial entre as variáveis e as amostras que lhe estão próximas e que se dissipa para distâncias maiores.

Existe igualmente uma função discriminante neste tipo de técnicas, já que, a representação gráfica de amostras e variáveis em eixos factoriais, pode dar uma ideia acerca da homogeneidade ou heterogeneidade dos conjuntos de variáveis e de amostras que se formam nas projecções (figura 1.16)

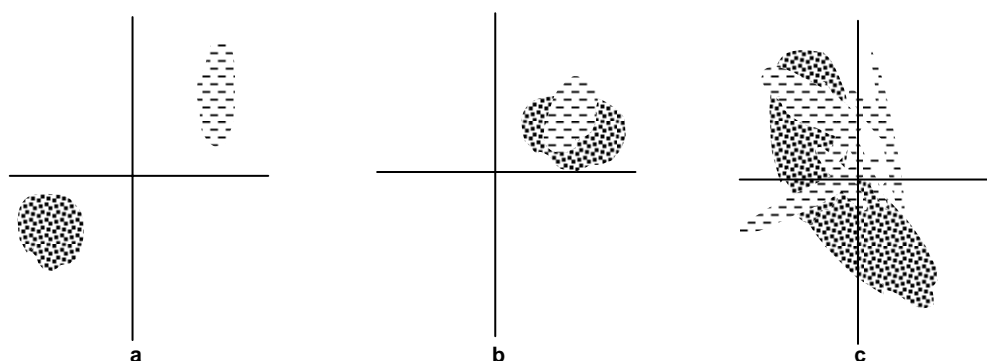


Figura 1.16 – Efeito discriminante da Análise Factorial:

- a- grupos diferentes de amostras homogéneas
- b- grupos semelhantes de amostras homogéneas
- c- grupos semelhantes de amostras heterogéneas.

Capítulo 2

Enquadramento e evolução

2.1 Enquadramento geral

A zona envolvente das Lagoas de Quiaios (Portugal) encontra-se definida a W pelo Oceano Atlântico, a E pelo meridiano $8^{\circ} 45' W$ e situa-se entre os paralelos $40^{\circ} 14'$ e $40^{\circ} 20' N$ (coordenadas geográficas da Rede Geodésica WGS84). Estes limites correspondem, em coordenadas UTM Fuso 29 – WGS84, à zona limitada pelas quadrículas 510-521 km E e 4453-4465 km N (figura 2.1). Está representada nas folhas 228 – Quiaios e 217 – Tocha, da Carta Militar de Portugal, escala 1/25 000, do Instituto Geográfico do Exército e na folha 19-A (Cantanhede), da Carta Geológica de Portugal, escala 1:50000 (figura 2.1).

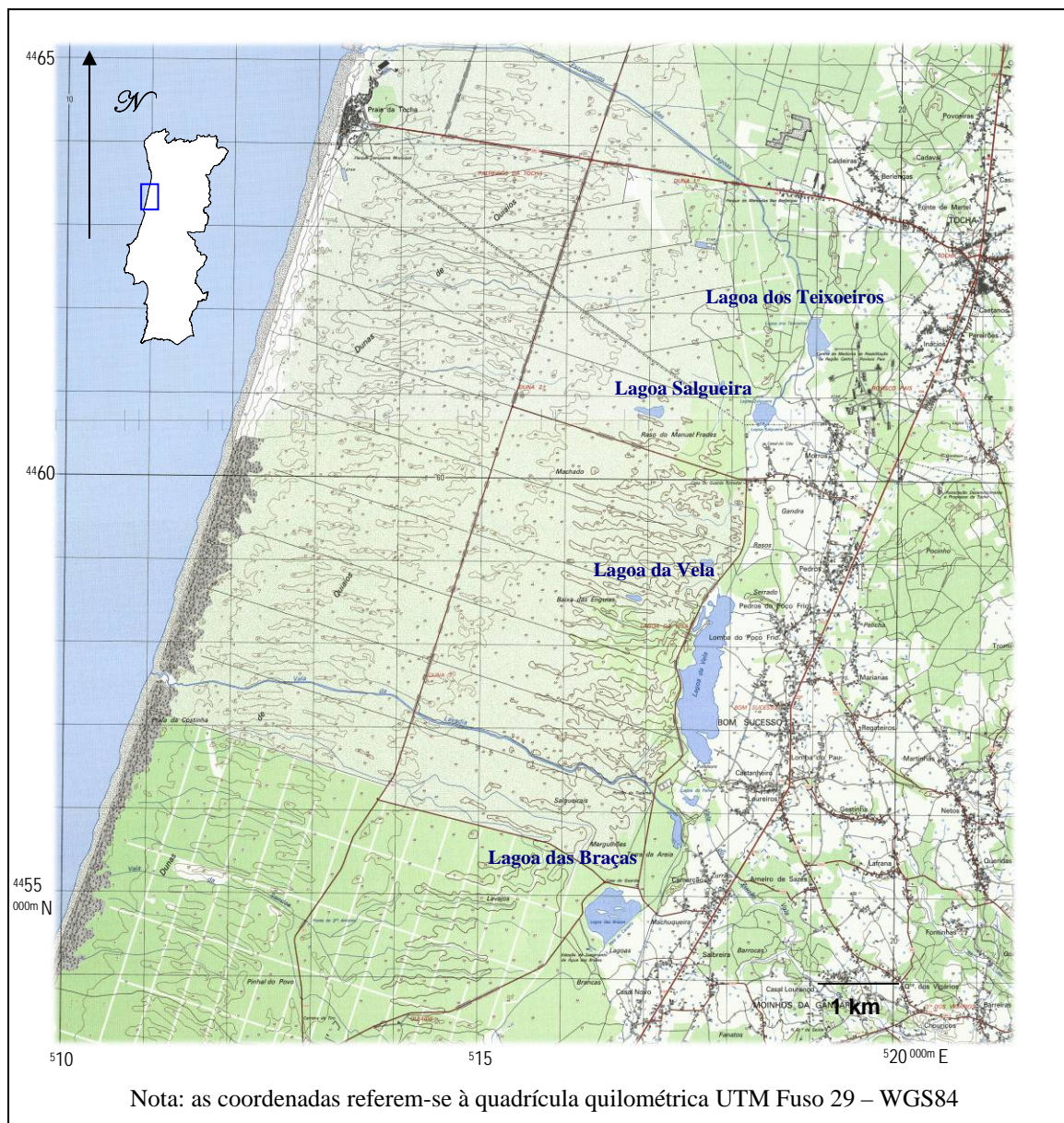


Figura 2.1 – Enquadramento geográfico da área envolvente às Lagoas de Quiaios (rectângulo delineado a azul no mapa de Portugal). Baseado na Carta Militar de Portugal, escala 1:25 000, folhas 228 (Quiaios) e 217 (Tocha), editada pelo Instituto Geográfico do Exército (2001).

As quatro lagoas existentes na zona entre Quiaios e Tocha, são sistemas lacustres de água doce, pouco profundos, em que a altura máxima da coluna de água ronda os 2 m na Lagoa da Vela, mas não chega a 1 m na Lagoa das Braças. De um modo geral, o declive do bordo oeste é sempre maior do que o do bordo leste.

A Lagoa dos Teixoeiros situa-se no distrito de Coimbra, concelho de Cantanhede, freguesia da Tocha e está cartografada na folha 217 (IGE, 2001). Pertence à Bacia Hidrográfica das Ribeiras Costeiras (Vouga) e tem actualmente um espelho de água com cerca de 7 ha, que tem vindo a ser reduzido já que em 1958 era de cerca de 15 ha e em 1995 de 8,4 ha (Martins *et al.*, 2006).

A Lagoa Salgueira situa-se no distrito de Coimbra, reparte-se pelo concelho de Cantanhede (freguesia da Tocha) e pelo concelho da Figueira da Foz (freguesia de Bom Sucesso) e está cartografada nas folhas 228 e 217 (IGE, 2001). Pertence à Bacia Hidrográfica das Ribeiras Costeiras (Vouga) e tem um espelho de água com cerca de 5 ha, que se mantém praticamente inalterado desde 1995 (Martins *et al.*, 2006).

A Lagoa da Vela situa-se no distrito de Coimbra, concelho da Figueira da Foz, freguesia de Bom Sucesso e está cartografada na folha 228 (IGE, 2001). É a maior das lagoas estudadas, pertence à Bacia Hidrográfica do Mondego e tem um espelho de água com de cerca de 67 ha (Martins *et al.*, 2006). A sua margem nascente tem um uso maioritariamente agrícola, sendo a sua margem poente ocupada por floresta (Mata Nacional das Dunas de Quiaios).

A Lagoa das Braças situa-se no distrito de Coimbra, concelho da Figueira da Foz, freguesia de Quiaios e está cartografada na folha 228 (IGE, 2001). Pertence à Bacia Hidrográfica das Ribeiras Costeiras (Vouga) e tem um espelho de água actual com cerca de 23 ha, que aumentou desde 1995 (21 ha) tendo sido de cerca de 25 ha em 1958. Com excepção da sua margem SE, as restantes têm um uso predominantemente florestal (Mata Nacional das Dunas de Quiaios). Junto ao seu extremo sul, existe uma série de furos de captação de água para abastecimento público do concelho da Figueira da Foz que, nos últimos anos, têm sido utilizadas sobretudo durante os meses de Inverno. Esta lagoa foi submetida a uma intervenção para dragagem de areias, na década de 90 do século XX, que originou várias ilhas no centro e uma depressão em forma de ferradura que deixa livre o bordo norte.

A área tem altitudes relativamente baixas (inferiores a 60 m), sendo bastante aplanada na zona da Gândara e mais acidentada na zona dunar. Almeida (1997) dá conta disso mesmo quando diz que “*para ocidente da fiada de lagoas que das proximidades de Quiaios se estendem até próximo da Tocha (...) desenvolve-se um importante Campo de Dunas com uma topografia bastante movimentada, apesar duma certa regularidade de formas, e que contrasta perfeitamente com a superfície relativamente plana a oriente*”.

A rede de drenagem, na área das Dunas de Quiaios, segue um padrão irregular, por ser espacialmente descontínua (Christofolletti, 1980; citado em Almeida, 1997), ou perturbado (Thornbury, 1969; citado em Almeida, 1997). O padrão natural é considerado

paralelo, já que segue os corredores interdunares que são paralelos entre si, terminando os cursos de água com frequência no meio da areia. Existem igualmente valas artificialmente construídas que drenam a água em excesso, das lagoas para o mar, como é o caso da Vala da Lavadia.

Na zona da Gândara o padrão da rede de drenagem é do tipo dendrítico, com cursos de água de ordem baixa, muito curtos, deixando vastos espaços interfluviais não drenados, correspondentes à superfície arenosa (Almeida, 1997).

Estas zonas húmidas estão localizadas numa área de clima marítimo, descrito por Daveau (1980) como tendo “*amplitude térmica muito atenuada, frequentes nevoeiros de advecção durante as manhãs de Verão, sendo só muito raramente atingida pelas vagas de calor continental estival e (...) localmente flagelada por ventos marítimos*”, havendo mesmo uma faixa de 2 a 3 km de largura, paralela à linha de costa a norte do Cabo Mondego, com Invernos tépidos e Verões frescos.

Segundo Fernandes (1999), baseada em dados das estações meteorológicas da zona (Santo Varão e estação piloto das Braças), a temperatura média anual é de cerca de 18 °C, com médias de Verão de 23-24 °C e de Inverno de 12-14 °C. A pluviosidade anual média é da ordem dos 900 mm, predominando as chuvas de Outubro a Março, com valores mensais que superam os 100 mm, sendo o Verão o período mais seco, com valores mensais inferiores a 10 mm.

Os solos existentes nesta região são classificados como regossolos dístricos, na zona das dunas, e como podzóis órticos, associados a cambissolos dístricos, na zona da Gândara, segundo a Carta de Solos do Atlas do Ambiente, reprodução da Carta de Solos elaborada pelo Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário, delineada por J. Carvalho Cardoso, M. Teixeira Bessa e M. Branco Marado, que segue a classificação de solos da FAO-UNESCO (1974). São ainda considerados solos predominantemente ácidos, com pH entre 4,6 a 5,5, e de utilização não agrícola (Florestal) (Atlas do Ambiente – Instituto do Ambiente, 1980).

A génese destes pequenos lagos costeiros tem sido motivo de interesse por parte da comunidade científica, sendo muitas vezes relacionada com a evolução recente da linha de costa (Almeida, 1995; Carvalho, 1952; Barbosa *et al.*, 1988; Dias *et al.*, 2000), podendo materializar um estágio tardio de antigas lagunas, que se estabeleceram em zonas costeiras deprimidas, separadas do mar por uma barreira que permitiria uma comunicação efémera com o oceano e às quais chegaria um fluxo fluvial variável, que poderia ser fraco ou mesmo nulo (Freitas, 1996). Uma outra explicação para a sua existência, apontada por Fernandes (1999), apoia-se no facto de que, em zonas costeiras, a redistribuição de areias dunares poder originar depressões, que ao conter água formam os chamados “lagos-duna” (Wetzel, 1994, citado em Fernandes, 1999).

2.2 Enquadramento geológico

A área em estudo encontra-se, na sua quase totalidade, recoberta por materiais arenosos recentes (figura 2.2), provavelmente com idade Plistocénica superior a Holocénica (Carvalho, 1964; Daveau, 1980; Rodrigues *et al.*, 1991; Soares, 1993).

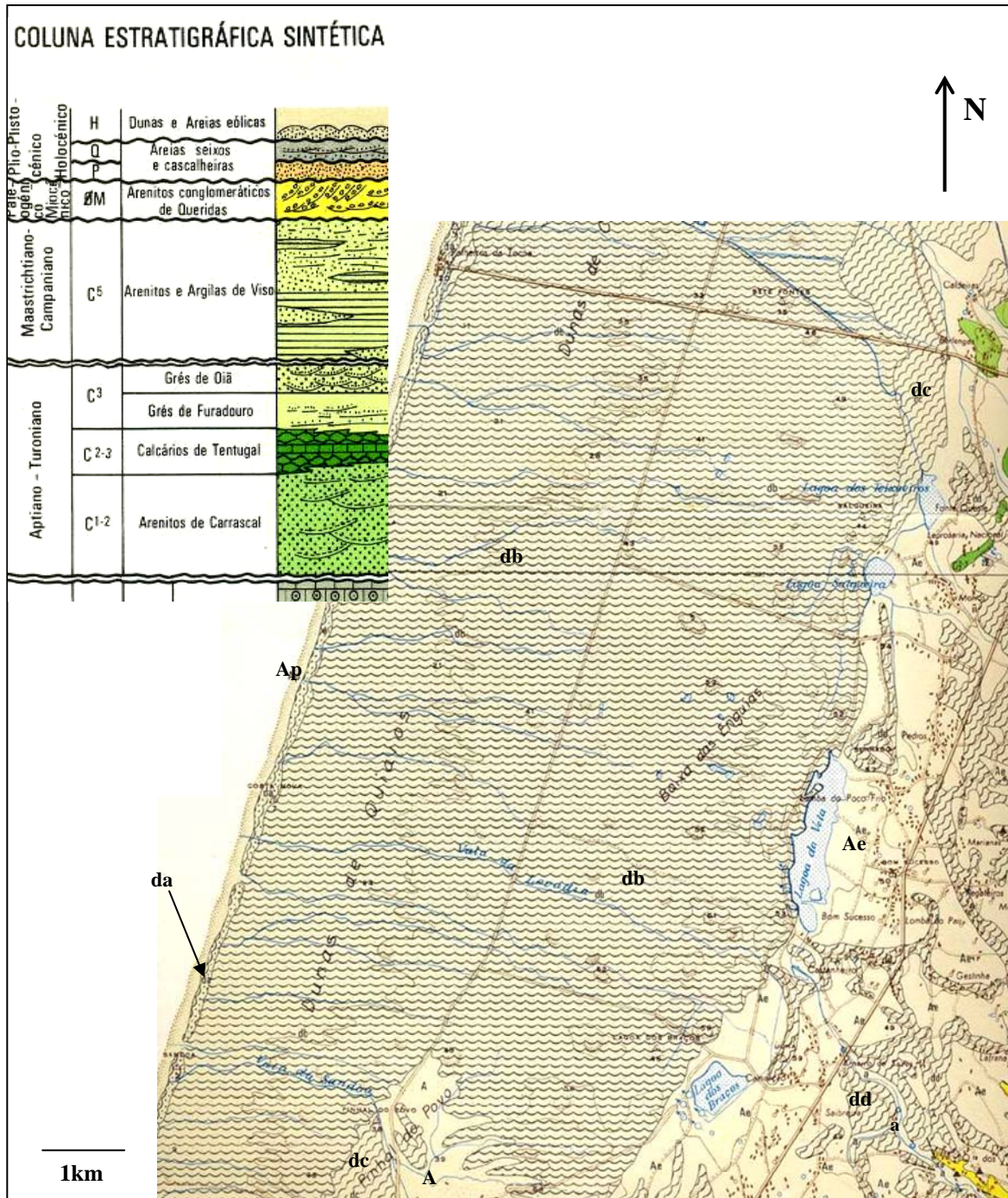


Figura 2.2 – Enquadramento Geológico – excerto da Folha 19-A da Carta Geológica de Portugal, na escala 1/50 000, editada pelos Serviços Geológicos de Portugal.

Nota: explicação da legenda no texto seguinte.

Do mar para oriente, estes sedimentos afloram numa sucessão geológica que é geralmente a seguinte (Barbosa *et al.*, 1988; Almeida, 1995):

- areias de praia (Ap): areias grosseiras e areão que apresentam um contacto estreito com o mar;
- cordão dunar (da): material arenoso de origem eólica que, desde o Cabo Mondego e de forma quase ininterrupta, constitui o cordão dunar primário;
- campo de dunas (db): sequência de corpos dunares conjugados, de orientação aparente WNW-ESE quase perpendicular à linha de costa, ocupando a maior parte da área estudada e formando um corredor ao longo de toda a costa, com uma largura total de 3 a 5 km e orientação aproximada N-S;
- dunas parabólicas (dc): com formas mal definidas, espriam-se sobre zonas alagadas ou semi-pantanosas, fazendo barragem a lagoas que aos poucos vão colmatando (caso da lagoa do Teixoeiro e outros pequenos charcos a norte da Tocha);
- areias hidro-eólicas (Ae) de granulometria da areia fina, com fracção argilosa inferior a 10%, geralmente bem calibradas, que se consideram de origem eólica e com posterior transporte aquático;
- edifícios dunares mal conservados (dd) com orientações aparentes NE-SW (?) que constituem, em conjunto com as areias hidro-eólicas, as “Areias da Gândara” (*s.s.*) segundo Gaspar Soares de Carvalho (1964).

Localmente afloram ainda areias eólicas (A), que são areias finas, geralmente bem calibradas, apresentando seixo pequeno subanguloso a anguloso, que aparecem, na zona em estudo, a SW da Lagoa das Braças entre os complexos dunares (dc) e (db);

Sob este manto arenoso recente, e aflorando em pequenos retalhos a NE, a sucessão pós-jurássica inicia-se com a Formação da Figueira da Foz (Dinis, 1999, 2001), cartografada também com os nomes de Grés Belasianos (Choffat, 1897), Grés Grosseiro Inferior (Soares, 1966) e Arenitos do Carrascal (Barbosa *et al.*, 1988), com o símbolo C¹⁻² na folha 19-A (Cantanhede). De ambiente maioritariamente aluvial e com tendência prográdante, esta unidade assenta em discordância angular sobre os sedimentos carbonatados do Jurássico e é constituída por arenitos e conglomerados, arcósicos e geralmente imaturos, com intercalações lutíticas. Apresenta espessura máxima de 300 m na Figueira da Foz, que decresce para NNE, sendo de cerca de 150 m na zona de Cantanhede (Soares, 1966; Berthou, 1984; Barbosa *et al.*, 1988; Cunha & Reis, 1995; Dinis, 1999 e 2001).

O início da deposição desta formação, datado a partir de macrorrestos vegetais e de análises palinológicas, é considerado do Aptiano na Orla Mesocenozóica Ocidental (Pais & Trincão, 1983; Trincão *et al.*, 1989; Dinis & Trincão, 1991; Cunha & Reis, 1994; citados em Ramos, 2000). No entanto na região de Buarcos, esta idade poderá recuar ao Barremiano (Pais *et al.*, 1981 citado em Ramos, 2000).

Sobre os sedimentos da Formação da Figueira da Foz encontram-se bancadas de calcários, com textura concrecionada ou apinhoadada, por vezes margosos e/ou gresosos denominados de Calcários de Tentúgal, com o símbolo C²⁻³ na folha 19-A (Cantanhede), equivalentes dos Calcários Apinhoados da Costa d' Arnes (Rocha *et al.*, 1981). Estes sedimentos, a que se atribui idade Cenomaniana-Turoniana, ter-se-ão depositado em ambiente marinho de baixa profundidade e são associados a um evento transgressivo seguido de regressão (Soares, 1966; Barbosa, 1981; Rocha *et al.*, 1981; Berthou, 1981, 1984; Barbosa *et al.*, 1988, Cunha & Reis, 1995; Tonicher, 1998).

Devido ao enriquecimento progressivo em terrígenos, os sedimentos carbonatados passam lateralmente nos sectores orientais, aos níveis areno-micáceos dos Grés do Furadouro (Tonicher, 1998) a que se seguem os Grés de Oiã, com o símbolo C³ na folha 19-A (Cantanhede). Estes sedimentos apresentam semelhanças líticas com a Formação da Figueira da Foz (Barbosa, 1981) e revelam, no seu conjunto, uma megassequência negativa (Barbosa *et al.*, 1988). No Turoniano superior, como consequência do movimento regressivo observado nesta região, a área ocidental foi progressivamente ocupada por uma extensa planície litoral em transição para os sistemas aluviais existentes a oriente. A sedimentação areno-micácea é mais evidente a E do eixo Arunca-Montemor-Palhaça, apresentando superfícies de descontinuidade e erosão sobre os calcários do Cenomaniano (Ramos, 2000), podendo estar ausente a ocidente deste eixo.

O registo sedimentar é retomado por sedimentos pelíticos, predominantemente silto-argilosos, avermelhados e esverdeados, com intercalações gresosas de cores mais amareladas ou acinzentadas. Estes sedimentos denominados de Arenitos e Argilas do Viso (Soares *et al.*, 1982; Reis, 1983; Barbosa *et al.*, 1988) são cartografados com o símbolo C⁵ na folha 19-A (Cantanhede) e são considerados equivalentes laterais dos Arenitos e Argilas de Taveiro (Rocha *et al.*, 1981; Soares *et al.*, 1982; Barbosa *et al.*, 1988) e das Argilas de Vagos (Barbosa, 1981). Ter-se-ão depositado em ambiente fluvial meandriforme em planície costeira, apresentando espessuras que aumentam de ENE para WSW, podendo atingir os 170 m (Barbosa, 1981; Reis; 1983; Barbosa *et al.*, 1988; Cunha & Reis, 1995).

A norte, na região de Mira, existe um depósito conglomerático (Conglomerado de Mira), que contém fósseis marinhos datados do Campaniano e que é tido como equivalente marinho de uma porção intermédia das Argilas de Vagos (Barbosa, 1981).

A sul da Figueira da Foz, as Argilas de Silveirinha (Reis *et al.*, 1981) podem constituir, segundo estes autores, a mesma unidade com os Arenitos e Argilas de Taveiro, dada a

afinidade de fácies e a continuidade dos seus enquadramentos litostratigráficos, mas cuja idade se poderia estender até ao Eocénico inferior. Cunha (1992, 1999) separa as duas unidades identificando-as como as Sequências Limitadas por Descontinuidades SLD5 (Arenitos e Argilas de Taveiro e equivalentes) e SLD6 (Argilas de Silveirinha). A deposição destes sedimentos areno-argilosos, de cores avermelhadas, ricos em esmectite e fossilíferos, ter-se-ia dado em ambiente aluvial, pantanoso, com episódios frequentes de alagamento através de canais abertos e efémeros, havendo em alguns locais uma influência de marés, em condições climáticas tropicais a subtropicais com pluviosidade importante (Reis *et al.*, 1981).

A sedimentação cenozóica é retomada com os Arenitos Conglomeráticos de Queridas (ØM) cuja análise de litofácies e arranjo sequencial permite pensar numa equivalência com os dois primeiros membros da Formação Argilo-Gresosa e Conglomerática da Senhora do Bom Sucesso (Barbosa *et al.*, 1988; Rocha *et al.*, 1981; Reis, 1983; Cunha, 1992), correspondente à Etapa VI com duas sequências, SLD7 e SLD8, de Cunha (1992).

Os sedimentos desta formação afloram, em pequenas manchas, nas proximidades de Queridas e mais a oriente em Gatões, sendo descritos em algumas das sondagens efectuadas a SE da área estudada. São arenitos, com seixos e cascalheiras, subangulosos a sub-rolados, mal calibrados, geralmente esbranquiçados, assemelhando-se aos grés do Cretácico (Barbosa *et al.*, 1988). São atribuídos ao Paleogénico-Miocénico indiferenciados, mas Cunha (1992) restringiu a idade de Luteciana superior a Chatiana inferior, para o conjunto da Etapa VI. As condições climáticas vigentes seriam subtropicais, com crescente sazonalidade, tendo sido observados localmente aspectos de silicificação e ferruginização no topo da formação (Reis, 1983; Cunha, 1992).

A Formação de Amor (SLD10), as Argilas de Pombal (SLD11) e as Argilas de Redinha (SLD12), consideradas do Miocénico, só foram observadas localmente a sul do Mondego (Cunha, 1992, 1999).

Consideradas do Pliocénico superior e/ou Plistocénico, as Areias de Cordinhã e as Cascalheiras de Gordos estão cartografadas em conjunto na folha 19-A, com o símbolo P, a oriente da zona de estudo. As Areias de Cordinhã são areias finas, bem calibradas, de cor amarelada, com seixo pequeno, em finas lenticulas e cordões, atribuídos ao Placenciano-Astiano (Carvalho, 1964; Barbosa *et al.*, 1988). Durante o Placenciano a sedimentação foi predominantemente conglomerática ou arenosa, siliciclástica, caracterizada por caulinitização e hidromorfismo, reflectindo um clima mais quente e húmido que o actual a que se seguiram condições mais frias ainda durante o Pliocénico superior e transição para o Plistocénico (Cunha & Martins, 2004).

As unidades atribuídas ao Pliocénico e ao Quaternário estão representadas na figura 2.3.

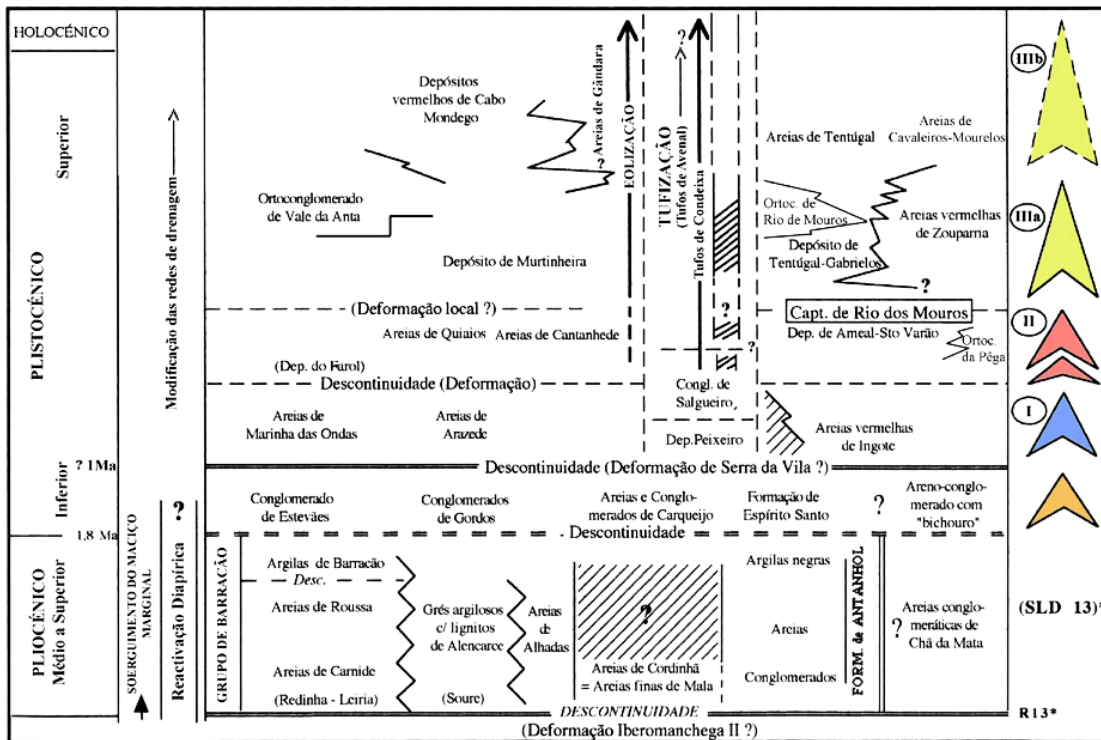


Figura 2.3 – Unidades pliocénicas e quaternárias do Baixo Mondego (Soares, 1999).

Segue-se um conjunto de sedimentos, essencialmente conglomerático (provavelmente Calabriano) que, na região de Cantanhede, seria materializado pelos Conglomerados de Gordos. Estes sedimentos e os seus equivalentes suportariam a superfície de Serra da Vila (Daveau, 1985-86; citado em Dinis, 2004).

Posteriormente Soares (1999) define mais três ciclos evolutivos. O primeiro (ciclo I) estaria registado pelas Areias de Araze que teriam sido depositadas em ambiente de praia, numa paisagem mais alargada, com relevos íngremes e clima árido e ainda sem o rio Mondego (Soares, 1999; Soares *et al.*, 1992, 1997; Dinis, 2004). O segundo (ciclo II) registado pelas Areias de Cantanhede, equivalentes das Areias de Quiaios, considerados depósitos essencialmente de praias (Soares *et al.*, 1992; Marques, 1997), terá sido formado numa altura em que rio Mondego desaguaria a E da serra de Montemor e em que a serra da Boa Viagem seria uma ilha, ou terminação rochosa de uma península ligada por cordão arenoso (Soares, Cunha & Marques, 1989).

O terceiro ciclo (ciclo III) que integra depósitos de origem fluvial (depósito de Tentúgal-Gabrielos) e de praia (depósito da Praia da Murtinheira). Após a deposição dos sedimentos fluviais de Tentúgal observam-se areias de origem eólica, conhecidas como as Areias de Tentúgal (Soares, 1966), que são consideradas equivalentes das Areias da Gândara já referidas (Carvalho, 1964; Barbosa *et al.*, 1988).

2.3 Enquadramento morfoestrutural

Dinis (2004) definiu unidades morfoestruturais para a zona centro litoral de Portugal, a norte da Figueira da Foz (figura 2.4). Resultantes do esboço estrutural e da natureza do substrato geológico, estas unidades apresentam uma evolução pliocénica e quaternária própria.

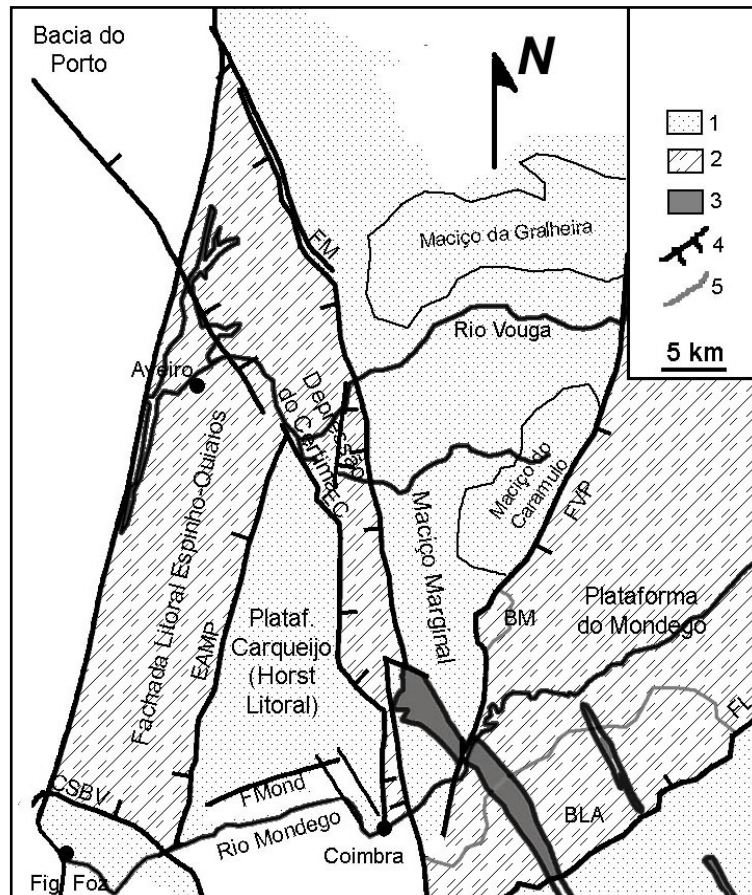


Figura 2.4 – Unidades morfoestruturais e seu enquadramento regional (adaptado de Dinis, 2004).

Legenda: 1 – sector soerguido, 2 – sector abatido; 3 – crista quartzítica; 4 – acidente estrutural maior; 5 – curso de água maior; BLA – Bacia Lousã-Arganil; BM – Bacia de Mortágua; CSBV – Cavalcamento da Serra da Boa Viagem; EAMP – Eixo Arunca-Montemor-Palhaça; FL – Falha da Lousã; FM – Falha Marginal; FMon – Falha do Mondego; FVP – Falha Verin-Penacova.

A Fachada Litoral Espinho-Quiaios, definida por Dinis (2004) como um dos três sectores da Plataforma Litoral, é um sector abatido, cujos limites estruturais principais são o eixo Arunca-Montemor-Palhaça (a oriente) e o cavalcamento da serra da Boa Viagem (a sul).

Integra as plataformas de Cantanhede-Mira (Carvalho, 1952, 1954; citados em Barbosa *et al.*, 1988), de Aveiro (Carvalho, 1951) e a plataforma flandriana, associadas a avanços e recuos de sistemas litorais de idade quaternária (Dinis, 2004).

Para sintetizar a informação estrutural e facilitar a sua análise elaborou-se um esquema (figura 2.5) que contém informações da Carta Neotectónica de Portugal Continental (Cabral & Ribeiro, 1988), da Carta Geológica de Portugal, à escala 1/50 000 – folha 19-A (Barbosa *et al.*, 1988) e do esquema da fracturação do sector setentrional da Bacia Lusitânica (Soares *et al.*, 1993).

O eixo Arunca-Montemor-Palhaça (Soares *et al.*, 1988; citado em Barbosa *et al.*, 1988; Soares, Ramos & Marques, 1998), com uma direcção aproximada NNE-SSW a norte da Figueira da Foz, é uma das estruturas responsáveis pela evolução sedimentar da região. Marcadas a amarelo na figura 2.5, as fracturas que estão envolvidas neste eixo (Soares *et al.*, 1993; Soares, Ramos & Marques, 1998) revelam-se num desnível topográfico de cerca de 20 m, bem visível entre Cantanhede e Montemor-o-Velho, com descida do bloco ocidental acompanhada por um arpejamento responsável por estruturas em monoclinas (Barbosa, 1981; Dinis, 2004). É cortado frequentemente por falhas de orientação NE-SW, criando zonas deprimidas que proporcionaram espaços de acomodação de sedimentos quaternários com cerca de 100 m, como as Areias de Cantanhede (Barbosa *et al.*, 1988).

Com orientação e localização semelhantes (NNE-SSW) Cabral & Ribeiro (1988) definiram alguns alinhamentos geológicos que podem corresponder a falhas activas, marcados a azul na figura 2.5. São também identificadas na folha 19-A (Cantanhede) (Barbosa *et al.*, 1988) algumas falhas normais segundo esta direcção, mas que, por coincidirem aproximadamente com as direcções marcadas a amarelo, não foram colocadas na figura.

O cavalgamento da serra da Boa Viagem (falha de Quiaios) constitui o limite meridional da Fachada Litoral Espinho-Quiaios. É uma falha inversa, com uma direcção WNW-ESE, (Carvalho, 1952, Soares, 1981; Ribeiro, 1988; citados em Barbosa *et al.*, 1988; Cabral & Ribeiro, 1988; Cabral, 1995; Machadinho, 2008), visível num areeiro próximo do cemitério de Quiaios, que acompanha a base da escarpa da serra da Boa Viagem. Esta estrutura, a vermelho na figura 2.5, foi marcada com a orientação referida em Cabral & Ribeiro (1988), tendo sido recentemente alvo de um estudo, efectuado por métodos gravimétricos, que evidencia e interpreta as principais direcções de fracturação existentes no Bordo Norte da serra da Boa Viagem (Machadinho, 2008).

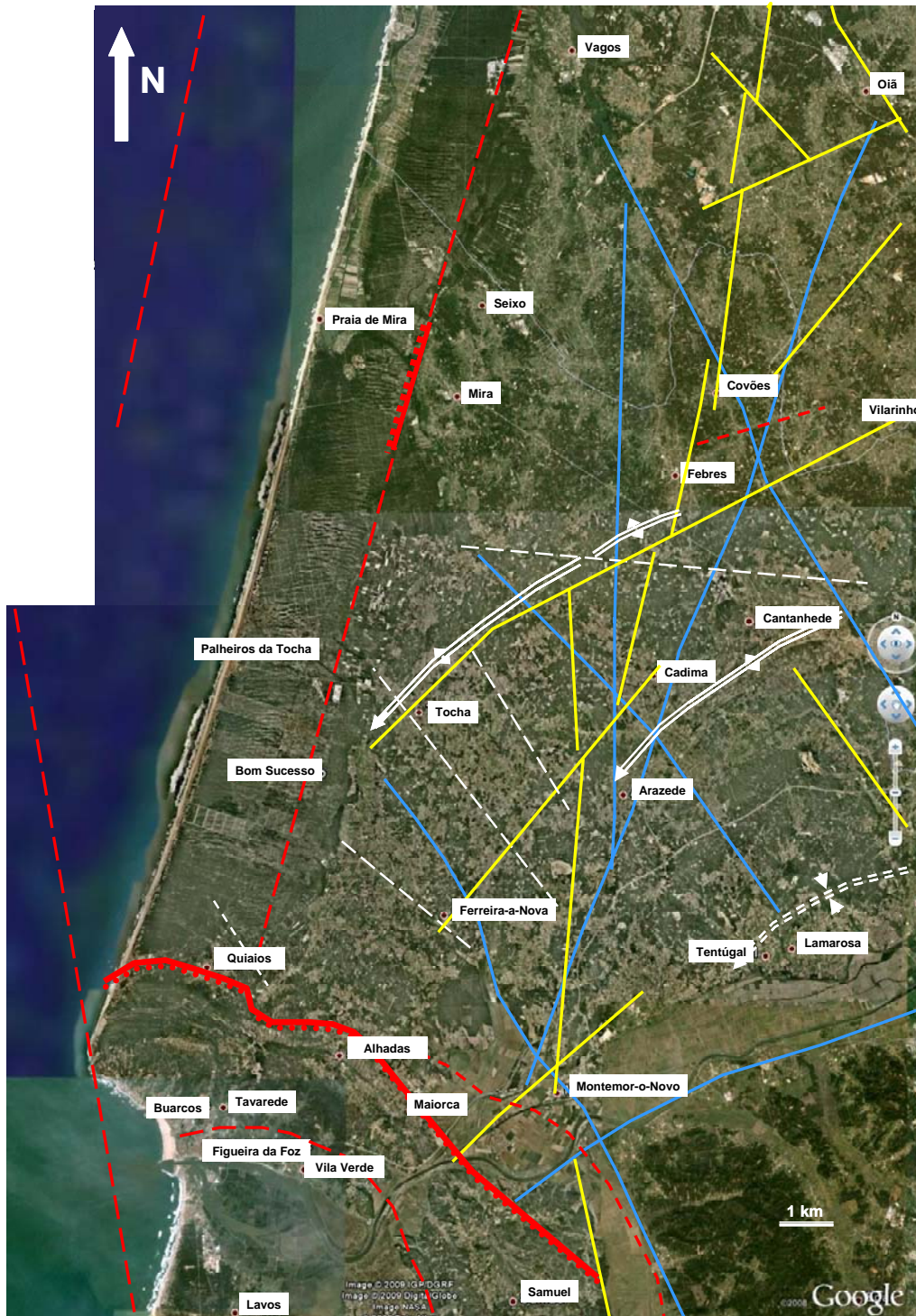


Figura 2.5 – Enquadramento estrutural. Adaptado de Cabral & Ribeiro (1988), de Barbosa *et al.*, (1988) e de Soares *et al.*, (1993). Imagem de fundo obtida com o Google Earth (versão de Julho de 2008).

Falhas activas (Cabral & Ribeiro, 1988):

- com tipo de movimentação desconhecido
- movimentação vertical do tipo inverso (marcas no bloco superior)
- inclinação desconhecida c/ movimentação vertical (marcas no bloco inferior)

--- (provável)



Lineamento geológico podendo corresponder a falha activa



A branco estão marcadas as estruturas da carta 19-A:

lineamentos – linhas simples;

dobramentos – linhas duplas

Nota: as setas indicam o mergulho de flancos e eixos de dobras

A amarelo estão marcadas fracturas do sector setentrional da Bacia Lusitânica (Soares *et al.*, 1993)

Os dobramentos visíveis na região apresentam eixos aproximadamente paralelos entre si, de orientação aproximada NE-SW. Constituem, de norte para sul, o eixo (anticlinal) de Tocha-Mogofores; o anticlinal de Cantanhede e o sinclinal provável de Pena-Tentúgal. Estes dobramentos apresentam grande raio de curvatura e afectam os sedimentos do Jurássico e do Cretácico (Barbosa *et al.*, 1988; Dinis, 2004).

O eixo Tocha-Mogofores é de difícil visualização no terreno, dada a cobertura sedimentar plio-pleistocénica, mas reconhece-se pelo domínio dos sedimentos do Jurássico inferior na sua faixa nuclear (Choffat, 1897, 1900; citado em Dinis, 2004). Constitui um acidente que resulta de deformação frágil e apresenta uma componente de desligamento, cortando várias fracturas de rumo meridiano que controlam a Depressão do Cértima e o *Horst* Litoral (Dinis, 2004). É interceptado por fracturas de direcção aproximada NW-SE, N-S ou NNE-SSW, responsáveis por deslocamentos subverticais com basculamento de blocos (Dinis, 2004).

O anticlinal de Cantanhede é identificado facilmente em fotografia aérea, na zona em estudo, sobretudo entre Cantanhede e Ourentã (figura 2.5). É uma estrutura dissimétrica com o flanco Sul menos inclinado que o flanco Norte, estando o seu eixo ligeiramente inclinado para WSW, em cuja zona nuclear afloram sedimentos do Jurássico inferior. É cortado por falhas com orientação NW-SE e pelo eixo Arunca-Montemor-Palhaça (Dinis, 2004), que também interrompe o sinclinal Pena-Tentúgal.

Com orientação aproximadamente perpendicular à dos dobramentos referidos anteriormente, existem fracturas NW-SE. São constituídas pelas falhas de Pocarica-Ferraria (situadas no seguimento do *graben* de Antuzede) e pelos alinhamentos de Resgatados-Barrins, de Gatões-Tocha e de Queridas (Barbosa *et al.*, 1988).

Estruturas com direcção W-E são evidenciadas, a norte, pelas falhas prováveis do vale da ribeira de Varzielas, com direcção aproximada WNW-ESE e uma pequena componente de desligamento direito no anticlinal de Tocha-Mogofores; e, a sul, na Flexura do Mondego (Soares, Cunha & Marques, 1989) com direcção ENE-WSW.

Falhas de inclinação desconhecida, com componente de movimentação vertical e direcção aproximadamente paralela à linha de costa actual (NNE-SSW) foram cartografadas por Cabral & Ribeiro (1988) e estão marcadas a vermelho na figura 2.5. Estas estruturas e outras com direcção NNW-SSE, são também referidas nos trabalhos de Cabral & Ribeiro (1988) e de Machadinho (2008), podendo estar associadas à inversão tectónica cenozóica da Bacia Lusitânica em consequência da formação dos Pirenéus e da compressão alpina.

2.3.1 Evolução da deformação

As estruturas anteriormente referidas resultaram da evolução da deformação ao longo da história geológica e, sobretudo, da reactivação mesozóico-cenozóica de um substrato marcado pela orogenia hercínica, em particular, pelas suas fases tardias.

A fase tardi-hercínica na Ibéria foi registada pelo desenvolvimento de estruturas de deformação frágil (Ribeiro *et al.*, 1990; citado em Pinheiro *et al.*, 1996) num regime de tensões bastante complexo. Por um lado, evidências da reactivação da zona de cisalhamento Porto-Tomar sugerem uma direcção de compressão E-W, por outro e quase contemporaneamente, formaram-se sistemas conjugados de falhas de desligamento que indicam uma direcção máxima de compressão segundo N-S (Ribeiro *et al.*, 1990; citado em Pinheiro *et al.*, 1996). Este sistema apresenta desligamentos esquerdos predominantes, segundo NNE-SSW a ENE-WSW, conjugados com desligamentos direitos, menos comuns, segundo NNW-SSE a NW-SE (Ribeiro *et al.*, 1979; Dias, 1986; citados em Pinheiro *et al.*, 1996). O primeiro conjunto de falhas de desligamento desempenhou um papel fundamental desde o Triásico e parece constituir o principal controlo estrutural durante o Mesozóico, na zona ocidental da Península Ibérica (Pinheiro *et al.*, 1996).

A Ibéria faz actualmente parte da placa euro-asiática, à qual se liga, a norte, na zona da cadeia dos Pirenéus. A sul, faz hoje fronteira com a placa africana ao longo da zona de cisalhamento Açores-Gibraltar. Mas a posição da placa ibérica relativamente às placas africana e euro-asiática foi sendo alterada, como consequência da abertura do Atlântico norte.

De acordo com as reconstruções tectónicas propostas para a placa ibérica (Martín-Chivelet, 1996; Pinheiro *et al.*, 1996; Casa Sainz & Faccena, 2001; Rosenbaum, Lister & Duboz, 2002; Sibuet, Srivastava & Spakman, 2004; Pereira, 2008), do Aptiano ao Campaniano (entre 120-118 Ma e 88-80 Ma, dependendo dos autores), deu-se uma movimentação do bloco ibérico para SE, o que, conjugado com a abertura do braço oriental do ponto triplo atlântico até ao golfo da Biscaia, provoca uma rotação da placa ibérica.

Estas movimentações mostram o seu efeito na zona central da Ibéria, no prolongamento das falhas transformantes, actualmente com a direcção E-W, que romperam o soco aquando da progressão do Atlântico para norte (Pereira, 2008). O campo de tensões pode ser explicado por um sistema Riedel esquerdo, com direcção E-W, que parece ter conduzido, durante o período referido, ao desenvolvimento de fracturas profundas, distensivas, de orientação paralela à tensão dominante (NE-SW), em conjunto com fracturas conjugadas de direcções N45°E, N75°W, N15°E, N75°E (Pereira, 2008; Machadinho, Pereira & Figueiredo, 2008). Estas fracturas delimitam blocos, em cujos bordos abatidos se depositaram os sedimentos cretácicos mais antigos e, ao longo dos quais, se formaram os canais de escorrência dos detritos provenientes da erosão do Maciço Hercínico (Pereira, 2008). Durante este período a placa ibérica parece movimentar-se

independentemente (Sibuet & Collete, 1991; citados em Pinheiro *et al.*, 1996; Sibuet, Srivastava & Spakman, 2004).

À abertura do golfo da Biscaia e rotação anti-horária da Ibéria, num contexto distensivo, seguiu-se uma fase compressiva provocada pela “travagem” da placa ibérica na zona das cordilheiras Béticas (pela placa africana) e nos Pirenéus (pelo bordo da placa euro-asiática) (Pereira, 2008).

Casas Sainz & Faccena (2001) propuseram um modelo de evolução terciária da Ibéria pós abertura do golfo da Biscaia, que terminou segundo Sibuet, Srivastava & Spakman (2004) há 80 Ma (milhões de anos) (figura 2.6).

A primeira etapa (fase **a** de Casas Sainz & Faccena, 2001) decorre do Cretácico superior ao Paleocénico (aproximadamente entre 80-60 Ma), com o início, segundo estes autores, da subducção da bacia oceânica do *Tethys*, provavelmente no limite das placas africana e ibérica.

Dá-se então a fase de compressão da placa ibérica na zona dos Pirenéus, durante o Eocénico (50-35 Ma) (fase **b** de Casas Sainz & Faccena, 2001). O pólo de rotação das placas ibérica/euro-asiática desloca-se para ocidente e a direcção da tensão principal roda de SW-NE para SSE-NNW. A compressão máxima ter-se-á verificado desde o Eocénico médio ao Oligocénico médio com a consequente formação dos Pirenéus (Sibuet, Srivastava & Spakman, 2004).

Perto do término desta fase, a deformação progride e intensifica-se no interior da placa ibérica reactivando estruturas pré-existentes (fase **c** de Casas Sainz & Faccena, 2001). Este período decorreu maioritariamente do Eocénico superior ao Miocénico inferior (40-20 Ma) (Casas Sainz & Faccena, 2001), apresentando um pico de deformação no Oligocénico superior (Sibuet, Srivastava & Spakman, 2004) e parecendo persistir até hoje em alguns locais (Pinheiro *et al.*, 1996; Pereira, 2008).

Na região central e ocidental da Península Ibérica as estruturas principais que resultaram desta fase de deformação foram controladas por fracturas antecedentes de direcção aproximada NE-SW (Arthaud & Matte, 1975; citados em Casas Sainz & Faccena, 2001), reactivadas como cavalgamentos ou falhas de desligamento, que pode ser considerado transpressivo (Pinheiro *et al.*, 1996; Pereira, 2008; Machadinho, Pereira & Figueiredo, 2008).

Finalmente, durante o Miocénico-Pliocénico inferior (25-5 Ma), assiste-se a uma diminuição da compressão no interior da placa Ibérica e inicia-se uma nova fase distensiva no seu bordo oriental (fase **d** de Casas Sainz & Faccena, 2001), também chamada “fase valenciana” (Cloetingh *et al.*, 2002). Segundo Cabral (1995), após a fase de intensa actividade tectónica do Miocénico, assistiu-se a um período tectonicamente mais calmo durante o Pliocénico, até que, no final desta Época se acentuou novamente o

regime tectónico prolongando-se pelo período Quaternário (Lepvrier & Mougenot, 1984; Mougenot, 1983 e 1988; Ribeiro, 1988; Ribeiro *et al.*, 1979 e 1988; citados em Cabral, 1995).

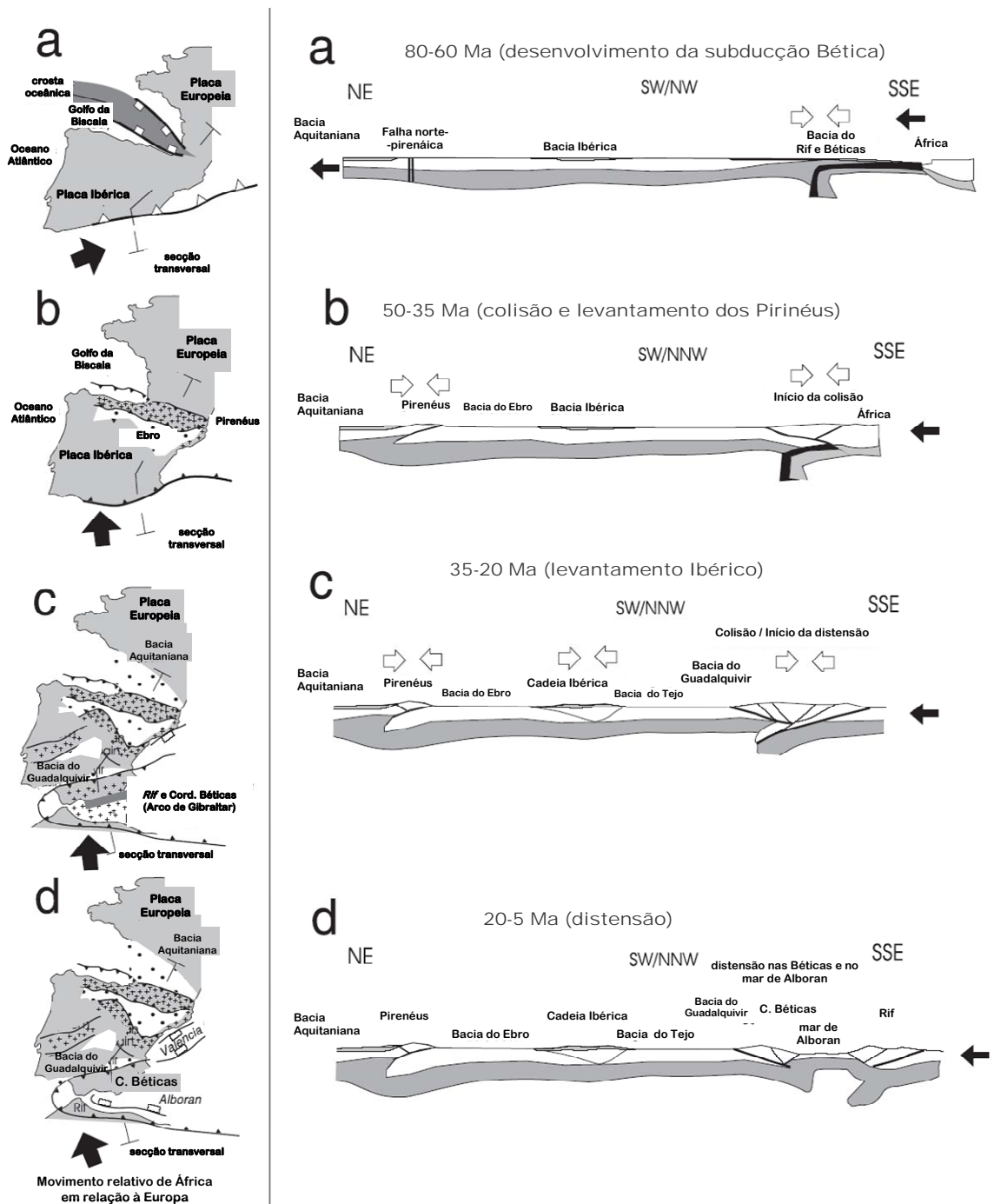


Figura 2.6 – Esquema conceptual da evolução Mesozóica e Cenozóica da placa ibérica, (em planta e em corte). Adaptado de Casas Sainz & Faccena (2001).

Nota: as setas a negro representam, em corte, a projecção dos movimentos relativos das placas; em planta, a sua direcção, segundo Dewey *et al.* (1989) citado em Casas Sainz & Faccena (2001). As setas a branco (em corte) representam a tensão existente nas diferentes zonas da placa ibérica.

Evidências de modificações no regime tectónico na zona do Arco de Gibraltar (formado pelas cordilheiras Béticas, Rif e mar de Alboran) apontam para a passagem de um período distensivo (Pliocénico inferior) para uma compressão orientada NW-SE (Quaternário inferior). Este regime compressivo pode resultar da aceleração do movimento das placas africana e euro-asiática ou de um bloqueio da sua convergência (Bousquet & Philip, 1981 e 1986; citados em Cabral, 1995).

A deformação recente (pliocénica superior - quaternária) na zona ocidental da placa ibérica revela igualmente uma tendência compressiva com direcção NW-SE, resultante principalmente da colisão das placas africana e euro-asiática, a que se adiciona o campo de tensões de direcção E-W provocado pela formação de crosta oceânica na dorsal atlântica (Casas Sainz & Faccena, 2001). Pode ser evidenciada por movimentos verticais da crosta, por vezes associados a dobramentos de grande raios de curvatura, dobramentos pouco acentuados, flexuras e movimentos em falhas (Cabral, 1995). Os dobramentos estão, em geral, orientados perpendicularmente à direcção principal de compressão actual (Cloetingh *et al.*, 2002).

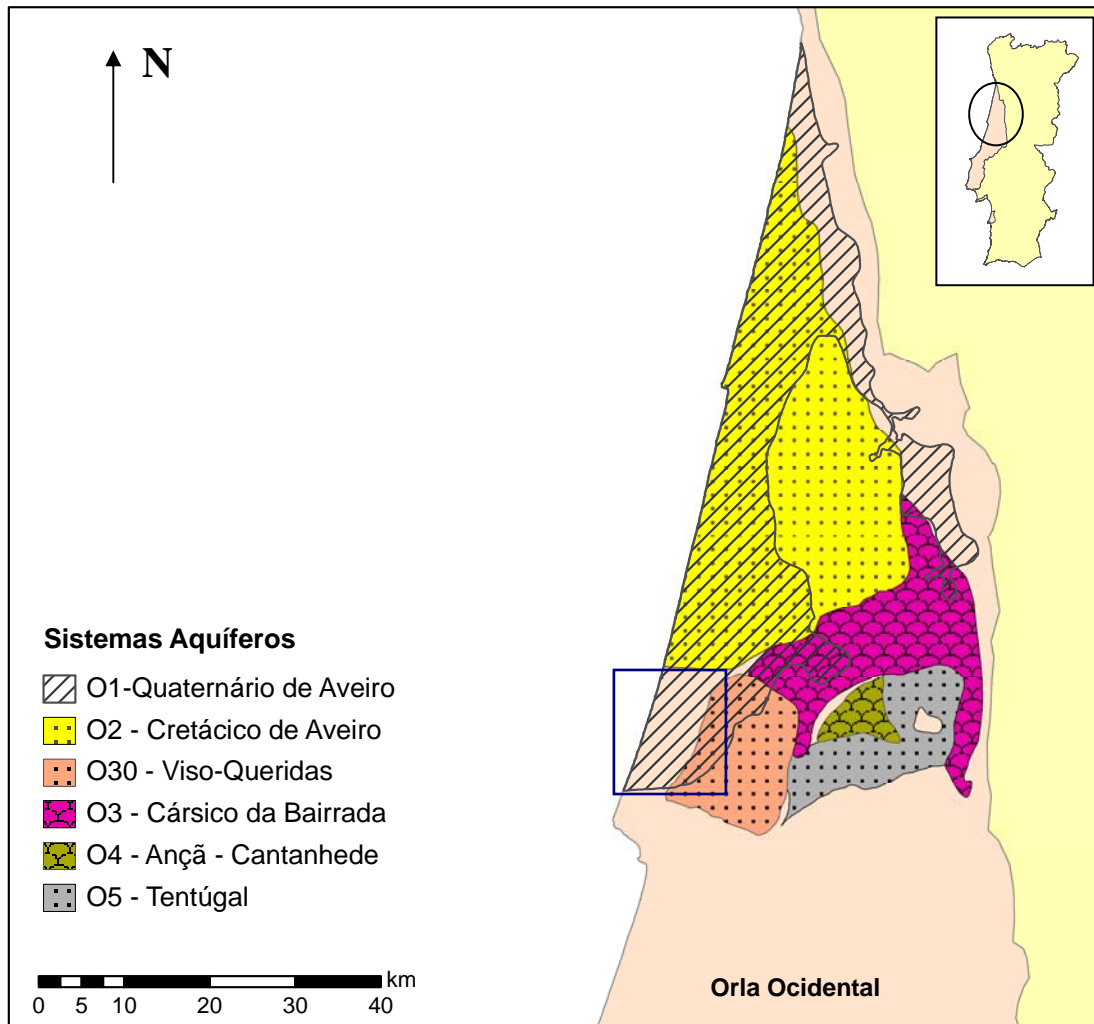
A actividade sísmica gerada neste contexto é significativa, na zona interplacas (zona de cisalhamento Açores-Gibraltar), e moderada no interior da placa ibérica, que revela acumulação de tensões e desenvolvimento de deformações tectónicas actuais (Cabral, 1995).

As direcções de acidentes estruturais predominantes estão orientados para NW-SE a WNW-ESE, havendo recentemente evidências de falhas submeridianas, de componente geralmente normal, como aquelas que foram localizadas por Barbosa *et al.*, (1988) a oeste de Coimbra (falha normal-esquerda com direcção NNE-SSW) e as falhas submeridianas muito inclinadas, apresentando uma componente vertical de deslocamento normal ou inverso, que afectam sedimentos pós-wurmianos na plataforma ocidental portuguesa (Rodrigues, Dias & Ribeiro, 1992; citados em Cabral, 1995).

Segundo Machadinho, Pereira & Figueiredo (2008), a movimentação principal funciona actualmente, na zona litoral a norte da Figueira da Foz, como um sistema Riedel de direcção NNE-SSW, com movimentação esquerda, em que as estruturas com direcções N20-30°E são intensamente activadas, adquirindo um comportamento concordante com essa movimentação (Machadinho, 2008). Os alinhamentos associados a este sistema Riedel têm orientações N-S \pm 5°; N20-25°W e N50 \pm 5°W (Machadinho, 2008).

2.4 Enquadramento hidrogeológico

As Lagoas de Quiaios estão localizadas na unidade hidrogeológica da Orla Ocidental, no extremo sul do sistema aquífero Quaternário de Aveiro (figura 2.7).



Nota: A zona em estudo está assinalada com um retângulo.

Figura 2.7 – Enquadramento hidrogeológico – adaptado do Atlas da Água
(Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos – INAG)

Os primeiros estudos hidrogeológicos, junto às Lagoas das Braças e da Vela, foram conduzidos pela empresa J. Keller (1962), numa época em que a Câmara Municipal da Figueira da Foz encomendou estudos de prospecção e pesquisa para eventual captação de água para abastecimento público.

Seguiram-se-lhes outros estudos no mesmo âmbito em 1967, 1975 (estes efectuados pela empresa A. Cavaco) e em 1981. Estes trabalhos têm um carácter muito restrito, mas permitem obter alguns dados sobre as unidades aquíferas do sistema Quaternário de Aveiro.

Neste sistema aquífero, foram efectuados alguns trabalhos de carácter regional por Peixinho de Cristo (1985), Ferreira (1995), Serrano & Garcia (1997) e Almeida *et al.* (2000) a que se seguiu um estudo hidrogeoquímico realizado por Melo (2002) e Melo, Cabano & Silva. (2002). Estes trabalhos apoiam-se maioritariamente em dados recolhidos no norte e centro do sistema aquífero.

Fernandes (1999), no âmbito das Ciências e Tecnologias do Ambiente, apresenta um submodelo hidrológico da Lagoa da Vela, integrado num modelo ecológico global, e um modelo hidrodinâmico da bacia drenante desta lagoa, mas os resultados obtidos referem-se sobretudo a parâmetros com interesse biológico.

2.4.1 Sistema Aquífero Quaternário de Aveiro

É actualmente aceite que o sistema aquífero Quaternário de Aveiro é um sistema multi-aquífero, existente em formações de natureza detrítica, com uma área total de 931 km² (Almeida *et al.*, 2000).

Geologicamente identificam-se três grandes unidades litostratigráficas, que permitem definir também três unidades aquíferas:

- os depósitos de praias antigas e terraços fluviais, de idade Plio-Plistocénica, que dão corpo a uma unidade aquífera hidraulicamente livre;
- uma sequência granodecrescente, muito grosseira na base, por vezes com clastos de xistos, granitos, grauvaques e liditos, passando a areões e areias cada vez mais finas e argilosas, e acabando quase sempre em uma ou mais camadas de lodos orgânicos, que constitui um aquífero em grande parte semiconfinado, conhecido como a formação de base do Quaternário (Almeida *et al.*, 2000);
- as areias de praia, dunas e areias eólicas e hidro-eólicas, de idade Plistocénica superior a Holocénica, onde está instalado o aquífero freático superior.

O aquífero semiconfinado apresenta níveis piezométricos geralmente acima do topo da camada confinante ou mesmo da superfície do terreno com pequenas oscilações sazonais (Almeida *et al.*, 2000). Os níveis confinantes desaparecem na zona de Estarreja (a NE) passando esta unidade a comportar-se como um aquífero livre recebendo recarga directa da infiltração e dos excedentes de rega (Melo, Cabano & Silva, 2002). Nas áreas semiconfinadas a recarga é efectuada pela drenagem diferida do aquífero freático superior, a partir de águas superficiais com as quais apresenta conexão hidráulica.

O fluxo natural é suave, geralmente para ocidente em direcção ao mar, apresentando gradientes hidráulicos que variam entre 0,0012 e 0,0036, (Melo, 2002), tendo cerca de 0,0014 a sul da Gafanha da Nazaré (Melo, Cabano & Silva, 2002).

A recarga do sistema aquífero freático é feita principalmente pela precipitação directa (Fernandes, 1999; Melo, 2002; Melo, Cabano & Silva, 2002) e pela infiltração da água excedente de rega. A descarga é feita para o mar, para a rede de drenagem e para os aquíferos subjacentes. A evaporação directa nas lagoas e a exploração das unidades aquíferas são os principais factores de perda de água do sistema, nas áreas meridionais (Fernandes, 1999).

Peixinho de Cristo (1985) estimou que a recarga anual média das três unidades aquíferas, do sistema Quaternário de Aveiro, se situe entre 200 e 250 hm³, enquanto que, as extracções de água para rega, para abastecimento público e para a indústria rondem os 180 hm³ por ano. Com base nestas estimativas, o sistema seria excedentário em cerca de 20 a 70 hm³/ano, mantendo-se o seu equilíbrio através das descargas efectuadas para a rede de drenagem.

O aquífero freático superior é muito explorado para fins agrícolas, já que a maioria dos poços tradicionais capta neste nível, sendo o aquífero da base do Quaternário utilizado sobretudo para abastecimento público, caso das captações para abastecimento da Figueira da Foz na Lagoa das Braças, mas também para abastecimento doméstico e industrial através de múltiplos furos existentes na zona, sobretudo a norte e a oriente.

A informação disponível sobre a produtividade das unidades aquíferas e respectivos parâmetros hidráulico, indica melhores resultados para o aquífero semiconfinado (tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Unidades aquíferas do Sistema Quaternário de Aveiro – parâmetros hidráulicos.

	Aquífero freático			Aquífero semiconfinado			
	<i>i</i>	K (m/d)	T (m ² /d)	<i>i</i>	K (m/d)	T (m ² /d)	S
N						56 ^{a,b}	26 ^{a,b}
Média		20-30 ^c		0,0014 ^c		432 ^{a,b}	0,002 ^{a,b}
Desvio padrão						117 ^{a,b}	0,0026 ^{a,b}
Mínimo	0,0012 (a N) ^c	20 ^b	50 ^b		10 ^c	190 ^{a,b}	0,0001 ^{a,b}
Máximo	0,0036 (a S) ^c	49 ^b	370 ^b		20 ^c	750 ^{a,b}	0,0094 ^{a,b}
Mediana						428 ^{a,b}	0,0017 ^{a,b}

^a Fonte: Almeida *et al.* (1999)

^b Fonte: Almeida *et al.* (2000)

^c Fonte: Condesso de Melo, Cabano & Marques da Silva (2002)

N	Nº de furos	K	Conductividade hidráulica (em m/d)
<i>i</i> = -dh/dl	Gradiente hidráulico	T	Transmissividade (em m ² /d)
		S	Coefficiente de Armazenamento

Os dados de hidroquímica de águas subterrâneas recolhidas em 34 furos (aquífero semiconfinado) e 60 furos e poços de grande diâmetro (aquífero freático), referidos em Almeida *et al.*, (2000) (tabela 2.2), e os resultados de 74 pontos de amostragem obtidos por Melo, Cabano & Silva (2002) permitem a caracterização hidroquímica das águas subterrâneas do sistema aquífero Quaternário de Aveiro. Neste último trabalho foram ainda identificados os processos geoquímicos responsáveis pela evolução natural do quimismo das águas das três unidades do sistema aquífero Quaternário de Aveiro, dando ênfase a fenómenos de intercâmbio iónico, dissolução de silicatos, desnitrificação e redução de sulfatos (Melo, Cabano & Silva, 2002).

Tabela 2.2 – Análises químicas de águas do sistema aquífero Quaternário de Aveiro.

	Aquífero freático ^a					Aquífero semiconfinado ^b				
	N	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	N	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
pH	60	6,0	0,7	3,8	7,3	34	6,7	0,9	4,55	8,8
Condutividade eléctrica (µS/cm)	60	574	350	143	1785	32	334	146	80	590
Bicarbonato (mg/L)	58	81	71	1	366	31	29,4	16,3	6	79
Cloreto (mg/L)	60	90	60	17	237	34	34	11,3	15,9	59,1
Sulfato (mg/L)	60	82,5	56	10	297	19	18	18	2,2	73
Nitrato (mg/L)	60	63	38	0,5	140	17	2,2	3,5	0,01	12
Nitrito (mg/L)	60	0,061	0,139	0,0034	1	7	0,1	0,2	0,001	0,5
Cálcio (mg/L)	60	40	19	2,9	95	32	37,1	27,7	1,6	84,8
Magnésio (mg/L)	60	10,6	12	1,4	76,6	32	7,3	4,9	0,9	21,1
Sódio (mg/L)	60	56	38	8	146					
Potássio (mg/L)	60	13	15	0,6	111					
Ferro (mg/L)	60	0,59	1,61	0,065	11	24	4,9	12,9	0,02	64,2
Cobre (mg/L)	60	0,038	0,108	0,005	0,834					
Chumbo (mg/L)	60	0,062	0,175	0,027	0,111					
Zinco (mg/L)	60	0,234	0,629	0,012	4,0					
Cádmio (mg/L)	60	0,005	0,003	0,001	0,021					
Cobalto (mg/L)	60	0,053	0,022	0,01	0,142					
Níquel (mg/L)	60	0,016	0,031	0,005	0,228					
Manganésio (mg/L)	60	0,108	0,141	0,006	0,71					
Estrôncio (mg/L)	60	0,082	0,045	0,025	255					

^a Fonte: Silva (1989); citado em Almeida *et al.* (2000)

^b Fonte: Almeida *et al.* (2000)

Para Melo, Cabano & Silva (2002) as unidades aquíferas apresentam composições químicas características que permitem a sua distinção. O aquífero semiconfinado tem uma composição química mais constante, sendo as variações sazonais médias inferiores a 5% para a maioria dos parâmetros. Reduzida variação sazonal é também observada nas amostras de águas do aquífero freático, embora a sua variabilidade entre amostras seja

maior. Este facto indica que a caracterização hidrogeoquímica regional e os teores de base destas unidades aquíferas tem pouca variabilidade entre o Verão e o Inverno, possibilitando o seu estudo em qualquer altura do ano.

O aquífero semiconfinado apresenta, em grande parte da sua área, águas doces de fácies bicarbonatada cálcica. Nas áreas aluvionares, adjacentes a cursos de água, surgem frequentemente águas de baixa salinidade caracterizadas pelo predomínio dos iões Na e Cl, podendo reflectir a composição de água fluvial proveniente de precipitação na região, com influência de aerossol marinho (Melo, Cabano & Silva, 2002).

O aquífero freático superior, na ausência de contaminação, apresenta um zonamento geográfico: águas de fácies cloretada sódica, com valores de salinidade muito reduzidos (inferiores a 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$), em toda a área dunar a norte de Ovar; enquanto que, a sul desta localidade a água, apresenta fácies bicarbonatada cálcica, como resultado provável da dissolução de calcite e de trocas iónicas em solos empobrecidos em Na (Melo, Cabano & Silva, 2002).

Estes autores verificaram ainda que, nestes aquíferos, a dureza ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) aumentava em direcção à costa, enquanto que, o Na^+ diminuía ligeiramente. Atribuíram este facto a fenómenos de intercâmbio catiónico, que removeram inicialmente o Na^+ dos sedimentos e adsorveram Ca^{2+} , o que provocou a conseqüente dissolução de calcite e o posterior aumento de cálcio e bicarbonato na água. A dissolução de calcite foi confirmada pelo aumento do índice de saturação deste mineral e pelo aumento de Sr^{2+} em solução, nas águas com maior tempo de residência (Melo, Cabano & Silva, 2002).

A dissolução de silicatos (provavelmente feldspato alcalino) é outro dos processos activos nos aquíferos. É indicado por um aumento de silício na direcção do fluxo, sendo acompanhado por igual variação no tempo de residência, diminuição de CO_2 e aumento do pH da água (Melo, Cabano & Silva, 2002).

Segundo Melo, Cabano & Silva (2002) as unidades aquíferas têm distintos comportamentos redox: o aquífero semiconfinado apresenta condições praticamente anaeróbicas que evidenciam um meio redutor ($\text{Eh} < 270 \text{ mV}$) com valores médios de Eh de 130 mV, podendo atingir valores negativos (-40 mV) em locais junto à costa e em captações mais profundas; enquanto que, o aquífero freático apresenta valores médios de Eh superiores a 300 mV, característicos de meios aeróbios e oxidantes, embora tenha valores de oxigénio dissolvido muito variáveis (0-9 mg/L).

Em condições de intercâmbio com o O_2 atmosférico (unidade freática) a diminuição do Eh depende da velocidade entre o consumo de O_2 pela matéria orgânica e a sua reposição pela atmosfera. No caso de unidades que não têm contacto directo com o O_2 atmosférico (aquífero semiconfinado), a eliminação de oxigénio livre conduz a condições anaeróbicas, que promovem reacções de redução de nitratos, desnitrificação e redução de sulfatos, muitas vezes acompanhadas pela estabilização de espécies como o Fe^{2+} , Mn^{2+} e I

(Melo, Cabano & Silva, 2002). Os valores de Fe(II) em solução atingem muitas vezes valores acima de 2 g/L, constituindo uma limitação à qualidade da água para consumo humano e industrial, obrigando ao seu tratamento prévio (Barbosa *et al.*, 1988; Almeida *et al.*, 2000; Melo, Cabano & Silva, 2002).

A redução de sulfatos é facilmente identificada por baixas concentrações de SO_4^{2-} em solução e sobretudo pelo cheiro intenso a H_2S . Pode ainda ocorrer a génese de metano, por redução das espécies carbonatadas, o que já foi por diversas vezes observado neste nível aquífero (Melo, Cabano & Silva, 2002).

As unidades aquíferas do sistema Quaternário de Aveiro aqui referidas apresentam vulnerabilidades específicas em relação a contaminações de origem antrópica, devidas sobretudo a más práticas agrícolas e contaminação de origem doméstica e industrial. O aquífero freático superior tem grande vulnerabilidade, dadas as suas características hidrogeológicas, sobretudo em relação a nitratos e potássio, apresentando por vezes concentrações elevadas de cloretos, ferro e chumbo (Almeida *et al.*, 2000; Melo, Cabano & Silva, 2002). O aquífero semiconfinado é menos vulnerável, já que se encontra protegido pelo aquitardo, estando a sua composição química relacionada com os processos naturais a que está submetido. Processos de desnitrificação activos reduzem as quantidades de nitratos na água, por um lado, mas a redução de sulfatos e a génese de metano, provocam essencialmente o aumento das quantidades de Fe^{2+} e Mn^{2+} , H_2S e CH_4 , por outro (Almeida *et al.*, 2000; Melo, Cabano & Silva, 2002).

2.4.2 Sistema Aquífero Viso-Queridas

Sob o sistema aquífero Quaternário de Aveiro, na zona envolvente das lagoas, encontra-se o sistema aquífero Viso-Queridas. Com uma área cartografada de 186 km² (Almeida *et al.*, 2000), é um aquífero essencialmente poroso, de estrutura lenticular com níveis mais ricos em argila, que lhe dão globalmente um carácter multicamada. Apresenta em profundidade condições de confinamento ou semiconfinamento (Almeida *et al.*, 2000).

Está instalado em sedimentos cretácicos e paleogénicos a miocénicos, recobertos a ocidente por areias eólicas mais recentes. Da base para o topo, a sucessão litostratigráfica é a seguinte: Arenitos do Carrascal (Formação da Figueira da Foz); Calcários de Tentúgal (Formação de Costa de Arnes); Grés do Furadouro; Grés de Oiã; Arenitos e Argilas do Viso e Arenitos Conglomeráticos de Queridas (Formação de Bom Sucesso).

Estes sedimentos apresentam, na generalidade, camadas de fácies mais arenosa com produtividade aquífera, com excepção das rochas carbonatadas dos Calcários de Tentúgal e das unidades mais argilosas dos Arenitos e Argilas do Viso, que são consideradas improdutivas (Almeida *et al.*, 2000). São precisamente estes últimos sedimentos que constituem o substrato do sistema aquífero Quaternário de Aveiro, na maior parte da área oriental da região.

Almeida *et al.* (2000) estimam que a recarga aquífera mínima seja de 28 hm³/ano, valor que será idêntico ao das descargas efectuadas para a rede de drenagem, para o mar e para os aquíferos subjacentes. O reduzido número de dados sobre os parâmetros hidráulicos destas unidades aquíferas apenas permite uma estimativa do valor da transmissividade que ronda os 90 m²/d.

Os resultados obtidos por Almeida *et al.*, (2000), para o sistema aquífero Viso-Queridas, apenas referem duas análises efectuadas a amostras de água, colhidas a diferentes profundidades de um furo efectuado em Gatões (AC2) (tabela 2.3).

Tabela 2.3 – Análises químicas de águas do sistema aquífero Viso-Queridas.

	Viso-Queridas	
	AC2-TOPO	AC2-BASE
	Arenitos	Arenitos/calcários
Profundidade (m)	49-63	84-116
TSD (mg/L)	115	255,5
pH	6,7	7,7
Bicarbonato (mg/L)	34,2	187,9
Cloreto (mg/L)	27,7	28,4
Sulfato (mg/L)	19,8	15,97
Nitrato (mg/L)	0	0
Cálcio (mg/L)	6,8	46,4
Magnésio (mg/L)	3,2	10,7
Sódio (mg/L)	25,3	42,1
Potássio (mg/L)	2	2,5
Ferro (mg/L)	0,04	0,08

Fonte: Almeida *et al.* (2000)

Dada a diminuta quantidade de dados existentes apenas se refere que a mineralização aumenta ligeiramente com a profundidade, sendo a água proveniente da camada arenítica de fácies cloretada-bicarbonatada sódica e a da camada arenítica e carbonatada de fácies bicarbonatada cálcico-sódica (Almeida *et al.*, 2000).

2.5 Eco-hidrologia das águas superficiais – lagoas das Braças e da Vela

O trabalho que refere dados mais detalhados sobre a composição química das águas das lagoas foi efectuado por Calado (1993) na lagoa das Braças. A lagoa da Vela é a lagoa onde foram efectuados mais estudos mas não se obtiveram valores das concentrações dos principais catiões e aniões (Gonçalves *et al.*, 1996; Figueiredo *et al.*, 2006; Abrantes *et al.*, 2006) (tabela 2.4).

Tabela 2.4 – Análises físico-químicas de águas das lagoas das Braças e da Vela.

	Lagoa da Braças	Lagoa da Vela
Profundidade média (m)	0,68 ^b	1,10 ^b 0,90 ^d
Profundidade máxima (m)	1,10 ^b	2,10 ^b a 2,40 ^d
Temperatura de Verão (°C)	25,1 ^b	24,1 ^b a 29,4 ^{c,d}
Temperatura de Inverno (°C)	13,7 ^b	12,2 ^b a 10,3 ^{c,d}
DO (mg/L O ₂)	7,5-9,8 ^a 9,13 ^b	5,10-13,3 ^{c,d} 10,3 ^b
Condutividade eléctrica (µS/cm)	272-404 ^a	272-493 ^{c,d}
pH	6,5-7,3 ^a <8,2 ^b	7,29-9,94 ^{c,d} 8-9 ^b
Bicarbonato (mg/L HCO ₃ ⁻)	48,8-97,6 ^a 61-170,7 ^b	95-170 ^d
Cloreto (mg/L Cl ⁻)	50-96 ^a	---
Nitrato (mg/L NO ₃ ⁻ -N)	0,005-0,18 ^a 0-0,02 ^b	0-0,06 ^b 0,3-6,6 ^{c,d}
Nitrito (mg/L NO ₂ ⁻ -N)	0-0,004 ^a 0-0,0005 ^b	0-0,0025 ^b 0-0,205 ^{c,d}
Amónia (mg/L NH ₄ ⁺ -N)	0-0,42 ^a 0-0,003 ^b	0-0,043 ^b 0,35-2,19 ^c
Fosfato (mg/L PO ₄ -P)	0-0,02 ^a 0-0,0015 ^b	0-0,001 ^b
SRP-Fósforo solúvel (mg/L PO ₄)	---	0-1,65 ^b
Cálcio (mg/L Ca ²⁺)	30-48 ^a	---
Magnésio (mg/L Mg ²⁺)	2,4-7,2 ^a	---
Sódio (mg/L Na ⁺)	23,4-51,1 ^a	---
Potássio (mg/L K ⁺)	2,8-4,5 ^a	---
Ferro total (mg/L Fe _T)	0,72-1,45 ^a	---
Silicato (mg/L SiO ₂)	0,6-3,5 ^a	valores baixos ^b

Fontes: ^a Calado, 1993; dados relativos a Maio-Julho de 1989

^b Gonçalves *et al.*, 1996, dados relativos a 1992-1993

^c Figueiredo *et al.*, 2006; dados relativos a 2000-2001

^d Abrantes *et al.*, 2006; dados relativos a 2000-2001

A ecologia destes lagos está a ser estudada desde os anos 40 (Freitas, 1940; Lacerda, 1945; Nauwerck, 1962; citados em Fernandes, 1999), sofrendo um grande impulso a partir dos anos 90 (Vasconcelos, 1990; Barros *et al.*, 1993; Rodrigues *et al.*, 1993; Vasconcelos *et al.*, 1993, Barros, 1994; Alface, 1994; Ferreira, 1997; Silva *et al.*, 1997; citados em Fernandes, 1999; Calado, 1993; Gonçalves *et al.*, 1996; Pereira, 1997; Antunes, Abrantes & Gonçalves, 2003; Castro *et al.*, 2005; Figueiredo *et al.*, 2006; Abrantes *et al.*, 2006, Abrantes, Pereira & Gonçalves, 2006; Abrantes, 2007). A produção científica, sobre estas zonas húmidas incide sobretudo na comunidade fitoplanctónica, zooplanctónica, piscícola e de macrófitas aquáticas, em estudos de gestão e ordenamento e em modelação ecológica, nas Lagoas das Braças e da Vela, havendo já um conhecimento bastante aprofundado sobre estes assuntos.

A água da lagoa da Vela tem uma profundidade média de cerca de 1 m e amplitudes térmicas entre 10 e 29 °C (tabela 2.4). A transparência da coluna de água é elevada, sobretudo durante o Inverno e a Primavera, nos sectores setentrional e central. O nível de nutrientes dissolvidos (N e P) aumenta do Outono para o Inverno diminuindo drasticamente no final da Primavera (Fernandes, 1999).

Entre 2000 e 2001, a comunidade algal da lagoa da Vela incluía 254 espécies: 144 da divisão Chromophyta e da classe Bacillariophyceae (Diatomáceas), 56 da divisão Chlorophyta (Clorofíceas), 24 da divisão Euglenophyta, havendo ainda 10 Cianofíceas e 11 espécies de outros grupos (Figueiredo *et al.*, 2006). Esta comunidade era dominada de Novembro a Março (meses com níveis elevados de nutrientes e condutividade, sendo a temperatura e os sólidos suspensos reduzidos) por Diatomáceas. De Março a Abril dominaram as espécies da divisão Chlorophyta, um importante grupo de algas verdes, coincidindo com a descida dos níveis de nutrientes e condutividade e a subida de pH e temperatura. No entanto, esta comunidade manteve-se estável de Janeiro a Novembro, com excepção de Julho, altura em que houve um pico de Cianofíceas (*Microcystis aeruginosa*) e sua abundância decresceu. De Maio a Novembro dominam as espécies de Cianofíceas, quando se atingem os níveis mais baixos de nutrientes e de condutividade, ao passo que a temperatura, os sólidos suspensos (TSS) e o pH atingem os valores máximos (Figueiredo *et al.*, 2006).

A vegetação aquática é abundante durante todo o ano preenchendo cerca de 10 a 20% do fundo da lagoa. Encontram-se 50 espécies, de 25 famílias e quatro divisões: Carófitas (*Chara sp.*), Clorófitas (*Spirogyra sp.*), Pteridófitas (*Azolla filiculoids*) e Angiospérmicas (*Cladium mariscus*, *Utricularia gibba andluz*) (Fernandes, 1999). As macrófitas dominantes são *Cladium mariscus* (30 a 50%), *Cynodon dactylon* e *Panicum refens* (10 a 45%), durante todo o ano; *Myriophyllum sp.* (10 a 20%), *Nymphaea alba* (10 a 25%),

durante a Primavera e o Verão e *Chara* sp. (5 a 10%), no final do Verão (Pereira, 1997; Fernandes, 1999).

As espécies de crustáceos (da ordem Cladocera) dominantes são formas de reduzida dimensão, como as Chydoridae e a espécie *Bosmina longirostris*, mas podem existir picos de *Daphnia longispina* durante a Primavera e de *Ceriodaphnia pulchella* no Verão (Antunes, Abrantes & Gonçalves, 2003).

A comunidade de rotíferos da lagoa da Vela, típica de lagos eutróficos, é muito diversificada, sobretudo no Verão, havendo um domínio da espécie *Keratella cochlearis*, com uma grande contribuição de *Polyarthra remata*, *Brachionus* spp. e *Filinia opoliensis* (Castro *et al.*, 2005).

Os peixes são abundantes, tendo sido recolhidas 7 espécies entre Fevereiro de 1993 e Março de 1994, com prevalência de espécies como *Lepomis gibbosus*; *Gambusia holbrooki*, *Micropterus salmoides* e *Cobitis maroccana* (Pereira, 1997; Abrantes *et al.*, 2006).

A água da lagoa das Braças tem uma profundidade média de cerca de 0,7 m e amplitudes térmicas semelhantes às da lagoa da Vela (tabela 2.4). A temperatura, o pH, o oxigénio dissolvido e a quantidade de sólidos suspensos na água, atingem o seu valor máximo nos meses de Verão (Julho-Agosto). Embora a quantidade de nutrientes dissolvidos (N e P) seja sempre relativamente baixa, resultado da sua intensa utilização, isso não pode ser considerado limitativo da produção primária, havendo uma remobilização a partir dos sedimentos de fundo (Calado, 1993).

A comunidade fitoplanctónica estudada no Verão de 1989 por Calado (1993) é constituída por 95 espécies, excluindo-se das contagens o grupo das diatomáceas. Durante o período deste estudo, o grupo dominante era o das Chlorococcales, da divisão Chlorophyta, com 33 espécies; havendo 24 espécies da divisão Euglenophyta; 12 espécies da divisão Cyanophyta e 9 espécies de outros grupos. Embora fora do âmbito deste trabalho refere-se que, entre os organismos mais abundantes, estiveram sempre diatomáceas do género *Melosira* (Calado, 1993).

Na lagoa das Braças um estudo efectuado em 1992 recolheu 10 espécies diferentes de peixes, quatro delas diferentes das recolhidas na lagoa da Vela, sendo as espécies mais abundantes *Cyprinus carpio* L. e *Cobitis maroccana* L. (Pereira, 1997).

Das 22 espécies de aves identificadas nas lagoas das Braças e da Vela (Pereira, 1997), três são espécies de interesse comunitário cuja conservação requer a designação de ZPE (zonas de protecção especial) (segundo o D.L. n.º 49/2005), sendo uma delas prioritária (*Aythya nyroca* ou zarro-castanho).

2.6 Perspectiva histórica da evolução das lagoas

O intuito de conhecer a evolução histórica da região das lagoas de Quiaios surgiu quando se procurou integrar e interpretar a informação recolhida sobre a sedimentologia, a hidrogeologia, a cronologia e a paleogeografia desta zona. Modificações recentes, ocorridas nos últimos séculos, em assuntos tão diversos como a acumulação de sedimentos, a rede de drenagem, a ocupação do solo e as actividades antrópicas, poderiam explicar algumas das observações actuais. Procuraram-se então algumas referências, sobretudo cartográficas, na Biblioteca Nacional de Portugal, no Instituto Geográfico do Exército, no Instituto Geográfico Português, na Biblioteca Digital Hispânica e em Bibliotecas da Universidade de Coimbra e da cidade da Figueira da Foz.

A primeira referência cartográfica encontrada que contém as quatro lagoas, data de meados do século XIX (1866) e é feita na Folha nº13 da *Carta Chorographica de Portugal*, redigida e gravada na escala 1/100.000 no *Instituto Geographico*, anterior Direcção-Geral dos Trabalhos Geodésicos do Reino, sob a direcção de Filipe Folque (figura 2.8).

No entanto, já entre 1860 e 1865 Filipe Folque havia cartografado as lagoas da Vela e dos Teixoeiros, na *Carta Geographica de Portugal*, “... destinada especialmente para sobre ella ser representado o reconhecimento geológico do reino...”, que é considerada o primeiro mapa moderno de Portugal (Dias, 2006), criado após a portaria de 5 de Maio de 1859, que considerou ser “...de grande utilidade pública a existência de uma carta geográfica do reino, em que pelo menos sejam representados com exactidão o regime das águas e a posição relativa das povoações ...para satisfazer às condições essenciais de um reconhecimento geológico...”. A figura 2.9 apresenta excertos desta carta, cortada e colada sobre tela, onde foram representados os levantamentos geológicos, que Carlos Ribeiro e Joaquim Nery Delgado efectuaram desde 1857 e que deram origem à primeira Carta Geológica de Portugal, publicada em 1876, na escala 1/500 000.

Como todas as lagoas tinham sido cartografadas uma década antes e foram-no de novo na carta geológica publicada em 1899 (figura 2.10), é provável que a sua ausência seja devida ao uso do suporte topográfico diferente.

À data, as lagoas formavam dois grupos: o grupo norte que incluía as lagoas Salgueira e Teixoeiros, cuja drenagem era efectuada aproximadamente de SE para NW, através de uma linha de água que desaguava junto aos Palheiros da Tocha e o grupo sul que juntava as lagoas dos Três Braços (Braças) e da Vela, cuja drenagem era efectuada para SE, através da Vala do Zurrão até ao Rio Foja. Nesta altura ainda não existia a vala da Lavadia, apenas o topónimo - Lavadia da Vela – junto ao mar, entre os Palheiros da Tocha e a Costa Nova (actual Costinha) (figuras 2.8 a 2.11).



Figura 2.8 – Excerto adaptado da folha nº13 da Carta Chorographica de Portugal (Folque, 1866).
Nota: escala gráfica e orientação do Norte Cartográfico introduzidas pela autora.



Figura 2.9 – Excertos da Carta Geographica de Portugal (Folque, 1865), com pormenores do reconhecimento geológico efectuado “sobre ella”.

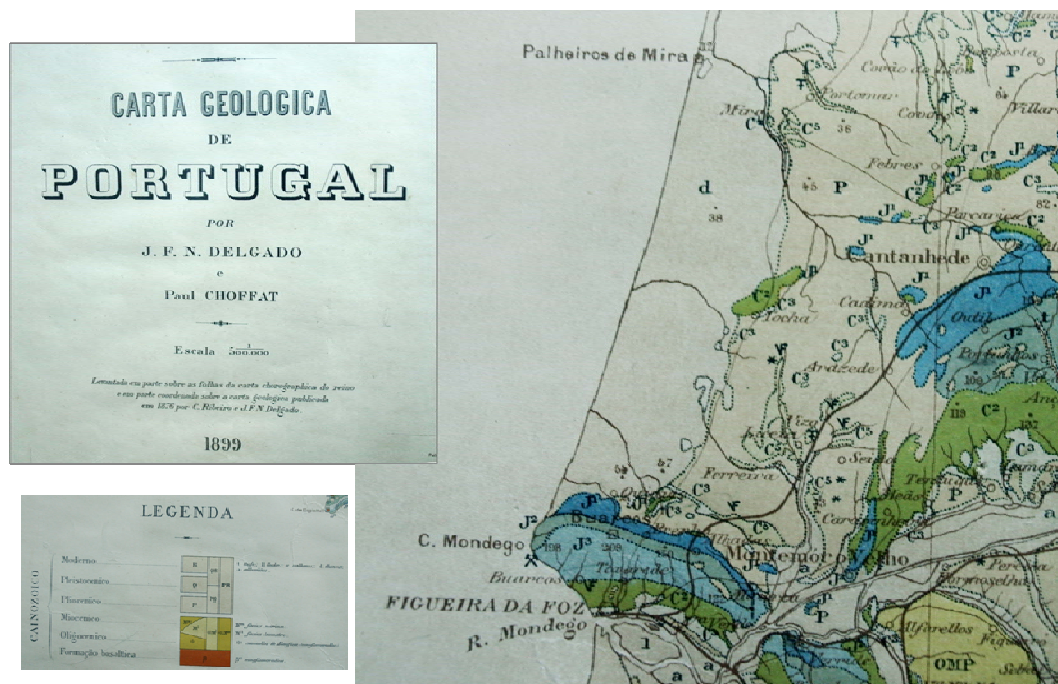


Figura 2.10 – Excertos de imagens da Carta Geológica de Portugal, publicada em 1899, com levantamentos efectuados por Nery Delgado e Paul Choffat.

Após esta data, a representação das lagoas como conjunto é muito variável, dependendo da finalidade da carta e da sua escala. As cartas corográficas ou topográficas com escalas superiores a 1/100 000 representam-nas todas, mas outras cartas com outras finalidades e com escalas inferiores, apresentam diferenças.

Em 1935, foi editada uma nova Carta Corográfica de Portugal pelo Instituto Geográfico e Cadastral, desta vez na escala 1/50 000 (figura 2.11). Nesta época, na fase imediatamente anterior à florestação, é já visível o início da construção das estradas florestais. Ainda não existe a Vala da Lavadia e a drenagem da zona permanece inalterada relativamente a 1860. A Lagoa das Braças (Lagoa dos Braços) é a única lagoa que apresenta um esboço da batimetria, com um declive mais acentuado do bordo oeste. A forma das lagoas mantém-se semelhante, mas sem o contorno ondulado e as curvas batimétricas concêntricas, semelhantes em todas as lagoas, que aparecem na carta de 1866.



Figura 2.11 – Detalhe da folha 19-A, da Carta Corográfica de Portugal (I.G.C., 1935).

Nota: escala gráfica e orientação do Norte Cartográfico introduzidas pela autora.

Nesta região há indícios da presença humana desde muito cedo, sendo citados os instrumentos do Paleolítico inferior, médio e superior, encontrados em localidades próximas da zona em estudo. Merecem ainda relevo os vestígios de monumentos megalíticos, que foram encontrados no século XVIII, entre Quiaios e o oceano, por pessoas que descobriram restos de esqueletos humanos sob areias de duna, expostos por altura de uma tempestade (Barbosa *et al.*, 1988).

Do Neolítico e do Calcolítico existem evidências de ocupação humana, como são exemplo os espólios recolhidos nas estações arqueológicas de Várzea dos Lírios, Junqueira e de outros locais da serra da Boa Viagem e das Alhadas. A norte da serra da Boa Viagem, na transição para a Gândara, merece destaque a extensa estação de superfície de Casal do Arneiro, de idade Calcolítica (Callapez & Soares Pinto, 2003).

O nome de Quiaios, provavelmente de origem semítica ou fenícia, é mencionado em documentos do século IX e a sua origem parece estar ligada à actividade piscatória. Em 1143, D. Afonso Henriques doou parte da vila ao Mosteiro de Santa Cruz de Coimbra, tendo esta recebido foral, durante o reinado de D. Manuel I (1514). No entanto, há indícios de que só no século XVIII, a ocupação humana se estendeu até à faixa arenosa entre Quiaios e Mira (Cravidão, 1988).

No século XIX, os povoados mais próximos localizavam-se a este das lagoas, numa zona próxima da única estrada existente ou ao longo de caminhos. A quantidade de fogos por núcleo populacional era muito reduzida, mas os topónimos existentes eram praticamente os actuais: Ervedal, Camarção, Castanheiro, Loureiro, Bom Sucesso e Lomba do Poço Frio (figura 4). Segundo Fernandes (1999), a zona agrícola correspondia a cerca de 17% da área total da bacia drenante da Lagoa da Vela, sendo a área ocupada por floresta e matos de cerca de 75%. A actividade agrícola, associada à pecuária, era a principal ocupação da população da Gândara, mantendo-se assim até meados do século XX e só diminuindo de importância nas décadas de 70 e 80 (Cravidão, 1988).

A história desta zona está também intimamente ligada à floresta que existia desde há muito, mas que se encontrava, no início do século XX, reduzida a uma área mínima praticamente restrita ao Pinhal do Povo, em Quiaios.

Na zona centro-litoral de Portugal, as matas reais do Porto até Setúbal fragmentaram-se sob a pressão da exploração, sobretudo a partir do século XIV (Devy-Vareta, 1985). Embora a floresta tivesse recuado desde os arroteamentos do século XIII “...nas áreas perto do litoral ainda havia maciços florestais extensos, alguns coutados pelo rei ...como o pinhal de Quiaios ... outros por mosteiros”.

O espaço agrícola começou então a conquistar espaço. No Baixo Mondego “...os contratos de aforamento atestam o alargamento do espaço agrícola desde 1390...” e “...após 1450, o mosteiro de Santa Cruz de Coimbra põe em cultura cerca de 10 000 hectares ...” o que indica a dimensão do esforço feito na agricultura nessa época (Devy-Vareta, 1986).

Outros factores que, segundo este autor (1986), favoreceram decisivamente a desflorestação entre os séculos XV e XVI, foram “...o desenvolvimento do pastoreio ...”, com as zonas das gândaras dos distritos de Aveiro e Coimbra a constituírem áreas de transumância de Inverno, “... os efeitos dos fogos e queimadas em todo o país, e as crises de subsistência, frequentes nos finais do século XV.

Neste contexto, a depleção da floresta era evidente nos séculos XVI e seguintes, o que implicou a publicação de leis para estimular a plantação de árvores e, a partir do século XVII, a legislação sobre reflorestação tornou-se abundante, mas a percepção real do problema só existiu a partir do século XIX (Devy-Vareta, 1986).

A criação dos Serviços Florestais, em 1886, após a extinção da Administração Geral das Matas fundada em 1824, deu um novo impulso à gestão florestal pública, sobretudo virado para a reflorestação das serras e das dunas, cuja fixação e arborização, decretada em 1802, pouco tinha avançado (Devy-Vareta, 2003).

É apenas no início do século XX que por acção do administrador dos Serviços Florestais Manuel Alberto Rei, a reflorestação das dunas de Quiaios foi realizada, após várias tentativas de sementeira efectuadas anteriormente. Iniciou-se no ano económico de 1924-1925, com a sementeira em redor das lagoas das Braças e da Vela, continuando de 1926 a 1935 com a sementeira de duas áreas em redor do Pinhal do Povo, tendo ficado para o ano de 1936 o alargamento às restantes zonas, em grande escala (Pestana, 1926). Nesta fase construíram-se variadas infra-estruturas, como valas de drenagem, estradas florestais, linhas telefónicas e casas para guardas. No final de 1938 havia já cerca de 70% da área arborizada faltando apenas 2294 hectares na parte norte.

Em fotografias aéreas da área, datadas de 1958, aparece já a Vala da Lavadia, as estradas florestais estão concluídas e existem aceiros, embora pouco visíveis devido à falta de contraste com a área arborizada. As formas das dunas são ainda muito visíveis devido ao reduzido crescimento das árvores.

Em meados do século XX a área agrícola duplicou em relação ao século anterior (Fernandes, 1999), o mato deu lugar ao pinhal e a zona oriental das lagoas (Braças, Vela e Salgueira) foi ocupada por campos cultivados, ficando a área da lagoa reduzida em 5 hectares (de 75 para 70 ha). As zonas habitacionais constituíam cerca de 2,3% da área total.

Em 2006, o Plano Sectorial da Rede Natura 2000 (ICN, 2006) indicava para o sítio das “Dunas de Mira, Gândara e Gafanhas” percentagens entre 60 e 80% de solo ocupado com floresta, com 53% de pinheiro bravo, 1% de carvalho e 3% de outras folhosas.

Capítulo 3

**Método electromagnético e geo-radar
na definição das unidades hidrogeológicas**

3.1 Método electromagnético

O termo “método electromagnético” é aplicado a técnicas que utilizam campos electromagnéticos, produzidos na superfície do terreno por antenas ou pela circulação de uma corrente alterna em cabos ou bobines. O comportamento das ondas electromagnéticas geradas e o modo como se propagam entre a sua fonte emissora e um receptor, que mede a condutividade (σ) ou a resistividade (ρ) eléctricas, permite a utilização destes métodos em prospecção geofísica.

O princípio físico teórico que lhes está subjacente é o seguinte: sob a influência de um campo electromagnético, variável no tempo, são induzidas correntes eléctricas em qualquer condutor que se encontre na sua vizinhança (fenómeno conhecido por indução electromagnética). Porque o efeito de indução, de um pequeno corpo condutivo num meio pouco condutivo, é mais evidente quando se mede a condutividade do que a resistividade, os métodos electromagnéticos tendem a medir condutividades eléctricas (σ), em mhos/m ou, mais correctamente, siemens/metro (S/m) (Milsom, 2003).

Quando se gera à superfície do terreno um campo electromagnético (primário) são induzidas correntes eléctricas em qualquer corpo condutor que se encontre num determinado raio de acção, provocando neste um campo electromagnético (secundário), oposto ao primário, e cuja magnitude e intensidade dependem das propriedades do terreno (figura 3.1). A relação entre estes campos permite pôr em evidência anomalias, que tornam perceptíveis as estruturas geológicas nos casos em que existam diferenças de condutividade entre os níveis litostratigráficos presentes.

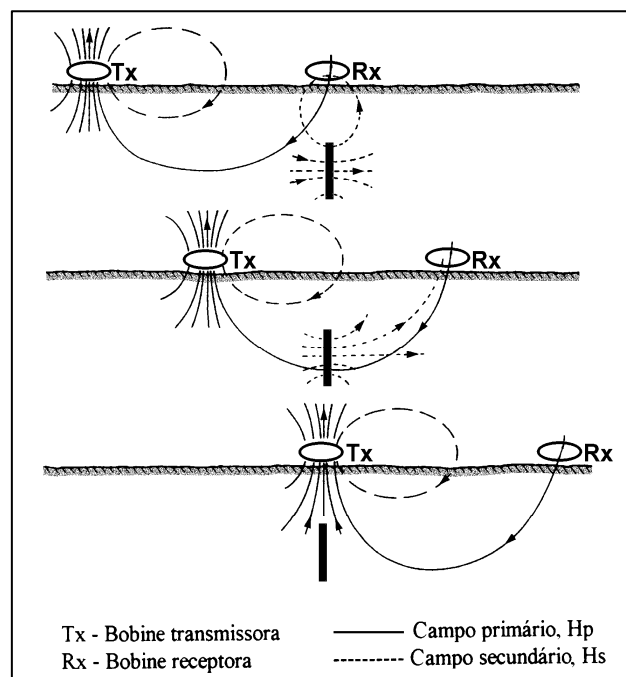


Figura 3.1 – Campos primário (H_p) e secundário (H_s) criados para diversas posições das bobines transmissora (Tx) e receptora (Rx) relativamente ao corpo condutor (segundo Figueiredo & Catarino, 2001).

Uma vez que existe um desfasamento dos campos primário e secundário, devido a fenómenos de indução associados às correntes eléctricas durante o trajecto, a relação entre estes dois campos ao atravessarem a bobine receptora permite obter valores de condutividade eléctrica aparente para os terrenos atravessados. Os valores obtidos dependem da distância entre bobines, da sua orientação, da frequência do campo indutor e da condutividade do meio em que circulam as correntes induzidas.

A profundidade de penetração de um campo electromagnético gerado à superfície é função da frequência do campo criado e da condutividade do meio no qual se propaga. A amplitude de um campo criado vai sendo atenuada durante a sua passagem pelo meio e diminui exponencialmente com a profundidade.

A penetração efectiva desse campo, que nos indica a profundidade máxima de investigação de um método electromagnético, pode ser determinada através da equação 3.1 (Keary & Brooks, 1984):

$$h = \frac{100}{\sqrt{\sigma \cdot f}} \quad (\text{equação 3.1})$$

em que h é a profundidade de penetração efectiva, em metros, σ é a condutividade do meio, em S/m, e f é a frequência do campo electromagnético, em Hz.

A distribuição de um campo electromagnético, num meio geológico particular, resulta de vários factores sobretudo ligados à sua dependência do tempo e às características mineralógicas, petrológicas e estruturais do meio em si.

A grande maioria dos minerais constituintes das rochas são maus condutores, com excepção de alguns minerais (como por exemplo hematite, magnetite, pirrotite, pirite, grafite e outros) que, em quantidades consideráveis, podem fazer elevar o valor da condutividade das rochas. Com efeito, a condutividade total das rochas (e dos solos) tem uma contribuição importante da condutividade electrolítica, isto é, aquela que é criada pelas soluções (água e sais dissolvidos) que ocupam os seus vazios, sendo a contribuição dos constituintes mineralógicos da rocha bastante menor.

De acordo com McNeill (1980), os factores que mais influenciam este tipo de condutividade no terreno são:

- a porosidade – forma, tamanho dos poros e suas interconexões;
- a percentagem de vazio ocupada pela água (grau de saturação);
- a concentração e natureza do electrólito;
- temperatura e estado físico da água nos poros;
- quantidade e composição dos colóides do solo.

Assim, os valores de condutividade obtidos para a água ou para diversos materiais geológicos podem ser bastante diferentes (figura 3.2).

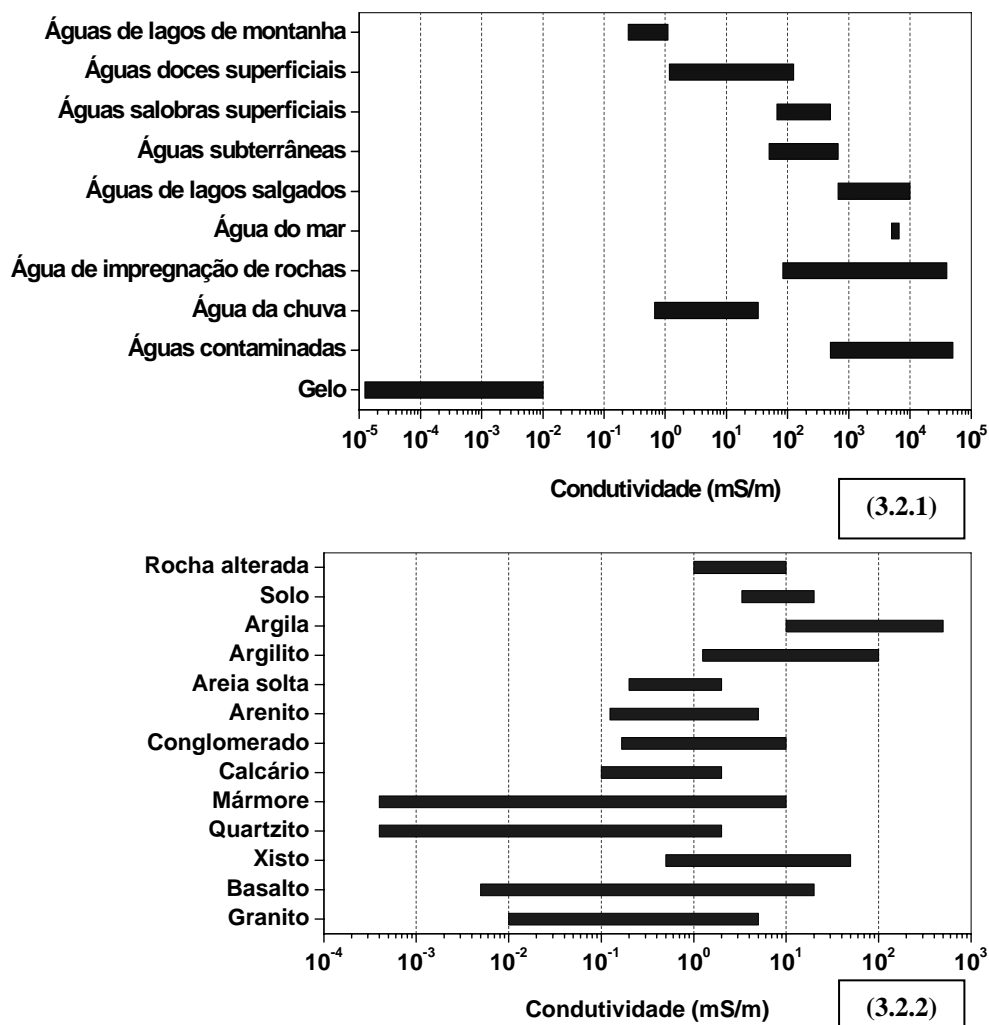


Figura 3.2 – Amplitudes dos valores de condutividades no caso de águas de diversas proveniências (3.2.1) e para diversos tipos de rochas (3.2.2) (adaptado de Orellana, 1972; Telford *et al.*, 1976; Keary & Brooks, 1984; Parasnis, 1997; Reynolds, 1997).

O uso de métodos electromagnéticos é cada vez mais corrente, tendendo estes a substituir, sempre que possível, os métodos eléctricos, devido à rapidez na recolha das medidas de campo e à facilidade de operação dos aparelhos de medida, reflectindo-se estas duas vantagens nos aspectos económicos (Figueiredo & Catarino, 2001). Estes métodos têm grande aplicação em zonas onde as camadas superficiais sejam muito resistivas, precisamente onde os métodos eléctricos de resistividade são de difícil execução, como no caso de areias de dunas (soltas e secas) que constituíam a cobertura da zona onde foi efectuado este estudo.

3.1.1 Recolha de dados de condutividade eléctrica aparente

A recolha de dados de condutividade eléctrica aparente foi efectuada com os condutímetro Geonics EM31 e EM34, de acordo com o descrito no capítulo 1.2. Tomaram-se as 8 leituras (possíveis para as configurações utilizadas com os dois condutímetro) num total de cerca de 60 km e 1500 pontos de medida, ao longo de perfis com direcções aproximadamente WNW-ESE e NNE-SSW. A marcação dos perfis foi feita preferencialmente ao longo de corta-fogos, estradas e caminhos, com alinhamentos rectilíneos e livres de vegetação, que poderiam ser paralelos ou perpendiculares às principais estruturas geológicas e às principais direcções de fluxo de água subterrânea. Os perfis foram numerados de norte para sul e de ocidente para oriente, segundo a sua direcção dominante (tabela 3.1 e figura 3.3).

Os pontos de medida foram alvo de levantamento topográfico por GPS (Garmin® GPS60), tendo sido utilizadas médias de pelo menos 30 leituras por ponto, com um erro planimétrico estimado (por leitura) em cerca de 2 m. O *software* MapSource® foi utilizado na transferência de coordenadas para ficheiros de dados georreferenciados, no sistema de coordenadas projectadas UTM Fuso 29 WGS84.

Os perfis com direcção aproximada WNW-ESE foram prolongados até à praia, com excepção do perfil mais meridional (EM-2CFSB). Na praia foram efectuadas leituras com os condutímetro Geonics EM31 e EM34, nas medidas mais superficiais (com espaçamento entre bobinas de 10 m e 20 m), de modo a obter todas as medidas possíveis até à zona de influência das marés. Os valores de condutividade eléctrica aparente só ultrapassaram o valor de 300 mS/m (380 mS/m no perfil EM-NNF e 340 mS/m no perfil EM-PTB) na zona da praia e nas medidas mais superficiais, efectuadas com o condutímetro EM31. Devido ao grande incremento de condutividade eléctrica aparente nestas zonas específicas os valores não foram integrados nos perfis da figura 3.3, no entanto foram analisados.

Os valores de condutividade eléctrica aparente obtidos no prolongamento do perfil EM7-CC até à estrada nacional EN109, em Camarçã, não foram integrados no perfil devido à existência de ruído electromagnético.

Tabela 3.1 – Características dos perfis de prospecção electromagnética efectuados entre Tocha, a norte, e Quiaios, a sul.

Designação do perfil	Comprimento (m)	Pontos de medida (N)	Direcção aproximada	Observações
EM1-PTB	6372	162	N80°W	Praia da Tocha - Berlengas (3-100 mS/m)
EM2-MRE	2610	66	N50°W	Morros para E (1,5-90 mS/m)
EM3-MRW	5840	146	N70°W	Morros para W até ao mar (3-32 mS/m)
EM4-BS	760	20	N60°W	Bom Sucesso – Lagoa da Vela (6-46 mS/m)
EM5-NNF	5905	148	N70°W	Corta-fogo a W do Bar Nenúfar (3-28,5 mS/m)
EM6-VLV	3168	73	N70°W	Corta-fogo próximo à vala da Lavadia (2,5-25 mS/m)
EM7-CC	7160	231	N70°W	Praia da Costinha - Camarção (1,5-22 mS/m)
EM8-2CFSB	4948	115	N70°W	2º Corta-fogo a sul das Braças (1,6-25 mS/m)
EM9-EC	9500	239	N20°E	Estrada florestal a ocidente (1-34 mS/m)
EM10-ELN	6600	195	N20°E	Estrada florestal a E, para norte da lagoa das Braças (4-25 mS/m)
EM11-ELS	1520	39	N40°E	Estrada florestal a E, para sul da lagoa das Braças (3-20 mS/m)
EM12-BE	1800	46	N40°E	Caminho a E da lagoa das Braças (2,2-33 mS/m)
Total	56183	1480		

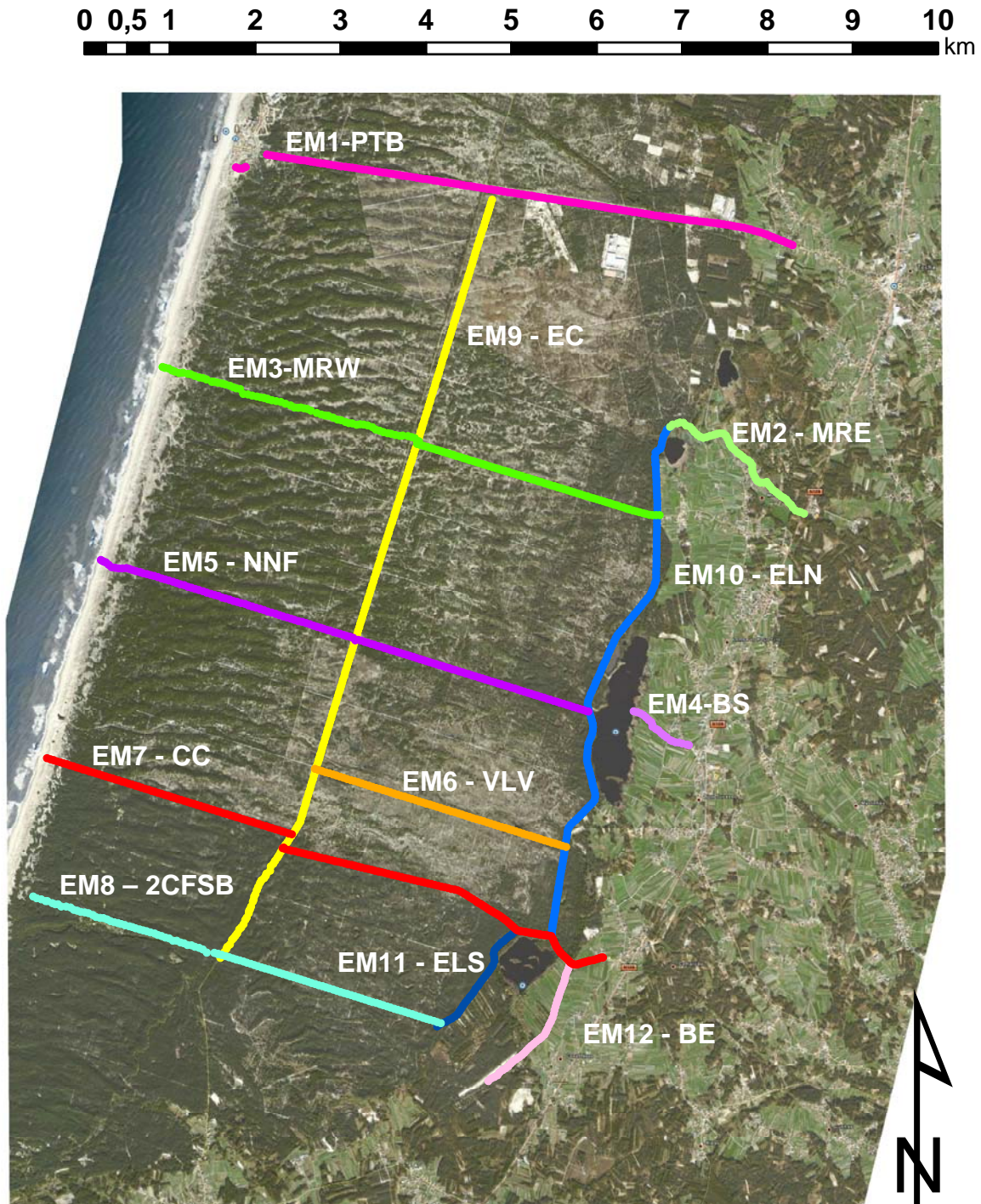


Figura 3.3 – Localização dos perfis onde foram obtidos os valores de condutividade eléctrica aparente.

Imagem de fundo criada por montagem de imagens do Goggle Earth (2007).

Nota: Os perfis foram numerados de N para S e de W para E para facilitar a sua análise: EM1-PTB, da praia da Tocha a Berlengas, a rosa forte; EM2-MRE, de Morros para E, a verde-claro; EM3-MRW, de Morros para W, a verde; EM4-BS, em Bom Sucesso, a lilás; EM5-NNF, para oeste do restaurante Nenúfar, a roxo; EM6-VLV, no corta-fogo paralelo à vala da Lavadia, a cor-de-laranja; EM7-CC, de praia da Costinha a Camarçã, a vermelho; EM8-2CFSB, no 2º corta-fogo a sul da lagoa das Braças, a azul-turquesa; EM9-EC, na estrada paralela à costa, a amarelo; EM10-ELN, na estrada florestal das lagoas a norte, a azul; EM11-ELS, na estrada florestal das lagoas a sul, a azul-escuro; EM12-BE, no caminho a oriente da Lagoa das Braças, a rosa claro.

3.1.2 Tratamento dos dados

As leituras, obtidas com os condutivímetros Geonics EM31 e EM34, correspondentes às profundidades de investigação indicadas na tabela 1.1, foram colocadas em folhas de cálculo Excel® (anexo 3.1). A partir destes ficheiros, os dados foram tratados graficamente efectuando curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) *versus* distância (m), para as oito configurações utilizadas e em cada um dos 12 perfis referidos na figura 3.3 (anexo 3.2).

Os dados foram organizados em secções de HDs e VDs (Figueiredo, 2006) conforme a tabela 1.2 e a figura 3.4 (anexo 3.1).

Profundidade de investigação ¹ (m)	Configuração utilizada	Secções ²		MÉDIA DE HDs E VDs
		HDs	VDs	
2,2	EM31 – HD 3,66 m	X	X	
4,6	EM31 – VD 3,66 m	X	X	
5,9	EM34 – HD 10 m	X	X	
11,8	EM34 – HD 20 m	X		
12,6	EM34 – VD 10 m		X	
23,5	EM34 – HD 40 m	X		
25,3	EM34 – VD 20 m		X	
50,6	EM34 – VD 40 m	X	X	

Figura 3.4 – Profundidades de investigação aparentes utilizadas nas secções de HDs e VDs (fontes: ¹Ogilvy *et al*, 1991; ²Figueiredo, 2006).

Com o *software Surfer*® 8.0, efectuaram-se então pseudosecções dos valores de HD e VD conforme os valores que constam do anexo 3.1. A malha utilizada foi de 10 a 20 m em escala horizontal (metade do espaçamento entre pontos de medida) e 0,5 m em escala vertical. As linhas de contorno da condutividade eléctrica aparente foram determinadas por triangulação com interpolação linear.

A pseudosseção com a média dos valores de HDs e VDs foi executada com o *software Surfer*® 8.0, no comando *Math*, que efectua operações matemáticas entre malhas (*grids*) (Figueiredo, 2006).

Os valores da condutividade eléctrica aparente na totalidade da área estudada, foram então sujeitos a uma análise de estatística exploratória, recorrendo ao *software SPSS*® 16.0. A distribuição estatística desses valores pode ser analisada a partir da tabela 3.2 e do histograma presente na figura 3.5.

Tabela 3.2 – Parâmetros estatísticos dos valores de condutividade eléctrica aparente, obtidos nos perfis EM1 a EM12.

		HD (mS/m)	VD (mS/m)	MedHDVD (mS/m)
N	Válidos	8664	8664	8664
	Excluídos	0	0	0
Média		11,577	11,186	11,3813
Erro padrão da média		0,0884	0,0821	0,08388
Mediana		9,00	8,90	8,900
Desvio padrão		8,2288	7,6465	7,80716
Mínimo		1,5	1,5	1,60
Máximo		100,0	100,0	100,00
Percentis	1	3,20	3,20	3,20
	5	4,50	4,50	4,60
	10	5,00	5,00	5,00
	25	6,30	6,40	6,50
	50	9,00	8,90	8,90
	75	14,50	13,50	14,00
	90	21,00	20,50	21,00
	95	26,00	25,00	26,00
	99	43,00	40,00	39,675
	99,5	59,35	50,00	54,00
99,9	82,00	74,335	74,00	

Os valores de condutividade eléctrica aparente obtidos em todas as medidas integradas nos perfis da figura 3.3, situaram-se entre um mínimo de 1,5 mS/m e um máximo de 100 mS/m, apresentando uma média de 11 mS/m e um desvio padrão de 8 mS/m. A distribuição apresenta assimetria fortemente positiva (figura 3.5), onde 90% dos valores de condutividade eléctrica aparente são inferiores a 21 mS/m e apenas 10% superiores a este valor e inferiores a 100 mS/m.

Os valores de condutividade eléctrica aparente mais elevados encontram-se apenas nos perfis situados a NE da zona estudada, representando cerca de 5 a 10% da área total e revelando certamente um contexto geológico distinto (tabela 3.1 e figura 3.7).

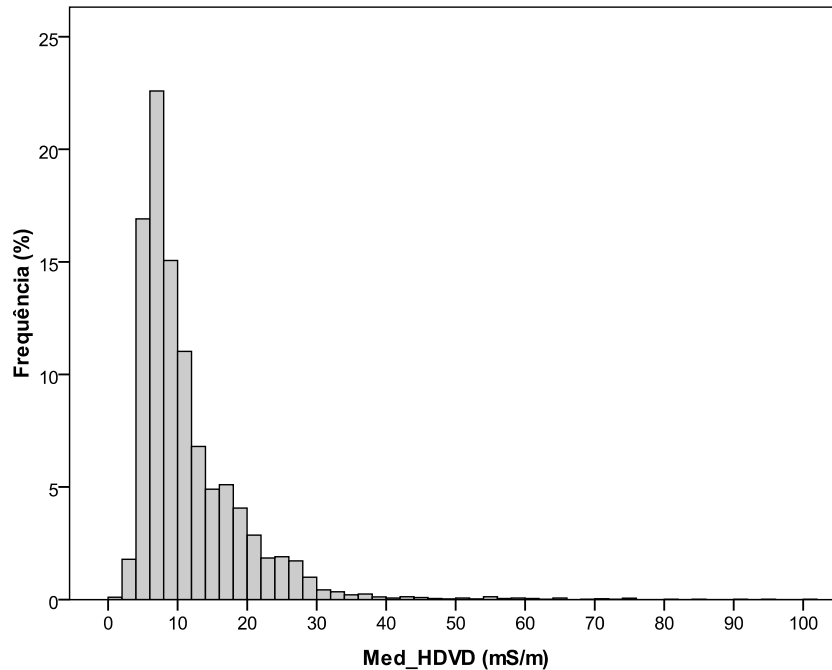


Figura 3.5 – Distribuição dos valores de condutividade eléctrica aparente (MedHDVD).

Uma distribuição com estas características gera problemas quando se pretende aplicar uma escala cromática aritmética, que seja comum a todas as pseudosseções. Para ultrapassar esta dificuldade foi idealizada uma escala cromática baseada nos percentis da distribuição dos valores de condutividade eléctrica aparente.

A escala cromática utilizada foi definida pela atribuição da cor amarela ao valor mínimo (1,5 mS/), da cor laranja ao percentil 25 (6,5 mS/m), da cor vermelha ao percentil 50 (9 mS/m), da cor roxa ao percentil 75 (14 mS/m), da cor azul para o percentil 90 (21 mS/m), da cor azul escuro ao percentil 95 (26 mS/m); da cor azul ciano ao percentil 99,5 (60 mS/m) e, por fim, da cor verde ao valor máximo (100 mS/m).

Construiu-se assim uma escala cromática que reforçou os valores mais frequentes e realçou as anomalias dentro desse intervalo do espectro, dando aos valores extremos um sector do espectro de cor diferente (azul ciano ou verde) (figura 3.6). Esta escala deu ainda preponderância aos valores mais baixos, marcando o primeiro intervalo de 0 a 25 %, para colocar em evidência as areias soltas e secas, que constituem a cobertura eólica da zona abrangida pelos levantamentos electromagnéticos.

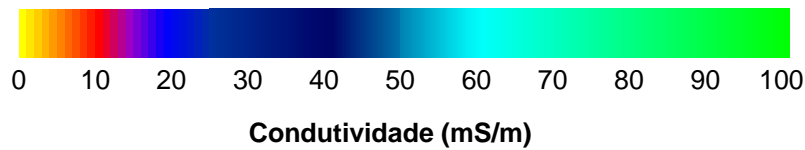
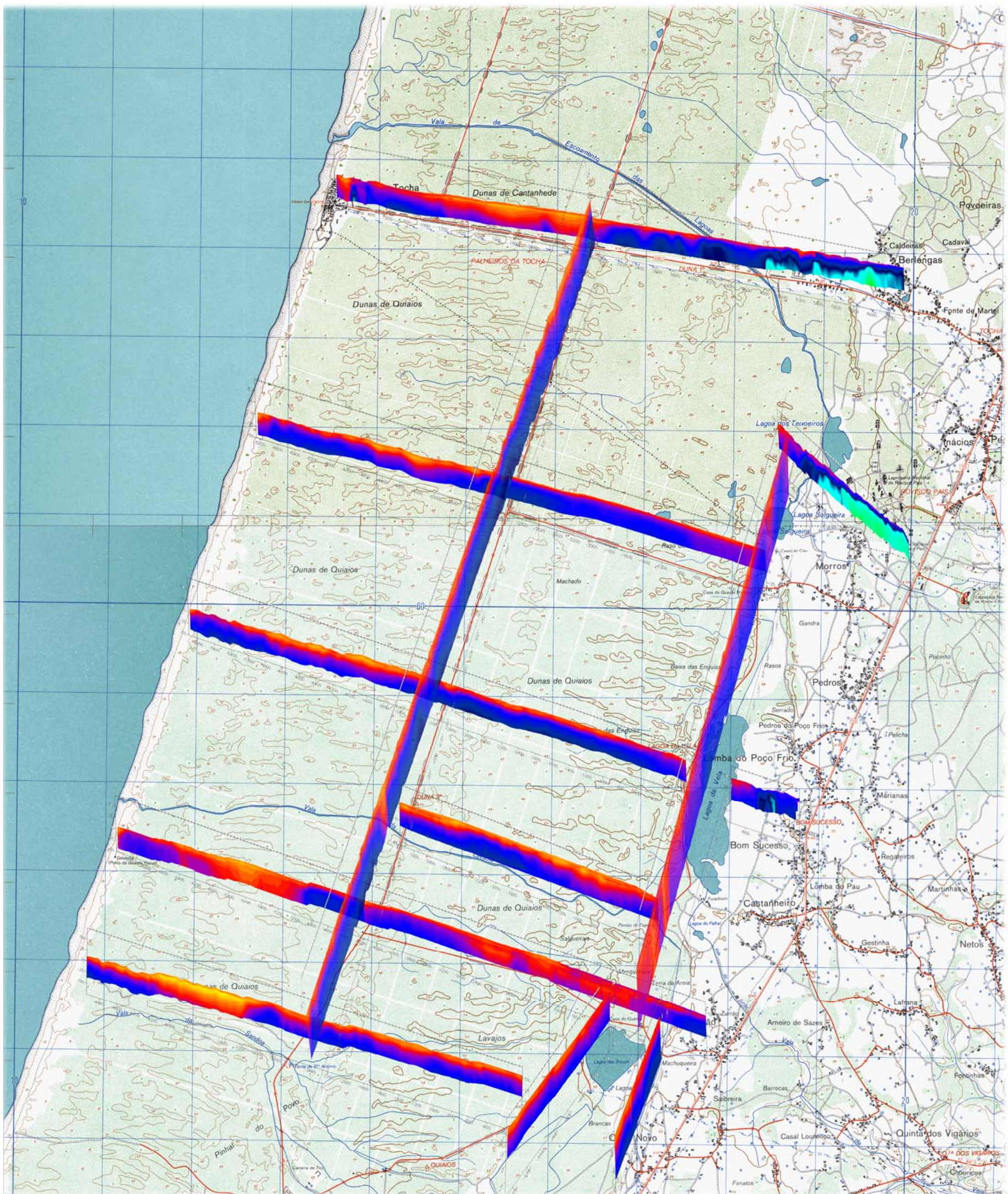


Figura 3.6 – Escala cromática para intervalos de contorno, comum a todas as pseudosseções.

Os valores de condutividade eléctrica aparente, determinados pelo Método das Médias (Figueiredo, 2006), foram colocados em mapas de contorno cujos intervalos foram coloridos de acordo com a escala da figura 3.6. As pseudosseções assim criadas foram projectadas na figura 3.7 com um exagero da escala vertical de 6 vezes. Este exagero foi efectuado de maneira a que se pudessem reunir os perfis numa única figura. Posteriormente serão analisados os perfis em escala normal (anexo 3.3), isto é, sem exagero vertical, um a um.

O método das médias tem, como limitação, o facto de os resultados obtidos continuarem a ser qualitativos, gerados a partir dos dados de condutividade e profundidade aparentes, mas apresenta a grande vantagem de possibilitar a visualização da distribuição dos valores da condutividade quer em profundidade quer lateralmente.



Nota: As coordenadas referem-se à quadrícula quilométrica UTM – fuso 29 – Datum Europeu 1950.

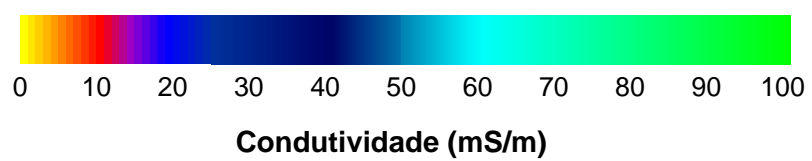


Figura 3.7 – Perfis de condutividade aparente (mS/m) projectados na área envolvente das lagoas.
Nota: O fundo da imagem foi adaptado das folhas 217 e 228 da Carta Militar de Portugal 1:25000 (IGE, 2001).

3.1.3 Interpretação de resultados

A interpretação dos resultados fez-se com recurso aos mapas de contornos obtidos com a aplicação do Método das Médias (Figueiredo, 2006), cujas imagens em escala não distorcida se encontram no anexo 3.3. Estes mapas foram também confrontados com as curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m), para as oito configurações utilizadas, ao longo dos 12 perfis efectuados (anexo 3.2). Para que se possam visualizar as pseudossecções individualmente, apresenta-se ainda para cada perfil, uma imagem interpretada cuja escala vertical é idêntica à escala horizontal.

As discontinuidades, apontadas nos subcapítulos seguintes, são discontinuidades de condutividade eléctrica aparente. As estruturas geológicas poderão não ser coincidentes com as discontinuidades geofísicas. Estas podem corresponder a heterogeneidades de condutividade eléctrica aparente atribuíveis às unidades sedimentares, aos fluidos intersticiais, à existência de zonas de fractura, entre outros aspectos.

3.1.3.1 EM1 – PTB (Praia da Tocha-Berlengas)

O perfil EM1 – PTB tem cerca de 6400 m de comprimento e uma direcção N80°W, sendo o perfil mais setentrional executado na área envolvente das lagoas de Quiaios. Os valores de condutividade eléctrica aparente obtidos situam-se entre 3 mS/m e 100 mS/m, estando os valores mais elevados concentrados no extremo oriental do perfil (figuras 3.8 e 3.9).

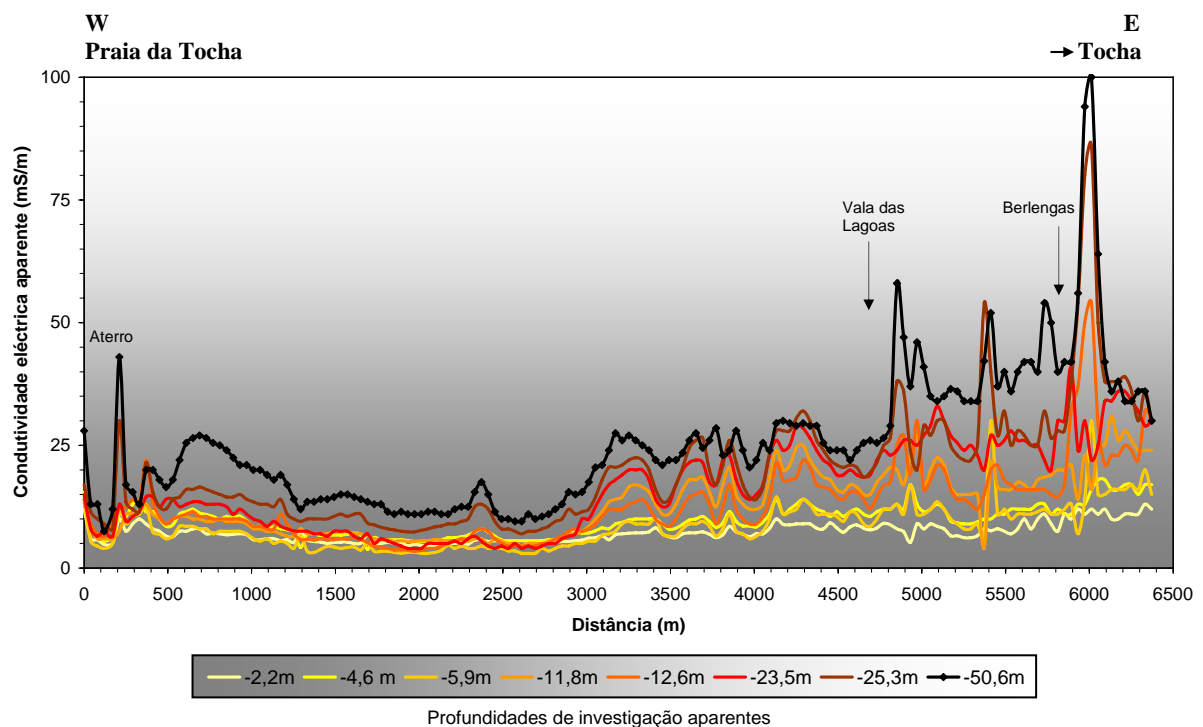


Figura 3.8 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) *versus* distância (m) para o perfil EM1–PTB. Nota: Localização do perfil EM1–PTB, a rosa forte, na figura 3.3.

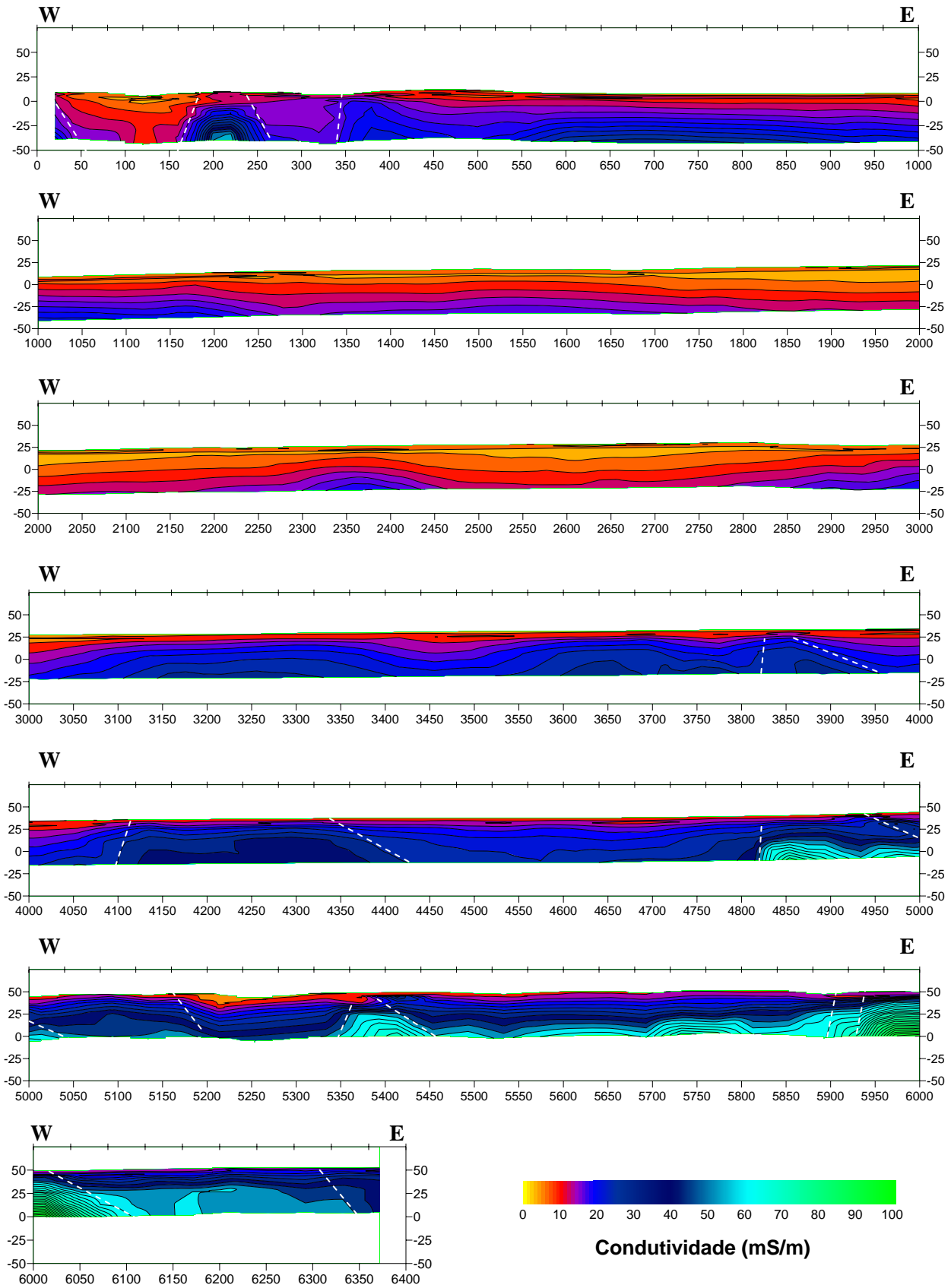


Figura 3.9 – EM1 – PTB - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas. Nota: Localização do perfil EM1 – PTB na figura 3.3 (rosa forte). Distâncias e elevações em metros.

O perfil EM1-PTB apresenta valores de condutividade eléctrica aparente que diminuem desde a zona da antepraia, atingindo valores mínimos a cerca de 100 m e mantendo-se relativamente baixos até aos 200 m, numa extensão que corresponde ao cordão dunar primário.

Nota-se então, uma zona de condutividade eléctrica aparente elevada, delimitada por duas superfícies de descontinuidade inclinadas numa zona onde existe um aterro sobre o qual foi construído um edifício. A subida dos valores de condutividade verifica-se para todas as profundidades de investigação aparentes utilizadas, embora correspondam apenas a um ponto de medida. As superfícies de descontinuidade apresentam inclinações de cerca de 70°, para ocidente e para oriente (figura 3.9).

A 350 m da origem do perfil parece existir de novo uma superfície de descontinuidade com inclinação de cerca de 80° para ocidente, semelhante à primeira, havendo depois novamente uma subida por volta dos 550 m. Estas superfícies são visíveis na figura 3.8 por saliências nas curvas de condutividade e parecem promover a descida dos blocos ocidentais (figura 3.9).

Nesta zona do perfil observa-se uma camada de condutividade relativamente elevada que constitui a base do registo electromagnético, deixando apenas uma camada mais superficial relativamente pouco condutora, que terá cerca de 10 m, mas cuja espessura aparente vai aumentando progressivamente para oriente. Essa camada é relativamente constante até cerca de 1250 m. Desde esse ponto até aos 2850 m a camada mais condutora praticamente desaparece, sendo revelada apenas por um ligeiro incremento das condutividades aparentes na base do perfil, visível para as curvas de -25,3 e -50,6 m da figura 3.8. A distribuição dos valores de condutividade eléctrica aparente, observados nesta zona da pseudosecção da figura 3.9, parece compatível com a existência de paleorrelevos de formas onduladas.

Aproximadamente aos 3600 m, a distribuição dos valores de condutividade eléctrica aparente altera-se, parecendo haver um padrão mais consentâneo com a existência de blocos, separados por superfícies de descontinuidade cuja inclinação é maior nos limites ocidentais (70 a 80° para W) dos que nos limites orientais (30 a 40° para E). Observado no seu conjunto, o perfil parece evidenciar, a partir deste ponto, dobras assimétricas ou estratos inclinados para E, cortados por superfícies de descontinuidade quase verticais e com inclinação para ocidente. Estas superfícies vão colocar em evidência o que parecem ser blocos abatidos e elevados, constituídos por materiais com condutividades (e litologias?) distintas.

Parece haver um bloco soerguido entre os 4100 e 4400 m cujos limites são bastante bruscos, inclinando o do lado ocidental cerca de 70 a 80° para W e o do lado oriental cerca de 40° para oriente. Entre este ponto e os 4850 m existe um sector que parece ligeiramente abatido sendo depois interrompido por uma superfície quase vertical com cerca de 85 a 90° e ligeira inclinação para ocidente que marca o início da zona mais condutora do perfil, que se prolonga até cerca dos 4350 m e que também termina de uma forma abrupta.

Esta zona tem valores de condutividade que atingem 100 mS/m numa zona restrita entre 5950 e 6050 m. Na extremidade oriental do perfil os valores de condutividade aparente voltam a diminuir.

As zonas menos condutoras, que acompanham a quase totalidade da superfície do perfil com cores amareladas ou alaranjadas, são mais abundantes e espessas a ocidente, podendo ser justificadas pela existência de areias de dunas, geralmente friáveis e pouco argilosas, mais espessas a ocidente e que se reduzem a alguns centímetros no limite oriental do perfil.

Por outro lado, as zonas mais condutoras a oriente podem ser justificadas por litologias mais consolidadas, argilosas ou ricas em óxidos de ferro, como os níveis argilosos avermelhados dos Arenitos e Argilas do Viso, os calcários margosos do Cretácico ou os arenitos argilosos da Formação da Figueira da Foz, que afloram próximo da Tocha. No seu conjunto, parecem formar um anticlinal cujo centro mais condutor está rodeado de zonas de condutividade mais baixa, muitas vezes abatidas ou elevadas graças a um jogo de descontinuidades muito inclinadas (figura 3.9).

Outra justificação possível para as zonas mais condutoras prende-se com a existência de zonas carsificadas, preenchidas por materiais argilosos. No entanto, estas zonas seriam provavelmente menos extensas e os seus limites menos regulares. Também se poderia pensar em zonas com contaminação difusa ou com águas subterrâneas mais mineralizadas, mas o facto dos seus limites serem tão uniformes dificulta a aceitação desta hipótese.

3.1.3.2 EM2 – MRE (Morros Este)

O perfil EM2 – MRE tem cerca de 2600 m de comprimento e uma direcção aproximada N50°W. Os valores de condutividade eléctrica aparente obtidos situam-se entre 1,5 mS/m e 90 mS/m, estando os valores mais elevados concentrados no extremo oriental do perfil (figuras 3.10 e 3.11). Apresenta, nesta zona, muitas semelhanças com o perfil EM1-PTB.

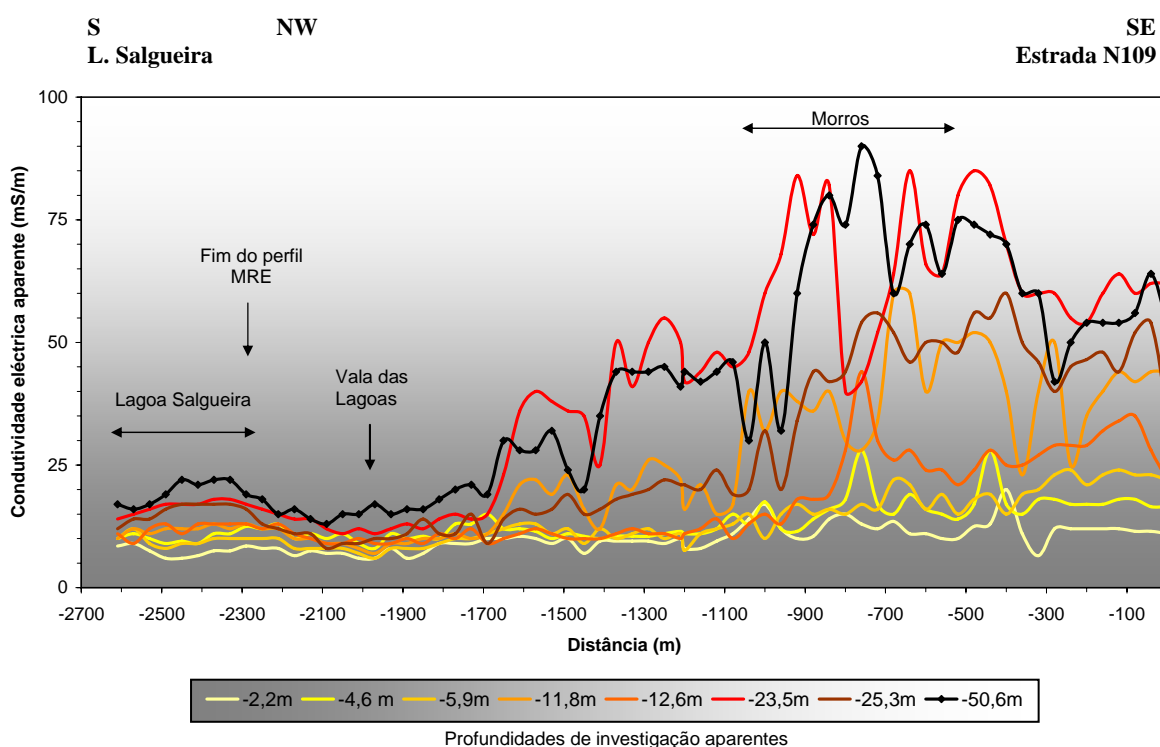


Figura 3.10 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) *versus* distância (m) para o perfil EM2–MRE. Nota: Localização do perfil EM2–MRE, a verde claro, na figura 3.3.

O perfil EM2-MRE, marcado a verde-claro na figura 3.3, termina a -2300 m, mas adicionaram-se os dados finais do perfil EM10-ELN para fazer a ligação entre estes dois perfis e para se observar a zona que envolve a lagoa Salgueira.

A análise do perfil EM2-MRE inicia-se aos -2600 m, num pequeno troço de cerca de 400 m em direcção a norte, que acompanha a lagoa Salgueira no seu limite ocidental. Nesta zona existe uma camada de base com condutividade de cerca de 30 mS/m que é recoberta por unidades menos condutoras, com uma condutividade inferior a 10 mS/m. A -2200 m a camada mais condutora quase desaparece da base do perfil, ficando este ocupado pela camada menos condutora, que atinge praticamente 50 m de profundidade.

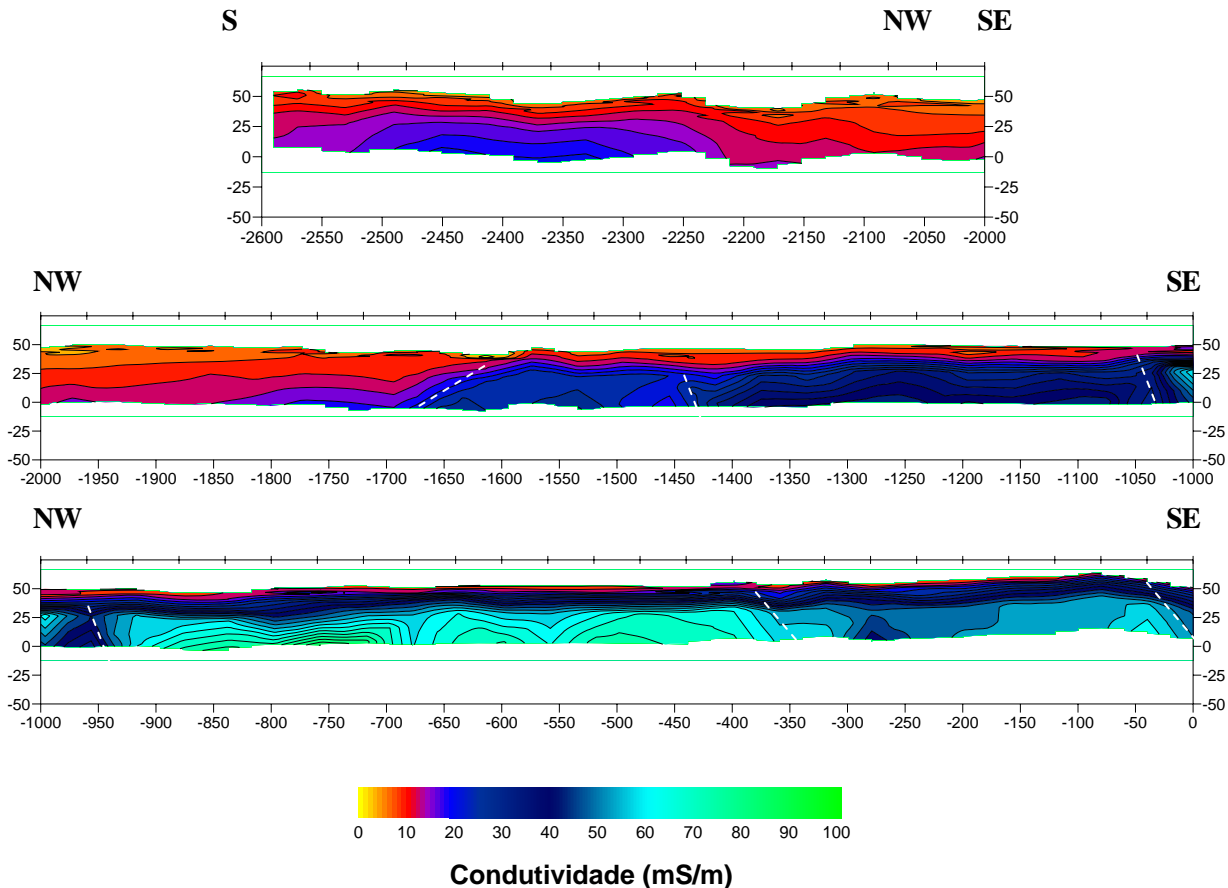


Figura 3.11 – EM2 – MRE - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas. Notas: Localização do perfil EM2 – MRE na figura 3.3 (verde claro). Distâncias e elevações em metros.

A -1700 m, inicia-se um sector do perfil que apresenta um padrão semelhante àquele que existia a oriente no perfil EM1-PTB, mas com inclinações diferentes. Este sector do perfil inicia-se com uma superfície de descontinuidade que inclina cerca de 35° para ocidente e em que as condutividades eléctricas aparentes aumentam para valores acima de 40 mS/m. É constituído por blocos limitados por superfícies de descontinuidade muito inclinadas ou subverticais, havendo um núcleo central, entre -900 m e -350 m, onde as condutividades são máximas atingindo 90 mS/m.

Comparando a pseudosseção da figura 3.11 com as curvas de condutividade eléctrica aparente da figura 3.10, observa-se que os valores de condutividade eléctrica aparente são muito próximos para distâncias de perfil até -1700 m. Nessa zona as curvas de condutividade eléctrica aparente sobrepõem-se praticamente para todas as profundidade de investigação aparente. Mas, a partir deste ponto, os valores de condutividade eléctrica aparente sobem, sendo esta subida algo caótica e muito marcada, nas curvas relativas a profundidades de investigação inferiores a -12,6 m até aos -300 m.

Tal como EM1-PTB, esta zona parece organizar-se, no seu conjunto, como um anticlinal, cujo núcleo mais condutor se situa entre -1900 m e -350 m, sendo provavelmente formada por materiais relativamente consolidados, ricos em minerais argilosos ou óxidos de ferro, como os níveis argilosos e avermelhados dos Arenitos e Argilas do Viso, os níveis margosos dos Calcários Apinhoados de Costa d'Arnes ou algumas camadas de arenitos mais argilosos da Formação da Figueira da Foz.

As zonas que apresentam valores de condutividade eléctrica aparente mais elevados não parecem ser afectadas por ruído electromagnético, uma vez que se situam antes do núcleo populacional de Morros e terminam praticamente no seu extremo ocidental.

3.1.3.3 EM3 – MRW (Morros Oeste)

O perfil EM3 – MRW tem cerca de 5800 m de comprimento e uma direcção aproximada N70°W. Os valores de condutividade eléctrica aparente obtidos situam-se entre 3 mS/m e 32 mS/m (figuras 3.12 e 3.13).

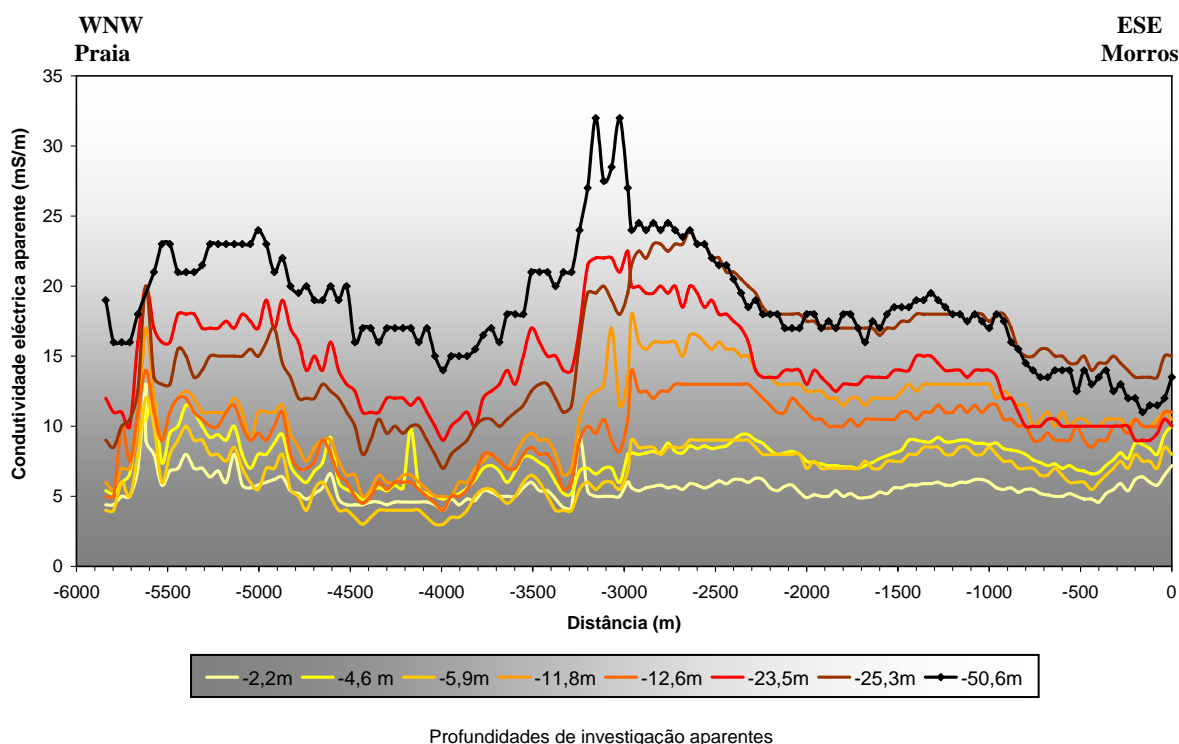


Figura 3.12 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) *versus* distância (m) para o perfil EM3-MRW. Nota: Localização do perfil EM3-MRW, a verde, na figura 3.3.

O perfil EM3-MRW evidencia duas zonas distintas: de ocidente a cerca de 3200 m e deste valor para oriente.

A oeste e até cerca -5600 m, observa-se uma zona com baixa condutividade, que coincide com a zona do cordão dunar primário. Em seguida, os valores de condutividade são relativamente moderados, sendo inferiores a 25 mS/m ou mesmo a 10 mS/m, no caso de profundidades de investigação aparentes inferiores a -12,6 m.

Os valores de condutividade eléctrica aparente para profundidades de investigação mais superficiais são muito semelhantes, havendo apenas um aumento da condutividade para profundidades superiores a -23,5 m, até ao ponto de medida de 3200 m.

A partir deste ponto, o perfil apresenta 3 patamares: o primeiro entre -3100 m e -2300 m, o segundo de -2300 m a -900 m e o terceiro de -900 m ao final do perfil, a oriente. Os valores de condutividade eléctrica aparente vão sendo progressivamente mais baixos, sendo a condutividade das camadas mais profundas mais elevada do que a das camadas mais superficiais.

Estes sectores são bastante visíveis na figura 3.13 parecendo existir um bloco soerguido entre -3250 m e -2950 m. Para oriente, os valores de condutividade eléctrica aparente vão diminuindo por blocos, como se houvesse um abatimento progressivo nesta direcção.

No seu conjunto, todo o perfil parece ser constituído por materiais pouco consolidados, não havendo superfícies de descontinuidade muito nítidas. Parece ser evidente a existência de superfícies topográficas antigas (paleorrelevos) relativamente suaves, pelo menos até aos -3000 m. A partir desse ponto, as camadas superiores, menos condutoras, vão sendo cada vez mais finas, aparecendo as camadas mais condutoras progressivamente mais próximo da superfície.

Existe uma zona pouco condutora, com cerca de 30 m de espessura média aparente, sensivelmente entre -4600 m e -3400 m, sendo máxima por volta dos -4000 m. Esta zona é muito semelhante à zona encontrada no perfil EM1 entre 1250 m e 2850 m, tanto a nível de valores de condutividade eléctrica aparente como de morfologia.

Neste perfil não se encontram zonas com condutividade acima dos 35 mS/m e não existem superfícies de descontinuidade marcadas, com as únicas excepções para duas superfícies de descontinuidade pouco evidentes, que existem aos -2350 m e -350 m, muito inclinadas para E, que promovem o abatimento progressivo dos blocos orientais.

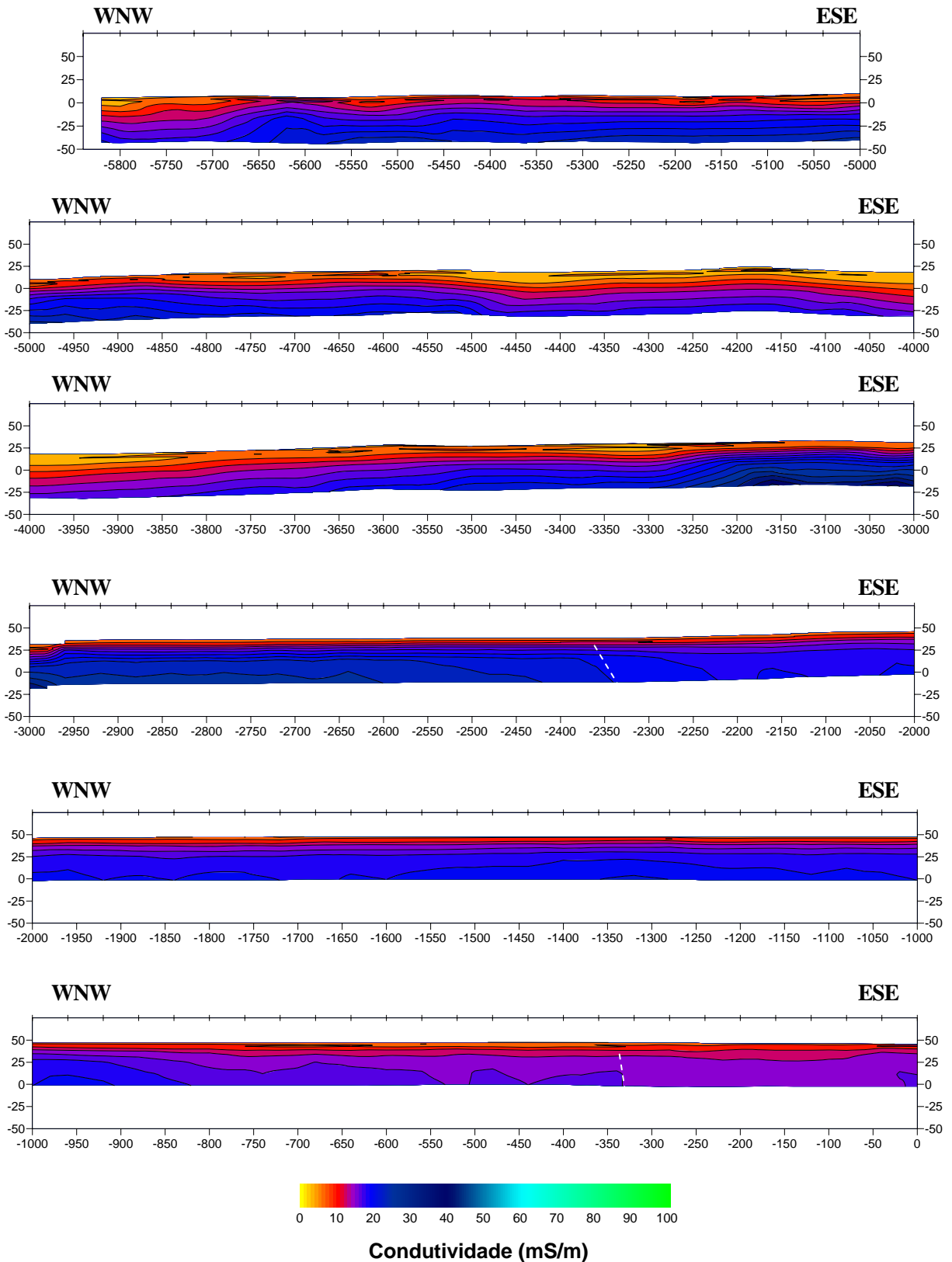


Figura 3.13 – EM3 – MRW - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas. Notas: Localização do perfil EM3 – MRW na figura 3.3 (a verde). Distâncias e elevações em metros.

3.1.3.4 EM4 – BS (Bom Sucesso)

O perfil EM4 – BS é o menor de todos os perfis efectuados e aparece como continuação do perfil EM5 para oriente, após a lagoa da Vela. Tem apenas 760 m de comprimento e uma direcção N60°W, apresentado valores de condutividade eléctrica aparente entre 6 e 46 mS/m (figuras 3.14 e 3.15).

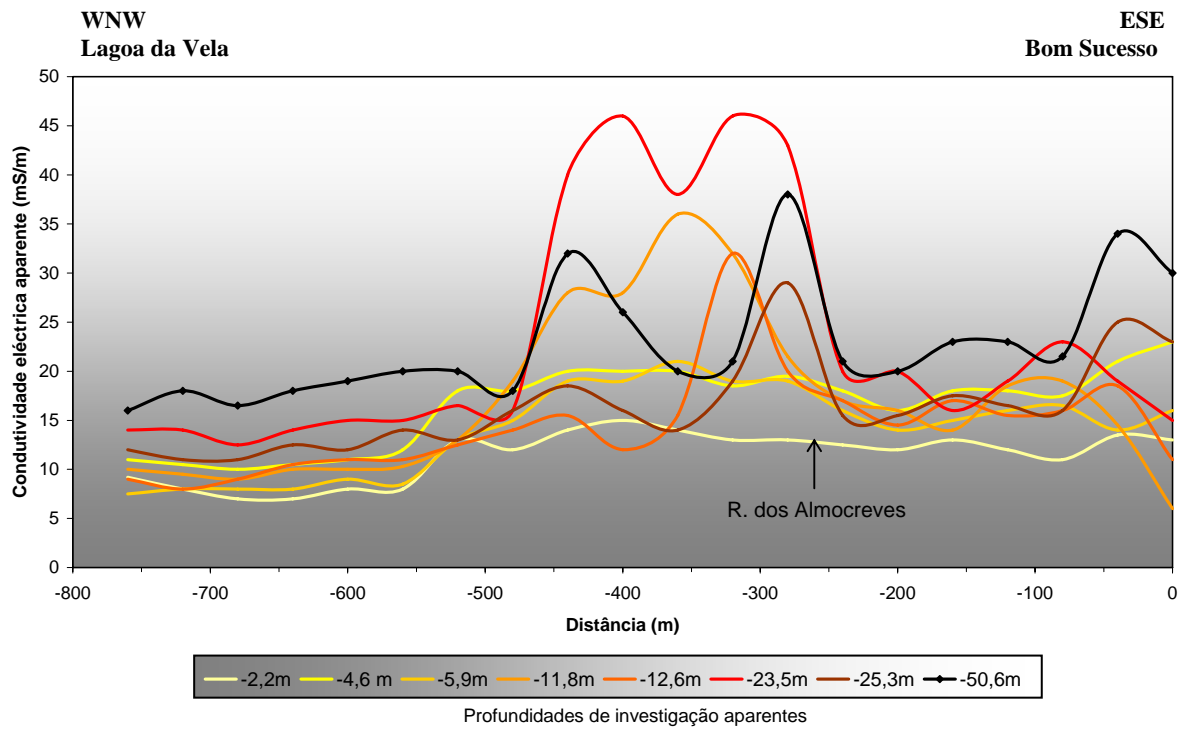


Figura 3.14 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) *versus* distância (m) para o perfil EM4–BS. Nota: Localização do perfil EM4–BS, a lilás, na figura 3.3.

O perfil apresenta reduzidos valores de condutividade eléctrica aparente, sendo semelhantes para todas as profundidades de investigação até ao ponto de medida de -500 m. Nesse local, as condutividades aumentam bruscamente numa distância de cerca de 250 m, acontecendo o mesmo para todas as configurações de medida, mas sendo mais evidente para as curvas correspondentes a -12,6 m e 23,5 m. Na figura 3.15 é bem visível esta zona condutora, parecendo estar limitada por superfícies de descontinuidade muito inclinadas, o mesmo acontecendo a oriente, próximo do ponto de medida relativo a -50 m.

A camada superficial pouco condutora não é visível para distâncias a oriente do ponto de medida -500 m. Isso deve-se provavelmente ao facto de esta ser uma zona de agricultura intensiva, o que pode levar ao aumento da humidade do solo, da quantidade de sais dissolvidos no fluido intersticial e de matéria orgânica, em zonas próximas da superfície e, portanto, a um aumento da condutividade eléctrica da camada mais superficial.

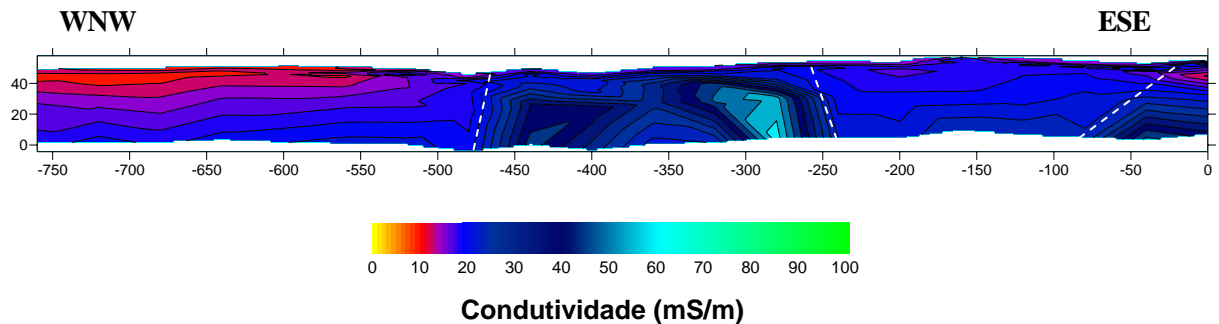
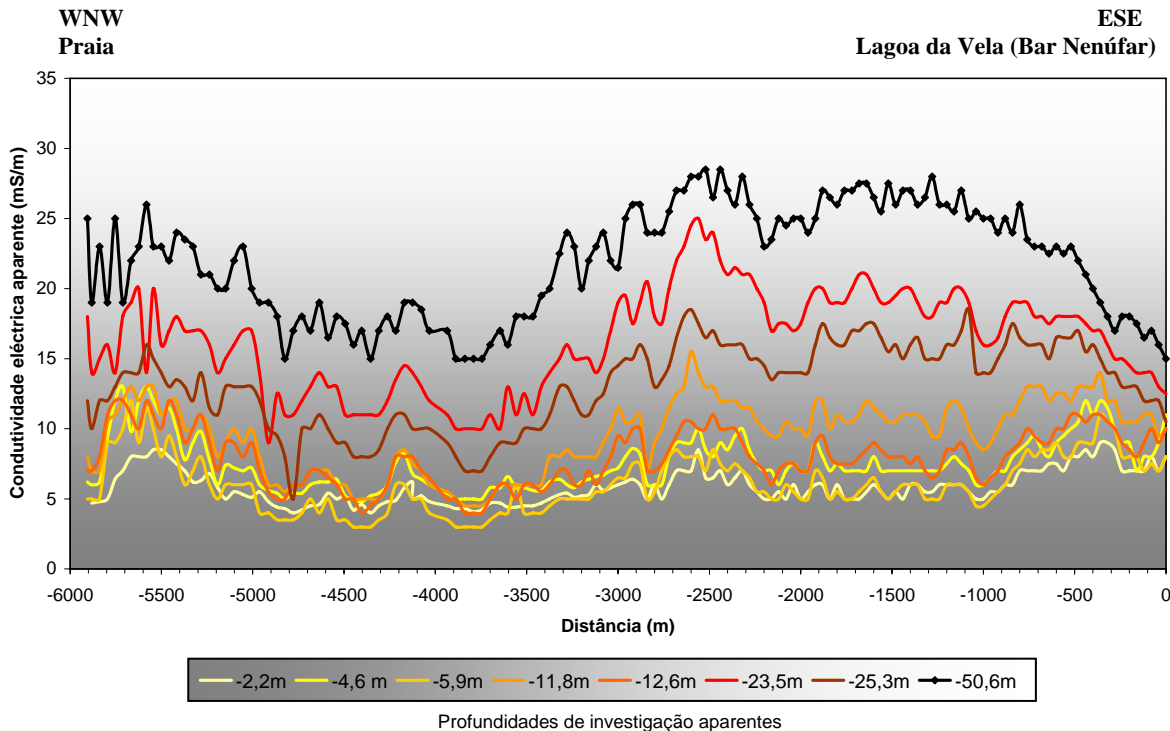


Figura 3.15 – EM4 – BS - Pseudosecção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas. Notas: Localização do perfil EM4 – BS na figura 3.3 (a lilás). Distâncias e elevações em metros.

A zona central do perfil é muito semelhante às zonas orientais dos perfis EM1-PTB e EM2-MRE, sendo constituída por um núcleo mais condutor limitado por superfícies de descontinuidade muito inclinadas.

3.1.3.5 EM5 – NNF (Corta-fogo a oeste do bar Nenúfar)

O perfil EM5 – NNF tem cerca de 6000 m de comprimento e uma direcção aproximada N70°W. Apresenta valores de condutividade eléctrica aparente relativamente baixos, inferiores a 29 mS/m (figuras 3.16 e 3.17).



Nota: Pontos de medida marcados com losangos na curva de 50,6 m

Figura 3.16 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) versus distância (m) para o perfil EM5–NNF. Nota: Localização do perfil EM5–NNF, a roxo, na figura 3.3.

O perfil EM5-NNF é semelhante ao perfil EM3, obtido cerca de 2 km a norte.

Começa com valores de condutividade eléctrica aparente relativamente baixos em cerca de 200 m (até ao ponto de medida de -5800 m), que depois sobem bruscamente para as profundidades de investigação inferiores a 12,6 m. Esta zona corresponde ao cordão dunar primário e antepraia.

Segue-se-lhe uma diminuição gradual até se atingirem valores mínimos de condutividade eléctrica aparente para profundidades de investigação mais superficiais, entre os -4500 e os -3500 m. Depois deste ponto, os valores voltam a subir para valores máximos por volta dos -2500 m de distância, permanecendo aproximadamente constantes com ligeiras oscilações até cerca de -1000 m, sendo os valores de condutividade eléctrica aparente progressivamente mais elevados com a profundidade.

Existe uma boa concordância entre os valores de condutividade eléctrica aparente para profundidades de investigação semelhantes (por exemplo para 11,8 e 12,6 m ou para 23,5 e 25,3 m), sendo as curvas praticamente paralelas. Os valores de condutividade eléctrica aparente aumentam geralmente em profundidade, sendo no entanto os valores provenientes das disposições em VD ligeiramente mais baixos, para as mesmas profundidades de investigação, do que os valores provenientes das configurações HD.

A partir do ponto de medida de -1000 m as curvas de condutividade eléctrica aparente têm evoluções distintas: os valores mais superficiais aumentam enquanto que os valores mais profundos diminuem continuamente.

Da análise da fig. 3.17 tiram-se conclusões muito semelhantes sendo, no entanto, bastante visível a existência de um nível de condutividade eléctrica aparente mais elevado na base do perfil, a ocidente após o cordão dunar primário. Sobrepõe-se-lhe uma zona menos condutora cuja espessura vai crescendo para oriente, até valores máximos por volta dos -4400 m e dos -3800 m. Essa camada menos condutora é bastante espessa em todo o perfil, com espessuras mínimas de cerca de 10 m, podendo atingir espessuras aparentes superiores a 50 m. A camada mais condutora quase desaparece, a ocidente, por volta dos -4800 m, no entanto, a partir dos -3400 m, aparece uma nova zona mais condutora na base do perfil que se mantém até ao seu final.

As características deste perfil podem ser explicadas por materiais porosos pouco consolidados, muito marcados por superfícies topográficas antigas ou paleorrelevos, não havendo indícios de superfícies de descontinuidade vincadas, a não ser, com alguma sugestão, na parte mais oriental do perfil entre os -300 m e o final do perfil, onde parece haver um decréscimo algo brusco da camada mais condutora que está na base do perfil. Todo este perfil pode ser explicado por zonas mais condutoras, que constituem o substrato e que são reveladoras de paleorrelevos ondulados, suaves, cobertos por zonas menos condutoras, mais arenosas, menos argilosas, mais soltas e provavelmente mais secas. Uma outra justificação para estes contrastes de condutividade pode prender-se com a composição da água subterrânea, que poderá ser menos mineralizada nas camadas superiores e mais mineralizada nas camadas mais profundas.

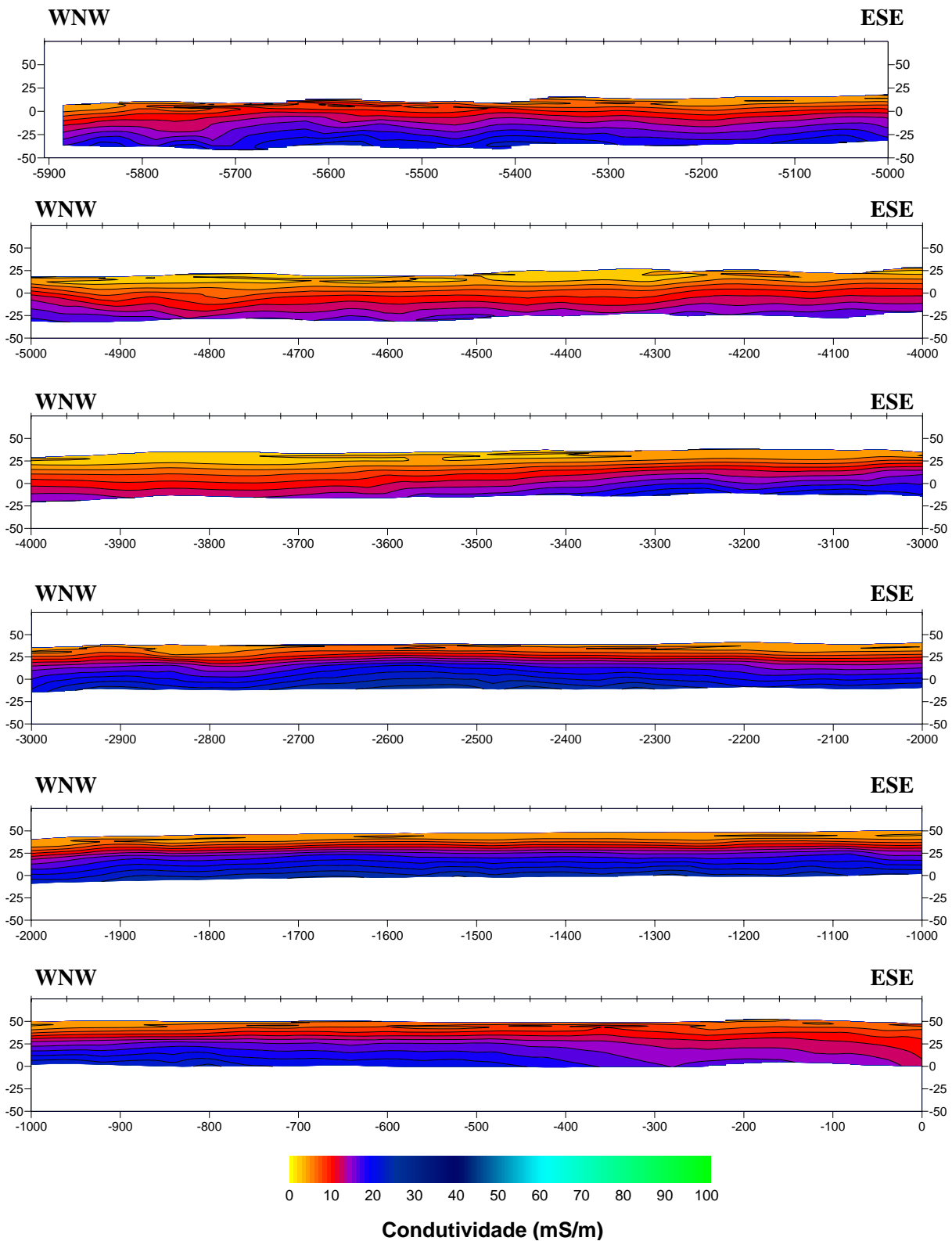


Figura 3.17 – EM5 – NNF - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas. Notas: Localização do perfil EM5 – NNF na figura 3.3 (a roxo). Distâncias e elevações em metros.

3.1.3.6 EM6 – VLV (Vala da Lavadia)

O perfil EM6 – VLV foi efectuado ao longo de um corta-fogo paralelo à vala da Lavadia, com uma direcção aproximada N70°W, numa distância total de 3200 m, não tendo alcançado a linha de costa. Apresenta resultados de condutividade eléctrica aparente entre 2,5 e 25 mS/m (figuras 3.18 e 3.19).

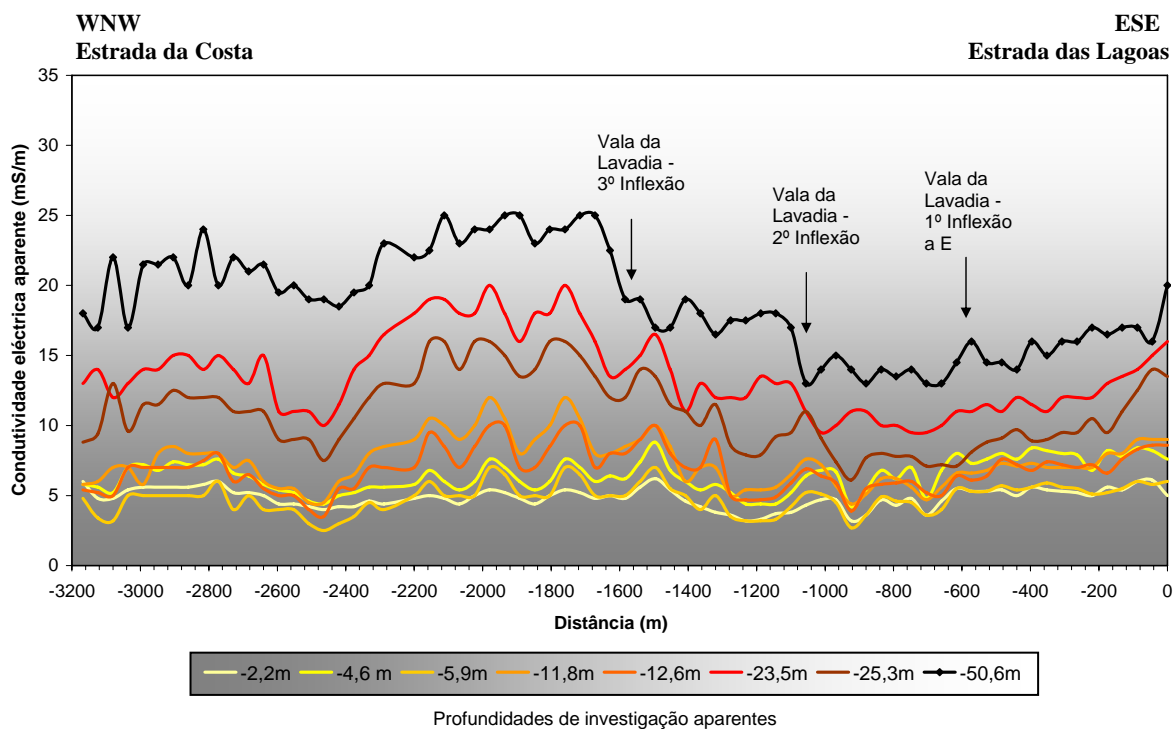


Figura 3.18 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) *versus* distância (m) para o perfil EM6–VLV. Nota: Localização do perfil EM6–VLV, a cor-de-laranja, na figura 3.3.

No seu conjunto, é um perfil bastante parecido com o perfil EM5 e EM3, na sua zona mais oriental, em que os valores de condutividade são bastante semelhantes durante alguns períodos, seguidos de descida dos valores de condutividade. Neste perfil isso acontece a partir dos pontos de medida -1500 m e -1100 m, após os quais existe uma descida brusca dos valores de condutividade eléctrica aparente. A separação entre estas zonas de condutividade aproximadamente constante, revela-se através de superfícies de descontinuidade aparentemente inclinadas. Estas delimitam sectores progressivamente mais abatidos para oriente, terminando por volta dos -50 m onde a superfície de descontinuidade existente parece inclinar para ocidente e delimitar um sector soerguido, que se estende até ao final do perfil. O sector mais abatido é preenchido por um material menos condutor, com uma espessura aparente que varia entre 30 a 40 m.

Próximo do ponto de medida de -2500 m verifica-se ainda uma descida evidente de todos os valores de condutividade eléctrica aparente. Este local pode corresponder a uma forma dunar mais espessa, mais arenosa e com menor teor de humidade.

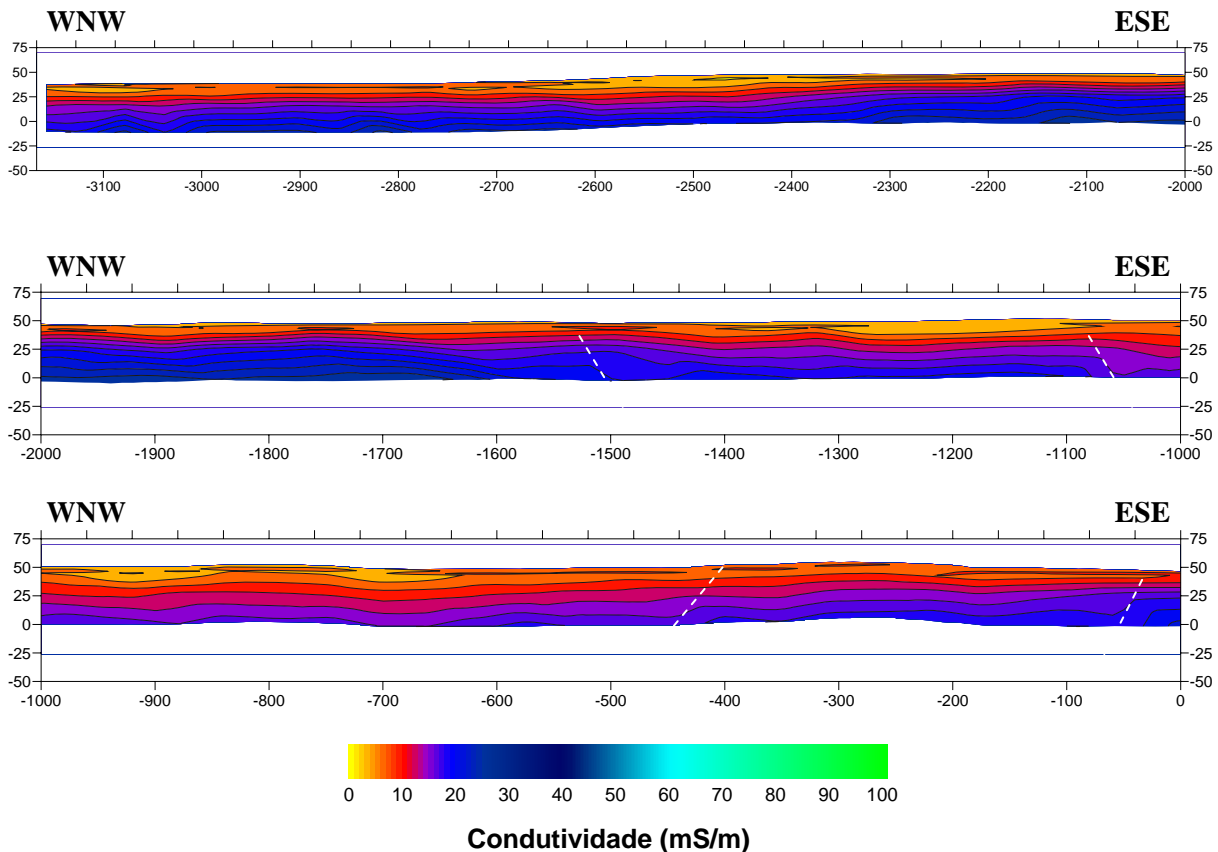
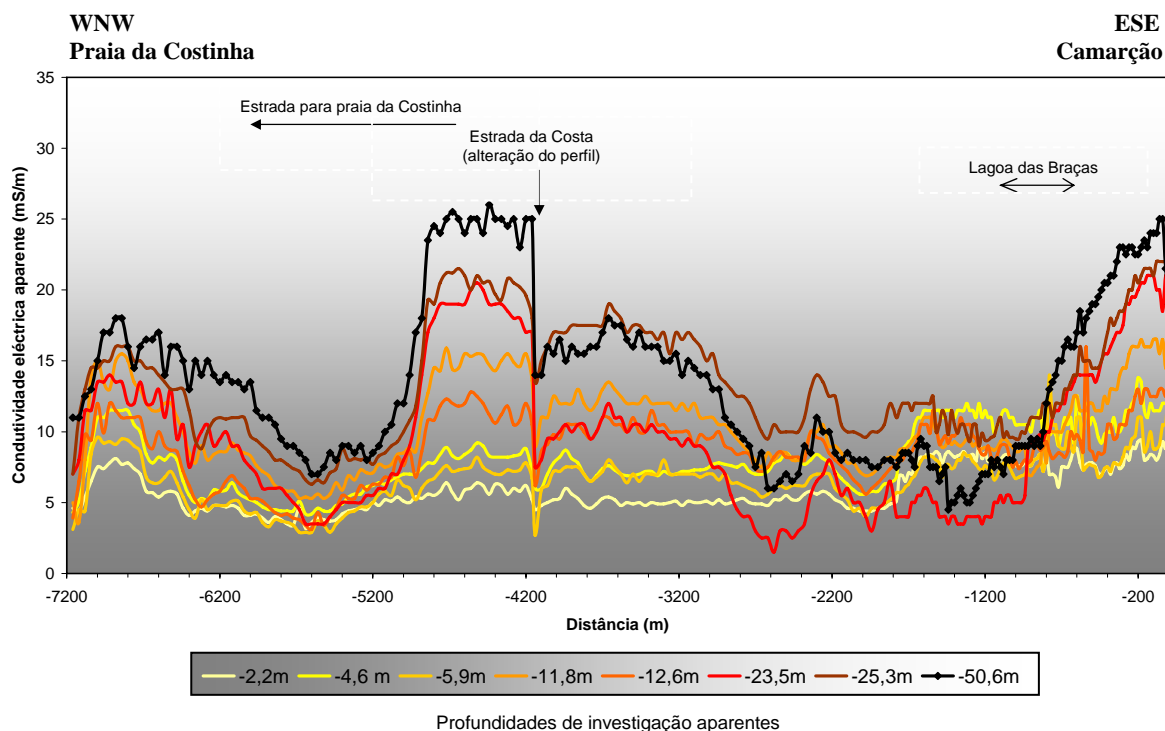


Figura 3.19 – EM6 – VLV - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas. Notas: Localização do perfil EM6 – VLV na figura 3.3 (a cor-de-laranja). Distâncias e elevações em metros.

No geral, este perfil é concordante com a existência de materiais porosos, menos condutores próximo da superfície, parecendo por vezes relativamente consolidados na sua base.

3.1.3.7 EM7 – CC (Praia da Costinha - Camarçãõ)

O perfil EM7 – CC é o mais longo perfil com a direcção WNW-ESE, com um total de 7160 m e uma direcção aproximada N70°W (figuras 3.20 e 3.21).



Nota: Pontos de medida marcados com losangos na curva de 50,6 m

Figura 3.20 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) *versus* distância (m) para o perfil EM7-CC. Nota: Localização do perfil EM7-CC, a vermelho, na figura 3.3.

Tal como todos os perfis nesta direcção que começam no mar, inicia-se também com uma zona de condutividade mais baixa seguida de uma zona de condutividade bastante mais elevada, para todas as profundidades de investigação, com uma extensão lateral de cerca de 700 m, que termina no ponto de medida de -6400 m.

Depois desse ponto, as condutividades descem suavemente até atingirem um valor mínimo por volta dos -5600 m. As condutividades eléctricas aparentes de todas as curvas aproximam-se bastante, para valores entre 5 e 10 mS/m, numa extensão de cerca de 800 a 1000 m de perfil (figura 3.20).

No ponto -5000 m as condutividades eléctricas aparentes sobem bruscamente. Esta subida é mais brusca para as camadas mais profundas e mais gradual para as camadas mais superficiais, conservando-se a condutividade eléctrica aparente relativamente constante até ao final do primeiro troço do perfil que termina na Estrada da Costa.

Neste ponto, há uma translação de cerca de 100 a 150 m entre os dois segmentos do perfil EM7. O segmento EM7-W, desde a Estrada da Costa até à praia da Costinha, e o segmento EM7-E, desde o ponto da Estrada da Costa, mais a sul, até Camarçãõ.

O segmento oriental do perfil EM7 inicia-se com uma zona de condutividades eléctricas aparentes comparativamente elevadas, até aos -3000 m, apresentando aí um decréscimo dos valores, mais evidente nas curvas relativas a maiores profundidades de investigação. Posteriormente, os valores mantêm-se aproximadamente baixos até ao ponto de medida de -800 m.

Neste sector intermédio do perfil EM7-E observa-se um decréscimo de condutividade eléctrica aparente por volta dos -2600 m, seguido de uma subida aos -2200 m e uma nova descida aos -2000 m. O primeiro ponto é apenas visível para profundidades de investigação mais elevadas.

O troço do perfil entre os -2600 m e os -800 m tem a particularidade de ter as condutividades eléctricas aparentes das camadas mais profundas relativamente mais baixas do que a das camadas mais superficiais, o que indica que as camadas mais profundas serão menos condutoras.

Para além disso, a partir do ponto -1600 m, os valores de condutividade eléctrica aparente para as medidas mais superficiais, são relativamente altos e constantes até cerca de -200 m, podendo indicar alguma contaminação de origem agrícola. Outra justificação poderá ser devida ao facto de haver alguma contaminação da água subterrânea das camadas mais superficiais (aquífero freático), que também pode ter a mesma origem, ou seja, contaminação difusa de origem agrícola.

Um outro aspecto importante deste perfil é que, a partir dos -1000 m, existe uma subida generalizada das condutividades eléctricas aparentes das camadas com profundidades de investigação abaixo dos 20 m. Estas curvas, com uma grande densidade de pontos de medida, têm um incremento muito linear, de cerca de 5 mS/m a mais de 25 mS/m. Esta subida é bastante notada na fig. 3.21, parecendo haver superfícies de descontinuidade, que inclinam cerca de 50° para ocidente, a -950 m e -650 m, que correspondem à zona anteriormente referida.

A pseudosseção EM7 (figura 3.21) é concordante com a existência de materiais porosos relativamente pouco condutores, na generalidade do perfil, havendo uma zona de condutividade mais acentuada, numa extensão de cerca de 700 m a oriente do cordão dunar primário, a que se segue uma zona de cerca de 1500 m com condutividades eléctricas muito baixas, podendo corresponder a zonas arenosas, pouco argilosas, secas ou com água subterrânea pouco mineralizada, com espessuras que atingem provavelmente mais de 50 m. Por volta do ponto -5000 m existe um incremento muito acentuado da condutividade, formando no seu conjunto uma descontinuidade muito inclinada (para W), que dá origem a uma anomalia de condutividade positiva muito acentuada.

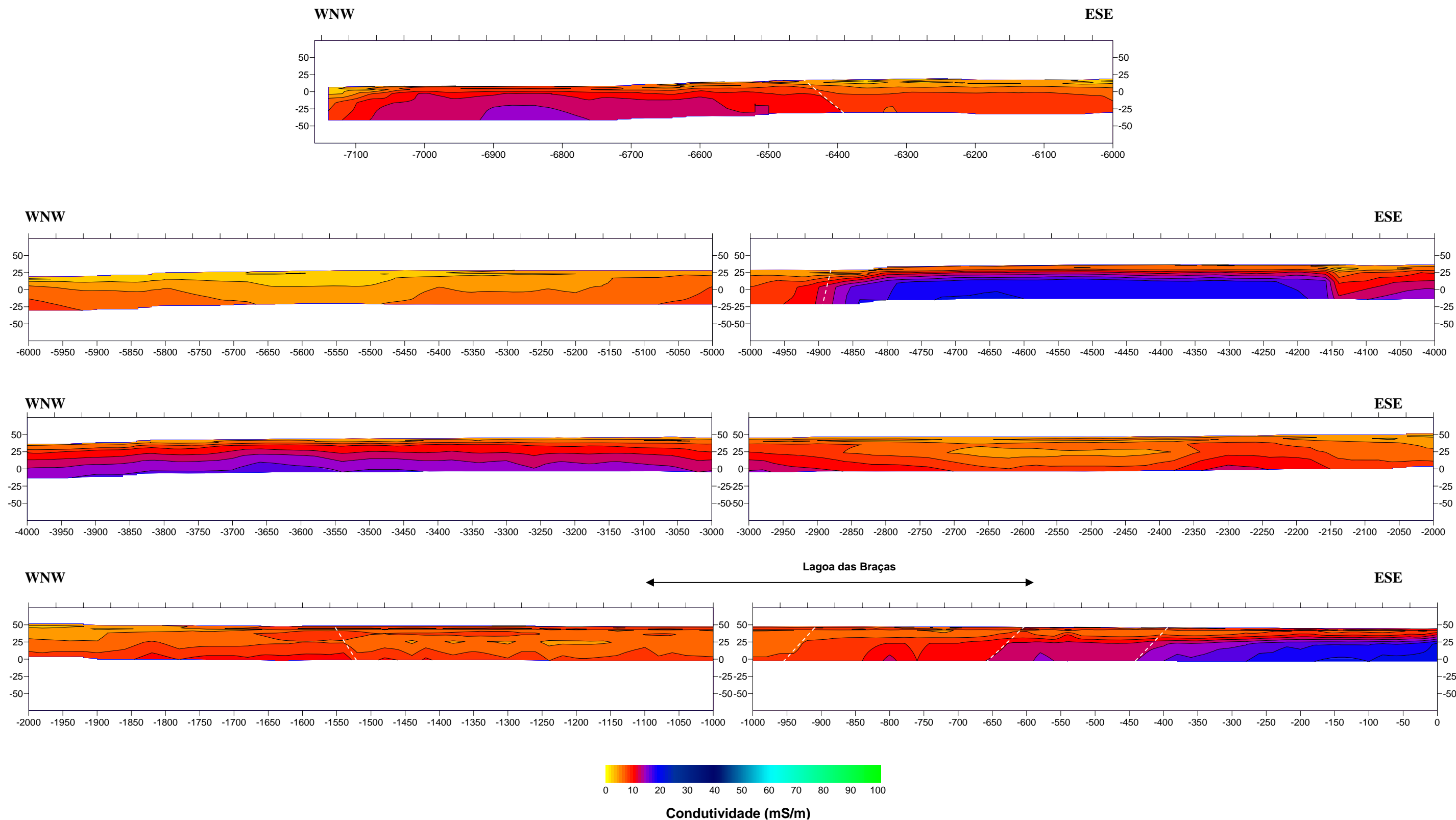


Figura 3.21 – EM7 – CC - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas.

Notas: Localização do perfil EM7 – CC na figura 3.3 (a vermelho). Distâncias e elevações em metros.

Esta anomalia é limitada por duas superfícies de descontinuidade muito inclinadas, coincidindo o limite oriental com a Estrada da Costa, em que houve deslocamento do perfil cerca de 150 m para sul. Embora os valores não sejam muito diferentes, não é obrigatório que haja continuidade entre os dois segmentos do perfil EM7, mas este aspecto será reapreciado aquando da análise do perfil EM9-EC, com a direcção norte-sul.

As condutividades decrescem novamente no ponto de medida -2900 m, desta vez suavemente, dando lugar a um sector que parece estar abatido e que termina a oriente, numa superfície de descontinuidade que inclina para W, entre -1000 m e -650 m. Esta zona do perfil pode estar preenchida por materiais pouco consolidados, porosos, arenosos ou pouco argilosos. Poderão ainda conter minerais argilosos menos condutores, com menor CTC, ou água subterrânea pouco mineralizada. Após a superfície de descontinuidade referida existe um novo bloco, com maior condutividade eléctrica aparente, para oriente.

A lagoa das Braças situa-se entre os -1100 m e os -600 m, estando assim quase totalmente localizada sobre a faixa ocupada pelas superfícies de descontinuidade que inclinam para ocidente.

3.1.3.8 EM8 – 2CFSB (2º Corta-fogo a sul da lagoa das Braças)

O perfil EM8 – 2CFSB com 6400 m de comprimento e uma direcção N80°W é o perfil mais meridional executado na área envolvente das lagoas de Quiaios (figuras 3.22 e 3.23).

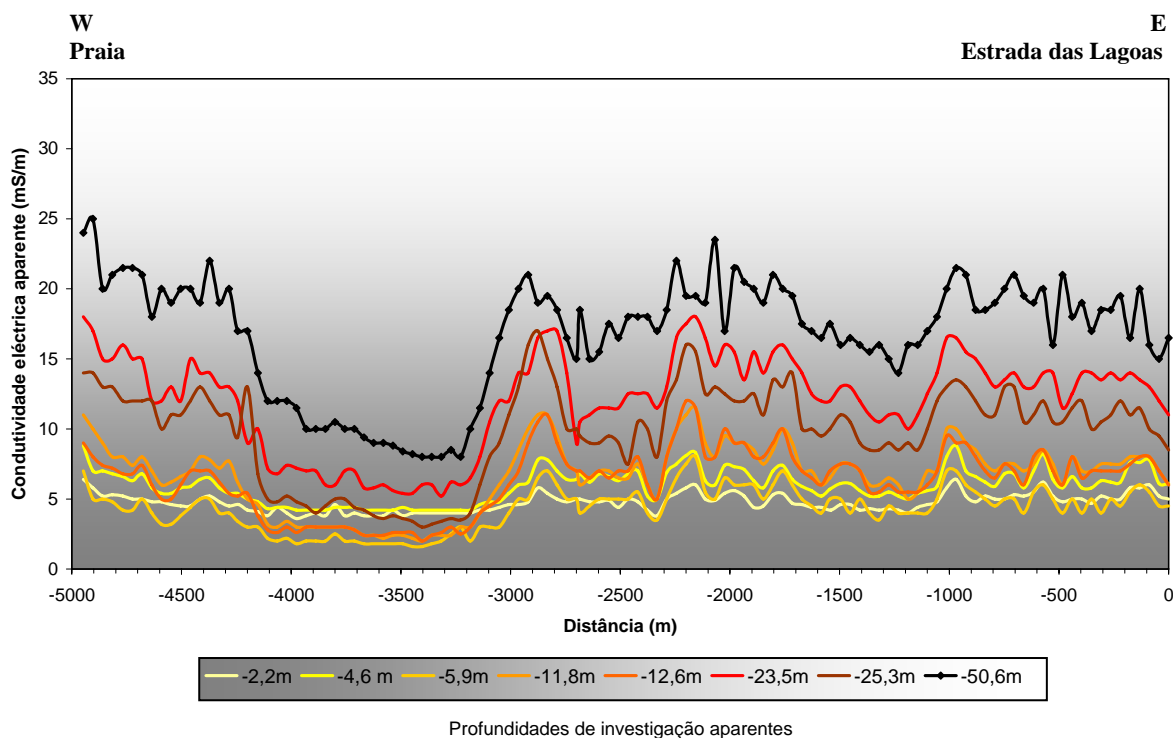


Figura 3.22 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) *versus* distância (m) para o perfil EM8-2CFSB. Nota: Localização do perfil EM8-2CFSB, a azul turquesa, na figura 3.3.

Inicia-se já a oriente do cordão dunar primário, não sendo visível neste perfil a anomalia característica desta zona. Apresenta um nível condutor de base, com cerca de 800 m de extensão lateral, a que se sobrepõe uma zona pouco condutora, progressivamente mais espessa para oriente.

É então visível uma zona com condutividades eléctricas aparentes muito baixas, formando a anomalia negativa mais visível de todos os perfis efectuados, entre -4100 m e -3200 m. Neste local, todas as curvas de condutividade descem abaixo de 15 mS/m, ficando as curvas correspondentes a profundidades de investigação inferiores a cerca 25 m muito próximas de 5 mS/m.

Após o ponto de medida de -3050 m, observa-se de novo uma camada de base, mais condutora, que define uma zona de paleorrelevos suaves, sempre preenchida por camadas pouco condutoras que deverão ser camadas arenosas, pouco argilosas e com poucos óxidos de ferro. Esta camada superior é sempre muito espessa, atingindo espessuras máximas em torno dos -3500 m e dos -1250 m. O limite oriental da anomalia negativa, embora suave, corresponde a uma zona de um degrau topográfico, coincidente com as cristas das dunas de 30 m de altitude e inclina suavemente para oriente. Poderá corresponder a uma zona de paleorrelevos e/ou, em profundidade, estar ligada a uma zona de descontinuidade com esta inclinação mas que, devido à falta de contraste não é muito visível.

O perfil é, no geral, compatível com a existência de materiais porosos, no geral pouco condutores, em que existe uma camada de base mais condutora coberta por uma camada superficial menos condutora. Esta camada, que pode atingir espessuras de mais de 50 m, apresenta valores de condutividade eléctrica aparente muito baixos, sendo compatíveis com a existência de areia solta, seca ou água subterrânea pouco mineralizada. Não há indícios de superfícies de descontinuidade, com excepção da possível superfície pouco inclinada aos -3100 m, anteriormente referida.

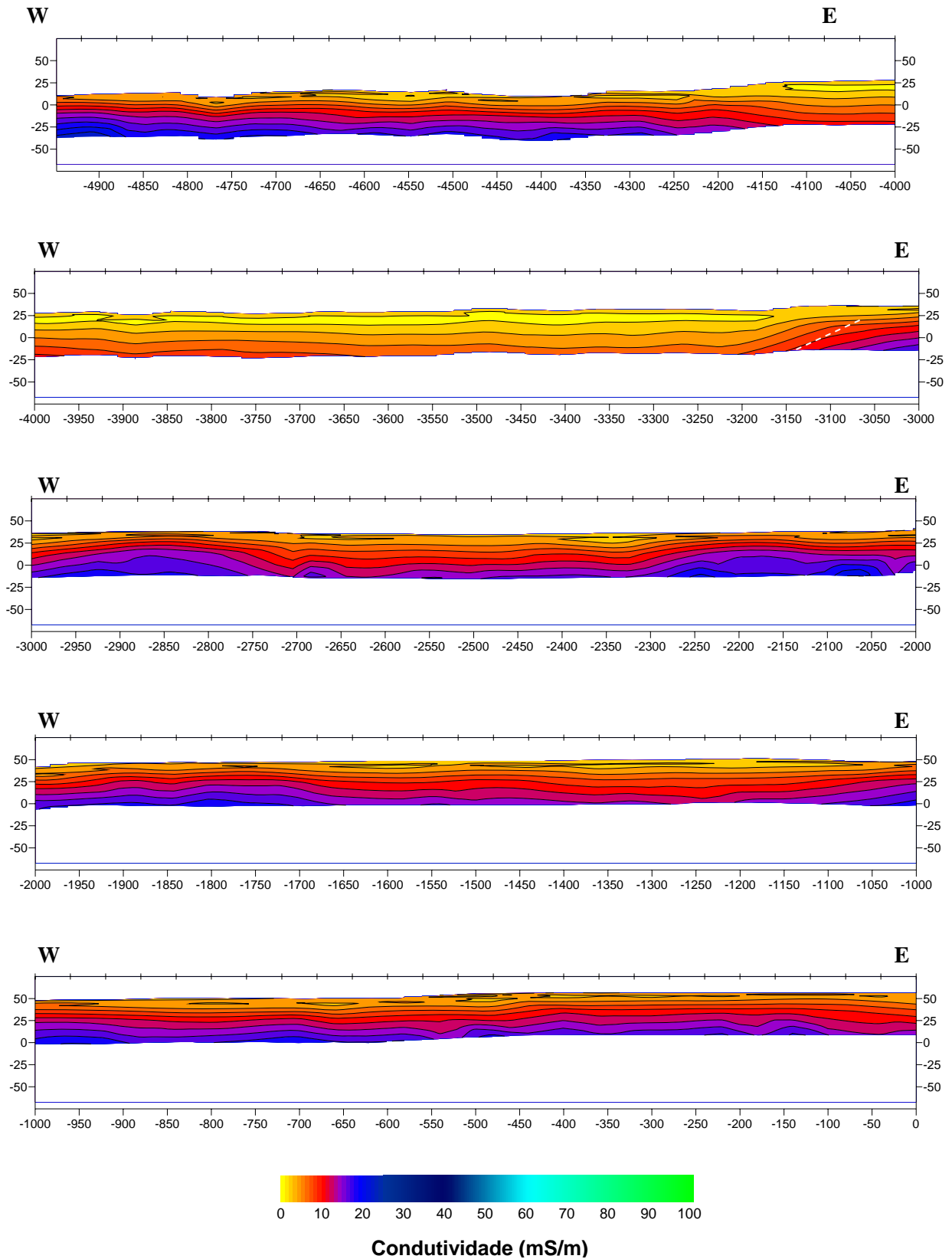
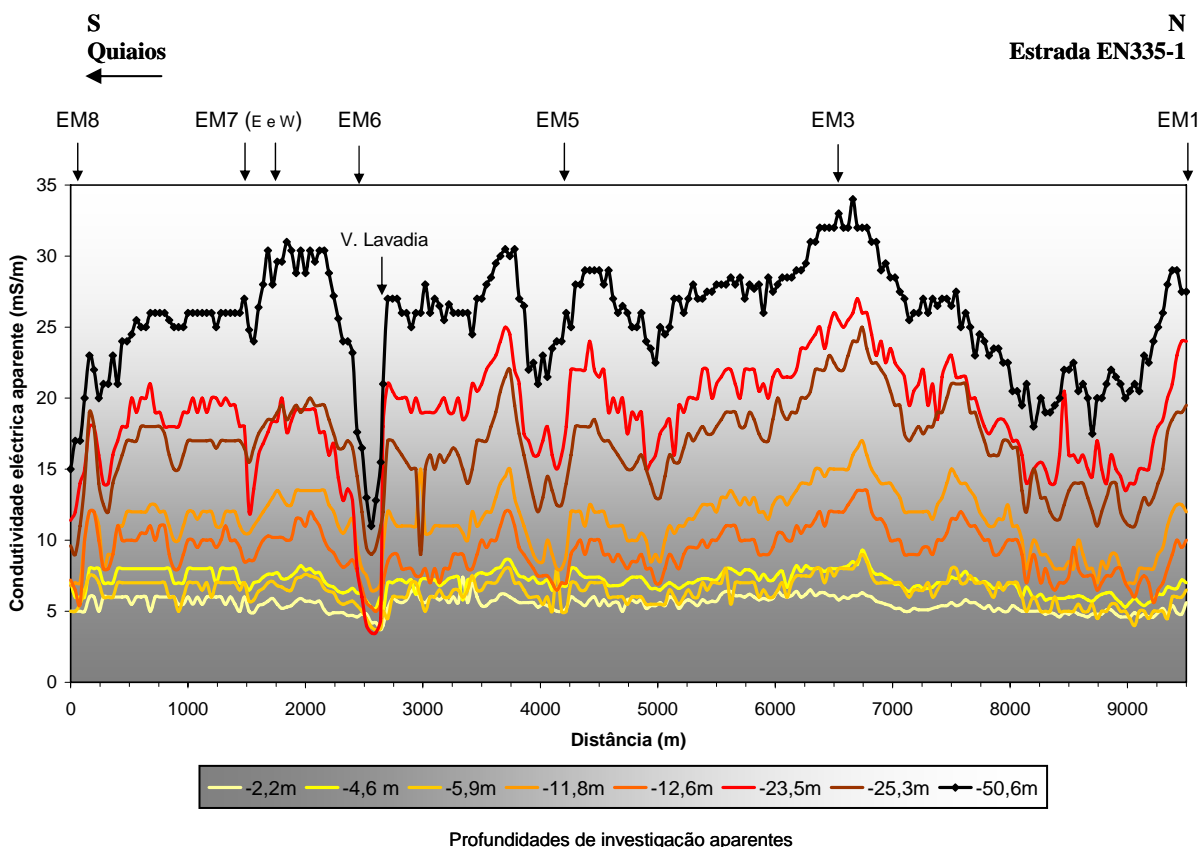


Figura 3.23 – EM8 – 2CFSB - Pseudoseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas. Notas: Localização do perfil EM8 – 2CFSB na figura 3.3 (a azul turquesa). Distâncias e elevações em metros.

3.1.3.9 EM9 – EC (Estrada da Costa)

O perfil EM9 – EC é o perfil mais ocidental com direcção meridiana aproximada e é também o mais longo (com 9500 m e um total de 239 pontos de medida), apresentando valores de condutividade eléctrica aparente entre 1 e 34 mS/m (figuras 3.24 e 3.25).



Nota: Pontos de medida marcados com losangos na curva de 50,6 m

Figura 3.24 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) *versus* distância (m) para o perfil EM9–EC. Nota: Localização do perfil EM9–EC, a amarelo, na figura 3.3.

Este é um perfil cujos valores de condutividade eléctrica aparente são, no geral, muito constantes para todas as profundidades de investigação, desde 400 m até cerca de 7500 m. A zona mais meridional do perfil (até cerca de 200 m) apresenta valores de condutividade eléctrica aparente baixos para as profundidades de investigação mais elevadas. Então, existe uma subida dos valores de condutividade eléctrica aparente até ao ponto de medida de 400 m, a partir do qual se mantêm aproximadamente constantes até cerca de 7500 m. Para profundidades mais elevadas, inferiores a 50 m, a condutividade eléctrica aparente está entre 25 mS/m e 30 mS/m, raramente atingindo o valor de 35 mS/m. Para as profundidades de cerca de 25 m, esse valor é inferior a 20 mS/m.

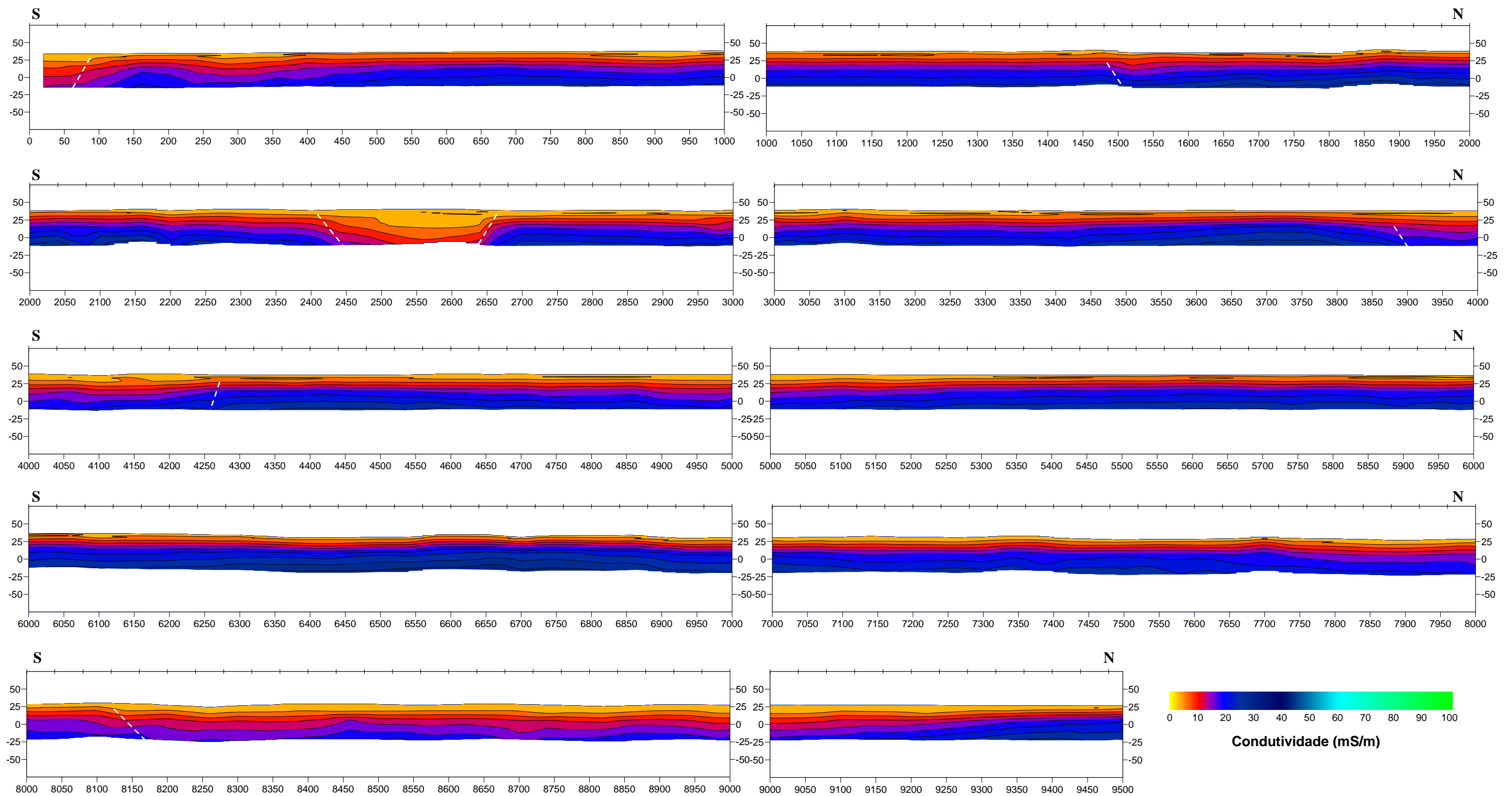


Figura 3.25 – EM9 – EC - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas. Notas: Localização do perfil EM9 – EC na figura 3.3 (a amarelo). Distâncias e elevações em metros.

Esta constância dos valores de condutividade eléctrica aparente é interrompida por duas vezes. A primeira, a cerca de 2600 m, por uma anomalia muito negativa, lateralmente restrita, para todas as profundidades de investigação referidas. É muito visível nas figuras 3.24 e 3.25, estando limitada por duas superfícies de descontinuidade bastante inclinadas, a cerca de 2450 m (para N) e a 2650 m (para S). Nesta zona, os valores de condutividade eléctrica aparente diminuem para valores muito baixos, em todas as profundidades analisadas. Na superfície do terreno esta zona corresponde à intersecção do perfil EM9 com a vala da Lavadia.

A segunda anomalia negativa, menos evidente, existe por volta dos 3900 m, e assemelha-se a uma superfície de descontinuidade inclinada para E.

Na parte terminal do perfil, depois dos 7700 m, os valores de condutividade eléctrica aparente baixam gradualmente, sobretudo para as camadas mais profundas. A justificação pode prender-se com o facto de, nesta zona, a camada arenosa que recobre o substrato ser mais espessa, menos argilosa ou menos rica em minerais condutores (como os óxidos de ferro).

Refere-se ainda que, as diferenças de condutividade eléctrica aparente visíveis entre os dois segmentos do perfil EM7 podem ser justificadas através da análise dos locais em que os segmentos EM7-W e EM7-E intersectam o perfil EM9.

Na figura 3.24 é notória a diferença de condutividades na zona onde este perfil intersecta os dois segmentos do perfil EM7. A sul, coincidente com o segmento EM7-E, os valores são menores do que a norte, onde o segmento EM7-W intersecta o perfil EM9. A alteração dos valores é gradual, mas a diferença é suficiente para gerar uma superfície de descontinuidade muito inclinada, porque analisa valores de condutividade eléctrica aparente que se encontram separados cerca de 150 m como se estivessem lado a lado. Esta superfície parece estar em conformidade com a que se encontra a cerca de 1500 m no perfil EM9, mas não será tão pronunciada como se mostra no perfil EM7.

3.1.3.10 EM10 – ELN (Estrada das Lagoas Norte)

O perfil EM10 – ELN é o perfil mais próximo das lagoas, efectuado ao longo da estrada florestal que as acompanha a ocidente. Com direcção N20°E aproximada o perfil EM10 tem um total de 6600 m, onde se mediram condutividades eléctricas aparentes em 195 pontos, com um espaçamento de 20 m até aos 900 m e de 40 m nos restantes pontos do perfil (figuras 3.26 e 3.27).

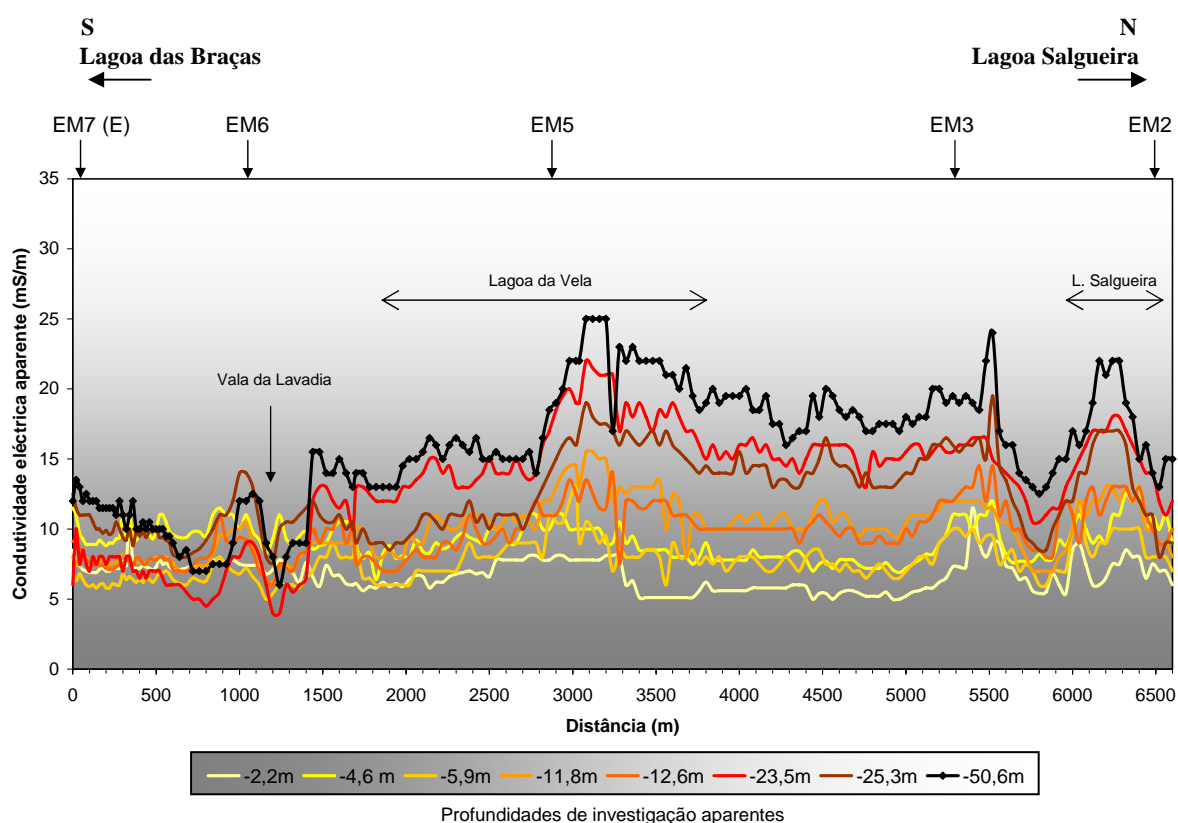


Figura 3.26 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) *versus* distância (m) para o perfil EM10–ELN. Nota: Localização do perfil EM10–ELN, a azul, na figura 3.3.

O perfil EM10-ELN, efectuado desde o perfil EM8, a sul, ao perfil EM2, a norte apresenta cerca de 3 zonas diferentes.

A primeira zona, até cerca de 1400 m, tem valores de condutividade eléctrica aparente geralmente baixos para todas as profundidades de investigação. No geral, assemelha-se bastante ao sector de condutividades baixas do segmento E do perfil EM7. Esta zona é limitada, a norte, por uma superfície de descontinuidade muito inclinada (para S), parecendo que o bloco meridional estará abatido em relação ao bloco setentrional (figura 3.27).

Depois dos 1400 m as condutividades sobem, sobretudo para profundidades de investigação mais elevadas, coincidindo à superfície com a margem meridional da lagoa da Vela. Dos 1400 m aos 2800 m existe uma zona com condutividades aproximadamente constantes e, a partir desse ponto, as condutividades eléctricas aparentes das camadas mais profundas sobem, enquanto que as condutividades eléctricas aparentes das camadas mais superficiais descem ligeiramente. A superfície de descontinuidade existente aos 2800 m não é muito acentuada, mas limita uma área que parece estar soerguida.

Os valores de condutividade eléctrica aparente mantêm-se então constantes; dos 3200 m até aos 5500 m, altura em que há um pico máximo seguido de uma descida bastante acentuada dos valores de condutividade eléctrica aparente. Esta descida parece configurar, para as camadas mais profundas, uma superfície de descontinuidade inclinada para norte e limitar uma zona deprimida, semelhante a uma figura de canal com cerca de 400 m de extensão lateral. Esta zona é bastante espessa, atingindo provavelmente mais de 50 m de espessura na parte central, que se situa a cerca dos 5800 m.

Segue-lhe uma zona de condutividades mais elevadas que termina cerca dos 6400 m e que coincide com a existência, na superfície do terreno, da lagoa Salgueira.

Tanto a descida intermédia como as subidas que a marginam, anteriormente referidas, são bastante marcadas e visíveis em todos os perfis de condutividade para todas as profundidades de investigação utilizadas.

De uma maneira geral, este perfil tem sectores que parecem progressivamente mais abatidos para sul. O sector setentrional apresenta um substrato mais condutor, visível sob a cobertura mais resistente e provavelmente mais arenosa, aparentemente marcado por paleorrelevos, evidenciando mesmo algumas figuras de canal em direcção a norte.

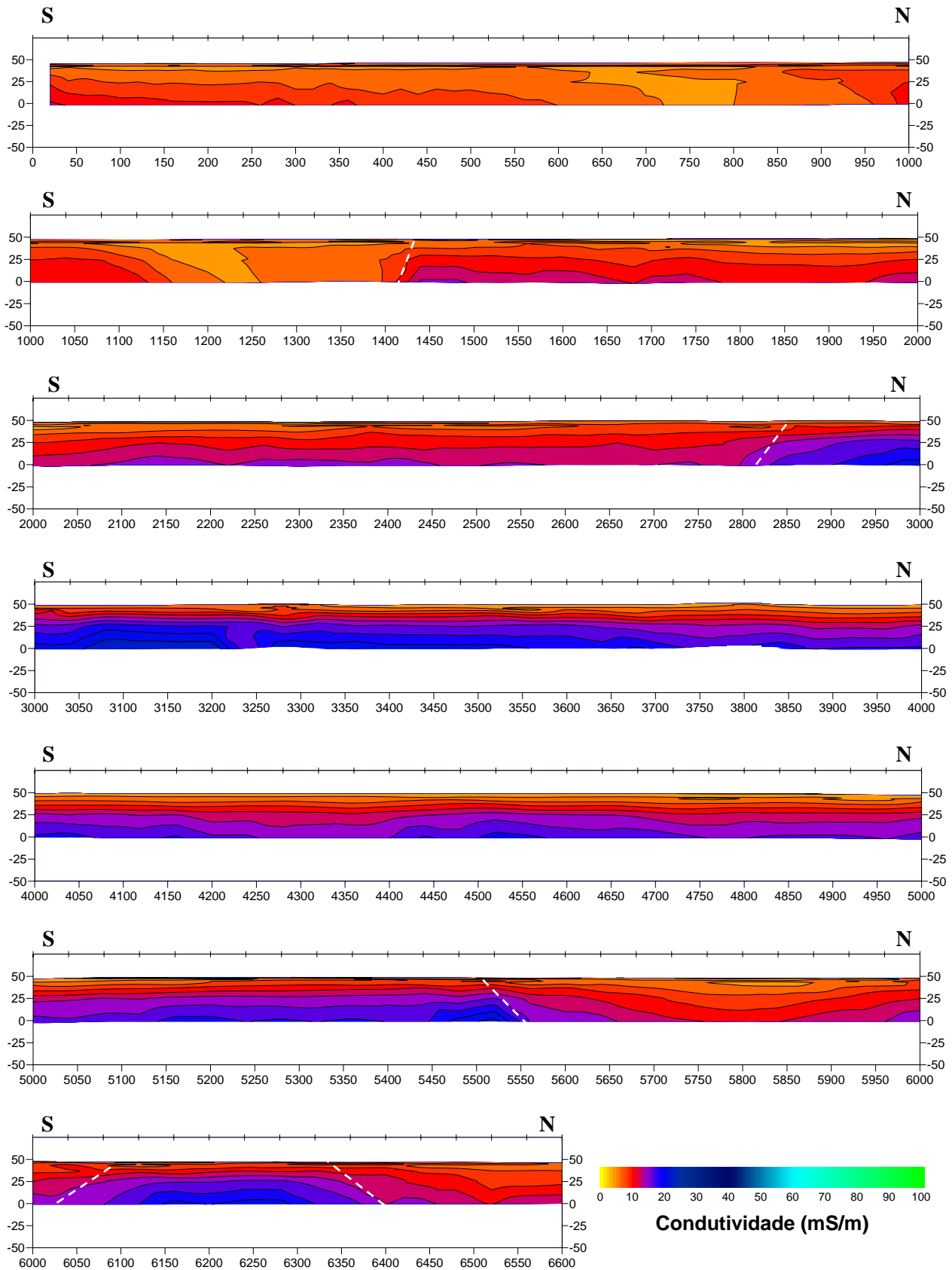
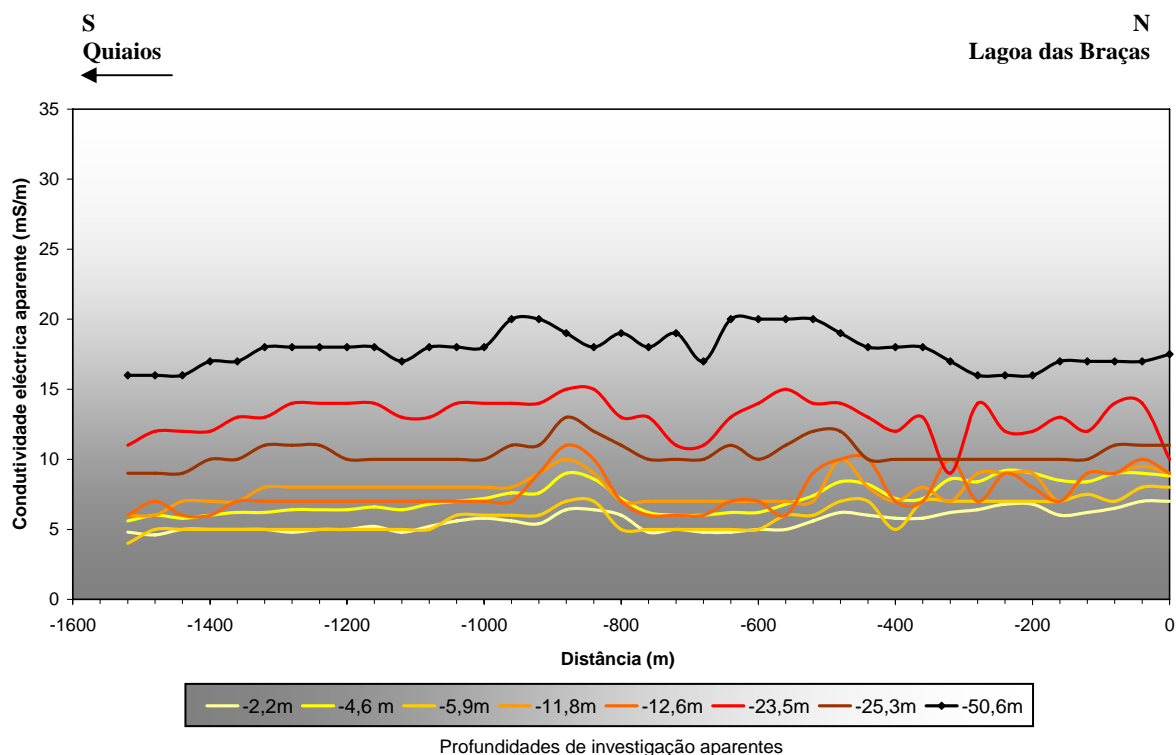


Figura 3.27 – EM10 – ELN - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas. Notas: Localização do perfil EM10 – ELN na figura 3.3 (a azul). Distâncias e elevações em metros.

3.1.3.11 EM11 – ELS (Estrada das Lagoas Sul)

O perfil EM11-ELS é a continuação, para sul, do perfil EM10-ELN. Foi efectuado ao longo da estrada florestal que margina a lagoa das Braças a ocidente, com uma direcção N40°E e um total de 1520 m (figuras 3.28 e 3.29).



Nota: Pontos de medida marcados com losangos na curva de 50,6 m

Figura 3.28 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) *versus* distância (m) para o perfil EM11–ELS. Nota: Localização do perfil EM11–ELS, a azul escuro, na figura 3.3.

O perfil EM11-ELS é um perfil cujas condutividades eléctricas aparentes são relativamente constantes e progressivamente maiores para profundidades de investigação mais elevadas.

A camada mais superficial é pouco condutora, sendo o substrato mais condutor relativamente profundo. Não existem superfícies de descontinuidade acentuadas e o substrato parece revelar uma zona de paleorrelevos muito suaves e uma organização sub-horizontal. Note-se que esta zona corresponde à zona menos condutora do segmento oriental do perfil EM7.

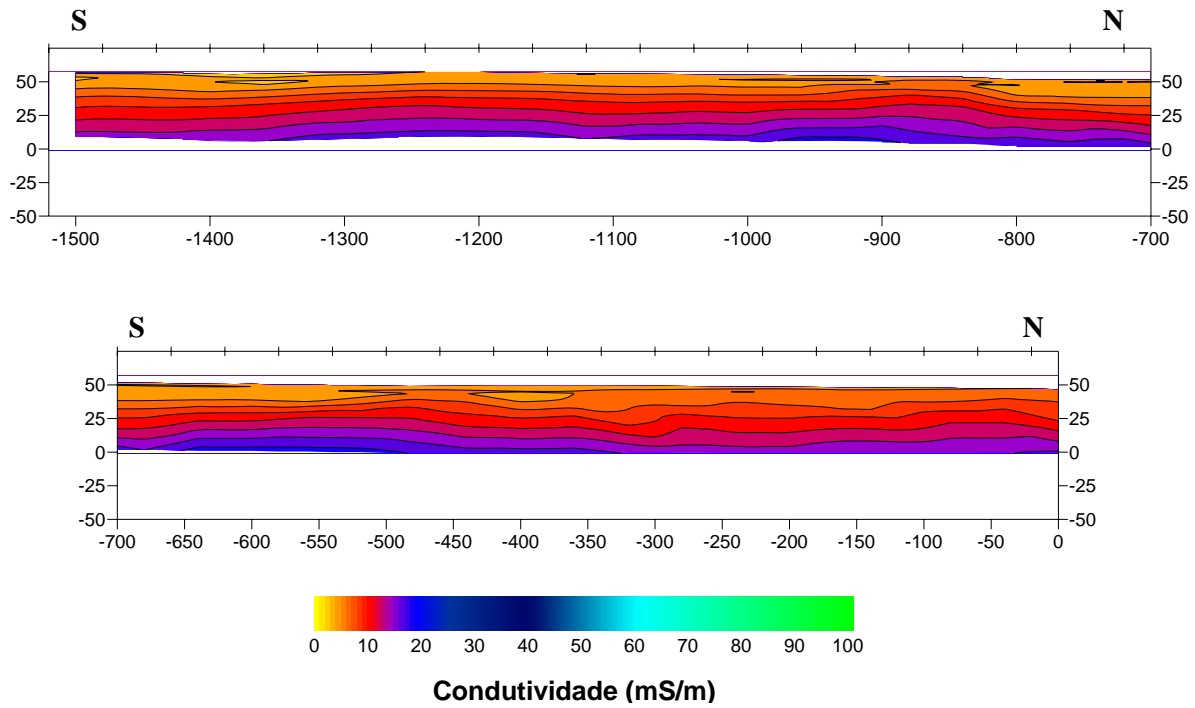


Figura 3.29 – EM11 – ELS - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas. Notas: Localização do perfil EM11 – ELS na figura 3.3 (a azul escuro). Distâncias e elevações em metros.

3.1.3.12 EM12 – BE (caminho a E da Lagoa das Braças)

O perfil EM12-BE é aproximadamente paralelo ao perfil EM11, mas situa-se na margem oriental da lagoa das Braças. Tem um total de 1800 m e 46 pontos de medida (figuras 3.30 e 3.31).

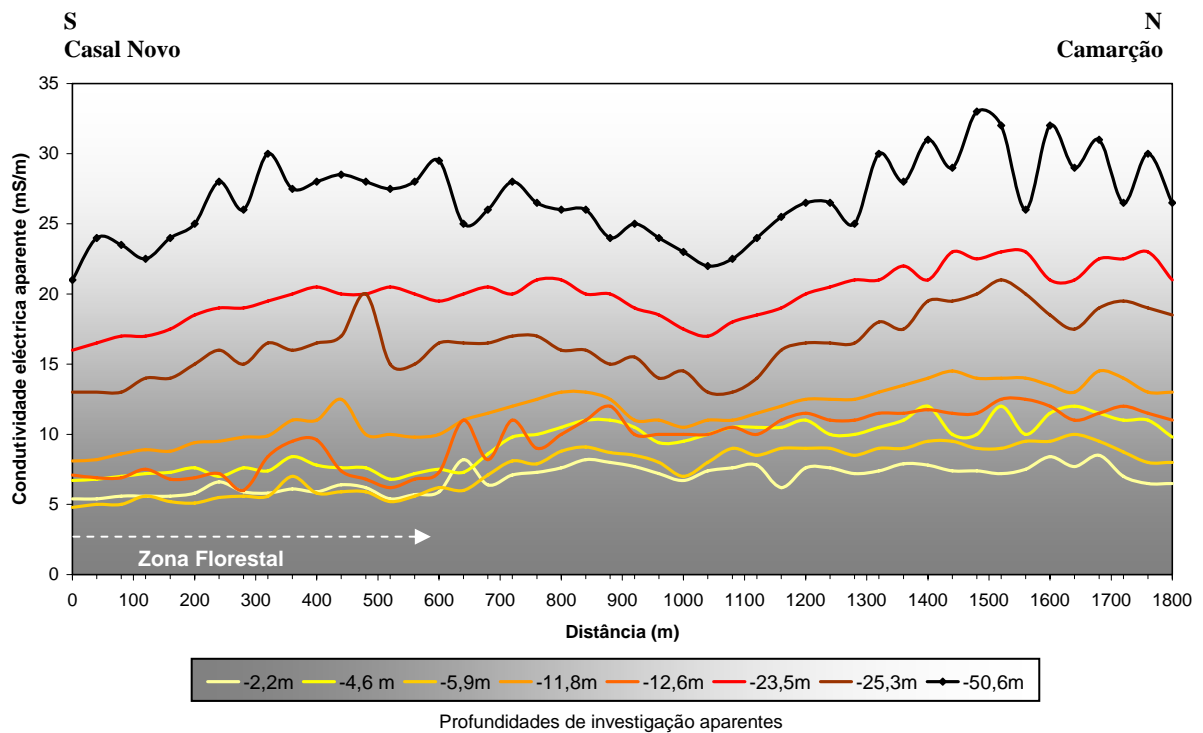


Figura 3.30 – Curvas de condutividade eléctrica aparente (mS/m) *versus* distância (m) para o perfil EM12–BE. Nota: Localização do perfil EM12–BE, a cor-de-rosa claro, na figura 3.3.

Inicia-se com uma zona de condutividades eléctricas aparentes comparativamente baixas, especialmente para as profundidades de investigação mais superficiais (até -12,6 m), apresentando valores geralmente constantes, que aumentam gradualmente com a profundidade de investigação. Esta primeira zona do perfil, até cerca dos 600 m, tem ocupação do solo maioritariamente florestal.

Segue-se-lhe uma outra zona, mais setentrional com ocupação predominantemente agrícola, em que os valores da condutividade eléctrica aparente sobem ligeiramente. Esta subida é notada, sobretudo, nas curvas correspondentes a menores profundidades de investigação (figura 3.30), podendo dever-se a um aumento do teor de humidade, do conteúdo em sais dissolvidos ou em matéria orgânica, a que se associa uma ocupação agrícola intensiva com recurso ao uso de fertilizantes, adubos orgânicos e pesticidas.

É ainda visível uma anomalia por volta dos 1050 m, que parece corresponder a uma figura de canal, que não tem correspondência actual na superfície do terreno. Esta anomalia pode corresponder a uma antiga linha de água, visível na carta corográfica de 1886, que foi abandonada e colmatada com areia quando se construiu a vala da Lavadia.

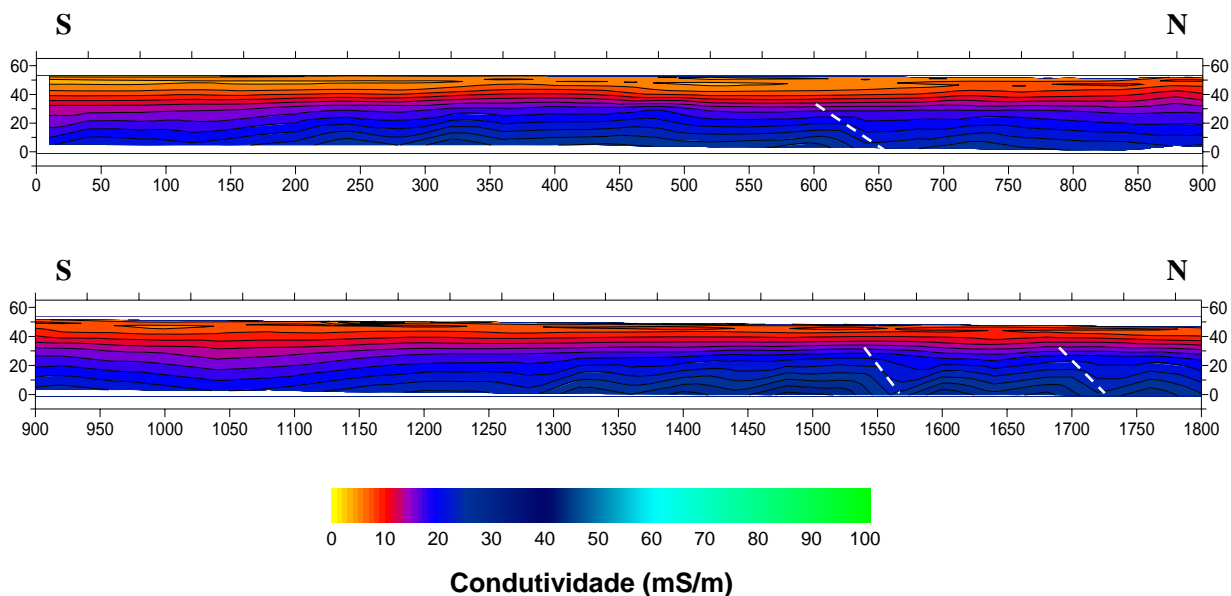


Figura 3.31 – EM12 – BE - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas. Notas: Localização do perfil EM12 – BE na figura 3.3 (a rosa claro). Distâncias e elevações em metros.

No geral, a camada superficial menos condutora apresenta espessuras da ordem dos 10 m, sendo aproximadamente constantes, estando a zona mais condutora a maior profundidade. Parece haver alguma organização sub-horizontal, marcada por paleorrelevos suaves sem superfícies de descontinuidade muito marcadas. As únicas exceções são as descontinuidades pouco evidentes que são visíveis aos 600, 1550 e 1700 m.

3.1.4 Perfis adicionais

Efectuaram-se ainda dois perfis adicionais, na área ocupada pelo Hospital Rovisco Pais, para tentar obter alguns esclarecimentos sobre a zona anómala existente a NE, marcada nos perfis anteriormente efectuados por manchas de cor azul-ciano ou verde, correspondentes a valores de condutividade eléctrica aparente superiores a 40 mS/m.

Os perfis foram efectuados no Verão de 2005, numa época em que estavam a decorrer vários trabalhos para instalação de uma rede de recolha de águas residuais, tendo um deles (EM14) sido efectuado ao lado de uma vala escavada a norte do hospital, que atingiu uma profundidade máxima de cerca de 6 m. Este perfil foi fotografado e georreferenciado, tendo sido efectuadas medidas de condutividade eléctrica aparente com os condutivímetros Geonics EM31 e EM34, para profundidades máximas de investigação aparente de 25,3 m e cujo espaçamento entre pontos de medida foi de 20 m (figura 3.32). Destes perfis só são apresentadas as pseudosseções obtidas com o Método das Médias (figuras 3.33 e 3.34).

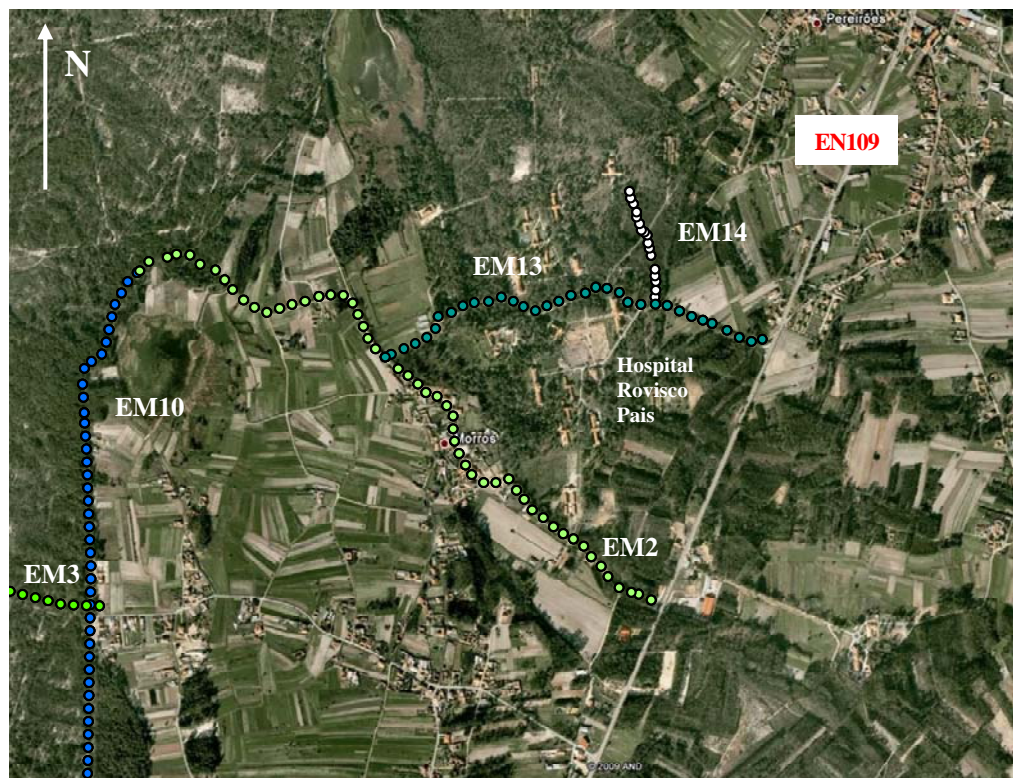
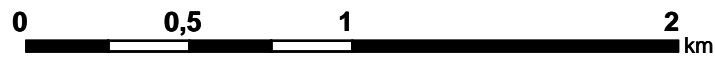


Figura 3.32 – Localização dos perfis adicionais e dos pontos de medida onde foram obtidos os valores de condutividade eléctrica aparente. Imagem de fundo retirada do Goggle Earth (2009).

Nota: Os perfis foram numerados na continuação dos perfis efectuados na primeira fase de prospecção geofísica e apresentam cores diferentes para facilitar a sua análise: EM13-RP, nos terrenos do Hospital Rovisco Pais, a azul esverdeado; EM14-VRP, ao longo de uma vala escavada a norte do Hospital Rovisco Pais, a branco.

3.1.4.1 EM13 – RP (caminho para SW no Hospital Rovisco Pais)

O perfil EM13-RP inicia-se na estrada Nacional EN109 e segue aproximadamente para ocidente, terminando em Morros no perfil EM2-MRE. Tem um total de 1300 m e 66 pontos de medida (figura 3.33).

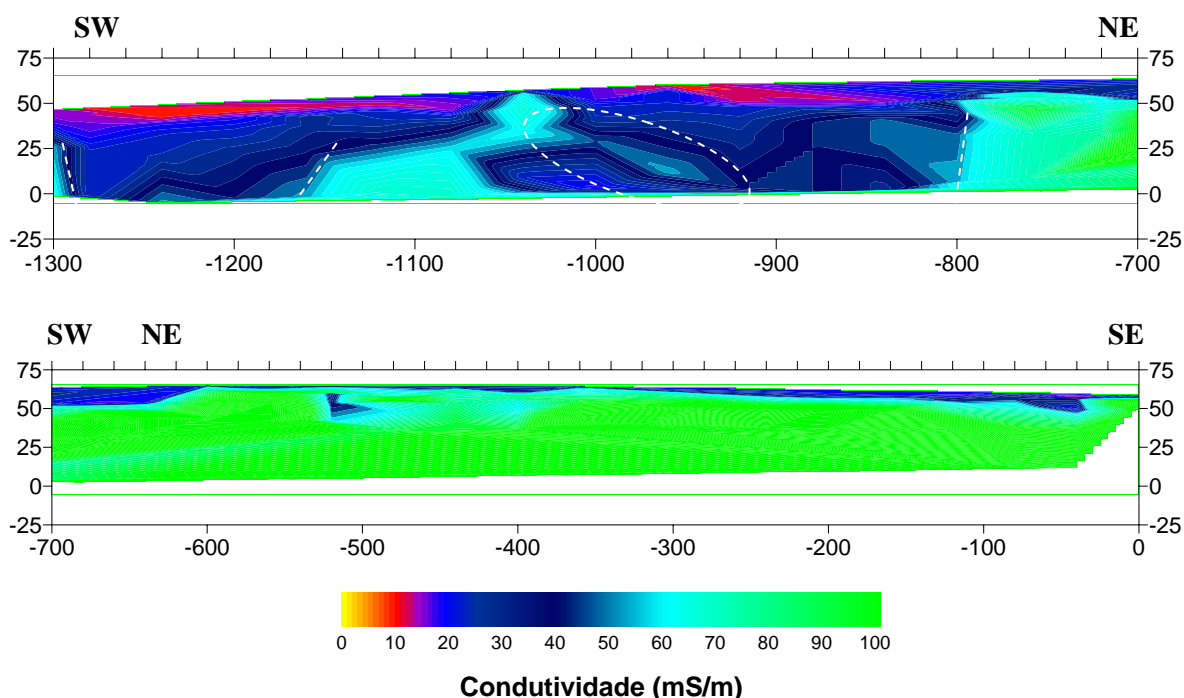


Figura 3.33 – EM13 – RP - Pseudosseção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas. Notas: Localização do perfil EM13 – RP na figura 3.32 (a azul esverdeado). Distâncias e elevações em metros.

Na pseudosseção da figura 3.33 não foram marcadas linhas de contorno a preto, uma vez que a elevada densidade destas, em alguns locais, dificultariam a sua leitura.

Neste perfil são visíveis as anomalias positivas existentes nos perfis EM1 e EM2, mas desta vez com uma continuidade lateral maior, já que este perfil se estende mais para oriente. Encontramos valores de condutividade eléctrica aparente superiores a 60 mS/m, particularmente na extremidade SE, sendo a mancha com condutividades acima dos 90 mS/m limitada, a sudoeste, por uma superfície de descontinuidade, que inclina nesta direcção.

Na extremidade SW encontram-se manchas com condutividade eléctrica aparente mais baixa, geralmente abaixo de 40 mS/m.

É de salientar a existência de uma zona com condutividade eléctrica aparente superior a 60 mS/m que atinge a superfície do perfil, o que não acontece nos perfis anteriormente efectuados, situada próximo do ponto de medida -50 m. Nesta zona e na superfície do terreno, estão cartografados afloramentos de Calcários de Tentúgal (Calcários Apinhoados

de Costa d'Arnes), com direcção aproximada N40°E e com um pendor de 23° para SE. Ligada a esta zona parece haver uma superfície de descontinuidade que inclina para E cerca de 20° e que parece ser descontínua. Pode corresponder a um nível mais condutor, provavelmente mais margoso, que apresenta alguma alteração mineralógica ou carsificação, ou ainda a uma superfície de percolação de água através de descontinuidades existentes no calcário.

Este perfil permite definir melhor o limite da mancha mais condutora, que aparece com tons esverdeados, e segui-la para norte do perfil Morros Este (EM2).

3.1.4.2 EM14 – VRP (vala aberta a norte do Hospital Rovisco Pais)

O perfil EM14-VRP acompanha uma vala aberta, com cerca de 6 m de profundidade e uma direcção aproximada NNW-SSE. Apresenta um total de 280 m e 15 pontos de medida. Este perfil foi efectuado apenas com as configurações que permitem atingir uma profundidade máxima de 25,3 m (Ogilvy *et al*, 1991) (figura 3.34).

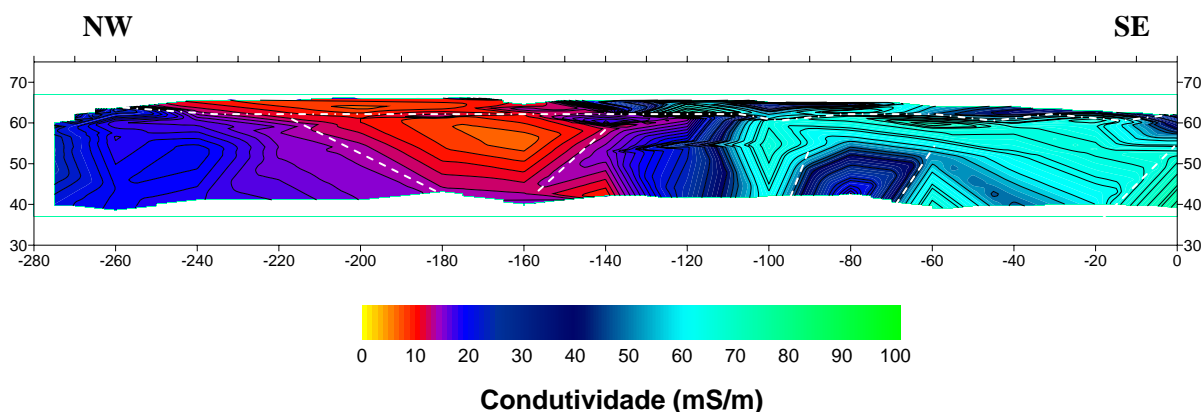


Figura 3.34 – EM14 – VRP - Pseudosecção obtida através do Método das Médias, com identificação das principais estruturas. Notas: Localização do perfil EM14 – VRP na figura 3.32 (a branco). Distâncias e elevações em metros.

Como já foi referido, o perfil EM14 foi efectuado numa vala aberta que conservava, na superfície do terreno, o aterro resultante da sua escavação. A separação do material resultante da escavação e o talude da vala está marcada com uma linha branca, a ponto traço, no perfil da figura 3.34.

O perfil EM 14 inicia-se, a NW, com uma zona de condutividade eléctrica aparente relativamente baixa, apresentando valores inferiores a 40 mS/m e superiores a 10 mS/m.

Neste perfil é visível o início da anomalia marcada a verde, com valores de condutividade eléctrica aparente próximos de 100 mS/m, e a anomalia marcada com azul-ciano, com valores próximos de 60 mS/m, com grande detalhe devido à maior densidade de pontos de medida.

O elevado contraste de condutividades existente entre os diversos materiais geológicos contribui ainda para a heterogeneidade visível no perfil.

Tal como no perfil EM13, existe uma anomalia que atinge a superfície do terreno, agora coberta por aterro resultante da escavação efectuada na vala. Ligadas a esta anomalia, encontram-se duas superfícies de descontinuidade, com reduzida extensão lateral, geralmente pouco inclinadas para SE. Apresentam semelhanças com a superfície de descontinuidade que inclinava 20° no perfil EM13, podendo corresponder a níveis com composição ligeiramente mais margosa, a zonas carsificadas, alteradas ou com percolação de água, através de fracturas existentes no calcário.

3.1.5 Análise conjunta dos perfis

A análise conjunta dos perfis EM1 a EM14 permitiu definir sectores com propriedades electromagnéticas semelhantes ou cujos limites são constituídos por superfícies de descontinuidade aparentemente correlacionáveis. Definiram-se, assim, dois sectores principais que parecem ter características que os tornam diferenciáveis: o Sector I, mais extenso, situado a W e SW, e o Sector II, relativamente circunscrito, a NE (figura 3.35).

O Sector I integra uma área relativamente extensa, a ocidente, com cobertura eólica dominante. Apresenta valores de condutividade eléctrica aparente geralmente baixos e parece ter uma disposição horizontal ou sub-horizontal, frequentemente marcada por paleorrelevos, podendo ser concordante com a existência de materiais porosos pouco consolidados. Não parece ser, no entanto, de excluir a possibilidade de haver já alguma compactação das camadas mais profundas, sobretudo nas zonas mais orientais onde se observam algumas superfícies de descontinuidade.

Localmente as unidades sedimentares podem ser mais condutoras, possivelmente mais argilosas, com maior porosidade efectiva ou ricas em minerais mais condutores: óxidos de ferro, colóides com maior capacidade de troca catiónica (CTC ou CEC); com carbono ou grafite e provavelmente com matéria orgânica. Existem ainda evidências de zonas com condutividade eléctrica aparente muito baixa, podendo ser justificadas com a existência de unidades sedimentares arenosas secas ou saturadas com água pouco mineralizada. Esta zona mais ocidental pode ser subdividida em alguns subsectores (figura 3.35).

O Sector II apresenta-se circunscrito a uma área situada a NE e é muito evidente nos perfis inicialmente efectuados nesta zona, como EM1 e EM2. A sua presença e a definição dos seus limites foram corroboradas pelo resultado dos perfis adicionais EM13 e EM14. Coincide com uma zona mais condutora, provavelmente constituída por materiais relativamente consolidados, cuja morfologia depende de superfícies de descontinuidade bem marcadas, por vezes muito inclinadas e que parecem promover subidas e descidas de blocos. As anomalias apresentam uma configuração que pode ser justificada pela existência de blocos subidos ou descidos, organizados internamente com estratificação de pendor pouco inclinado mas não sub-horizontal, separados por superfícies de descontinuidade consistentes com a existência de fracturas bastante inclinadas.

Embora a separação entre perfis seja muito grande para os correlacionar e definir limites entre diferentes zonas com alguma certeza, os dados são relativamente concordantes com uma organização em subsectores aproximadamente paralelos à actual linha de costa, sobretudo nas áreas mais ocidentais.

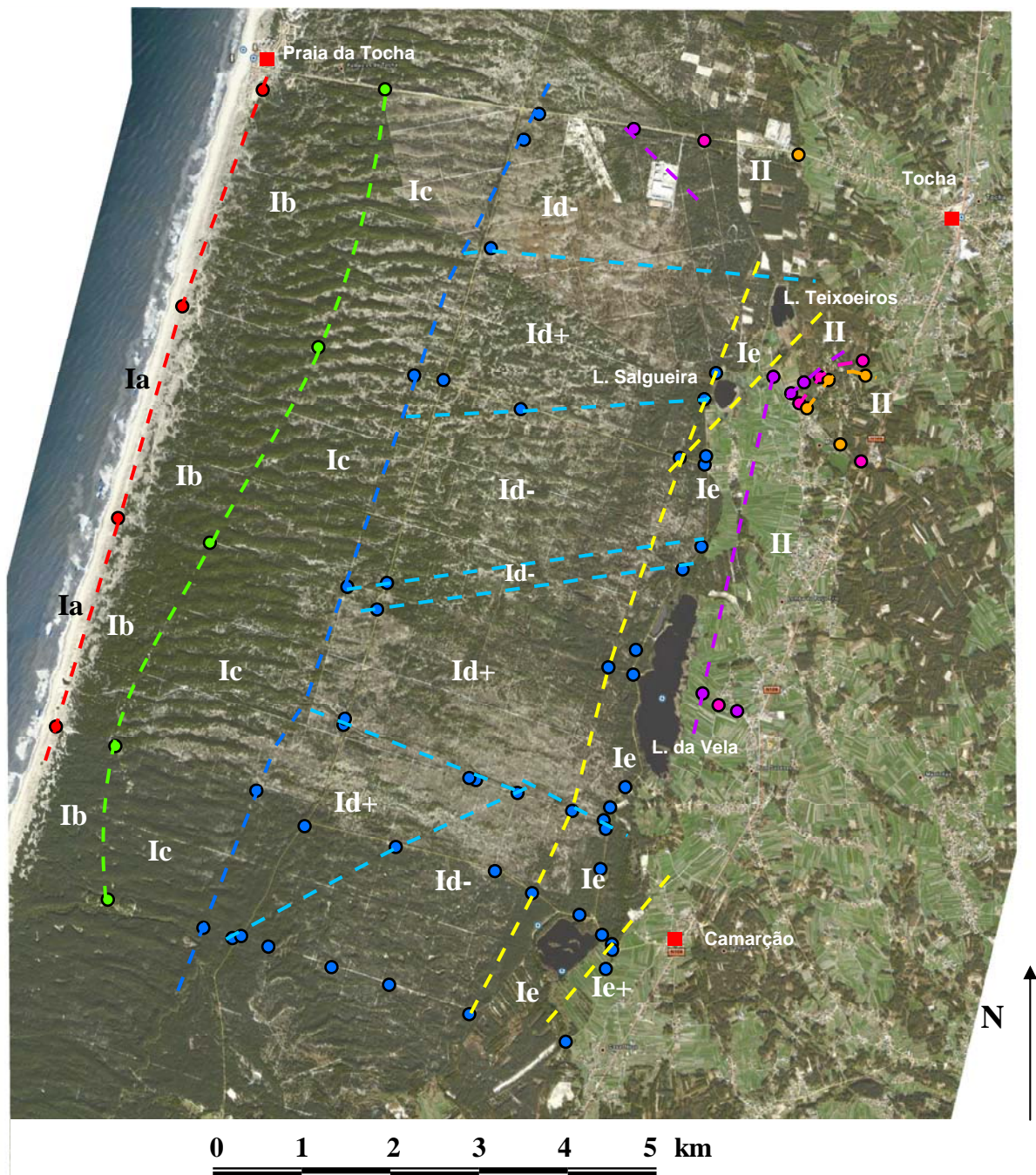


Figura 3.35 – Imagem da área onde foi efectuada o levantamento geofísico, com marcação de sectores individualizados pelas suas propriedades electromagnéticas.

Notas: a caracterização dos sectores Ia, Ib, Ic, Id+, Id-, Ie e II é referida no texto.

Imagem de fundo criada por montagem de imagens do Goggle Earth (2007).

Definiram-se os seguintes subsectores no sector I:

- Subsector Ia – é o mais ocidental de todos os subsectores, identificado na figura 3.35 como Ia, cujo limite oriental se encontra marcado a vermelho, aproximadamente coincidente com o do cordão dunar primário. É constituído por sedimentos relativamente pouco condutores com uma espessura que poderá ultrapassar os 50 m. Dada a sua orientação aproximadamente coincidente com o cordão dunar primário e paralela à linha de costa actual, esta zona poderá estar relacionada com processos geológicos costeiros que promoveriam acumulações de sedimentos arenosos com estas características. Não será ainda de excluir a possibilidade de algum controlo tectónico, que pode ter condicionado o limite oriental deste subsector em profundidade.
- Subsector Ib – zona com condutividades eléctricas aparentes relativamente elevadas, para todas as profundidades de investigação, cujo limite oriental está marcado, a verde, na figura 3.35. A distância deste limite à linha de costa actual não é uniforme, podendo atingir cerca de 1 km. A cobertura eólica superficial é, neste sector, relativamente pequena, podendo ter alguma influência marinha dado o aumento da condutividade eléctrica aparente das camadas mais superficiais. Para profundidades de investigação superiores a cerca de 10 m, esta camada superficial parece dar lugar a uma zona mais condutora cuja espessura diminui para oriente.
- Subsector Ic – zona pouco condutora, cuja espessura máxima poderá ser superior a 50 m, diminuindo possivelmente na zona central e setentrional da área de estudo. Os valores de condutividade eléctrica aparente são muitas vezes inferiores a 15 mS/m, havendo frequentemente sobreposição das curvas de condutividade para profundidades de investigação até 25 m. Constitui no seu conjunto uma anomalia negativa, sendo particularmente visível nos perfis mais meridionais (EM8 e EM7). Separa-se da zona Ib, por uma superfície difusa e pouco uniforme, mas o seu limite oriental (marcado a azul escuro na figura 3.35) é relativamente rectilíneo, definidos por superfícies de descontinuidade muito inclinadas para ocidente. Este limite é coincidente com alinhamentos topográficos, visíveis nas imagens de satélite e na fotografia aérea, que apresentam ligeiros deslocamentos para a direita. Este sector pode estar preenchido por sedimentos pouco consolidados, arenosos ou pouco argilosos, podendo estar secos, ou saturados com água pouco mineralizada.

- Subsector Id – zona com condutividades eléctricas aparentes elevadas, a uma distância de cerca de 3 km do mar e que se prolonga por 2 a 3 km, até à área envolvente das lagoas. Apresenta um substrato que evidencia algumas superfícies de descontinuidade, identificados por pontos azuis na figura 3.35, que parecem definir patamares com valores de condutividade eléctrica aparente geralmente constantes que descem, em degrau, para oriente. O perfil onde esta situação é mais evidente é o perfil EM3 - MRW, no qual esta zona se prolonga por cerca de 2 km, sendo também observadas zonas semelhantes nos perfis EM5 e EM6.

Neste subsector foram definidos patamares ou zonas com condutividades mais elevadas ou mais baixas, que podem corresponder também a zonas mais abatidas ou soerguidas. Os limites encontrados correspondem geralmente a superfícies de descontinuidade do substrato, que algumas vezes parecem realçados por alinhamentos estruturais e/ou topográficos, visíveis em fotografia aérea ou imagens de satélite.

Definiram-se assim os subsectores Id+ e Id-, limitados por superfícies de descontinuidade aparente que parecem promover a subida dos blocos Id+ e a descida dos blocos Id-, o que é, de certo modo, evidenciado pelas diferenças de condutividade eléctrica aparente entre os sectores, já que na área de estudo existe um contraste entre os níveis mais profundos, mais condutores, e os níveis mais superficiais, menos condutores. Tentou ainda obter-se uma identificação do subsector através da maior semelhança de valores de condutividade eléctrica aparente intra-sectores e a maior diferença destes valores entre sectores.

Os subsectores Id+ são caracterizados por valores de condutividade eléctrica aparente mais elevados e/ou são limitados por superfícies de descontinuidade que sugerem a existência de blocos soerguidos. Os subsectores Id- apresentam valores de condutividade eléctrica aparente mais baixos e/ou são limitados por superfícies de descontinuidade que sugerem a existência de blocos abatidos (figura 3.35).

As superfícies de descontinuidade que definem os subsectores Id+ e Id-, de maiores dimensões, apresentam preferencialmente orientações ENE-WSW ou WNW-ESE, muitas vezes intersectadas por superfícies de descontinuidade com direcção NNE-SSW ou NNW-SSE e, mais raramente, por superfícies com direcção NE-SW ou NW-SE. Muitas destas superfícies de descontinuidade, algumas das quais não estão marcadas na figura 3.35, resultam da conjugação dos dados obtidos nos perfis de prospecção electromagnética e da análise da fotografia aérea e das imagens de satélite. Existem ainda evidências de descontinuidades com orientações meridianas aproximadas, sobretudo junto ao bordo ocidental das lagoas.

- Subsector Ie – zona com condutividades geralmente baixas, limitada a ocidente por uma superfície de descontinuidade, marcada a amarelo na figura 3.34, com uma direcção aproximadamente paralela ao limite ocidental do subsector Id. Este subsector contém várias superfícies de descontinuidade, que parecem provocar um progressivo abatimento de blocos, de oriente para ocidente. São particularmente visíveis no perfil EM 7, junto da lagoa das Braças, mas também são notadas nos extremos orientais dos perfis EM3, EM5 e EM6.

Existe ainda uma zona que apresenta condutividades ligeiramente mais elevadas ou parece estar ligeiramente soerguida (Ie+), que pode ser identificada no perfil EM7, a oriente da lagoa das Braças.

No geral, o Subsector Ie é muito semelhante ao Subsector Id, mas como se destaca deste por uma superfície de descontinuidade com continuidade e dada a sua proximidade com o bordo ocidental das lagoas, optou-se por separá-lo.

Os sectores Id e Ie como conjunto parecem constituir os dois lados do espelho, na medida em que um parece o reflexo do outro. No Subsector Id parece haver geralmente o abatimento progressivo dos blocos orientais, enquanto que, para o Subsector Ie o abatimento parece dar-se nos blocos ocidentais. Como conjunto, formam uma zona central que parece estar mais abatida e coincide, aproximadamente, com a zona onde se situam as lagoas.

3.2 Geo-radar (GPR)

GPR (*Ground Penetrating Radar*) ou geo-radar é uma técnica geofísica electromagnética, não destrutiva, que tem numerosas aplicações nos campos da Geologia, Engenharia, Arqueologia, entre outros. Baseia-se na velocidade de propagação das ondas electromagnéticas e nas reflexões que estas sofrem nas interfaces entre os diferentes materiais, que dependem das propriedades eléctricas e magnéticas do meio em que se propagam e, portanto, dos materiais que o constituem.

Um sistema de radar actual integra quatro componentes: unidade de controlo, antena(s), unidade de visualização e unidade de armazenamento de dados. A unidade de controlo, constituída geralmente por um microprocessador e uma unidade de memória, é responsável pelas configurações, definições de cálculo, sinais que envia à antena transmissora Tx e leitura dos sinais que recebe da antena receptora Rx. Os resultados podem ser seguidos em tempo real através da unidade de visualização e armazenados para posterior tratamento (figura 3.36).

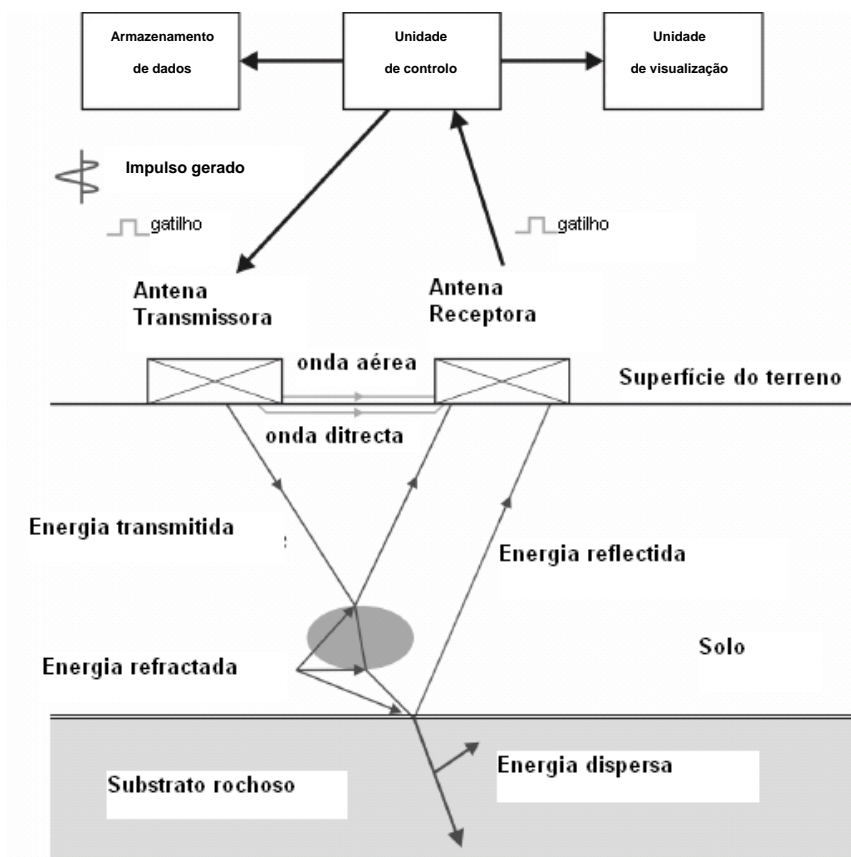


Figura 3.36 – Esquema de um sistema de geo-radar (adaptado de Fernandes, 2006).

A antena transmissora converte a corrente eléctrica em ondas electromagnéticas que são irradiadas a partir da superfície do terreno. Quando a onda encontra uma interface, entre dois meios com diferentes impedâncias, a sua energia é, em parte, reflectida e, em parte, transmitida aos níveis inferiores onde sofrerá novas interacções. O tempo de percurso de ida e volta (*two-way time*) do impulso reflectido, da antena transmissora ao reflector e deste até à antena receptora, permite determinar a posição da interface, sabendo a velocidade da onda. A antena receptora converte então as ondas electromagnéticas recebidas, após o tempo de ida e volta, em corrente eléctrica, o que constitui o resultado (*output*) do geo-radar, já que o sinal que chega é o produto da interacção das ondas electromagnéticas emitidas com o meio de propagação.

As frequências utilizadas pelas antenas comuns situam-se entre os 10 e os 2000 MHz, correspondendo a progressivamente maiores resoluções e menores profundidades de investigação. O tempo de percurso de ida e volta é da ordem dos nanossegundos ($ns=10^{-9}$ s).

Embora a permeabilidade magnética relativa do meio (μ) influencie a propagação da onda, a maior parte dos materiais geológicos encontrados em campanhas de GPR tem valores próximos da unidade, sendo que os seus valores absolutos estão próximos de $4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m (Milsom, 2003).

O parâmetro que determina a eficiência da propagação de uma onda electromagnética, no terreno, muitas vezes referido como Q, é igual a $\frac{\omega\epsilon}{\sigma}$ (ver índice de unidades ou descrição abaixo). O inverso de Q é conhecido como a factor de perda ou tangente de atenuação (*loss tangent*) (equação 3.2) e quanto maior for o seu valor maior, maior é a atenuação do sinal (Parasnis, 1997; Milsom, 2003). Assim, se $Q \gg 1$ a onda propagar-se-á eficientemente, sem atenuação apreciável a longas distâncias. Se, pelo contrário, $Q < 1$ a atenuação será grande e a propagação da onda só se fará para distâncias curtas (Parasnis, 1997).

$$1/Q = \tan \alpha = \frac{\sigma}{\omega\epsilon} \quad \text{equação 3.2}$$

em que α é a constante de atenuação, σ a condutividade eléctrica (em S/m ou $A^2 \cdot s^3 / (kg \cdot m^3)$), ω a *frequência angular*, igual a $2\pi f$ (frequência da radiação, em Hz ou 1/s) e ϵ a permitividade (di)eléctrica (em F/m ou $A^2 \cdot s^4 / (kg \cdot m^3)$).

A velocidade de uma onda electromagnética, num meio condutor qualquer, pode ser determinada a partir das equações de Maxwell, e pode ser descrita, pela equação 3.3:

$$v = \frac{\omega}{k} \quad \text{equação 3.3}$$

em que ω é a *frequência angular*, em rad/s, e k , ou *permitividade complexa*, é dada pela equação 3.4.

$$k \text{ ou } \varepsilon_c = \varepsilon + i\sigma / \omega \quad \text{equação 3.4}$$

em que i é o número imaginário, igual a $(-1)^{1/2}$, σ , ω e ε estão descritas na equação anterior (equação 3.2).

A percentagem da energia incidente que é reflectida por uma determinada superfície, ou interface, depende da área do alvo a pesquisar, da natureza da sua superfície e do contraste entre as permitividades complexas do meio e do alvo, dadas pela *amplitude do coeficiente de reflexão* (RC), definido pela equação 3.5 (Parasnis, 1997; Milsom, 2003).

$$RC = (\sqrt{k_1} - \sqrt{k_2}) / (\sqrt{k_1} + \sqrt{k_2}) \quad \text{equação 3.5}$$

em que k_1 e k_2 são as *permitividades complexas* do meio envolvente e do alvo, respectivamente, sendo obtidas pela equação 3.4.

A amplitude de reflexão da grande parte dos materiais geológicos, com excepção dos materiais metálicos, é predominantemente determinada por variações no conteúdo em água (Milsom, 2003). A grande parte das rochas e dos solos secos, pobres em minerais metálicos, têm permitividades relativas entre 5 e 10 F/m (Parasnis, 1997). No entanto, com o aumento da saturação em água aumentam os valores de permitividade relativa dos materiais, sendo que, para a gama de frequências usadas no geo-radar, a permitividade eléctrica da água (cerca de 80 F/m, a 20 °C) é consideravelmente maior do que a permitividade da matriz rochosa (Milsom, 2003).

O coeficiente de reflexão do nível freático, calculado a partir da equação 3.5, é de cerca de -0,10 (Parasnis, 1997) ou ainda mais negativo. Havendo um contraste relativamente elevado, uma grande parte da energia transmitida é reflectida nesta interface, tornando-a bastante visível em perfis de geo-radar que a intersectam (Parasnis, 1997).

A principal vantagem do método de geo-radar é a resolução obtida, que pode ser inferior ao centímetro dependendo das condições de operação (especialmente da frequência da antena utilizada) e das condições do meio. Em termos práticos se d for a espessura do nível que se pretende detectar no terreno, as reflexões do topo e da base deste nível serão claramente visíveis se a energia reflectida na base da interface não chegar mais cedo que a energia reflectida no topo. A espessura mais pequena detectável (d) para uma frequência média f e para uma velocidade v , é tal que, o tempo de ida e volta nesse nível seja superior ao período da onda (τ). Assim, a espessura mínima detectável será igual ou superior a $v\tau/2$ ou $v/2f$.

A profundidade de investigação, para idênticas condições de operação, depende das propriedades eléctricas, dieléctricas e magnéticas do meio atravessado e pode ser menos de 1 m, em sedimentos argilosos, até quilómetros, como foi o caso de trabalhos efectuados no gelo dos pólos (Hermosilha, 2007).

Considerando os valores médios de permitividades relativas de rochas e solos secos já referidos (5 a 10 F/m), a velocidade da onda no terrenos encontra-se normalmente entre os valores de 0,095 e 0,134 m/ns. Para pequenas profundidades, inferiores a 20 m, que constituem a maioria dos trabalhos de GPR, ou como primeira aproximação, usa-se muitas vezes a velocidade de 0,12 m/ns para a determinação da profundidade de investigação e para a determinação da profundidade das interfaces obtidas nos perfis de geo-radar. Quando se pretendem valores mais exactos, na fase final do trabalho de interpretação ou para profundidades maiores é desejável refinar a estimativa da permitividade relativa dos materiais atravessados através de ensaios laboratoriais em amostras de rochas e solos ou a partir de calibrações em áreas cujas características são conhecidas (Parasnis, 1997).

Uma outra vantagem deste método é o facto de se poder aceder em tempo real aos dados, à medida que estes vão sendo recolhidos no campo, o que permite um controlo da sua qualidade, facilitando a correcção das condições de operação, caso não sejam as melhores (Jol & Bristow, 2003).

3.2.1 Recolha e interpretação dos dados de geo-radar

Foi efectuado um perfil de geo-radar, sobre o segmento oriental do perfil EM8-2CF5B, ao longo de um corta-fogo com cerca de 3 km e uma direcção aproximada N70°W. A acoplagem do aparelho de geo-radar ao terreno foi boa, uma vez que o corta-fogo foi aberto em areias dunares, que se encontravam desprovidas de vegetação.

Os objectivos definidos para a aplicação deste método eram a definição da geometria e número de níveis confinantes, que se admitia estarem até aos 10 m de profundidade. Para o estudo e a definição destes alvos seleccionou-se uma antena biestática, com uma frequência de 250 MHz, sendo o perfil efectuado de acordo com a metodologia indicada no capítulo 1.

Após o tratamento dos dados de GPR, efectuado de acordo com a metodologia descrita no capítulo 1, a imagem da secção obtida é a apresentada na figura 3.37 e no anexo 3.4.

A profundidade máxima de investigação obtida situou-se entre os 12 e os 18 m, assumindo uma velocidade de propagação das ondas de 0,12 m/ns.

O facto de não haver outros perfis de geo-radar para permitir correlacionar lateralmente as interfaces interpretadas, limita o tipo de observação deste perfil a uma análise bidimensional.

É possível visualizar a partir da superfície, uma geração de dunas recentes, com estratificação bem visível, ligeiramente inclinada, e com progressão aparente para ESE. Estas dunas são particularmente notadas a ESE, a partir do ponto de medida de -1900 m, e especialmente entre os -1000 e os -1400 m. A interface que limita a base desta geração dunar está indicada na figura 3.37 por uma linha amarela.

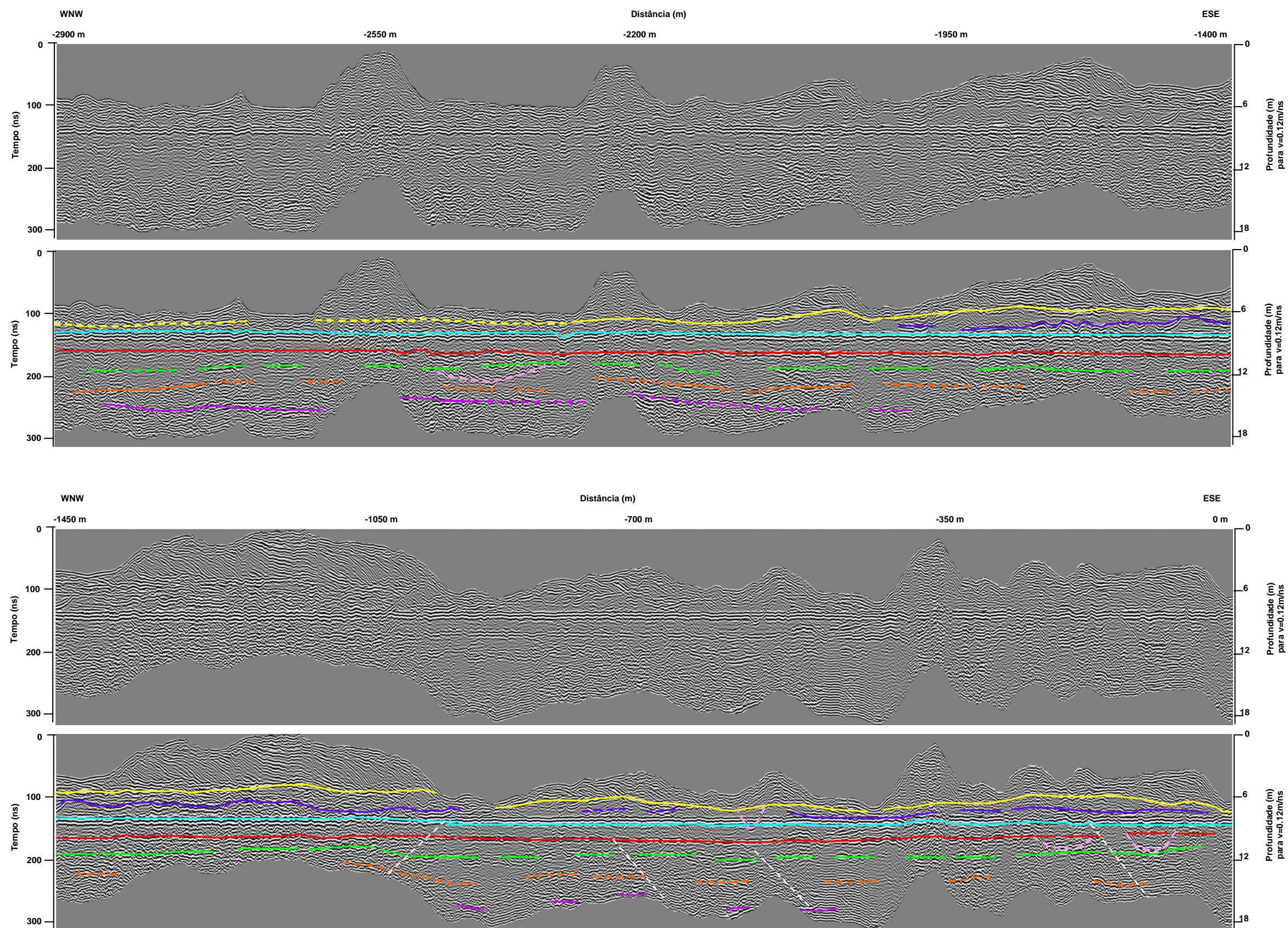


Figura 3.37 – Interpretação do perfil de geo-radar, efectuado sobre os 2900 m mais orientais do perfil EM8-2CF5B, com as interfaces marcadas a cores diferentes.

Notas: Localização do perfil na figura 3.3 (azul-turquesa). Significado das interfaces no texto.

Sob estas dunas existe uma zona cujas superfícies de reflexão são mais fracas e menos visíveis, cuja base está limitada, na figura 3.37, por uma linha azul arroxeadada. Esse limite é marcado por uma reflexão relativamente intensa e bastante ondulada, que se encontra acima do nível freático na generalidade do perfil, sendo mais visível entre os -1000 e os -1900 m. A ocidente e até aos -1900 m este limite praticamente coincide com a reflexão da superfície freática, sendo aparentemente mascarado por esta. Este limite, que corresponderá provavelmente a um paleorrelevo, pode também ter desaparecido devido a erosão.

Em alguns locais, entre as dunas mais recentes, os limites estão interrompidos havendo mesmo a cerca de -600 m uma estrutura erosiva cuja extensão lateral aparente ao longo deste perfil é pequena (cerca de 50 m). As estruturas erosivas encontram-se marcadas a rosa claro, independentemente da profundidade a que se encontrem (figura 3.37).

Segue-se-lhe uma superfície de reflexão muito forte que marca o nível freático e que se encontra entre 1 e 2 m abaixo da superfície do terreno, nas zonas interdunares. Esta interface é praticamente plana, exceptuando algumas ondulações, encontrando-se marcada entre as bases das dunas mais recentes, marcadas a amarelo ou a azul arroxeadado, e uma outra superfície de reflexão bastante forte, que está marcada a cor vermelha.

A interface, marcada a vermelho, é evidenciada por uma reflexão, que acompanha a superfície freática na quase totalidade do perfil, com excepção da parte oriental onde é um pouco mais acidentada entre os pontos de medida de 0 e -600 m. A partir deste ponto a ondulação da superfície diminui gradualmente, até esta ser aparentemente plana, a ocidente. Esta interface parece constituir a base de uma zona saturada, onde as reflexões são relativamente fracas parecendo ser muitas vezes sub-horizontais ou aparentemente inclinadas para oriente neste perfil.

Abaixo desta camada cuja base está limitada a vermelho existe uma zona com reflexões relativamente fracas, intersectadas ou reforçadas por interfaces cuja reflexão é mais forte e que são mais onduladas do que as interfaces superiores. O seu limite é pouco perceptível e muitas vezes difícil de seguir, tendo sido marcado a verde tracejado quando a reflexão é mais fraca.

Entre os últimos dois níveis sedimentares referidos existem algumas estruturas erosivas, marcadas a rosa claro. Uma destas superfícies, que parece constituir uma figura de canal com mais de 100 m de extensão lateral aparente, pode ser observada na zona ocidental do perfil entre os -2200 e os -2500 m.

Subjacente à superfície delineada a verde, existe uma reflexão (pintada a cor-de-laranja) que marca superiormente uma zona com reflexões bastante irregulares, aparentemente desorganizadas e relativamente intensas. Este aspecto das reflexões sugere alguma heterogeneidade nos materiais, fazendo com que determinadas reflexões sejam mais intensas do que outras, em alvos cuja extensão lateral deve ser pequena.

Existe ainda uma zona mais profunda que raramente é visível, marcada com uma interface a rosa forte. Esta parece limitar uma zona em que as reflexões são muito regulares, finas relativamente horizontais, bastante planas com poucas hipérbolas. Localizam-se na base do perfil e são especialmente visíveis próximo de -2500 m e de -700 m. Pelo contraste com o tipo de reflexões que existe superiormente parece tratar-se de um material geológico distinto.

As zonas onde o nível freático está mais perto da superfície apresentam profundidades de investigação aparente relativamente maiores, provavelmente porque a condução do sinal foi mais facilitada. É nessas zonas que é visível a interface marcada a cor-de-rosa forte.

As superfícies marcadas a amarelo, azul arroxado e vermelho podem constituir níveis lodosos e/ou níveis de paleossolos, que poderão ter marcado o relevo entre as sucessivas gerações de dunas. As superfícies amarela e azul, mais marcadas a oriente, parecem ser interrompidas localmente por figuras de canal, mas estão relativamente bem preservadas. A interface vermelha, tendencialmente mais plana para ocidente, parece definir uma superfície de erosão que pode corresponder a um período de deflação intensa.

Para profundidades maiores, observam-se algumas interfaces que poderão limitar materiais mais heterogéneos, diferentes dos encontrados mais próximo da superfície. Nestes níveis são observadas direcções que podem corresponder a descontinuidades ou a planos de estratificação, normalmente pouco inclinadas para oriente, marcadas a branco na figura 3.37.

Quando se compara o perfil de geo-radar da figura 3.37 com o perfil electromagnético EM8-2CFSB da figura 3.23, verifica-se que algumas das interfaces definidas no perfil de GPR correspondem a possíveis paleorrelevos existentes no perfil EM8-2CFSB. É ainda visível entre as interfaces mais profundas, algumas descontinuidades com inclinação aparente para E, a cerca de -200 m.

O facto de as superfícies topográficas antigas estarem mais onduladas para oriente também é visível no perfil EM8-2CFSB (figura 3.23), sendo as superfícies de descontinuidades marcadas a branco na figura 3.37 igualmente visíveis a cerca de -100 e -200 m no perfil EM8-2CFSB. Nota-se que a profundidade de investigação obtida nos perfis de geo-radar é apenas a camada mais superficial encontrada nas pseudosecções de condutividade eléctrica aparente existente na figura 3.23.

3.3 Algumas considerações sobre os resultados obtidos

Quando se comparam os resultados obtidos nesta fase de prospecção geofísica com a cartografia existente na folha 19-A (Cantanhede), verifica-se que, no Sector II aparecem afloramentos de sedimentos da Formação da Figueira da Foz (cartografados como Arenitos do Carrascal), que se podem observar no perfil EM1, a oriente de Berlengas.

Existem ainda afloramentos de sedimentos carbonatados, cartografados como Calcários de Tentúgal (equivalentes dos Calcários Apinhoados da Costa d'Arnes), na zona do Hospital Rovisco Pais, a norte de Morros. Nesta zona foram medidas atitudes com orientação N45°E, 23°SE. Atitudes medidas na mesma formação, a cerca de 1 km para norte, indicam uma mudança de direcção e pendor, para N10°E, 4°SE e, na zona da Tocha situada a cerca de 1 km para NE, as atitudes são de N70°E, 2°SE. Esta alteração das atitudes das rochas carbonatadas é concordante com a delimitação das anomalias do sector II.

Para uma melhor definição das estruturas no interior do Sector II teria que se estudar este sector separadamente, usando uma outra escala cromática adaptada aos valores de condutividade eléctrica aparente obtidos nesta zona. A escala cromática utilizada foi definida de modo a realçar as heterogeneidades de condutividade eléctrica nas zonas do Sector I, atribuindo a mesma cor (verde) a um grande intervalo de valores (acima de 60 mS/m), o que não possibilita a leitura das diferenças de condutividade existentes no interior deste intervalo.

De um modo geral, a fracturação e os alinhamentos estruturais observados concordam com a informação geológica disponível, tanto na folha 19-A (Cantanhede) (Barbosa, *et al.*, 1988) como na Carta da Neotectónica de Portugal Continental (Cabral & Ribeiro, 1988).

A superfície de descontinuidade que limita a ocidente o Subsector Ic, pode ser a mesma que Cabral & Ribeiro (1988) referem como uma falha activa de inclinação desconhecida com movimentação vertical, que promove a descida do bloco ocidental e que se encontra marcada paralelamente à actual linha de costa. Esta estrutura, que pode ser vista na figura 2.5, é aproximadamente coincidente com o limite marcado a azul-escuro na figura 3.35.

Alguns limites de sectores marcados a azul na figura 3.35 coincidem com o prolongamento de alinhamentos estruturais cartografados na folha 19-A (figura 3.36). Um dos mais importantes é o alinhamento com direcção NE-SW, que parece separar um subsector abatido de um outro elevado na área envolvente a ocidente da lagoa das Braças. Este alinhamento encontra-se cartografado a oriente e pode ser visto na figura 3.36. Como nota acrescenta-se que, nas proximidades do seu prolongamento para oriente e com uma direcção semelhante, se encontraram registos de dois sismos, sentidos em Abril de 1995 e Dezembro de 1996, com magnitudes próximas de 3 (Carrilho, Nunes & Pena, 2004).

As direcções estruturais definidas após a conjugação dos dados de fotografia aérea, das imagens de satélite e dos sectores obtidos nos perfis de condutividade eléctrica aparente, são concordantes com as principais direcções de fracturação existentes no bordo norte da serra da Boa Viagem, referidas

por Machadinho, Pereira & Figueiredo (2008) e Machadinho (2008). No interior dos sectores prevalecem as direcções aproximadas N20-30°E, N60-70°W, E-W, N50-60°E e N20-30°W, concordantes com as direcções de um modelo estrutural justificado pela existência de um sistema de Riedel cretácico, com orientação E-W, a que se seguiu uma reactivação das estruturas N30±5°E, durante a orogenia Alpina, devendo hoje em dia estar conforme um sistema de Riedel esquerdo, de direcção NNE-SSW (Machadinho, Pereira & Figueiredo, 2008; Machadinho, 2008).

Um aspecto curioso foi revelado quando se verificou que a vala da Lavadia, construída no início do século XX, parece acompanhar uma direcção estrutural, mais antiga, e que se prolonga para oriente, sendo visível na figura 3.38. Esta vala não está cartografada nas cartas anteriores a 1958 e a única referência semelhante é feita em relação à Lavadia da Vela junto ao mar, entre a praia da Costinha (antiga Costa Nova) e Palheiros da Tocha (figura 2.8). Pode admitir-se então que, embora não cartografada, possa existir uma zona de descontinuidade natural, que foi depois aproveitada para a construção da vala artificial. Apesar do termo antigo levadia (ou lavadia?) ter origem em levada, não tem um significado directamente ligado à existência de uma linha de água, sendo antes sinónimo de movimento agitado das águas do mar ou onda alta.

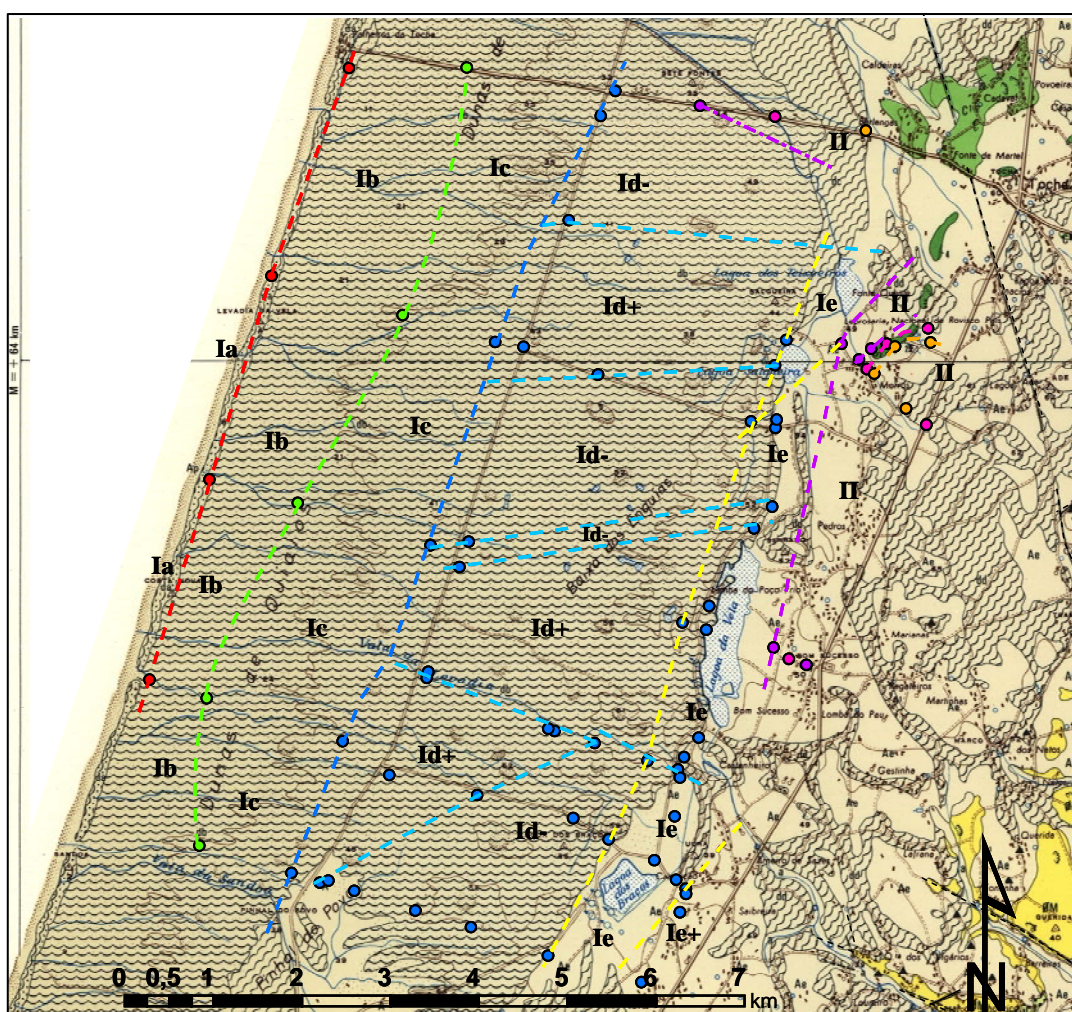


Figura 3.38 – Sobreposição da informação resultante dos levantamentos electromagnéticos com a informação geológica da folha 19-A (Cantanhede). Legenda na figura 3.39.

Nota: a caracterização dos sectores Ia, Ib, Ic, Id+, Id-, Ie e II é referida no texto.

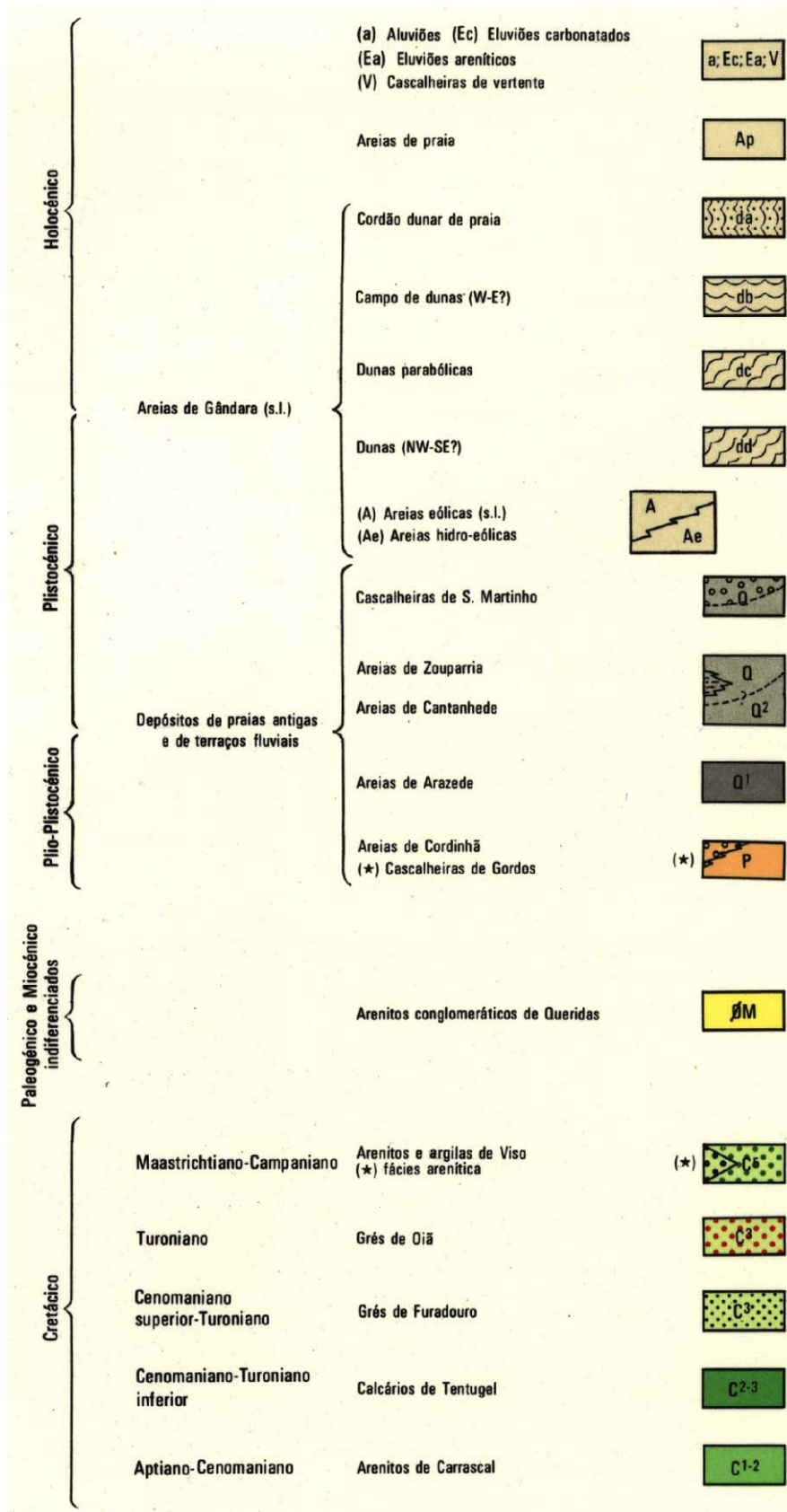


Figura 3.39 – Legenda geológica da figura 3.38, segundo a folha 19-A (Cantanhede) da Carta Geológica de Portugal (Barbosa *et al.*, 1988).

3.4 Marcação dos furos de sondagem

A etapa de prospecção geofísica tinha como objectivo fundamental o conhecimento e definição das unidades geológicas, que servem de suporte às unidades hidrogeológicas dos sistemas aquíferos.

Para tentar definir a geometria das diversas unidades sedimentares, caracterizar os materiais geológicos que as compõem e para que se pudesse instalar uma rede de monitorização de água subterrânea, na zona dunar a ocidente das lagoas, optou-se por efectuar uma série de furos de sondagem com instalação de piezómetros.

Os locais foram escolhidos de acordo com os resultados da fase de prospecção electromagnética, dando preferência aos sectores Ib, Ic e Id. No Sector Ie havia alguns furos a sul da lagoa das Braças e da lagoa da Vela, embora estes últimos estivessem desactivados, pelo que não foi uma zona considerada prioritária. Marcaram-se neste sector apenas dois furos, um entre as lagoas das Braças e da Vela e outro a norte da lagoa da Vela. Não se pretendeu efectuar qualquer furo no Sector Ia, que se situava no cordão dunar primário.

Com o intuito de facilitar o acesso futuro aos furos da rede de monitorização de água subterrânea, escolheram-se localizações próximas de estradas florestais, caminhos e corta-fogos, dando preferência aos perfis com direcção WNW-ESE que se acreditava estarem localizados de acordo com a principal direcção do fluxo subterrâneo. Como o perfil EM7-CC era o mais longo e de mais fácil acesso, foi escolhido como perfil experimental, tendo sido nele que se iniciou a campanha de sondagens e onde se voltou no final, para refinar o trabalho e para esclarecimento de dúvidas, ficando assim com a maior densidade de furos de acesso. Após a primeira fase da campanha, os furos efectuados eram confrontados com os resultados obtidos neste primeiro perfil, com a finalidade de construir um modelo geológico para a zona em estudo.

A campanha de sondagens mecânicas e de instalação de piezómetros foi efectuada de acordo com a metodologia descrita no capítulo 1. As profundidades de furação foram determinadas em cada ponto, mediante os dados existentes, os resultados obtidos para a zona envolvente e o nível aquífero que se pretendia monitorizar. Em alguns locais foram instalados furos múltiplos para que se pudesse aceder a diferentes níveis aquíferos de uma forma independente.

Os registos das sondagens, com a respectiva localização, fotografia do material geológico recolhido em cada nível e localização do tubo ralo foram reunidos no anexo 4.1.

A localização dos furos de sondagem e piezómetros instalados pode ser observada na figura 3.40.



Figura 3.40 – Localização dos furos de sondagem efectuados para instalação da rede de monitorização de água subterrânea.

Notas: Furos de sondagem marcados a branco.

Sondagem adicional (EST1) sem colocação de piezómetro.

Imagem de fundo criada por montagem de imagens do Goggle Earth (2007).

Capítulo 4

Análise das unidades sedimentares

As amostras recolhidas nos furos de sondagem efectuados (figura 3.40) possibilitam a aquisição de vários tipos de dados: granulométricos, mineralógicos, químicos, paleontológicos e cronológicos. Os dados obtidos foram utilizados para descrever estas amostras nas diversas vertentes abordadas neste trabalho, de forma a definir unidades sedimentares e hidrogeológicas, e que, ao mesmo tempo, ajudar a interpretar os resultados revelados pelas técnicas de prospecção geofísica.

As técnicas empregues (*vide* capítulo 1) tentaram alterar o menos possível os sedimentos, conservando e identificando todas as componentes que os constituíam, com excepção da fase gasosa que não foi recolhida para estudo por impossibilidade técnica. A fase líquida e a fase sólida foram usadas neste trabalho, sendo a primeira utilizada com as suas componentes mineral e orgânica. Usaram-se amostras duplas quando se queria estudar separadamente estas componentes, mas, no geral, os sedimentos foram mantidos intactos para que os resultados pudessem ser comparáveis. Amostras específicas foram ainda recolhidas para identificação de componentes biológicos existentes nos sedimentos, como pólen, sementes e esporos; restos de madeira e outros fragmentos de plantas, carvão, esqueletos e restos de animais.

A análise das amostras permitiu a definição de algumas unidades sedimentares com base nos dados de textura, cor, matéria orgânica, mineralogia, conteúdo em conchas e geometria dos sedimentos que as compõem, resultantes da observação no campo e de análises laboratoriais. As unidades foram denominadas de litofácies, ou fácies líticas, no sentido em que o seu aspecto, com base nas características acima referidas, permite a distinção de outras unidades adjacentes. Esta designação não foi usada no sentido mais restrito de Selley (1982) ou de Miall (1978), que envolvem a análise de estruturas sedimentares difíceis de conseguir com a metodologia usada neste trabalho, mas por contraponto com o termo fácies hídrica ou hidrogeoquímica, que será utilizado mais tarde no estudo hidrogeológico.

4.1 Litofácies

As unidades sedimentares (litofácies) definidas, que serão abordadas em detalhe nos subcapítulos seguintes, foram designadas por:

- Areias de Cor Clara – WS;
- Areias com Óxidos de Ferro – WS p;
- Areias com Lodo Orgânico – WS m;
- Areias com Areão – WS g;
- Lodos Orgânicos – OM;
- Lodos Cinzentos com Conchas – SM;
- Areias Grosseiras com Conchas – SS;
- Areias Argilosas Micáceas – McS;
- Areias Angulosas Mal Calibradas – APS;
- Areias Argilosas Esverdeadas – MGS;
- Argilas Avermelhadas – RC.

As quatro primeiras unidades são muito semelhantes e resultam de variações da litofácies WS, visíveis sobretudo a nível da textura, cor, conteúdo de matéria orgânica e conteúdo em óxidos e hidróxidos de Fe, Al e Mn (sesquióxidos). São designados, por isso, pelas letras da litofácies principal (WS) seguida de letra minúscula m, p ou g, formando assim as litofácies WS m, WS p, e WS g. As letras minúsculas podem ser colocadas em parêntesis nos casos em que as características fundamentais coincidem com a litofácies principal, mas em que apresentam também alguns aspectos particulares de uma outra litofácies. Estas situações são muito raras e foram enquadradas na litofácies com maior expressão.

A análise textural e a estatística descritiva das análises granulométricas, referidas frequentemente na descrição das litofácies, são apresentadas em detalhe nos subcapítulos 4.2 e 4.3. A análise da composição mineralógica é apresentada no subcapítulo 4.4.

A descrição dos *logs* das sondagens e os dados da granulometria de cada amostra podem ser encontrados nos anexos 4.1 e 4.2, respectivamente, sendo as cores referidas à escala de cores de Munsell (Munsell, 2000), que se encontram referidas entre parêntesis no texto.

4.1.1 Areias de Cor Clara – WS

Areias quartzosas, bem calibradas a moderadamente bem calibradas, de granulometria fina a média e com elevada maturidade textural (Segundo Folk, 1951), constituem a cobertura de quase toda a área estudada. São geralmente esbranquiçadas, acastanhadas (mais de 50% das amostras têm cores 10YR8/2 a 10YR8/4), amareladas ou cinzentas claras, tendo distribuições normais, ligeiramente assimétricas no sentido dos finos (0,73)

muito leptocúrticas e com quantidades muito diminutas de silte e argila (sempre inferiores a 5% sendo em média de 0,24%, tabela 4.2) (figuras 4.1 e 4.2).

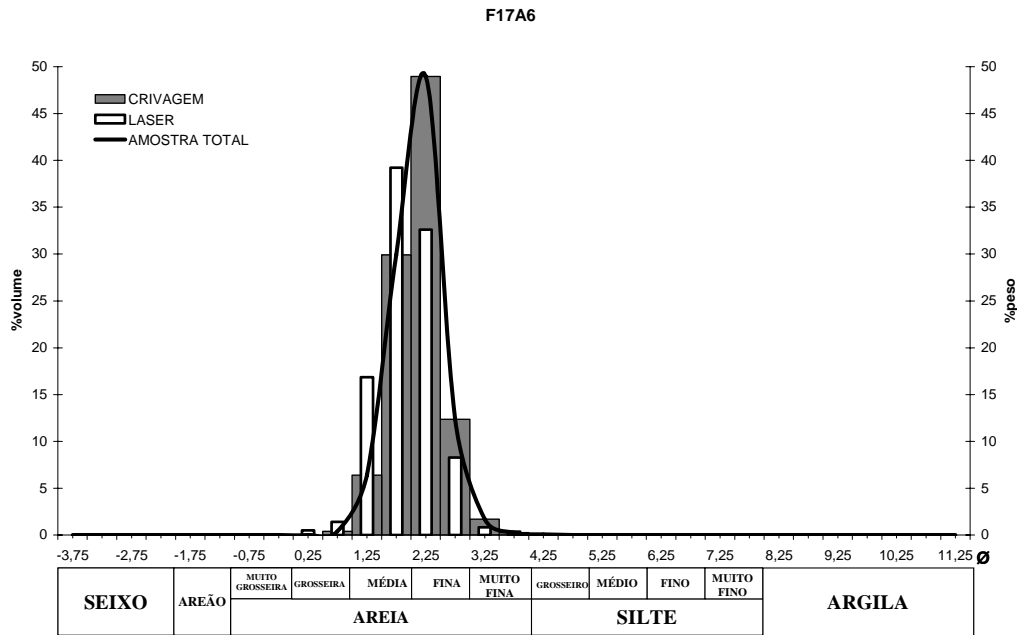


Figura 4.1 – Distribuições granulométricas características de uma amostra WS (F17A6).

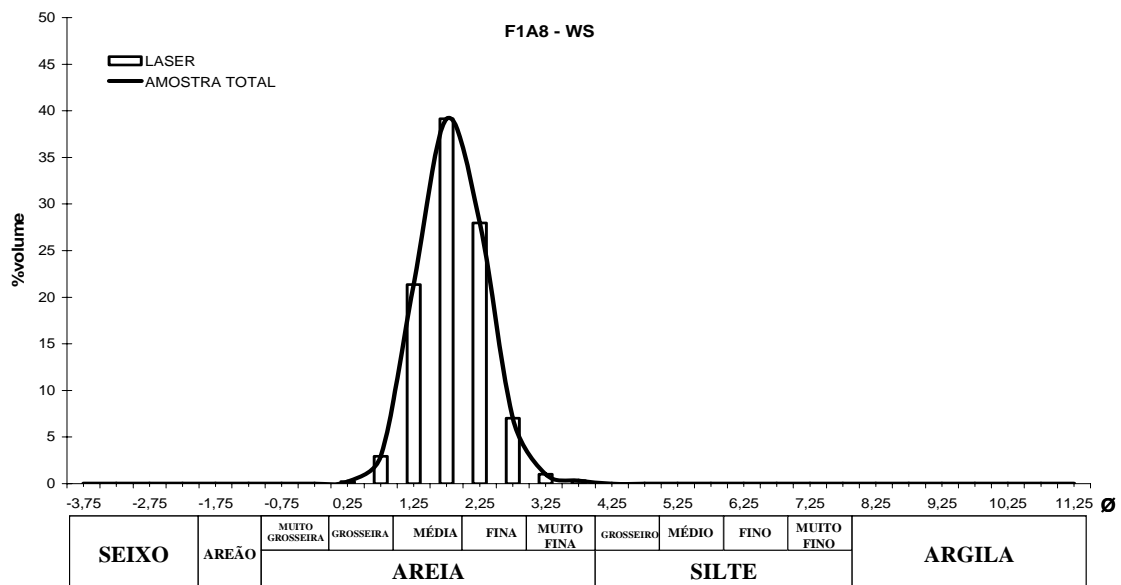


Figura 4.2 – Distribuição granulométrica característica de uma amostra WS (F13A1).

Constituem uma unidade bastante homogênea, havendo apenas pequenas variações na granulometria em profundidade ou lateralmente, com um ligeiro aumento da granulometria média devido à existência de fragmentos de conchas, sobretudo nas fracções mais grosseiras das amostras recolhidas nas sondagens mais ocidentais.

Os grãos de quartzo, avaliados qualitativamente, foram considerados arredondados (rolados) (Powers, 1953) e foscos (figura 4.3).



Figura 4.3 – Imagem da amostra F1A3 (litofácies WS) obtida na lupa binocular.

A espessura total desta unidade varia desde alguns decímetros, a norte e oriente, até várias dezenas de metros, na zona central e sob as cristas das dunas mais elevadas, onde chega a atingir os 30 m.

4.1.2 Areias com Óxidos de Ferro – WS p

Verifica-se localmente o enriquecimento em óxidos de Fe das areias WS, visível a profundidades superiores a 200 cm o que sugere a existência de paleossolos podzólicos. Os solos podzólicos são caracterizados por um horizonte A intensamente eluviado, empobrecido em sílica coloidal, em (hidr)óxidos de Fe, Al e Mn (sesquióxidos) e em complexos húmicos, que migram para o horizonte B onde se acumulam.

Areias WS p submaturas (Segundo Folk, 1951), enriquecidas em sesquióxidos testemunhando horizontes do tipo B, aparecem no sector mais oriental. Têm cores escuras, geralmente castanhas (10YR5/3), castanhas acinzentadas (10YR5/2), cinzentas acastanhadas (10YR6/2) ou castanhas amareladas (10YR4/4 a 10YR 6/4).

Apresentam distribuições granulométricas com ligeiras diferenças relativamente à litofácies WS, com médias ligeiramente mais finas. São moderadamente calibradas, fortemente assimétricas no sentido dos finos e muito leptocúrticas, apresentando uma média de 2% de matriz silto-argilosa (tabela 4.2 e figura 4.4).

As areias WS p são geralmente friáveis, com exceção de alguns níveis em que foi observada surraipa, branda a compacta, visível muitas vezes na superfície de terrenos que sofreram mobilizações mais profundas, nas zonas mais orientais.

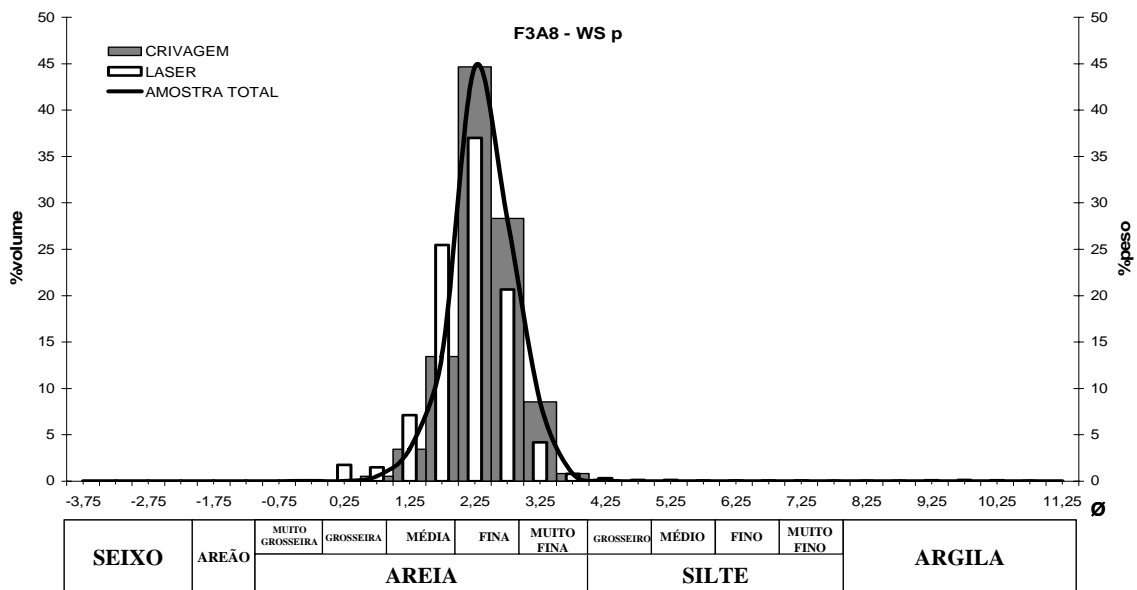


Figura 4.4 – Distribuições granulométricas características de uma amostra WS p (F3A8).

Os grãos de quartzo observados à lupa são, no geral, semelhantes aos encontrados na litofácies WS, mas apresentam-se muitas vezes revestidos com óxidos (*coatings*), modificando-lhes a cor e justificando as cores que caracterizam as areias WS p (figura 4.5).



Figura 4.5 – Imagem da amostra F12A7 (litofácies WS p) obtida na lupa binocular.

Nesta litofácies foram encontrados nódulos de matéria orgânica associados ao podzol. Análises efectuadas ao pólen encontrado nesses nódulos revelam associações dominadas por Ericales (Castilho, Danielsen & Dinis, 2007).

As espécies encontradas, especialmente *Erica scoparia* (urze-das-vassouras), *Calluna vulgaris* (torga) e *E. umbellata*, bem como *E. australis* (urze-vermelha), Cistaceae (esteva) e *Ulex* (tojo) sugerem um ambiente de charneca (Castilho, Danielsen & Dinis, 2007; Danielsen *et al.*, 2008).

4.1.3 Areias com Lodo Orgânico – WS m

As areias WS apresentam frequentemente níveis de sedimentos imaturos a submaturos (Segundo Folk, 1951), de alguns decímetros, enriquecidos em matriz silto-argilosa e matéria orgânica, de cor geralmente cinzenta (10YR5/1 e 10YR6/1), podendo ser cinzenta muito escura (10YR3/1) a castanha acinzentada muito escura (10YR3/2) e mais raramente cinzenta clara (10YR7/2) ou castanha acinzentada (10YR5/2). Estes níveis (WS m), são constituídos por areias finas a médias, moderadamente calibradas, fortemente assimétricas no sentido dos finos, e muito leptocúrticas sem fracção superior a 2 mm e com um conteúdo em matriz silto-argilosa que pode atingir os 6%, sendo em média de 2.3% (tabela 4.2 e figura 4.6).

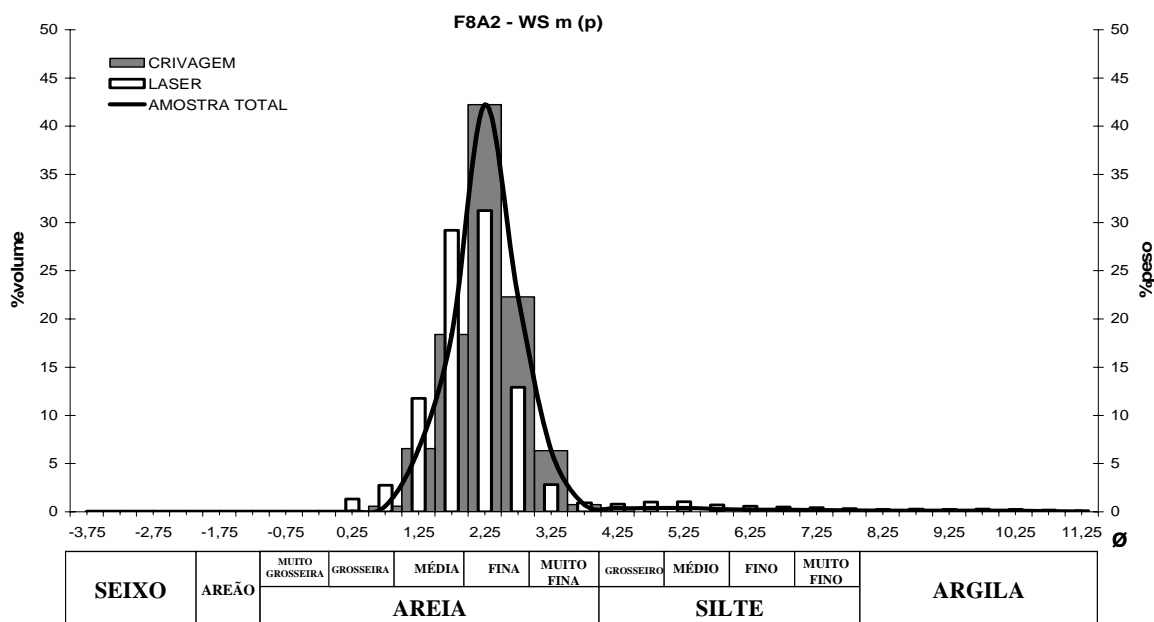


Figura 4.6 – Distribuições granulométricas características de uma amostra WS m (F8A2).

Encontram-se muitas vezes subjacentes e/ou sobrejacentes aos níveis WS p, especialmente nas áreas mais orientais circundantes das lagoas actuais. No entanto, embora raramente, podem também existir associados aos níveis mais superficiais de areias WS.

A observação à lupa revela uma areia muito semelhante às das litofácies WS e WS p, mas que apresenta conteúdos de matriz silto-argilosa e matéria orgânica mais abundantes e (figura 4.7).



Figura 4.7 – Imagem da amostra F8A2 (litofácies WS m) obtida na lupa binocular.

Análises de pólen efectuadas a amostras da litofácies WS m indicam predominância de espécies de ambientes húmidos, pantanosos ou encharcados temporariamente, associados a ambientes de charneca ou mesmo de floresta, em certos casos (Castilho, Danielsen & Dinis, 2007; Danielsen et al., 2008).

4.1.4 Areias com Areão – WS g

As areias WS g são areias finas, submaturas (Segundo Folk, 1951), de cor cinzenta clara (10YR7/2), cinzenta acastanhada ou amarelada (10YR6/2 a 10YR6/4), castanha muito clara (10YR8/2 e 10YR8/3) e amarela clara (5Y8/2).

As suas populações granulométricas apresentam classes modais principais entre 2,25Ø (0,2135 mm) a 2,75Ø (0,151 mm), sendo moderadamente calibradas e com valores baixos de assimetria (tabela 4.2 e figura 4.8). Podem, no entanto, apresentar assimetrias negativas (figura 4.9). São frequentemente bimodais, com uma moda secundária de granulometria inferior a 0,75Ø (0,605 mm) e com fracção de granulometria superior a 2 mm que pode atingir os 18%, sendo em média de 1,45%.

Esta unidade sedimentar encontra-se em níveis mais profundos, geralmente por baixo dos níveis WS m e WS p, apresentando espessuras aparentes de mais de 5 m.

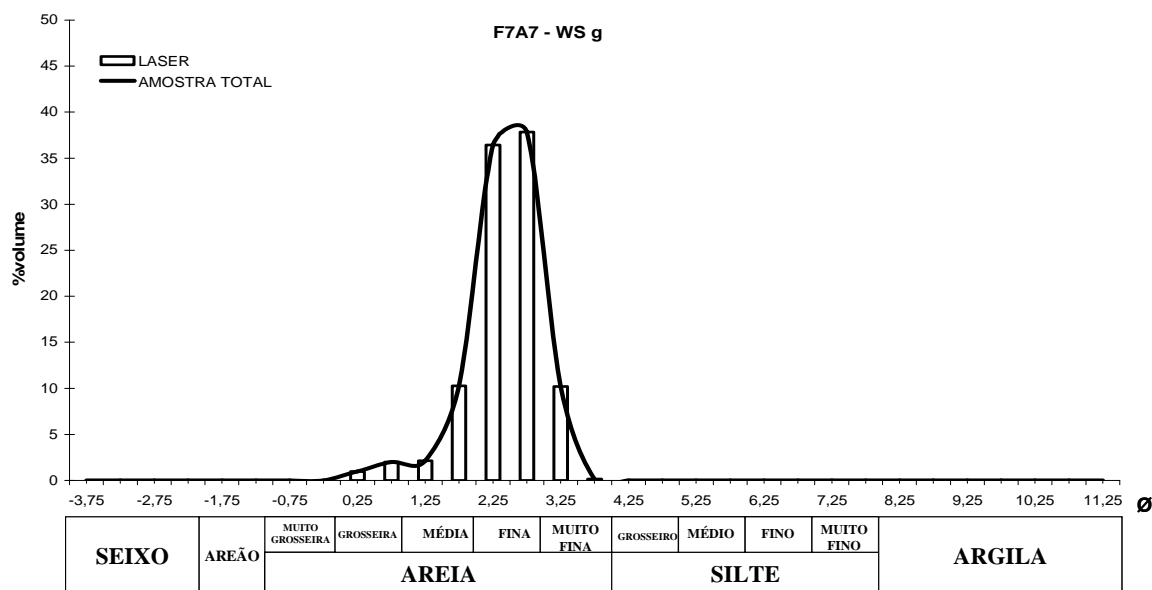


Figura 4.8 – Distribuição granulométrica característica de uma amostra WS g (F8A2).

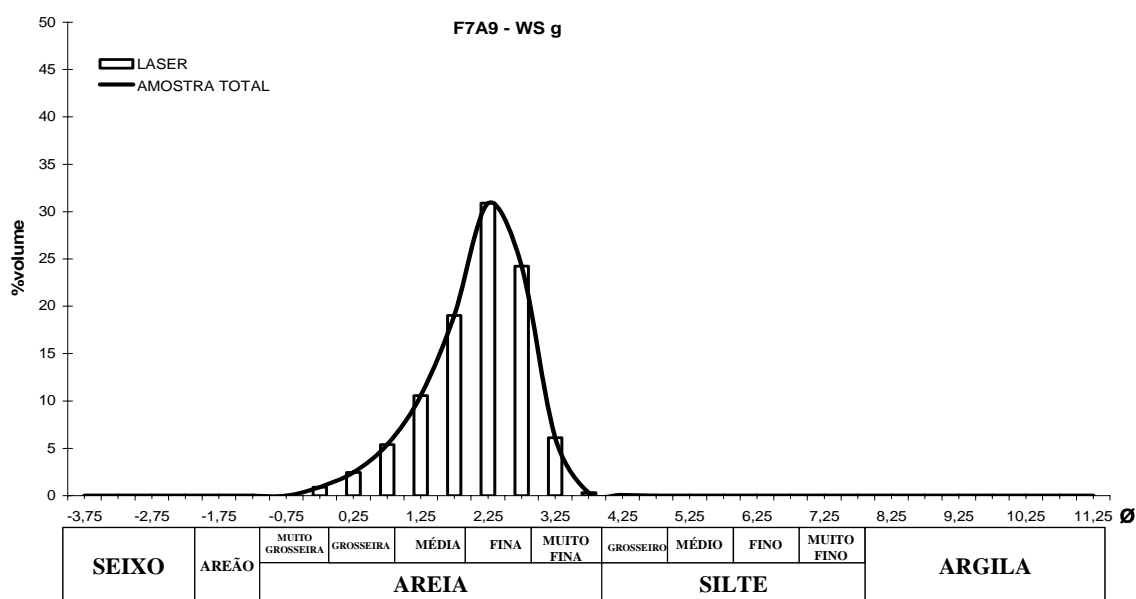


Figura 4.9 – Distribuição granulométrica característica de uma amostra WS g (F7A9).

Na observação efectuada na lupa o carácter bimodal destas areias é acentuado pelo elevado contraste entre os elementos grosseiros (geralmente areia muito grosseira a areão) e a classe modal principal (areia fina), o que se pode comprovar através da figura 4.10. Os grãos de quartzo, avaliados qualitativamente, foram considerados subarredondados a subangulosos (Powers, 1953).



Figura 4.10 – Imagem da amostra F7A7 (litofácies WS g) obtida na lupa binocular.

Análises de pólen efectuadas a amostras encontradas nesta unidade sedimentar sugeriram a existência de paleoambientes húmidos, localizados possivelmente perto de florestas com carvalho e pinheiro. As espécies típicas de charneca aparecem com uma menor expressão. Existe ainda pólen de plantas indicadoras de agricultura e de pastagens (Castilho, Danielsen & Dinis, 2007).

4.1.5 Lodos Orgânicos – OM

Esta litofácies é constituída por sedimentos de grão muito fino, imaturos (Segundo Folk, 1951) e ricos em matéria orgânica, com cores cinzenta escura (10YR4/1), cinzenta acastanhada escura (10YR4/2) a cinzenta acastanhada muito escura (10YR3/2).

Apresentam em média 22% de sedimentos silto-argilosos e não contêm elementos grosseiros. Tem distribuições polimodais, individualizando-se geralmente 3 a 5 populações diferentes com modas correspondentes a areia fina a muito fina, com cerca de 2,25Ø (0,2135 mm), silte médio a fino, com cerca de 5,25Ø a 6,25Ø (26,5 a 13,3 µm) e argila (tabela 4.2 e figura 4.11).

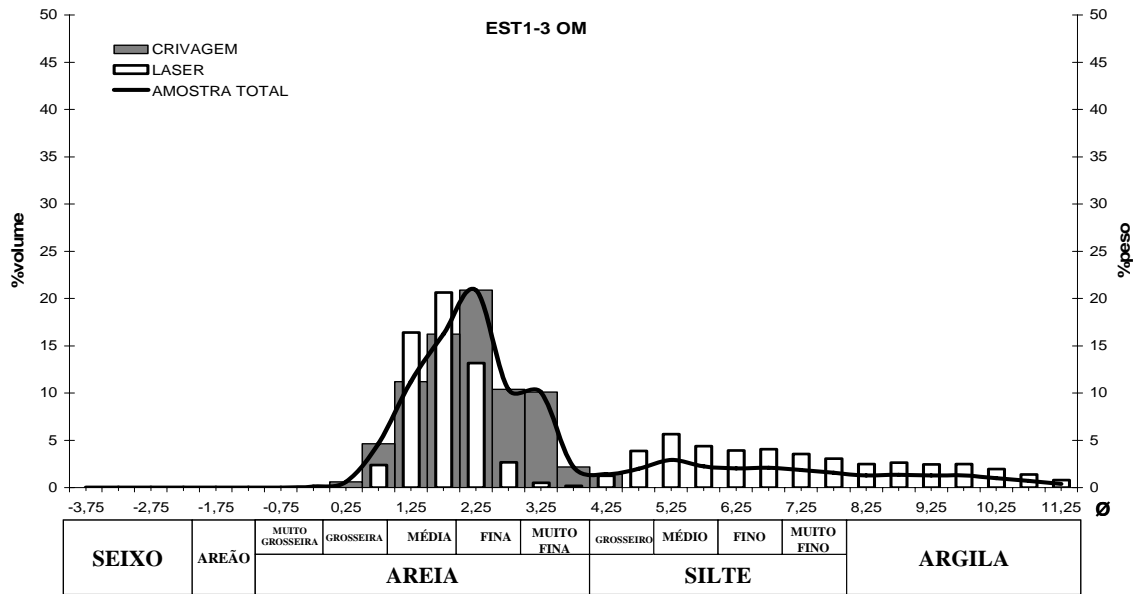


Figura 4.11 – Distribuições granulométricas características de uma amostra OM (EST1-3).

No conjunto, é uma unidade muito heterogénea, com variações significativas das quantidades de matriz silto-argilosa e matéria orgânica (figura 4.12), formada por corpos lenticulares com espessuras que variam desde poucos centímetros a cerca de 1 m e cuja distribuição espacial abrange apenas as áreas mais orientais, geralmente próximas das lagoas actuais.



Figura 4.12 – Imagem da amostra EST1-3 (litofácies OM) obtida na lupa binocular.

A litofácies OM é muito rica em material orgânico e o conteúdo polínico foi bem conservado. Grãos de pólen encontrados em alguns locais desta unidade sedimentar sugerem ambientes lacustres, confirmados por várias espécies de algas (*Pediastrum boryanum*, *P. integrum*, *P. angulosum*, *Scenedesmus*, *Botryococcus*) e de plantas aquáticas (*Myriophyllum*, *Potamogeton*, *Isoetes*). Tratava-se possivelmente de lagoas de água doce, rodeados por zonas húmidas, dada a abundância de pólen de plantas típicas destas zonas, como *Erica erigena*, *Halimium lasianthum* e *Myrica cf. Gale*. Pólen de carvalho e pinheiro sugerem a existência de floresta com estas espécies na vizinhança das zonas húmidas, em conjunto com espécies típicas de charneca. Existia já actividade agrícola confirmada pela presença de *Triticum* e *Secale* (Castilho, Danielsen & Dinis, 2007).

4.1.6 Lodos Cinzentos com Conchas – SM

Apenas se encontram lodos cinzentos com conchas, nas zonas mais ocidentais, numa faixa aproximadamente paralela à linha de costa actual e cujo limite oriental se situa a uma distância de 800 m a 1000 m desta linha.

Constitui uma unidade muito heterogénea, formada geralmente por sedimentos imaturos (Segundo Folk, 1951), de grão fino de cor cinzenta (5Y5/1 e 5Y6/1), cinzenta escura (5Y4/1 e 10YR4/1) e cinzenta esverdeada (5Y5/2), geralmente ricos em conchas de moluscos e com um conteúdo em matéria orgânica muito variável. Apresenta quantidades de sedimentos silto-argilosos que variam entre 1% e 83% sendo em média de 19%, com uma quantidade diminuta de elementos grosseiros (geralmente seixo) formados quase totalmente por conchas (tabela 4.2).

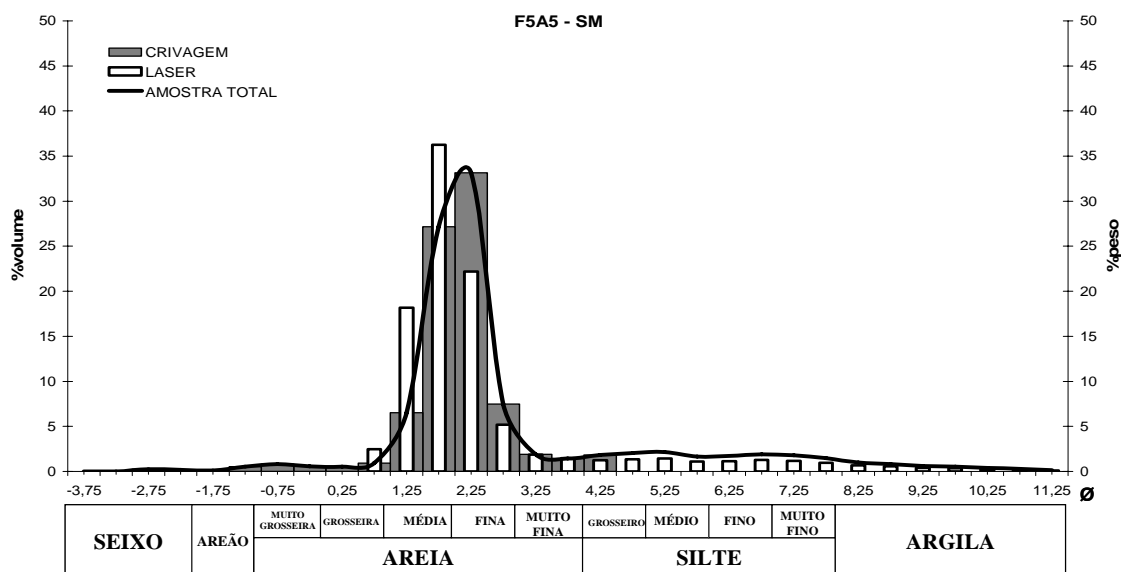


Figura 4.13 – Distribuições granulométricas características de uma amostra SM (F5A5).

Tem distribuições polimodais, individualizando-se em média 3 populações diferentes, com modas correspondentes a areia fina a média com cerca de $2,25\phi$ ($0,2135\text{ mm}$), silte médio e silte muito fino, com cerca de $5,25\phi$ a $7,25\phi$ ($26,5$ a $6,65\ \mu\text{m}$), sem entrar em consideração com as modas das fracções grosseiras, que são muito variáveis (figura 4.13). A estas fracções juntam-se percentagens maiores ou menores de argila cinzenta e conchas de moluscos (figuras 4.14 e 4.15).



Figura 4.14 – Imagem da amostra F5A5 (litofácies SM) obtida na lupa binocular mostrando conchas de *Rissoa membranacea*, *Cerastoderma edule* e *Peringia ulvae*, entre outras.



Figura 4.15 – Imagem da amostra F18A10 (litofácies SM) obtida na lupa binocular.

A espessura desta unidade, muito heterogénea, varia entre o decímetro (F23) (*vide* figura 3.40) até cerca de 2 m (F18), tendo sido amostrada a intervalos de cerca de 10 a 30 cm.

A análise do conteúdo polínico efectuada a amostras desta unidade nos furos F18 e F5 (*vide* figura 3.40) mostrou percentagens elevadas de pólen de espécies de carvalho e pinheiro, em conjunto com pólen de espécies de ambiente lagunar, testemunhado pela presença de dinoflagelados e de algas *Cymatiosphaera* que indicam condições salobras. Contornando a laguna, existia uma zona com *Alnus* (amieiro), *Myrica gale* (samouco-dobrabante) e junco. Para o topo destas sondagens a frequência de pólen arbóreo mantém-se, havendo, no entanto, um aumento do pólen atribuído a ambientes de charneca e a existência de pólen que testemunha a actividade agrícola e a presença humana (Castilho, Danielsen & Dinis, 2007; Danielsen *et al.*, 2008).

O tipo de moluscos encontrados em amostras desta unidade é bastante diversificado e compreende espécies típicas de ambiente lagunar com substratos areno-lodosos e com tapetes algais (anexo 4.3). Esta associação estaria adaptada a meios pouco agitados, com condições ecológicas bastante restritas, mas sempre em comunicação com o mar, donde receberia uma quantidade significativa de água salgada, facto que é corroborado pela ausência de espécies de água doce ou de baixa salinidade e pela presença de restos de equinídeos estenotípicos. Os bivalves compreendem essencialmente formas infaunais suspensívoras, com destaque para *Cerastoderma edule* (berbigão), *Loripes lucinalis* (lucina) e *Abra alba* em conjunto com os gastrópodes herbívoros *Peringia ulvae*, *Rissoa membranacea* e *Bittium reticulatum*. A presença de pequenas conchas de ostras e *Littorina* sugere ainda a existência de substratos duros, relacionados com vegetação submersa ou coquina (Danielsen *et al.*, 2008).

4.1.7 Areias Grosseiras com Conchas - SS

Esta unidade sedimentar foi encontrada apenas numa faixa ocidental sob a litofácies SM. Trata-se de uma areia média a grosseira, submatura (Segundo Folk, 1951), de cor branca (5Y8/1), cinzenta clara (5Y7/1 e 5Y7/2) e castanha muito clara (10YR8/3 a 10YR8/4), moderadamente calibrada a mal calibrada, com distribuições simétricas ou, por vezes, assimétricas no sentido dos grosseiros. Apresentam populações frequentemente polimodais, cujas modas principais se situam entre 0,25Ø e 2,25Ø (0,855 e 0,2135 mm) (tabela 4.2 e figura 4.16). É uma unidade muito pobre em matriz silto-argilosa, com um valor médio de 0,2%, sendo a fracção superior a 2 mm (3,2%) quase totalmente constituída por fragmentos de conchas de moluscos, desarticuladas e com marcas de abrasão.

A espessura total desta unidade não foi determinada, uma vez que não se atingiram unidades mais profundas, mas a espessura máxima encontrada foi de cerca de 9 m no furo F19 (*vide* figura 3.40).

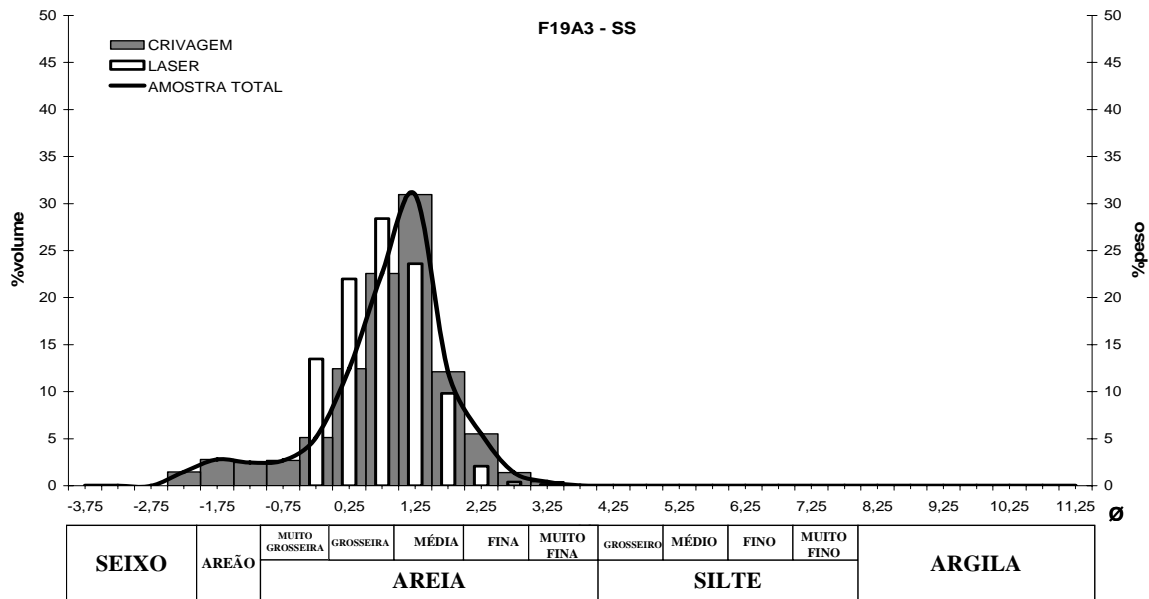


Figura 4.16 – Distribuições granulométricas características de uma amostra SS (F19A3).

A presença de moluscos nestes níveis resume-se a conchas desarticuladas, com graus de abrasão e de fragmentação elevados. Os grãos de quartzo, avaliados qualitativamente, foram considerados subarredondados a subangulosos (Powers, 1953) (figura 4.17).



Figura 4.17 – Imagem da amostra F5A8 (litofácies SS) obtida na lupa binocular.

Nos sedimentos desta unidade foi encontrada uma variedade de fragmentos de conchas de *Glycymeris glycymeris* (castanhola), *Laevicardium norvegicum*, *Spisula solida* (amêijoabranca) e *Donax trunculus* (conquilha). Esta associação é típica de tanatocenoses acumuladas na face da praia ou em galgamentos associados a tempestades de Inverno. São

consideradas espécies infralitorais a intertidais, de substratos arenosos e possuem valvas robustas. Em paralelo, estes moluscos bivalves, de meio marinho franco, ocorrem conjuntamente com numerosos fragmentos de *Cerastoderma edule* (berbigão), que mostram sinais de terem sido retrabalhados, pela acção da dinâmica litoral, provavelmente a partir de depósitos lagunares ou estuarinos mais antigos (Danielsen *et al.*, 2008).

Foram ainda encontrados nesta unidade sedimentar, na sondagem F19 e a cerca de 10 m abaixo do nível do mar actual, restos de madeira de *Fraxinus* (Freixo).

4.1.8 Areias Argilosas Micáceas - McS

Em alguns furos de sondagem da zona oriental, sob as unidades WS, WS m, WS p e WS g, encontram-se areias argilosas muito ricas em moscovite (McS). Tratam-se de sedimentos imaturos (segundo Folk, 1951), bastante heterogéneos, constituídos por areias finas de cor cinzenta clara (5Y7/1, 10YR7/1), cinzenta (10YR6/1) cinzenta acastanhada clara (10YR6/2) ou cinzenta esverdeada clara (10Y8/1 e 10Y7/1), mal calibradas, com populações assimétricas no sentido dos finos. Apresentam um conteúdo médio de matriz silto-argilosa de cerca de 11% e raros elementos grosseiros (0,06%). Têm distribuições polimodais, individualizando-se geralmente 2 a 3 populações diferentes, com modas principais correspondentes a areia fina a muito fina, com cerca de 2,75Ø a 3,25Ø (0,151 e 0,1065 mm) e modas secundárias frequentemente de areia grosseira e de silte grosseiro a médio (tabela 4.2 e figura 4.18).

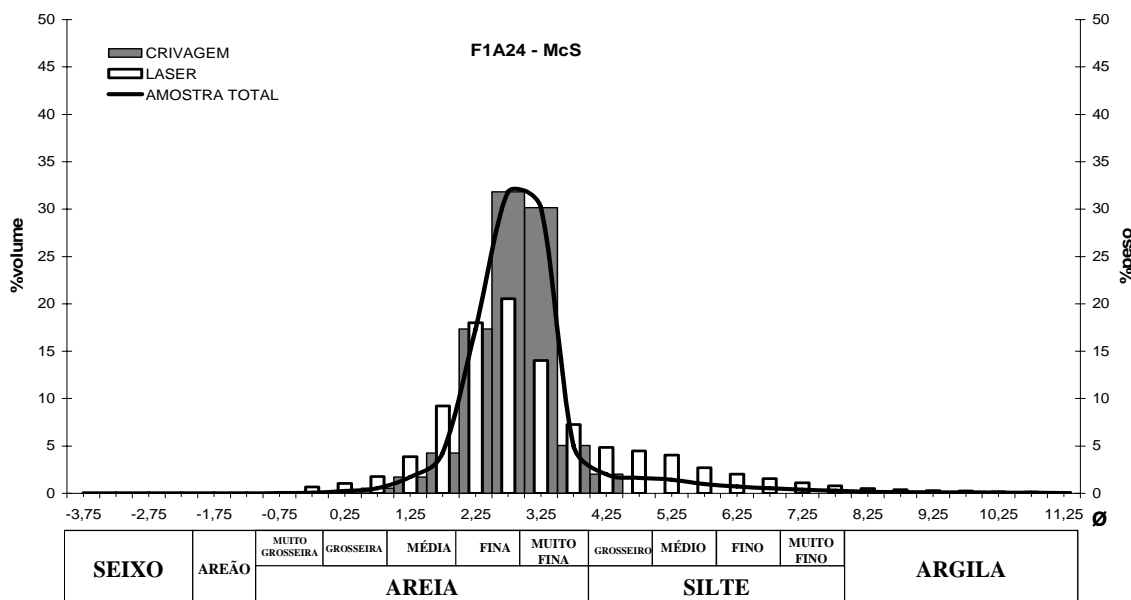


Figura 4.18 – Distribuições granulométricas características de uma amostra da litofácies McS (F1A24).

A espessura desta unidade é geralmente decimétrica a métrica e a sua continuidade lateral apenas foi confirmada no sector oriental por algumas quilómetros. Os sedimentos desta litofácies são muito ricos em moscovite, principalmente nas fracções grosseiras, quartzo e feldspatos. Os grãos são subangulosos a angulosos (segundo Powers, 1953) (figura 4.19).



Figura 4.19 – Imagem da amostra F1A25 (litofácies McS) obtida na lupa binocular.

4.1.9 Areias Angulosas Mal Calibradas – APS

Em alguns furos de sondagem, encontram-se areias médias, submaturas (segundo Folk, 1951), geralmente brancas (10YR8/1, 5Y8/1 e 2.5Y8/1), mal calibradas a moderadamente calibradas, com quantidades diminutas de matriz silto-argilosa (3%) e de fracção acima dos 2 mm (5%). Têm distribuições polimodais, individualizando-se geralmente 2 a 3 populações diferentes, com modas principais de areia fina com cerca de 1,75 ϕ a 2,25 ϕ (0,3025 e 0,2135 mm), e modas secundárias de areia média e muito grosseira, areão ou seixo (tabela 4.2 e figura 4.20).

A espessura desta unidade pode atingir vários metros, sendo a sua continuidade lateral limitada a algumas centenas de metros e tendo sido encontrada apenas no sector oriental da área de estudo.

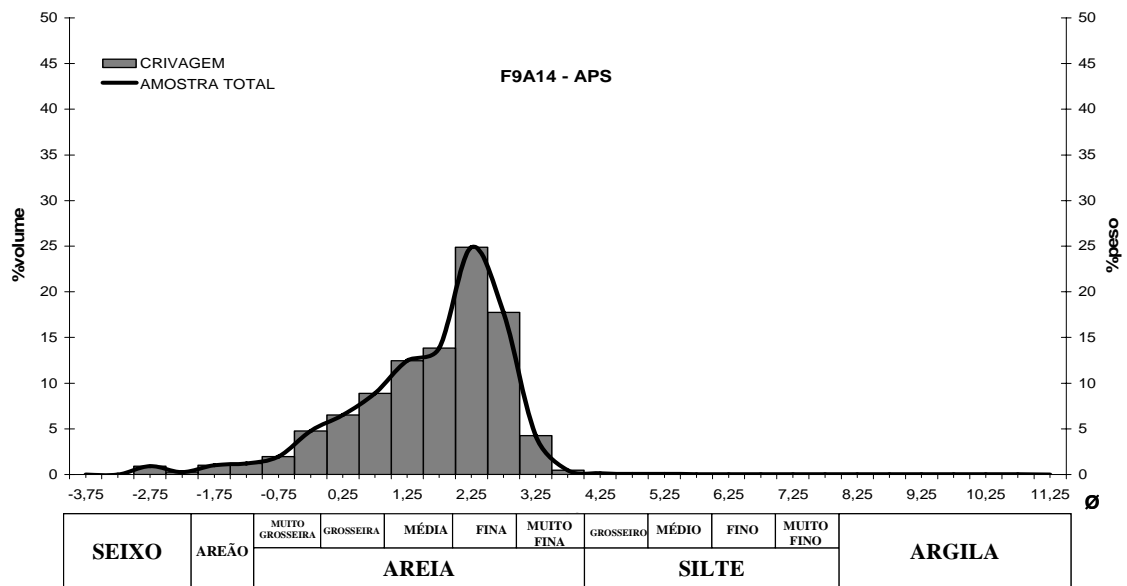


Figura 4.20 – Distribuição granulométrica característica de uma amostra da litofácies APS (F9A14).

As areias desta litofácies são muito ricas em quartzo, mas contêm quantidades importantes de feldspatos e micas. Os grãos, avaliados qualitativamente, foram considerados subangulosos a angulosos (segundo Powers, 1953) e com esfericidade baixa. Os espaços entre os grãos encontram-se preenchidos por reduzida matriz, geralmente de cor branca ou ligeiramente acinzentada (figura 4.21).



Figura 4.21 – Imagem da amostra F9A12 (litofácies APS) obtida na lupa binocular.

4.1.10 Areias Argilosas Esverdeadas – MGS

Na base dos furos mais profundos efectuados na zona oriental, existem sedimentos imaturos (segundo Folk, 1951) de cor cinzenta esverdeada clara (5GY7/1 e 5GY8/1), formados provavelmente em ambiente redutor, já que foi observada a alteração da cor (para tons amarelados) da superfície exposta ao ar. Apresentam calibragem muito má e um conteúdo médio de fracção silto-argilosa de 22% (podendo atingir os 56%) e elementos grosseiros com um valor médio de 11% (podendo chegar perto dos 60%) (tabela 4.2).

A litofácies MGS tem uma espessura aparente, ao longo das sondagens, que ronda a dezena de metros no sector sudeste da área de estudo, parecendo ter uma tendência granodecrescente, testemunhada pela diferença entre as populações ao longo desta unidade e bem visível nas sondagens EST1 e F1. Algumas amostras, sobretudo as recolhidas no topo da unidade, apresentam médias mais finas e tem populações mais bem calibradas. No entanto, as distribuições granulométricas das amostras, recolhidas na sua base, apresentam elementos grosseiros em maior quantidade e com maior dimensão e as populações têm um carácter mais marcadamente polimodal. As cores são também ligeiramente mais claras para a base da camada.

Na sondagem EST1, amostraram-se cerca de 5 m da litofácies MGS. Na figura 4.22 pode ser vista uma distribuição granulométrica do topo da litofácies (9,5 m), apresentando uma curva polimodal, com moda principal de areia fina a muito fina com cerca de 2,75Ø a 3,25Ø (0,151 e 0,1065 mm), e modas secundárias de silte médio a fino e de areia média a grosseira.

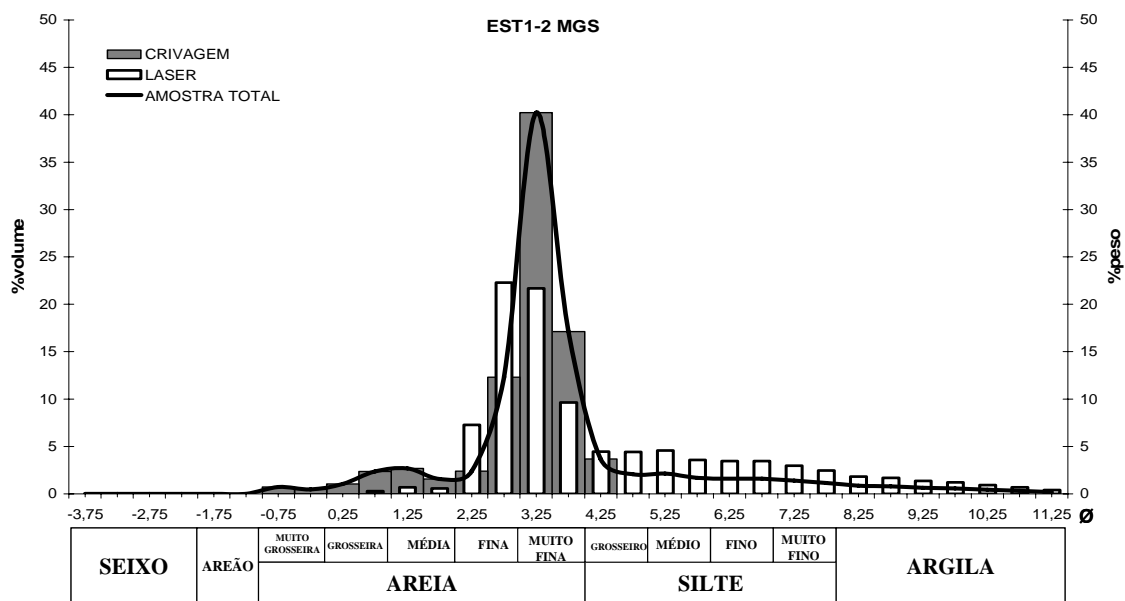


Figura 4.22 – Distribuições granulométricas características de uma amostra do topo da litofácies MGS (EST1-2).

Na base da litofácies MGS (13,5 m) da sondagem EST1, a amostra analisada apresenta uma curva polimodal, com moda principal de areia média a grosseira com cerca de 0,75Ø a 1,25Ø (0,605 e 0,4275 mm) e modas secundárias de areia fina a muito fina e silte muito fino (figura 4.23).

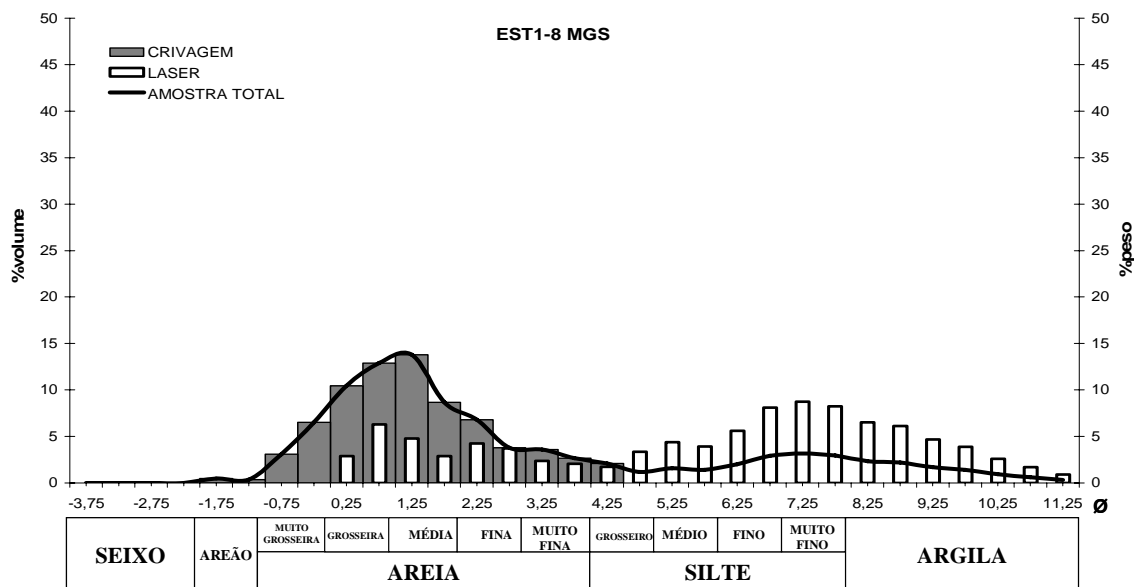


Figura 4.23 – Distribuições granulométricas características de uma amostra da base da litofácies MGS (EST1-8).

Fotografias tiradas na lupa revelam estes aspectos de uma forma mais clara. São visíveis diferenças no tamanho, na quantidade de matriz e na cor (figuras 4.24 e 4.25).



Figura 4.24 – Imagem da amostra EST1-2 (topo da litofácies MGS) obtida na lupa binocular.

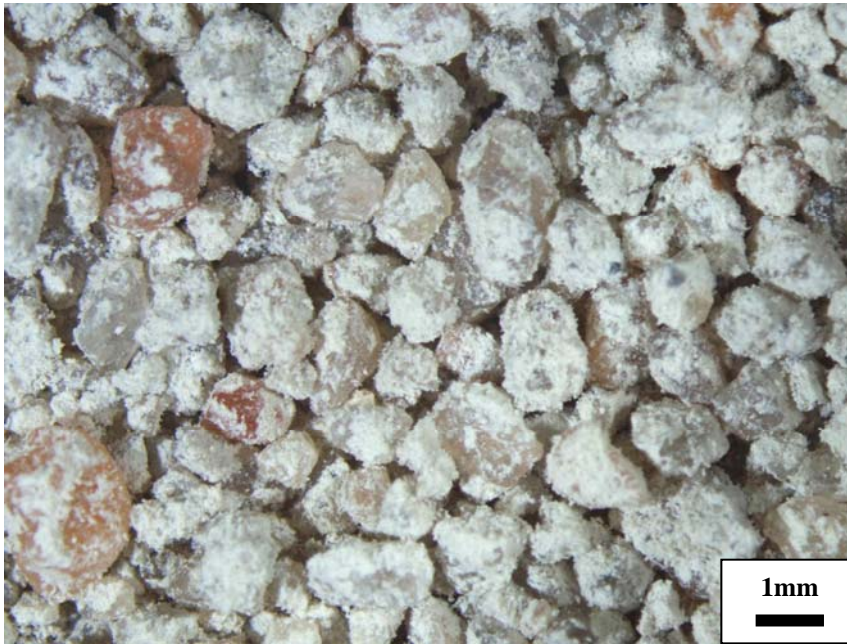


Figura 4.25 – Imagem da amostra EST1-8 (base da litofácies MGS) obtida na lupa binocular.

Foi recolhida nos sedimentos desta unidade uma amostra de restos vegetais a cerca de 12 m de profundidade.

4.1.11 Argilas Avermelhadas - RC

Alguns furos, efectuados a oriente, atingiram sedimentos pelíticos de cor vermelha amarelada (5YR6/6) com níveis milimétricos de sedimentos de cor castanha muito clara (10YR7/3). Estes sedimentos parecem apresentar laminação plana, visível devido à alternância de cores. No entanto, não foi possível comprová-lo, já que o aspecto da laminação apresentada pela amostra EST1-9 é resultado da sua manipulação dificultada pela elevada plasticidade (figura 4.26).

Análises granulométricas efectuadas à amostra obtida na litofácies RC revelaram sedimento silto-argiloso com percentagens de silte e argila de 99,5% e com 0,5% de areia muito fina, sendo 23% correspondentes à fracção argilosa (tabela 4.2).

Apresenta uma distribuição granulométrica polimodal (figura 4.27) com moda principal de silte fino a muito fino, com cerca de $7,25\phi$ ($6,65 \mu\text{m}$), sendo as restantes modas correspondentes a silte médio, com cerca de $5,25\phi$ ($18,8 \mu\text{m}$), e a modas da fracção argilosa ($8,75\phi$ e $9,75\phi$).

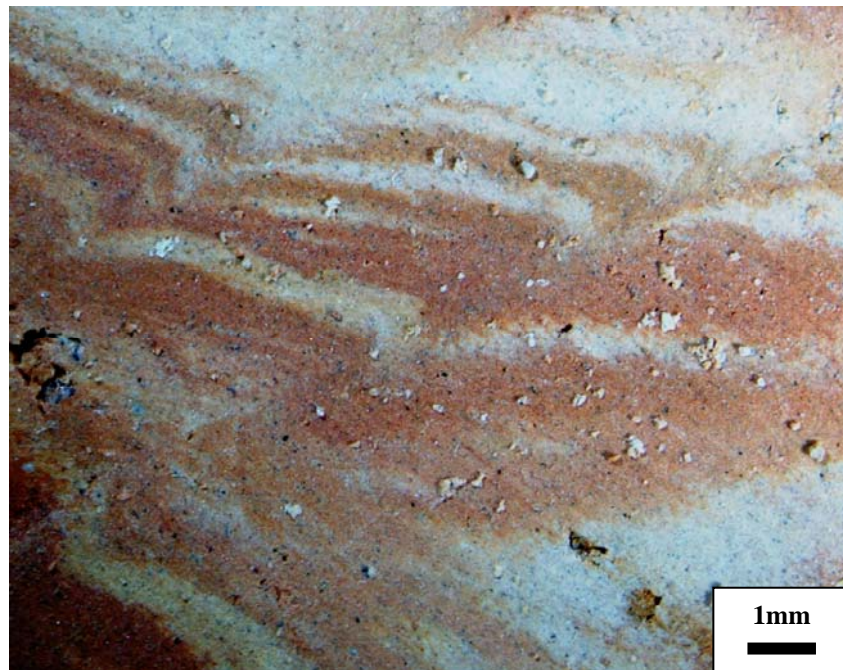


Figura 4.26 – Imagem da amostra EST1-9 (litofácies RC) obtida na lupa binocular.

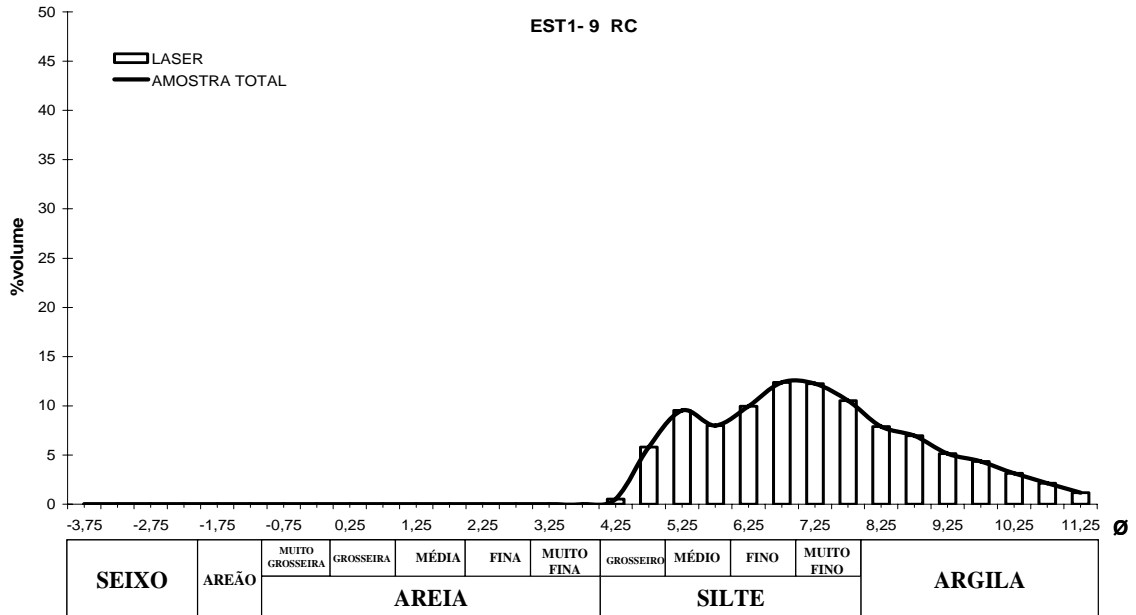


Figura 4.27 – Distribuição granulométrica característica de uma amostra da litofácies RC (EST1-9).

4.1.12 Sequências de litofácies e sua distribuição geográfica

Um resumo da informação obtida em cada uma das sondagens com a sua localização nos sectores definidos tanto na fase de prospecção geofísica como na fase de análise das unidades sedimentares, pode ser consultada na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Resumo da informação obtida nas sondagens.
(localização dos furos de sondagem na figura 3.40)

SONDAGEM	PROFUNDIDADE	AMOSTRAS	AMOSTRAS	SECTOR GEOFÍSICO	SECTOR SEDIMENTAR	LITOFÁCIES
	TOTAL (m)	RECOLHIDAS	TRATADAS			
EST1	15,3	12	11		E	WS, WS p, WS, OM, MGS, RC
F1	24,7	33	19	Id-	E	WS, OM, WS, WS p, WS g, McS, MGS, RC
F2	5	0	0	Id-	E	WS
F3	13,5	16	12	Id+	E	WS, OM, WS, WS p, WS g
F4	8,5	3	3	Ic	C	WS
F5	11	10	8	Ib	W	WS, WS m, SM, SS
F6	3,6	1	0	Ib	W	WS
F7	14	11	6	Ic	E	WS, WS m, WS p, WS g
F8	7	11	9	Ie	E	WS, WS m, WS p, WS g, McS
F9	12,5	14	12	Id-	E	WS, WS p, WS m, WS g, APS
F10	12	6	5	Id+	C	WS
F11	12,5	12	8	Id+	E	WS, WS m, WS p, WS g
F12	12,5	11	11	Ic	E	WS, WS m, WS p, WS g
F13	5,8	5	4	Ib	W	WS, WS m
F14	15	5	5	Ib	W	WS, WS m, SM, SS
F15	6	4	3	Id-	E	WS
F16	23	11	8	Id-	E	WS, WS p, WS, WS g, APS
F17	10,5	6	5	Ic	C	WS
F18	8,4	12	12	Ib	W	WS, SM
F19	17	6	6	Ib	W	WS, SM, SS
F20	18	23	19	Id-/Ie	E	WS, WS m, WS p, WS g, Mcs, APS
F21	4	2	0	Id-/Ie	E	WS, OM, WS p, OM
F22	4,5	5	4	Ib	W	WS, WS m
F23	12	7	3	Ib	W	WS, WS m, SM, SS
F24	12,3	15	15	Ib	W	WS, WS m, WS, SM, SS
F25	4,1	1	1	Ib	W	WS
F26	8,6	6	6	Ic	C	WS, WS g
F27	9	5	5	Ic	C	WS
F28	6	14	10	Ie	E	WS, WS m, WS p, Mcs, APS
TOTAL	316,3	267	210			

Notas: Designação do sector sedimentar: E - Este ou Oriental; C - Central; W - Oeste ou Ocidental

Designação de sector geofísico de acordo com o capítulo 3 e a figura 3.35.

A análise da distribuição geográfica das litofácies encontradas ao longo das sondagens permitiu definir três sectores distintos, segundo a sequência sedimentar e os tipos de paleoambientes encontrados, designados por Sector Oriental, Sector Central e Sector Ocidental (figuras 3.35, 3.39 e tabela 4.1) (Castilho *et al.*, 2007; Castilho, Danielsen & Dinis, 2007; Danielsen *et al.*, 2008).

Os limites entre os sectores definidos após a análise das unidades sedimentares (aqui referidos como sectores sedimentares), podem ser considerados aproximadamente os mesmos dos sectores definidos na fase de prospecção geofísica (aqui referidos como sectores geofísicos), sobretudo a sul e ocidente, sendo mais perceptíveis em profundidade. São grosseiramente paralelos à linha de costa actual (LCA) ficando o Sector Ocidental mais próximo desta e estendendo-se para oriente cerca de 800 a 1000 m, provavelmente coincidindo com o Sector Ib. O Sector Central, que se situa na transição entre os sectores Oriental e Ocidental, ocupa uma zona com uma extensão lateral de cerca de 1500 m para leste, correspondendo aproximadamente à zona ocidental do Sector Ic. O Sector Oriental situa-se a cerca de 2500 a 3000 m para leste da LCA e corresponde ao conjunto dos sectores geofísicos Id e Ie.

O Sector Oriental apresenta uma cobertura de areias dunares da litofácies WS, normalmente sem conchas, com níveis intercalados de areias com lodo orgânico (WS m) e areias com óxidos de ferro (WS p), testemunhando provavelmente paleoambientes interdunares e níveis de paleossolos podzólicos. Em muitos locais, subjacentes a estes sedimentos existem areias com areão WS g que passam, nos sectores mais orientais a sedimentos das litofácies McS, APS ou MGS e por fim, geralmente nos furos mais profundos, a sedimentos pelíticos da litofácies RC.

A existência de dois horizontes de paleossolos podzólicos só foi observada simultaneamente no furo F3, no entanto as suas características e posições estratigráficas são ligeiramente diferentes, permitindo a sua identificação. O paleossolo superior é mais orgânico no topo, sendo mais rico em sesquióxidos na base. Localiza-se sobre unidades da litofácies WS e sobre um nível arenoso, com espessura métrica, particularmente rico em carvão e restos vegetais. O paleossolo inferior é mais rico em matéria orgânica na base, apresentando muitas vezes nódulos de lodo, e encontra-se sob o nível arenoso rico em carvão e restos vegetais e, geralmente, sobre areias com areão da litofácies WS g.

No Sector Oriental, em localizações próximas das actuais lagoas, existem ainda sedimentos da litofácies OM. Estes sedimentos aparecem em corpos de espessura geralmente centimétrica e extensão lateral de algumas centenas de metros e contêm pólen de algas e de plantas aquáticas, característico de ambientes lacustres de água doce (Castilho, Danielsen & Dinis, 2007; Danielsen *et al.*, 2008). Os níveis de lodo orgânico encontram-se em várias posições estratigráficas, estando muitas vezes relacionados com os horizontes mais orgânicos dos paleossolos podzólicos e não sendo possível a sua individualização na

figura 4.28, dada a sua reduzida espessura. Na sondagem EST1 existe ainda um nível de lodo orgânico, com espessura decimétrica, entre as unidades das litofácies WS g e MGS.

No Sector Central, o registo das sondagens efectuadas apenas intersectou areias eólicas WS e, raras vezes, areias com areão WS g, não tendo sido intersectados sedimentos das litofácies WS m e WS p, pelo menos até à profundidade em que se efectuou a furação e que corresponde, na maioria dos casos, a cerca de 10 m acima do nível médio do mar actual (NMMA).

O Sector Ocidental regista sedimentos de influência marinha sob areias dunares da litofácies WS, geralmente com fragmentos de conchas. Por vezes, as sondagens efectuadas intersectam intercalações de sedimentos WS m nas areias WS, sugerindo paleoambientes do tipo interdunar, em níveis geralmente próximos da base da sequência dunar.

O registo da sequência de influência marinha termina superiormente, a cotas muito próximas do NMMA, com lodos cinzentos com conchas (litofácies SM) de ambiente lagunar, apresentando espessuras máximas de cerca de 2 m. Subjacentes a estes sedimentos existem areias grosseiras com conchas (litofácies SS), testemunhando provavelmente um ambiente de praia (Castilho, Danielsen & Dinis, 2007; Danielsen *et al.*, 2008), até cerca de 11 m abaixo do NMMA, cuja base não é atingida em nenhuma das sondagens efectuadas.

A distribuição dos sectores e das litofácies, ao longo de um perfil com direcção aproximadamente perpendicular à LCA, pode ser vista nas figuras e 4.28 (perfil geológico) e 4.28a (legenda).

A secção geológica apresentada na figura 4.28 foi efectuada com recurso ao *software* RockWorks[®] 2006. Para tal, colocaram-se os registos geológicos obtidos nos furos num ficheiro de entrada do programa e efectuou-se a determinação de uma secção estratigráfica sem modelação, em que os pontos de contacto entre unidades sedimentares foram ligados directamente, após a indicação da sua ordem na sequência sedimentar.

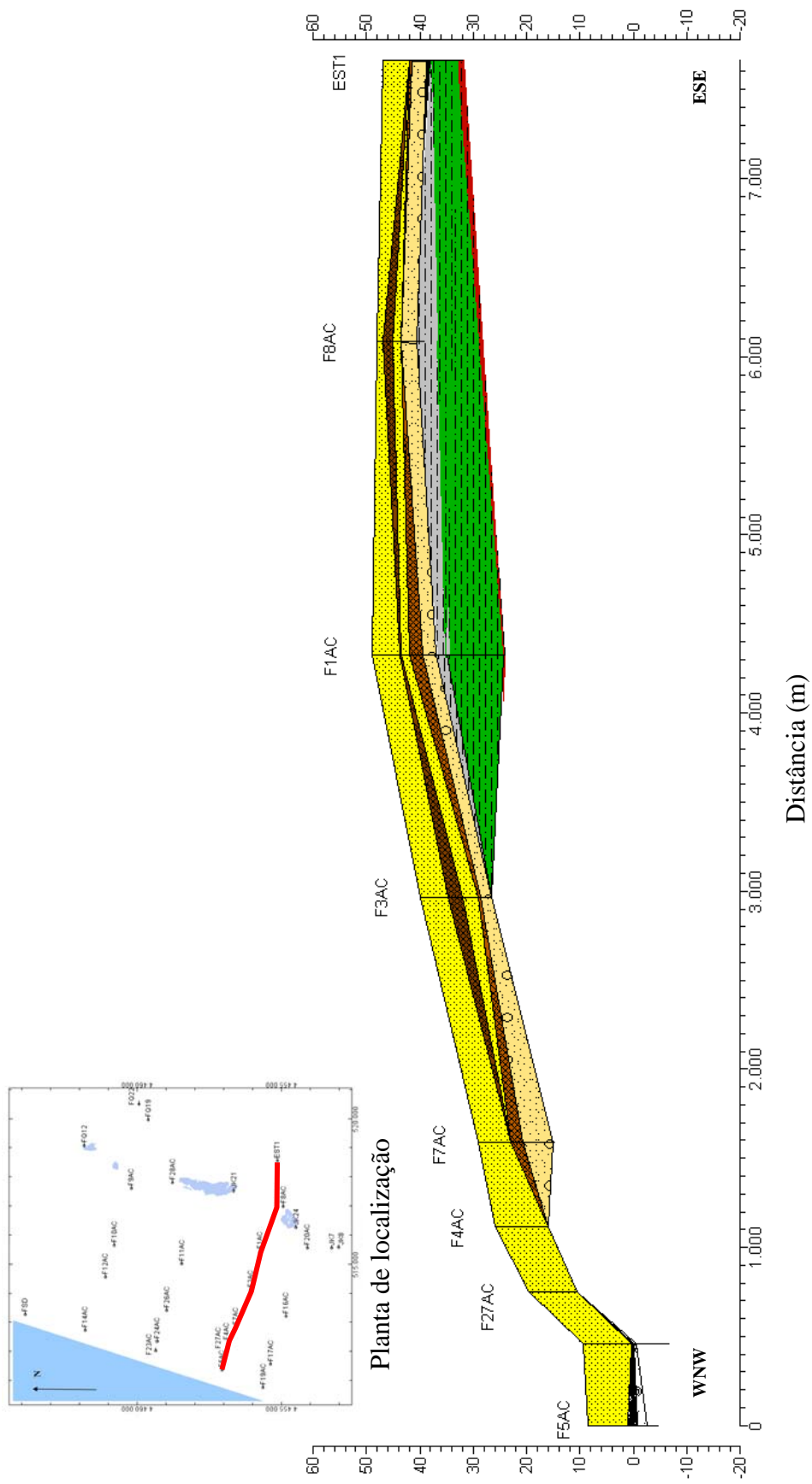


Figura 4.28 – Perfil geológico WNW-ESE, com um exagero vertical de 20 vezes, segundo a direcção indicada na planta de localização. Notas: A classe dos milhares está separada por um ponto. A unidade de elevação e distância é o metro.

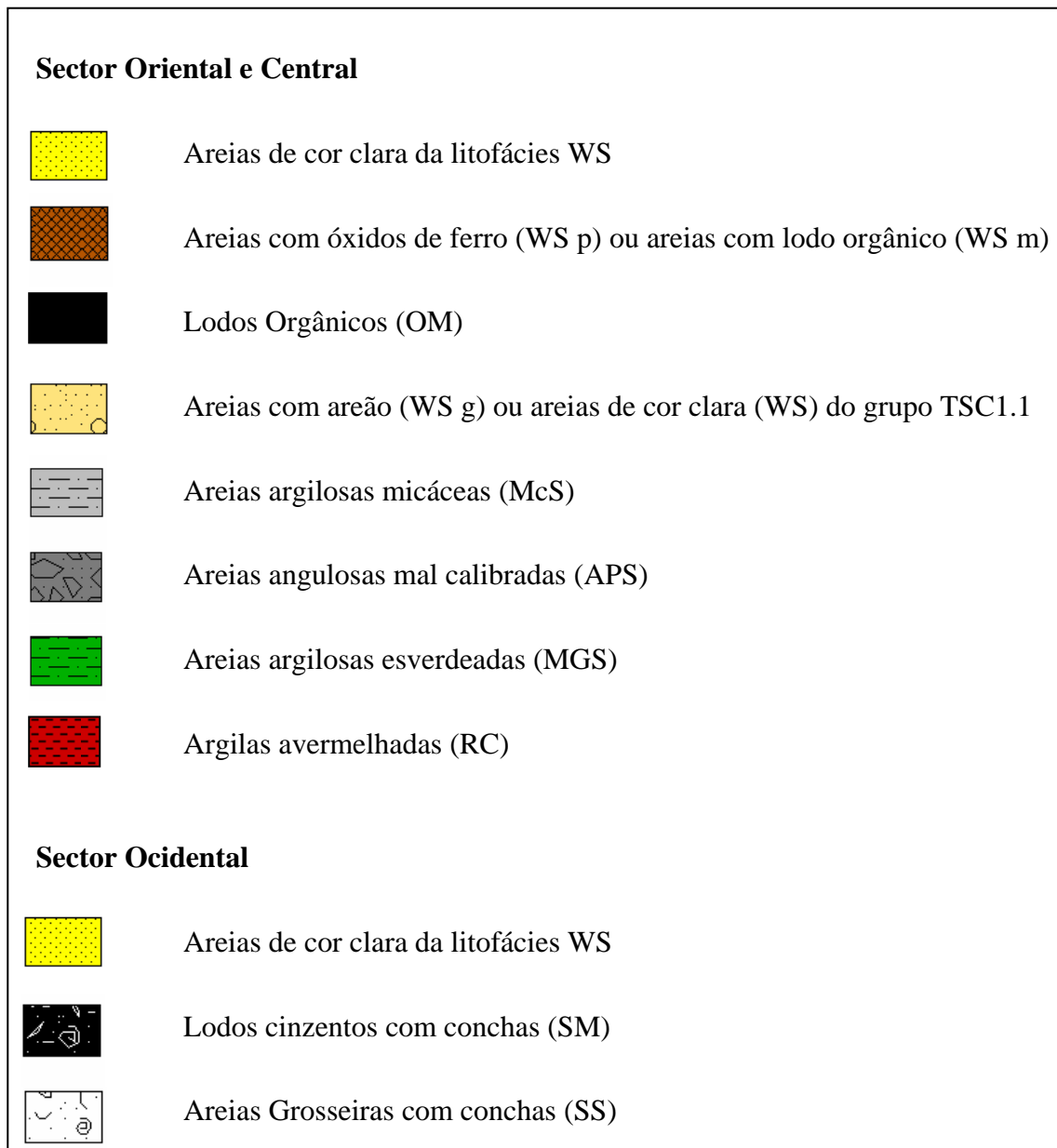


Figura 4.28 (a) - Legenda do perfil da figura 4.28.

4.2 Textura

A análise textural dos sedimentos foi efectuada para classificar os sedimentos e para tentar extrair alguma informação sobre o modo como as amostras se projectam nos diagramas triangulares e as relações espaciais existentes entre as diferentes litofácies.

Após a análise granulométrica, efectuada segundo metodologia descrita no capítulo 1, os resultados foram organizados numa escala de \emptyset , segundo a classificação de Udden-Wentworth (Udden, 1914 e Wentworth, 1922, citados em Lewis & McConchie, 1994a e Blott & Pye, 2001). Calcularam-se então as percentagens das fracções de argila, silte, areia e cascalho. Dada a diversidade de conceitos, muitas vezes associada a estas designações, a definição aqui utilizada foi a seguinte (apresentam-se entre parêntesis os seus equivalentes em língua inglesa):

- Seixo (*Pebble*) – partículas com dimensão entre $-2\emptyset$ (4 mm) e $-6\emptyset$ (64 mm);
- Areão ou Cascalho *s.s.* (*Granules*) - partículas com dimensão entre $-1\emptyset$ (2 mm) e $-2\emptyset$ (4 mm);
- Areia (*Sand*)- partículas com dimensão entre $4\emptyset$ (0,0625 mm) e $-1\emptyset$ (2 mm);
- Silte (*Silt*) - partículas com dimensão entre $8\emptyset$ (4 μ m) e $4\emptyset$ (0,0625 mm);
- Argila (*Clay*) – fracção inferior a $8\emptyset$ (4 μ m).

As designações granulométricas mais abrangentes, que agregam estes intervalos e que são muitas vezes referidas no texto, são as seguintes :

- Cascalho *s. l.* (*Gravel*) - conjunto de partículas de dimensão acima de $-1\emptyset$ (2 mm), que engloba os termos Areão (*Granules*), Seixo (*Pebble*) e as fracções de tamanho superior e que também serão referidos por vezes como elementos grosseiros;
- Areia - conjunto de partículas cuja dimensão se situa entre $-1\emptyset$ (2 mm) e $4\emptyset$ (0,0625 mm);
- Lodo (*Mud*) – conjunto de partículas de dimensão inferior a $4\emptyset$ (0,0625 mm), que engloba as fracções de silte e argila e que, por vezes, é traduzido como Lama.

A classificação textural foi efectuada com a utilização de diagramas triangulares de Folk (1954, citado em Folk, 1965), para sedimentos grosseiros (Cascalho *s. l.*, Areia e Lodo) e sedimentos finos (Areia, Silte e Argila) (figuras 4.29 e 4.30). Segundo este autor, que definiu 15 classes texturais no diagrama principal, a percentagem de cascalho seria função da velocidade máxima da corrente do curso de água na altura da deposição e, por isso, constituía um dado de primordial importância. A proporção de areia relativamente à quantidade de lodo (silte e argila), dividida em proporções de 1:9 - 1:1 - 9:1, reflectiria as condições de selecção dos ambientes de deposição.

A interpretação da textura dos sedimentos fez-se para comparação dos resultados tendo-se optado pelo uso de diagramas triangulares deste tipo. No entanto, poderia igualmente ter-se usado diagramas de Sheppard (1954), Gorsline (1960, citado em Dias, 2004) ou Kumbrein & Sloss (1963).

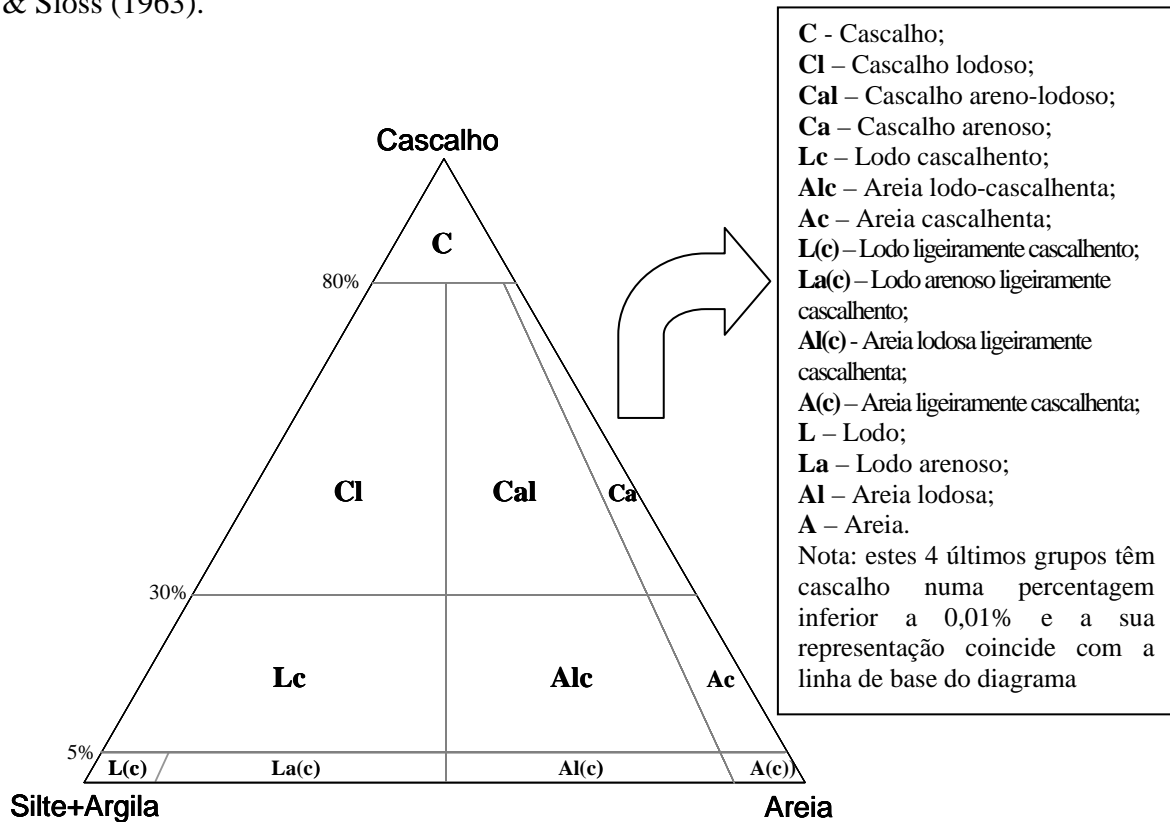


Figura 4.29 – Diagrama de Folk para classificação textural de sedimentos grosseiros.

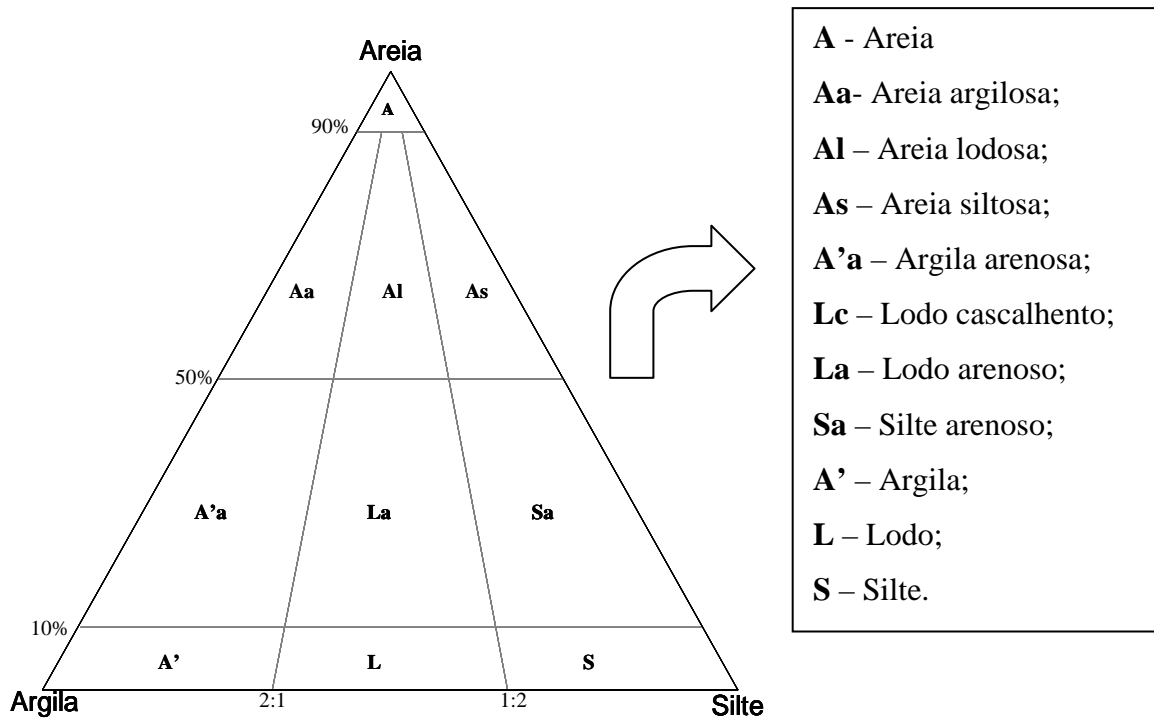


Figura 4.30 – Diagrama de Folk para classificação textural de sedimentos finos.

Todas as amostras que apresentaram percentagens superiores a 5% de cascalho foram classificadas no diagrama de Folk para sedimentos grosseiros e todas as que obtiveram valores de lodo superiores a 5% foram também classificadas no diagrama de Folk para sedimentos finos.

Para efectuar os diagramas triangulares utilizaram-se os resultados obtidos nas análises de laser, excepto nos casos em que a percentagem de cascalho era superior a 5%. Neste caso, foram combinados os resultados obtidos por crivagem, para a fracção acima de 63 μm , com os obtidos por laser para a fracção inferior a esse valor. As amostras cujas análises granulométricas resultaram desta combinação foram designadas pelo nome original a que se acrescentou a letra t. Excepcionalmente foram ainda consideradas análises granulométricas obtidas unicamente por crivagem, quando a amostra era francamente grosseira e a percentagem de silte e argila não excedia os 5%. Estas análises foram designadas pelo nome original a que se acrescentou a letra c.

Devido ao elevado número de amostras (209), a análise textural foi efectuada separadamente para cada litofácies, já que de outro modo, a concentração de pontos nos mesmos locais dos diagramas tornavam difícil a sua interpretação. Existem, no entanto, diagramas conjuntos, um para classificação de sedimentos grosseiros e outro para classificação de sedimentos finos, como sùmula dos diagramas anteriores, para que se pudessem visualizar mais facilmente as relações entre litofácies.

Pontualmente, utilizou-se o diagrama triangular de Flemming (2000), cujos vértices são definidos pelas percentagens de Areia, Silte e Argila, na fracção inferior a 2mm. Esta classificação, recentemente criada, tenta também extrair ilações de carácter hidrodinâmico da análise textural dos sedimentos, socorrendo-se de classes muito estreitas. Obtêm-se assim, 25 classes identificadas por uma letra e por um número romano (figura 4.31).

Esta classificação, embora semelhante à de Folk, apresenta intervalos mais estreitos, sendo ainda mais restritiva para as litofácies muito homogéneas, sobretudo aquelas cujas projecções se concentravam junto de um dos vértices, como no caso das amostras das litofácies WS, WS m e WS p, tendo sido utilizada como complemento da primeira.

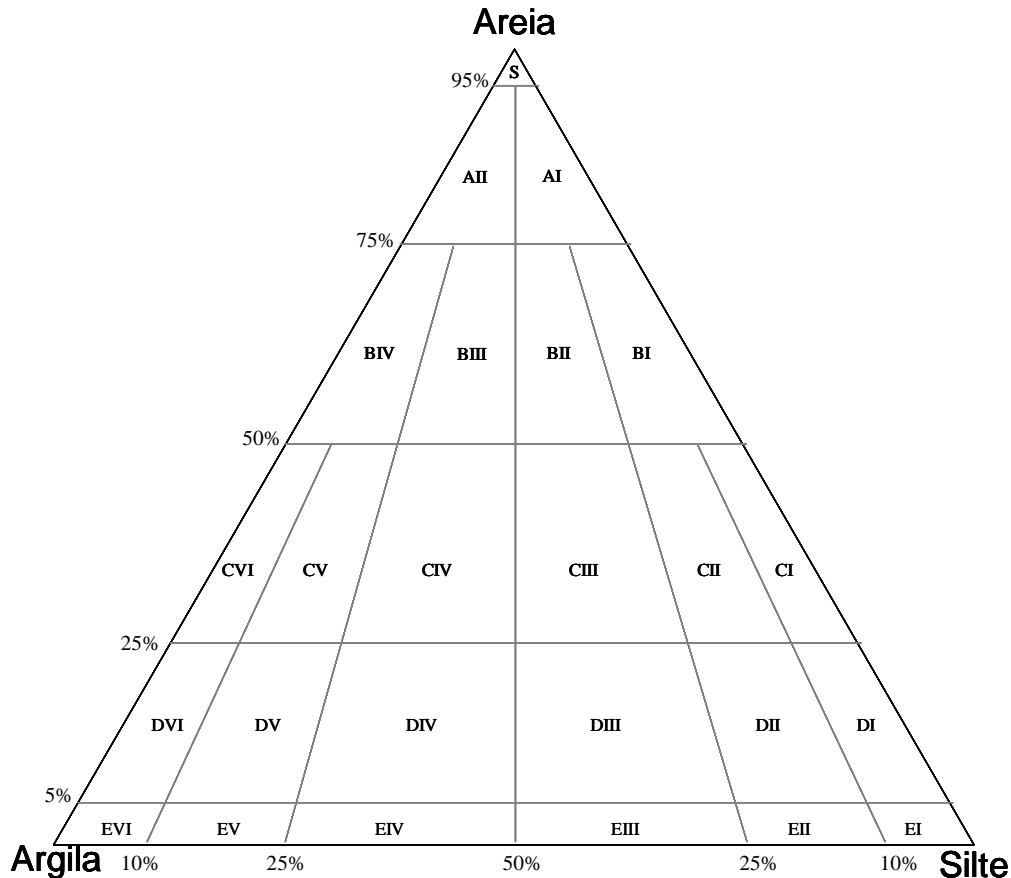


Figura 4.31 – Diagrama adaptado de Flemming (2000) para classificação textural de sedimentos.

As classes texturais assim obtidas classificam-se em:

- | | |
|---|--|
| S – Areia; | DVI – Lodo extremamente argiloso e ligeiramente arenoso; |
| AII – Areia ligeiramente argilosa; | DV – Lodo muito argiloso ligeiramente arenoso; |
| AI – Areia ligeiramente siltosa; | DIV – Lodo argiloso ligeiramente arenoso; |
| BIV – Areia muito argilosa; | DIII – Lodo siltoso ligeiramente arenoso; |
| BIII – Areia argilosa; | DII – Lodo muito siltoso ligeiramente arenoso; |
| BII – Areia siltosa; | DI – Lodo extremamente siltoso ligeiramente arenoso; |
| BI – Areia muito siltosa; | EVI – Argila; |
| CVI – Lodo arenoso extremamente argiloso; | EV – Argila ligeiramente siltosa; |
| CV – Lodo arenoso muito argiloso; | EIV – Argila siltosa; |
| CIV – Lodo arenoso argiloso; | EIII – Silte argiloso; |
| CIII – Lodo arenoso siltoso; | EII – Silte ligeiramente argiloso; |
| CII – Lodo arenoso muito siltoso; | EI – Silte. |
| CI – Lodo arenoso extremamente siltoso; | |

Este diagrama apresenta um zonamento indicada pelas letras S a E e pelos números romanos I a VI, no sentido decrescente de energia.

4.2.1. Litofácies APS

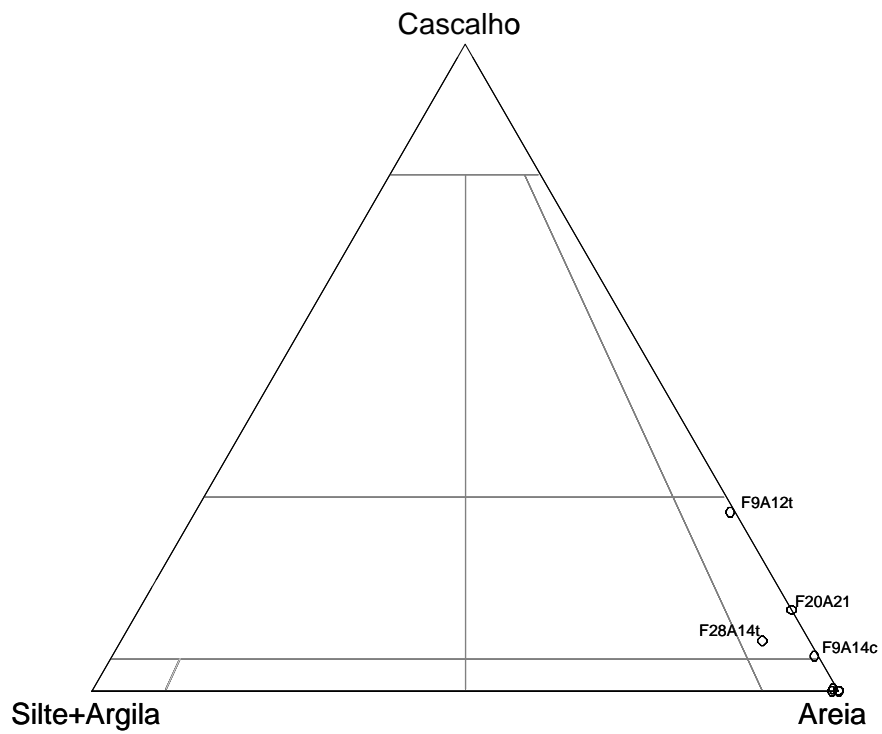


Figura 4.32 – Amostras da litofácies APS projectadas no diagrama de Folk para sedimentos grosseiros.

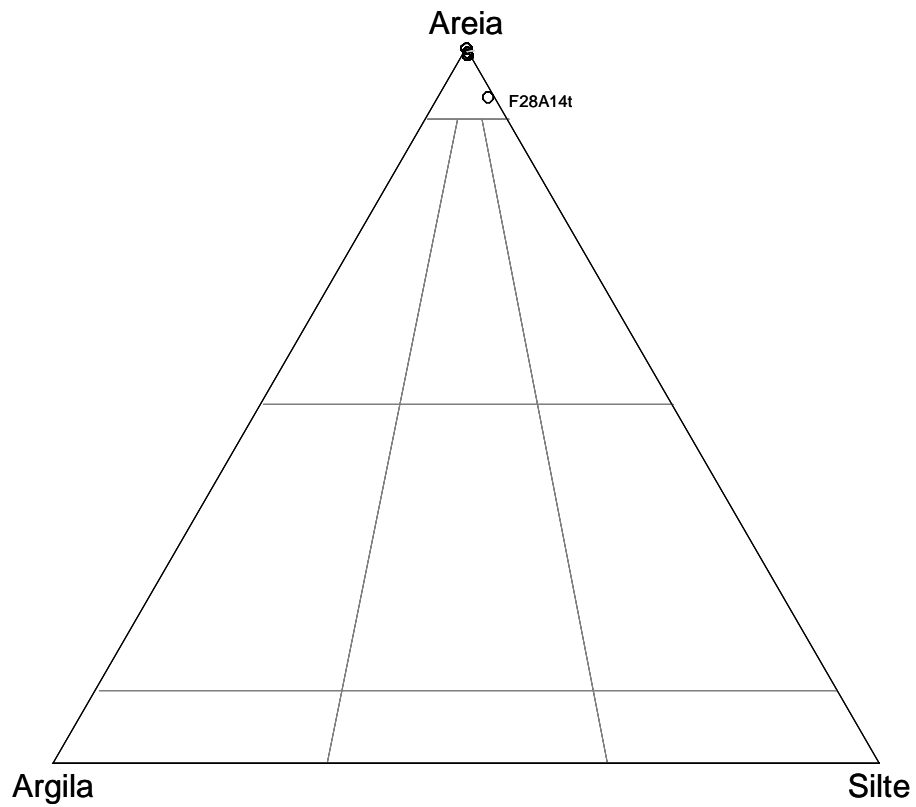


Figura 4.33 – Amostras da litofácies APS projectadas no diagrama de Folk para sedimentos finos.

Os sedimentos da litofácies APS são maioritariamente constituídos por areias ou areias ligeiramente cascalhentas, com excepção das amostras F20A21, F9A12t, F9A14t e F28A14t que são consideradas areias cascalhentas, devido ao seu enriquecimento em elementos grosseiros, relativamente à maioria das amostras da litofácies APS (figura 4.32).

Os diagramas de projecção indicam ainda a quase inexistência da fracção silto-argilosa, havendo apenas um ligeiro enriquecimento em silte na amostra F28A14 (figura 4.33), que pode ser explicado pelo facto desta amostra ter sido colhida no contacto com a litofácies McS.

4.2.2 Litofácies McS

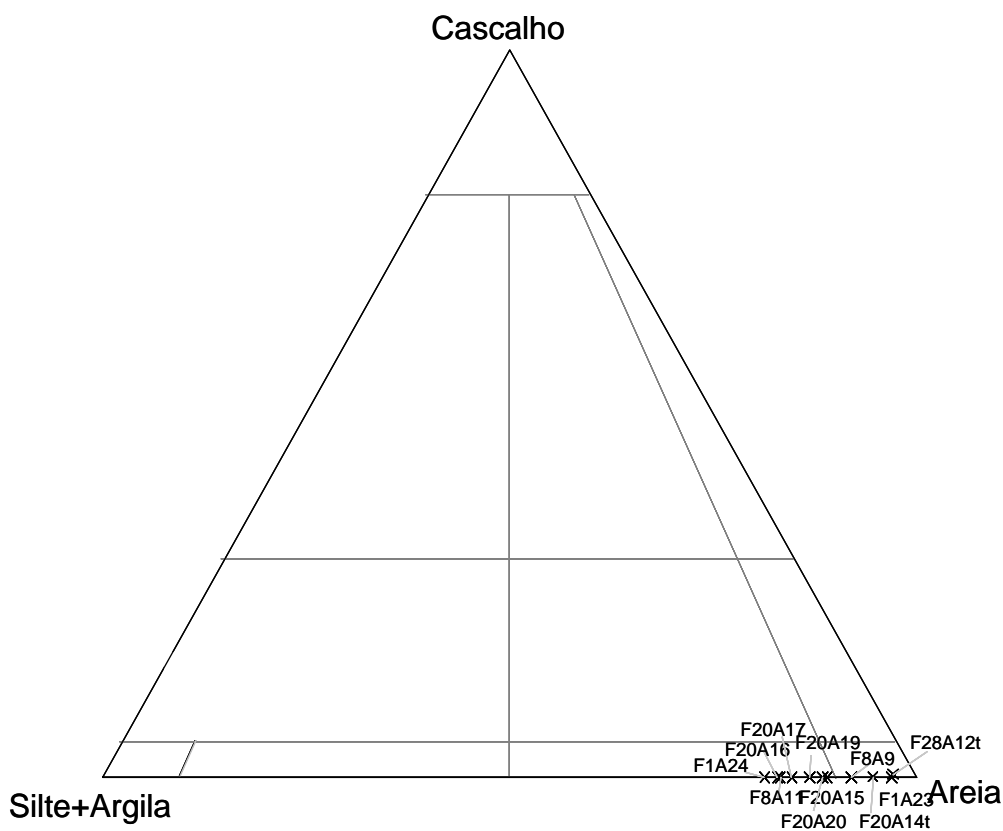


Figura 4.34 – Amostras da litofácies McS projectadas no diagrama de Folk para sedimentos grosseiros.

As populações da litofácies McS não apresentam praticamente sedimentos com dimensão superior a 2 mm (figura 4.34), sendo a quantidade de argila muito diminuta (figura 4.35). A sua distribuição, no diagrama de Folk para sedimentos finos, classifica-os como areias siltosas, com excepção das amostras F8A9, F20A14 e F28A12, cuja quantidade de silte não lhes permite essa classificação, sendo consideradas areias.

O diagrama sugere variações nas percentagens relativas de areia e silte, havendo um enriquecimento em silte em determinados níveis desta unidade sedimentar, geralmente a base ou o centro.

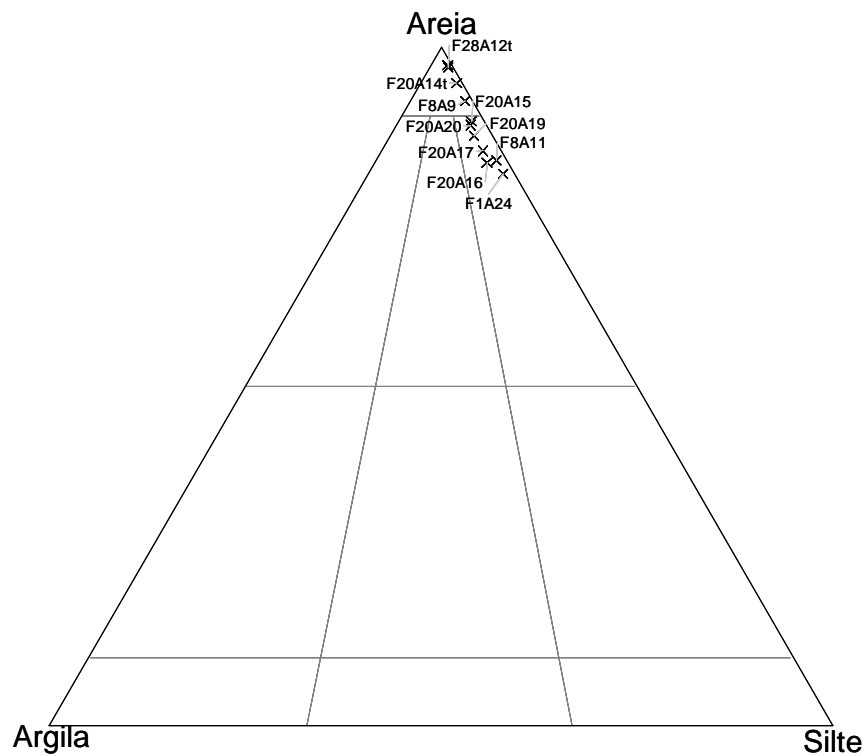


Figura 4.35 – Amostras da litofácies McS projectadas no diagrama de Folk para sedimentos finos.

4.2.3 Litofácies MGS

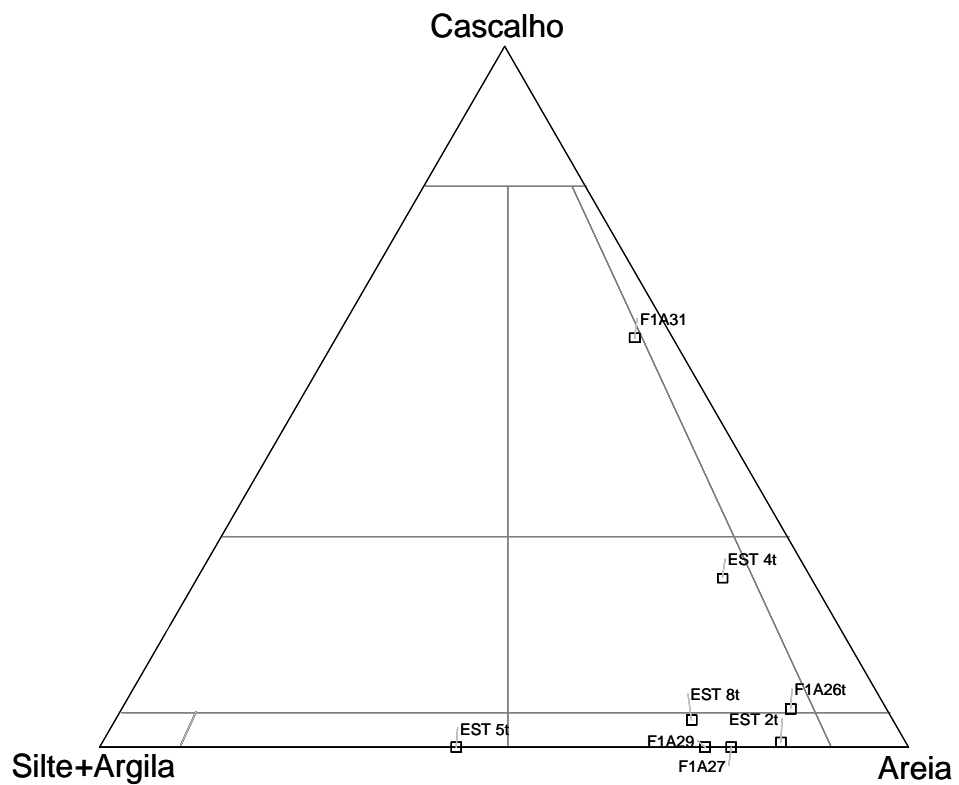


Figura 4.36 – Amostras da litofácies MGS projectadas no diagrama de Folk para sedimentos grosseiros.

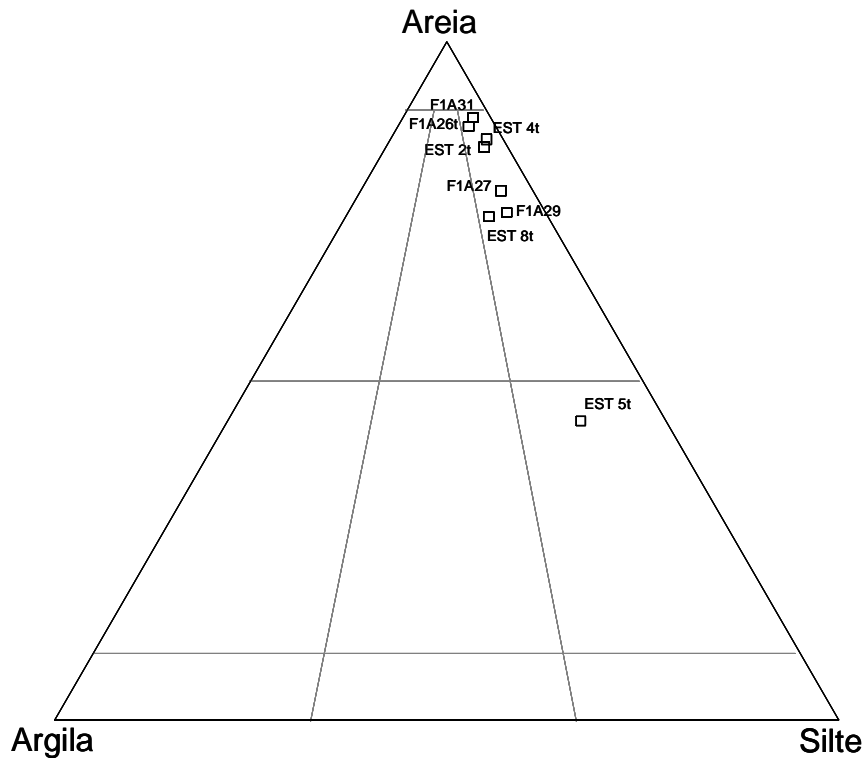


Figura 4.37 – Amostras da litofácies MGS projectadas no diagrama de Folk para sedimentos finos.

As amostras da litofácies MGS são bastante heterogéneas, o que é corroborado pela dispersão dos pontos nos dois diagramas apresentados (figuras 4.36 e 4.37). Trata-se de sedimentos ligeiramente cascalhentos a cascalhentos, com uma única excepção para a amostra F1A31. Esta apresenta um grau elevado de selecção das partículas resultado da injeção de água na perfuração do último terço do furo F1, tendo perdido a sua fracção fina, por isso, só pode ser tida em conta se se considerar apenas representativa da fracção grosseira.

A fracção fina é mais siltosa que argilosa e os sedimentos são classificados como areias siltosas, com excepção da amostra EST-5 (silte arenoso) mais rica em matriz e desprovida de sedimentos com dimensão superior a 2 mm.

4.2.4 Litofácies OM

Foram analisadas apenas 3 amostras pertencentes a esta litofácies, embora tenham sido recolhidos mais exemplares. A sua reduzida dimensão levou a que se usassem para análises palinológicas e para datações, sendo as análises granulométricas relegadas para segundo plano. As amostras recolhidas nos furos F1 e F20 teriam provavelmente resultados muito próximos dos obtidos pela amostra F3A5L.

Constituem sedimentos bastante heterogéneos, sem clastos de dimensão superior a 2 mm, cujo conteúdo em matriz silto-argilosa e matéria orgânica é muito variável. São classificados como areias siltosas segundo Folk (figura 4.38).

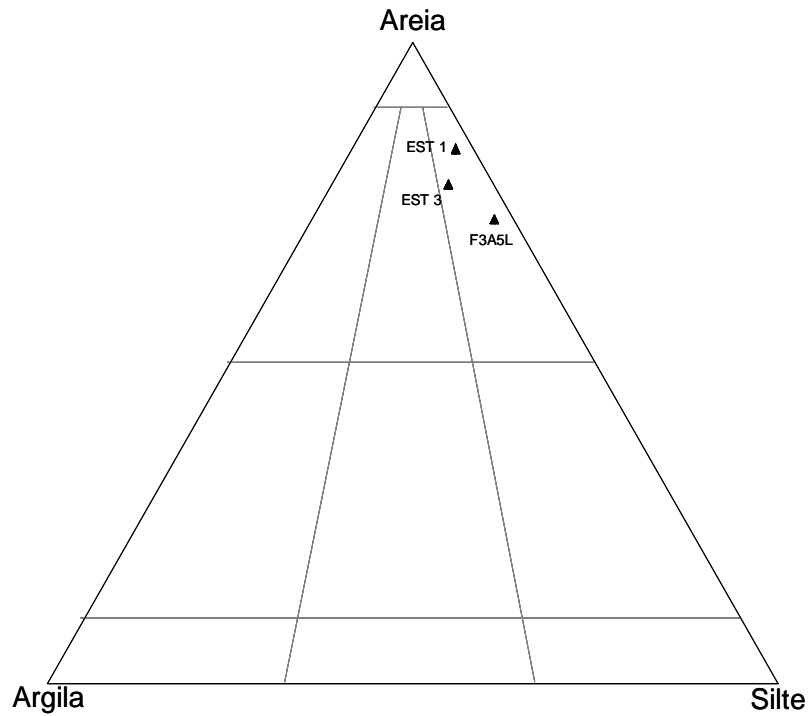


Figura 4.38 – Amostras da litofácies OM projectadas no diagrama de Folk para sedimentos finos.

4.2.5 Litofácies RC

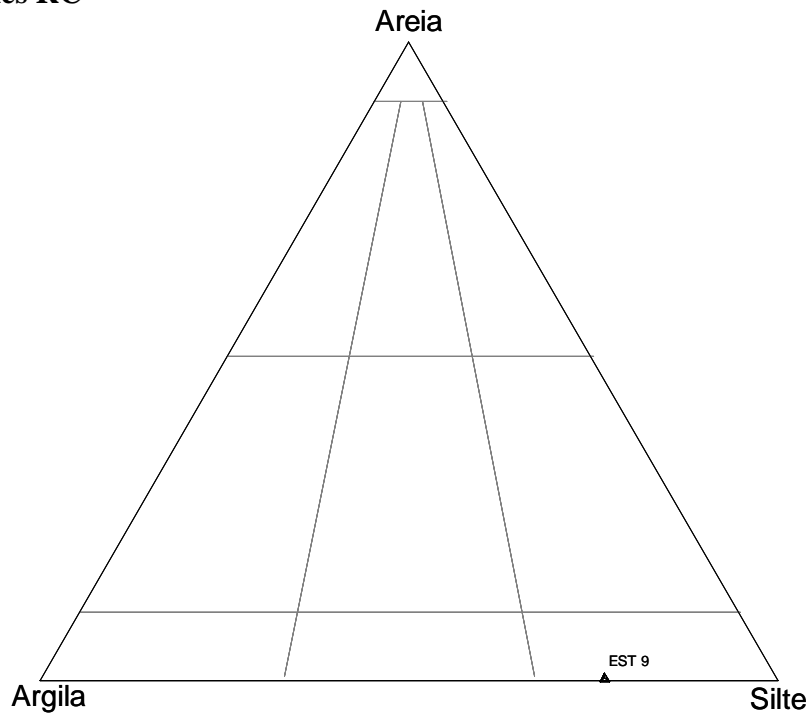


Figura 4.39 – Amostra da litofácies RC projectada no diagrama de Folk para sedimentos finos.

A única amostra obtida para a litofácies RC é classificada como silte segundo Folk. Flemming atribui-lhe a classificação EII (silte ligeiramente argiloso).

4.2.6 Litofácies SM

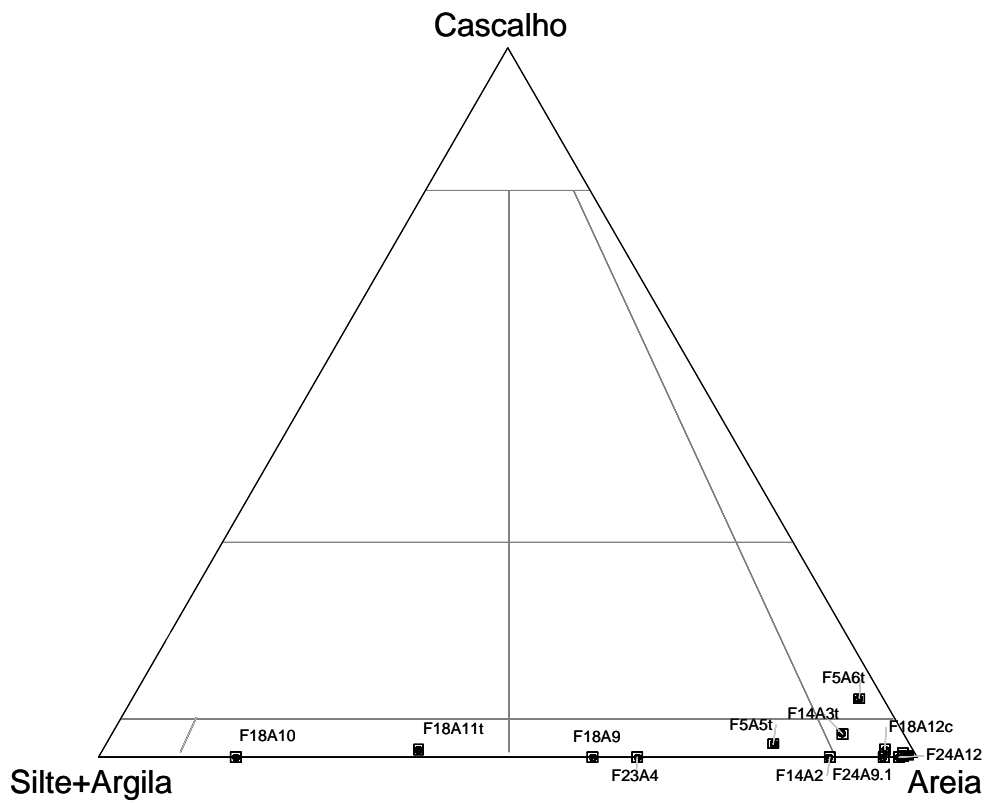


Figura 4.40 – Amostras da litofácies SM projectadas no diagrama de Folk para sedimentos grosseiros.

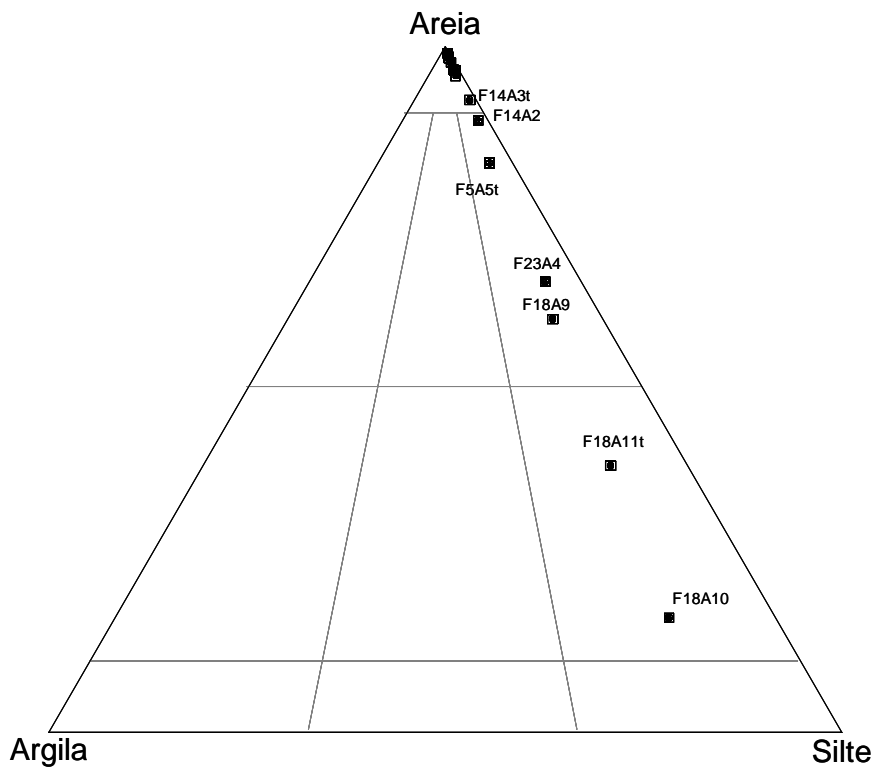


Figura 4.41 – Amostras da litofácies SM projectadas no diagrama de Folk para sedimentos finos.

Os sedimentos da litofácies SM são classificados como ligeiramente cascalhentos, com excepção da amostra F5A6t, designada como areia cascalhenta (figura 4.40). Nestes sedimentos a fracção com dimensão superior a 2 mm é quase exclusivamente constituída por conchas de moluscos.

Verifica-se ainda que as amostras apresentam quantidades diferentes de silte e argila, mas que a razão entre estas duas fracções granulométricas é sensivelmente a mesma em todas elas (figura 4.41). Esta tendência revela a maior ou menor proporção existente entre o afluxo de sedimentos finos e de sedimentos arenosos que chega aos paleo-ambientes lagunares onde estes sedimentos se depositaram. O enriquecimento relativo em sedimentos finos é mais evidente no centro da unidade sedimentar do que nas suas extremidades (base e topo) e depende da localização geográfica da amostra.

Numa laguna costeira, em que a acção das ondas pode ser muito diminuída quando comparada com outros ambientes costeiros, as influências na dinâmica sedimentar devem-se sobretudo à subida e descida das marés, à actividade biológica e ao clima (Friedman, Sanders & Kopaska-Merkel, 1992). Nestas, os locais que não são invadidos por areias da ilha-barreira que a separa do mar, são ocupados por sedimentos finos, transportados muitas vezes em suspensão, depositando-se por decantação em condições de hidrodinamismo fraco.

Neste contexto, a mistura nas amostras da litofácies SM de dois tipos de sedimentos em proporções diferentes, um fino com uma razão silte/argila específica e outro arenoso, parece resultar da influência combinada de dois processos. Um, menos energético, que promove a decantação de sedimentos finos e outro, mais energético, que contribui ocasionalmente para a inclusão na laguna de sedimentos arenosos mais grosseiros.

Os locais em que a litofácies SM foi intersectada testemunham influências destes processos de um modo diverso, no entanto, parece evidente que as amostras dos furos F18, F23, F5, F14 e F24, revelam ambientes deposicionais progressivamente mais energéticos.

4.2.7 Litofácies SS

A litofácies SS é constituída por sedimentos arenosos ligeiramente cascalhentos, sendo cascalhentos no caso das amostras F19A3, F14A4.1 e F23A7. A sua quantidade de matriz silto-argilosa é muito diminuta ou inexistente (figura 4.42) e a fracção com dimensão superior a 2 mm é parcialmente constituída por fragmentos de conchas.

Nota-se que algumas destas amostras foram obtidas em furos efectuados com recurso a injeção de água, o que provocou uma selecção de sedimentos, de acordo com a pressão utilizada, e consequente perda da fracção silto-argilosa. No entanto, o cuidado de limpar o furo e retomar a furação manualmente deve ter minorado significativamente este efeito.

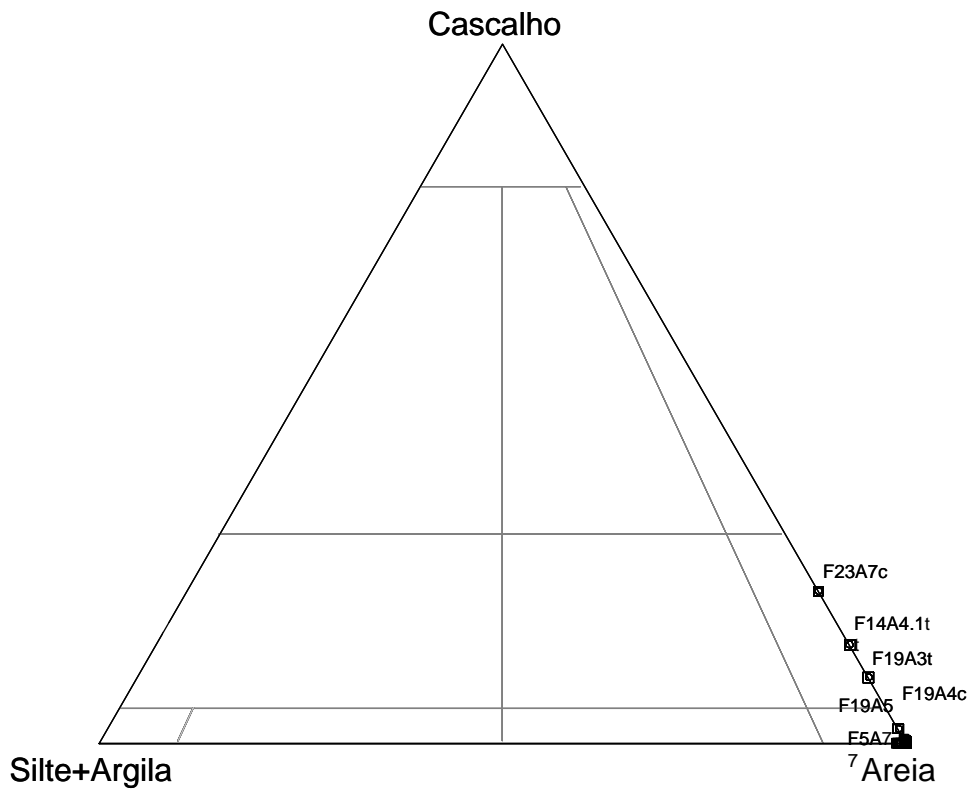


Figura 4.42 – Amostras da litofácies SS projectadas no diagrama de Folk para sedimentos grosseiros.

4.2.8 Litofácies WS

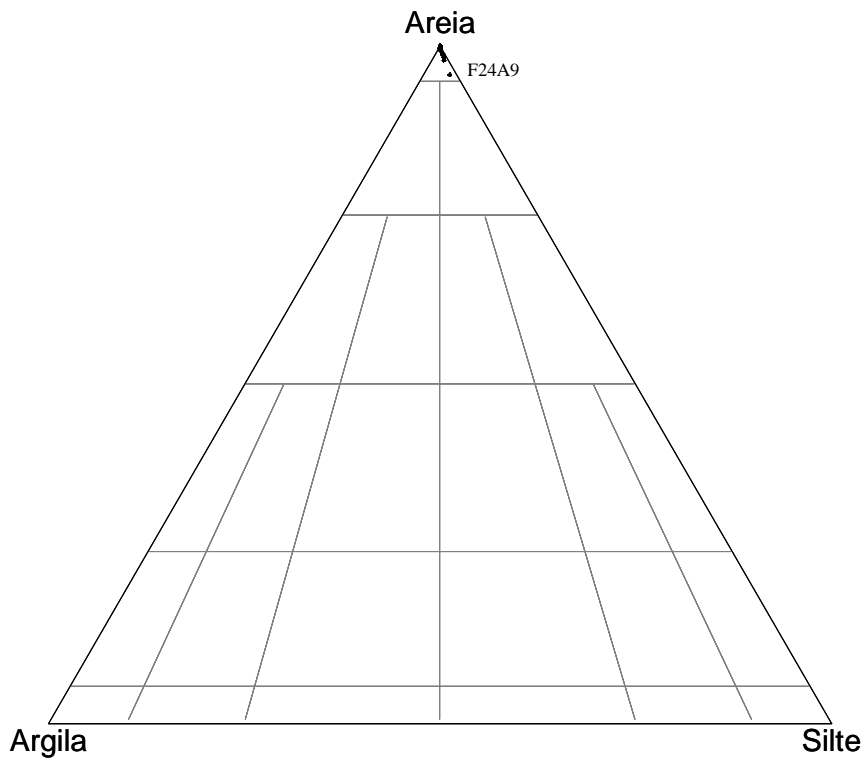


Figura 4.43 – Amostras da litofácies WS projectadas no diagrama de Flemming.

A litofácies WS é muito homogênea e constituída por areias, tanto na classificação de Folk como na de Flemming. As análises efectuadas às amostras desta litofácies não encontraram praticamente sedimentos de dimensão inferior a 4 μm , havendo apenas um ligeiro enriquecimento em silte (figura 4.43). A amostra F24A9 destaca-se do grupo devido ao seu conteúdo em sedimentos finos, mas a razão prende-se muito provavelmente com o facto desta amostra ser a primeira da sequência dunar, que se segue à sequência lagunar na sondagem F24 e, por isso, ter ainda alguma contribuição de sedimentos finos da litofácies SM.

4.2.9 Litofácies WS g

Os sedimentos da litofácies WS g são areias ligeiramente cascalhentas ou mesmo cascalhentas, como no caso das amostras F20A12.1 e F20A13, com um conteúdo em matriz silto-argilosa muito diminuto (figura 4.44).

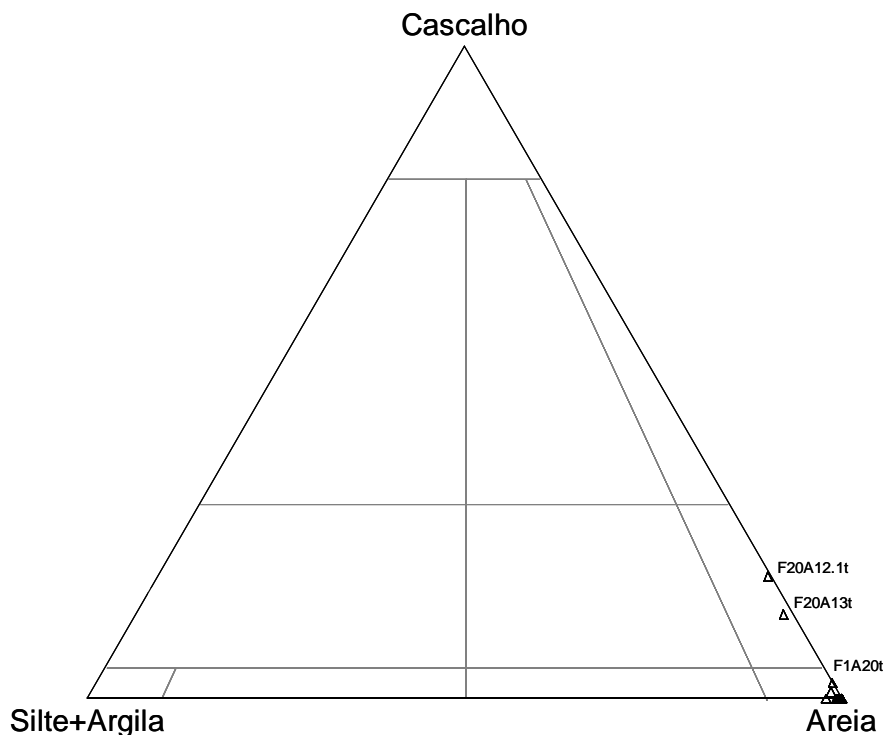


Figura 4.44 – Amostras da litofácies WS g projectadas no diagrama de Folk para sedimentos grosseiros.

Nestes sedimentos, com distribuições geralmente bimodais, parece haver a contribuição de dois processos energeticamente distintos. O principal poderia ser semelhante ao que originou os sedimentos da litofácies WS, mas ligeiramente menos energético, e o segundo seria bastante mais energético do que este.

4.2.10 Litofácies WS m

Os sedimentos da litofácies WS m são classificados como areias, segundo Folk, mas, segundo Flemming, algumas amostras (F8A2, F9A8, F20A9) podem considerar-se já areias ligeiramente siltosas (figura 4.45).

Apresentam quantidades muito diminutas de fracção fina, mas observa-se um enriquecimento progressivo em matriz silto-argilosa, com uma razão favorável à argila nesta relação. Como a litofácies WS m está geneticamente relacionada com ambientes interdunares, a quantidade de argila, embora diminuta, poderá ser devida a processos pedogenéticos, associados em alguns casos a arrastamento de finos e a um aumento da meteorização.

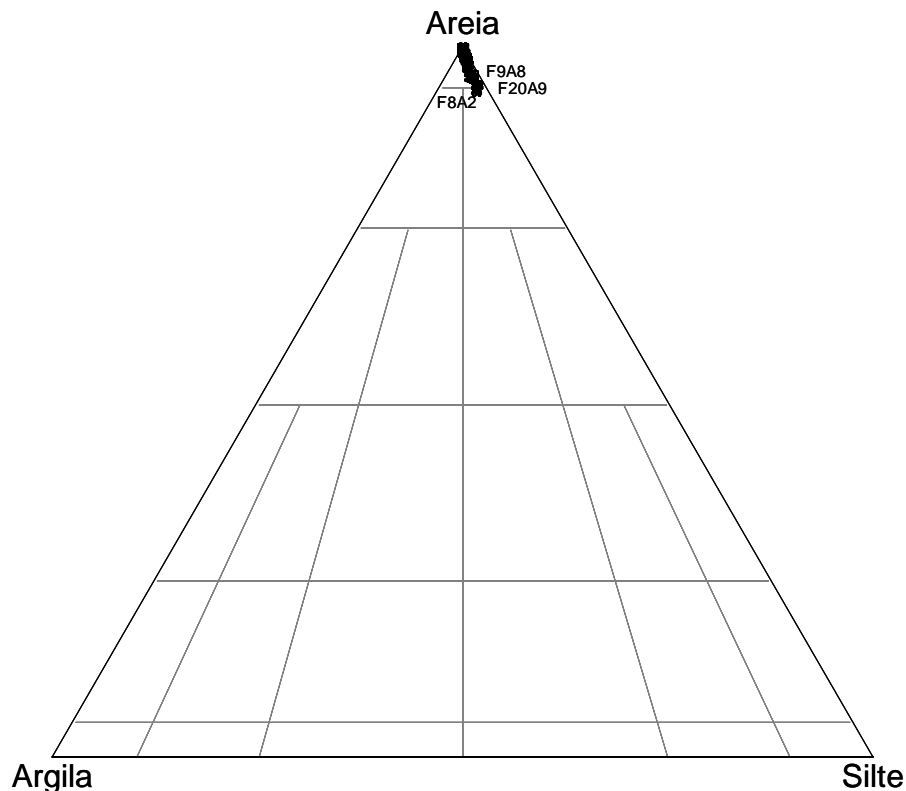


Figura 4.45 - Amostras da litofácies WS m projectadas no diagrama de Flemming.

4.2.11 Litofácies WS p

As amostras da litofácies WS p são todas classificadas como areia, tanto segundo Folk como segundo Flemming (figura 4.46). Apresentam um ligeiro enriquecimento na fracção silto-argilosa, com um aparente predomínio de silte sobre argila, provavelmente devido a processos pedogenéticos associados à precipitação de sesquióxidos.

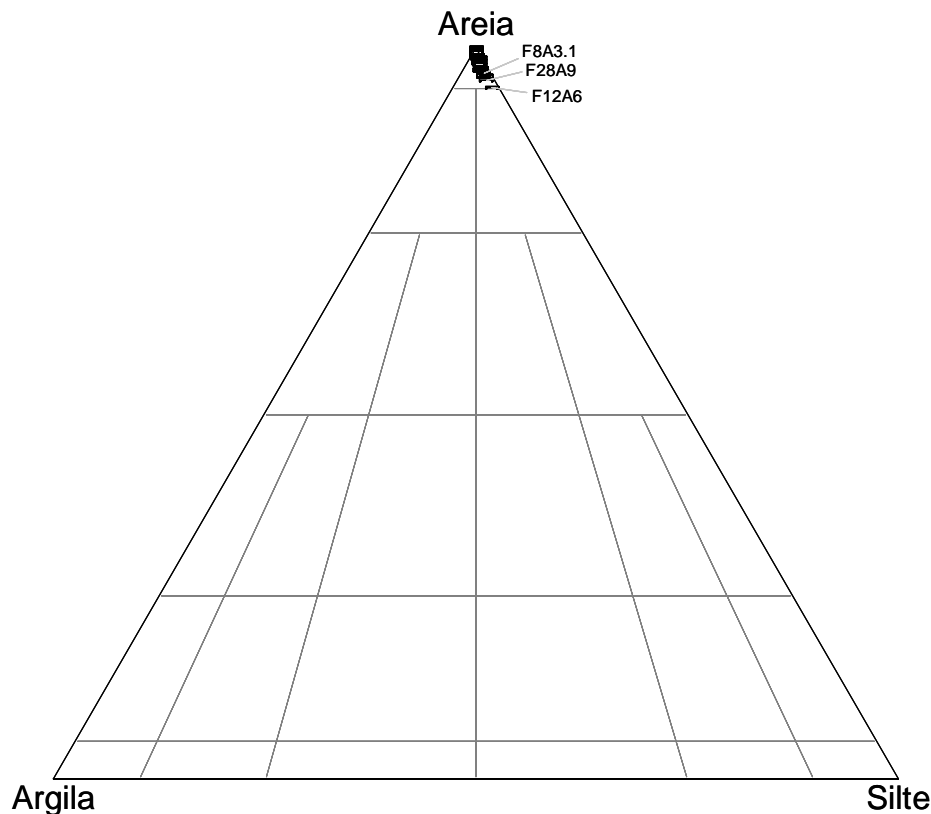


Figura 4.46 – Amostras da litofácies WS p projectadas no diagrama de Flemming.

4.2.12 Comparação das texturas das litofácies

Fez-se a representação conjunta de todas as amostras analisadas, nos diagramas de Folk para sedimentos grosseiros e para sedimentos finos. Cada amostra apresenta um símbolo relativo à litofácies a que pertence, de modo a poderem ser comparadas.

Verifica-se que a quase totalidade das 209 amostras projectadas se situa na área de classificação da areia. As restantes deslocam-se maioritariamente em duas direcções, sempre muito próximas do perímetro do diagrama, como que preferindo um dos vértices relativamente ao outro.

Assim, as amostras das litofácies SS, APS e WS g deslocam-se no sentido do enriquecimento nas fracções mais grosseiras, quase sem contribuição das fracções finas. Por outro lado, as litofácies SM, OM, McS e raras amostras da litofácies MGS, orientam-se para o vértice da quantidade de silte e argila, sem incremento da fracção grosseira. Apenas a litofácies MGS apresenta incremento das duas fracções simultaneamente, em algumas das suas amostras.

Os sedimentos das litofácies WS, WS m, WS p e a generalidade das amostras da litofácies WS g ocupam a mesma zona nos dois diagramas, não sendo possível individualizá-los através da textura.

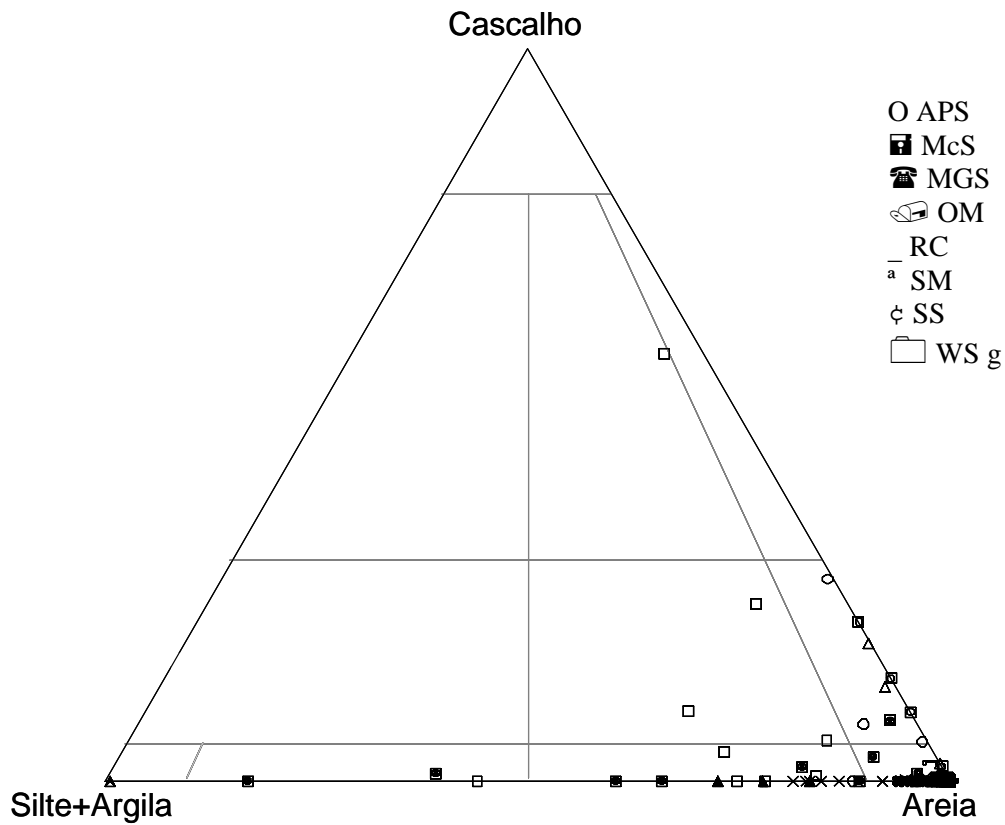


Figura 4.47 – Projecção de todas as amostras no diagrama de Folk para sedimentos grosseiros.

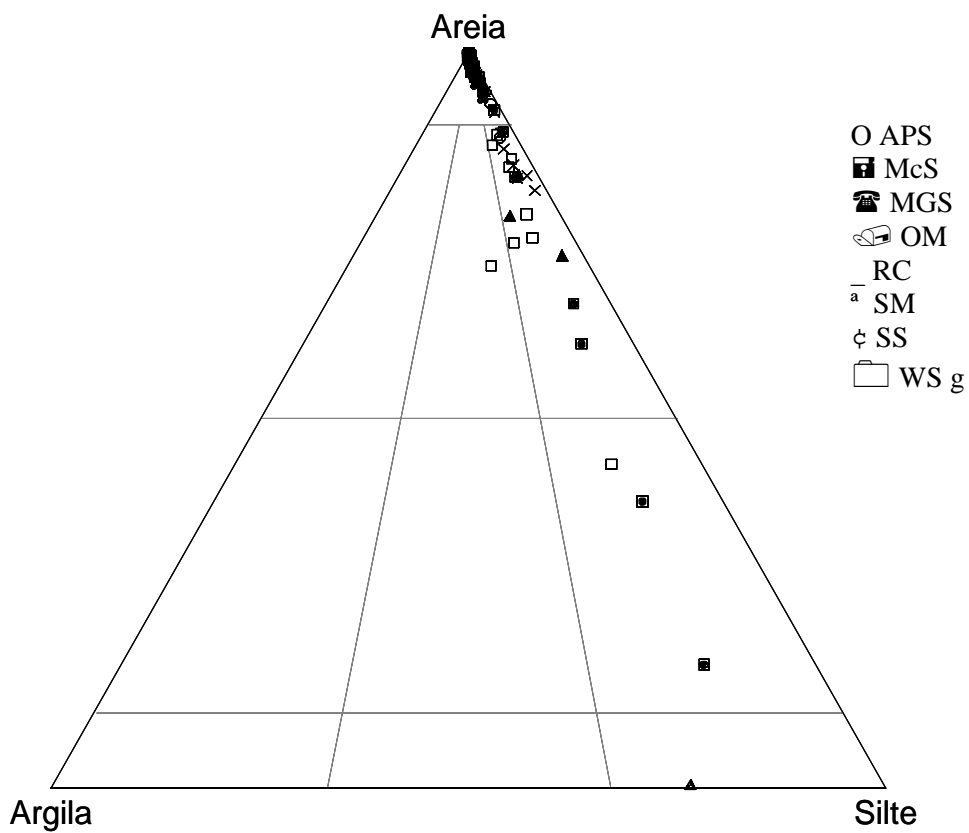


Figura 4.48 – Projecção de todas as amostras no diagrama de Folk para sedimentos finos.

4.3 Análise de dados granulométricos

Os dados das populações granulométricas das amostras que foram comparadas estatisticamente obtiveram-se na sua maioria a partir de resultados obtidos por difracção de Laser, excepto nos casos em que existia fracção grosseira superior a 5%. Nestes casos, as curvas totais foram o resultado da combinação dos resultados obtidos por crivagem segundo procedimento descrito no capítulo 1.

Os resultados obtidos foram organizados em folhas de cálculo, no formato Excel, a partir das quais se calcularam os parâmetros das distribuições granulométricas e se construíram as curvas de frequência de cada uma dela (anexo 4.2). Foram calculados os parâmetros de estatística descritiva das populações das litofácies e efectuados testes de ajustamento a leis de distribuição normal e, para se verificar a dependência ou independência entre variáveis, calcularam-se os coeficientes de correlação de Spearman.

4.3.1 Ficheiros de partida

As populações granulométricas de cada amostra, após o cálculo da população resultante das réplicas efectuadas, foram organizadas em escalas com incremento igual a $1/2\phi$. Para cada uma delas foram determinados os parâmetros estatísticos mais comuns. Calcularam-se os valores da média, desvio padrão, assimetria, e curtose, através do Método dos Momentos (Friedman, Sanders & Kopaska-Merkel, 1992; Lewis & McConchie, 1994 a; Dias, 2004) e determinaram-se os valores de algumas razões entre parâmetros estatísticos. Juntaram-se os valores de diversos percentis importantes, entre eles a mediana; o número de modas em populações polimodais e as modas encontradas em cada uma delas; e percentagens de cascalho, areia, silte e argila. Foram ainda incluídos, no ficheiro original, variáveis que se relacionavam com a localização geográfica das amostras, com a sua cor, segundo a escala de cores de Munsell (2000) e alguns parâmetros qualitativos, acerca da mineralogia existente nas diversas fracções e indicações sobre ocorrências de origem biológica.

Construiu-se um ficheiro global (GRANTOT) com os dados obtidos de um total de 209 amostras e mais de 50 variáveis, que serviu de base para a estatística descritiva efectuada.

Deste ficheiro foram rejeitadas todas as amostras que se consideraram menos representativas das unidades sedimentares encontradas aquando da furação:

- amostras que apresentavam mistura de duas unidades sedimentares diferentes (F1A23, F19A1, F20A13, F28A11, F28A14);
- amostras que foram recolhidas com recurso à injeção de água e em que não foi interrompido o processo, limpo o furo e retomada a furação manual (F1A31, F14A4 e F14A5, F16A13 e F16A15, F19A4, F19A5 e F19A6, F20A21, F23A7, F24A14);
- amostras de que se obtinha apenas o resultado de um dos métodos usados para a análise granulométrica, mas que, pelos critérios referidos no capítulo 1, exigiam a utilização dos dois (EST1-7 F18A12, F20A8);
- amostras representativas de litofácies com apenas uma ocorrência (EST1-9).

Desta segunda selecção resultou outro ficheiro (GRANREP), com 191 amostras, utilizado para a maioria das análises estatísticas.

4.3.2 Estatística descritiva

Submeteram-se os dados do ficheiro GRANTOT a uma análise exploratória, com o sentido de simplificar os ficheiros e calcular os parâmetros de distribuição de cada litofácies. Alguns destes parâmetros de estatística descritiva, relativos às distribuições granulométricas, podem ser analisados na tabela 4.2.

Neste sentido, utilizaram-se dados organizados em tabelas (tabela 4.2) e em diagramas de extremos e quartis (Caixas de Bigodes ou *boxplot*), para que as distribuições granulométricas pudessem ser comparadas graficamente (figuras 4.49 a 4.60) (metodologia descrita no capítulo 1).

Tabela 4.2 – Estatística descritiva das distribuições granulométricas das amostras por litofácies.

Litofácies	Nº de Modas	Média	Mediana	Moda	Calibração	Assimetria	Curtose	Ø10	Ø90	Silte+Argila	Elem. Gros.*	
APS	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
	Mínimo	1	0,435	0,51	-0,25	0,713	-0,37	2,388	-1,032	2,579	0	0
	Máximo	4	2,485	2,568	2,25	1,808	2,253	22,99	1,353	3,377	11,55	27,59
	Valor Médio	2,375	1,803	2,031	1,813	1,195	0,979	10,118	0,691	3,080	2,624	5,130
	Desvio Padrão	1,302	0,629	0,663	0,863	0,444	1,135	8,079	0,897	0,239	4,165	9,560
McS	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	Mínimo	1	2,228	2,115	1,75	1,018	1,339	5,259	1,288	3,227	2,68	0
	Máximo	4	3,263	3,124	2,75	2,009	3,04	22,86	1,957	6,195	18,69	0,46
	Valor Médio	2,700	2,684	2,582	2,200	1,563	2,094	10,866	1,530	4,625	11,088	0,057
	Desvio Padrão	0,823	0,292	0,274	0,369	0,377	0,644	6,704	0,260	1,172	6,017	0,146
MGS	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
	Mínimo	3	-0,206	-0,579	-1,25	1,732	0,0437	1,583	-1,884	2,327	4,66	0
	Máximo	6	5,487	5,131	3,75	3,0311	2,1533	8,903	3,871	8,906	56	58,42
	Valor Médio	4,333	3,000	2,890	2,306	2,195	0,983	4,528	0,786	6,503	21,913	11,358
	Desvio Padrão	1,118	1,605	1,644	1,685	0,415	0,704	2,331	2,010	2,032	14,834	19,272
OM	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	Mínimo	3	3,164	2,838	2,25	1,805	1,115	4,427	1,458	6,338	16,61	0
	Máximo	5	3,585	3,45	2,25	2,383	1,908	6,4495	2,009	7,489	27,6	0
	Valor Médio	4,000	3,345	3,051	2,250	2,036	1,507	5,110	1,760	6,735	22,127	0,000
	Desvio Padrão	1,000	0,217	0,346	0,000	0,306	0,397	1,161	0,279	0,653	5,495	0,000
RC	N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Mínimo	4	7,26	7,407	6,75	1,604	0,4014	2,475	5,444	9,877	99,51	0
	Máximo	4	7,26	7,407	6,75	1,604	0,4014	2,475	5,444	9,877	99,51	0
	Valor Médio	4	7,26	7,407	6,75	1,604	0,4014	2,475	5,444	9,877	99,51	0
	Desvio Padrão											
SM	N	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	
	Mínimo	1	1,708	1,977	1,75	0,791	0,075	2,256	0,06	3,046	0,89	0
	Máximo	5	6,258	6,452	5,25	2,665	3,535	31,019	4,0165	9,154	83,18	8,26
	Valor Médio	2,643	2,946	2,975	2,286	1,521	1,841	13,595	1,605	5,042	19,214	1,194
	Desvio Padrão	1,499	1,314	1,344	0,887	0,620	1,220	10,423	0,870	2,377	25,761	2,245
SS	N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
	Mínimo	1	0,286	0,75	0,25	0,466	-1,507	1,835	-1,128	1,765	0	0
	Máximo	4	1,967	2,294	2,25	1,348	2,847	23,693	1,432	3,085	1,31	21,76
	Valor Médio	1,533	1,465	1,788	1,617	0,812	0,154	7,849	0,652	2,626	0,227	3,214
	Desvio Padrão	0,915	0,474	0,427	0,581	0,253	1,257	7,260	0,768	0,407	0,460	6,592
WS	N	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	
	Mínimo	1	1,4	1,559	1,25	0,414	-0,702	2,62	0,816	2,201	0	0
	Máximo	2	2,677	2,957	2,75	1,159	4,971	49,193	2,332	3,531	4,36	0,04
	Valor Médio	1,025	1,851	2,097	1,873	0,594	0,726	10,625	1,413	2,781	0,239	0,0005
	Desvio Padrão	0,156	0,247	0,249	0,257	0,148	1,620	14,062	0,296	0,235	0,636	0,004
WS g	N	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
	Mínimo	1	1,586	2,094	2,25	0,494	-1,733	2,724	-1,441	3,041	0	0
	Máximo	3	2,548	2,868	2,75	1,889	3,214	40,198	2,503	3,47	2,1	18,71
	Valor Médio	1,333	2,174	2,522	2,292	0,816	0,227	11,908	1,471	3,217	0,333	1,455
	Desvio Padrão	0,637	0,228	0,169	0,141	0,363	1,595	11,516	0,718	0,088	0,526	4,525
WS m	N	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	
	Mínimo	1	1,649	1,865	1,75	0,6	2,57	16,152	1,253	2,58	0,22	0
	Máximo	1	2,321	2,368	2,25	1,387	4,696	52,307	1,583	3,375	6,18	0
	Valor Médio	1,000	1,995	2,146	1,857	0,968	3,803	30,832	1,398	2,949	2,290	0,000
	Desvio Padrão	0,000	0,191	0,135	0,213	0,230	0,564	9,308	0,098	0,234	1,817	0,000
WS p	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
	Mínimo	1	1,907	2,138	1,75	0,418	-0,705	3,64	1,371	2,838	0	0
	Máximo	2	2,505	2,74	2,25	1,248	5,188	49,685	2,274	3,517	5,41	2,52
	Valor Médio	1,067	2,220	2,406	2,200	0,918	3,014	24,594	1,665	3,165	1,991	0,084
	Desvio Padrão	0,254	0,136	0,143	0,153	0,231	1,776	12,125	0,203	0,134	1,539	0,460

* - Nota: Os elementos grosseiros aqui referidos correspondem às fracções de dimensão superior a 2 mm.

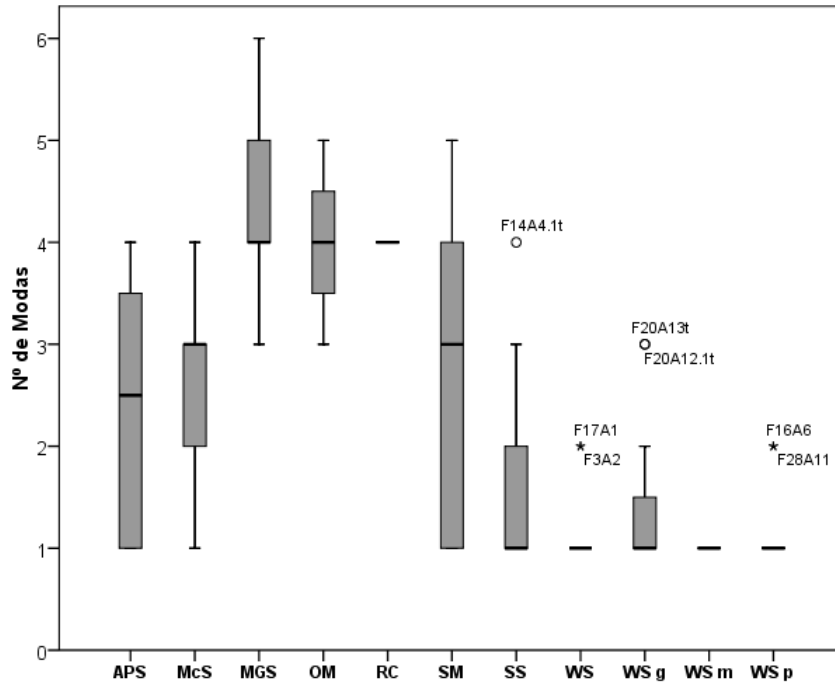


Figura 4.49 – Número de modas das distribuições granulométricas das litofácies.

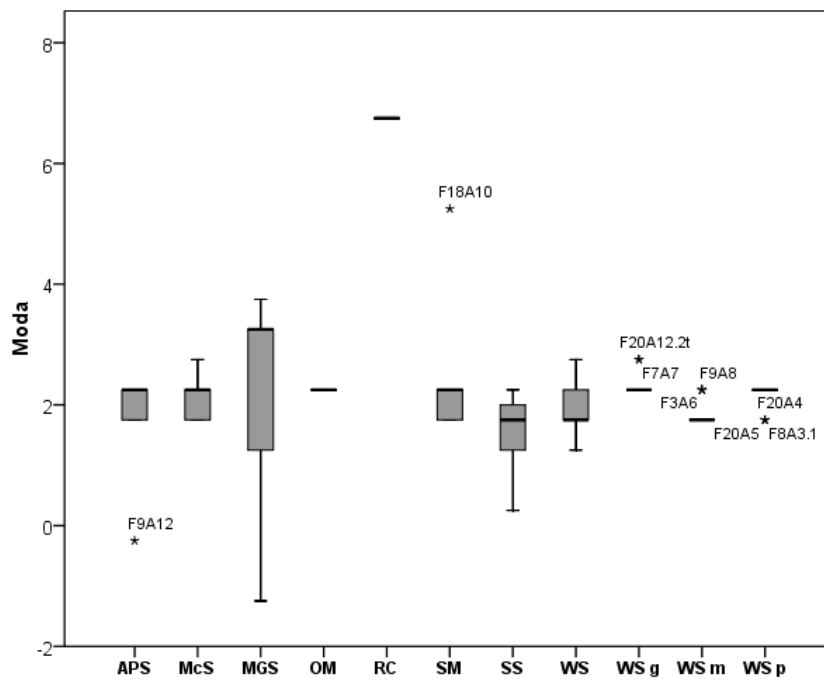


Figura 4.50 – Moda principal das distribuições granulométricas das litofácies.

Nota: as dimensões são dadas em Ø.

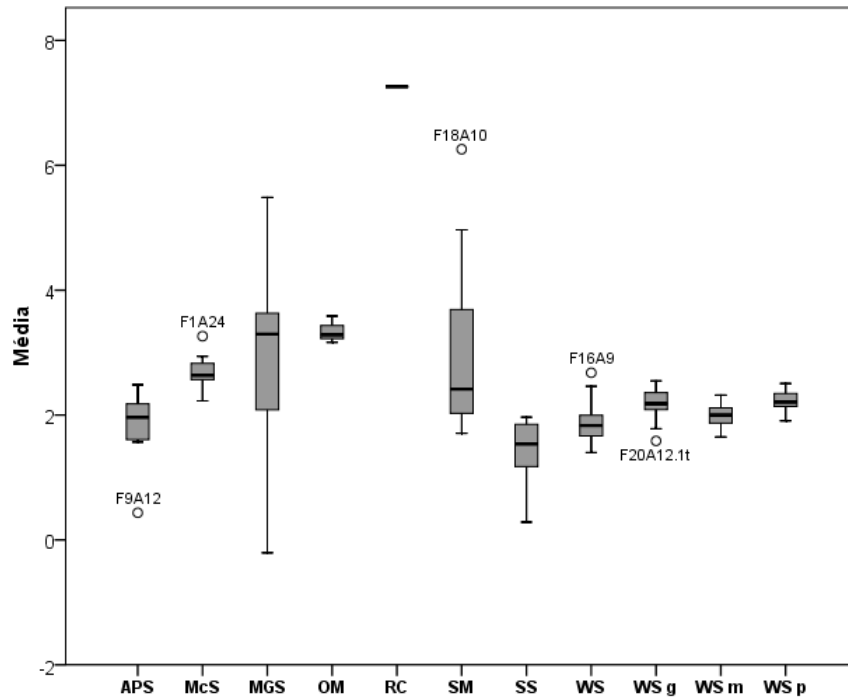


Figura 4.51 – Média das distribuições granulométricas das litofácies.

Nota: as dimensões são dadas em \emptyset .

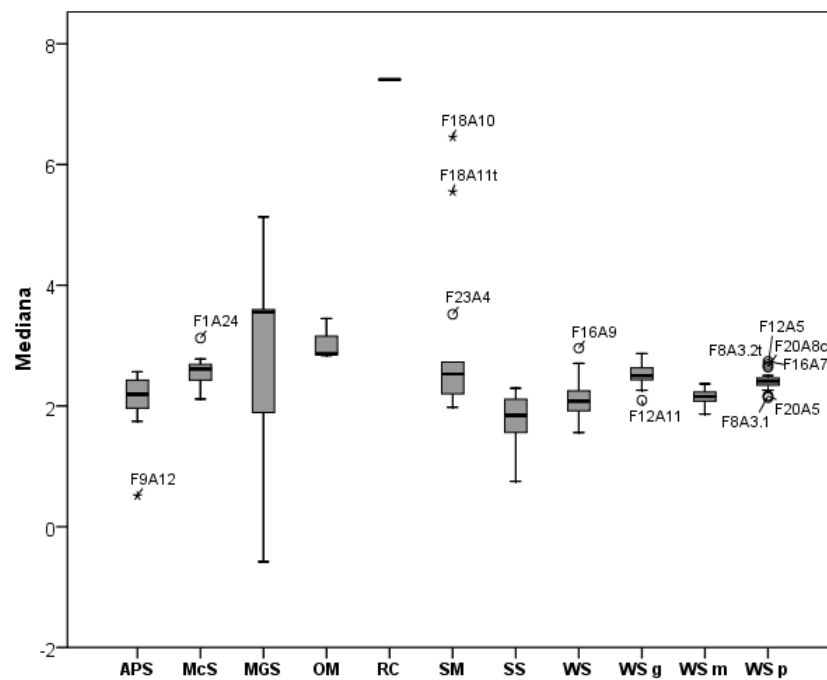


Figura 4.52 – Mediana das distribuições granulométricas das litofácies.

Nota: as dimensões são dadas em \emptyset .

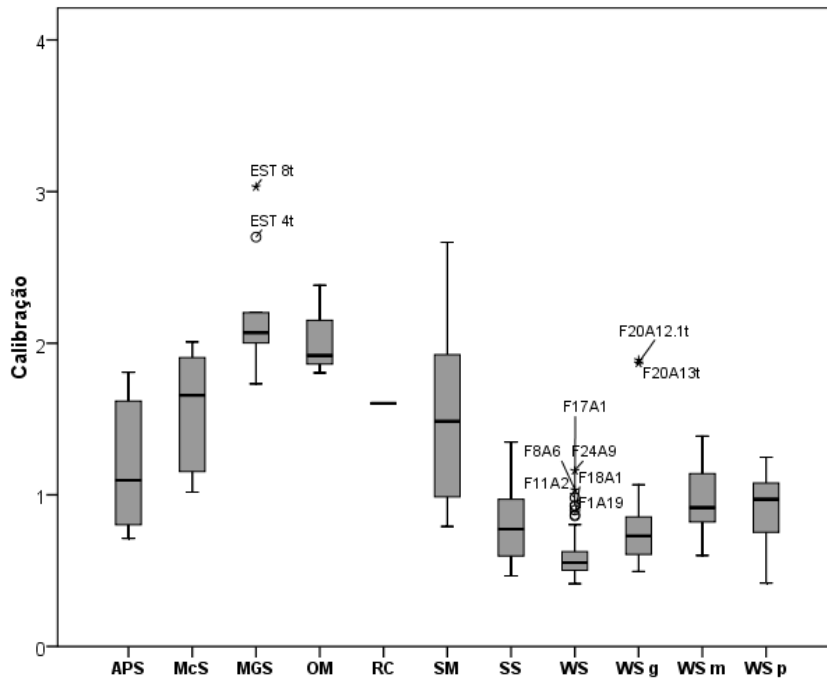


Figura 4.53 – Calibração das distribuições granulométricas das litofácies.

Nota: as dimensões são dadas em Ø.

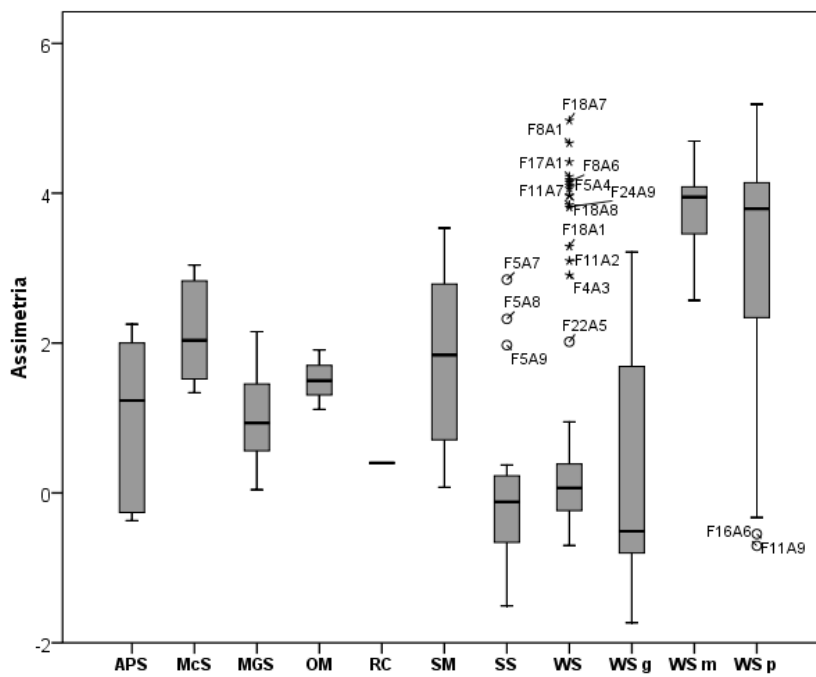


Figura 4.54 – Assimetria (Sk) das distribuições granulométricas das litofácies.

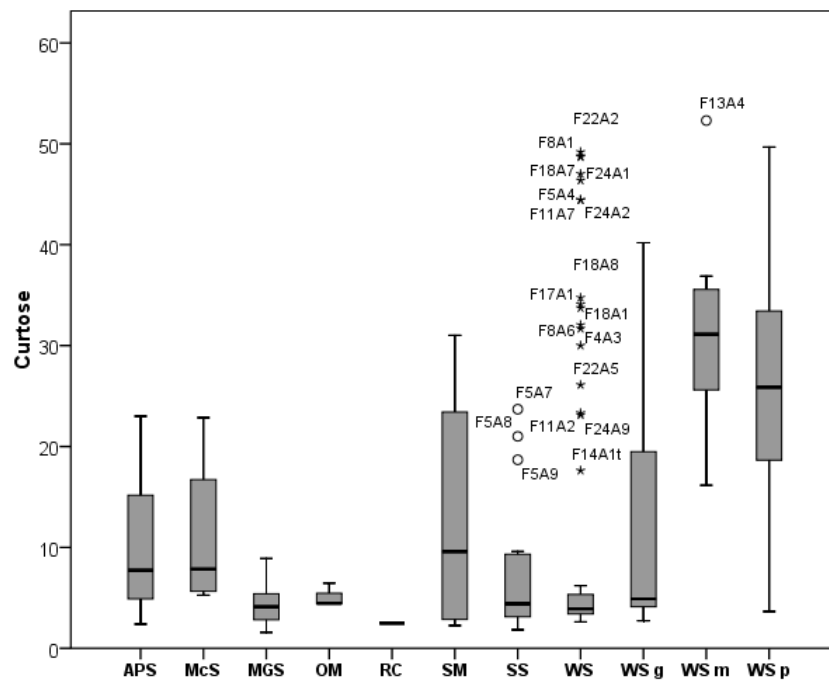


Figura 4.55 –Curtose (K) das distribuições granulométricas das litofácies.

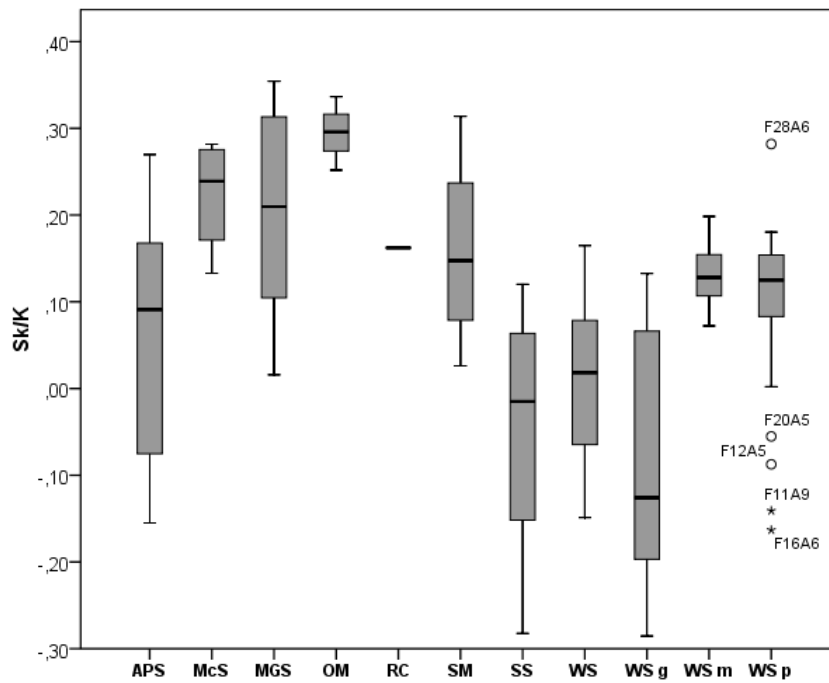


Figura 4.56 – Razão Assimetria/Curtose (Sk/K) para cada litofácies.

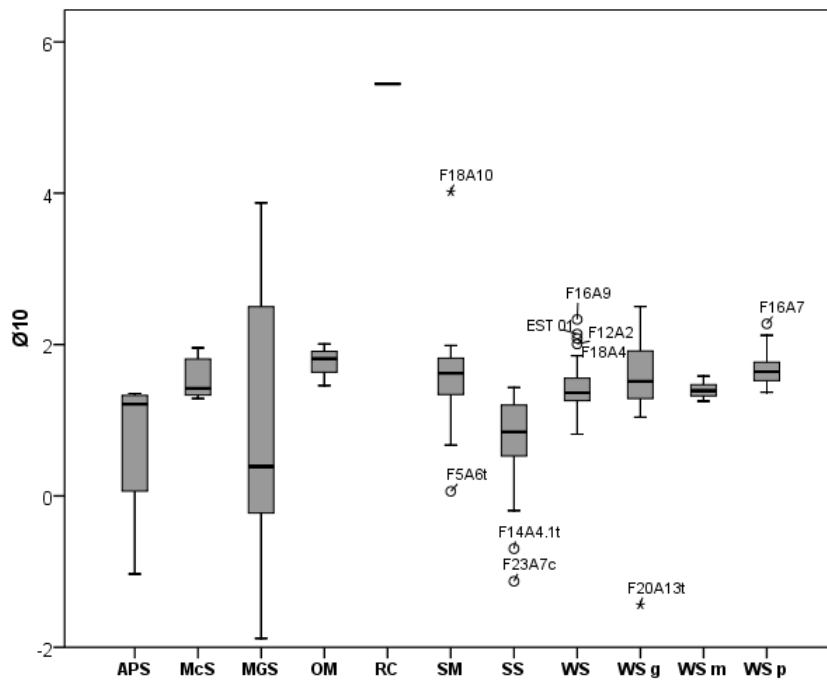


Figura 4.57 – Dimensão $\text{Ø}10$ (10% das partículas são mais grosseiras do que a dimensão indicada em Ø).

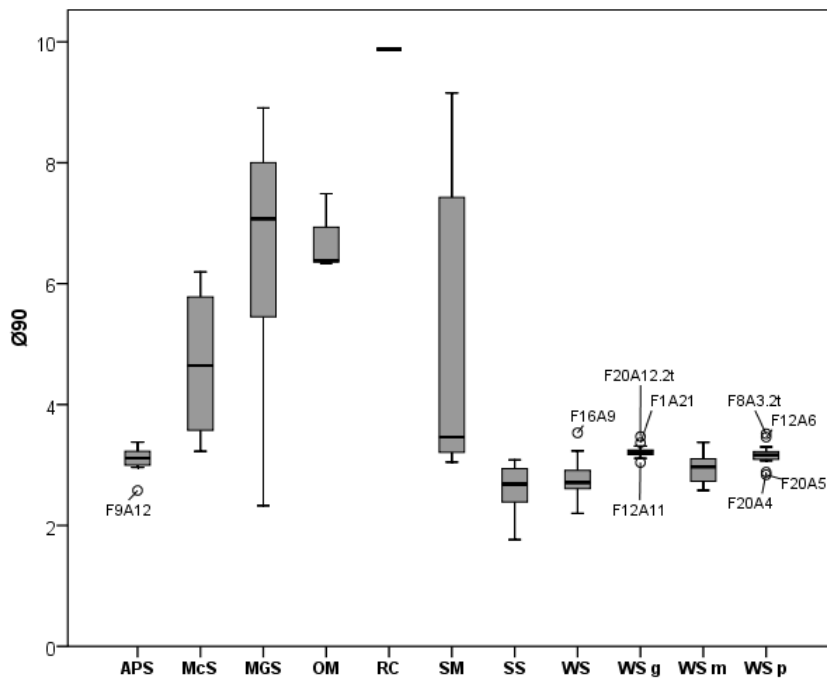


Figura 4.58 – Dimensão $\text{Ø}90$ (90% das partículas são mais grosseiras do que a dimensão indicada em Ø).

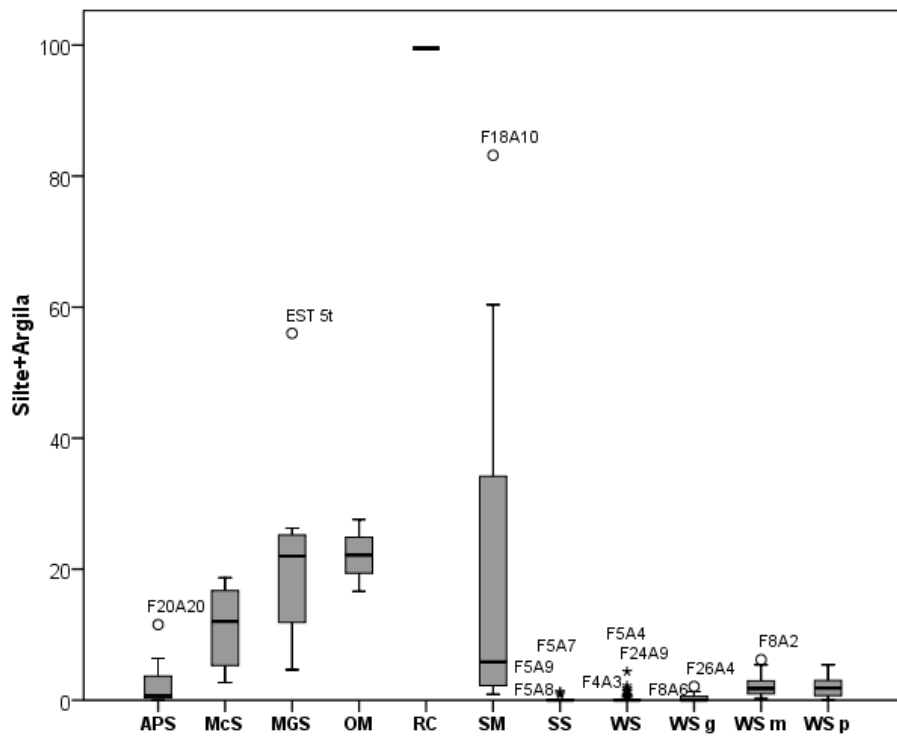


Figura 4.59 – Percentagem da fracção inferior a 63 μm das litofácies.

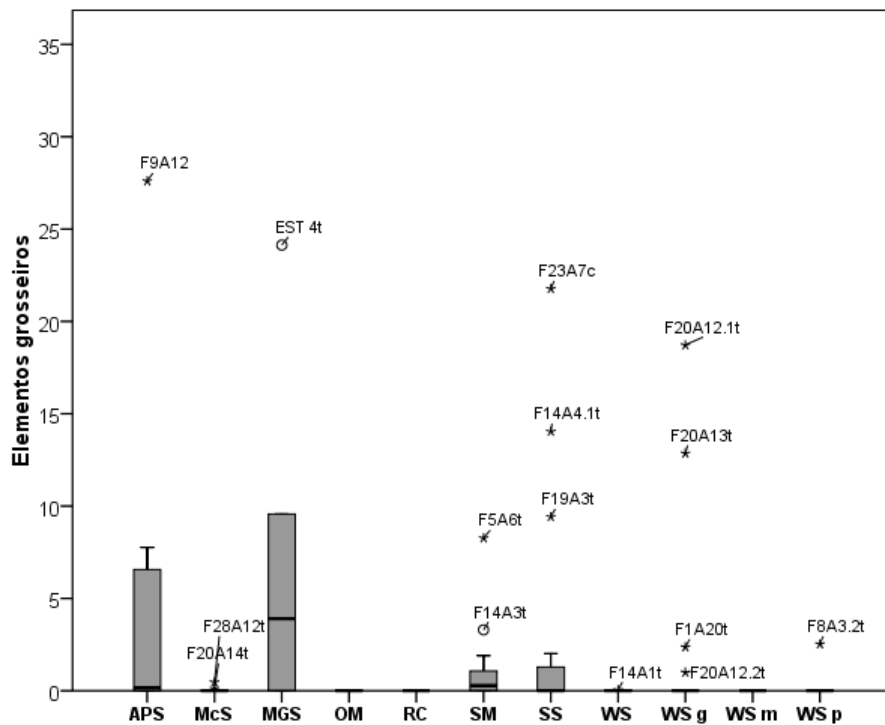


Figura 4.60 – Percentagem da fracção superior a 2000 μm de cada litofácies.

4.3.3 Testes de ajustamento

Da análise dos gráficos anteriores (figuras 4.49 a 4.60) verifica-se que a maioria das distribuições não segue uma distribuição normal, mas existem algumas variáveis cujas caixas de bigodes das litofácies se aproximam da normalidade.

Para testar a normalidade da totalidade dos dados, efectuaram-se testes de ajustamento das variáveis do ficheiro GRANREP, às leis de distribuição através do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S).

Este teste foi desenvolvido para fazer a verificação do tipo de distribuição dos dados, com o objectivo de testar a hipótese nula de que uma determinada variável corresponde à distribuição cumulativa de uma determinada função de probabilidade.

Formula-se a hipótese relativa aos dados da distribuição que se quer testar e o teste sobrepõe a curva cumulada dos dados a uma curva de distribuição. O teste comprova-se para probabilidades elevadas quando o nível de significância α é pequeno. Nestes casos, a hipótese nula é rejeitada e as populações não são consideradas idênticas.

Assim, da análise da tabela 4.3, verifica-se que as populações das variáveis não são normalmente distribuídas, já que existem valores de significância muito próximos de zero.

Tabela 4.3 – Aplicação do teste K-S para ajuste a leis de distribuição normal.

	Kolmogorov-Smirnov *		
	Estatística	df	Sig.
Nº de Modas	,458	191	,000
Média	,185	191	,000
Mediana	,176	191	,000
Média/Mediana	,207	191	,000
Moda	,277	191	,000
Calibração	,163	191	,000
Média / S.D.	,076	191	,009
Ø90	,353	191	,000
Ø10	,192	191	,000
Assimetria	,183	191	,000
Curtose	,268	191	,000
Cascalho	,456	191	,000
Areia	,337	191	,000
Silte	,357	191	,000
Argila	,341	191	,000
Silte+Argila	,353	191	,000
Sk/K	,104	191	,000

* Com correcção de Lilliefors

4.3.4 Matrizes de correlação

A independência ou, por outro lado, a existência de relações entre as variáveis pode ser verificada através do cálculo de coeficiente de correlação. Comprovada a não normalidade da totalidade dos dados, determinaram-se os coeficientes de correlação de Spearman, que foram organizados numa matriz de correlação. Esta matriz simétrica tem todos os elementos da diagonal principal iguais à unidade (tabela 4.4). Nela estão sinalizadas as correlações significativas, para probabilidade de certeza de 99% ($\alpha=0,01$) e 95% ($\alpha=0,05$), o que, para este conjunto de quase duas centenas de dados, corresponde a valores relativamente baixos.

As correlações que apresentam coeficientes acima de 0,800 são relativamente poucas e envolvem quase sempre:

Percentagens de areia, silte e argila - entre si, com razões que as incluem, com a razão assimetria/curtose, com a calibração e em menor grau com assimetria e curtose.

Parâmetros estatísticos de tendência central – média, mediana e em menor grau a moda, entre si, com razões que as incluem e com $\emptyset 90$.

Estes parâmetros não deverão ser incluídos, em conjunto, nas técnicas de análise de dados que pressuponham a independência das variáveis.

Os coeficientes de correlação podem revelar relações de interdependência entre variáveis facilmente justificáveis, como as que resultam de operações matemáticas que envolvem outras variáveis, e outras um pouco mais subtis e próprias do grupo a que se referem.

Neste grupo de dados, as populações arenosas são geralmente bem calibradas, daí a relação negativa e muito forte entre calibração e areia. Esta relação revela-se ainda na correlação fortemente negativa entre areia, silte e argila, separados ou em conjunto. Por outro lado, esta medida de dispersão é maior em sedimentos com matriz silto-argilosa, o que justifica as relações fortemente positivas que existem entre calibração, argila, silte e a razão entre estes últimos.

Tabela 4.4 - Coeficientes de correlação de Spearman para as variáveis do ficheiro GRANREP

	Prof. amostra	Nº de Modas	Média	Mediana	Média/Mediana	Moda	Calibração (SD)	Média / S.D.	Assimetria (Sk)	Curtose (K)	Sk/K	Ø10	Ø90	Cascalho	Areia	Silte+Argila	Silte	Argila	
Prof. amostra	1,000																		
Nº de Modas	,365**	1,000																	
Média	,473**	,344**	1,000																
Mediana	,490**	,304**	,889**	1,000															
Média/Mediana	,209**	,256**	,740**	,455**	1,000														
Moda	,425**	,134**	,678**	,831**	,255**	1,000													
Calibração	,285**	,595**	,435**	,316**	,513**	,221**	1,000												
Média / S.D.	-,121	-,507**	-,082	,049	-,305**	,081	-,902**	1,000											
Assimetria	-,134	-,073	,124	-,081	,537	-,072	,496**	-,523	1,000										
Curtose	,005	-,166*	,064	-,005	,300**	,036	,398**	-,416**	,771**	1,000									
Sk/K	,014	,281**	,363**	,087	,738**	,008	,675**	-,646**	,830**	,488**	1,000								
Ø10	,182*	-,124	,645**	,672**	,456**	,577**	-,072	,379**	-,017	,041	,005	1,000							
Ø90	,538**	,499**	,909**	,871**	,610**	,685**	,579**	-,253**	,036	,014	,302**	,491**	1,000						
Cascalho	,262**	,473**	,022	,091	-,114	,087	,374**	-,377**	-,111	-,022	-,029	-,139	,248**	1,000					
Areia	-,241**	-,593**	-,417**	-,277**	-,572**	-,167**	-,928**	,844**	-,580**	-,449**	-,754**	,023	-,524**	-,410**	1,000				
Silte+Argila	,202**	,500**	,493**	,304**	,688**	,191**	,892**	-,780**	,694**	,490**	,853**	,032	,542**	,217**	-,949**	1,000			
Silte	,203**	,503**	,492**	,306**	,687**	,192**	,891**	-,778**	,690**	,486**	,852**	,035	,543**	,218**	-,949**	,999**	1,000		
Argila	,214**	,493**	,529**	,336**	,709**	,227**	,902**	-,784**	,689**	,486**	,842**	,062	,567**	,221**	-,920**	,962**	,957**	1,000	

** . Correlação significativa para $\alpha < 0,01$

* . Correlação significativa para $\alpha < 0,05$

4.3.5 Análise Grupal

A análise grupal é uma ferramenta exploratória, concebida para revelar grupos naturais em conjuntos que de outra maneira não seriam visíveis.

Existem diversos métodos de agrupamento ou de classificação, cujo objectivo é a criação de grupos, de indivíduos (amostras) ou propriedades (variáveis), que apresentam elevada similitude entre si, sendo esta maior do que a que existe em relação a qualquer elemento exterior a esse grupo. Os critérios que definem esta similitude dependem do conjunto de partida e do método de classificação utilizado.

Consideram-se assim dois grandes tipos de métodos de classificação tradicionais: os métodos de classificação hierárquicos e os métodos não hierárquicos. Nos primeiros métodos, os grupos que se vão formando, vão sendo sucessivamente incluídos noutros de maiores dimensões, produzindo estruturas em árvore (ou dendrogramas). Este processo pode ser de aglomeração ou de divisão do grupo inicial que contém a totalidade dos dados e não necessita de saber, à priori, quantos grupos vão ser criados nem os seus parâmetros iniciais. Os métodos não hierárquicos formam grupos que resultam de subdivisões da matriz inicial, de tal forma que, no interior de cada classe a similitude é máxima. Estes métodos alteram a posição das amostras dentro dos grupos, à medida que se vai processando, até à disposição final num número de grupos previamente fixado e cujos parâmetros deverão ser conhecidos.

Um outro método de classificação, desenvolvido pela empresa de *software* SPSS®16.0, estendeu a medida de distância desenvolvida por Banfield e Raftery (1993) a variáveis qualitativas e utilizou um processo de agrupamento em dois passos, semelhante ao BIRCH proposto por Zhang, em 1996. Este método foi chamado de TSC (*TwoStep Cluster Component*).

Este procedimento tem algumas vantagens que o diferenciam das tradicionais técnicas de agrupamento:

- pode usar tanto variáveis quantitativas como qualitativas, discretas ou contínuas, desde que consideradas independentes entre si;
- selecciona automaticamente o número óptimo de grupos, comparando diferentes soluções de agrupamento;
- permite a análise de conjuntos com grande quantidade de dados.

O método TSC de agrupamento utiliza uma medida de similitude que assume que as variáveis são independentes entre si. Cada variável contínua é considerada normal e cada variável discreta é considerada multinomial. Testes empíricos indicam, no entanto, que este procedimento é bastante robusto em relação aos pré-requisitos, tanto de independência como de distribuição.

Apresenta uma limitação, já que pode ser condicionado pela ordem dos indivíduos no ficheiro inicial, pelo se efectua inicialmente um posicionamento aleatório dos indivíduos nesse ficheiro.

As razões que levaram à escolha do método TSC para efectuar a classificação das amostras, foram as seguintes:

- existência de um elevado número de amostras que tornava difícil a Análise Grupal Hierárquica clássica (com dendrogramas);
- desconhecimento dos centróides de grupos iniciais, para que se pudesse partir destes e posteriormente agrupar os novos casos;
- possibilidade de acrescentar variáveis qualitativas, o que permitia incluir na análise variáveis como a cor (medida no Sistema de Notação de Cores de Munsell e em condições de observação idênticas) que pode dar indicações acerca da composição, matéria orgânica ou condições de oxidação-redução do meio;
- elevada robustez do método, mesmo em condições de não normalidade e dependência entre variáveis.

Numa fase preparatória da utilização do método, foram efectuadas análises TSC com diversas ordenações de amostras e usando diversas variáveis, de modo a controlar a influência da posição da amostra para a determinação dos grupos e para testar a robustez do método na ausência das condições de partida. Os resultados foram idênticos no que diz respeito à ordenação dos dados, havendo apenas mudança de algumas amostras quando o número de variáveis diminuía e a sua importância relativa aumentava, o que comprovou efectivamente a robustez deste método para esta aplicação específica.

As variáveis foram escolhidas de modo a retirar as que possuíssem forte dependência, deixando apenas as que apresentavam coeficientes de correlação menores. A análise grupal foi então efectuada com a variável qualitativa Cor e as variáveis quantitativas standardizadas Número (Nº) de Modas, Mediana, Moda, Calibração, Assimetria, Curtose, $\emptyset 90$ e $\emptyset 10$.

A importância das variáveis para a construção dos grupos foi determinada para um intervalo de confiança de 95%, através do teste de ajustamento de Bonferroni. Este teste baseia-se no teste t-de-Student, mas ajusta o nível de significância ao facto de se fazerem múltiplas comparações.

A aplicação da classificação TSC ao ficheiro GRANREP foi efectuada com selecção automática do número de grupos para as variáveis já referidas, previamente standardizadas. O critério aplicado para testar o modelo de agrupamento foi o critério BIC (Schwarz's Bayesian Criterion).

Foram criados inicialmente 3 grupos, designados pelos seus números, cujos centróides podem ser vistos na tabela 4.5. O grupo 1, com 100 elementos, é o maior, com uma

percentagem relativa de 52,4%, seguido do grupo 3 com 62 elementos e uma percentagem de 32,5% e do grupo 2 com apenas 29 elementos.

Tabela 4.5 – Parâmetros dos centróides dos grupos formados na fase inicial.

	Nº de Modas		Mediana		Moda		Calibração	
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.
Grupo 1	1,14	,450	2,21619	,307138	1,9950	,31378	,61671	,203215
3	1,05	,282	2,21650	,234578	1,9919	,28258	,93524	,181723
2	3,59	,946	2,99817	1,166210	2,3362	,95496	1,92769	,426607
Total	1,48	1,030	2,33502	,588546	2,0458	,47593	,91915	,512267

	Assimetria		Curtose		Ø90		Ø10	
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.
Grupo 1	-,05677	,731039	5,59850	5,328141	2,90572	,288793	1,44567	,403222
3	3,67611	,689570	31,06346	8,951301	3,00050	,254592	1,44835	,266395
2	1,24509	,852992	6,09119	3,088405	5,78866	1,938409	1,29702	1,291607
Total	1,35261	1,829543	13,93942	13,550885	3,37421	1,291842	1,42397	,596867

A distribuição das litofácies pelos grupos TSC, apresentada na tabela 4.6, é bastante elucidativa.

O grupo 1 reúne a grande maioria das amostras das litofácies APS, SS, WS e WS g, e é caracterizado especialmente por populações unimodais, bem calibradas e com assimetria negativa. As cores de Munsell são geralmente claras, com valores elevados (7 a 8) e saturações diminutas (1 a 3). As variáveis quantitativas, com maior importância relativa na criação deste grupo, são a calibração, a assimetria, Ø90 e curtose, todas no eixo negativo, o que indica que este grupo se afirmou por valores relativamente baixos destas variáveis (figura 4.61).

O grupo 3 compreende a maioria das amostras das litofácies WS m e WS p. É muito semelhante ao grupo 1, mas as amostras que lhe pertencem são moderadamente calibradas, têm assimetria positiva e os mais elevados valores de curtose. As cores de Munsell das amostras que pertencem a este grupo são mais escuras, apresentando valores mais baixos (3 a 6) do que as amostras do grupo 1. As variáveis quantitativas, com maior importância relativa na criação do grupo 3, são a assimetria e a curtose, no semi-eixo positivo, o número de modas e Ø90, no semi-eixo negativo, o que corrobora o que se afirmou atrás sobre a assimetria e a curtose, indicando ainda o seu carácter unimodal e granulometria um pouco mais fina de 90% das populações (figura 4.62).

O grupo 2 reúne as amostras das litofácies MGS e OM, e a maioria das amostras McS e SM. As características mais distintas deste grupo são o carácter polimodal, a granulometria (mediana e moda) ligeiramente mais fina, a sua pior calibração e o valor de Ø90 que é o mais fino de todos. Esta noção é reforçada pela análise da importância relativa das variáveis, com a curtose no semi-eixo negativo e a calibração, número de modas e Ø90, no semi-eixo positivo, como aquelas que mais contribuíram para a criação deste grupo (figura 4.63).

Tabela 4.6 – Distribuição das litofácies, nos grupos formados inicialmente.

			Grupo TSC inicial			
			1	2	3	Total
Litofácies	APS	N	3	1		4
		% nas Litofácies	75,0%	25,0%	,0%	100,0%
		% no Grupo TSC	3,0%	3,4%	,0%	2,1%
		% Total	1,6%	,5%	,0%	2,1%
McS	N	N		9	1	10
		% nas Litofácies	,0%	90,0%	10,0%	100,0%
		% no Grupo TSC	,0%	31,0%	1,6%	5,2%
		% Total	,0%	4,7%	,5%	5,2%
MGS	N	N		7		7
		% nas Litofácies	,0%	100,0%	,0%	100,0%
		% no Grupo TSC	,0%	24,1%	,0%	3,7%
		% Total	,0%	3,7%	,0%	3,7%
OM	N	N		3		3
		% nas Litofácies	,0%	100,0%	,0%	100,0%
		% no Grupo TSC	,0%	10,3%	,0%	1,6%
		% Total	,0%	1,6%	,0%	1,6%
SM	N	N		8	4	12
		% nas Litofácies	,0%	66,7%	33,3%	100,0%
		% no Grupo TSC	,0%	27,6%	6,5%	6,3%
		% Total	,0%	4,2%	2,1%	6,3%
SS	N	N	6		2	8
		% nas Litofácies	75,0%	,0%	25,0%	100,0%
		% no Grupo TSC	6,0%	,0%	3,2%	4,2%
		% Total	3,1%	,0%	1,0%	4,2%
WS	N	N	65		16	81
		% nas Litofácies	80,2%	,0%	19,8%	100,0%
		% no Grupo TSC	65,0%	,0%	25,8%	42,4%
		% Total	34,0%	,0%	8,4%	42,4%
WS g	N	N	19	1	4	24
		% nas Litofácies	79,2%	4,2%	16,7%	100,0%
		% no Grupo TSC	19,0%	3,4%	6,5%	12,6%
		% Total	9,9%	,5%	2,1%	12,6%
WS m	N	N	2		15	17
		% nas Litofácies	11,8%	,0%	88,2%	100,0%
		% no Grupo TSC	2,0%	,0%	24,2%	8,9%
		% Total	1,0%	,0%	7,9%	8,9%
WS p	N	N	5		20	25
		% nas Litofácies	20,0%	,0%	80,0%	100,0%
		% no Grupo TSC	5,0%	,0%	32,3%	13,1%
		% Total	2,6%	,0%	10,5%	13,1%
Total	N	N	100	29	62	191
		% nas Litofácies	52,4%	15,2%	32,5%	100,0%
		% no Grupo TSC	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		% Total	52,4%	15,2%	32,5%	100,0%

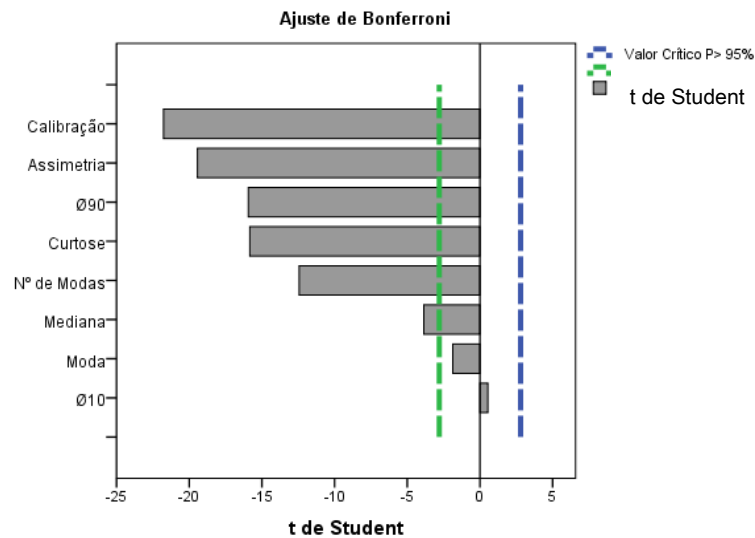


Figura 4.61 – Importância relativa das variáveis contínuas na criação do grupo 1.

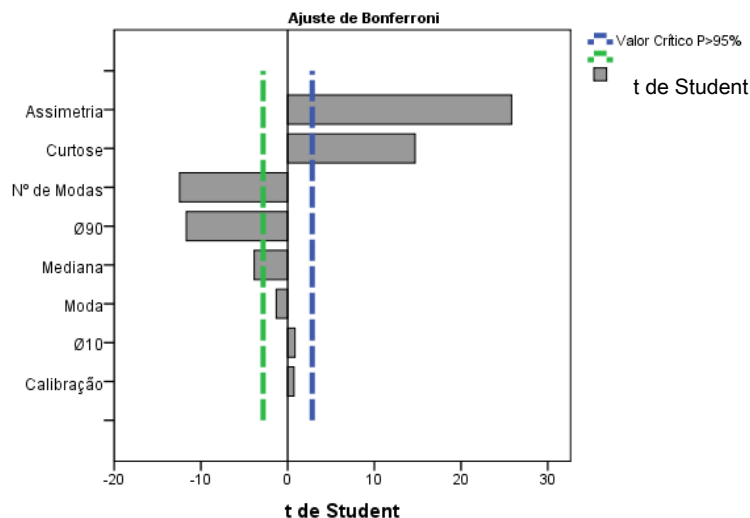


Figura 4.62 – Importância relativa das variáveis contínuas na criação do grupo 3.

No geral, os três grupos distinguem-se bastante bem, havendo a junção das litofácies com menor número de amostras e maior heterogeneidade num único grupo (grupo 2).

As amostras das litofácies SM e SS e as amostras das litofácies McS e APS não se separam bem das outras amostras. Provavelmente, a razão prende-se com a sua heterogeneidade e o seu reduzido número, que não deixa revelar uma identidade própria. As amostras mais grosseiras e com assimetrias negativas juntam-se no grupo 1, que absorve algumas amostras das litofácies APS, ficando o grupo 3 com as amostras com maior quantidade de matriz silto-argilosa e com assimetrias mais positivas, incluindo amostras das litofácies SM e McS.

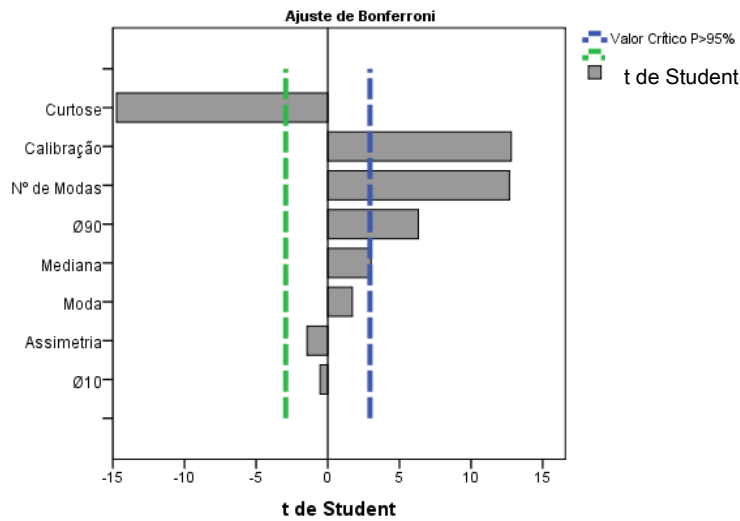


Figura 4.63 – Importância relativa das variáveis contínuas na criação do grupo 2.

Dado o elevado número de amostras ainda incluídas nos grupos 1 e 3 e alguma curiosidade relativamente a uma nova divisão, em grupos de menor dimensão e mais próximos das litofácies originais, repetiu-se a classificação usando apenas estas amostras. Constituíram-se os ficheiros GRAN1 (91 amostras) e GRAN3 (55 amostras), após a rejeição das litofácies SM, SS, McS e APS que tinham ficado integradas nesses grupos e que tinham uma justificação dúbia.

Realizaram-se classificações, separadas para cada ficheiro para possibilitar uma melhor divisão entre os grupos. Obtiveram-se então 2 subgrupos de cada um dos grupos iniciais, sendo a classificação do grupo 1 automática e a do grupo 3 forçada, para 2 grupos, já que o algoritmo apenas gerava automaticamente um. As tabelas 4.7 e 4.8 apresentam os centróides de cada subgrupo.

Tabela 4.7 –Centróides dos subgrupos formados no Grupo 1.

	Nº de Modas		Mediana		Moda		Calibração	
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.
Grupo 1 2	1,02	,144	2,00525	,143149	1,7813	,12231	,53425	,057529
1	1,16	,433	2,49970	,176096	2,2616	,17211	,65632	,250736
Total	1,09	,321	2,23889	,294592	2,0082	,28248	,59193	,186607

	Assimetria		Curtose		Ø90		Ø10	
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.
Grupo 1 2	,00029	,316184	4,07984	2,105104	2,67669	,139424	1,33808	,216695
1	-,14176	,934658	6,68316	6,767789	3,17312	,143631	1,70267	,325737
Total	-,06683	,681884	5,30998	5,039533	2,91126	,286157	1,51036	,327928

A análise da importância relativa das variáveis, na separação do grupo 1.2, indica que a moda, $\emptyset 90$, mediana, calibração, $\emptyset 10$ e curtose, com valores negativos de t de Student, são as variáveis responsáveis pela definição deste subgrupo, que será caracterizado por granulometrias um pouco mais grosseiras e melhor calibração do que o subgrupo 1.1. A assimetria média é praticamente nula.

O percentil $\emptyset 90$, mediana, moda e $\emptyset 10$ são as variáveis mais importantes para a criação do grupo 1.1, tendo todas valores positivos de t de Student.

Tabela 4.8 –Centróides dos subgrupos formados no Grupo 3.

	Nº de Modas		Mediana		Moda		Calibração	
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.
Grupo 3 1	1,05	,229	1,96879	,173364	1,7500	,23570	,80116	,108431
2	1,00	,000	2,32847	,131177	2,1111	,22713	,99849	,188861
Total	1,02	,135	2,20422	,225757	1,9864	,28633	,93032	,189752

	Assimetria		Curtose		$\emptyset 90$		$\emptyset 10$	
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.
Grupo 3 1	3,76078	,743136	37,30653	8,287717	2,72211	,162966	1,21853	,203407
2	3,75933	,642642	29,07877	8,173051	3,11922	,164339	1,57092	,148981
Total	3,75983	,672132	31,92108	9,043313	2,98204	,250353	1,44918	,238277

Para a definição do grupo 3.1 as variáveis mais importantes foram $\emptyset 90$, mediana, calibração, $\emptyset 10$ e moda, com valores negativos de t de Student, enquanto que, para o grupo 3.2, as variáveis que mais influenciaram a sua criação foram mediana, $\emptyset 90$, $\emptyset 10$ e moda, com valores contrários de t de Student. Estes resultados indicam que, geralmente, as amostras do grupo 3.1 são mais grosseiras e melhor calibradas do que as do grupo 3.2, mas as diferenças são muito ténues.

Para verificar a separação dos grupos fez-se a sua representação em diagramas de extremos e quartis, para algumas das variáveis cuja importância relativa é maior: calibração, assimetria, curtose, número de modas, mediana e $\emptyset 90$ (figuras 4.64 a 4.69).

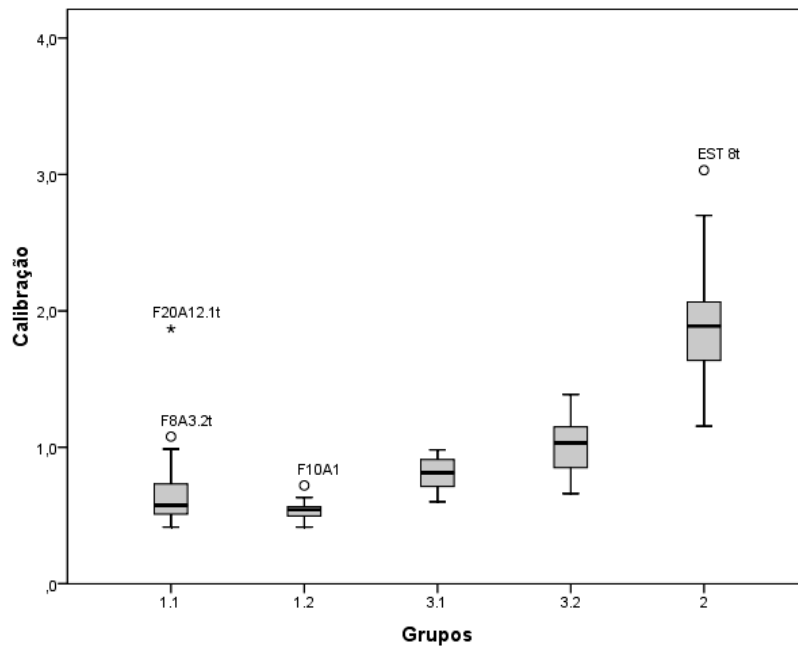


Figura 4.64 – Diagrama de extremos e quartis com a calibração dos grupos.

As amostras que compõem o grupo 1 são melhor calibradas do que as que pertencem aos outros grupos, sendo o grupo 2 constituído pelas amostras pior calibradas.

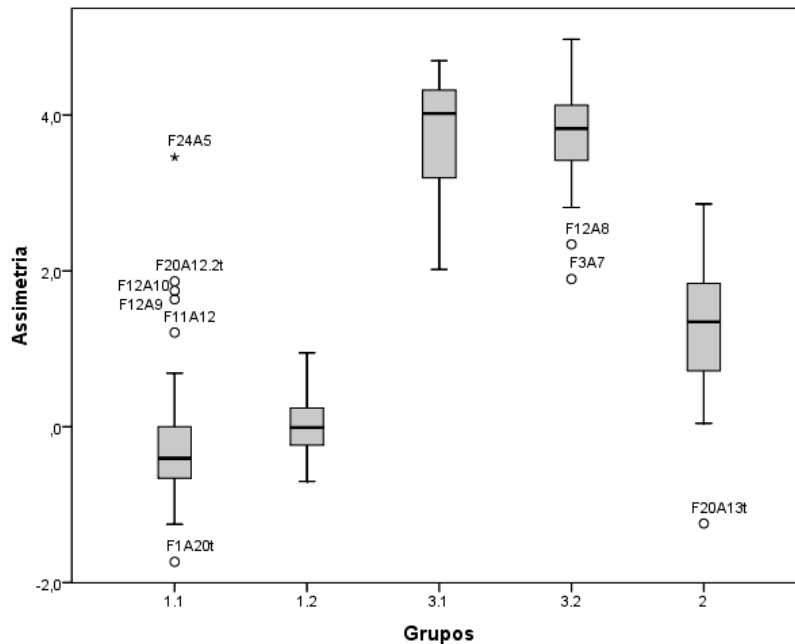


Figura 4.65 – Diagrama de extremos e quartis com a assimetria dos grupos.

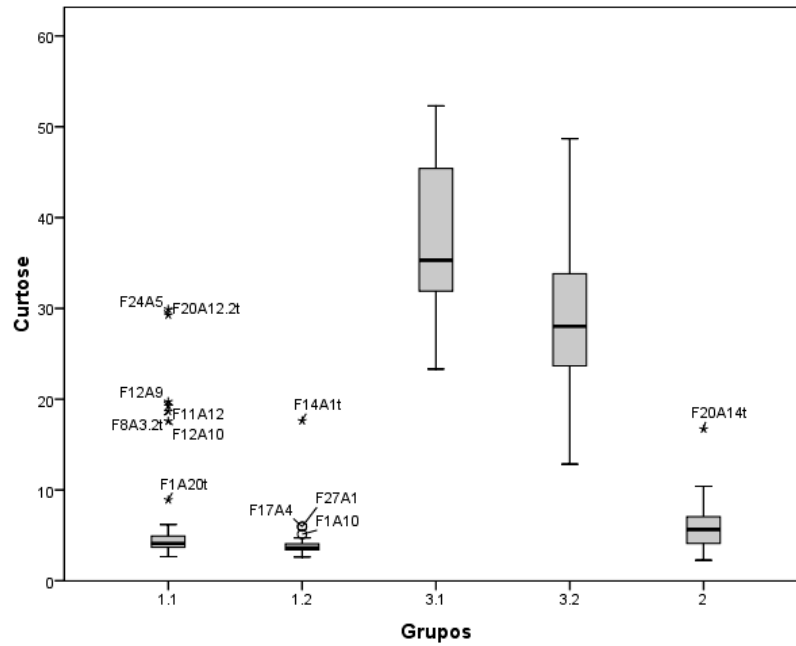


Figura 4.66 – Diagrama de extremos e quartis com a curtose dos grupos.

Os valores de assimetria e curtose (figura 4.65 e 4.66) separam efectivamente os grupos 1 e 3. No entanto, no interior destes, a separação efectuada não depende destas variáveis, mas sim de outras, como a mediana (figura 4.69) e os percentis $\emptyset 90$ (figura 4.68) e $\emptyset 10$.

O grupo 2 é separado dos restantes, de um modo mais claro, quando se analisam o número de modas e $\emptyset 90$ das populações granulométricas que o compõem (figuras 4.67 e 4.68).

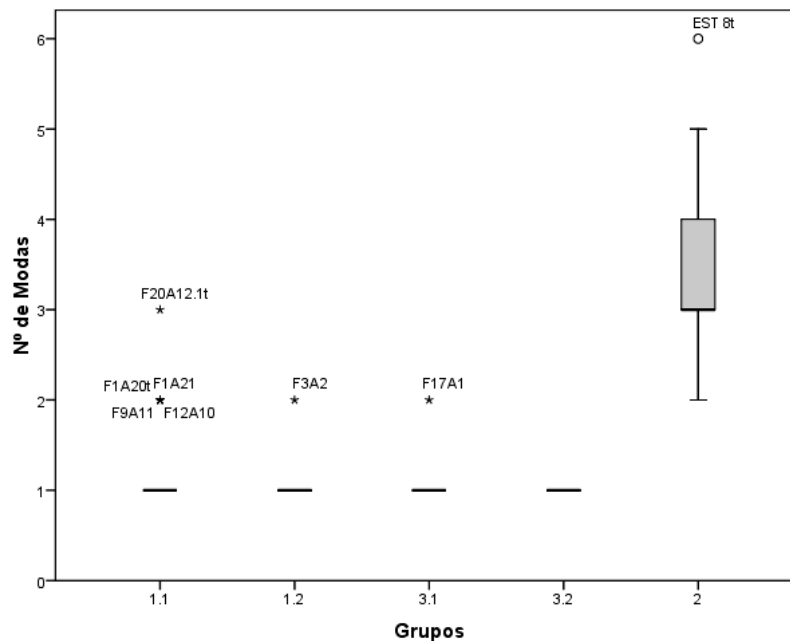


Figura 4.67 – Diagrama de extremos e quartis com o número de modas dos grupos.

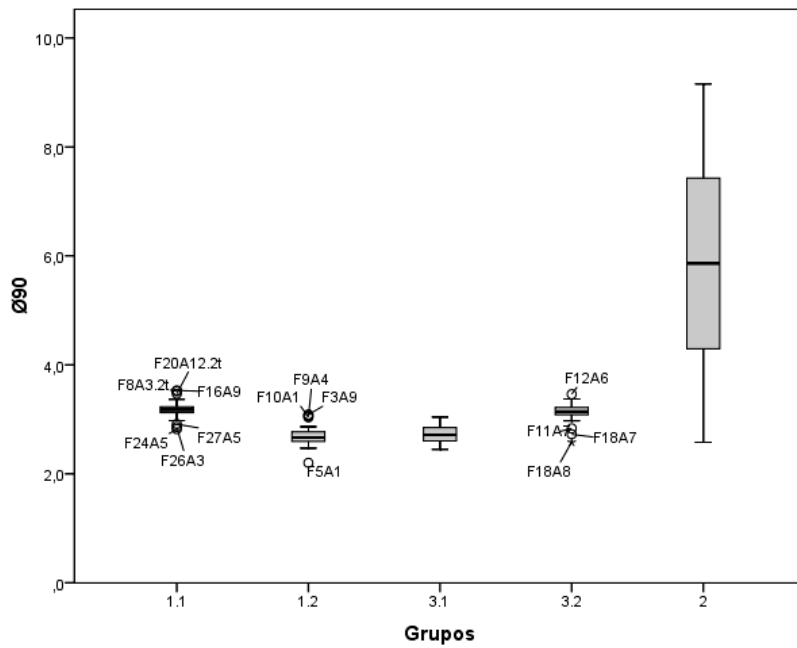


Figura 4.68 – Diagrama de extremos e quartis com o percentil Ø90 dos grupos.

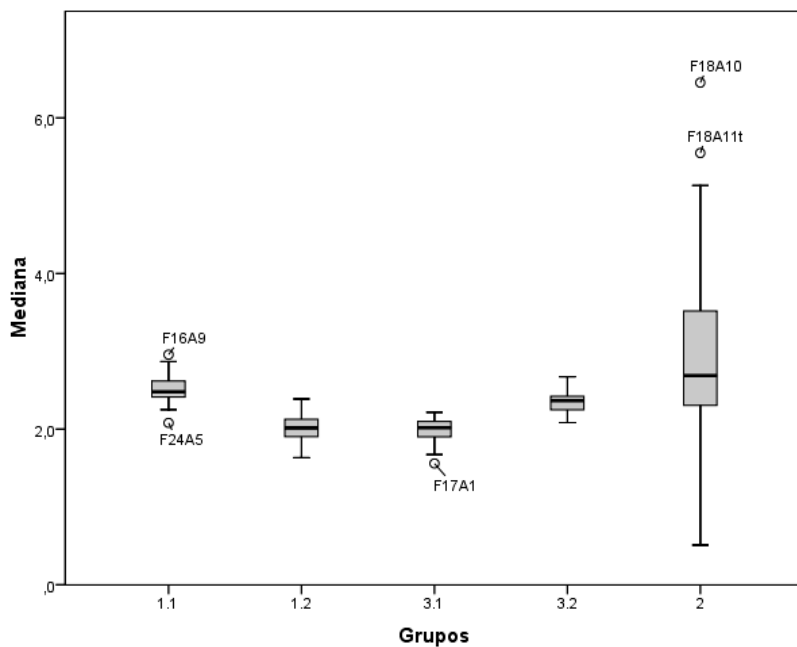


Figura 4.69 – Diagrama de extremos e quartis com a mediana dos grupos.

Tabela 4.9 – Distribuição das litofácies, nos grupos e subgrupos formados.

			Grupo TSC					Total
			1.1	1.2	2	3.1	3.2	
Litofácies	APS	N			1			1
		% nas Litofácies	,0%	,0%	100,0%	,0%	,0%	100,0%
		% Total	,0%	,0%	,6%	,0%	,0%	,6%
McS	N	N			9			9
		% nas Litofácies	,0%	,0%	100,0%	,0%	,0%	100,0%
		% Total	,0%	,0%	5,1%	,0%	,0%	5,1%
MGS	N	N			7			7
		% nas Litofácies	,0%	,0%	100,0%	,0%	,0%	100,0%
		% Total	,0%	,0%	4,0%	,0%	,0%	4,0%
OM	N	N			3			3
		% nas Litofácies	,0%	,0%	100,0%	,0%	,0%	100,0%
		% Total	,0%	,0%	1,7%	,0%	,0%	1,7%
SM	N	N			8			8
		% nas Litofácies	,0%	,0%	100,0%	,0%	,0%	100,0%
		% Total	,0%	,0%	4,6%	,0%	,0%	4,6%
WS	N	N	16	49		11	5	81
		% nas Litofácies	19,8%	60,5%	,0%	13,6%	6,2%	100,0%
		% Total	9,1%	28,0%	,0%	6,3%	2,9%	46,3%
WS g	N	N	19		1	1	3	24
		% nas Litofácies	79,2%	,0%	4,2%	4,2%	12,5%	100,0%
		% Total	10,9%	,0%	,6%	,6%	1,7%	13,7%
WS m	N	N	2			7	8	17
		% nas Litofácies	11,8%	,0%	,0%	41,2%	47,1%	100,0%
		% Total	1,1%	,0%	,0%	4,0%	4,6%	9,7%
WS p	N	N	4	1		1	19	25
		% nas Litofácies	16,0%	4,0%	,0%	4,0%	76,0%	100,0%
		% Total	2,3%	,6%	,0%	,6%	10,9%	14,3%
Total	N	N	41	50	29	20	35	175
		% nas Litofácies	23,4%	28,6%	16,6%	11,4%	20,0%	100,0%
		% Total	23,4%	28,6%	16,6%	11,4%	20,0%	100,0%

A análise grupal TSC efectuada ao grupo 1 dividiu-o em dois subgrupos, separando a litofácies WS (61% no grupo 1.2) da litofácies WS g (79% no grupo 1.1). As raras amostras destas litofácies que não ficaram integradas nestes grupos, apresentam características que podem revelar afinidades com outras litofácies, estando muitas vezes na interface entre duas, ou propriedades que definem pequenos grupos dentro do grupo maior.

Por outro lado, a análise TSC do grupo 3 dividiu-o em dois subgrupos: um formado pelas amostras da litofácies WS p (76% no grupo 3.2) e em menor quantidade da litofácies WS m e o outro formado por uma mistura de amostras da litofácies WS m (41%) e WS (13%). Uma análise mais detalhada pode resultar da análise da tabela 4.10 onde estão referidas as amostras, as litofácies e os grupos em que foram colocadas.

Tabela 4.10 – Distribuição das amostras por grupo TSC.

Grupo TSC	Litofácies	Amostra	Grupo TSC	Litofácies	Amostra	Grupo TSC	Litofácies	Amostra	
1.1	WS	EST 0	1.2	WS	F10A1	3.1	WS	F11A2	
		EST 01			F11A4			F17A1	
		F10A2			F12A1			F18A1	
		F10A3			F12A2			F20A3	
		F10A5			F12A3			F22A2	
		F10A6			F12A4			F22A5	
		F11A6			F13A1			F24A1	
		F15A3			F13A2			F24A2	
		F16A5			F13A3			F4A3	
		F16A9			F14A1t			F5A4	
		F1A19			F15A2			F8A1	
		F20A11			F15A4			WS g	F12A11
		F26A3			F17A2			WS m	F13A4
		F26A5			F17A4				F24A6
		F27A5			F17A5				F24A7
	F3A12	F17A6		F3A5					
		F18A2		F3A6					
	WS g	F11A12		F18A3	F5A3				
		F12A10		F18A4	F7A3				
		F12A9		F18A5	WS p	F20A4			
		F16A10		F18A6	3.2	WS	F11A7		
		F1A20t		F1A10			F18A7		
		F1A21		F1A2			F18A8		
		F1A22		F1A5			F24A9		
		F20A12.1t		F1A8			F8A6		
		F20A12.2t		F1A9	WS g	F26A4			
		F26A6		F20A1		F8A4			
		F26A7		F22A3		F9A9			
		F3A13		F22A4	WS m	F11A8			
		F3A13.5		F24A3		F1A13			
		F7A11		F24A4		F20A10			
		F7A6		F24A8		F20A9			
		F7A7		F26A1		F28A2			
		F7A9		F27A1	F8A2				
		F9A10		F27A2	F8A7				
		F9A11		F27A3	F9A8				
		WS m		F12A5	F27A4	WS p	F11A11		
	F24A5			F28A1	F12A6				
	WS p	F11A9		F3A10	F12A7				
		F16A6		F3A2	F12A8				
		F16A7		F3A3	F1A15				
		F8A3.2t		F3A9	F1A16				
				F4A1	F1A17				
				F4A2	F20A7				
				F5A1	F28A10				
				F7A2	F28A3				
		F9A1		F28A5					
	F9A2	F28A6							
	F9A4	F28A7							
	WS p	F28A9							
	F20A5	F3A7							
		F3A8							
		F8A3.1							
		F9A5							
		F9A7							

A comparação dos resultados obtidos na análise TSC e da separação dos grupos 1 e 3 (tabela 4.10) com os testemunhos das sondagens efectuadas revela alguns dados, dignos de nota.

Verifica-se que o grupo 1.2 é formado pelas areias WS mais superficiais. Tal é visível em todos os furos com excepção do furo EST1, em que houve escavação das unidades aflorantes e só se recolheram amostras das unidades arenosas inferiores. Este grupo é constituído por populações granulométricas de areia média de cor castanha muito clara (81%) e branca (12%), bem calibradas e com valores de assimetria praticamente nulos. Apenas uma amostra da litofácies WS p (F20A5) se encontra neste grupo, mas esta amostra apresenta apenas um ligeiro enriquecimento em óxidos, não se distinguindo da litofácies WS em termos de parâmetros granulométricos e de cor.

O grupo 1.1 é constituído pelas unidades da base das areias WS e pela quase totalidade das areias WS g, que também se situam em níveis mais profundos. Este grupo é constituído por areias finas, com uma cor ligeiramente mais escura que a das amostras do grupo 1.2, geralmente castanha clara (37%) a cinzenta clara (31,5%) e assimetrias negativas. A presença das amostras da litofácies WS g em conjunto com as amostras da litofácies WS do grupo 1.1, com parâmetros granulométricos muito semelhantes, pode significar que ambas pertencem a um subgrupo dentro das areias eólicas. Este será constituído provavelmente por amostras de idades mais antigas que as do grupo 1.2, em que as condições de deposição e/ou de diagénese seriam diferentes e onde existiriam provavelmente dois tipos de processos hidrodinâmicos que actuavam em conjunto: um dominante, com grande poder de selecção, responsável por uma população mais fina e melhor calibrada e outro que adicionaria uma subpopulação ligeiramente mais grosseira, em quantidades variáveis, à população dominante.

As únicas excepções no grupo 1.1 são 4 amostras que apresentam alguma contaminação das camadas subjacentes (F8A4 e F9A9) ou que são ligeiramente mais finas (F26A4 e F12A11).

Os grupos 3.1 e 3.2 apresentam uma grande mistura entre si, o que justifica a maior dificuldade sentida na constituição destes subgrupos do grupo 3.

Do grupo 3.2 fazem parte a maioria das amostras da litofácies WS p e as amostras da litofácies WS que apresentam maiores quantidades de óxidos de ferro e, conseqüentemente, cores mais acastanhadas. Para além destas, o grupo 3.2 contém muitas das amostras classificadas como WS m que sofreram podzolização, e estão enriquecidas em matriz e matéria orgânica sendo muitas vezes classificadas como WS m (p) e raras amostras da litofácies WS g enriquecidas em óxidos de ferro. É um grupo formado por areias médias de cor geralmente castanha ou castanha acinzentada (58%) podendo também ser cinzenta acastanhada ou esverdeada (33%), com assimetrias positivas e valores elevados de curtose.

O grupo 3.1 é constituído por amostras WS m; por amostras da litofácies WS que se situam em níveis superficiais de espaços interdunares recentes, com maior conteúdo em matriz e cores mais acinzentadas, e as amostras F12A11 (WS g) e F20A4 (WS p) que constituem também amostras de sedimentos enriquecidos em matriz. É constituído por areias finas de cor geralmente cinzenta (48%) ou cinzenta acastanhada (37%), com assimetrias positivas e valores elevados de curtose muito semelhantes aos encontradas no grupo 3.2.

O grupo 2 é o mais heterogéneo e individualiza-se sobretudo pelo carácter polimodal das suas populações. Provavelmente técnicas de classificação hierárquica clássica, com a utilização de outras variáveis que caracterizassem a morfologia dos clastos, a quantidade de matéria orgânica ou a percentagem de conchas, teriam gerado resultados da análise grupal mais perfeitos permitindo individualizar pequenos subgrupos no interior do grupo 2, mas o reduzido número de amostras existentes tornaria esta análise pouco consistente.

No geral, o recurso a esta técnica de classificação estatística foi muito satisfatório, permitindo retirar do conjunto de dados inicial 5 grupos, que corroboraram a classificação inicialmente feita evidenciando as diferenças entre grupos e as semelhanças intra-grupos, o que possibilitou um maior conhecimento sobre os sedimentos encontrados.

4.3.6 Análise em Componentes Principais das populações granulométricas

Foi efectuada a Análise em Componentes Principais (ACP) dos dados das análises granulométricas do ficheiro de partida GRANFACT, segundo a metodologia descrita no capítulo 1. O ficheiro GRANFACT foi concebido, a partir do ficheiro GRANREP, após a rejeição das amostras das litofácies SM, SS, APS e McS que foram classificadas nos grupos 1 e 3. Este ficheiro foi usado para efectuar ACP, com standardização inicial dos dados. As variáveis a analisar obedeceram aos seguintes critérios:

1. inclusão das variáveis importantes para a descrição da população granulométrica;
2. exclusão de uma das variáveis de pares com coeficientes de correlação elevados;
3. exclusão de variáveis que apresentam comunalidades inferiores a 0,5.

Os factores foram escolhidos para valores próprios superiores a 1, sendo a rotação efectuada pelo método Varimax. Consideraram-se importantes para a explicação de um eixo, as variáveis cujo coeficiente de correlação com esse eixo, na matriz rodada, era superior a 0,5.

A análise em componentes principais iniciou-se por uma fase exploratória, para que se pudesse efectuar a escolha das variáveis e posteriormente dos factores. Assim, escolheram-se variáveis, distância à costa, profundidade da amostra, número de modas, média, mediana, moda, calibração, razão média / mediana, razão média / calibração, assimetria, curtose, Ø10, Ø90 e percentagens de cascalho, areia, silte e argila. Os valores obtidos para as comunalidades (tabela 4.11) e a matriz de correlação (tabela 4.12) foram calculados com base nestas variáveis para o ficheiro GRANFACT numa análise de ACP, que determinou 5 factores explicando 89% da variância total.

Tabela 4.11 – Comunalidades iniciais e após a extracção.

	Inicial	Extracção
Dist. costa	1,000	,705
Prof. am	1,000	,531
Nº de Modas	1,000	,905
Média	1,000	,982
Mediana	1,000	,961
Moda	1,000	,872
Calibração	1,000	,972
Média/Mediana	1,000	,942
Média / S.D.	1,000	,859
Assimetria	1,000	,964
Curtose	1,000	,924
Ø10	1,000	,822
Ø90	1,000	,955
Cascalho	1,000	,894
Areia	1,000	,973
Silte	1,000	,967
Argila	1,000	,934

Método de extracção: ACP

Tabela 4.12 – Matriz de correlação das variáveis escolhidas na fase exploratória

	Dist. costa	Prof. am	Nº de Modas	Média	Mediana	Moda	Calibração	Média / Mediana	Média / S.D.	Assimetria	Curtose	Ø10	Ø90	Cascalho	Areia	Silte	Argila
Dist. Costa	1,000	,178	,198	,236	,200	,262	,313	,232	-,174	,150	,017	,094	,211	,162	-,108	,060	,133
Prof. Am	,178	1,000	,367	,437	,423	,460	,349	,266	-,010	-,117	-,135	,138	,409	,141	-,269	,237	,277
Nº de Modas	,198	,367	1,000	,696	,617	,401	,866	,514	-,463	-,086	-,264	-,056	,866	,398	-,834	,765	,774
Média	,236	,437	,696	1,000	,932	,717	,663	,556	-,140	-,018	-,187	,515	,907	-,030	-,867	,907	,886
Mediana	,200	,423	,617	,932	1,000	,823	,539	,228	-,032	-,124	-,202	,475	,781	,136	-,828	,830	,789
Moda	,262	,460	,401	,717	,823	1,000	,354	,046	,037	-,109	-,147	,433	,543	,200	-,559	,529	,534
Calibração	,313	,349	,866	,663	,539	,354	1,000	,616	-,729	,219	-,022	-,098	,821	,407	-,797	,721	,749
Média/Mediana	,232	,266	,514	,556	,228	,046	,616	1,000	-,331	,244	-,036	,224	,670	-,306	-,451	,532	,581
Média / S.D.	-,174	-,010	-,463	-,140	-,032	,037	-,729	1,000	1,000	-,541	-,361	,367	-,331	-,321	,376	-,305	-,339
Assimetria	,150	-,117	-,086	-,018	-,124	-,109	-,541	1,000	1,000	,889	1,000	-,037	-,037	-,158	,026	,001	,062
Curtose	,017	-,135	-,264	-,086	-,202	-,147	-,022	-,036	-,361	1,000	1,000	-,051	-,234	-,110	,191	-,182	-,121
Ø10	,094	,138	,409	,515	,907	,433	,224	1,000	1,000	-,051	1,000	1,000	,263	-,455	-,214	,334	,314
Ø90	,211	,409	,866	,907	,781	,433	,224	1,000	1,000	-,037	1,000	1,000	1,000	,116	-,896	,896	,904
Cascalho	,162	,141	,398	,030	,136	,200	,407	1,000	1,000	-,234	-,234	1,000	1,000	1,000	-,281	,046	,062
Areia	-,108	-,269	-,834	-,867	-,828	-,559	-,797	-,451	,376	,026	,191	-,214	-,896	-,281	1,000	-,970	-,942
Silte	,060	,237	,765	,907	,830	,529	,721	,532	-,305	,001	-,182	,334	,896	,046	-,970	1,000	,951
Argila	,133	,277	,774	,886	,789	,534	,749	,581	-,339	,062	-,121	,314	,904	,062	-,942	,951	1,000

A observação dos resultados apresentados nas tabelas 4.11 e 4.12, sugeriram os seguintes comentários sobre a escolha das variáveis a utilizar na análise final.

- as variáveis distância à costa e profundidade da amostra, apresentaram comunalidades baixas e, embora ainda dentro do limite razoável, deverão ser excluídas;
- as razões média/mediana e média/calibração deverão ser rejeitadas, uma vez que apresentam comunalidades inferiores às das variáveis originais;
- deverá excluir-se uma das variáveis, número de modas ou calibração, dada a sua elevada correlação;
- das variáveis que medem a tendência central das populações apenas se podem usar 1 a 2, das 3 possíveis, pelo que a decisão deverá recair sobre mediana, moda e média; por ordem decrescente de preferência, já que apresentam coeficiente de correlação progressivamente mais elevados;
- as variáveis $\emptyset 10$, $\emptyset 90$ e percentagens de cascalho, areia, silte e argila, embora não tenham o mesmo significado, reflectem a mesma realidade e são fortemente correlacionadas entre si, por isso, optou-se por utilizar apenas um dos grupos para indicar a presença de fracção grosseira e matriz silto-argilosa, tendo a escolha recaído sobre o conjunto de variáveis $\emptyset 10$ e $\emptyset 90$;
- as variáveis assimetria e curtose são fortemente correlacionadas entre si, mas o seu significado em termos de populações granulométricas e o seu papel na definição dos grupos TSC já estabelecidos pode justificar a sua inclusão;
- o conjunto de variáveis escolhido deverá ser aquele que, embora reduzido, apresente o maior valor de variância explicada.

Após esta análise experimentaram-se várias análises ACP diferentes usando as variáveis:

1. mediana, moda, calibração, assimetria e $\emptyset 10$, constitui o conjunto mínimo de variáveis com os menores valores de correlação e obtém 2 componentes com 72% de variância explicada;
2. número de modas mediana, moda, calibração, assimetria e $\emptyset 10$, constitui o segundo e apresenta um resultado com 3 factores e 90% de variância explicada;
3. número de modas mediana, moda, calibração, assimetria, curtose, $\emptyset 10$ e $\emptyset 90$, constituiu o maior grupo de variáveis após a fase de exploração de dados, permitindo a definição de 3 factores que explicam 89,6% da variância total;
4. número de modas mediana, moda, calibração, assimetria, curtose, cascalho e argila, definiram 3 factores que explicam cerca de 85% da variância total do sistema.

Após as análises de dados efectuadas e usando a técnica de retroacção, verifica-se que a inclusão da variável número de modas é importante para a explicação do conjunto de dados de partida, mas não se verifica grande diferença quando se introduzem as variáveis curtose e $\emptyset 90$. Como os resultados são semelhantes (tabela 4.13) e a variável curtose foi importante para a definição dos grupos TSC, optou-se por utilizar o maior grupo de variáveis, em detrimento da solução que mais variância explicava.

Tabela 4.13 – Matriz de componentes principais, após a rotação, para dois conjuntos de variáveis.

	Componente *		
	1	2	3
Nº de Modas	<u>,946</u>	,109	-,115
Mediana	<u>,577</u>	<u>,757</u>	-,130
Moda	,396	<u>,787</u>	-,129
Calibração	<u>,945</u>	,061	,209
Assimetria	,044	-,045	<u>,991</u>
$\emptyset 10$	-,236	<u>,881</u>	,079
	Componente **		
	1	2	3
Nº de Modas	<u>,954</u>	,052	-,149
Mediana	<u>,608</u>	<u>,724</u>	-,119
Moda	,399	<u>,764</u>	-,090
Calibração	<u>,959</u>	,001	,146
Assimetria	,070	-,047	<u>,978</u>
Curtose	-,137	-,047	<u>,961</u>
$\emptyset 10$	-,148	<u>,888</u>	,017
$\emptyset 90$	<u>,878</u>	,366	-,089

Método de extracção: ACP

* - análise com 90% de variância explicada

** - análise com 89,6% de variância explicada

Nota: a sublinhado estão as variáveis que contribuem para a componente

As duas análises ACP efectuadas são muito semelhantes, mas aquela que foi efectuada com um maior número de variáveis apresenta valores de correlação com os eixos mais elevados e acrescenta informação. A perda de variância explicada é insignificante face a estes ganhos, por isso optou-se por esta análise.

As tabelas 4.14 e 4.15 apresentam os resultados das comunalidades, e a matriz da variância explicada por componente antes e depois da rotação Varimax.

Tabela 4.14 – Comunalidades iniciais e após extracção das componentes.

Comunalidades		
	Inicial	Extracção
Nº de Modas	1,000	,935
Mediana	1,000	,907
Moda	1,000	,752
Calibração	1,000	,940
Assimetria	1,000	,963
Curtose	1,000	,944
Ø10	1,000	,811
Ø90	1,000	,913

Tabela 4.15 – Valores próprios e variância explicada obtidos na extracção e após a rotação.

Total Variância Explicada									
Componente	Valores Próprios Iniciais			Extracção			Rotação		
	Total	% Variance	% Cumulativa	Total	% Variance	% Cumulativa	Total	% Variance	% Cumulativa
1	3,816	47,696	47,696	3,816	47,696	47,696	3,175	39,692	39,692
2	1,910	23,871	71,566	1,910	23,871	71,566	2,038	25,475	65,167
3	1,441	18,012	89,578	1,441	18,012	89,578	1,953	24,411	89,578
4	,478	5,975	95,553						
5	,143	1,787	97,340						
6	,094	1,180	98,520						
7	,067	,833	99,354						
8	,052	,646	100,000						

Para a primeira componente extraída, que representa cerca de 40% da variância total do sistema estudado, contribuem, no mesmo sentido, as variáveis calibração, número de modas, Ø90 e mediana (em menor grau). Relaciona-se provavelmente com o enriquecimento em fracção fina, que eleva o valor da calibração, aumenta o número de modas e aumenta o valor de Ø90 e Ø50 das populações granulométricas, uma vez que estes representam os percentis fino e mediano, respectivamente.

A segunda componente extraída, que explica 25% da variância, tem a contribuição positiva das variáveis Ø10, moda e mediana. Por contraponto com a componente 1, esta componente relaciona-se provavelmente com a fracção grosseira existente nas amostras dando a indicação que valores mais elevados destas variáveis estão relacionados. Assim, percentis Ø10 e Ø50 mais grosseiros estão relacionados com classes dominantes mais grosseiras.

A componente 3, com uma variância explicada muito próxima da componente 2, relaciona-se com a forma das curvas granulométricas, dada pela tendência, de sinal idêntico, das variáveis assimetria e curtose. Curvas mais assimétricas serão geralmente mais leptocúrticas nas populações estudadas.

Para uma melhor visualização das relações entre amostras e variáveis, fez-se uma projecção destas no espaço definido pelas componentes principais (eixos factoriais). Deste modo, os eixos 1, 2 e 3 representam as componentes em que se projectam amostras, identificadas pelo grupo TSC a que pertencem, e variáveis, identificadas pelo seu nome ou por abreviaturas (figuras 4.70 a 4.72):

- Nº Modas – número de modas
- SD – Calibração ou calibragem;
- Sk – Assimetria
- Kr – Curtose

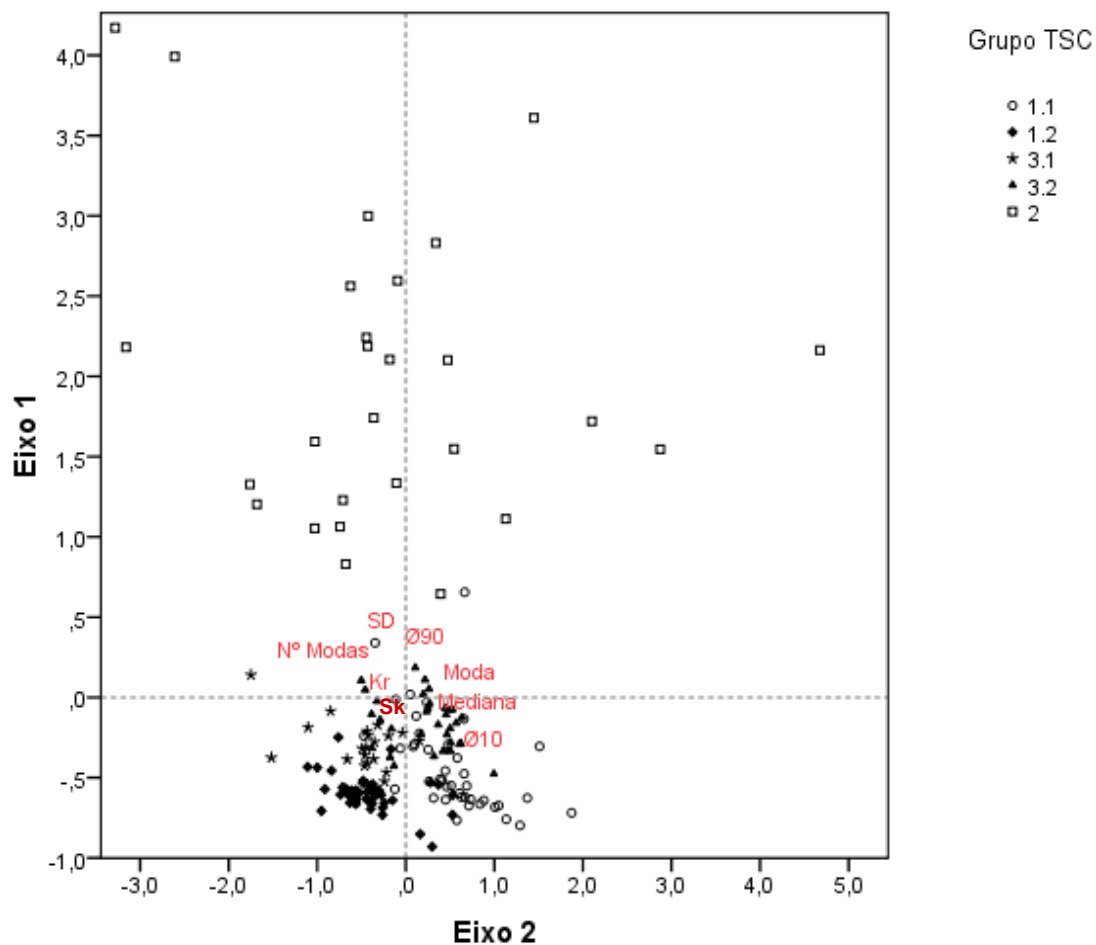


Figura 4.70 – Representação gráfica dos grupos TSC, nos eixos factoriais 1 e 2.

O eixo 1 separa nitidamente o heterogéneo grupo 2 dos restantes grupos, enquanto que o eixo 2 separa os grupos 1 e 3 nos seus dois subgrupos, 1.2 e 3.1 e 1.1 e 3.2.

As variáveis que estão mais próximas do grupo 2 são a calibração (SD), número de modas e Ø90, enquanto Kr e Sk estão mais próximas dos grupos 1.2 e 3.1 e Ø10 e mediana mais próximas de 1.1 e 3.2.

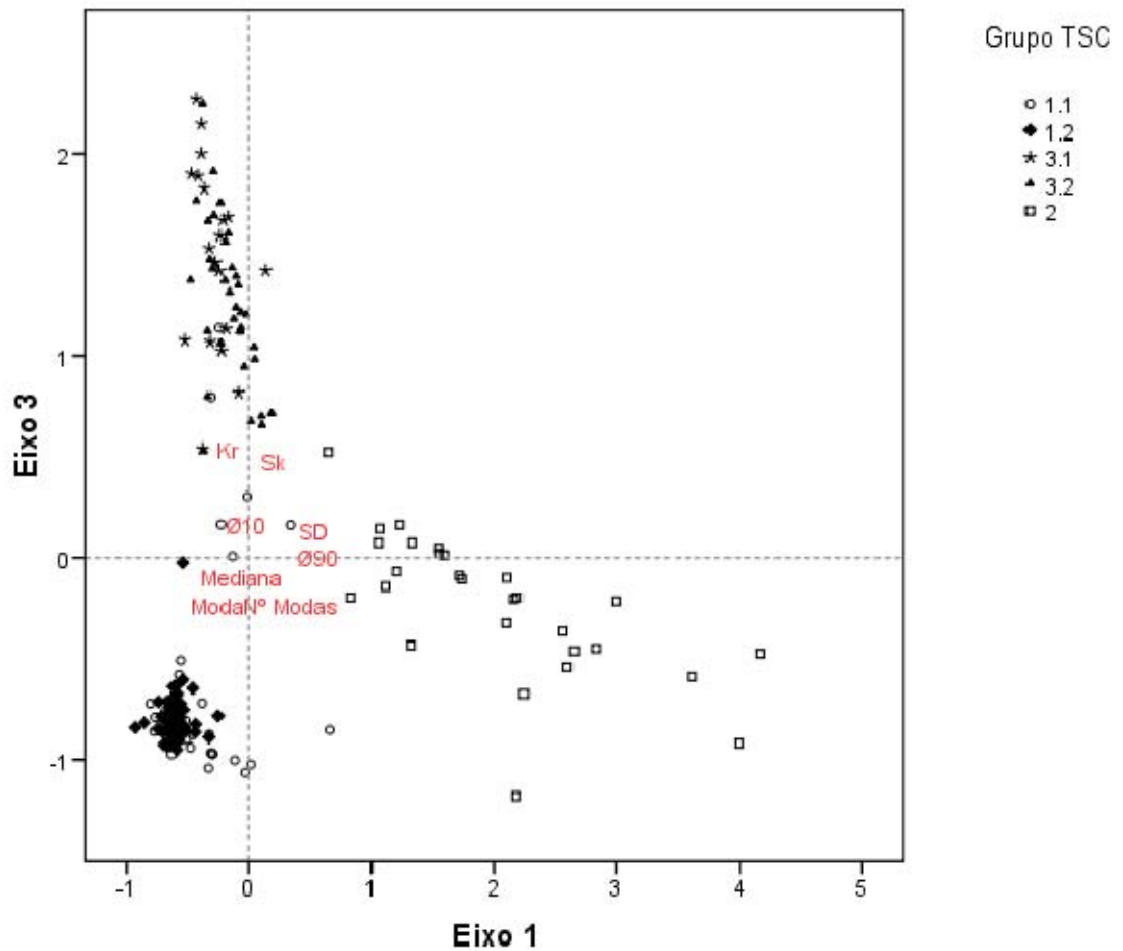


Figura 4.71 – Representação gráfica dos grupos TSC, nos eixos factoriais 1 e 3.

A representação gráfica da figura 4.71 mostra bem a separação dos grupos inicialmente criados pelo método de classificação TSC. O eixo 1 individualiza o grupo 2 dos restantes, enquanto que o eixo 3 separa, de uma forma bastante eficaz, os grupos 1 e 3.

O grupo 1 revela-se bastante homogéneo, ficando a maioria do espaço eixo1-eixo3 ocupado pelas amostras dos grupos 2 e 3.

É interessante verificar a afinidade ou, por outro lado a antipatia, das amostras por determinadas variáveis com as quais se associam. As amostras que se encontram mais perto das variáveis Sk e Kr são as do grupo 3, enquanto que, as que se encontram mais afastadas destas variáveis são as do grupo 1, que apresentam valores mais baixos de assimetria e curtose.

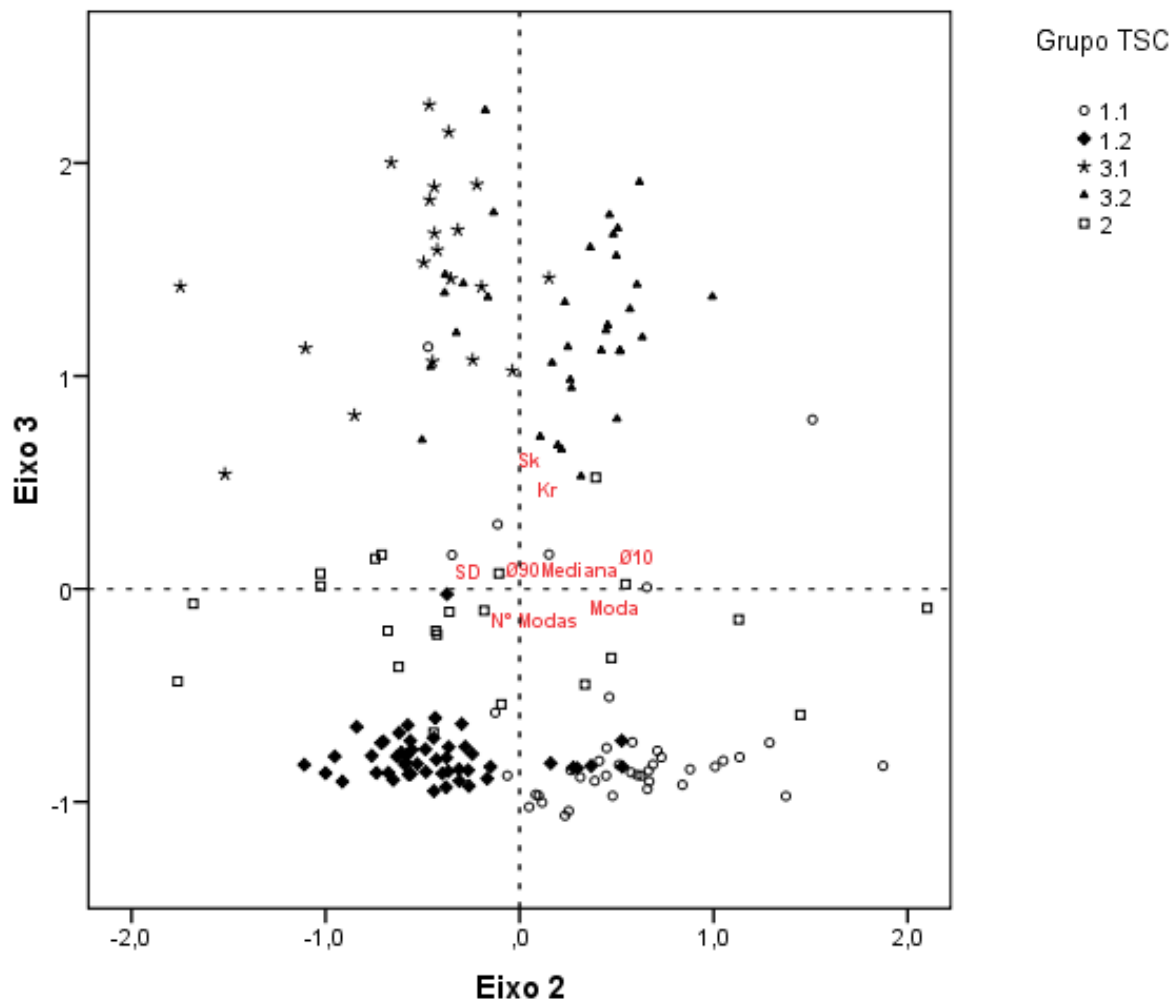


Figura 4.72 – Representação gráfica dos grupos TSC, nos eixos factoriais 2 e 3.

A representação gráfica das amostras e variáveis no espaço eixo 2-eixo 3, apresenta uma maior dispersão das amostras, mas o eixo 3 revela um papel bastante curioso na separação das amostras dos grupos iniciais (figura 4.72). De facto, o grupo 1 apresenta valores muito baixos no eixo 3 e o grupo 3 apresenta os valores mais elevados, ocupando o grupo 2 o espaço intermédio entre os dois.

A utilização da análise ACP possibilitou uma elevada discriminação entre os grupos no espaço definido pelos eixos factoriais. Existe apenas uma quantidade diminuta de amostras que ocupam áreas dominados por grupos a que não pertencem, sobretudo entre os subgrupos dos grupos 1 e 3. Para que conseguisse esclarecer-se este aspecto particular das projecções utilizou-se uma nova análise factorial, desta vez partindo de um ficheiro que contivesse apenas as amostras destes grupos. Obtiveram-se 3 factores que explicavam cerca de 90% da variância total das amostras (tabelas 4.16 e 4.17).

Tabela 4.16 – Matriz de componentes principais da análise efectuada aos grupos 1 e 3.

Matriz de Componentes após rotação

	Componente G1		
	1	2	3
Mediana	,010	,962	,057
Moda	,024	,963	,040
Calibração	,793	,192	,503
Assimetria	,970	-,107	-,118
Curtose	,871	-,105	-,119
Cascalho	-,048	,042	,970
Argila	,895	,184	,088

Tabela 4.17 – Valores próprios e variância explicada obtidos na extracção e após a rotação, para o ficheiro das amostras dos grupos 1 e 3.

Variância Total Explicada									
Componente	Valores Próprios Iniciais			Extracção			Rotação		
	Total	% Variância	% Cumulativa	Total	% Variância	% Cumulativa	Total	% Variância	% Cumulativa
1	3,181	45,439	45,439	3,181	45,439	45,439	3,130	44,708	44,708
2	2,001	28,587	74,026	2,001	28,587	74,026	1,948	27,823	72,531
3	1,131	16,161	90,187	1,131	16,161	90,187	1,236	17,656	90,187
4	,489	6,982	97,169						
5	,127	1,813	98,982						
6	,053	,762	99,743						
7	,018	,257	100,000						

As componentes determinadas para este ficheiro deram melhores resultados quando se substituíram as variáveis Ø90 e Ø10 pelas percentagens de argila e cascalho. A variável número de modas não apresentou valores de comunalidade que justificassem a sua introdução nesta análise particular, sendo mais importante na separação do grupo 2.

As primeiras componentes são bastantes mais importantes do que a terceira justificando cerca de 72% da variância total.

A componente 1 relaciona, com igual sentido, as variáveis assimetria, argila, curtose e calibração. Estas variáveis descrevem a forma das curvas granulométricas e dão uma medida da quantidade de matriz presente. Se atendermos ao conjunto de amostras estudadas é provável que este factor se relacione com processos pedogenéticos e/ou de migração de partículas finas que afectaram as areias eólicas. Estes processos aumentam a fracção silto-argilosa devido a meteorização dos feldspatos ou outros minerais, à formação de minerais argilosos, à precipitação de sesquióxidos e à incorporação de matéria orgânica.

A segunda componente refere as medidas de tendência central, moda e mediana, denotando provavelmente diferenças a nível do tamanho das populações granulométricas. Estes grupos com populações de granulometria diferente exprimem provavelmente variações nos agentes de transporte e/ou nas fontes de sedimentos disponíveis para esse transporte.

A componente 3 liga a percentagem de cascalho com a calibração (em menor grau) e deverá relacionar-se com a fracção grosseira presente nas amostras. Neste tipo de sedimentos a fracção grosseira pode estar ligada à mistura de populações ou à combinação de processos hidrodinâmicos.

Os eixos determinados por esta segunda análise de ACP separam as amostras de um modo muito semelhante ao efectuado aquando da primeira análise, mas permitem uma maior definição dos subgrupos. A figura 4.73 contém, para além dos sinais correspondentes aos grupos 1.1 (L), 1.2 (♦), 3.1 (2) e 3.2(Z), as designações de cada amostra.

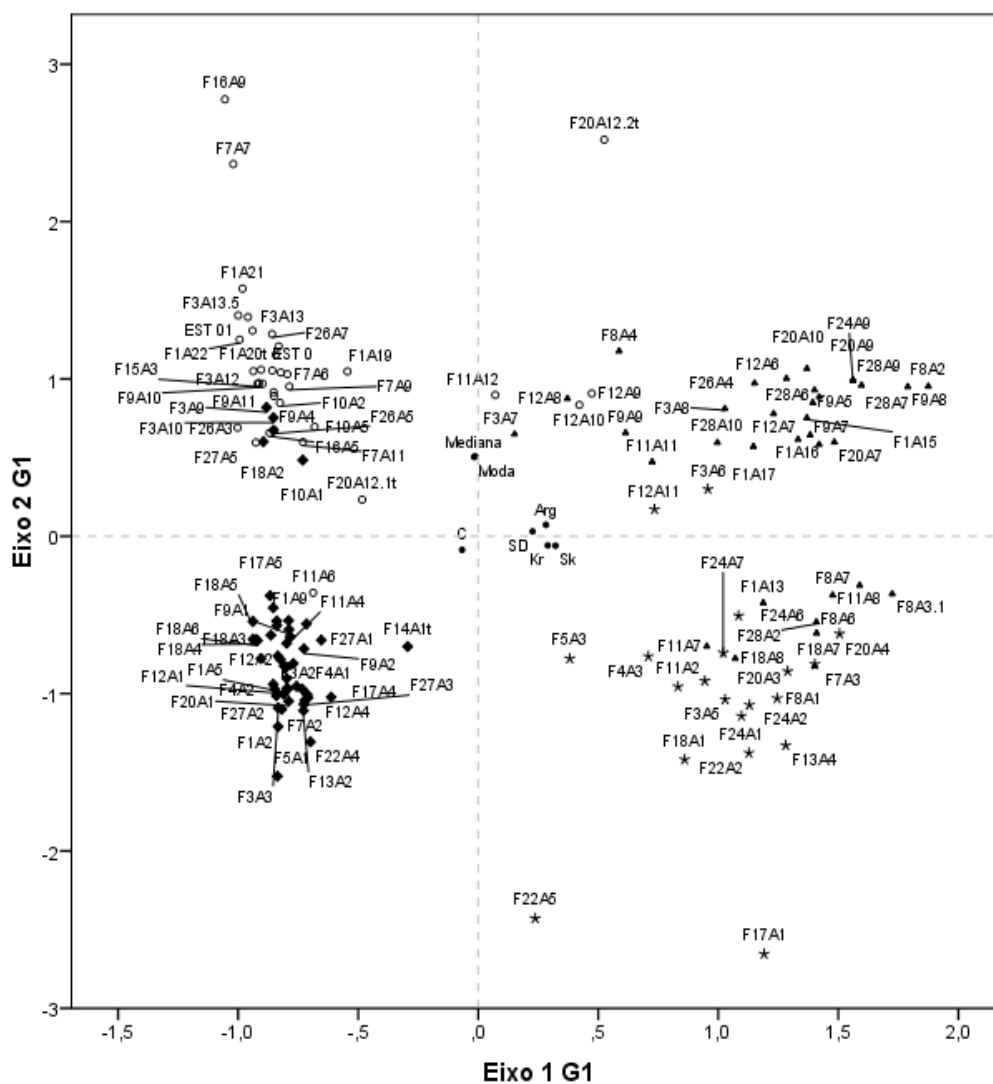


Figura 4.73 – Representação gráfica dos grupos TSC, nos eixos factoriais 1G1 e 2G1.

Na análise da figura 4.73 identificam-se as amostras que permanecem em campos diferentes aos dos grupos a que pertencem. Tentou-se então justificar a sua presença, verificar possíveis falhas a nível da classificação de amostras em litofácies ou detectar possíveis classificações que fossem subtis para uma análise prévia.

Observando a posição e a mancha do grupo 1.1 em pormenor, geralmente com valores negativos do eixo 1G1 e positivos do eixo 2G1, verifica-se que existem 5 amostras da litofácies 1.2 que são projectadas nesta zona (F3A9, F3A10, F9A4, F10A1 e F18A2). A razão poderá estar relacionada com o facto de serem um pouco mais finas do que a média do grupo e, por isso, se afastarem do centróide respectivo.

Três amostras do grupo 1.1 (F12A9, F12A10 e F11A12) aparecem misturadas com amostras do grupo 3.2. Nestes três casos, poderá haver uma maior quantidade de matriz silto-argilosa devidas a migração de finos das camadas sobrejacentes e, por isso, um aumento da assimetria.

O grupo 1.2 é bastante homogéneo havendo apenas uma amostra do grupo 1.1 que se situam na sua vizinhança: F11A6. Esta amostra apresenta uma podzolização incipiente, o que poderá justificar esta sua posição.

Os grupos 3.1 e 3.2 partilham uma área comum, sendo o grupo 3.2 bastante heterogéneo, mas apresentam resultados diferentes relativamente ao eixo 2G1.

As amostras F3A6 e F12A11, do grupo 3.1, aproximam-se da área do grupo 3.2, podendo apresentar alguma migração de óxidos e matriz das camadas sobrejacentes, como acontece em outras duas amostras da sondagem F12 (F12A9 e F12A10).

Várias amostras do grupo 3.2 projectam-se junto das amostras do grupo 3.1 (F1A13, F8A3.1, F8A6, F8A7, F11A7, F11A8 F18A7, F18A8, F28A2). Esta situação pode indicar a coexistência de processos de meteorização e/ou pedogenéticos diversos. Estes processos fomentam a precipitação de sesquióxidos, o enriquecimento em matéria orgânica, a migração de partículas finas e formação de minerais argilosos, e podem actuar em maior ou menor grau, dependendo da rocha-mãe, do clima e dos organismos vivos existentes.

Mesmo com alguma mistura entre elementos de grupos diferentes a delimitação de zonas de projecção típicas de cada grupo consegue fazer-se facilmente. Cada uma das zonas assim definidas sofre uma influência distinta dos eixos determinados pela análise ACP, sendo interpretadas com base nessa posição e na sua aproximação ou afastamento em relação às variáveis de que resultam.

Assim, no final deste tratamento estatístico dos resultados das análises granulométricas, parece haver uma separação bastante boa dos grupos determinados por TSC, havendo também uma concordância com a classificação em litofácies, inicialmente efectuada. Algumas amostras reflectem o facto de haver mais do que um processo, actuando em simultâneo, aquando e após a sua deposição.

A análise das amostras revelou ainda que existe a definição de dois grupos distintos dentro da litofácies WS, um que conjuga amostras classificadas como WS e WS g no grupo TSC 1.1 e outro que engloba apenas amostras da litofácies WS no grupo TSC 1.2. Estas amostras apresentam por uma lado granulometria mais fina do que as amostras WS mais superficiais, que pertencem ao grupo 1.2, e ao mesmo tempo não apresenta fracção grosseira que justifique a sua inclusão na litofácies WS g. Pode tratar-se de um tipo de areia que resultou de uma selecção posterior das areias WS g ou constituir uma outra unidade, com uma origem semelhante, mas em que houve uma maior calibração.

4.3.7 Comparação entre os resultados de AG e ACP e a representação bivariada

Os diagramas bi-variados entre parâmetros granulométricos são muito utilizados na descrição textural de unidades sedimentares. Através deles tenta-se estabelecer limites entre ambientes sedimentares, após a projecção dos dados das análises granulométricas em diagramas de dispersão, cujos eixos são os parâmetros das distribuições (média, mediana, calibração, assimetria, curtose ou determinados percentis) (Friedman, 1961; Carvalho, G.S. 1983; Passega, 1957 e 1964; citado em Selley, 1988). Muitas vezes estes procedimentos contêm limitações decorrentes do ambiente e das condições particulares de estudo e devem ser analisados com cautela. Com o intuito de cruzar estes métodos com os métodos de análise de dados anteriormente utilizados efectuou-se a projecção bivariada das amostras das litofácies nos parâmetros granulométricos determinados pelo Método dos Momentos: média, calibração, assimetria e curtose (figura 4.74).

O diagrama matricial da figura 4.74 é bastante confuso dada a grande quantidade e dispersão dos dados, no entanto, alguns dos resultados a projecção são muito interessantes:

- a litofácies SS separa-se bastante bem das restantes quando se projectam os valores de assimetria contra a média;
- a projecção assimetria *versus* calibração separa 3 grupos de litofácies: o primeiro com as litofácies WS p e WS m, com baixos valores de calibração e assimetrias elevadas; o segundo, constituído pelas litofácies MGS, McS e SM, com valores elevados de calibração e assimetrias intermédias e o terceiro a que pertencem as litofácies WS, SS, WS g e APS, com os menores valores de calibração e assimetria;
- as projecções que contêm a curtose separam bastante bem as litofácies WS p e WS m, e ainda algumas amostras das litofácies WS e WS g.

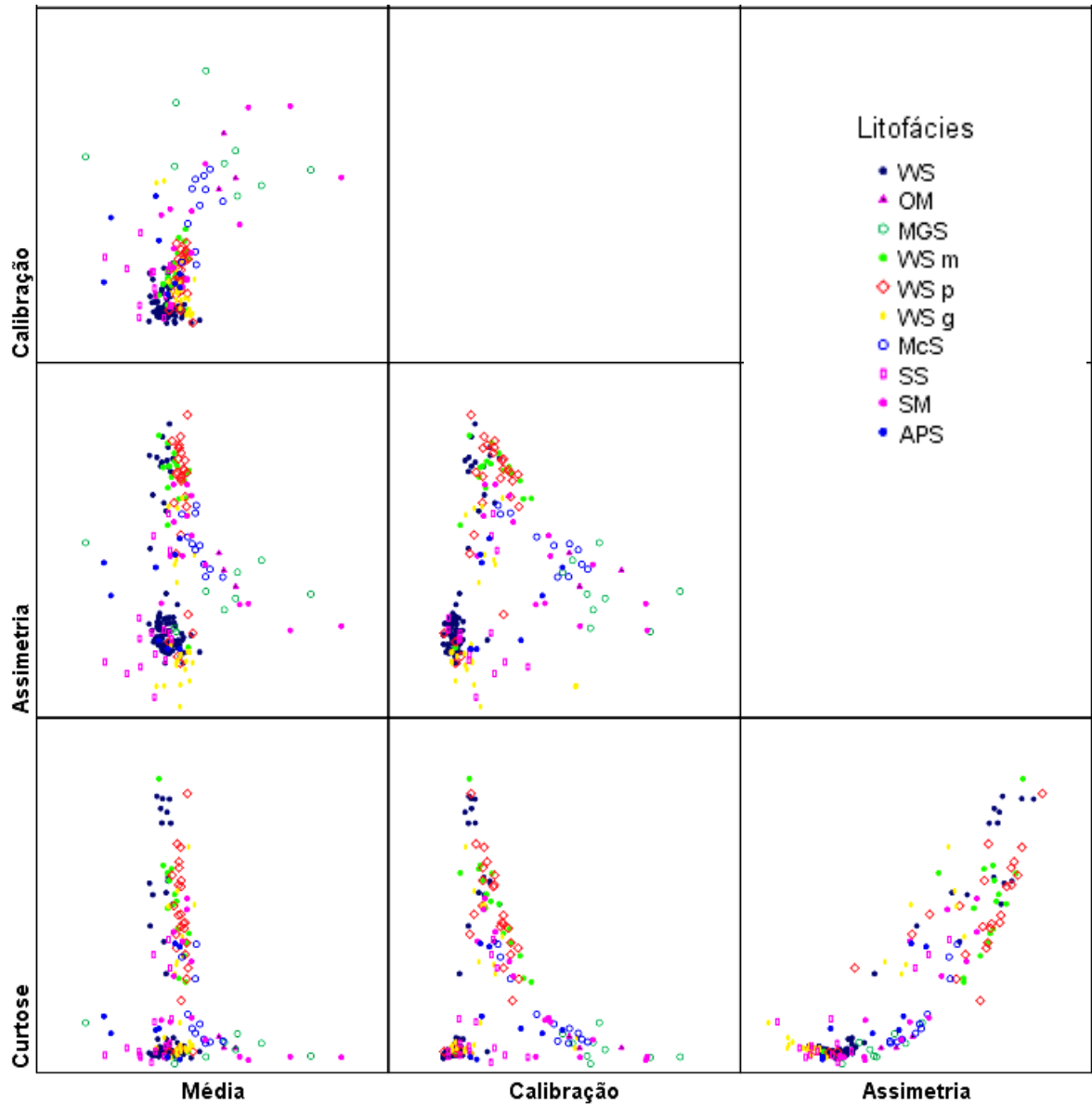


Figura 4.74 – Representação bivariada das amostras das litofácies nos eixos média, calibração, assimetria e curtose.

Para melhor se identificarem os grupos de litofácies, fez-se a separação das litofácies APS, McS, MGS, OM, SM, e SS das litofácies WS, WS g, WS m e WS p, daí resultando as imagens das figuras 4.75 e 4.76, respectivamente.

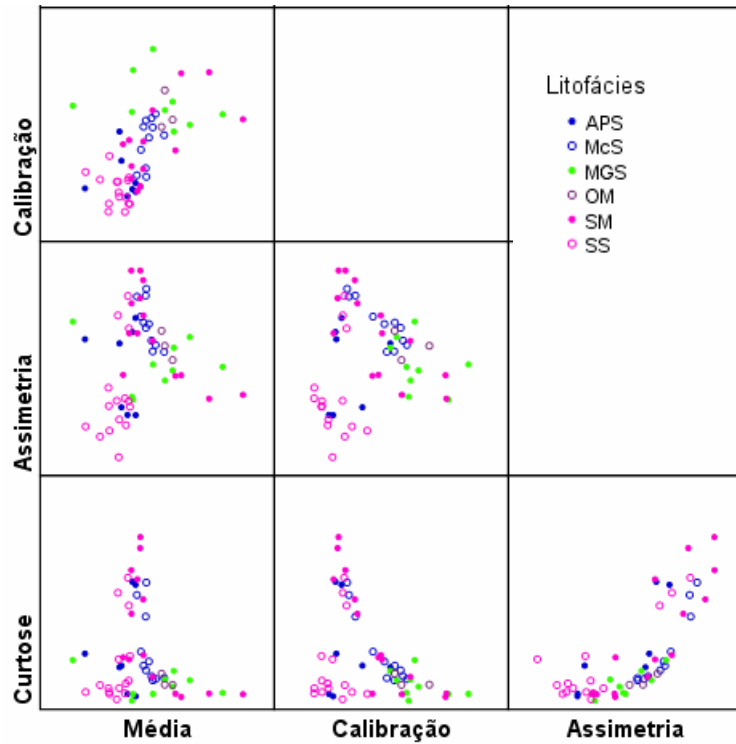


Figura 4.75 – Representação bivariada das amostras das litofácies APS, McS, MGS, OM, SM, e SS, nos eixos média, calibração, assimetria e curtose.

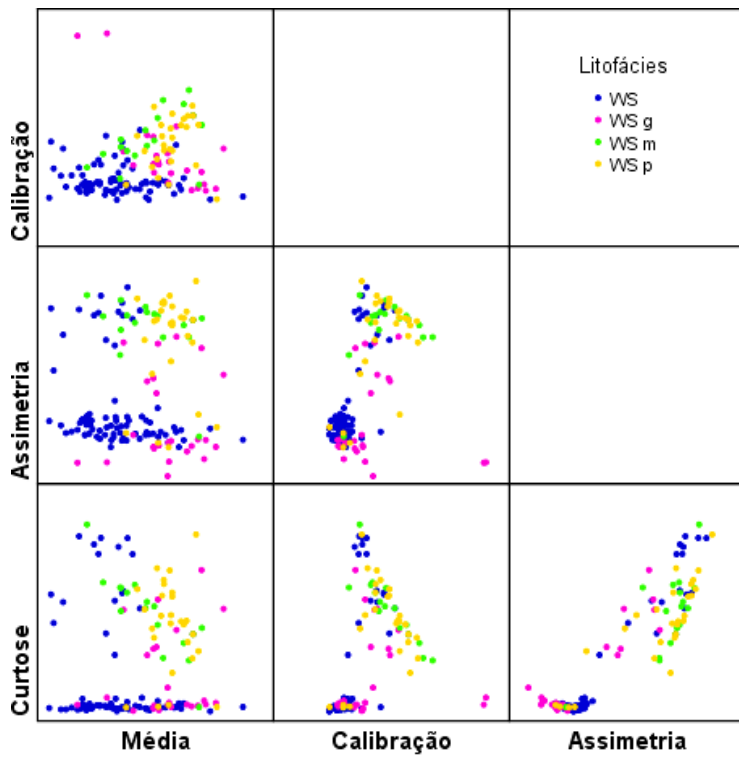


Figura 4.76 – Representação bivariada das amostras das litofácies WS, WS g, WS m e WS p, nos eixos média, calibração, assimetria e curtose.

Verifica-se mais uma vez a definição do conjunto das amostras da litofácies SS, através da representação assimetria *versus* calibração ou assimetria *versus* média. Estes diagramas separam também muito bem a litofácies SS da litofácies SM, mas não separam esta última das litofácies McS, MGS e OM. As amostras da litofácies APS são muito heterogéneas e não se conseguem individualizar desta forma.

A figura 4.76 permite visualizar a separação das amostras da litofácies WS p e WS m da maioria das restantes amostras, sobretudo através da projecção assimetria *versus* calibração.

No geral, estas representações são menos claras do que as obtidas quando se projectaram os grupos TSC nos eixos factoriais resultantes da análise em componentes principais (ACP) e que foram apresentadas nas figuras 4.70 a 4.73.

Acha-se preferível a projecção das amostras nos eixos factoriais obtidos, bastando para isso, calcular a posição da amostra, multiplicando as variáveis estandardizadas pelos factores respectivos, somando depois todos os produtos vectoriais que digam respeito ao eixo considerado.

O local de projecção da amostra 1 no eixo 1 será então o somatório dos produtos das variáveis estandardizadas pelos respectivos factores, no eixo 1, e por aí adiante até se terem calculado todos os locais de projecção das amostras nos eixos escolhidos. Neste caso, a amostra 1 terá no final 3 posições que serão depois utilizadas para a sua projecção nos eixos factoriais.

Poder-se-ão assim comparar os resultados obtidos nesta análise com os resultados obtidos em outras análises do mesmo tipo de sedimentos e verificar-se se as projecções coincidem.

4.4 Composição mineralógica da fracção silto-argilosa

A mineralogia da fracção silto-argilosa foi determinada através da análise de difractogramas de raios X em agregados não orientados e em lâminas sedimentadas, segundo metodologias que foram descritas no capítulo 1.2.3.2.

4.4.1 Difractogramas de agregados não orientados ($< 63 \mu\text{m}$) de 2 a $60^\circ(2\theta)$

A identificação dos minerais presentes na fracção silto-argilosa foi efectuada, inicialmente a partir de difractogramas 2- 60° (2θ), com recurso a bibliografia recomendada (Bailey, 1980; Brindley, 1980; Brown, 1980; Gomes, 1988; Moore & Reynolds, 1997) e a consulta de fichas JCPDS-ICDD. Posteriormente, a sua identificação foi refinada recorrendo a difractogramas específicos 34- 39° (2θ) e 59- 63° (2θ), efectuados segundo procedimentos descritos no capítulo 1.2.3.2.

Os principais minerais presentes na fracção inferior a $63 \mu\text{m}$ e os valores das áreas de alguns dos seus picos característicos podem ser vistos na tabela 4.18 (a e b).

As áreas dos picos foram calculadas através da multiplicação da largura do pico a meia altura ($^\circ 2\theta$) pela intensidade do pico (intensidade, contagem ou *counts*). Os dados para estes cálculos foram retirados directamente do *software* PC-APD e correspondem muitas vezes a valores de áreas de picos sobrepostos, quando não é possível efectuar a sua separação (como no caso do pico de $3,34 \text{ \AA}$, que resulta da junção de quartzo e micas).

A partir das áreas de picos característicos de cada mineral (A_r) foram calculadas as abundâncias relativas desse mineral (A_b), dividindo a área do pico pela área máxima encontrada para esse pico, no conjunto das amostras analisadas.

Tabela 4.18 a) – Resultados da análise de XRD de 2-60° (2θ) – áreas de picos.

Amostra	Litofácies	Grupo TSC	Minerais / Áreas de picos								
			Quartzo	Ar 4,26	Ar 2,28	Feldspato K	Ar 3,25	A 2,99	A 2,96	Plagioclases	Ar 3,19
EST1-1	OM	2	X	177	24,48	X	53,4	0	32,16	X	21,52
EST1-3	OM	2	X	248	66,32	X	192	24,16		X	14,76
EST1-3MO	OM	2	X	191	82,9	X	160,86	30,2		X	40
EST1-2	MGS	2	X	53	22,24	X	36,48	33,8		X	19,68
EST1-4	MGS	2	X	77	16,16	X	23,16	18,72		X	52,4
EST1-5	MGS	2	X	54	13,76	X	23,7	15,92	16,92	X	33,5
EST1-6	MGS	2	X	214	80,32	X	74,06	24,64	24,64	X	49,2
EST1-8	MGS	2	X	167	33,28	X	86,1		21,12		
EST1-9	RC	2	X	125	25,6	X	50,2			X	24,3
EST1-10	RC	2	X	157	33,5	X	12,78			X	15,84
F1A24	McS	2	X	61	8,64	X	37	15,4		X	22,72
F1A26	MGS	2	X	58	13,86			25,76		X	40,96
F1A29	MGS	2	X	73	16,56	X	47,84	19,3		X	18,2
F3A5	OM	2	X	188	18,36	X	57			X	33,12
F5A5	SM	2	X	118	41,44	X	75,6	17,2		X	39,76
F5A6	SM	2	X	159	36,1	X	28,56	22,8		X	44,1
F8A31	WS p (m)	3.2	X	118	40,2	X	60,5		14,76	X	88,2
F8A32	WS p (g)	1.1	X	135	39,72	X	94,64	49,2		X	34,32
F8A9	McS	2	X	138	38,72	X	128,9	29,2	14,04	X	47,2
F9A12	APS	2	X	143	47,04	X	55,04	30,2		X	32,32
F9A13	APS	2	X	116	44,5	X	100,52	23,36	8,34	X	28,8
F18A9	SM	2	X	90	24	X	35,88	31,84		X	50,88
F18A10	SM	2	X	111	26,9	X	24,24	21,3		X	33,92
F18A11	SM	2	X	84	40,96					X	57,6
F18A12	SM	2	X	107	27,6	X	15	29,6		X	81,72
F20A13	WS g	1.1	X	66	18,72	X	31,44	17,52			
F20A14	McS	2	X	66	11,76	X	59,16	37,44		X	30,4
F20A17	McS	2	X	70	21,6	X	44,28	14,56		X	15,68
F20A20	McS	2	X	50	14,58	X	29,9	12,24		X	12,96
F28A6	WS p	3.2	X	163	62,08	X	85,56		23,04	X	83,5
F28A9	WS p	3.2	X	163	49,3	X	154,72		19,08	X	104
F28A12	McS	2	X	158	28,88	X	224		24,16	X	36,96
F28A14	APS (McS)	2	X	72	16,74	X	169,56		7,92	X	10,62

Ar - Área do pico

X - mineral detectado pela existência de vários picos característicos.

v - mineral provável sugerido pela existência de raros picos característicos, muitas vezes sobrepostos

ou não detectados pelo software para um nível de significância de 0,75.

Tabela 4.18 b) (continuação) – Resultados da análise de XRD de 2-60° (2θ) – áreas de picos.

Amostra	Litofácies	Grupo TSC	Minerais / Áreas de picos										
			Micas	Ar 10	Calcite	Ar 3,04	Pirite	Ar 2,71	Ar 2,42	Gesso	Ar 7,6	Ar 3,07	
EST1-1	OM	2	X	29,12				X	18	12,24			
EST1-3	OM	2	X	43,7									
EST1-3MO	OM	2	X	17,52									
EST1-2	MGS	2	X	75,6				v		7,8			
EST1-4	MGS	2	X	157,2									
EST1-5	MGS	2	X	78,4									
EST1-6	MGS	2	X	16,1				X	18	15,54			
EST1-8	MGS	2	X	49,44									
EST1-9	RC	2	X	50,8									
EST1-10	RC	2	X	53,28									
F1A24	McS	2	X	211,82									
F1A26	MGS	2	X	44,96									
F1A29	MGS	2	X	55,76									
F3A5	OM	2	X	14,16									
F5A5	SM	2	X	78,4	X	20	X	9,48	17				
F5A6	SM	2	X	55,7	X	39,6	X	40,8	15,84				
F8A31	WS p (m)	3.2	X	19,2				v		6,2			
F8A32	WS p (g)	1.1	X	13,5									
F8A9	McS	2	X	69,7									
F9A12	APS	2	X	54,08									
F9A13	APS	2	X	42,72									
F18A9	SM	2	X	101,8	v	<2	X	19,92	16,68	X	17,28	16,96	
F18A10	SM	2	X	111,6	X	40,4	X	12,8	23,68	X	4,64		
F18A11	SM	2	X	171,4	X	25,36	X	14,4	24,96	X	4,86		
F18A12	SM	2	X	105,6	X	187,2	X	15,4	12,96				
F20A13	WS g	1.1	X	13,32						X	15,6	38,36	
F20A14	McS	2	X	90,32						v	<2		
F20A17	McS	2	X	91,44									
F20A20	McS	2	X	55,7									
F28A6	WS p	3.2	X	22,88				v	<2	v			
F28A9	WS p	3.2	X	15,18				v	<2	6,84			
F28A12	McS	2	X	55,36	X	15,1	v	<2	v				
F28A14	APS (McS)	2	X	52,4	X	14,72							

Ar - Área do pico

X - mineral detectado pela existência de vários picos característicos.

v - mineral provável sugerido pela existência de raros picos característicos, muitas vezes sobrepostos ou não detectados pelo software para um nível de significância de 0,75.

Quartzo

O quartzo- α , de baixa temperatura, é o mineral mais comum nas amostras estudadas. Apresenta picos estreitos e bem visíveis nos difractogramas de agregados não orientados da fracção inferior a 63 μm , tendo sido identificado com o recurso à ficha nº 45-1045 (JCPDS-ICDD, PDF-2). Os seus picos foram usados como referência tanto no caso do difractograma 2-60° (2 θ), como nos casos dos difractogramas específicos 59-63° (2 θ) e 34°-39° (2 θ) (picos a 1,542 Å e 2,46 Å), para as determinações dos restantes minerais.

A maior abundância relativa deste mineral, nas amostras analisadas, encontra-se na litofácies OM, onde apresenta picos de 4,26 Å com maior área. Também se encontraram abundâncias elevadas em algumas amostras da litofácies MGS, correspondentes a níveis mais orgânicos (EST1-6) e níveis inferiores (EST1-8), e da litofácies RC. Em contrapartida, as amostras do topo da litofácies MGS e algumas amostras da litofácies McS apresentam áreas relativamente menores deste pico.

O pico 2,28 Å apresenta áreas maiores nas amostras das litofácies OM e MGS mais orgânicas, mas também nalgumas amostras das litofácies WS p, APS e SM. Os valores menores correspondem a amostras da litofácies McS e algumas amostras da litofácies MGS.

Feldspatos

Os feldspatos encontram-se na totalidade das amostras em que se efectuaram difractogramas da fracção inferior a 63 μm e foram identificados com base nos dados da tabela 4.19.

O feldspato alcalino mais frequente nas amostras analisadas é a microclina, apresentando o pico mais intenso a 27,45° (2 θ) (3,25 Å) e picos bem visíveis a 3,47; 2,96; 2,91 e 2,16 Å. Apresenta frequentemente picos a 3,03 Å, por vezes sobrepostos aos da plagioclase ou da calcite. A ortoclase foi encontrada em algumas amostras, embora raramente se identificasse através do pico a 3,31 Å, devido à interferência do pico duplo (mica/quartzo), muito intenso, que existe a 3,34 Å. A sua existência é sugerida pelos picos a 3,77; 2,99 e 2,90 Å (Moore & Reynolds, 1997) (tabela 4.19).

A distinção entre estes dois feldspatos alcalinos é muito dificultada pelo facto das posições dos seus picos poderem variar bastante com a composição e os graus de alteração ou de ordem/desordem da sua estrutura. Tentou fazer-se mesmo assim a identificação do tipo de feldspatos alcalinos observados e da sua abundância relativa através dos picos de 2,99 e 2,96 Å.

As amostras em que a área do pico 3,25 Å é maior pertencem geralmente às litofácies McS, OM, APS e WS p, enquanto que, aquelas em que a área deste pico é menor pertencem às litofácies SM, MGS e RC.

Tabela 4.19 – Dados de difracção de raios X de feldspatos.

Microclina		Ortoclase		Albite		Anortite	
d	2 θ	d	2 θ	d	2 θ	d	2 θ
4,21	21,10	4,22	21,05				
				4,03	22,05	4,04	22,00
3,83	23,20						
		3,77	23,60			3,79	23,50
3,70	24,00			3,68	24,90		
3,47	25,65	3,46	25,75				
3,37	26,45						
		<u>3,31</u>	<u>26,75</u>				
<u>3,25</u>	<u>27,45</u>	3,25	27,45				
				<u>3,19</u>	<u>27,95</u>	<u>3,19</u>	<u>27,95</u>
						<u>3,18</u>	<u>28,05</u>
				3,15	28,25		
3,03	29,50						
		2,99	29,85			An ₃₃	An ₆₇
2,96	30,20					3,01	3,05
2,91	30,70	2,90	30,85				
<u>2,89</u>	<u>30,95</u>	<u>2,77</u>	<u>32,35</u>				

Dados retirados de fichas PDF 22-687, 19-926, 19-1227, 20-554, 9-466, 19-1184, 20-572,

10-393, 12-301, 20-20 e 31-966, com dados de Moore & Reynolds, 1997.

As plagioclases, de composição mais sódica, estão presentes na quase totalidade dos sedimentos com o pico mais evidente a cerca de 3,19 Å, dependendo da composição, com um pico bem definido a 4,03 Å e frequentemente com outro a 3,03 Å (tabela 4.19).

As amostras da litofácies WS p, sobretudo as do grupo TSC 3.2, são as que apresentam valores de áreas de picos 3,19 Å mais elevados, seguidas das amostras da litofácies SM. Neste caso, parece haver um incremento deste mineral para a base destas unidades, mas dado o reduzido número de amostras esta tendência não pode ser comprovada com segurança.

As amostras que apresentam valores menores de área de pico 3,19 Å são as que pertencem às litofácies RC, OM, McS e APS.

Micas

As micas observadas nas amostras são na sua grande maioria de moscovite 2M1 e, embora a biotite também exista nas fracções mais grosseiras de algumas amostras das litofácies APS e SS, ela não é detectada nas fracções mais finas.

Os picos das micas (ou ilites) são bem visíveis, geralmente com aberturas diminutas a meia altura ($0,1 \text{ } ^\circ 2\theta$) o que sugere uma elevada cristalinidade, tendo sido identificadas com recurso às fichas 03-0849, 43-685, 29-1496 e 26-911 (JCPDS-ICDD, PDF-2). Uma vez que um dos seus picos mais intensos ($3,34 \text{ \AA}$) coincide com o pico principal do quartzo, usaram-se sobretudo os picos de 10 , 5 e $4,48 \text{ \AA}$ para verificação e determinação da abundância relativa.

As amostras com abundâncias relativas do pico de 10 \AA mais elevadas pertencem às litofácies McS e SM, embora algumas amostras do topo da litofácies MGS apresentem também valores elevados. Por outro lado, as amostras das litofácies WS e OM são as que apresentam valores mais baixos.

Calcite

A calcite pode ser identificada através dos picos a $3,86$; $3,04$; $2,84$; $2,50$; $2,09$ e $1,63 \text{ \AA}$, que constam da ficha nº 5-586 (JCPDS-ICDD, PDF-2), embora muitos deles apresentem sobreposições com picos importantes de outros minerais, como os feldspatos, o quartzo, a pirite e alguns minerais de argila. O cálculo da abundância foi efectuado com recurso ao pico de $3,04 \text{ \AA}$ sempre que se identificavam na amostra o conjunto de picos característicos da calcite. Assim, este mineral é comum nas amostras da litofácies SM, que contêm numerosas conchas de moluscos, e existe em raras amostras da litofácies McS, no furo F28. Neste último caso, os picos existentes são menos evidentes e geralmente coincidentes com outros minerais, como é o caso da microclina e da esmectite, tornando necessária a comprovação da identificação deste mineral através de outras técnicas. A reacção com ácido foi muito fraca, mas visível nas amostras F28A12 e F28A14.

Pirite

A pirite apresenta, nas amostras estudadas, picos bem visíveis e estreitos a $3,13$; $2,71$; $2,42$; $2,21$; $1,92$ e $1,63 \text{ \AA}$ que constam da ficha nº 6-710 (JCPDS-ICDD, PDF-2). Uma vez que o principal pico da pirite coincide com um dos picos da calcite optou-se por calcular a abundância da pirite através dos picos $2,71$ e $2,42 \text{ \AA}$, que são os segundo e terceiro picos mais intensos.

Este mineral existe em todas as amostras da litofácies SM em quantidades muito semelhantes, embora ligeiramente maiores no interior da unidade em relação aos seus extremos superior e inferior. Existe ainda pirite nas amostras do topo da litofácies OM e em amostras com elevado conteúdo em matéria orgânica da litofácies MGS, havendo indicações da possibilidade da sua existência em raras amostras das litofácies WS p e McS.

Gesso

O gesso pode ser identificado através dos picos a 7,56; 4,27; 3,79; 3,07; 2,87 e 2,68 Å, que constam da ficha nº 6-46 (JCPDS-ICDD, PDF-2), embora muitos deles apresentem sobreposições com sepiolite, quartzo, feldspatos, calcite e micas. Optou-se então por utilizar a combinação entre as áreas dos picos 7,56 e 3,07 Å para o cálculo da abundância deste mineral. Este mineral é frequente nas amostras da litofácies SM, sobretudo no furo F18, e em algumas amostras do furo F20, na base da litofácies WS g e na zona de transição entre esta e a litofácies McS. Estes furos situam-se na zona sul e no mesmo perfil transversal ao fluxo, estando o furo F20 a montante do furo F18.

Minerais de argila

Os minerais de argila serão estudados e identificados com maior detalhe em difractogramas efectuados a partir de lâminas orientadas da fracção inferior a 2 µm, já que os difractogramas de agregados não orientados da fracção inferior a 63 µm não permitem muitas vezes a sua identificação, devido ao facto dos respectivos teores relativos serem reduzidos e de haver muitas vezes sobreposições entre picos característicos.

É possível, no entanto, identificar picos de minerais argilosos com picos a cerca de 12 a 15 Å (Clorites, Vermiculites, Esmectites e/ou Interestratificados), minerais com picos a cerca de 10 Å (Ilites, Halosites, Paligorsquites e/ou Interestratificados) e minerais com picos a cerca de 7 Å (grupo da caulinite), sem precisar o tipo (tabela 4.20).

Os minerais argilosos com picos entre os 12 e os 15 Å são frequentes nas amostras da base da litofácies MGS e na litofácies RC, existindo em quantidades detectáveis nas amostras das litofácies WS p e SM. No entanto, apresentam quantidades muito diminutas nas amostras da litofácies OM e do topo da litofácies MGS.

Os minerais cujos picos principais rondam os 10 Å apresentam picos coincidentes com os das micas anteriormente tratadas e, por isso, não serão de novo sujeitos a análise. De qualquer forma e para que fosse possível comparar as áreas dos picos característicos, estes minerais foram incluídos na tabela 4.20.

O pico de 7 Å apresenta áreas maiores nas amostras das litofácies McS e APS, embora algumas amostras do topo da litofácies MGS e da litofácies RC possam apresentar valores elevados. Por oposição, as amostras das litofácies OM e SM apresentam valores muito baixos, havendo mesmo amostras cujos difractogramas não apresentam este pico.

Um outro mineral argiloso provável em algumas amostras da litofácies OM é a sepiolite, apenas detectável nos difractogramas da fracção inferior a 63 µm e em quantidades diminutas. A única amostra que apresenta picos bem definidos a 12,6; 7,6; 5,1; 4,4; 3,77; 3,35 e 2,61 Å é a amostra F3A5.

Tabela 4.20 – Resultados da análise de XRD de 2-60° (2θ) – áreas de picos de minerais argilosos.

Amostra	Lito fácies	Grupo TSC	Minerais argilosos / Áreas de picos								
			Ilite / Micas	Ar 10	Ar 5	Caulinite	Ar 7	Clorite, Vermiculite, Esmectite e/ou Interestratificados	Ar 12-15	Sepiolite	Ar 12,6
EST1-1	OM	2	X	29,12	9,6	X	6,6	v			
EST1-3	OM	2	X	43,7	14,8	X	19,6	X	9,2		
EST1-3MO	OM	2								v	19,2
EST1-2	MGS	2	X	75,6	13,86	X	103,68	v			
EST1-4	MGS	2	X	157,2	34,64	X	56,56	X	15,8		
EST1-5	MGS	2	X	78,4	27,36	X	67,8	X	24,64		
EST1-6	MGS	2	X	16,1	5,12			X	13,44		
EST1-8	MGS	2	X	49,44	11,28	X	30,4	X	169,68		
EST1-9	RC	2	X	50,8	33,12	X	104,8	X	137,28		
EST1-10	RC	2	X	53,28	19,3	X	59,16	X	132,48		
F1A24	McS	2	X	211,82	41,6	X	266,42	X	53,12		
F1A26	MGS	2	X	44,96	15,68	X	128,24	v			
F1A29	MGS	2	X	55,76	25,56	X	33,92	v			
F3A5	OM	2	X	14,16	9,52					X	36,8
F5A5	SM	2	X	78,4	47,84	X	37,56	X	16,2		
F5A6	SM	2	X	55,7	15,2	X	45,6	X	12,64		
F8A31	WS p (m)	3.2	X	19,2	11,36			X	23,04		
F8A32	WS p (g)	1.1	X	13,5	12,64			X	31,36		
F8A9	McS	2	X	69,7	25,56			X	21,76		
F9A12	APS	2	X	54,08	29,82	X	66,6	v			
F9A13	APS	2	X	42,72	21,84	X	228,6	X	9,2		
F18A9	SM	2	X	101,8	35,3			X	16,4		
F18A10	SM	2	X	111,6	50,54			X	25,76		
F18A11	SM	2	X	171,4	61,32	X	47,1	X	25,92		
F18A12	SM	2	X	105,6	34,2			X	16,68		
F20A13	WS g	1.1	X	13,32	8,52	X	80,08				
F20A14	McS	2	X	90,32	26,8	X	239,76				
F20A17	McS	2	X	91,44	27,84	X	139,1				
F20A20	McS	2	X	55,7	18,8	X	214,2	X	32		
F28A6	WS p	3.2	X	22,88	9,36	X	20,48	X	21,28		
F28A9	WS p	3.2	X	15,18	11,6	X	5,2	X	24,8		
F28A12	McS	2	X	55,36	27,72	X	43,04	X	16,8		
F28A14	APS (McS)	2	X	52,4	18,8	X	70,8	X	28,8		

Ar - Área do pico

X - mineral detectado pela existência de vários picos característicos.

v - mineral provável sugerido pela existência de raros picos característicos, muitas vezes sobrepostos

ou não detectados pelo software para um nível de significância de 0,75.

Em outras amostras, como a EST1-3, EST1-6 e mesmo em amostras da litofácies WS p, existem alguns picos que pertencem a este mineral, mas não todos. Nota-se aqui o facto de haver muitos destes picos que coincidem com outros minerais, como alguns interestratificados, micas, feldspatos e quartzo. Não tendo sido detectados picos deste mineral nos agregados orientados, preparações em que é possível efectuar diversos tratamentos para verificar se se trata de sepiolite ou de interestratificados, e não se tendo recorrido a outras técnicas, como por exemplo a microscopia electrónica, a sua presença não pôde ser confirmada.

Outros minerais

Identificaram-se ainda picos isolados nos difractogramas da fracção inferior a 63 µm, que poderão corresponder a minerais do tipo das jarosites, alunites ou copiapites. Também para estes minerais não foi obtida a sua confirmação.

Proporções de minerais

Efectuaram-se cálculos entre as áreas de picos característicos de certos minerais de modo a estimar a proporção em que cada um deles existia relativamente a outros, dentro do conjunto das amostras.

Não se pretendia saber exactamente em que amostras a ilite predominava sobre a caulinite, a esmectite sobre a ilite, ou o quartzo sobre os feldspatos. Para tal, teria que se calcular a quantidade de cada mineral na mistura. No entanto, dada a complexidade deste processo de exactidão questionável (Pe-Piper, Dolansky & Piper, 2005) e a falta de padrões que preenchessem os requisitos exigidos (Moore & Reynolds, 1997), optou-se por calcular apenas as razões entre as áreas de picos característicos dos minerais (tabela 4.21).

Sabendo que a determinação semiquantitativa utiliza a intensidade (ou a área) de determinados picos para determinar a sua percentagem, uma vez aplicados os MIF (Kahle, Kleber & Jahn, 2002) ou os poderes reflectores de cada pico (Gomes, 1988), então, para comparar um conjunto de amostras entre si sem pretender estabelecer analogias externas, só é necessário calcular as razões entre as áreas dos picos característicos. Os valores de MIFs ou de poderes reflectores de cada combinação poderão ser calculados posteriormente para se obter a semiquantificação (ex. equação 4.1).

$$I / K \equiv \frac{ArI(10) \times MIF_I}{ArK(7) \times MIF_K} \equiv \frac{I'}{K'} \times \frac{MIF_I}{MIF_K} \quad (\text{equação 4.1})$$

em que: I – ilite; K – caulinite, Ar_i – área de um pico i, MIF_i – factor de intensidade do mineral i.

Tabela 4.21 – Resultados da análise de XRD de 2-60° (2θ) – proporções entre minerais.

Amostra	Litofácies	Grupo TSC	Proporções de minerais				
			Qz'/(Pg'+FK')	K'/I'(M)	OMA'/I'(M)	I'(M)/(OMA'+K')	(Qz'+Pg'+FK') / (I'(M)+OMA'+K')
EST1-1	OM	2	2,37	0,23	0,00	4,41	7,06
EST1-3	OM	2	1,20	0,45	0,21	1,52	6,27
EST1-3MO	OM	2	0,95	0,00	0,77	1,30	12,66
EST1-2	MGS	2	0,95	1,37	0,00	0,73	0,61
EST1-3	OM	2	1,20	0,45	0,21	1,52	6,27
EST1-4	MGS	2	1,02	0,36	0,10	2,17	0,66
EST1-5	MGS	2	0,94	0,86	0,31	0,85	0,65
EST1-6	MGS	2	1,73	0,32	1,54	0,54	7,31
EST1-8	MGS	2	1,94	0,61	3,43	0,25	1,01
EST1-9	RC	2	1,67	2,06	2,70	0,21	0,68
EST1-10	RC	2	5,49	1,11	2,49	0,28	0,76
F1A24	McS	2	1,02	1,26	0,25	0,66	0,23
F1A26	MGS	2	1,42	2,85	0,00	0,35	0,57
F1A29	MGS	2	1,11	0,61	0,00	1,64	1,55
F3A5	OM	2	2,08	0,00	2,21	0,45	6,10
F5A5	SM	2	1,03	0,48	0,21	1,46	1,77
F5A6	SM	2	2,19	0,82	0,23	0,96	2,03
F8A31	WS p (m)	3.2	0,80	0,00	1,20	0,83	6,32
F8A32	WS p (g)	1.1	1,05	5,93	0,00	0,17	2,82
F8A9	McS	2	0,78	0,00	0,31	3,20	3,43
F9A12	APS	2	1,64	1,23	0,00	0,81	1,91
F9A13	APS	2	0,89	5,35	0,22	0,18	0,87
F18A9	SM	2	1,04	0,00	0,16	6,21	1,50
F18A10	SM	2	1,91	0,00	0,23	4,33	1,23
F18A11	SM	2	1,46	0,27	0,15	2,35	0,58
F18A12	SM	2	1,11	0,00	0,16	6,33	1,67
F20A13	WS g	1.1	2,08	0,00	0,00	0,69	2,98
F20A14	McS	2	0,73	2,65	0,00	0,38	0,47
F20A17	McS	2	1,16	1,52	0,00	0,66	0,56
F20A20	McS	2	1,16	3,85	0,57	0,23	0,31
F28A6	WS p	3.2	0,97	0,90	0,93	0,55	5,14
F28A9	WS p	3.2	0,63	0,00	0,00	0,41	8,12
F28A12	McS	2	0,61	0,78	0,30	0,93	3,64
F28A14	APS (McS)	2	0,40	1,35	0,55	0,53	1,66

Nota: Proporções calculadas entre áreas de picos característicos dos minerais:

Q - Quartzo, Pg - Plagioclases, FK - Feldspatos alcalinos

I(M) - Ilite/Micas; K - Caulinite, OMA - Outros minerais argilosos

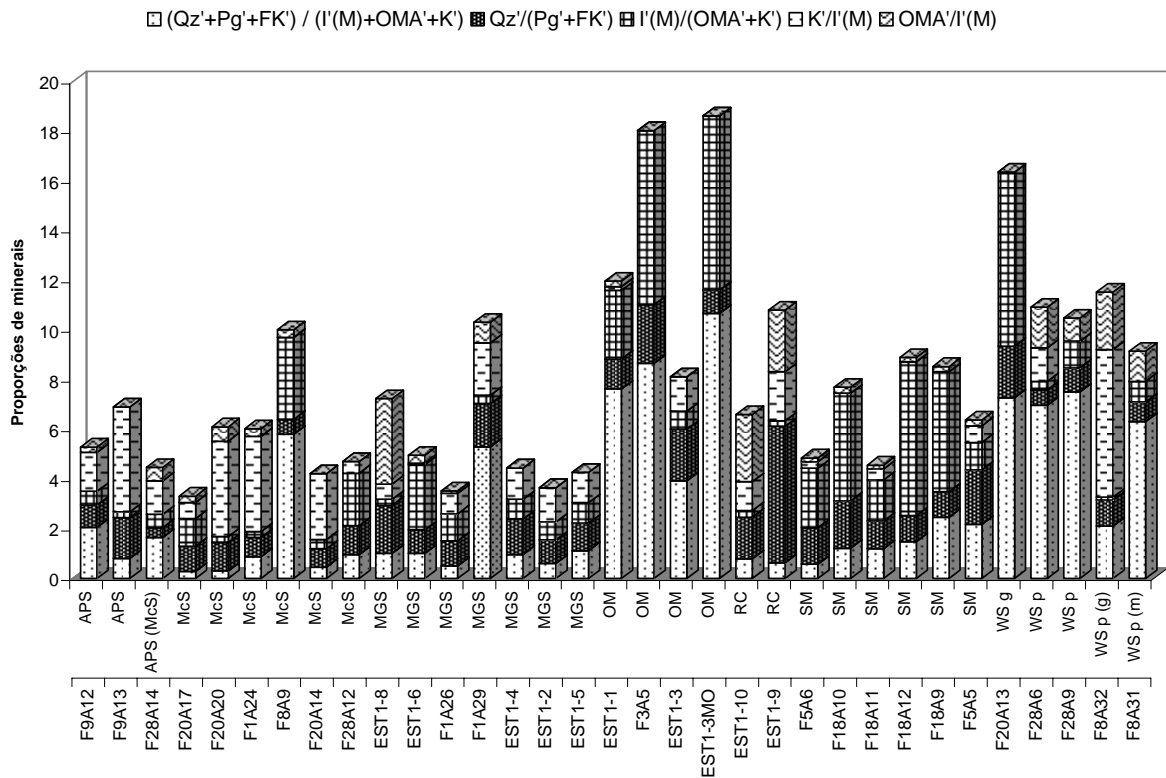


Figura 4.77 – Representação das proporções de minerais em termos de litofácies e de amostras.

Nota: as litofácies estão na primeira linha e as amostras na segunda.

Verifica-se que a relação $(Qz'+FK'+Pg')/(I'+OMA'+K')$ apresenta valores mais elevados nas amostras da litofácies OM, WS e nas amostras de outras litofácies enriquecidas em matéria orgânica (F8A9, F28A12 e EST1-6), que representam níveis de sedimentos lacustres ou palustres (OM) ou níveis de paleossolos (WS p).

Nos sedimentos da litofácies WS p a relação OMA'/I' parece indicar alguma evolução com a existência de minerais argilosos com picos de 12-15 Å.

Os valores mínimos de $(Qz'+FK'+Pg')/(I'+OMA'+K')$ registam-se nas amostras das litofácies McS, APS, MGS e RC. Nestas litofácies sobressaem a caulinite e os minerais OMA sobre a ilite, o quartzo e os feldspatos, indicando provavelmente condições de alteração química mais intensa, com a possibilidade de neoformação de minerais argilosos ou o seu transporte de solos e rochas da bacia de drenagem.

As amostras mais ricas em feldspatos, com valores inferiores da razão $Qz'/(Pg'+FK')$, são as da litofácies McS, APS e WS p. Uma vez que as primeiras litofácies contém também mais caulinite do que ilite, é possível que a caulinite resulte da alteração *in situ* dos feldspatos.

Os sedimentos mais ricos em quartzo relativamente aos feldspatos são os das litofácies RC, da base da litofácies MGS, da litofácies OM e da litofácies SM.

4.4.2 Difractogramas detalhados de 59 a 63°(2θ)

Estudos detalhados de raios X, efectuados em agregados não orientados, podem gerar dados importantes para a melhorar a identificação de minerais. Incluem-se neste tipo de procedimentos o estudo das reflexões 060, que permite entre outras coisas a distinção entre minerais dioctaédricos e trioctaédricos (Moore & Reynolds, 1997). Embora as reflexões sejam pouco intensas, estas podem ser discriminadas através de procedimentos analíticos que aumentem a resolução dos picos, diminuindo a velocidade e aumentando o tempo de recolha da informação. Os procedimentos utilizados nesta análise estão descritos no capítulo 1.2.3.2.

Os valores de $d(060)$ variam ligeiramente para um dado mineral, no entanto, a separação das espécies dioctaédricas e trioctaédricas pode fazer-se facilmente, apresentando as primeiras valores de $d(060)$ entre 1,48 e 1,52 Å e as segundas entre 1,52 e 1,54 Å, com excepção dos minerais saponite e nontronite que têm valores de $d(060)$ muito semelhantes. Além disso há que ter em conta a possibilidade de existir um pico do quartzo a 1,542 Å, que pode ser confundido com o pico de um mineral trioctaédrico (Moore & Reynolds, 1997) (tabela 4.22).

Tabela 4.22 – Valores de $d(060)$ e 2θ para micas e minerais argilosos.

Mineral	$d(060)$	2θ (CuK α)
Illite (Moscovite)	1,499	61,9
Glauconite	1,511	61,35
Caulinite	1,490	62,31
Montmorilonite	1,492-1,504	62,22-61,67
Nontronite	1,521	60,91
Biotite	1,538	60,16
Clorites	1,538-1,549	60,16-59,69
Serpentinas	1,531-1,538	60,47-60,16
Bertierina	1,555	59,44
Saponite	1,520	60,95
Hectorite	1,530	60,51
Vermiculite	1,541	60,03
Paligorsquite	1,560	59,23
Sepiolite	1,540-1,550	60,07-59,65

Dados de Bailey (1980) excepto as esmectites retiradas de Brindley (1980), citados em Moore & Reynolds (1997)

Nota: O quartzo apresenta um pico a 1,542 Å (60° 2θ).

Tabela 4.23 – Resultados da análise de XRD de 59-63° (2θ) – áreas de picos.

Amostra	Litofácies	Resultados 59-63°(2θ) - d(060)					
		Ar 1,56	Ar 1,541-1,538	Ar 1,53-1,52	Ar 1,51-1,50	Ar 1,499	Ar 1,489
F20A20	McS		6,48	v		v	105,92
F20A14	McS	1,6	16,32	v		v	63,68
F20A17	McS	v	19,02	v		v	32,28
F1A24	McS	v	15,18	25,44		7,6	18
F8A9	McS		28,72				25,92
F1A26	MGS		22	51,2		22,72	68,88
EST1-2	MGS		30,3	36,24		27,36	v
EST1-4	MGS	1,24	13,84	27,36		51,6	v
EST1-5	MGS	v	23,52	20		26,56	30,4
F1A29	MGS		15,2	18,48		v	18,48
EST1-8	MGS		37,8		20,88	20,88	17,08
EST1-6	MGS	2,72	62,24		4,74	7,26	2,5
F3A5	OM		77,25		v	29,28	
EST1-1	OM	0,8	32,28		13,2	10	v
EST1-3	OM		78,75			v	
EST1-9	RC		35,025		15	18,585	v
F18A11	SM		44,25	23,1		57,12	v
F18A10	SM		27,24	21,12	v	52,48	v
F18A9	SM	v	24,85	21,12	v	15,2	
F5A5	SM	v	51,075	20,16		49,32	v
F18A12	SM		35,77	17,28	v	43,68	v
F5A6	SM	8,88	30,36	14,4		28,56	14,4
F20A13	WS g		38		9,8	v	40,4
F28A6	WS p		41,52		4,56	16,6	v
F8A32	WS p (g)	v	22,59			23,04	v
F8A31	WS p (m)		32,49			112	

Ar – áreas de picos, v – áreas vestigiais

O pico de quartzo a 1,542 Å existia em todas as amostras analisadas, mas não foi registrado na tabela 4.22. Junto ao pico do quartzo e imediatamente a seguir no sentido dos ângulos (2θ) maiores, existe um pico duplo ou triplo que se identifica muito mal e que pode corresponder a vermiculites, clorites, biotites ou interestratificados clorite-vermiculite (Chl-V). Este(s) pico(s) existe(m) em todas as amostras sendo relativamente mais intenso(s) nas amostras das litofácies OM, SM, RC e WS.

O pico da ilite (1,499 Å) existe na quase totalidade das amostras, sendo a sua abundância relativamente maior nas amostras das litofácies SM, no topo da litofácies MGS e na litofácies WS p.

O pico da caulinite (1,489 Å) é visível e mais intenso nas amostras das litofácies McS (e especialmente no furo F20) e MGS.

Existem picos largos e pouco visíveis a 1,56 Å, perto da posição ocupada pelo pico (060) da paligorsquite. Estes são mais visíveis nas amostras F5A6 e EST1-6.

Os picos a cerca de 1,50 – 1,51 Å (esmectites dioctaédricas – montmorilonite) são mais intensos nas amostras da base da litofácies MGS, na litofácies RC, em algumas amostras da litofácies OM e em amostras da litofácies WS. Aparecem ainda picos pouco definidos em algumas amostras da litofácies SM do furo F18. O pico a 1,51 Å pode também ser coincidente com um pico da corrensite.

Os picos de 1,52 – 1,53 Å (provavelmente de esmectites trioctaédricas) são mais intensos nas amostras do topo da litofácies MGS, algumas amostras da litofácies McS e amostras da litofácies SM. As amostras McS e SM com estes picos situam-se a oeste das amostras da litofácies MGS, o que pode indicar uma origem local a partir destes sedimentos.

4.4.3 Difractogramas de lâminas sedimentadas (< 2 µm) de 2 a 30°(2θ)

Para esclarecer algumas das dúvidas existentes no estudo de agregados não orientados (fracção inferior a 63 µm), executaram-se também difractogramas de lâminas sedimentadas da fracção argilosa, segundo métodos descritos no capítulo 1.2.3.2.

Uma vez calculadas as áreas dos picos característicos dos minerais argilosos e separadas as áreas dos picos comuns (como por exemplo os de caulinite e de clorite), os valores foram combinados para calcular as percentagens de minerais, usando MIFs e recalculando os produtos para 100% de acordo com o descrito no capítulo 1.2.3.2 (figura 4.78).

Para estudar os defeitos estruturais da ilite determinou-se a abertura a meia altura do pico de 10 Å, segundo procedimento descrito no capítulo 1.2.3.2. Os valores obtidos situam as ilites na zona da ilite de pico agudo (figura 4.79). Determinou-se igualmente a razão das intensidades dos picos (002) e (001) (figura 4.79)

Devido ao facto da clorite se encontrar geralmente interestratificada (clorite-vermiculite) e de coexistir com caulinite, não se efectuou a determinação o seu conteúdo em Fe (Y), segundo o procedimento descrito em Brindley & Brown (1980). No entanto, a maioria das amostras com clorite apresentava difractogramas cujo pico da face (003) era pouco intenso, o que é concordante com conteúdos elevados em Fe nas folhas octaédricas.

As esmectites existentes na base da litofácies MGS apresentam boa cristalinidade (Classe A), com valores de $V/p > 0$ e ocorrência de picos individualizados a 8,6 Å, os únicos visíveis no intervalo 2 -15° (2θ) (segundo Biscaye, 1965; citado em Thorez, 1976).

Para melhor visualizar as associações de minerais argilosos projectaram-se os resultados em diagramas triangulares função das percentagens em esmectite, caulinite e ilite (Sm-K-I) e das percentagens em ilite, caulinite e clorite, vermiculite ou interestratificados (I-K-Chl-V-Int) (figuras 4.80 e 4.81). Os resultados são discutidos tendo por base as litofácies a que pertencem.

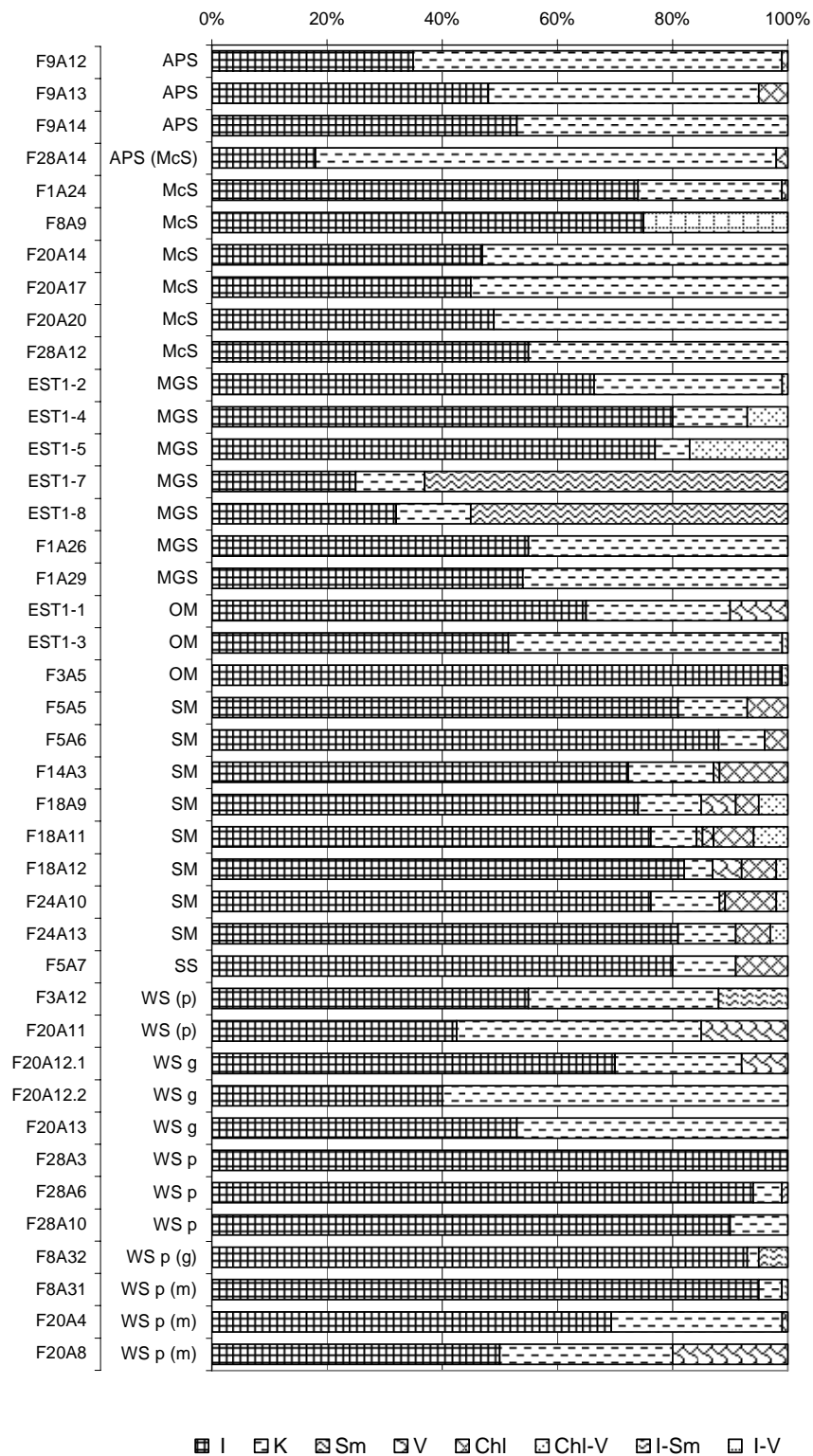


Figura 4.78 – Resultados da análise de XRD de lâminas sedimentadas – percentagem de minerais.
 Nota: as amostras estão na primeira coluna e as litofácies na segunda.

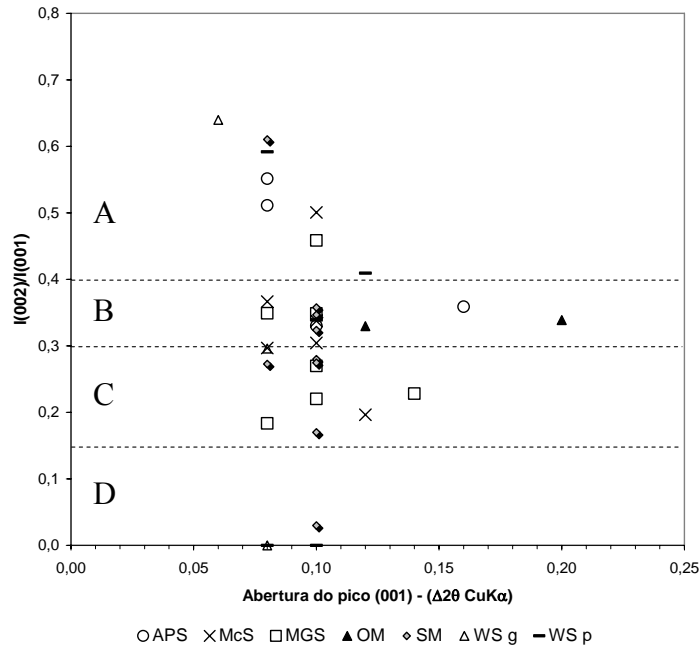


Figura 4.79 – Projecção da razão $I(002)/I(001)$ versus abertura do pico de 10 \AA , nas ilites analisadas (adaptado de Thorez, 1973, citado em Gomes, 1988; e de Kübler & Jaboyedoff, 2000).

Nota: A – moscovite, B – phengite; C – moscovite-biotite, D – biotite.

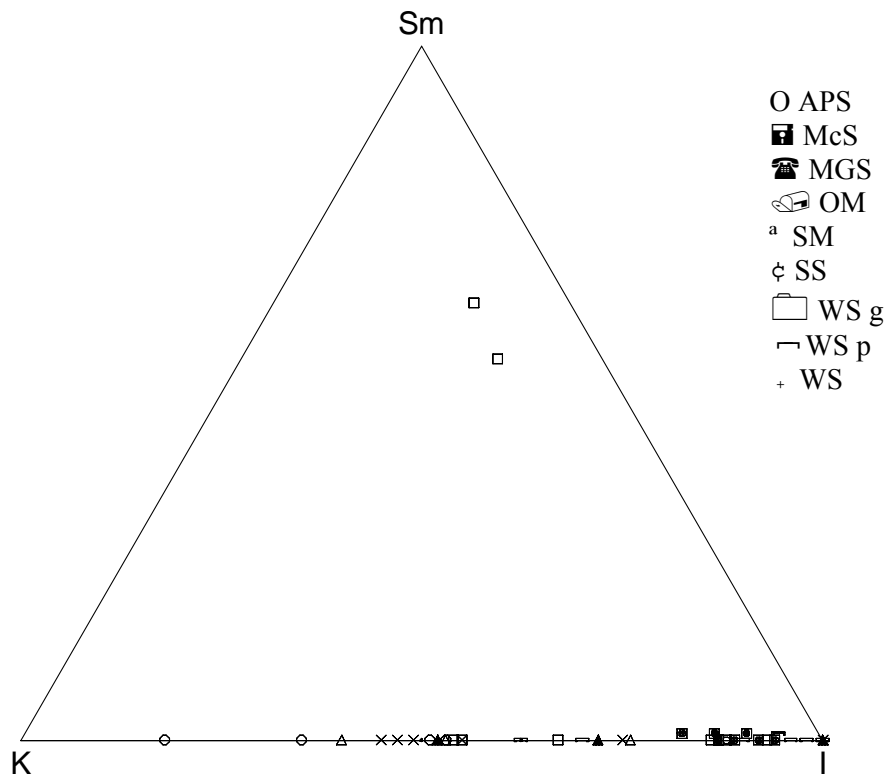


Figura 4.80 – Diagrama triangular Sm-K-I da fracção inferior a $2 \mu\text{m}$ por litofácies.

Sm – esmectite; K – caulinite; I – ilite.

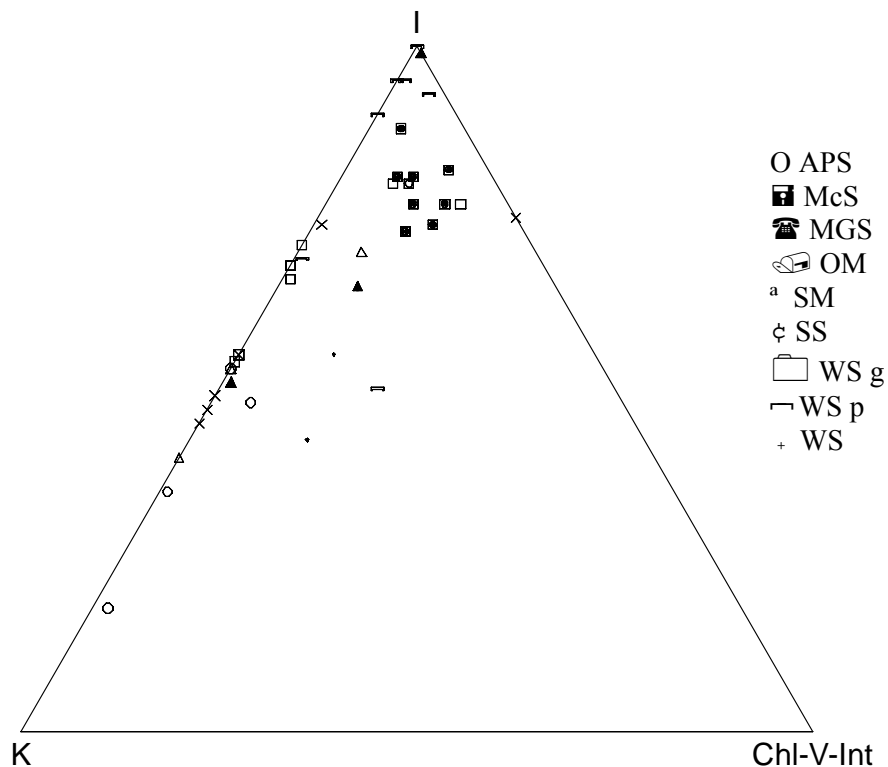


Figura 4.81 – Diagrama triangular I-K-Chl-V-Int da fração inferior a 2 µm por litofácies.
I – ilite; K – caulinite; Chl-V-Int – clorite, vermiculite ou interestratificados.

Litofácies MGS e RC

Nas amostras do topo da litofácies MGS predomina a ilite sobre a caulinite. Os restantes minerais argilosos são interestratificados regulares clorite-vermiculite (corrensite), que foram identificados graças à posição do pico de 14,4 Å no difractograma natural, que se mantêm no difractograma glicolado e que se reduz para cerca de 12 Å quando a amostra é aquecida a 550 °C. Este dado também é verificado pelo pico de 2,59 Å (difractograma 34-39° 2θ) e provavelmente por um pico que coincide com o de 1,52-1,53 Å (difractograma 59-63° 2θ). O último pico sugere ainda a possibilidade de existência de esmectites trioctaédricas (saponite ou hectorite). A quantidade de quartzo é mínima na fração inferior a 2 µm.

Nas amostras da base da litofácies MGS a situação é diferente. O mineral dominante é a esmectite, sendo provavelmente montmorilonite, devido aos resultados do difractograma (59-63° 2θ). Os restantes minerais encontrados são a ilite e a caulinite.

A composição mineralógica destas amostras é muito semelhante à da litofácies RC, que lhe é subjacente. Na litofácies RC existe, relativamente à litofácies MGS, uma maior quantidade de caulinite e uma menor quantidade de esmectite, para além da alteração da cor que pode indicar a existência de óxidos de Fe e Al. Esta afinidade pode sugerir uma

origem idêntica ou uma alteração do clima, no sentido da diminuição da intensidade da meteorização com o tempo.

As ilites estudadas de amostras retiradas do topo da litofácies MGS têm composições projectadas nas zonas moscovite-biotite a moscovite, valores de I.C. (abertura do pico de 10 Å) reduzidos e razões I(002)/I(001) progressivamente menores para o topo da unidade. A base da litofácies MGS apresenta valores de I.C. mais elevados, embora as razões I(002)/I(001) sejam praticamente idênticas (zona da moscovite-biotite), o que corrobora a hipótese já mencionada da existência de condições meteorológicas que potenciavam uma meteorização mais intensa na base desta unidade.

A cristalinidade da esmectite destes sedimentos é boa, com valores de $V/p > 0$ (segundo Biscaye, 1965; citado em Thorez, 1976) e a sua existência sugere condições climáticas mais quentes e húmidas, com estações bem marcadas e contrastantes (Gomes, 1988).

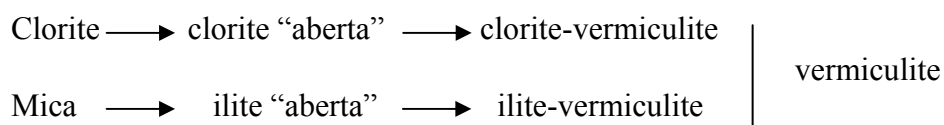
Contemporaneamente à formação dos sedimentos do topo da unidade MGS as condições climáticas ter-se-iam provavelmente alterado, o que é sugerido pela existência de interstratificados sem esmectites, pelos valores inferiores de I.C. da ilite do topo da unidade e pelas menores quantidades de minerais argilosos neoformados.

Litofácies APS e McS

As fracções finas dos sedimentos das litofácies APS e McS contêm sobretudo caulinites (K) e ilites (I), em proporções variáveis. Esta proporção é geralmente idêntica no caso da litofácies McS e favorável à caulinite na litofácies APS, que se projecta mais perto do vértice K nos diagramas das figuras 4.80 e 4.81. De um modo geral, as amostras destas litofácies apresentam as maiores quantidades de caulinite, só acompanhadas pelas amostras das litofácies RC. Este mineral pode ser herdado dos sedimentos da litofácies RC ou formado a partir da alteração *in situ* de feldspatos.

As ilites existentes são de pico agudo e, na litofácies APS, têm uma razão I(002)/I(001) maior que 0,4 (ilites aluminosas com composição na zona da moscovite), enquanto que, a maioria das ilites da litofácies McS têm composições correspondentes à zona da phengite (figura 4.79). Nestas litofácies parece haver uma ligeira tendência para o aumento da razão I(002)/I(001) e da abertura do pico de 10 Å, o que indica um carácter mais aluminoso e ligeiramente mais alterado das ilites, no sentido da base.

Acessoriamente, existem clorites (Chl) na litofácies APS e vermiculites (V) ou interstratificados com vermiculites (ilite/vermiculite ou I/V) na litofácies McS (figura 4.78). Este facto pode indicar uma evolução da meteorização química da litofácies McS, em relação à litofácies APS que lhe está subjacente, em que as ilites abertas passam a ilites interstratificadas, segundo a sequência apresentada por Chamley (1989):



A clorite existente na litofácies APS será provavelmente herdada dos sedimentos do topo da litofácies MGS. A vermiculite e os interestratificados da litofácies McS poderão ser secundários, resultando do processo de alteração de micas e/ou clorites, em condições de clima húmido, temperado a frio (Chamley, 1989).

Segundo Chamley (1989), em climas temperados a meteorização origina geralmente associações de minerais argilosos dominadas por interestratificados irregulares ou esmectites pouco cristalinas, sendo os interestratificados de vermiculite mais abundantes em zonas de clima temperado a frio e as esmectites pouco cristalinas mais abundantes em zonas húmidas temperadas e quentes. Assim pensa-se que os interestratificados de vermiculite indicarão condições de temperatura relativamente baixas.

A possibilidade da existência de calcite, em amostras da litofácies McS no furo F28, foi reforçada pela existência de efervescência muito fraca com ácido clorídrico. A sua presença poderá dever-se a precipitação de carbonatos, a partir de soluções com pH neutro a alcalino, ou à existência de pequenas conchas de moluscos de água doce.

Litofácies WS g

As amostras da litofácies WS g têm resultados muito próximos dos obtidos nos sedimentos das litofácies McS e APS, apresentando uma fracção fina com maior contribuição da ilite, mas com quantidades semelhantes de caulinite e com alguma vermiculite.

A ilite encontrada nestes sedimentos apresenta pico agudo e composição aluminosa, projectada na zona da moscovite (figura 4.79).

A fracção inferior a 63 µm contém quartzo e feldspatos alcalinos, quantidades elevadas caulinite e ilite.

As condições de drenagem desta zona são bastante boas e a influência de processos pedológicos é muito limitada, pelo que o cortejo de minerais existentes deve reproduzir os minerais que existem nas zonas de alimentação. A caulinite e a ilite terão origem provável nos sedimentos das litofácies APS e McS. As vermiculites podem ser herdadas, resultantes da alteração de biotites ou clorites pré-existentes ou ainda formadas a partir da evolução de interestratificados clorite-vermiculite de sedimentos subjacentes, nomeadamente do topo da litofácies MGS.

Litofácies WS p e WS

A fracção inferior a 2 µm das amostras da litofácies WS p é dominada claramente pela ilite e secundada pela caulinite.

As ilites encontradas na litofácies WS p projectam-se na zona da moscovite e têm picos agudos, mas em que os valores da abertura são ligeiramente maiores nos horizontes pedológicos mais evoluídos.

Estas amostras podem conter ainda quantidades variáveis de vermiculite, no caso do furo F20, e quantidades reduzidas de esmectites ou interestratificados ilite-esmectite, sobretudo nas amostras dos furos F8 e F28. A vermiculite pode ter origem em sedimentos locais (WS g), enquanto que, a existência de ilites mais abertas e interestratificadas com esmectite nos furos F3, F8 e F28 podem indicar uma possível origem ou concentração por processos pedológicos.

Existe ainda uma grande contribuição de formas mais ou menos degradadas de minerais herdados e, quando se analisa a fracção inferior a 63 µm, verifica-se que esta contém quantidades elevadas de quartzo, plagioclases e feldspatos alcalinos, sendo as percentagens de minerais argilosos muito reduzidas.

Esta associação de minerais é típica de solos formados em climas frios e húmidos de áreas bem drenadas e florestadas, em que o húmus tende a acumular-se na parte superior do perfil pedológico. Estas condições criam ambientes com pH baixo (geralmente menor que 5) e a formação de complexos organo-minerais. O processo de alteração mais activo é a acidólise, dando origem a solos escuros, preto-acastanhados – chamados podzóis. Nestes ambientes a remoção de bases é muito intensa, destruindo significativamente a rocha-mãe. Um dos iões que é frequentemente lixiviado nestas circunstâncias é o Al, que geralmente é removido, e o Si que é menos móvel e pode precipitar como sílica secundária (opala ou cristobalite) (Chamley, 1989).

As argilas de paleossolos podzólicos (que constituem a litofácies WS p) são essencialmente formas degradadas de minerais herdados. Ilite alterada, vermiculite pouco cristalizada ou interestratificados de vermiculite e esmectite são frequentemente identificados; caulinite, gibsite e quartzo são encontrados geralmente nos níveis superiores e podem também aparecer sílica secundária e complexos organo-minerais amorfos (Chamley, 1989).

A podzolização não se restringe a zonas frias e húmidas. Condições de boa drenagem e substratos siliciosos favorecem a alteração química principal neste tipo de solos podendo existir em zonas temperadas e até mais quentes (Chamley, 1989). Muitas zonas dunares florestadas dão origem a solos deste tipo, como por exemplo, a zona de Landes (França) (Chamley, 1989).

Litofácies OM

Os sedimentos de ambientes lacustres (OM) apresentam fracções argilosas dominadas pela ilite. As amostras do furo EST1 apresentam também uma grande contribuição de caulinite, mas na amostra do furo F3 não foi detectada caulinite, nem na fracção inferior a 2 μm nem na fracção inferior a 63 μm . Acessoriamente, existem vermiculites ou interestratificados ilite-esmectite.

As ilites destes sedimentos têm uma composição que corresponde à zona da phengite e apresentam picos de 10 Å com aberturas superiores a $0,1^\circ 2\theta$, sendo geralmente maiores do que nos restantes sedimentos analisados. Uma vez que a ilite (mica) é do tipo 2M1, apresenta picos de 10 Å ligeiramente mais abertos e está presente em sedimentos superficiais, ela poderá ter uma origem de origem detrítica.

Os minerais argilosos para além da ilite e da caulinite (vermiculites ou interestratificados ilite-esmectite), que podem estar mais relacionados com processos de neoformação, apresentam quantidades reduzidas.

O quartzo é o mineral não argiloso preponderante na fracção inferior a 2 μm , embora também existam feldspatos alcalinos. Do mesmo modo, na fracção inferior a 63 μm , o quartzo, os feldspatos alcalinos e as plagioclases dominam, existindo ainda alguma pirite no topo da litofácies. Este último mineral indica condições redutoras do meio ambiente, o que é corroborado pela existência de matéria orgânica.

Estas observações estão de acordo com o facto das argilas neste tipo de ambientes lacustres ter uma origem essencialmente detrítica, sendo as argilas herdadas dos solos e sedimentos da bacia de alimentação de lagos e pântanos (Gomes, 1988). Neste tipo de sedimentos, as espécies argilosas dominantes são ilites e esmectites, geralmente acompanhadas por quartzo. Clorite, caulinite, interestratificados e paligorskite, estão geralmente presentes, dependendo do local (Chamley, 1989).

Numerosos exemplos europeus indicam uma relação estreita entre sedimentos lacustres e argilas detríticas. O Lago Mauvoisin contém maioritariamente ilite e clorite, com origem em rochas locais, em conjunto com quartzo e feldspatos. Alguma caulinite e sepiolite foram também identificadas, com origem provável em materiais alterados e em preenchimento de fracturas (Chamley, 1989).

Litofácies SM

Nos sedimentos de ambiente lagunar (SM) a associação de minerais argilosos é dominada pela ilite. Existe acessoriamente caulinite, aumentando para o topo; clorite, vermiculite e interestratificados clorite-vermiculite e vestígios de esmectite nos níveis mais finos. A associação é praticamente idêntica em todos os furos, sendo única exceção o furo F5 onde não foram detectados interestratificados nem esmectite.

A ilite existente nestas amostras, que diminui de quantidade para o topo da unidade e aumenta nos sedimentos mais grosseiros, tem pico agudo ($0,08$ a $0,10^\circ 2\theta$) e composição geralmente projectada na zona da phengite.

A fracção inferior a $2 \mu\text{m}$ contém algum quartzo e feldspatos, mas a presença de minerais não argilosos na fracção inferior a $63 \mu\text{m}$ é mais variada, sendo constituída por quartzo, plagioclases, feldspatos alcalinos, calcite, pirite e gesso. A associação destes três últimos minerais indica meios redutores e ligeiramente alcalinos, com salinidade que poderá ser elevada.

Estes dados estão de acordo com o que Gomes (1988) refere sobre ambientes lagunares, em que a fracção argilosa reflecte a importância relativa das influências marinha e fluvial, segundo a composição do meio, sendo mais ou menos detrítica ou mais ou menos química. O mineral argiloso detrítico dominante é a ilite, mas podem ainda ocorrer clorites, esmectites e interestratificados e, em condições climáticas mais quentes, a evaporação permite ainda a precipitação de sais e a participação na fracção argilosa de minerais como o talco, a corrensite, a paligorskite e a sepiolite (Gomes, 1988).

4.5 Algumas considerações sobre as unidades sedimentares

Após o estudo da granulometria e da mineralogia das unidades sedimentares e tendo em conta o enquadramento geológico da área estudada, importa fazer a correspondência entre as unidades sedimentares estudadas e as unidades litoestratigráficas regionais.

4.5.1 Litofácies RC e MGS

No sector Oriental, a unidade sedimentar designada por RC apresenta características que a identificam com os Arenitos e Argilas de Viso (Soares *et al.*, 1982; Reis, 1983; Barbosa *et al.*, 1988), equivalentes dos Arenitos e Argilas de Taveiro (Rocha *et al.*, 1981; Soares *et al.*, 1982) e das Argilas de Vagos (Barbosa, 1981). Segundo Soares *et al.* (1982) “...a correlação admitida entre as Argilas de Vagos e Arenitos e Argilas de Aveiro e entre estas e as Areias e Argilas de Taveiro, fundamenta-se não só na posição que ocupam na coluna lítica como, e principalmente, no conteúdo paleontológico de horizontes posicionados para o terço superior e que, segundo Telles Antunes & Pais (1979), favorece uma idade do Campaniano superior – Maastrichtiano...”. Esta é a mais recente unidade cretácica encontrada na área de estudo, correspondendo à megassequência deposicional SLD5 da Etapa V (Cunha, 1992).

Os sedimentos das litofácies silto-argilosas, presentes nos Arenitos e Argilas de Taveiro, apresentam cor vermelha a esverdeada, podendo apresentar laminação plana. Apresentam má calibragem, granulometrias médias que rondam os 5,25-7 ϕ , nas litofácies Sl1 e Sl2 de Reis (1983), e uma fracção arenosa diminuta. Mineralogicamente apresentam igualmente o quartzo como o mineral dominante sobre os feldspatos e uma associação argilosa do tipo KIE (Reis, 1983) com quantidades importantes de esmectite, ilite e caulinite. Segundo este autor, a origem das esmectites encontradas estaria sobretudo relacionada com a neoformação destes minerais em solos e sedimentos superficiais de regiões mediterrânicas com pluviosidades moderadas (Paquet, 1970; citado em Reis, 1983), tendo para tal concorrido as condições de confinamento geoquímico, com consequente saturação em catiões básicos e sílica, em condições de drenagem deficiente. A existência da cor vermelha nestes sedimentos estaria, segundo Reis (1983), condicionada “... inicialmente a uma sedimentação com escassez de matéria orgânica, em condições de forte contraste de pluviometria sazonal e posteriormente, a um conjunto de mecanismos diagenéticos favoráveis à persistência de ferro livre na forma oxidada...”.

Sobre a litofácies RC encontra-se frequentemente, no sector Oriental, a litofácies MGS. Esta litofácies deve corresponder a níveis silto-argilosos ou arenosos dos Arenitos e Argilas de Taveiro, sendo observada sob os Arenitos Conglomeráticos de Queridas, perto da localidade com o mesmo nome.

Encontra-se várias vezes referido que existem níveis de siltitos argilosos em que domina a cor verde acinzentada clara (litofácies Sl1 de Reis, 1983) ou sedimentos arenosos de cor cinzenta-esverdeada clara (litofácies Sh2 de Reis, 1983). Barbosa *et al.* (1988) refere ainda que as fácies pelíticas também podem ter tom esverdeado e estrutura laminada e Barbosa (1981) refere que a unidade das Argilas de Vagos é constituída “...por argilas de cores alternadamente esverdeadas e avermelhadas... e que na sedimentogénese das argilas esverdeadas prevalecem condições redutoras, dada a presença de pirite...”. Estas diferenças de cor podem reflectir a alternância de condições oxidantes e redutores.

São ainda frequentes as referências a descobertas de fósseis vegetais nesta unidade dos Arenitos e Argilas de Viso ou nos seus equivalentes (Choffat, 1900; Lima, 1900; Kedves & Pittau, 1979; Kedves & Hegedus, 1975; Carrington da Costa, 1937; citados em Barbosa, 1981 e Kedves *et al.*, 1967, 1975, 1979 e 1980; Batten & Morrison, 1987; citados em Barbosa *et al.*, 1988), tal como aconteceu na amostra EST1-6.

Um aspecto interessante da litofácies MGS é-nos dado pela sua evolução em termos de granulometria e, sobretudo, em termos da mineralogia das fracções inferiores a 63 μm e a 2 μm . Da análise das figuras 4.82 e 4.83 parecem existir dois domínios sedimentares diferentes: o da base da camada (MGS_a) que engloba as amostras EST1-7 e EST1-8 e o do topo da camada (MGS_b) que abrange as amostras EST1-5, EST1-4 e EST1-2 e as amostras F1A26 e F1A29 do furo F1. Na separação entre eles, a oriente, encontra-se a amostra EST1-6, rica em matéria orgânica, com fósseis vegetais e com pirite.

As principais diferenças entre estes dois domínios relacionam-se com a granulometria, que é mais grosseira na base (areia média a grosseira passando superiormente a uma areia muito fina a fina). A percentagem da fracção silto-argilosa é semelhante nos dois domínios, sendo no entanto muito maior imediatamente após a transição (56%, na amostra EST1-5).

Na análise mineralógica da fracção inferior a 63 μm existem diferenças nas proporções de minerais (*vide* capítulo 4.4.1):

- na razão $Qz'/(Pg'+FK')$ que diminui para valores próximos de 1;
- no quociente OMA'/I' que diminui para valores próximos de zero;
- na relação $I'/(Sm'+K')$ que aumenta ligeiramente.

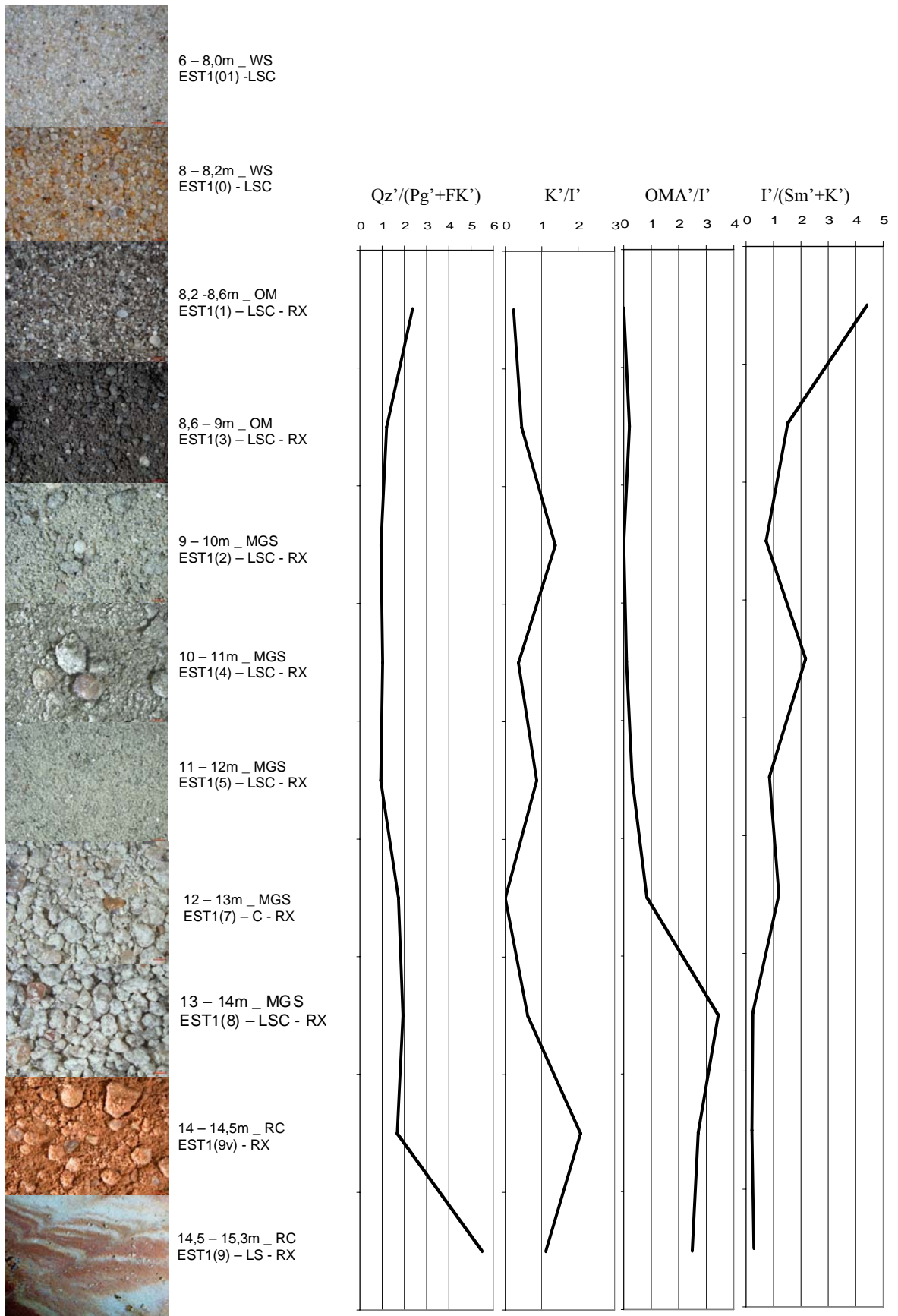


Figura 4.82 – Proporções de minerais, presentes na fracção inferior a 63 μ m, da sondagem EST1.

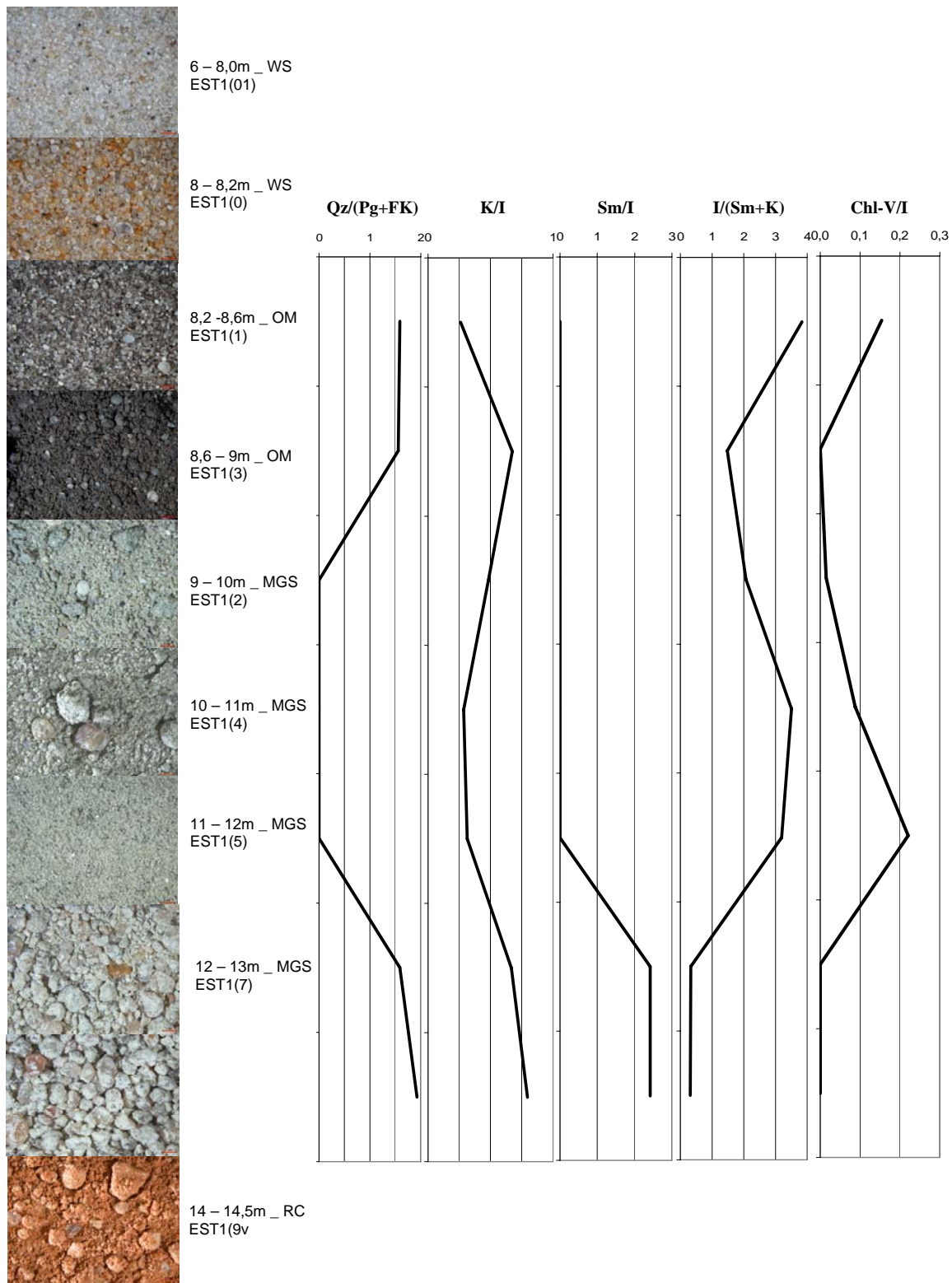


Figura 4.83 – Relações entre picos de minerais, da fracção inferior a 2 µm, na sondagem EST1.

Nota: Sm/I - intensidades dos picos 17/10 Å, no diagrama glicolado; K/I - caulinite (+clorite) sobre ilite, intensidades dos picos 7/10Å no diagrama natural; I/(Sm+K) - ilite sobre outros minerais argilosos, intensidades dos picos 10 Å /(7 Å +17 Å) no diagrama glicolado (Chamley, 1989). Chl-V/I, razão entre as percentagens de interestratificados Chl-V e de ilite. Qz/(Pg+FK), relação entre quartzo e feldspatos, intensidades dos picos 4,26 Å /(3,25 Å + 3,19 Å).

No estudo da fracção inferior a 2 μm verifica-se uma mudança mais vincada do que na fracção anterior, com os índices Sm/I e Qz/(Pg+FK) a atingirem o valor zero, a diminuição do índice K/I e o aumento dos índices I/(Sm+K) e Chl-V/I, a partir da amostra EST1-5.

A existência de clorite, vermiculite ou interestratificados, sobretudo a SE na sondagem EST1, o aumento brusco da ilite e o desaparecimento da esmectite revelam uma alteração relativamente rápida da mineralogia dos sedimentos, sobretudo dos mais finos. Verifica-se ainda uma acentuada diminuição do quartzo e dos feldspatos alcalinos, tanto nos sedimentos da fracção inferior a 63 μm como nos da fracção inferior a 2 μm .

Esta alteração dá-se no sentido de favorecer os minerais provenientes da alteração física em detrimento daqueles em que a alteração química é necessária para a sua formação. Uma descida da temperatura média poderia fazer com que as associações ricas em esmectite dessem lugar a outras com ilites, vermiculites ou interestratificados (Gomes, 1988; Rocha, 1993), mas esta mudança deveria ser gradual.

Uma origem detrítica da clorite e da ilite seria o mais provável, reflectindo uma alteração das áreas de fornecimento de sedimentos, que pode ter acontecido devido a um rejuvenescimento tectónico ou a uma reorganização estrutural das áreas adjacentes, a mudanças do nível do mar, a processos diagenéticos ou outros. A alteração das áreas de origem de sedimentos seria no sentido de privilegiar zonas com abundâncias reduzidas de quartzo e feldspatos alcalinos e abundâncias elevadas de ilites ou micas, clorites, vermiculites ou interestratificados em condições de meteorização física mais intensa, embora acompanhada de meteorização química, em menor grau.

A alteração brusca da mineralogia da fracção silto-argilosa pode também materializar uma descontinuidade na sedimentação, devido a alterações tectónicas e/ou eustáticas.

Facto semelhante, mas mais gradual, relata Reis (1983) na evolução vertical do cortejo argiloso nas sequências do grupo III, localizadas na zona peridiapírica, em Souto da Carpalhosa. Nestes sedimentos não existe caulinite, e a quantidade de clorite vai aumentando para o topo da sequência à custa da diminuição da esmectite. O autor justifica esta ocorrência devido a modificações da alimentação detrítica, ou a instabilização mineralógica no ambiente sedimentar e/ou diagenético, podendo verificar-se a transformação progressiva da esmectite em clorite, por agradação, devido ao aumento das concentrações de Mg^{2+} .

Rocha (1993) estudando as Argilas de Aveiro verificou que o predomínio da ilite nos sedimentos aumenta para oeste, registando-se uma tendência oposta para a caulinite e a esmectite. O autor atribui este facto a uma "...intensa e rápida alteração na(s) área(s)-fonte, tectonicamente activas, rejuvenescidas, com mudanças no nível do mar e reorganização das margens continentais, sob condições climáticas menos quentes e pluviosas que as ocorrentes nos períodos precedentes...", podendo igualmente ser devida a uma "...diagénesse precoce, com desenvolvimento de fenómenos de "ilitização" motivados pela acção das águas marinhas, favorecida por altos valores de K^+ ...".

Situações semelhantes estão também documentadas no Atlântico Sul (Roberts, 1987; citado em Chamley, 1989). Do Campaniano inferior ao Paleocénico inferior, a abundância de minerais do grupo da ilite e da caulinite aumenta nas bacias setentrionais do Atlântico Sul, relacionadas com fases de tectónica compressiva e com a fase final da abertura do Oceano Atlântico. Em contraste, as bacias meridionais continuam a receber quantidades elevadas de esmectite, paligorskite e sepiolite, indicando condições mais estáveis nas áreas de origem. Após o Paleocénico inferior esmectites, paligorskite e sepiolite encontram-se por todo o Atlântico Sul, reflectindo o clima quente e o período de acalmia tectónica (Roberts, 1987; citado em Chamley, 1989).

O topo da litofácies, MGS_b, corresponde na zona em estudo ao limite superior das unidades cretácicas encontradas, seguindo-se-lhe uma lacuna correspondente a um período erosivo. Constitui o limite inferior das unidades hidrogeológicas estudadas, definindo um substrato de permeabilidade reduzida.

4.5.2 Litofácies APS

Os sedimentos da litofácies APS serão provavelmente herdados dos Arenitos Conglomeráticos de Queridas e/ou as unidades quartzareníticas a arcossareníticas cretácicas, que afloram a sul e a oriente da área em estudo, e em especial os Arenitos do Carrascal (equivalente da Formação de Figueira da Foz; Dinis, 1999), os Grés do Furadouro e os Grés de Oiã, poderão ter fornecido os sedimentos que originaram esta litofácies.

Quando comparamos a descrição da base do Membro I da Formação do Bom Sucesso (Reis, 1983) com a descrição da litofácies APS encontramos vários pontos em comum:

- a abundância de feldspatos;
- o cortejo argiloso, com predomínio da caulinite sobre a ilite, sobretudo na base;
- a quantidade reduzida de fracção silto-argilosa;
- a cor geralmente esbranquiçada ou verde acinzentada clara;
- clastos de quartzito, quartzo, feldspatos (geralmente microclina), intraclastos pelíticos e fragmentos de xistos e de liditos.

No entanto, embora a litofácies APS se encontre muitas vezes sobre os Arenitos e Argilas do Viso, existem dois aspectos ligeiramente diferentes: a abundância de moscovite e, em menor grau, de biotite, a abundância de caulinite e a existência de clorite e vermiculite. Para além disso, existe ainda a relação desta litofácies com a litofácies McS, que não se encontra descrita na Formação do Bom Sucesso.

Quartzitos, liditos granitóides e xistos existem na fracção mais grosseira da formação de Figueira da Foz, seguidos pelo quartzo branco (com nítida origem filoniana) e pelos feldspatos. Existem ainda, na fracção arenosa, o quartzo hialino; as micas (especialmente moscovite) com percentagens próximas de 10%; os feldspatos alcalinos (em especial

microclina, mas também ortoclase) e a albite, variando desde frescos a alterados e podendo atingir os 40 a 60% (Soares, 1966; Diniz, 1999). Na fracção argilosa o mineral mais comum é a caulinite, chegando a ser exclusiva, e a ilite. Podem também estar presentes esmectites, interestratificados ilite-vermiculite e clorite (Dinis, 1999). Foram ainda identificados os minerais seguintes: calcite e dolomite, pirite e/ou marcassite, em zonas mais ricas em vegetais, e fracções reduzidas de gesso, anidrite e outros sulfatos (Dinis, 1999).

A percentagem relativa da fracção silto-argilosa é um pouco menor do que a existente nos sedimentos cretácicos referidos, onde pode atingir os 35% (Dinis, 1999), mas a mineralogia é análoga se juntarmos as contribuições detríticas dos Arenitos do Carrascal (Formação da Figueira da Foz) aos Arenitos Conglomeráticos de Queridas, (Formação do Bom Sucesso). A esfericidade e o arredondamento dos clastos são semelhantes, para fracções granulométricas idênticas, sendo os clastos mais grosseiros geralmente sub-rolados e as areias frequentemente subangulosas a angulosas (Dinis, 1999). No entanto, os feldspatos são geralmente frescos, assim como os clastos líticos de granitóides e xistos (Dinis, 1999).

A deposição dos sedimentos da litofácies APS pode ter ocorrido em qualquer altura, do Paleogénico ao Quaternário, não tendo sido possível a sua datação precisa.

4.5.3 Litofácies McS

A litofácies McS terá sido depositada em condições de reduzido hidrodinamismo, provavelmente em ambientes de águas pouco profundas, aplanados e calmos, com deficientes condições de drenagem.

São sedimentos constituídos por areias siltosas, mineralogicamente semelhantes aos da(s) litofácies APS (e MGS), mas em relação aos quais apresenta um enriquecimento em micas e feldspatos alcalinos. Encontram-se frequentemente sobrejacentes aos sedimentos da litofácies APS, mas também foram encontrados sobre os sedimentos MGS (F1 e provavelmente F8).

Sedimentos muito semelhantes são visíveis na zona de Mira (Sofia Tereso, comunicação oral) sendo igualmente referida a existência de sedimentos micáceos nas Areias de Cantanhede (Barbosa *et al.*, 1988) e nos níveis Q² da folha de Vagos (Barbosa, 1981). É-lhes atribuída uma idade siciliana (Barbosa *et al.*, 1988).

Nas áreas de Gândara, Vilamar e Ramalheiro, da folha de Vagos, os sedimentos Q² (dos 45 aos 70 m) podem ser finos, levemente argilosos (menos de 10%) e bastante micáceos, sendo conhecidos localmente pelo nome de arazil (Barbosa, 1981). Aproximadamente para o mesmo intervalo de cotas, a notícia explicativa da folha 19-A de Cantanhede refere: “*observam-se nas proximidades do limite norte do mapa, em continuação com o nível Q² da folha de Vagos, arenitos finos, esbranquiçados bem*

calibrados levemente argilosos e micáceos...a fracção argilosa (inferior a 5%) apresenta associação mineralógica em termos de illite, clorite e caulinite” (Barbosa et al., 1988).

Rocha (1993) refere também a existência de sedimentos detríticos muito micáceos, depositados durante o Plistocénico, na Unidade III da Bacia Sedimentar de Aveiro. Os minerais argilosos mais comuns nestes sedimentos são illite, caulinite ou esmectite (que cresce para NNW e decresce para NE), clorite e em menor quantidade vermiculite e interestratificados. Estes sedimentos são ainda muito ricos em feldspatos, especialmente plagioclases (Rocha, 1993).

4.5.4 Litofácies WS, WS p, WS m e WS g

O grupo de litofácies com a designação WS é constituído pelos sedimentos mais recentes amostrados nos sectores Oriental, Central e Ocidental. Apresentam características que os relacionam com um transporte eólico dominante (WS), nomeadamente uma boa calibração e a quase ausência de micas ou minerais argilosos. No entanto, alguns níveis revelam ainda, em menor grau, vestígios de agentes de transporte hídrico (WS g), sendo muitas vezes evidente a existência de processos pedogenéticos de podzolização e hidromorfismo, provavelmente sob clima frio a temperado e húmido, que diferenciam as litofácies WS p e WS m.

Estes sedimentos definem pelo menos 3 gerações de dunas, separadas por superfícies de paleorrelevos que foram identificadas a partir do registo de geo-radar efectuado a sul da Lagoa das Braças (figura 3.37 e anexo 3.4). Na sua base estão muitas vezes sedimentos com influência fluvial e eólica (WS g), seguidos geralmente de sedimentos de origem eólica WS do grupo TSC 1.1, mais antigos, e de sedimentos da litofácies WS do grupo TSC 1.2, mais recentes.

Sendo definidas com base nos resultados da campanha de sondagens efectuadas, estas litofácies têm uma correspondência difícil com as unidades litoestratigráficas, anteriormente cartografadas. No entanto, existem alguns aspectos interessantes que importa considerar.

A litofácies WS g apresenta muitas semelhanças com a unidade cartografada como Areias Eólicas (A) (Barbosa et al., 1988), que é formada por “*areias finas, geralmente bem calibradas, que apresentam por vezes certa imaturidade ou heterogeneidade, com seixo pequeno subanguloso a anguloso, disperso*”. Estes sedimentos (Areia Eólicas - A) possuem fracção silto-argilosa inferior a 10% com cerca de 1% de fracção argilosa constituída por caulinite e illite. Admite-se a sua origem secundária, quer por lavagem ou escorrência, quer por deflação (Barbosa et al., 1988).

Os resultados do estudo agora efectuado (litofácies WS g) revelam populações granulométrica e mineralogicamente semelhantes, com os ajustes devidos à utilização de métodos de análise diferente. As análises polínicas corroboram ainda a influência, local ou temporal, de condições húmidas (Castilho, Danielsen & Dinis, 2007).

O conjunto das litofácies WS m e WS p pode ser identificável com os níveis de solos referidos nas Areias da Gândara (*s. s.*) de Gaspar Soares de Carvalho (1954), na área envolvente à zona estudada. Este autor considera como areias eólicas da Gândara os níveis de areias hidro-eólicas (Ae) e as areias de dunas de edificios mal conservados (dd) (Barbosa *et al.*, 1988). As primeiras poderiam ter sido depositadas em meio subaquático, mas com provável transporte eólico, e constituiriam os solos ferro-húmicos ou podzólicos, conhecidos localmente como sorraipa (Barbosa *et al.*, 1988). Segundo Carvalho (1954) “...a existência deste solo facilmente reconhecível ...permite estabelecer a separação entre as areias eólicas da Gândara (com podzol) e as areias das dunas recentes (sem podzol ou com podzol mal definido) que se observam no limite ocidental da Gândara...”.

Carvalho (1983) efectua a separação granulométrica das areias de dunas holocénicas das areias eólicas quaternárias (Areias da Gândara), a norte da Serra da Boa Viagem, através de diagramas bivariados desvio-padrão (calibração) *versus* média ou desvio-padrão *versus* percentagem da fracção silto-argilosa, sendo estes parâmetros estatísticos determinados através do Método dos Momentos (Friedman, 1962; citado em Carvalho, 1983).

Comparando os diagramas bivariados das litofácies WS, WS m e WS p (figura 4.84) com os diagramas bivariados de Carvalho (1983) para as areias da Gândara (figura 4.85), obtêm-se figuras muito semelhantes.

A regressão linear, obtida para as amostras WS m e WS p (figura 4.84), é praticamente idêntica à obtida por Carvalho (1983) (figura 4.85), se tivermos em conta que as técnicas de análise granulométrica usadas foram diferentes e que a difracção de laser tende a subestimar a fracção argilosa relativamente aos métodos de sedimentação que utilizam a lei de Stokes (Konert & Vandenberghe, 1997; Goossens, 2008).

Sedimentos de dunas e de horizontes interdunares húmicos e podzólicos, amostrados em São Pedro de Maceda a noroeste de Portugal (entre Ovar e Espinho), foram também estudados do ponto de vista granulométrico, sendo a sua projecção bivariada (assimetria *versus* desvio-padrão) coincidente com os resultados obtidos para as litofácies WS e WS m ou WS p, respectivamente (figura 4.76) (Granja, de Groot & Costa, 2008).

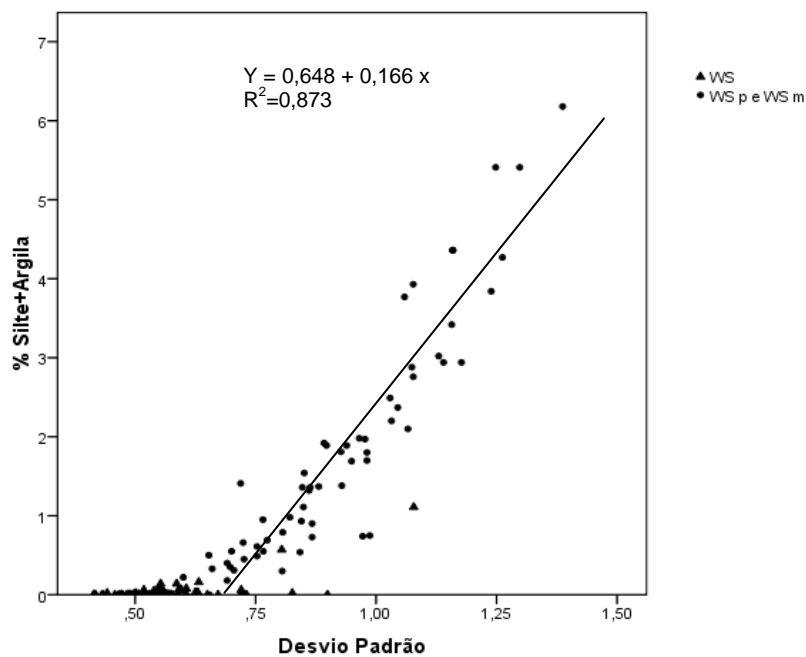


Figura 4.84 – Diagrama bivariado (desvio-padrão - % silto-argilosa) representando as litofácies WS, WS m e WS p. Nota: Equação e valor de R^2 relativos à regressão linear efectuada para as amostras WS m e WS p.

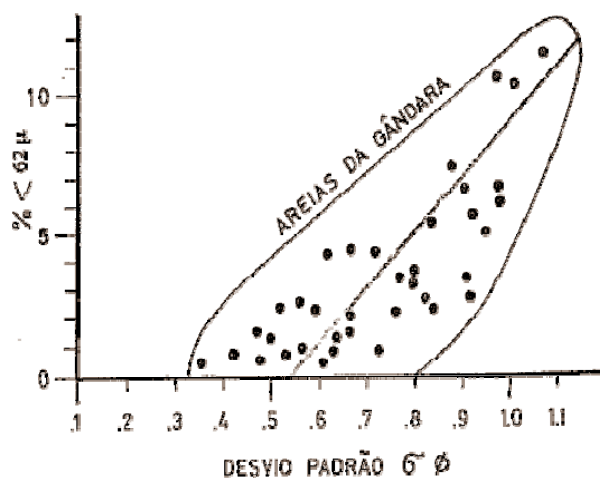


Figura 4.85 – Diagrama de correlação do desvio-padrão e da percentagem de indivíduos finos das Areias da Gândara (Carvalho, 1983).

Os níveis de areias eólicas que sofreram processos pedogenéticos, com podzolização e/ou hidromorfismo, designados neste trabalho pelas litofácies WS p e WS m e redefinidas também pelos grupos TSC 3.2 e 3.1, prolongam-se igualmente para ocidente, nas areias dunares do sector Oriental definido neste trabalho (capítulo 4.1.12). A profundidade a que se intersecta o topo destes horizontes varia gradualmente desde 2 a 3 m a oriente, junto às Lagoas das Braças e da Vela, até 8 a 9 m a ocidente, testemunhando formas de

paleorrelevos. Os valores obtidos para a profundidade dizem respeito ao nível de podzol mais desenvolvido, que parece ser bastante contínuo, e são relativos à superfície topográfica actual, tendo os furos sido efectuados em áreas de interdunares.

Este horizonte de podzol pode ser contemporâneo de um dos podzóis referidos por Carvalho & Granja (2003), Clarke & Rendell (2006) ou Granja, de Groot & Costa (2008) para a região costeira ocidental.

A Formação de Cortegaça, considerada holocénica, inclui um conjunto de camadas de areia e silte, que sugerem a alternância de paleoambientes de praia, eólico, fluvial e de águas calmas (lacustre ou lagunar). No seu topo, um perfil truncado de um paleossolo podzólico forneceu idades que o situam entre 950±80 anos BP a 4255±75 anos BP (Granja & Carvalho, 1992; Granja, 1999; Carvalho & Granja, 2003) ou entre 781 e 933 a 4798 e 4880 anos cal BP, em São Pedro de Maceda (Granja, de Groot & Costa, 2008).

Datações de sedimentos de dunas podzolizadas, com formas mal conservadas e relevos aplanados da planície gandaresa, deram idades de 8150±790 anos BP na região de Ovar e de cerca de 9740±1375 anos BP na zona de Cantanhede (Leitões) (Clarke & Rendell, 2006). As dunas analisadas por estas autoras apresentam níveis de podzol bem desenvolvidos, com espessuras de 1,5 m, sugerindo um longo período de estabilização (Clarke & Rendell, 2006).

A sul da Figueira da Foz existem também referências a sedimentos semelhantes aos da litofácies WS p, tendo sido estudados por Rocha & Bernardes (1997) durante o acompanhamento da instalação de um emissário de efluentes, a sul da Leirosa. Estes autores observaram uma sequência de três gerações de dunas, em que a geração mais antiga encontrada nas zonas interiores, se apresentava alterada e associada a níveis de podzóis, similares aos descritos nas Areias da Gândara.

Estudos mineralógicos de sedimentos semelhantes aos da litofácies WS p revelam igualmente a existência de vermiculite e ilite-vermiculite, geneticamente relacionadas com o desenvolvimento de processos pedogenéticos em meio continental subaéreo de clima temperado e húmido, que possibilita a formação de em solo do tipo podzol (Silva *et al.*, 1997). Por vezes é também referida a existência de esmectites ou interestratificados ilite-esmectite neste tipo de sedimentos (Rocha & Bernardes, 1997). Pereira, em 1989, estudando os podzóis da região de Mira verificou ainda a abundância de minerais expansivos, especialmente nos horizontes eluviais.

Os sedimentos WS m (geralmente do grupo TSC 3.1) estão relacionados provavelmente com horizontes húmicos de áreas interdunares com encharcamento temporário, durante períodos e nos locais em que a superfície freática se encontrava próxima da superfície topográfica. Estes níveis estão geralmente preservados entre níveis de areias eólicas WS ou areias com podzol WS p e podem ser encontrados em diversos locais e profundidades dentro da sequência mais recente, tendo um desenvolvimento horizontal restrito.

Para as areias de dunas holocénicas Carvalho (1983) não obteve qualquer correlação entre o desvio-padrão e a percentagem de finos. O diagrama bivariado obtido por este autor (figura 4.86) é muito semelhante ao apresentado na figura 4.87, efectuado com os resultados das amostras da litofácies WS.

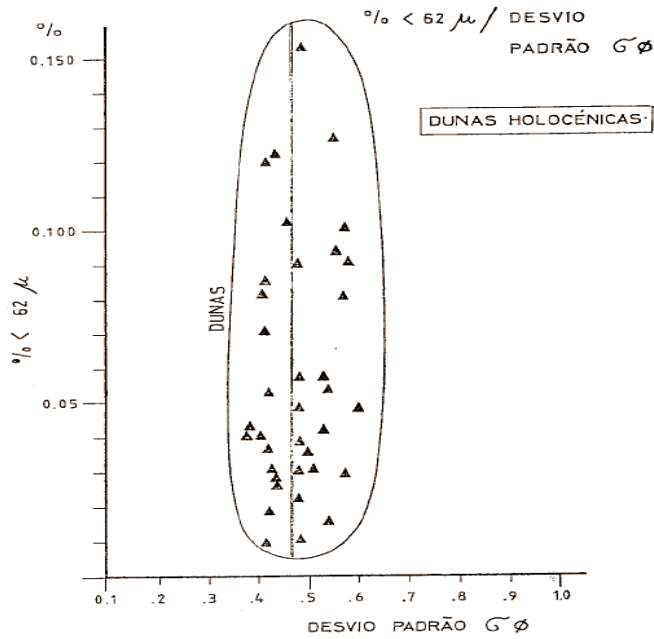


Figura 4.86 – Diagrama de correlação do desvio-padrão e da percentagem de indivíduos finos das areias de dunas holocénicas (Carvalho, 1983).

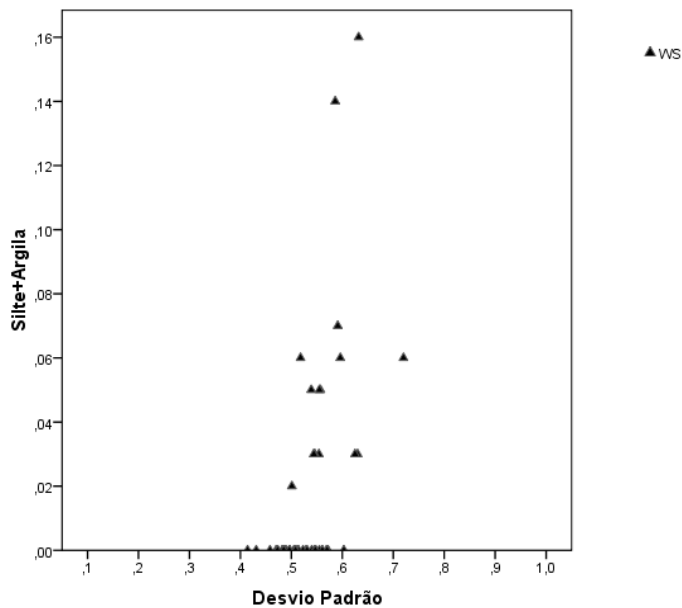


Figura 4.87 – Diagrama bivariado (desvio-padrão - % silto-argilosa) representando a litofácies WS.

As areias WS apresentam dois tipos de sedimentos, ligeiramente diferentes, como resultado da análise de dados efectuada no capítulo 4.3. Um grupo mais superficial e mais recente, definido pelo grupo TSC 1.2 da litofácies WS (WS 1.2), com fragmentos de conchas e clastos progressivamente maiores para ocidente. Um outro grupo encontrado a profundidades maiores, constituído pelas areias WS do grupo TSC 1.1 (WS 1.1) apresenta características muito semelhantes às areias WS g. As cores destes dois grupos são ligeiramente diferentes, mais acinzentadas para o grupo WS 1.1 e mais acastanhadas para o grupo WS 1.2.

Segundo Clarke & Rendell (2006) as areias das dunas mais recentes da zona costeira, datadas do Holocénico superior, foram formadas numa altura em que o mar ocupava um nível muito próximo do actual. As idades obtidas por luminiscência (OSL) para as dunas de Quiaios e Cantanhede correspondem aos séculos XIX e XX (120 ± 25 e 95 ± 10 anos BP, respectivamente), sendo anteriores à plantação da Mata Nacional de Quiaios.

Granja, de Groot & Costa (2008) dataram também por OSL areias de duna sobrejacentes ao nível de paleossolo podzólico da Formação de Cortegaça e obtiveram uma idade de 130 ± 10 anos BP (OSL).

Datações referidas por Clarke & Rendell (2006) indicam que o episódio mais recente de formação dunas identificado em Portugal (AD 1770-1905) não é síncrono do que foi identificado no sul de França em Aquitaine (AD 1480-1750) (Lewis, 1992; Gilbertson *et al.*, 1999; citados em Clarke & Rendell, 2006), enquanto que, Clemmensen, Bjørnsen, Murray & Pedersen (2007) no seu estudo das areias de dunas de Anholt (Dinamarca) propuseram, no entanto, uma idade posterior a AD 1560 para a última fase de actividade eólica nesse local. Fontes históricas referem intensa actividade eólica no século XVII e datações efectuada por estes autores, por OSL, indicam que esta continuou até ao século XIX (Clemmensen *et al.*, 2007).

4.5.5 Litofácies OM

Os sedimentos da litofácies OM são areias siltosas muito ricas em matéria orgânica e cuja análise polínica os relaciona com ambientes lacustres de água doce. A mineralogia da sua fracção silto-argilosa é dominada por minerais detríticos (quartzo e feldspatos), podendo conter ainda pirite. Os minerais argilosos presentes são maioritariamente ilite, secundada por caulinite e acessórias quantidades de vermiculite e interestratificados.

A única referência a sedimentos semelhantes a estes, encontrada na notícia explicativa da folha 19-A (Cantanhede), diz respeito a um pelito micáceo laminado, de cor cinzenta escura a negra, coberto por areias eólicas na Lagoa Negra a cerca de 1 km a sul de Olhos de Fervença (Barbosa *et al.*, 1988). Este pelito foi estudado por Pais & Barbosa (1988) que efectuaram análises polínicas, tendo encontrado palinomorfos que os levaram a propor uma idade do Plistocénico médio.

A sequência geológica na Lagoa Negra é muito semelhante à encontrada na sondagem EST1, sendo referidas as seguintes camadas da base para o topo do perfil (Pais & Barbosa, 1989):

1 – “pelito micáceo laminado, tipo “*shale*” de cor cinzenta escura a negra ...com espessura de mais de 0,70 m”;

2 – “arcosiarenito, micáceo, médio a fino, bem calibrado de cor acinzentada e amarela-alaranjada na base...espessura de 1,5 m”;

3 – “quartzarenito, médio a grosseiro de cor amarelada clara e com pequenos seixos dispersos...espessura 1,0 m”;

4 – “areias eólicas cinzentas escuras podzólicas... espessura 1,5 m”.

Segundo Pais & Barbosa (1989), a análise polínica efectuada aos sedimentos da camada 1, sugere a existência de um clima relativamente quente e húmido e lembra as Jazidas de Vale Farpado (Diniz, 1984; citado em Pais & Barbosa, 1989) e de Pampilhosa do Botão (Diniz, 1972; citado em Pais & Barbosa, 1989) apenas diferindo destas pela ausência de taxodiáceas.

Outros sedimentos, que podem ser comparáveis a estes, são os sedimentos silto-argilosos da fácies FD2 estudados por Diniz & Soares (2007). Estes sedimentos são descritos como lodos de cor cinzenta a cinzenta escura, de espessura métrica, com reduzido conteúdo arenoso e com a presença de lignitos ou de níveis turfosos. Teriam sido depositados a partir de suspensões em pântanos ou lagos pouco profundos, com condições de drenagem reduzida. A presença de ilite dominante e, em menor quantidade, caulinite, vermiculite e interestratificados é concordante com a mineralogia da fracção argilosa dos sedimentos da litofácies OM, assim como o facto da proporção de vermiculite aumentar para o topo.

Nas proximidades de Lagoa Negra, nas folhas 217 e 228 da Carta Topográfica do Instituto Geográfico do Exército (2001), existem designações toponímicas como Lagoa Alta, Lagoa dos Bois e Lagoa Redonda, de locais onde actualmente não existem lagoas, mas

provavelmente e, à semelhança de Lagoa Negra, poderão ter existido no passado. Encontram-se alinhadas numa direcção NNE-SSW e a ordem por que se encontram aqui referidas é de norte para sul.

Nas sondagens efectuadas durante este trabalho foram encontrados sedimentos da litofácies OM na sondagem EST1 muito semelhantes aos da Lagoa Negra, em posições estratigráficas inferiores às obtidas nas sondagens F1, F3 (e F8). O episódio mais recente é contemporâneo da formação das lagoas actuais e é geográfica e estratigraficamente mais próximo das sondagens F1 e F8.

Estudos palinológicos efectuados em testemunhos de sondagens recolhidos nas lagoas da Vela e das Braças por Danielsen (2008) permitiram estabelecer uma fase em que esta área passou de inundada sazonalmente a pantanosa dando, por fim, origem à formação de lagos permanentes (chamada fase PAZ III pela autora). Datações de sedimentos da base das lagoas e do início da fase PAZ III revelaram idades prováveis para a formação das lagoas de Quiaios actuais. A autora aceita como mais provável a datação calibrada de AD 1723 (Danielsen, 2008), no entanto, o início deste processo pode ser ligeiramente mais antigo, já que existem datações calibradas que o colocam em AD 1650 (Danielsen, 2008), podendo no limite ser das primeiras décadas do século XVI, pois a análise polínica indica um crescimento da espécie *Zea mays* (milho) na base da fase PAZ III. A datação deve por isso ser posterior a 1500, porque esta espécie vegetal só entrou em Portugal no início do século XVI (Ribeiro, 1941). Segundo Ferrão (1992) o milho (americano ou maiz) foi cultivado nos vales férteis de alguns rios de Portugal, depois de os espanhóis o terem trazido do México e de o terem ensaiado nos campos de Sevilha.

Parece evidente a existência de vários episódios de deposição de sedimentos lacustres espacial e temporalmente diferenciadas, desde o Pliocénico-Plistocénico. Estes lagos estão registados por sedimentos de reduzida continuidade lateral e espessura decimétrica.

4.5.6 Litofácies SM e SS

Os sedimentos da litofácies SM e SS são aqueles em que mais se nota a influência de ambientes marinhos, tendo sido relacionados com ambientes lagunares ou estuarinos e praias, respectivamente.

Os sedimentos SM são areias siltosas ou siltes arenosos, ligeiramente cascalhentos, de cor cinzenta escura, com abundantes conchas de moluscos. Apresentam relações aproximadamente constantes entre as fracções siltosa e argilosa e quantidades variáveis de fracção areno-cascalhenta. As variações de granulometria testemunham alterações nas características do fluxo de sedimentos e nas condições hidrodinâmicas. A sua fracção argilosa é constituída essencialmente por ilite, existindo acessoriamente caulinite, clorite, vermiculite, interestratificados e quantidades vestigiais de esmectite nos níveis mais finos.

A mineralogia da fracção inferior a 63 µm é mais variada, contendo, para além de quartzo, feldspatos e micas, minerais de calcite, pirite e gesso. A associação dos três últimos minerais sugere condições redutoras e ligeiramente alcalinas, em meios com salinidade elevada.

A análise polínica revelou espécies típicas de águas salobras (Danielsen *et al.*, 2008). A análise malacológica evidenciou uma associação de moluscos adaptada a ambiente calmos, de baixa energia, em condições ecológicas bastante restritas, mas relacionadas com um importante afluxo de água do mar, dada a inexistência de espécies de água doce ou de baixa salinidade (Danielsen *et al.*, 2008). Do ponto de vista paleoclimático esta associação indica um ambiente temperado, cuja temperatura média das águas superficiais seria ligeiramente mais quente do que a existente actualmente na zona litoral entre Quiaios e a Tocha, e mais próxima das associações actualmente existentes em ambientes restritos situados a sul do Tejo.

Sedimentos semelhantes são frequentemente referidos na literatura, embora não aflorem na área da folha 19-A (Cantanhede) da Carta Geológica de Portugal (SGP, 1988).

Na notícia explicativa da folha 19-C de Figueira da Foz (Rocha *et al.*, 1981) aparece a referência a formações fluvio-marinhas cartografadas como aluviões (a) ao longo do rio Mondego e dos seus afluentes. São descritas quase invariavelmente como lodos de cor cinzenta escura, podendo ter quantidades variáveis de areia e que apresentam frequentemente conchas de moluscos (*Cardium edule*, *Scrobicularia plana* e *Ostrea* s.p, entre outras espécies). Foram também intersectados níveis semelhantes a estes em sondagens efectuadas na zona litoral a sul da Leirosa.

Nesta zona, Rocha & Bernardes (1997) estudaram a mineralogia dos níveis lodosos encontrados no sistema de dunas costeiras a sul do Cabo Mondego. Verificaram que a associação mineral presente nestes sedimentos continha “...*minerais detríticos (Quartzo, Feldspatos e Filossilicatos) fortemente predominantes, mas acompanhados de minerais típicos de condições redutoras (tais como Pirite, Marcassite e Siderite) e algo evaporíticas (Gesso, Anidrite, Halite)*...” indiciando meios de deposição protegidos, provavelmente lagunares, ocupando zonas deprimidas em ligação não permanente com o mar. Concluíram ainda que, o estabelecimento de ambientes lagunares teria sido precedido por um período de estabilização e posterior erosão dos depósitos anteriores, em resposta a alterações climáticas ou mudanças na linha de costa (Rocha & Bernardes, 1997).

O ambiente lagunar da Leirosa foi também estudado do ponto de vista paleontológico por Paredes *et al.* (2006) e Callapez *et al.* (2005). Estes autores descrevem um sedimento escuro de cariz lodoso ...com acumulações bioclásticas...de bivalves e de gastrópodes...e ostrocodos... (Paredes *et al.*, 2006). Destacam-se as espécies *Cerastoderma edule*, *Loripes lacteus*, *Hinia servaini*, *Hydrobia ulvae*; *Bittium reticulatum*, que constituíam as maiores populações deste sistema. A paleofauna descrita revela condições paleoambientais

lagunares cujas faunas análogas só se encontram actualmente na zona algarvia (Paredes *et al.*, 2006).

Na notícia explicativa da folha 16-C de Vagos, da Carta Geológica de Portugal, apenas são referidos depósitos semelhantes num furo efectuado próximo da Lagoa de Mira (Barbosa, 1981). No entanto, Rocha (1993) refere sedimentos arenosos finos, progressivamente mais lodosos e de tons predominantemente acinzentados escuros, a que se sobrepõem lodos negros, sob areias finas, eólicas, de tons geralmente acastanhados claros. Estes sedimentos são descritos na Unidade IV, de idade holocénica, da Bacia Sedimentar de Aveiro. Segundo este autor “...os níveis de lodos sapropélicos (com diatomáceas, Pirite e Marcassite) correspondem a condições deposicionais de reduzido transporte detrítico para uma bacia anóxica, de baixa salinidade...”. Nestes níveis predominam a ilite, a esmectite, e acessoriamente a vermiculite e a clorite, sendo a caulinite e os interestratificados menos comuns (Rocha, 1993).

Depósitos com características semelhantes são também descritos na Formação de Silvalde (Carvalho & Granja, 2003). A Formação de Silvalde inclui uma unidade inferior de areia com moluscos de água salobra, datados de 2185±130 anos BP a 4920±105 anos BP, à qual se sucede uma unidade de areias limosas, com turfas e troncos datados de 180±25 a 2635±70 anos BP. Atribui-se-lhe uma origem relacionada com lagunas costeiras de água salobra invadidas periodicamente por água do mar (Carvalho & Granja, 2003).

Os sedimentos da litofácies SM encontram-se muitas vezes sob areias eólicas que contêm níveis muito ricos em troncos de madeira (F5/F6; F13 /F14; F22/F23 e F24/F25) e por vezes turfa (F22/F23).

Encontrados sempre sob os sedimentos da litofácies SM os sedimentos da litofácies SS são arenosos, médios a grosseiros, com assimetria geralmente negativa, de cor muito clara e com abundantes conchas de moluscos, desarticuladas e erodidas. Entre as espécies identificadas são frequentes as que existiram em meio marinho franco.

Ao tempo da formação dos sedimentos da litofácies SS a linha de costa encontrava-se a cerca de 1 km para oriente da sua posição actual. Desde então até ao enchimento do ambiente lagunar (topo da litofácies SM) assistiu-se a uma deslocação da linha de costa para oeste até à sua posição actual, num movimento localmente regressivo.

Segundo Dias *et al.* (2000) novas lagunas e barreiras poder-se-iam ter formado entre 4000 e 5000 anos BP, numa altura em que a subida do nível do mar se atenuou e a linha de costa se tornou mais dependente de factores locais do que eustáticos (Dias *et al.*, 2000).

Os sedimentos SS e SM registariam os ambientes de barreira e laguna, respectivamente.

Capítulo 5

Hidrogeología

5.1 Definição das unidades hidrogeológicas

Quando se pretende conhecer do ponto de vista hidrogeológico uma determinada área é necessário definir, numa fase inicial, os aquíferos e os níveis confinantes existentes. Este processo pode envolver a combinação ou a separação de unidades litológicas, de acordo com as suas propriedades hidráulicas, o que, conjugado com a informação estrutural e o conhecimento sobre os materiais geológicos adjacentes, permite a construção de um modelo conceptual do sistema aquífero. Todos estes factores afectam o fluxo subterrâneo e a separação de materiais geológicos saturados em unidades hidrogeológicas.

Cada aquífero definido tem uma determinada localização geográfica, está instalado numa unidade geológica que permite a circulação de água através dos seus poros e apresenta propriedades hidráulicas distintas. De cada formação aquífera obtêm-se geralmente superfícies potenciométricas e assinaturas hidroquímicas diferentes.

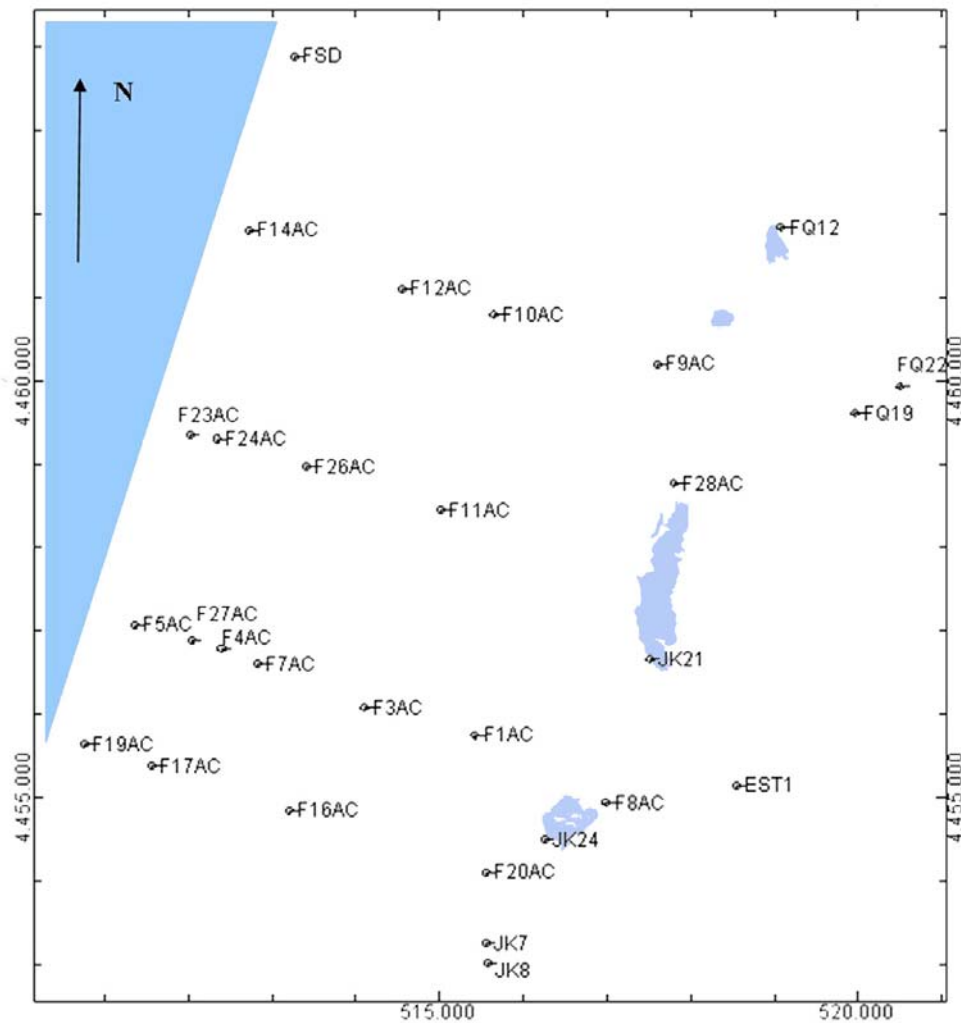
Os níveis aquíferos e confinantes encontrados nessa área foram definidos com base em associações de uma ou mais unidades sedimentares, definidas a partir da análise de amostras recolhidas nos furos de sondagem (capítulo 4), da informação estrutural disponível e da informação geológica inferida na fase de prospecção geofísica (capítulo 3).

Esta informação foi reunida com a informação de sondagens de campanhas anteriores, sendo posteriormente utilizada para efectuar um modelo geológico tridimensional, com recurso ao software Rockworks2006®. Para tal determinaram-se as superfícies modeladas através de um método misto, que combina *krigagem* com triangulação linear. Utilizou-se ainda um filtro de distância máxima de 10% e a opção de máxima fidelidade. A modelação final foi obtida após várias tentativas, que foram desenvolvidas com o intuito de a tornar o mais realista possível.

Após a modelação tridimensional obtiveram-se as secções hidroestratigráficas, ao longo de direcções aproximadamente WNW-ESE e SSW-NNE. Os resultados foram reunidos no anexo 5.1.

As unidades hidrogeológicas são descritas em termos geológicos e divididas em camadas aquíferas e confinantes (aquítardos e aquícludos), cujo número de ordem identifica a sua localização na sequência hidroestratigráfica, do topo para a base, e a letra W ou E, a sua inserção nos sectores Ocidental ou Oriental, respectivamente. A localização das sondagens e algumas secções hidroestratigráficas são apresentadas como exemplo (figuras 5.1 a 5.5).

Os aquíferos estão instalados em rochas sedimentares, porosas, não consolidadas, sendo na sua quase totalidade aquíferos costeiros.



Nota: As coordenadas referem-se à quadrícula quilométrica UTM - Fuso 29 – WGS 84.

Figura 5.1 – Mapa com a localização das sondagens cuja informação foi utilizada no modelo geológico tridimensional e que irá constituir o mapa de localização das secções hidroestratigráficas das figuras 5.2 a 5.9.

5.1.1 AQF1 – Areias eólicas superiores

O aquífero AQF1 é um aquífero freático de elevada permeabilidade, que cobre toda a zona estudada. Está instalado em sedimentos não consolidados de granulometria da areia fina a média, bem calibrados e relativamente homogêneos, havendo apenas ligeiras alterações no tamanho do grão para ocidente. Os sedimentos têm populações simétricas e quase nenhum conteúdo em silte e argila, sendo constituídos maioritariamente por areias da litofácies WS e, sobretudo, areias do seu grupo TSC1.2 (capítulo 4). Esta unidade aquífera corresponde ao aquífero freático superior do sistema aquífero Quaternário de Aveiro, quase totalmente formado por areias eólicas na área em estudo, com espessuras saturadas máximas de cerca de 10 metros, podendo ser de apenas alguns centímetros a NE.

5.1.2 AQT1-W – Lodos cinzentos com conchas

As sondagens executadas no sector Ocidental intersectaram um nível de lodos cinzentos com conchas sob os depósitos eólicos. Esta unidade costeira é caracterizada por intercalações finas de níveis lodosos, silto-argilosos, com níveis de areia fina a média, sendo constituída pelos sedimentos da litofácies SM descritos no capítulo 4. As distribuições granulométricas são bastante heterogéneas com quantidades variáveis de fracção argilosa o que pode afectar a sua permeabilidade. No seu conjunto parece constituir um aquífero que ocupa uma área costeira provavelmente idêntica à do subsector geofísico Ib (capítulo 3), com espessuras que variam desde alguns centímetros, na sua extremidade oriental, até cerca de 2 metros na zona central.

5.1.3 AQF2-W – Areias grosseiras com conchas

Na zona costeira (sector Ocidental), sob o aquífero formado pelos lodos cinzentos com conchas, os furos de sondagem intersectaram uma unidade de areias grosseiras de cores claras e com elevados conteúdos de conchas (litofácies SS). Estes sedimentos são moderadamente bem calibrados de granulometria fina a grosseira e têm normalmente distribuições assimétricas negativas devidas ao enriquecimento em fracção grosseira. No seu conjunto é uma unidade relativamente homogénea e de elevada permeabilidade, que parece constituir, pelos menos em algumas zonas, um aquífero semi-confinado. Não se conhece a espessura máxima desta unidade na zona de estudo já que não se atingiu a sua base, sabe-se apenas que é superior a 7 m.

5.1.4 AQT1-E – Areias com lodo orgânico ou com óxidos de ferro

Esta unidade é constituída por areias com lodo orgânico (litofácies WS m) ou com óxidos de ferro (litofácies WS p), e em alguns locais por areias lodosas (litofácies OM). No seu conjunto, é uma unidade heterogénea e estratificada, formada por várias camadas de espessura e permeabilidade reduzidas, intercaladas com alguns níveis mais arenosos e permeáveis. A sua espessura total média é de cerca de 2,5 m, variando desde alguns decímetros a 4,5 m.

5.1.5 AQF2-E – Areias eólicas inferiores e areias com areão

Aquífero em grande parte semi-confinado que se encontra sob as areias com lodo orgânico ou óxidos de ferro no sector Oriental. Esta unidade aquífera é constituída por areias eólicas (litofácies WS) predominantemente do grupo TSC1.1 e areias com areão (litofácies WS g). São sedimentos moderadamente calibrados, com populações frequentemente bimodais, de areia fina, por vezes com intercalações de areão ou areia grosseira (cerca de 1,5 %) e com uma fracção silto-argilosa cujo valor médio é de 0,33%, o que lhe confere uma elevada permeabilidade. A espessura desta unidade aquífera é inferior a 15 m.

5.1.6 AQT2-E – Areias argilosas micáceas

No sector Oriental, as sondagens efectuadas intersectaram uma unidade sedimentar constituída por areias finas, siltosas, muito ricas em moscovite (litofácies McS). Estes sedimentos heterogéneos são mal calibrados e têm assimetria positiva. Apresentam uma quantidade variável de matriz silto-argilosa (entre 3% e 19%), com uma percentagem média de 11%, indicando valores de permeabilidade que podem condicionar de maneira diversa o fluxo subterrâneo. A dimensão vertical desta unidade hidrogeológica é muito variável, podendo atingir um máximo de 9 m na zona estudada.

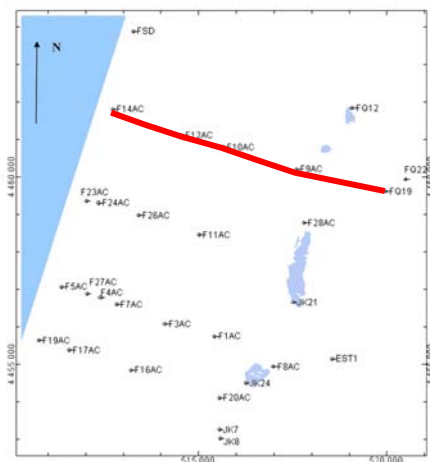
5.1.7 AQF3-E – Areias angulosas mal calibradas

Geralmente sob as areias argilosas micáceas, mas podendo contactar directamente com as areias com areão, existe uma camada de areias ligeiramente cascalhentas a cascalhentas, mal calibradas, em que a fracção silto-argilosa é em média 2,6 %. (litofácies APS). Constitui uma camada heterogénea, cuja permeabilidade é variável, mas geralmente elevada, sobretudo nas zonas em que a percentagem de finos é menor. A espessura é muito variável e geralmente diminuta, excepto no furo F16 onde é superior a 8 m.

5.1.8 Substrato cretácico – argilas, siltes e areias argilosas

O substrato cretácico é constituído por areias argilosas esverdeadas, mal calibradas, com conteúdos significativos de silte e argila (22 %) e de fracção grosseira (11%) (litofácies MGS), a que estão subjacentes siltes, ligeiramente argilosos, de cor avermelhada (litofácies RC).

É nesta camada confinante, de reduzida permeabilidade, que se define o aquíclodo de base do sistema aquífero estudado.



Planta de localização

Legenda:

- | | | | |
|--|--|--|--|
| | AQF1 – Areias eólicas superiores (litofácies WS) | | AQF2-E – Areias eólicas inferiores e areias com areão (litofácies WS e WS g) |
| | AQT1-W – Lodos cinzentos com conchas (litofácies SM) | | AQT2-E – Areias argilosas micáceas (litofácies McS) |
| | AQF2-W – Areias grosseiras com conchas (litofácies SS) | | AQF3-E – Areias angulosas mal calibradas (litofácies APS) |
| | | | Substrato cretácico (litofácies MGS e RC) |

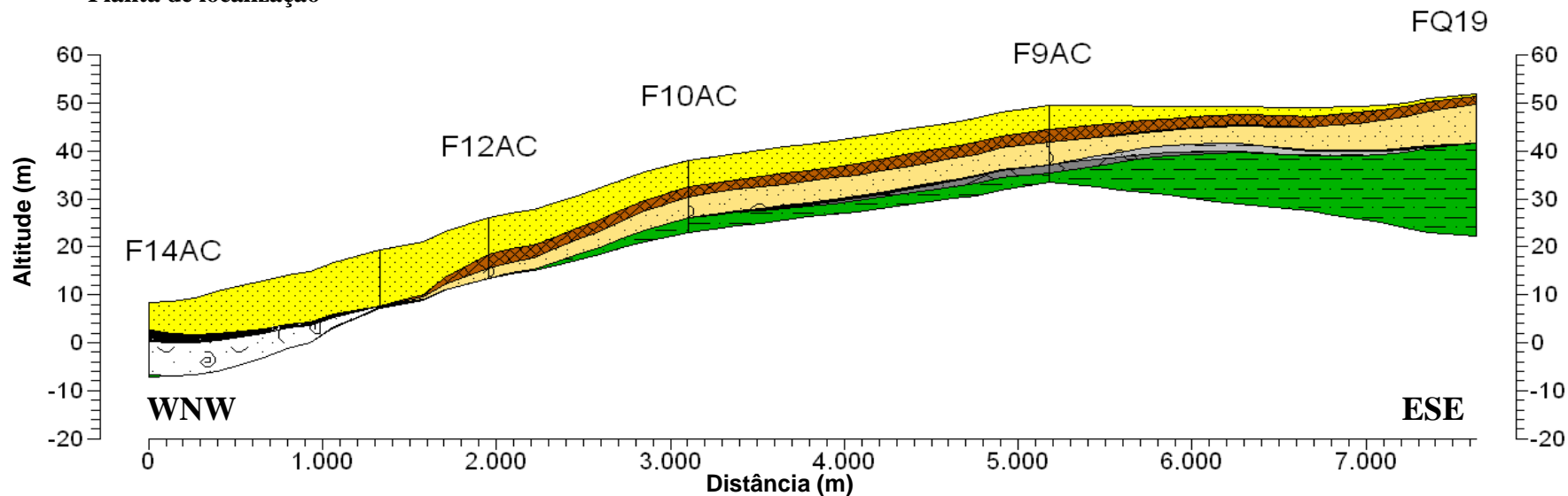
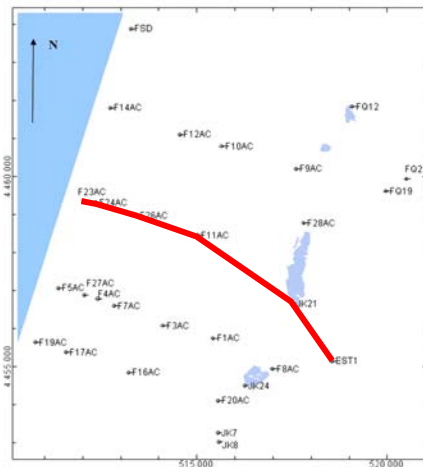


Figura 5.2 – Secção WNW-ESE 1 com um exagero vertical de 25 vezes, segundo a direcção indicada na planta de localização. Nota: A classe dos milhares da distância está separada por um ponto.



Planta de localização

Legenda:

- | | | | |
|--|--|--|---|
| | AQF1 – Areias eólicas superiores (litofácies WS) | | AQT1-E – Areias com lodo orgânico ou óxidos de ferro (litofácies WS m, WS p e OM) |
| | AQT1-W – Lodos cinzentos com conchas (litofácies SM) | | AQF2-E – Areias eólicas inferiores e areias com areão (litofácies WS e WS g) |
| | AQF2-W – Areias grosseiras com conchas (litofácies SS) | | AQT2-E – Areias argilosas micáceas (litofácies McS) |
| | | | AQF3-E – Areias angulosas mal calibradas (litofácies APS) |
| | | | Substrato cretácico (litofácies MGS e RC) |

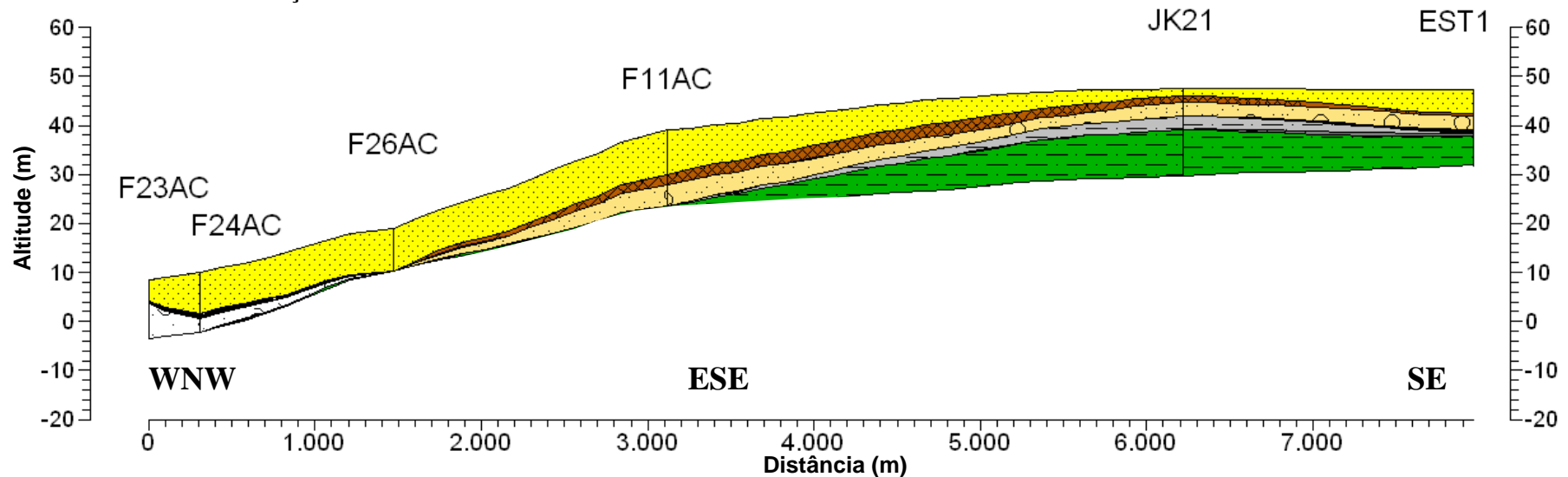
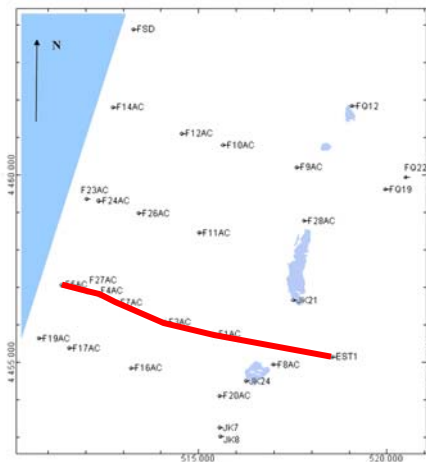


Figura 5.3 – Seção WNW-ESE 2 com um exagero vertical de 25 vezes, segundo a direção indicada na planta de localização.
Nota: A classe dos milhares da distância está separada por um ponto.



Planta de localização

Legenda:

- | | | | |
|--|--|--|---|
| | AQF1 – Areias eólicas superiores (litofácies WS) | | AQF2-E – Areias eólicas inferiores e areias com areão (litofácies WS e WS g) |
| | AQT1-W – Lodos cinzentos com conchas (litofácies SM) | | AQT2-E – Areias argilosas micáceas (litofácies McS) |
| | AQF2-W – Areias grosseiras com conchas (litofácies SS) | | AQF3-E – Areias angulosas mal calibradas (litofácies APS) |
| | | | Substrato cretácico (litofácies MGS e RC) |
| | | | AQT1-E – Areias com lodo orgânico ou óxidos de ferro (litofácies WS m, WS p e OM) |

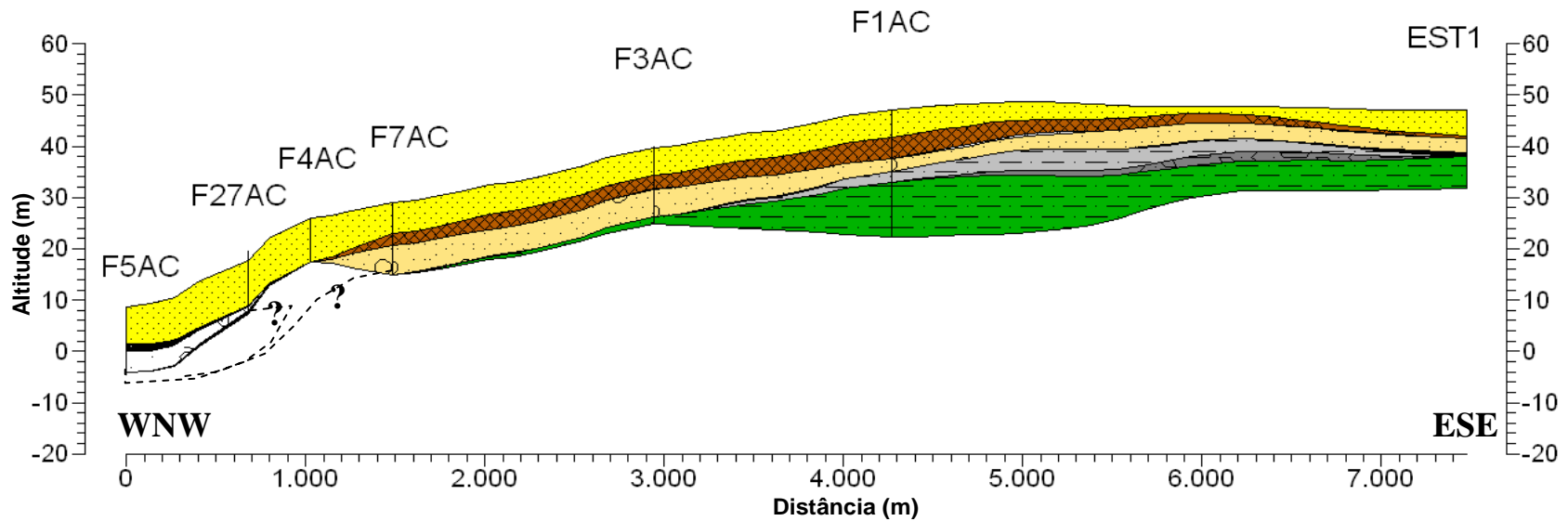
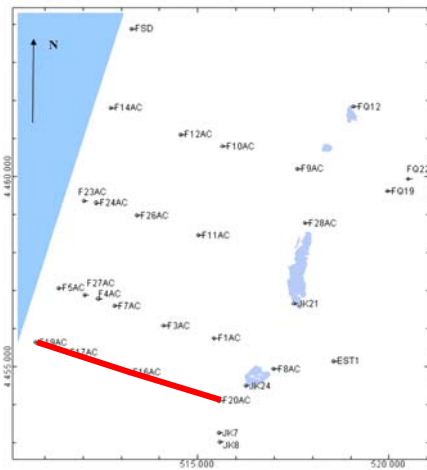


Figura 5.4 – Secção WNW-ESE 3 com um exagero vertical de 25 vezes, segundo a direcção indicada na planta de localização.

Nota: A classe dos milhares da distância está separada por um ponto.



Planta de localização

Legenda:

- | | | | |
|--|--|--|---|
| | AQF1 – Areias eólicas superiores (litofácies WS) | | AQT1-E – Areias com lodo orgânico ou óxidos de ferro (litofácies WS m, WS p e OM) |
| | AQT1-W – Lodos cinzentos com conchas (litofácies SM) | | AQF2-E – Areias eólicas inferiores e areias com areão (litofácies WS e WS g) |
| | AQF2-W – Areias grosseiras com conchas (litofácies SS) | | AQT2-E – Areias argilosas micáceas (litofácies McS) |
| | | | AQF3-E – Areias angulosas mal calibradas (litofácies APS) |
| | | | Substrato cretácico (litofácies MGS e RC) |

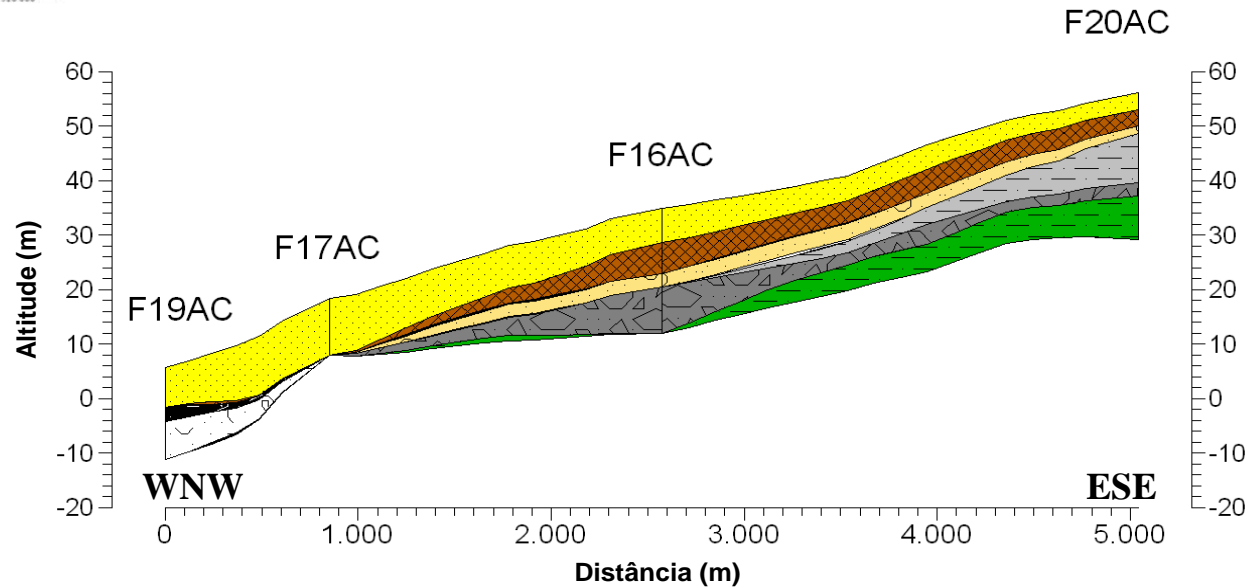
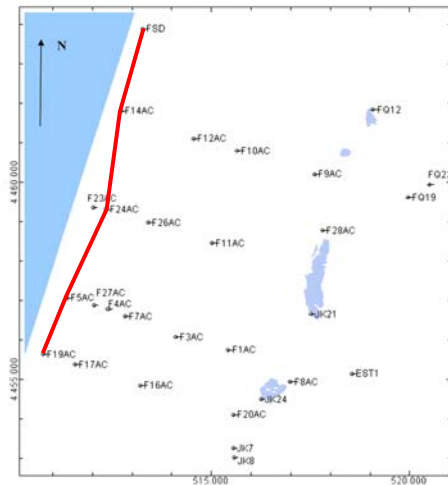


Figura 5.5 – Secção WNW-ESE 4 com um exagero vertical de 25 vezes, segundo a direcção indicada na planta de localização. Nota: A classe dos milhares da distância está separada por um ponto.



Planta de localização

Legenda:

- | | | | |
|--|--|--|---|
| | AQF1 – Areias eólicas superiores (litofácies WS) | | AQT1-E – Areias com lodo orgânico ou óxidos de ferro (litofácies WS m, WS p e OM) |
| | AQT1-W – Lodos cinzentos com conchas (litofácies SM) | | AQF2-E – Areias eólicas inferiores e areias com areão (litofácies WS e WS g) |
| | AQF2-W – Areias grosseiras com conchas (litofácies SS) | | AQT2-E – Areias argilosas micáceas (litofácies McS) |
| | | | AQF3-E – Areias angulosas mal calibradas (litofácies APS) |
| | | | Substracto cretácico (litofácies MGS e RC) |

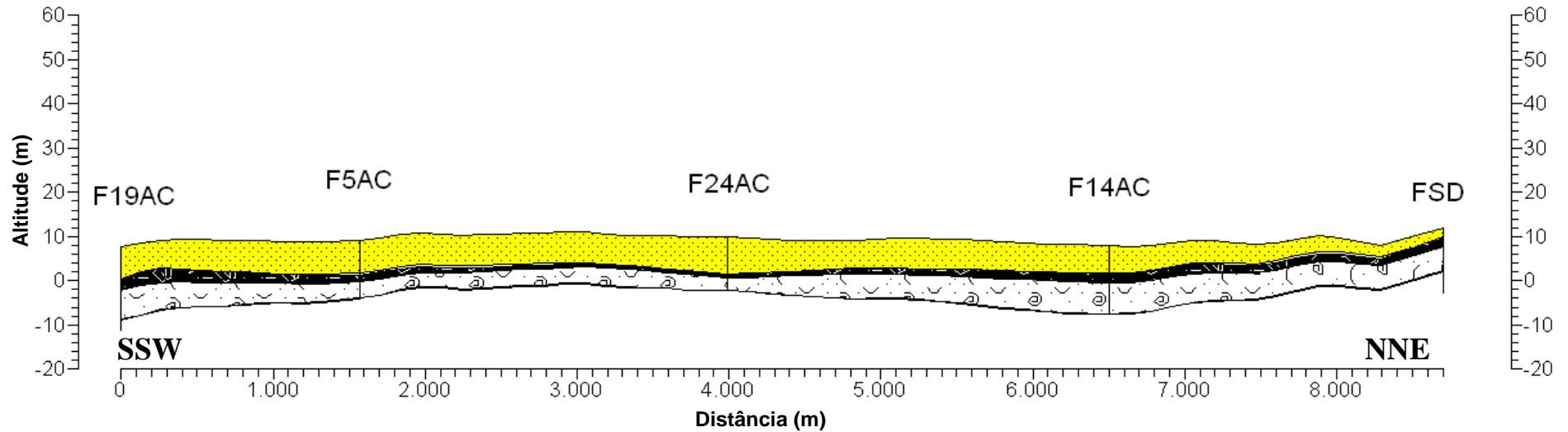
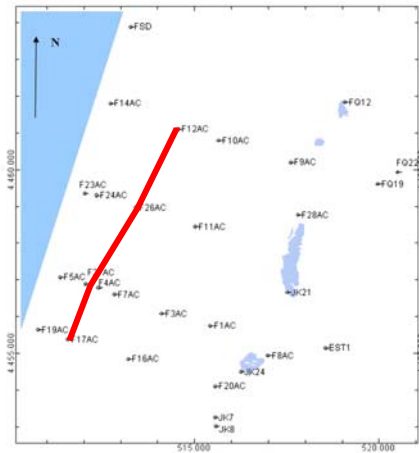


Figura 5.6 – Secção SSW-NNE 1 com um exagero vertical de 25 vezes, segundo a direcção indicada na planta de localização.
Nota: A classe dos milhares da distância está separada por um ponto.



Planta de localização

Legenda:

- | | | | |
|--|--|--|---|
| | AQF1 – Areias eólicas superiores (litofácies WS) | | AQT1-E – Areias com lodo orgânico ou óxidos de ferro (litofácies WS m, WS p e OM) |
| | AQT1-W – Lodos cinzentos com conchas (litofácies SM) | | AQF2-E – Areias eólicas inferiores e areias com areão (litofácies WS e WS g) |
| | AQF2-W – Areias grosseiras com conchas (litofácies SS) | | AQT2-E – Areias argilosas micáceas (litofácies McS) |
| | | | AQF3-E – Areias angulosas mal calibradas (litofácies APS) |
| | | | Substrato cretácico (litofácies MGS e RC) |

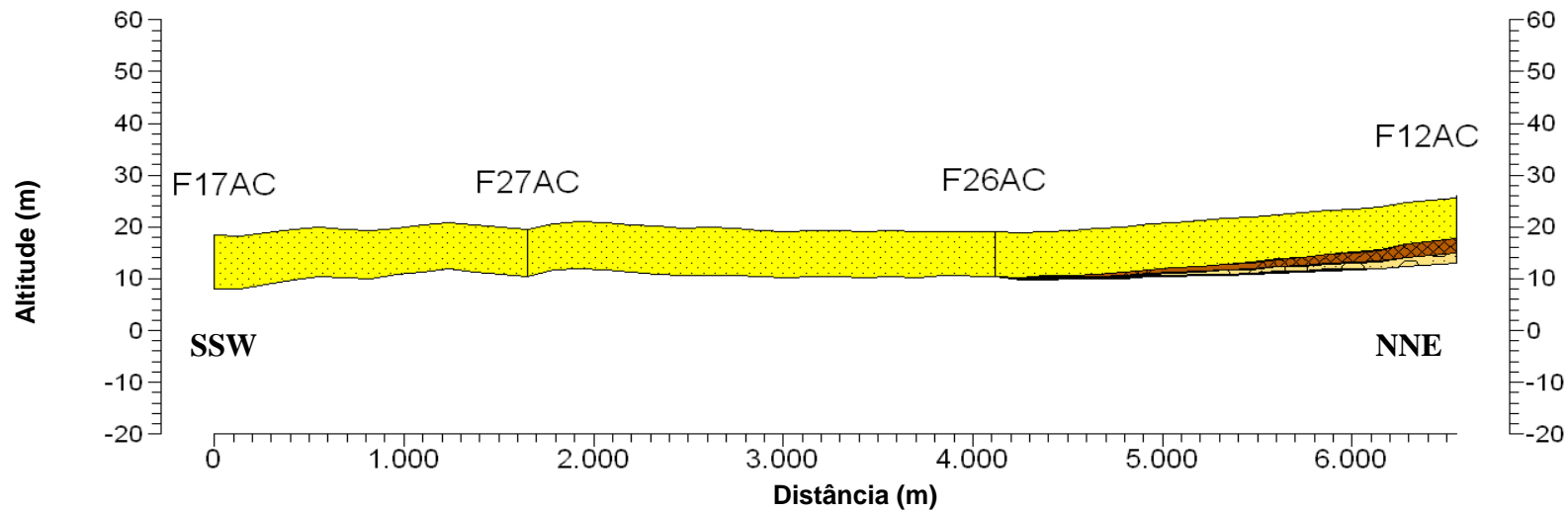
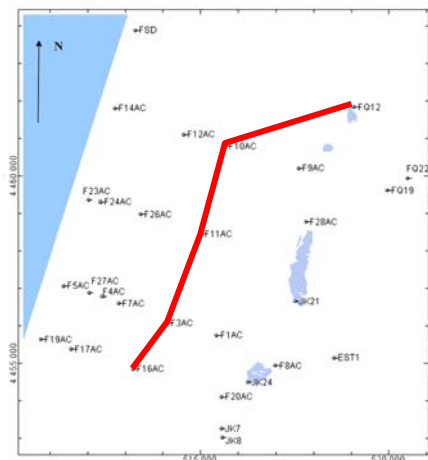


Figura 5.7 – Secção SSW-NNE 2 com um exagero vertical de 25 vezes, segundo a direcção indicada na planta de localização.
Nota: A classe dos milhares da distância está separada por um ponto.



Planta de localização

Legenda:

- | | | | |
|--|--|--|---|
| | AQF1 – Areias eólicas superiores (litofácies WS) | | AQF2-E – Areias eólicas inferiores e areias com areão (litofácies WS e WS g) |
| | AQT1-W – Lodos cinzentos com conchas (litofácies SM) | | AQT2-E – Areias argilosas micáceas (litofácies McS) |
| | AQF2-W – Areias grosseiras com conchas (litofácies SS) | | AQF3-E – Areias angulosas mal calibradas (litofácies APS) |
| | | | Substrato cretácico (litofácies MGS e RC) |
| | | | AQT1-E – Areias com lodo orgânico ou óxidos de ferro (litofácies WS m, WS p e OM) |

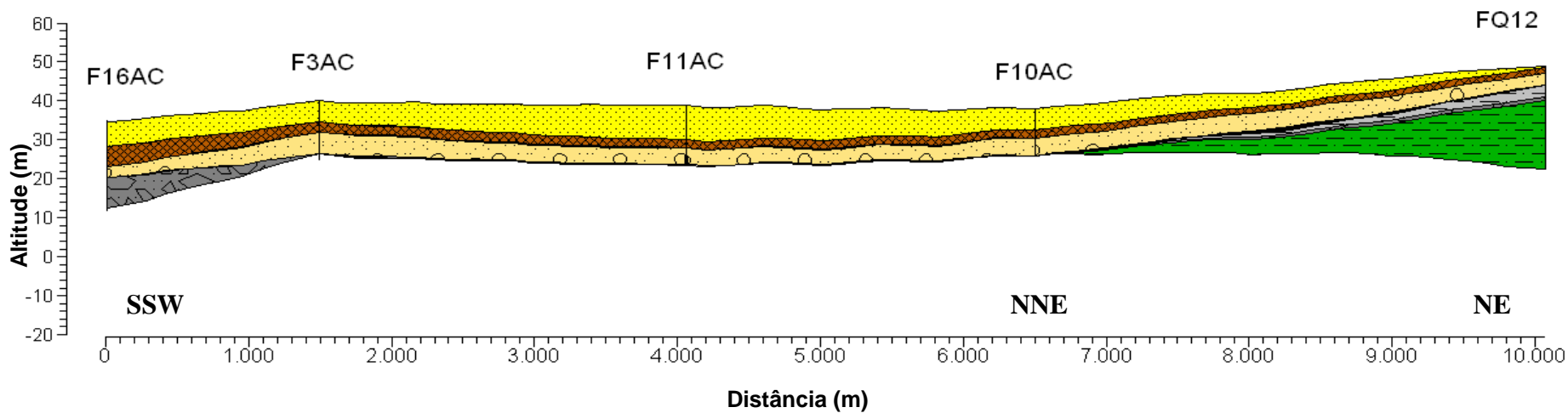


Figura 5.8 – Seção SSW-NNE 3 com um exagero vertical de 25 vezes, segundo a direção indicada na planta de localização.

Nota: A classe dos milhares da distância está separada por um ponto.

5.1.9 Análise conjunta das secções hidroestratigráficas

Nas secções hidroestratigráficas das figuras 5.2 a 5.9 são visíveis os três sectores definidos através da análise sedimentar (Occidental, Central e Oriental) (capítulo 4), que correspondem aproximadamente aos subsectores definidos pela análise da condutividade eléctrica aparente (capítulo 3), apresentando sequências hidroestratigráficas distintas.

No Sector Occidental a sequência hidroestratigráfica é composta, do topo para a base, pela unidade aquífera AQF1, por uma unidade confinante AQT1-W e por uma unidade aquífera AQF2-W, cuja base não se conhece na zona em estudo, mas que a norte da Praia da Tocha apresenta espessuras de cerca de 30 m (Cavaco, 1996).

No Sector Oriental a sequência hidroestratigráfica contém, do topo para a base, a unidade aquífera AQF1; a unidade confinante AQT1-E; e, subjacentes, a unidade aquífera AQF2-E, a unidade confinante AQT2-E e a unidade aquífera AQF3-E. Pode admitir-se como simplificação que estas três últimas unidades hidrogeológicas possam constituir um aquífero multicamada, que seria designado por AQF2-E.

No interior do Sector Central não é encontrada a camada confinante entre os aquíferos superior e inferior. O facto de não existir a camada confinante, definida como AQT1-E no sector Oriental e como AQT1-W no sector Occidental, retira o confinamento ao aquífero inferior (AQF2) fazendo com que este passe à situação de aquífero livre, multicamada, formado pelas camadas aquíferas AQF1 e AQF2.

O limite inferior do sistema aquífero parece ser o aquicluido constituído pelos sedimentos cretácicos das litofácies MGS ou RC, cartografados na folha 19-A (Cantanhede) como Arenitos e Argilas de Viso. Estes sedimentos foram encontrados a cotas de cerca de 40 m acima no nível médio do mar actual, em sondagens efectuadas no Sector Oriental. No entanto, a presença de sedimentos argilosos avermelhados semelhantes aos da litofácies RC, é também descrita em furos de prospecção e pesquisa efectuados no Sector Occidental, próximo da praia da Tocha a cotas próximas dos -30 m, em relação ao nível médio do mar actual (Cavaco, 1996).

5.2 Parâmetros hidráulicos das unidades hidrogeológicas

Os parâmetros hidráulicos, como a condutividade hidráulica, a transmissividade e o coeficiente de armazenamento, entre outros, caracterizam o comportamento de fluidos em repouso ou em movimento através de um meio.

O termo condutividade hidráulica (K) foi originalmente introduzido por Darcy (1856, citado em Delleur, 2007), aplicado a formações existentes na zona saturada, sendo posteriormente alargado o seu uso à zona não saturada por Buckingham (1907; citado em Delleur, 2007) e Richards (1931; citado em Delleur, 2007). Mede a capacidade de um meio permitir a passagem de água ou de outro fluido, através dos seus poros, por unidade de área.

Segundo Darcy, mede o caudal de descarga de água, em condições de fluxo laminar, através de uma secção transversal de um meio poroso saturado com área unitária, sob um gradiente hidráulico unitário, a uma determinada temperatura (geralmente 20 °C):

$$K = \frac{-Q}{A (dh/dl)} \quad \text{equação 5.1}$$

Q representa o caudal de descarga (em unidades de volume sobre tempo, por exemplo L/s ou m³/d), A é a área da secção transversal (unidades de área, dm² ou m²), dh/dl ou gradiente hidráulico é a variação na altura piezométrica (ou na carga hidráulica), por comprimento percorrido na direcção do fluxo. Se considerarmos que o fluxo se dá no sentido da descida das cargas hidráulicas, o gradiente hidráulico é sempre negativo, já que no diferencial é considerada a variação entre o ponto final e o ponto inicial e, por isso, usa-se o sinal negativo na equação 5.1.

Muito autores utilizam a forma positiva da equação 5.1, considerando i igual a $-dh/dl$, ou seja, a variação é feita considerando a carga hidráulica a montante menos a carga hidráulica a jusante, dando um resultado que é sempre positivo.

Do ponto de vista teórico, para o caso de um meio não saturado em água, a condutividade hidráulica (K) pode ser expressa em função do teor de humidade, através da equação 5.2 (Delleur, 2007):

$$K(\theta) = k_i \frac{\rho_w g}{\mu_w} k_{rw}(\theta) \quad \text{equação 5.2}$$

em que $K(\theta)$ é a condutividade hidráulica função do teor de humidade (θ) em unidades de comprimento por tempo (m/s), sendo k_i a permeabilidade intrínseca do meio, em unidades de área (m²); ρ_w é a massa volúmica do fluido, em kg/m³; g é a aceleração da gravidade, em m/s²; μ_w a viscosidade do fluido, em Pa.s ou kg./(m.s) e $k_{rw}(\theta)$ a permeabilidade relativa do fluido (água neste caso), que varia de 0 (meio seco) a 1 (meio saturado).

A equação 5.2 mostra que a condutividade hidráulica depende das características do meio sólido (matriz), do fluido e do teor de humidade desse fluido. Quando o teor de humidade é igual a um, a função condutividade hidráulica pode ser chamada de condutividade hidráulica de saturação ou condutividade hidráulica saturada (K_s), como acontece com a condutividade hidráulica definida por Darcy, utilizada por simplificação em meios saturados.

A transmissividade (T), em unidades de área por comprimento (m^2/d ou m^2/s), é definida pela equação 5.3:

$$T = K.b \quad \text{equação 5.3}$$

em que K é a condutividade hidráulica (equações 5.1 e 5.2) geralmente em m/d ou m/s e b é a espessura ou espessura saturada do aquífero, em metros.

A espessura saturada de um aquífero freático ou semiconfinado é definida pela altura do nível freático em relação à camada confinante inferior, sendo no caso de um aquífero confinado igual à espessura do aquífero limitada por duas camadas confinantes.

O coeficiente de armazenamento (S) de um aquífero confinado é dado pela equação 5.4:

$$S = b.S_s \quad \text{equação 5.4}$$

em que S é o coeficiente de armazenamento em unidades de comprimento por comprimento (m/m), b é a espessura saturada do aquífero, geralmente em metros, e S_s é o armazenamento específico do aquífero ($1/m$) definido pela equação 5.5.

$$S_s = \rho_w g (\alpha + n\beta) \quad \text{equação 5.5}$$

em que ρ_w é a massa volúmica do fluido, em kg/m^3 ; g é a aceleração da gravidade, em m/s^2 ; n é a porosidade (volume dos poros sobre volume total); α é a compressibilidade do meio poroso e β a compressibilidade do fluido (variação do volume por unidade de pressão) em m^2/N ou ms^2/kg .

A equação 5.4 não se aplica no caso de aquíferos livres, sendo substituída pela equação 5.6:

$$S = S_y + b.S_s \quad \text{equação 5.6}$$

em que S é o coeficiente de armazenamento; S_y é a cedência específica, definida como o volume de fluido cedido por gravidade por volume total; S_s é o armazenamento específico do aquífero ($1/m$) definido pela equação 5.5 e b é a espessura saturada do aquífero, em metros.

Intervalos e valores médios de alguns dos parâmetros hidráulicos foram determinados por vários autores e são apresentados nas tabelas 5.1 e 5.2.

Tabela 5.1 – Valores de porosidade e condutividade hidráulica para materiais geológicos de origem sedimentar (segundo diversos autores indicados abaixo).

Materiais geológicos	Porosidade		Condutividade hidráulica (cm/s)	
	Intervalo ^a	Intervalo ^{b,c}	Intervalo ^a	Intervalo ^e
<u>Não consolidados</u>				
Argila	0,35-0,57	0,4-0,7	$(0,1-47) \times 10^{-8}$	$(0,1-47) \times 10^{-8}$
Silte	0,34-0,61	0,35-0,50	$(0,09-7090) \times 10^{-7}$	$(1-20000) \times 10^{-7}$
Areia fina	0,26-0,53		$(0,2-189) \times 10^{-4}$	$(0,2-200) \times 10^{-4}$
Areia média			$(0,9-567) \times 10^{-4}$	$(0,9-500) \times 10^{-4}$
Areia grosseira	0,31-0,46		$(0,9-6610) \times 10^{-4}$	$(0,9-6000) \times 10^{-4}$
Areia		0,25-0,50		
Areão	0,25-0,38			
Seixo	0,24-0,38	0,20-0,40	$(0,3-31,2) \times 10^{-1}$	$(0,3-30) \times 10^{-1}$
Mistura de seixo e areia	0,20-0,35 ^d	0,15-0,35		
Areias dunares				
<u>Consolidados</u>				
Siltito	0,21-0,41		$(0,1-142) \times 10^{-8}$	$(0,1-140) \times 10^{-8}$
Arenito	0,14-0,49	0,05-0,35	$(0,5-2270) \times 10^{-6}$	$(0,03-600) \times 10^{-6}$
Calcário	0,07-0,56	<0,01-0,20		$(0,1-600) \times 10^{-6}$
Calcário carsificado		0,05-0,5		

^a - Segundo Morris & Johnson (1967) e Mercer *et al.* (1982); citados em Batu (1998).

^b - Segundo Driscoll (1986); Freeze & Cherry (1979); Roscoe Moss (1990); citados em Weight & Sonderegger (2000).

^c - Segundo Domenico & Schwartz (1990); Freeze & Cherry (1979), Fetter (2001); Narashimhan & Goyal (1984), citados em Delleur (2007)

^d - Meinzer (1923); Davis (1969), Cohen (1965); MacCary & Lambert (1962), citados em Fetter (2001)

^e - Segundo Domenico & Schwartz (1990)

Tabela 5.2 – Valores de cedência específica (S_y) e de armazenamento específico (S_s) para materiais geológicos de origem sedimentar (segundo diversos autores indicados abaixo).

Materiais geológicos	Cedência específica S_y		Armazenamento específico S_s (1/m)
	Intervalo (média) ^a	Média ^f	Intervalo ^g
<u>Não consolidados</u>			
Argila	0,01-0,18 (0,06)	0,03	$(0,26-9,2) \times 10^{-4}$
Silte	0,01-0,39 (0,2)	0,08	
Areia fina	0,01-0,46 (0,33)	0,23	$(0,1-4,9) \times 10^{-4}$
Areia média	0,16-0,46 (0,32)	0,28	
Areia grosseira	0,18-0,43 (0,3)	0,27	$(0,1-4,9) \times 10^{-4}$
Areão	0,13-0,40 (0,28)	0,25	
Seixo	0,13-0,44 (0,23)	0,23-0,25	
Areias dunares	0,32-0,47 (0,38)	0,38	
<u>Consolidados</u>			
Siltito	0,01-0,33 (0,12)	0,12	
Arenito	0,12-0,40 (0,21-0,27)	0,21-0,27	
Calcário	0,0-0,36 (0,14)	0,14	
Calcário carsificado			

^a - Segundo Morris & Johnson (1967) e Mercer *et al.* (1982); citados em Batu (1998).

^f - Segundo Johnson (1967; citado em Domenico & Schwartz, 1990; Fetter, 2001)

^g - Segundo Domenico & Mifflin (1965; citados em Batu, 1998)

5.2.1 Estimação da condutividade hidráulica (K) a partir de distribuições granulométricas

Alguns parâmetros com interesse para a caracterização hidráulica de uma formação geológica, como a porosidade, a condutividade hidráulica, a compressibilidade do meio poroso, a cedência específica, entre outros, podem ser estimados a partir de dados retirados das distribuições granulométricas. Embora os sedimentos usados neste tipo de análises não conservem as estruturas sedimentares, podem fornecer informação que pode ser usada como uma primeira aproximação na determinação de alguns parâmetros hidráulicos (Kalbus, Reinstof & Schirmer, 2006).

A condutividade hidráulica, em particular, pode ser obtida no laboratório através de estimação, a partir das distribuições granulométricas, ou por ensaios de permeabilidade com permeâmetros. Nestes casos, haverá muito provavelmente uma alteração das amostras. Quando se pretende estudar a condutividade hidráulica (permeabilidade) *in situ* podem efectuar-se testes com permeâmetros de campo, *slug-test* ou ensaios de bombagem, que darão áreas de investigação progressivamente maiores exigindo simultaneamente meios de execução cada vez mais complexos e onerosos.

Fórmulas empíricas foram criadas por diversos autores para a estimação de K com base na distribuição granulométrica: Hazen; Fair & Hatch, Krumbein & Monk; Konezy-Carman; Harleman *et al.*; Shepherd; Therzaghi & Peck; Sperry & Peirce, Dane & Puckett; Alyamani & Sen, entre outros (Domenico & Schwartz, 1990; Batu, 1998; Weight & Sonderegger, 2000; Fetter, 2001; Cronican & Gribb, 2004; Odong, 2007).

Foram efectuados estudos de comparação destas fórmulas empíricas (Sperry & Peirce, 1995; Batu, 1998; Cronican & Gribb, 2004; Odong, 2007) e, de um modo geral, quando usadas dentro dos seus domínios de aplicabilidade, estas fornecem valores de K que estão dentro dos limites aceitáveis.

Sperry & Peirce (1995) compararam valores de K medidos em diferentes materiais com os valores obtidos por algumas das equações empíricas. Verificaram que, de um modo geral, a equação de Hazen constituía a melhor estimativa da condutividade hidráulica para os meios estudados, excepto no caso das partículas terem formas irregulares. A equação de Hazen estimava os valores de K dentro do intervalo de 12% em relação aos valores medidos. A equação de Konezy-Carman estimava os valores de K com um intervalo de 73% a 83% mais baixo do que os valores medidos e a equação de Alyamani & Sen previa valores cuja estimativa era 30% a 36% maior do que o valor medido.

Segundo Batu (1998), as equações de Hazen, Konezy-Carman e de Fair & Hatch dão valores semelhantes entre si, superiores aos obtidos pelas relações de Shepherd e de Alyamani & Sen, que costumam dar estimativas próximas. Note-se que este autor usou na equação de Konezy-Carman o valor d_{10} como d_m .

Odong (2007) que também usou, na equação de Konezy-Carman, o valor de d_{10} , obteve melhores estimativas através desta equação do que as encontradas pela equação de Hazen, no caso das amostras que estudou. Verificou ainda que os resultados obtidos pela equação de Alyamani & Sen eram fortemente dependentes do tipo de curva granulométrica sobre a qual se efectuava a simplificação.

Optou-se então por utilizar neste trabalho as equações de Hazen (e também a simplificação de Freeze & Cherry), Konezy-Carman e Shepherd para estimar a condutividade hidráulica, conforme a seguir se apresentam. Os resultados foram reunidos no anexo 5.2 e os valores médios constam da tabela 5.5.

Equação de Hazen

A aproximação de Hazen, nome por que também é conhecida, foi criada em 1892 (Batu, 1998; Kalbus, Reinstof & Schirmer, 2006) e retomada em 1911 (Domenico & Schwartz, 1990; Weight & Sonderegger, 2000; Fetter, 2001). É aplicável em sedimentos não consolidados com diâmetros efectivos (d_{10}) entre 0,1 e 3 mm e é baseada na equação 5.7:

$$K_{Hazen} = C.(d_{10})^2 \quad \text{equação 5.7}$$

em que K é a condutividade hidráulica em cm/s; C é uma constante que depende da granulometria e calibragem da população, em 1/(cm.s) (tabela 5.3), e d_{10} ou diâmetro efectivo da população é o tamanho do grão (cm) tal que 90% das partículas são mais grosseiras.

Quanto mais finas e mal calibradas as distribuições menor é o valor da constante C , o valor deve ser estimado à dezena mais próxima (Weight & Sonderegger, 2000) embora seja também muito comum usar o valor médio para todas as amostras ($C = 100$). Neste âmbito, Freeze & Cherry (1979) adoptaram a fórmula de Hazen com $C=A=1,0$ em 1/(mm.s) e d_{10} em mm (valor $K_{F\&C}$ na tabela 5.5).

Tabela 5.3 – Valores de C . em 1/(cm.s). para a equação de Hazen (segundo Hazen 1911, citado em Domenico & Schwartz, 1990; Weight & Sonderegger, 2000; Fetter, 2001).

Material Geológico	C em 1/(cm.s)
Areia muito fina, mal calibrada a bem calibrada	40-80
Areia fina, mal calibrada a moderadamente calibrada	40-80
Areia média, moderadamente calibrada a bem calibrada	80-120
Areia grosseira, mal calibrada a moderadamente calibrada	80-120
Areia grosseira, moderadamente calibrada a bem calibrada	120-150

Equação de Shepherd

A equação de Shepherd foi criada em 1989, através de análises estatísticas efectuadas a 19 conjuntos de dados de condutividade hidráulica *versus* granulometria. (Batu, 1998):

$$K_{Shepherd} = (3,53 \times 10^{-4}) C_F (d_{50})^i \quad \text{equação 5.8}$$

em que $K_{Shepherd}$ é a condutividade hidráulica em cm/s convertida pelo factor $3,53 \times 10^{-4}$; C_f é o coeficiente de forma; d_{50} o diâmetro mediano (mm) e i a inclinação da recta obtida na projecção log d-logK entre 1,5 e 2 (tabela 5.4).

Tabela 5.4 – Valores de C_F e i para a equação de Shepherd (adaptado de Shepherd, 1989, citado em Weight & Sonderegger, 2000; Fetter, 2001).

	Ambiente deposicional	C_F	i
↑ MATURIDADE	Esferas de vidro	40 000	2
	Dunas eólicas	5 000	1,85
	Depósitos de praia	1 600	1,75
	Depósitos fluviais	450	1,65
	Rochas sedimentares consolidadas	100	1,50

Equação Konezy-Carman

Esta equação foi proposta por Konezy, em 1927 e posteriormente modificada por Carman (1937,1956; citado em Batu, 1998) (equação 5.9).

$$K_{K-C} = \frac{\rho_w g}{\mu_w} \cdot \left[\frac{n^3}{(1-n^2)} \right] \cdot \frac{d_m^2}{180} \quad \text{equação 5.9}$$

em que K_{K-C} é a condutividade hidráulica (m/s); ρ_w é a massa volúmica do fluido, em kg/m³; g é a aceleração da gravidade, em m/s²; μ_w a viscosidade do fluido, em Pa.s ou kg/(m.s), n é a porosidade e d_m um tamanho representativo da amostra (em m), muitas vezes tomado como a mediana (d_{50}) (Batu, 1998;) ou o diâmetro efectivo (d_{10}), mas que pode ser outro diâmetro que caracterize a população granulométrica.

Segundo Carrier (2003, citado em Odong, 2007) esta equação não é apropriada para sedimentos com granulometria superior a 3 mm ou sedimentos argilosos.

Tabela 5.5 – Valores de K (m/d) das unidades hidrogeológicas e das litofácies que as constituem, estimados pelas equações de Hazen, Freeze & Cherry, Shepherd e Konezy-Carman (para d_{50} e d_{10}).

Unidade hidrogeológica	Litofácies		K_{Hazen} (m/d)	$K_{F\&C}$ (m/d)	$K_{Shepherd}$ (m/d)	$K_{K-C\ d50}$ (m/d)	$K_{K-C\ d10}$ (m/d)
AQF1	Total	Mínimo	9,0	10,0	67,4	28,6	9,6
		Máximo	45,0	40,9	206,6	96,0	39,4
		Média geométrica	22,7	20,7	116,8	51,9	19,9
		N	64 amostras				
	WS 1.2	Mínimo	13,2	12,0	71,4	30,5	11,6
		Máximo	45,0	40,9	187,9	86,7	39,4
		Média geométrica	23,0	20,9	115,6	51,3	20,2
		N	49 amostras				
	WS 3.1	Mínimo	9,0	10,0	67,4	28,6	9,6
		Máximo	31,9	29,0	206,6	96,0	28,0
		Média geométrica	21,6	19,9	120,9	53,8	19,2
		N	15 amostras				
AQT1-W	SM	Mínimo	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0
		Máximo	7,6	12,7	44,4	82,2	18,7
		Média geométrica	0,4	0,9	7,4	20,0	1,3
		N	27 amostras				
AQF2-W	SS	Mínimo	12,0	12,0	30,2	31,1	10,4
		Máximo	74,8	74,8	196,5	264,3	64,7
		Média geométrica	22,7	22,7	59,6	67,6	19,6
		N	15 amostras				
AQT1-E	Total	Mínimo	0,0	0,0	2,7	10,7	0,0
		Máximo	14,5	24,2	139,5	62,8	23,3
		Média geométrica	5,0	8,6	64,4	32,1	8,5
		N	47 amostras				
	OM	Mínimo	0,01	0,03	2,65	10,67	0,04
		Máximo	0,05	0,13	5,34	24,91	0,19
		Média geométrica	0,03	0,08	4,19	18,55	0,11
		N	3 amostras				
	WS m	Mínimo	4,8	8,0	51,1	21,2	7,7
		Máximo	14,5	24,2	139,5	62,8	23,3
		Média geométrica	8,1	13,4	89,3	38,8	13,0
		N	17 amostras				
	WS p	Mínimo	4,0	6,6	45,4	18,7	6,4
		Máximo	10,1	16,9	98,3	43,0	16,3
		Média geométrica	6,5	10,9	71,0	30,2	10,5
		N	27 amostras				
AQF2-E	Total	Mínimo	6,3	6,5	34,4	13,8	6,2
		Máximo	18,1	16,4	104,0	45,7	15,8
		Média geométrica	10,4	10,6	62,4	26,3	10,2
		N	40 amostras				
	WS1.1	Mínimo	7,1	6,5	34,4	13,8	6,2
		Máximo	18,1	16,4	85,2	36,8	15,8
		Média geométrica	12,7	11,5	65,8	27,9	11,1
		N	17 amostras				
	WS g	Mínimo	6,3	7,0	38,6	15,6	6,8
		Máximo	11,5	12,8	104,0	45,7	12,3
		Média geométrica	9,0	10,0	60,1	25,3	9,6
		N	23 amostras				
AQT2-E	McS	Mínimo	0,1	0,2	3,9	15,1	0,2
		Máximo	8,6	14,3	12,2	61,2	19,0
		Média geométrica	0,9	1,8	7,5	33,6	2,3
		N	11 amostras				
AQF3-E	APS	Mínimo	7,2	8,0	7,3	21,3	6,9
		Máximo	19,4	24,2	76,6	368,6	20,9
		Média geométrica	10,3	11,8	13,8	46,2	10,2
		N	7 amostras				
Substrato	MGS	Mínimo	0,00	0,00	0,39	0,68	0,00
		Máximo	0,34	0,84	18,21	72,07	0,81
		Média geométrica	0,02	0,05	3,07	8,32	0,05
		N	8 amostras				
	RC	Valor	0,0004	0,0010	0,0287	0,0442	0,0014
		N	1 amostra				

Após os cálculos de condutividade hidráulica, através das equações atrás referidas, verifica-se que a equação de Hazen, a equação modificada por Freeze & Cherry e a equação de Konezy-Carman com a aplicação do diâmetro d_{10} , apresentam valores muito semelhantes. Os valores de condutividade hidráulica determinados pela equação de Shepherd e pela equação de Konezy-Carman com a aplicação do diâmetro d_{50} dão valores geralmente bastante mais elevados.

Verifica-se ainda que, nas amostras de litofácies mais mal calibradas e com conteúdos de fracção silto-argilosa mais elevados, em que a equação de Hazen deixa de ser aplicável, os valores obtidos pela equação de Shepherd se aproximam dos valores obtidos pela equações anteriormente referidas. Mais, enquanto que, em distribuições granulométricas com baixos coeficientes de uniformidade e conteúdos de fracção silto-argilosa, os valores das equações de Hazen e de Konezy-Carman, com a aplicação do diâmetro d_{10} , apresentam valores muito semelhantes entre si, nas distribuições granulométricas mais heterogéneas o valor da equação de Konezy-Carman eleva-se em relação ao obtido pela equação de Hazen e torna-se mais próximo do valor obtido pela equação de Shepherd.

Nestas situações, a equação de Shepherd aproxima-se do valor obtido pela equação de Konezy-Carman com aplicação do diâmetro efectivo (d_{10}), cujos resultados serão provavelmente mais realistas que os obtidos pelas equações de Hazen ou Freeze & Cherry. Os valores obtidos pela equação de Konezy-Carman, com a aplicação do diâmetro d_{50} , são sempre mais elevados do que os restantes, em situações ideais de aplicação ou seja dentro dos domínios de aplicabilidade de cada uma das equações.

Assim, para amostras bem calibradas, com granulometria da areia e com reduzido conteúdo em fracção fina serão considerados válidos os valores obtidos pelas equações de Hazen, Freeze & Cherry e Konezy-Carman (d_{10}), enquanto que, para as amostras que não obedecem a estas condições os valores considerados serão os obtidos através das equações de Konezy-Carman (d_{10}) e de Shepherd, embora esta última equação dê sempre resultados um pouco mais elevados.

De uma maneira geral, os sedimentos melhor calibrados, com granulometria mais elevada e com conteúdos reduzidos de fracção fina apresentam valores de condutividade hidráulica mais elevados, como seria de esperar (tabela 5.5).

Da análise da tabela 5.5 verifica-se também que as unidades hidrogeológicas com menores valores de condutividade e que, por isso, poderão funcionar como aquíferos, ou mesmo aquíferos, são a unidade AQT1-W (litofácies SM) que apresenta valores de condutividade hidráulica muito heterogéneos mas cuja média é de 1,3 m/d (Konezy-Carman); a unidade AQT1-E que tem uma condutividade hidráulica média de cerca de 5 m/d (Hazen) a 8,5 m/d (Konezy-Carman), mas que apresenta níveis com permeabilidades bastante mais baixas (litofácies OM) podendo ser muito próximas de 0,1 m/d; a unidade hidrogeológica AQT2-E que apresenta valores de condutividade hidráulica muito próximos de 2 m/d; e o conjunto de sedimentos finos do Cretácico que têm valores de condutividade hidráulica

muito baixos, com valores médios em torno de 0,05 m/d para o caso da litofácies MGS e próximos de 0,001 m/d para a litofácies RC.

Os valores de condutividade hidráulica obtidos através das equações empíricas situam-se dentro dos intervalos admissíveis para este tipo de rochas, que estão na tabela 5.1. O mesmo acontece quando se comparam os valores obtidos através destas equações com os valores dos parâmetros hidráulicos retirados da bibliografia, que foram determinados através de ensaios de bombagem (tabela 2.1).

Para o aquífero freático, os valores de condutividade hidráulica situavam-se entre 20 e 49 m/d, com valores médios de 20 a 30 m/d. Quando se comparam estes valores com os valores da tabela 5.5 para AQF1, que é o aquífero freático do sistema aquífero Quaternário de Aveiro na zona em estudo, verifica-se que os valores de K se situam aproximadamente entre os 9 e os 45 m/d com uma média que ronda os 20 a 23 m/d. Os valores são ligeiramente inferiores aos obtidos através de ensaios de bombagem, mas os valores mínimos de K foram encontrados em areias eólicas da litofácies WS m, ou seja areias eólicas de zonas interdunares e que, por isso, apresentam valores de condutividade hidráulica ligeiramente inferiores. Estas areias com alguma fracção silto-argilosa encontram-se nas camadas superficiais não estando geralmente saturadas de água, pelo que terão uma influência maior na infiltração do que no fluxo de água subterrânea. Se excluirmos estas zonas superficiais do aquífero, então os valores mínimos serão ligeiramente mais elevados (13 m/d) situando-se a média em torno dos 23 m/d (equações de Hazen e Konezy-Carman d_{10}).

Para o aquífero semiconfinado as permeabilidades são mais reduzidas situando-se entre o mínimo de 10 m/d e um máximo de 20 m/d (tabela 2.1). Os níveis semiconfinados definidos neste trabalho são: o aquífero AQF2-W, que apresenta valores de condutividade hidráulica ligeiramente mais elevados do que os obtidos nos ensaios de bombagem (entre 12 e 75 m/d); e os aquíferos semiconfinados encontrados a oriente AQF2-E e AQF3-E, que apresentam valores entre 6 e 18 m/d com uma média de cerca de 10 m/d e entre os 7 e os 24 m/d com valores médios que rondam os 11 m/d, respectivamente.

Os valores de condutividade hidráulica obtidos permitem ainda corroborar a definição hidroestratigráfica que tinha sido efectuada anteriormente.

As unidades aquíferas (AQF1, AQF2-W, AQF2-E e AQF3-E) sobressaem pela maior condutividade hidráulica apresentada. As unidades confinantes AQT1-W e AQT1-E são muito heterogéneas e parecem comportar-se no geral como aquitardos, já que podem apresentar níveis de permeabilidade muito reduzida. A unidade AQT2-E apresenta valores de condutividade hidráulica variáveis que, embora sendo globalmente baixos, não atingem os valores mínimos obtidos nas unidades confinantes que lhe são sobrejacentes (AQT1-W e AQT1-E). Em algumas amostras das unidades hidrogeológicas AQT1-W, AQT1-E e AQT2-E a condutividade hidráulica é tal, que estas camadas podem mesmo comportar-se como níveis aquíferos dentro de um aquífero multicamada.

Os sedimentos cretácicos possuem características compatíveis com a definição de aquícludo, sobretudo quando se comparam os valores obtidos para a condutividade hidráulica das litofácies MGS e RC com os das camadas superiores.

Nesta fase do trabalho, em que existem muitas incertezas quanto ao comportamento individual de cada unidade hidrogeológica, optou-se por considerar várias hipóteses:

- a primeira segue a organização do sistema aquífero Quaternário de Aveiro e, à sua semelhança, considera um aquífero freático superior, formado pela unidade AQF1, e um aquífero inferior semiconfinado na maioria da sua área (aquífero de base do Quaternário), constituído pelas unidades AQF2-W, a ocidente, e AQF2-E e AQF3-E, a oriente, sendo estas últimas unidades parte de um aquífero multicamada com uma unidade intermédia de permeabilidade mais reduzida (AQT2-E);
- a segunda hipótese mantém uma organização detalhada, considerando os níveis aquíferos definidos no subcapítulo 5.1;
- a terceira hipótese, mais remota, considera que todas as unidades hidrogeológicas definidas no capítulo 5.1 seriam parte integrante de um aquífero multicamada, com um comportamento intermédio entre um aquífero livre ou freático e um aquífero semiconfinado.

As duas últimas hipóteses são casos limite da análise efectuada a duas escalas: uma mais detalhada e minuciosa e a outra mais alargada e abrangente; ou seja, dependeriam de um efeito de escala.

A terceira hipótese será provavelmente a menos plausível, dada a diferença de níveis piezométricos existentes entre as duas unidades aquíferas do sistema aquífero Quaternário de Aveiro, previamente estudadas, associadas a distintas características hidroquímicas.

5.2.2 Estimação da transmissividade (T) a partir da condutividade hidráulica

A transmissividade de cada aquífero foi calculada através da equação 5.3 (tabela 5.6), sendo também efectuado o cálculo da transmissividade para um aquífero multicamada resultante da associação dos aquíferos AQF2-E e AQF3-E, que muitas vezes são contíguos sem terem entre si a camada confinante AQT2-E (Jorgensen, 1980; citado em Batu, 1998; Fetter, 2001).

Estes valores são meramente indicativos, porque, para além da condutividade hidráulica ser determinada através de equações empíricas, a espessura máxima de b (em metros) é inferior à real, já que muitas vezes não se conseguiu penetrar totalmente as camadas aquíferas.

Isto é verdade para todas os aquíferos, mas sobretudo para AQF2-W (em que nunca se atingiu a base) e para AQF2-E e AQF3-E onde só se intersectou a base dos aquíferos nas

áreas mais orientais. No caso do aquífero freático AQF1, a espessura saturada só foi medida nos espaços interdunares, locais onde se realizaram os furos, pelo que não corresponderá à sua espessura máxima.

Valores máximos para a espessura do aquífero AQF2-W, indicados em parêntesis na tabela 5.6, foram obtidos a partir do registo de furos efectuados a norte da Praia da Tocha (Cavaco, 1996). Esta informação revela que a transmissividade da unidade aquífera AQF2-W pode ser bem maior do que aquela que foi calculada através dos dados obtidos na zona em estudo.

Tabela 5.6 – Valores aproximados da transmissividade das unidades aquíferas (m^2/d), calculados após a estimação de K pelas equações de Hazen e Konezy-Carman.

Unidade hidrogeológica	Litofácies		b (m)	T_H (m^2/d)	T_{K-C} (m^2/d)
AQF1	WS	Mínimo	0	0	0
		Máximo	7	315	276
		Média	3	68	60
AQF2-W	SS	Mínimo	3	36	31
		Máximo	7,3 (30*)	524	453
		Média	7	159	137
AQF2-E	WS WSg	Mínimo	1	8	8
		Máximo	15	262	230
		Média	5	54	53
AQF3-E	APS	Mínimo	0	2	2
		Máximo	8	149	161
		Média	3	33	32
AQF2-E multicamada	WS, WS g, APS	Mínimo	2	4	24
		Máximo	16	173	420
		Média	6	57	109

* - espessura máxima segundo registos de furos efectuados a norte da Praia da Tocha (Cavaco, 1996)

A área em estudo foi definida pelo sistema aquífero Quaternário de Aveiro, onde se localizam as lagoas de Quiaios, que pertence às bacias hidrográficas das Ribeiras da Costa e do rio Mondego e é limitada a norte pelo limite meridional do sistema aquífero Cretácico de Aveiro e pelo limite da bacia hidrográfica do Vouga (figura 5.11). Estes limites resultam da necessidade de um estudo mais dirigido à zona sul do sistema aquífero Quaternário de Aveiro, que se encontra sobrejacente a unidades hidrogeológicas indiferenciadas da Orla Mesocenozóica Ocidental (figura 2.7), com especial atenção para o fluxo subterrâneo.

Esta área alargada sofreu posteriormente duas restrições. A norte da Tocha foi limitada pelo paralelo 4465000 m N (UTM - Fuso 29 - WGS84), pela inexistência de pontos de acesso a água subterrânea a norte desta linha. Um outro limite foi colocado após a campanha de prospecção geofísica, optando-se por separar a parte NE do sector II (*vide* capítulo 3) onde afloram sedimentos cretácicos, cartografados como Arenitos do Carrascal (equivalentes da Formação da Figueira da Foz) e Calcários de Tentúgal (equivalentes dos Calcário Apinhoados da Costa d'Arnes), ou em que é provável a sua existência a cotas muito próximas da superfície topográfica. A amostragem foi intensificada no interior das bacias hidrográficas das quatro lagoas, especialmente nas suas áreas orientais dada a abundância de pontos de água existentes.

O estudo da piezometria das principais unidades aquíferas foi efectuado após o inventário de pontos de água se ter alargado aos 27 furos produtivos executados a ocidente, na zona florestada das dunas de Quiaios.

Os furos e poços, usados neste estudo, apresentavam captações apenas numa camada aquífera. As únicas excepções a esta regra são os furos que estão localizados no sector Central, em que não existe camada confinante entre o aquífero superior (AQF1) e o aquífero inferior (AQF2) e que, por isso, apresentam captações num aquífero livre que resulta da junção dos dois.

As campanhas de medição foram efectuadas em dias consecutivos (2 ou 3 dias no total) e os pontos de medida georreferenciados através de GPS (Garmin® GPS60), tendo sido utilizadas 3 médias de pelo menos 30 leituras por ponto com um erro planimétrico estimado em cerca de 2 m por leitura. Os dados foram transferidos com o *software* MapSource® para ficheiros de dados georreferenciados, no sistema de coordenadas projectadas UTM-Fuso29-WGS84.

A superfície topográfica foi depois refinada cruzando dados de georreferenciação em tempo real com o modelo digital do terreno, obtido com os valores de altimetria fornecidos pelos Serviços Geográficos do Exército, através do *software* ArcGIS® 9, sendo todas as medidas sido referidas ao nível médio do mar actual (NMMA) de acordo com esta base topográfica.

5.3 Piezometria das formações aquíferas

Os principais objectivos deste estudo consistiram na caracterização geométrica das superfícies piezométricas dos aquíferos AQF1 (aquífero superior freático) e AQF2 (aquífero inferior semiconfinado ou aquífero de base); as suas relações com as massas de água superficial; a estimação dos gradientes hidráulicos ligados a essas superfícies piezométricas; a sua variação entre períodos húmidos e secos consecutivos e após um ano hidrológico; as relações existentes entre as superfícies piezométricas dos dois aquíferos definidos (AQF1 e AQF2) num determinado período hidrológico.

5.3.1 Enquadramento hidrográfico – definição dos limites da zona em estudo

A área envolvente das lagoas de Quiaios, objecto deste estudo hidrogeológico, encontra-se repartida ou limitada por três bacias hidrográficas. A bacia hidrográfica das Ribeiras da Costa (Vouga), a ocidente, é aquela em que se insere a maior parte da área em estudo, estando limitada pela bacia hidrográfica do rio Vouga, a N e NE, e pela bacia hidrográfica do rio Mondego, a E e SE (figura 5.10).

As lagoas das Braças, Salgueira e Teixoeiros fazem parte da bacia hidrográfica das Ribeiras da Costa e a lagoa da Vela insere-se na bacia hidrográfica do Mondego.

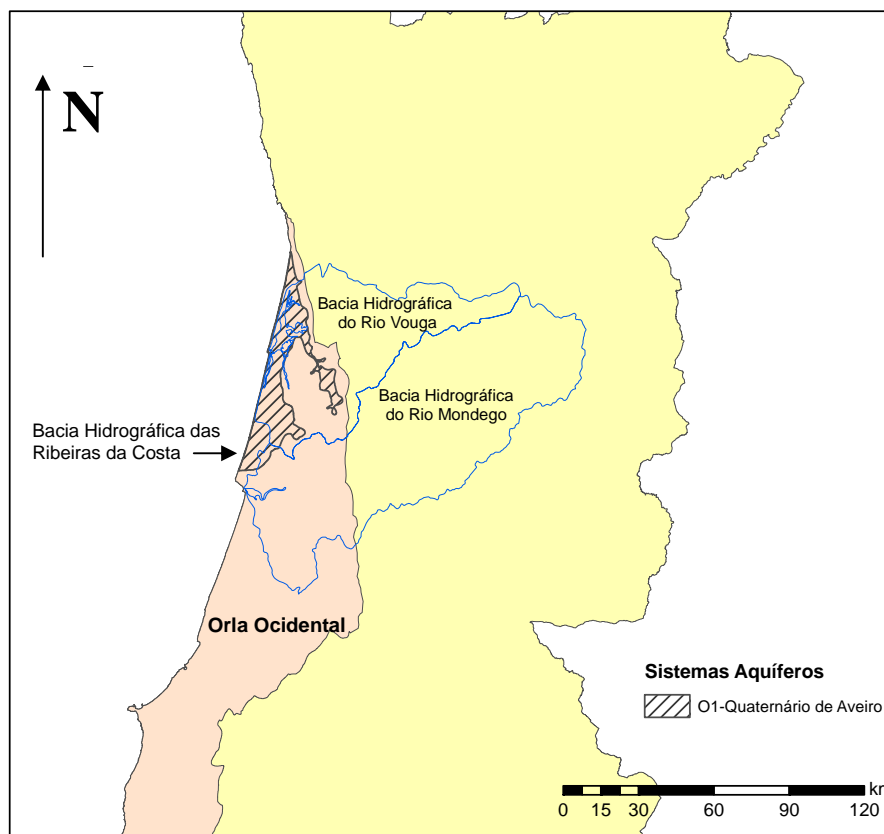


Figura 5.10 – Enquadramento hidrográfico e hidrogeológico da zona em estudo.

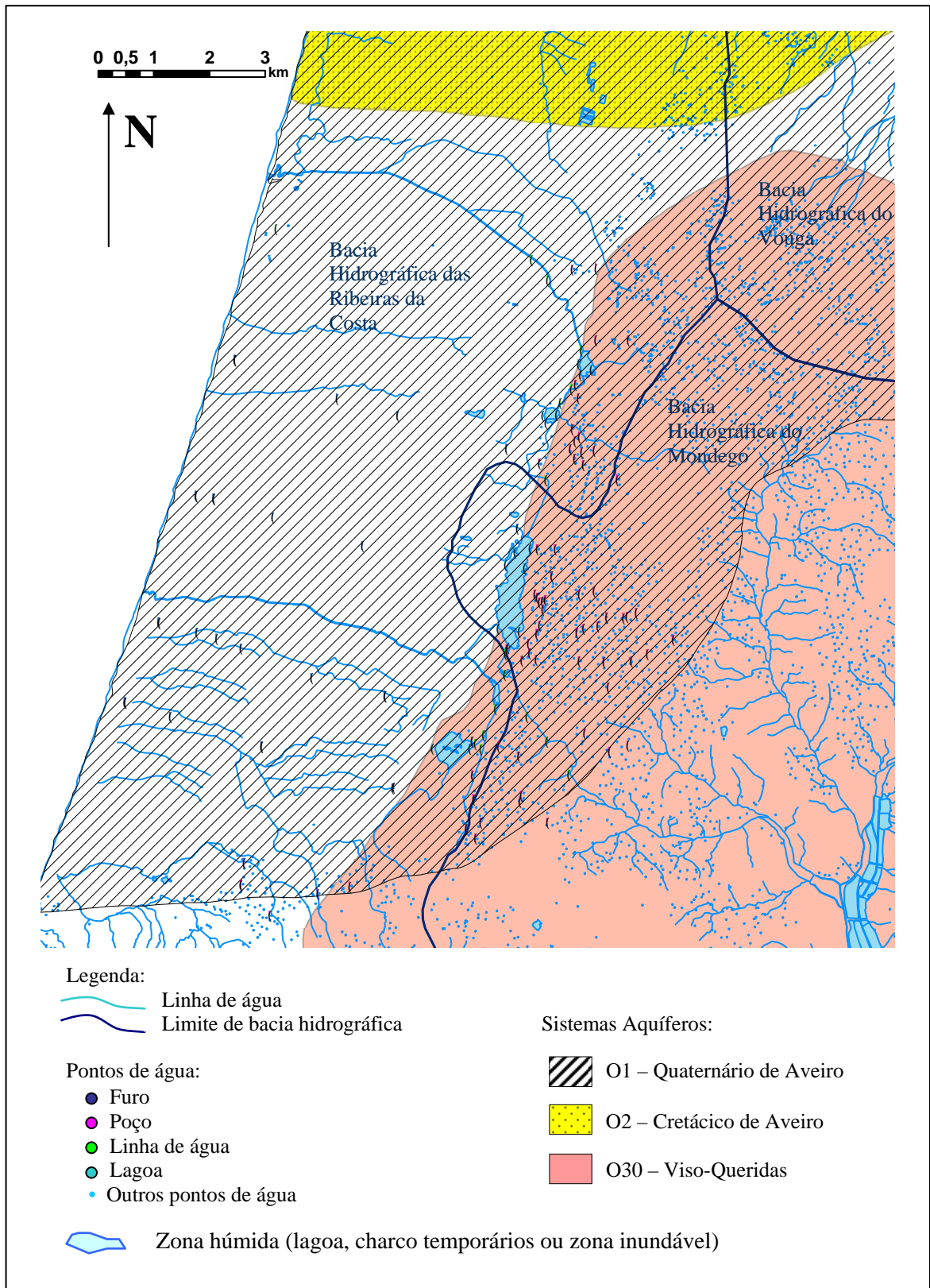


Figura 5.11 – Localização dos pontos de água utilizados no estudo piezométrico.

Os furos usados para controlo da superfície piezométrica (AQF1) apresentam zonas de tubo ralo em posições ligeiramente inferiores ao nível freático, mas suficientemente próximas para não causarem alterações significativas na definição daquela superfície (Sanders, 1998) (tabela 5.7). A extensão do tubo ralo usado situa-se entre 0,5 m e 2 m, sendo o valor médio de 1 m (anexo 5.3).

Os furos que captam nas unidades aquíferas AQF2 e AQF3 têm tubos ralos colocados a profundidades maiores, já que estes aquíferos estão instalados em unidades inferiores e foi necessário isolar o nível captado para minimizar as contaminações dos aquíferos subjacentes. A existência de piezómetros com tubo-ralo a diferentes profundidades poderá causar algum erro na definição da superfície piezométrica do aquífero inferior, mas dada a topografia bastante aplanada os erros serão mínimos afectando apenas os furos que existam em zonas de recarga ou descarga.

Para observar as interacções entre a água superficial e a água subterrânea do aquífero freático colocaram-se ainda os dados relativos a níveis de água medidos em lagoas e linhas de água e analisaram-se em conjunto (anexos 5.3 e 5.4).

Tabela 5.7 – Profundidade das captações estudadas (em metros).

		Profundidades médias das captações				
		AQF1	AQF1/AQF2-E	AQF2-W	AQF2-E	AQF3-E
Furos	Mínimo	2	7,5	10,2	6	11
	Máximo	9	11,5	15	13,5	18,5
	Média	4,5	9,6	12,1	11,2	15,7
Poços	Mínimo	2,3	-	-	-	-
	Máximo	7	-	-	-	-
	Média	4	-	-	-	-

Foram efectuadas medições do nível de água subterrânea e superficial em Abril e Outubro de 2007 e em Abril de 2008, sendo os resultados reunidos no anexo 5.3. Nos dois períodos mais recentes foram analisados um total de 124 pontos de água, entre furos, poços, linhas de água e lagoas que permitiram determinar níveis piezométricos da totalidade das unidades aquíferas, para além de níveis de água superficial. O nível de água foi medido em poços e furos que estavam em repouso.

As medições de níveis em águas superficiais, lagoas e linhas de água, foram efectuadas em 7 e 8 locais, respectivamente. Nos restantes pontos, o nível de água foi estimado a partir dos dados já referidos, da informação topográfica do modelo digital do terreno e do levantamento topo-hidrográfico da lagoa da Vela (disponibilizado pela Câmara Municipal da Figueira da Foz) (tabela 5.8).

A única nascente inventariada inicialmente, situada a cerca de 1 km a norte de Quiaios, não apresentou qualquer fluxo de água durante os levantamentos hidrológicos efectuados entre

Abril de 2007 e Abril de 2008, por isso não foi incluída nos pontos de água mencionados na tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Pontos de água utilizados na definição das superfícies piezométricas.

	Aquíferos					Água Superficial	Total
	AQF1	AQF1/AQF2-E	AQF2-W	AQF2-E	AQF3-E		
Furo	9	4	5	6	3	0	27
Lagoa	0	0	0	0	0	15 (7)	15
Linha de água	0	0	0	0	0	17 (8)	17
Poço	66	0	0	0	0	0	66
Nº Total	75	4	5	6	3	32	125
Percentagem	60%	3%	4%	5%	2%	26%	100%

Os pontos de acesso ao sistema aquífero Quaternário de Aveiro onde se efectuaram medições do nível de água são os que constam na figura 5.11, estando enquadrados pelos sistemas aquíferos e pelas bacias hidrográficas a que pertencem.

O número de pontos de medida junto das lagoas foi elevado, especialmente a oriente da lagoa da Vela, já que nesta zona, muito aplanada, existiam dúvidas em relação à orientação do fluxo após a fase inicial do inventário hidrogeológico. A existência de pontos de água do sistema aquífero Quaternário de Aveiro dentro do sector II, na área em estudo, era relativamente rara, sobretudo nas áreas florestadas ou sem aproveitamento agrícola, como a zona do Hospital Rovisco Pais e uma grande mancha de floresta que existe a oriente da estrada EN109, próxima de Pedros.

Os resultados da medição de níveis piezométricos em furos, poços, linhas de água e lagoas, foram integrados em mapas que reuniram a informação das superfícies piezométricas e respectivos gradientes hidráulicos medidos em três períodos, sazonalmente opostos, nos anos hidrológicos de 2006/2007 e 2007/2008 (anexo 5.4). As representações das superfícies piezométricas incluíam as linhas de igual potencial (isopiezas ou equipotenciais) assim como os vectores do gradiente hidráulico, cuja grandeza é representada por uma escala de cores. Também foram elaborados diversos mapas que relacionam a informação piezométrica ao longo do tempo para os dois aquíferos definidos, e a relação potenciométrica entre os dois aquíferos num determinado período hidrológico (anexo 5.5).

Os mapas foram efectuados através do *software Surfer*[®], usando krigagem em meio isotrópico para estimar a superfície piezométrica entre os pontos de medida. Muitas vezes, utilizaram-se ainda operações entre malhas (*grids*), com o mesmo *software*, tentando estimar a evolução temporal das superfícies. Para relacionar a informação obtida, a partir de dados de água subterrânea de água superficial utilizou-se *software* de georreferenciação e de modelação geológica: ArcGIS[®] 9 e RockWorks[®] 2006.

5.3.2 Superfícies piezométricas do aquífero superior freático (AQF1)

As superfícies piezométricas (freáticas) para o aquífero superior freático (AQF1), nos períodos seco e húmido do ano hidrológico 2007/2008, foram estimadas por krigagem, em meio isotrópico, a partir dos dados de níveis de água subterrânea, medidos em poços e furos que captavam neste aquífero (anexo 5.5) e das suas relações com os níveis de água superficial, medidos em lagoas e linhas de água (anexo 5.4 e figuras 5.12 e 5.13).

Foram ainda efectuados mapas de superfícies piezométricas estimadas por krigagem, em meio isotrópico, a partir unicamente dos dados de níveis de água subterrânea medidos em poços e furos que captavam este aquífero (anexo 5.5).

Os períodos seleccionados de Outubro de 2007 e Abril de 2008, pretendem caracterizar as superfícies freáticas no final do período seco e do período húmido, ao longo do ano hidrológico de 2007/2008, verificar a sua evolução e a sua relação com as massas de água superficial.

Quando se analisa a superfície piezométrica do aquífero superior (AQF1) em Abril de 2008, obtida a partir da conjugação de dados de níveis de água de furos e poços com dados de lagoas e linhas de água, verifica-se que, de uma maneira geral, a superfície piezométrica acompanha a superfície topográfica e que o fluxo principal se faz de oriente para ocidente (figura 5.12).

O gradiente hidráulico tende a aumentar em direcção ao mar e nas proximidades das linhas de água mais encaixadas (especialmente na vala do Zurrão, a SE), sendo relativamente baixo a oriente, com valores inferiores a 0,004 e muitas vezes inferiores a 0,002.

O aumento do gradiente hidráulico em direcção ao mar é muito visível pelo encurtamento da distância entre isopiezas, especialmente no interior do sector geofísico Ic (figura 3.40) a ocidente do furo F7, com os valores a atingirem máximos de 0,016.

Constatou-se que, à data da execução do furo F4, o nível freático se encontrava abaixo dos 8,5 m de profundidade nesse local, sendo provável que se situasse entre os 11 m e os 12 m de profundidade pela análise dos valores de condutividade eléctrica aparente do perfil EM7-CC (figura 3.20).

Estas evidências sugerem que o gradiente hidráulico será máximo próximo do bordo oriental do sector geofísico Ic, que corresponde aproximadamente ao Sector Central definido pela análise das unidades sedimentares. É neste local que deixam de ser visíveis as camadas confinantes que constituem o aquífero AQT1-E e, portanto, a permeabilidade vertical aumenta bruscamente em relação aos locais mais orientais. Para ocidente, o gradiente hidráulico mantém-se ainda relativamente elevado, mas baixa ligeiramente para valores entre 0,010 e os 0,012.

O facto da superfície piezométrica do aquífero freático acompanhar a superfície topográfica é bem visível na zona sul da figura 5.12 onde se situam os furos F20 e F21 e os poços a norte de Quiaios. O nível piezométrico está relativamente mais alto nas zonas topograficamente mais elevadas e o gradiente hidráulico, relativamente baixo na zona de cumeada, aumenta à medida que nos deslocamos ao longo das suas encostas. Os vectores de fluxo subterrâneo apresentam direcções que parecem irradiar a partir do cume.

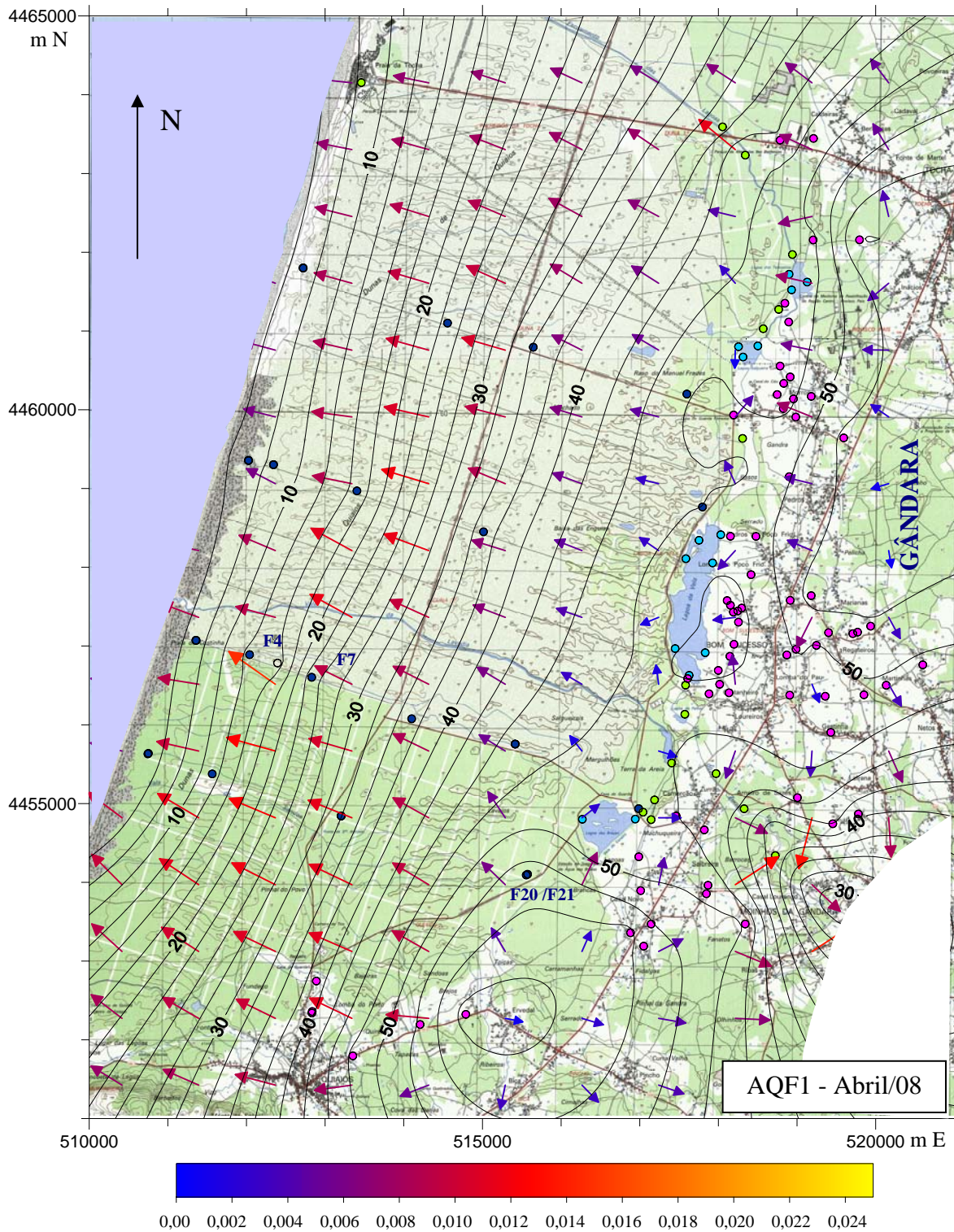
A lagoa das Braças enquadra-se neste contexto, numa área onde o fluxo se orienta de sul para norte, ou mais precisamente de sudoeste para nordeste, parecendo rodar em direcção à vala do Zurrão que se situa a leste da lagoa. Em cartas anteriores a 1958 é visível um afluente da vala do Zurrão com origem na lagoa das Braças (figuras 2.8 e 2.11). O fluxo em redor da lagoa das Braças parece fazer-se ainda de acordo com essa direcção, em direcção à vala do Zurrão. Esta circunstância é verificada na superfície piezométrica a oriente da lagoa das Braças, sobretudo em torno dos poços situados na zona de Casal Novo e Saibreira cujos valores de nível piezométrico vão diminuindo para oriente.

A bombagem efectuada nos furos de captação para abastecimento público da Figueira da Foz, situados na margem SW da lagoa das Braças a oriente dos furos F20 e F21, não parece condicionar notoriamente a forma da superfície freática nas proximidades desta zona, notando-se apenas ligeiras inflexões nas isopiezas que rodeiam a lagoa das Braças a S e a W.

A superfície piezométrica apresenta gradientes hidráulicos muito reduzidos na zona envolvente das lagoas de Quiaios e na região ocidental da Gândara, a oriente da fiada de lagoas, estando muito próxima da superfície topográfica muito aplanada. A zona não saturada tem espessuras inferiores a 1 m e muitas vezes de apenas alguns decímetros, sobretudo nas épocas de pluviosidade mais elevada.

O fluxo em redor da lagoa da Vela apresenta um gradiente muito baixo (inferior a 0,002) e aparentemente o fluxo intermédio far-se-á para ocidente. Dada a inexistência de pontos de água imediatamente a ocidente da lagoa da Vela e a falta de informação de níveis de água subterrânea nessa zona, pode ser aceite que na área restrita da bacia de drenagem desta lagoa, a ocidente, exista fluxo subterrâneo no sentido da lagoa.

O fluxo subterrâneo segue orientações diferentes na região da Gândara, a oriente do alinhamento formado pelas lagoas, na região de Pocinhos e Inácios. Uma orientação segue para N (NW) e outra para S (SE), na direcção de duas linhas de água cujo fluxo é intermitente, mas que geralmente persiste durante quase todo o ano com excepção do final do período seco. A norte o fluxo dirige-se para a vala das Lagoas (ou do Escoamento das Lagoas), que une a lagoa Salgueira e a lagoa dos Teixoeiros e desagua no mar junto à praia da Tocha. Enquanto que, a sul, se dirige para a vala do Zurrão (ou Zarrão), uma linha de água de escoamento da lagoa da Vela afluente do rio Foja, que faz parte da bacia hidrográfica do rio Mondego. A zona de separação entre estas duas direcções de fluxo coincide aproximadamente com a linha de cumeada entre as bacias do Mondego e das Ribeiras da Costa (Vouga) na zona estudada.

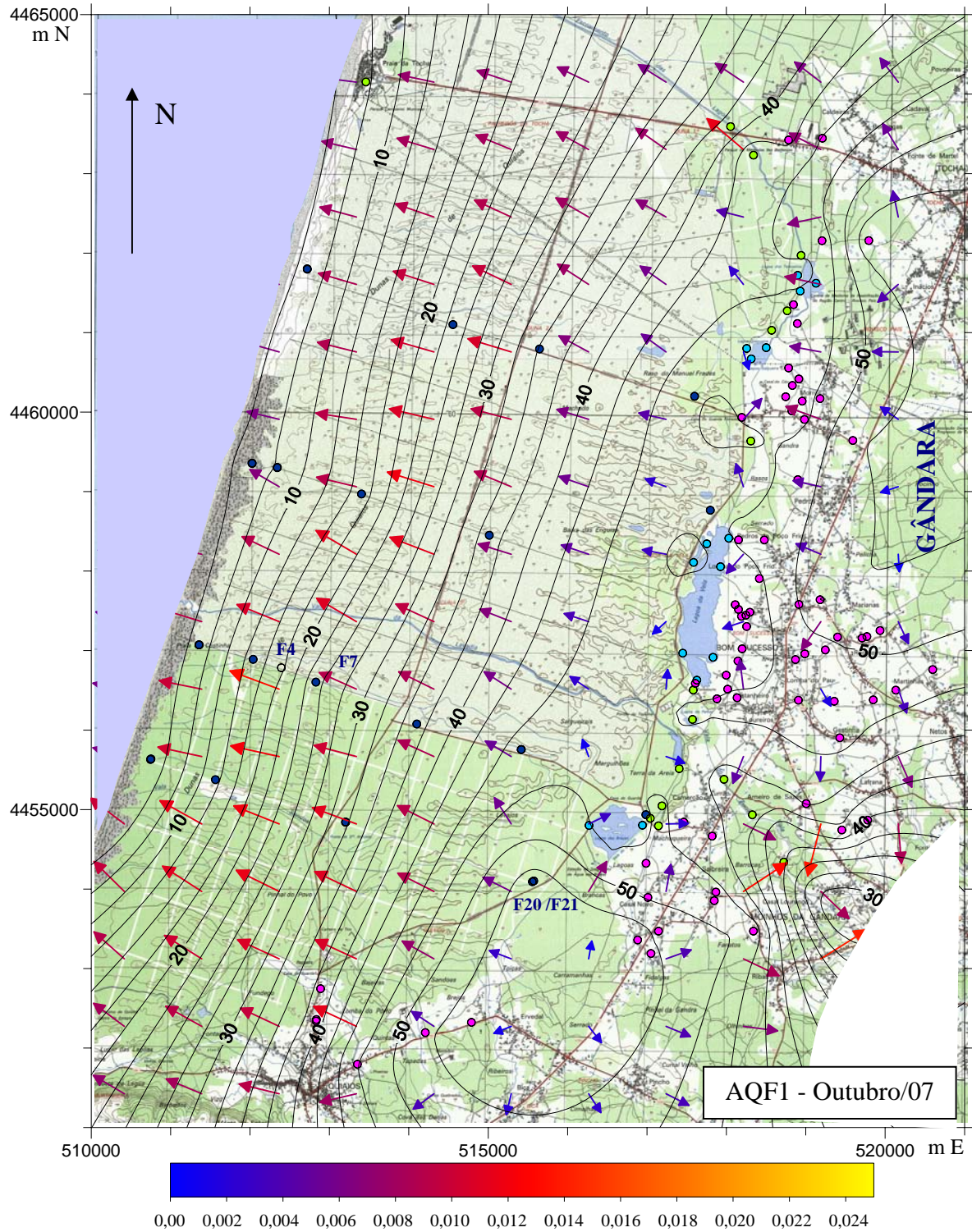


Legenda:

- Vector do fluxo subterrâneo (gradiente conforme a escala cromática)
- Isopieza (m) (acima do NMMA – Datum Vertical Marégrafo de Cascais)
- Furo
- Poço
- Linha de água
- Lagoa
- Pontos de medida

Nota: as coordenadas indicadas referem-se à quadrícula quilométrica UTM Fuso 29 – WGS84.

Figura 5.12 - Superfície freática do aquífero superior (AQF1), em Abril de 2008.



Legenda:

- Vector do fluxo subterrâneo (gradiente conforme a escala cromática)
- Isopieza (m) (acima do NMMA – Datum Vertical Marégrafo de Cascais)
- Furo
- Poço
- Linha de água
- Lagoa
- Pontos de medida

Nota: as coordenadas indicadas referem-se à quadrícula quilométrica UTM Fuso 29 – WGS84.

Figura 5.13 - Superfície freática do aquífero superior (AQF1), em Outubro de 2007.

A superfície piezométrica observada em Outubro de 2007 (figura 5.13) não é muito diferente da que se observou em Abril de 2008 (figura 5.12). Nota-se, no entanto, a descida das cotas piezométricas máximas, localizadas no topo da superfície freática na zona sul e na zona nordeste.

Na zona ocidental, o fluxo mantém-se muito semelhante ao que acontecia em Abril, as cotas são relativamente idênticas, as diferenças são sobretudo visíveis nas zonas mais elevadas das superfícies potenciométricas a sul e a nordeste e também nas zonas mais próximas das lagoas, na zona central.

Mantém-se o fluxo preferencial em direcção ao mar condicionado pelas linhas de água existentes a sudeste e a noroeste, pela zona das lagoas que e também pela topografia.

Em Outubro de 2007 (figura 5.13) o declive da superfície piezométrica nas zonas mais elevadas diminui, passando a ser relativamente mais suave. O topo torna-se mais aplanado e ocupa cotas mais baixas do que em Abril de 2008 (figura 5.12).

A espessura não saturada na área envolvente da lagoa da Vela é maior em Outubro de 2007 (figura 5.13) do que em Abril de 2008 (figura 5.12) e o fluxo muda ligeiramente, havendo uma alteração da forma da superfície freática que apresenta cotas mais baixas na lagoa do que na bacia de drenagem circundante. Em Outubro de 2007, a lagoa da Vela parece constituir uma massa de água efluente ou drenante, resultante da descarga de água subterrânea, especialmente visível a oriente. Em Abril de 2008, 3 dias após um período de chuva intensa (cerca de 175 mm), a cota piezométrica da lagoa era ligeiramente mais elevada do que a bacia circundante, tornando-a uma massa de água influente ou de recarga de água subterrânea enquanto não se estabelece um novo equilíbrio.

Da análise das figuras anteriores parece que durante a maior parte do ano hidrológico as lagoas, que constituem afloramentos da superfície freática, são consideradas massas de água superficial de passagem de fluxo. Isto é mais evidente para as lagoas com fluxos de gradiente hidráulico mais elevado, como é o caso da lagoa das Braças, da lagoa Salgueira e da lagoa dos Teixoeiros. No caso da lagoa da Vela, embora também exista essa tendência, pode ainda haver alterações locais da superfície piezométrica que a tornam uma massa de água momentaneamente influente ou efluente.

As conclusões que se retiraram da análise das superfícies freáticas estimadas a partir de níveis de água medidos unicamente em furos e poços (anexo 5.5) são idênticas às evidenciadas pela análise das figuras 5.12 e 5.13. A superfícies piezométricas continuam a reflectir a influência do mar, da topografia existente na zona e da rede de drenagem superficial. Reproduzem ainda seguramente a diferença entre as permeabilidades vertical e horizontal e a heterogeneidade destes valores ao longo da área em estudo.

5.3.3 Superfícies piezométricas do aquífero inferior semiconfinado (AQF2)

As superfícies piezométricas do aquífero inferior semiconfinado (AQF2), nos períodos seco e húmido do ano hidrológico 2007/2008, foram estimadas por krigagem, em meio isotrópico, a partir dos dados de níveis de água subterrânea, medidos unicamente em furos que captavam neste aquífero, num total de 17 pontos de medida (anexo 5.4 e figura 5.14).

A área da superfície piezométrica do aquífero inferior que foi alvo de estudo é substancialmente inferior à zona estudada do aquífero superior freático, já que o número de pontos de acesso era muito menor, sendo apenas constituído pelos furos efectuados recentemente. Existem outros furos que captam no aquífero inferior (AQF2) na região da Gândara, a oriente das lagoas, mas encontram-se ligados directamente a sistemas de abastecimento doméstico, não sendo possível efectuar medições de níveis freáticos.

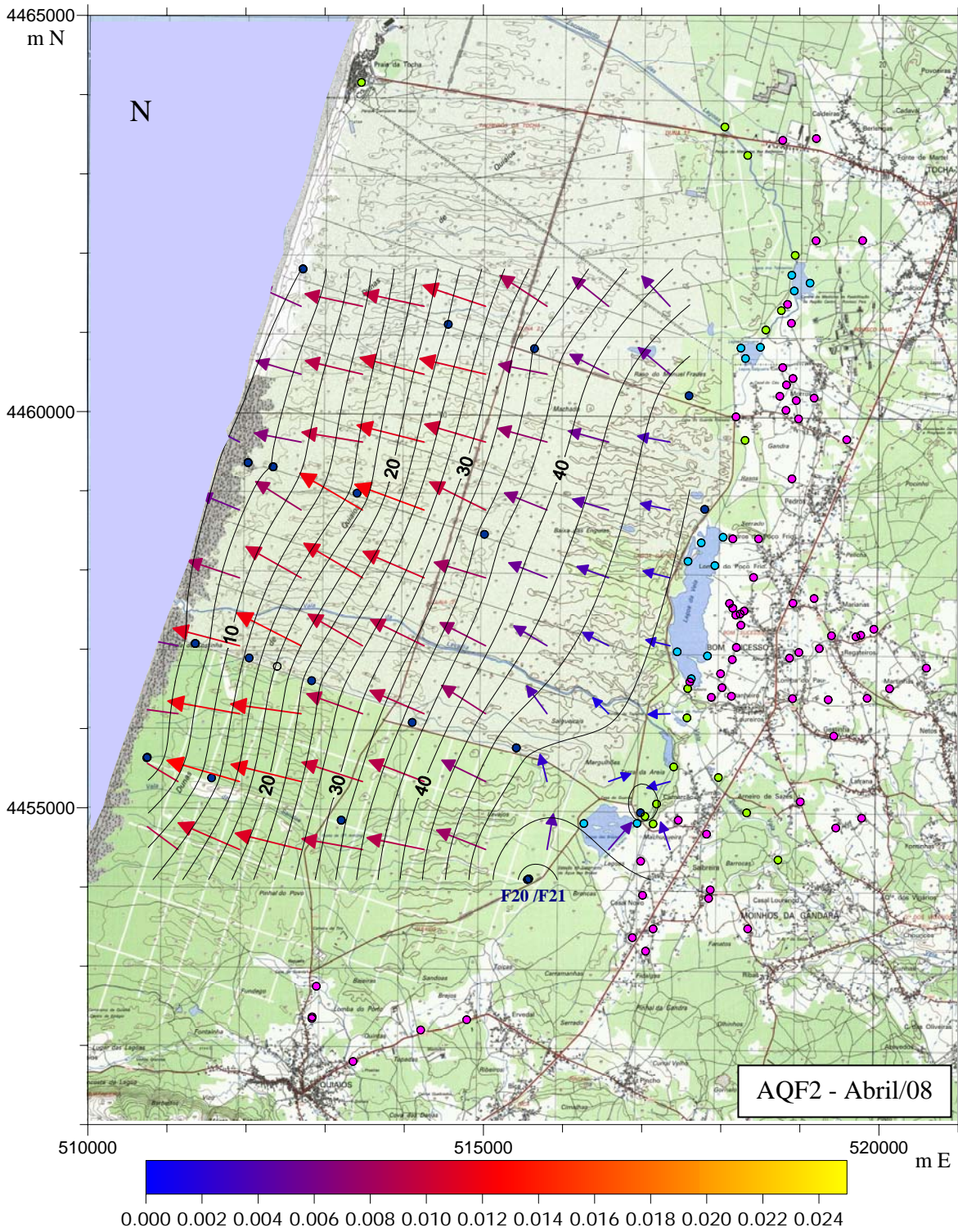
As isopiezas do aquífero inferior acompanham as do aquífero superior a uma cota ligeiramente inferior. Esta diferença será estimada quando se fizer a subtracção de níveis piezométricos entre aquíferos num determinado período temporal.

A superfície piezométrica tem um máximo na zona sul em redor dos furos F20 e F21, sendo os restantes valores das cotas piezométricas mais elevados a oriente do que a ocidente, o que provoca um fluxo de água subterrânea do aquífero AQF2 neste sentido.

Os gradientes hidráulicos são mais elevados na zona sul e na zona ocidental correspondente ao subsector Ic. São mais baixos na zona próxima das lagoas de Quiaios a ocidente e na zona costeira junto ao mar. Todas estas observações concordam com o que se verifica no aquífero superior freático, notando-se também uma influência topográfica na superfície piezométrica do aquífero inferior.

Comparando as superfícies piezométricas do aquífero inferior relativas a Abril de 2008 (figura 5.14) e Outubro de 2007 (anexo 5.4) não se notam alterações significativas, nem no nível piezométrico nem nos gradientes hidráulicos entre estes dois períodos (por isso não se inseriu a imagem relativa a Outubro no texto, ficando apenas no anexo 5.4). A diferença máxima entre o nível piezométrico nos dois períodos é de cerca de 20 cm e não é visível nos mapas do AQF2 (anexo 5.4) já que o intervalo de contorno é de 25 cm.

A influência dos furos de captação para abastecimento público da Figueira da Foz, parece fazer-se sentir na superfície piezométrica do aquífero inferior, através da inflexão existente nas isopiezas com alturas próximas dos 47,5 m ($\pm 2,5$ m) a N e NE dos furos F20 e F21.



Legenda:

- Vector do fluxo subterrâneo (gradiente conforme a escala cromática)
- Isopieza (m) (acima do NMMA – Datum Vertical Marégrafo de Cascais)
- Furo
- Poço
- Linha de água
- Lagoa

Nota: as coordenadas indicadas referem-se à quadrícula quilométrica UTM Fuso 29 – WGS84.

Figura 5.14 - Superfície piezométrica do aquífero inferior (AQF2), em Abril de 2008.

Se atendermos aos raios de influência estimados para os furos que captam neste aquífero (tabela 5.9)¹, verifica-se que são bastante mais elevados, para bombagens prolongadas, do que a distância entre os furos de captação e os furos mais próximos existentes na rede de monitorização (F8 e F20), que estão a cerca de 1500 m.

Tabela 5.9 – Raios de influência estimados para furos que captam no aquífero inferior.

Aquíferos ^a		T _H (m ² /d)	R ₀ (m)		
			1 dia	6 dias	100 dias
AQF2-W	Máximo	524	768	1881	7678
	Média	159	423	1036	4229
AQF2-E	Máximo	262	543	1330	5429
	Média	54	246	604	2465
AQF3-E	Máximo	149	409	1003	4094
	Média	33	193	472	1927
AQF2-E multicamada	Máximo	173	441	1081	4412
	Média	57	253	620	2532
Bibliografia ^b		T (m ² /d)	R ₀ (m)		
			1 dia	6 dias	100 dias
Aquífero semiconfinado	Mínimo	190	462	1132	4623
	Máximo	750	919	2250	9186
	Média	432	697	1708	6971

Notas: Valores calculados para um coeficiente de armazenamento médio (S) de 0,002;

^a – Valores de T_H estimados pela equação de Hazen (tabela 5.6); ^b – Valores de T determinados por ensaios de bombagem, segundo Almeida *et al.* (1999, 2000) (tabela 2.1).

A existência dos furos de captação a sul da lagoa das Braças, em conjugação com a presença da lagoa, pode justificar a forma das isopiezas dos aquíferos superior e inferior naquela região. Dada a elevada transmissividade do meio, o tipo de aquíferos envolvidos e a existência da lagoa, o cone de depressão deverá ser pouco profundo embora extenso, em forma de T achatado (Weight & Sonderegger, 2000).

5.3.4 Secções das superfícies piezométricas

A análise do perfil de uma superfície piezométrica pode evidenciar alguns aspectos particulares do fluxo subterrâneo. Especialmente quando se relaciona com os conhecimentos que existem sobre a hidroestratigrafia local, as propriedades hidráulicas de cada unidade hidrogeológica, a heterogeneidade do meio, as diferenças de permeabilidade vertical e horizontal, a topografia e a interacção com as massas de água superficial. É possível visualizar mais facilmente estas interacções e por vezes explicar determinadas características das superfícies piezométricas, bem como, estabelecer as relações entre superfícies piezométricas de diferentes aquíferos existentes na mesma zona.

¹ Os raios de influência foram calculados pelo método de Cooper-Jacob através da fórmula $R_0^2 = 2,25 \cdot T \cdot t / S$ (Fetter, 2001)

Realizaram-se vários cortes onde se projectaram a topografia, a superfície freática do aquífero superior, a superfície piezométrica do aquífero inferior, as massas de água superficial (lagoas, linhas de água e oceano) de modo a facilitar a sua comparação com as secções hidroestratigráficas anteriormente efectuadas. A direcção dos cortes é geralmente paralela à direcção de fluxo (WNW-ESE), havendo uma secção aproximadamente perpendicular ao fluxo subterrâneo (NNE-SSW) e coincidem em parte com a direcção das secções hidroestratigráficas (figura 5.15 e anexo 5.6).

O corte EW 2 (figura 5.15), mais a norte, com cerca de 9 km e uma direcção WNW-ESE, liga o furo F22, que está a cerca de 450 m do mar, ao poço CAM25, atravessando a lagoa da Vela. Da análise deste corte é possível verificar que o fluxo se faz geralmente em direcção ao mar. A espessura não saturada é mais elevada na zona das dunas, a ocidente das lagoas, reduzindo-se para oriente a partir do poço PV7, havendo poços em que se atinge o nível freático a profundidades decimétricas. O gradiente hidráulico é máximo entre os furos F11 e F26, sendo menor a ocidente e oriente.

Nas zonas em que há um aumento da inclinação da superfície freática deverá haver um fluxo predominantemente descendente, enquanto que, quando há pontos de inflexão em que a inclinação desta superfície diminui o fluxo é maioritariamente ascendente. Sendo assim, a ocidente do furo F11 o fluxo é maioritariamente descendente constituindo esta uma zona de recarga dos aquíferos subterrâneos. Próximo dos poços PV7 e PV5 existe uma zona de descarga de oriente para ocidente em direcção à lagoa da Vela. Os gradientes hidráulicos são muito baixos nesta zona e a superfície freática praticamente horizontal inclinando ligeiramente para ocidente, podendo acontecer que momentaneamente o fluxo possa ocorrer de ocidente para oriente na vizinhança próxima da lagoa da Vela. O nível piezométrico do aquífero inferior AQF2, que está marcado a azul forte tracejado, é praticamente coincidente com o nível freático, sobretudo em torno do furo F26, sendo nos outros pontos ligeiramente mais baixo. Encontra-se acima do nível confinante, sempre que este existe.

O corte EW 4 (figura 5.15), a sul, tem uma distância de cerca de 8 km e uma direcção WNW-ESE, ligando o furo F18, que está a 370 m do mar, ao poço CAM36. É bem visível uma maior espessura não saturada na zona dunar, como no caso anterior. A superfície freática acompanha a superfície topográfica e o gradiente hidráulico aumenta a ocidente do furo F21, sendo especialmente visível o seu incremento em torno do furo F17. A oriente do furo F21 a zona não saturada é muito reduzida e a superfície freática praticamente atinge a superfície topográfica, muito próximo da lagoa das Braças. Verifica-se também que o fluxo nesta zona se faz, com um gradiente relativamente baixo, em direcção a oriente e que existe uma linha de cumeada junto ao furo F21. O nível piezométrico do aquífero inferior está ligeiramente abaixo da superfície freática com excepção da zona próxima do furo F17 onde é coincidente.

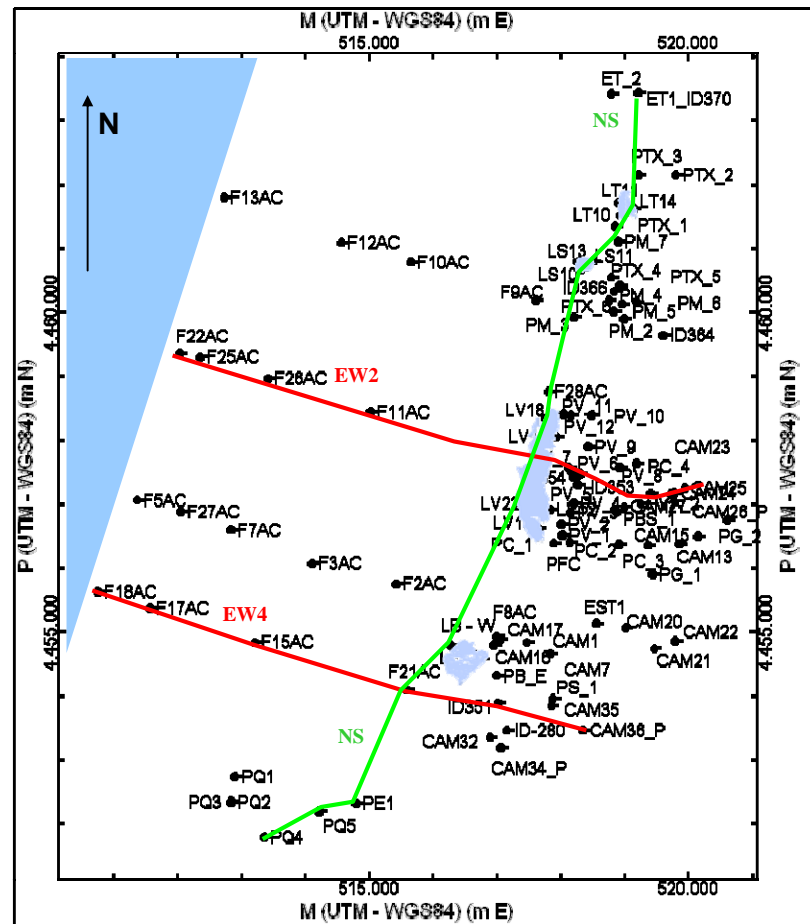


Figura 5.15 (a) – Localização dos pontos de medida cuja informação foi utilizada no modelo hidrodinâmico tridimensional, com a direcção dos cortes das figuras 5.15 (b) a (d).

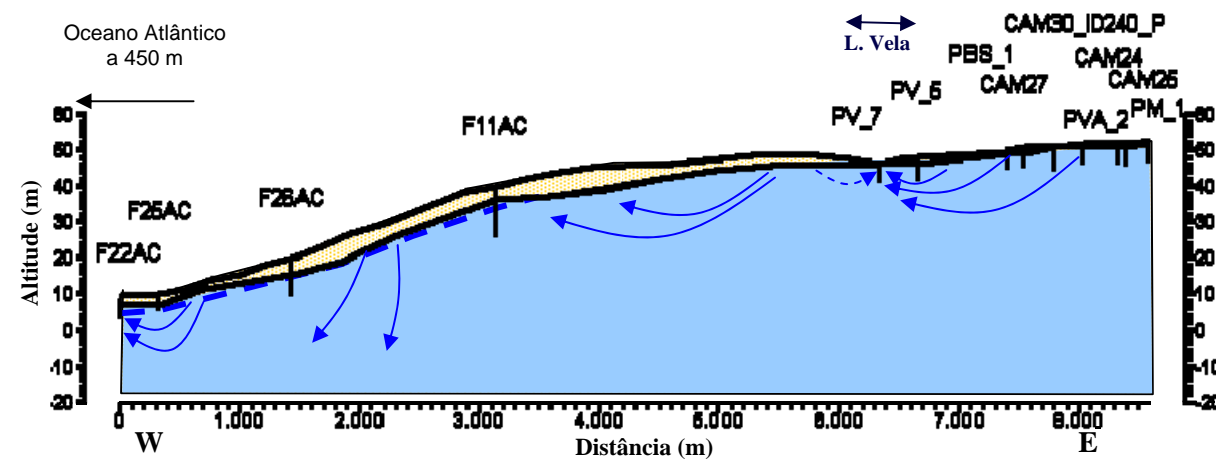


Figura 5.15 (b) – Corte EW 2.

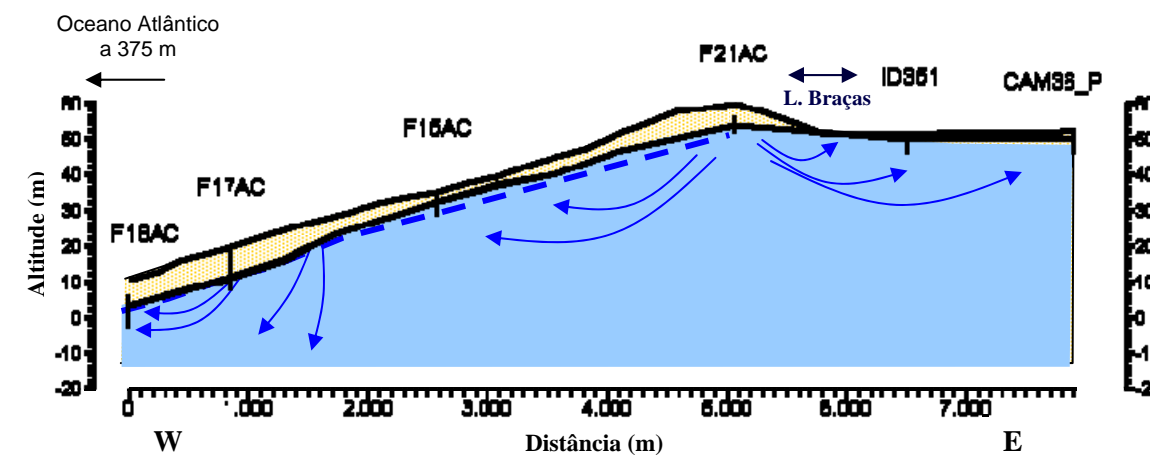


Figura 5.15 (c) – Corte EW 4.

Legenda:

- Zona não saturada
- Zona saturada
- Superfície piezométrica do aquífero inferior (AQF2)
- PQ5 – Ponto de medida
- Linhas de fluxo subterrâneo
- Linhas de fluxo subterrâneo ocasional ou provável

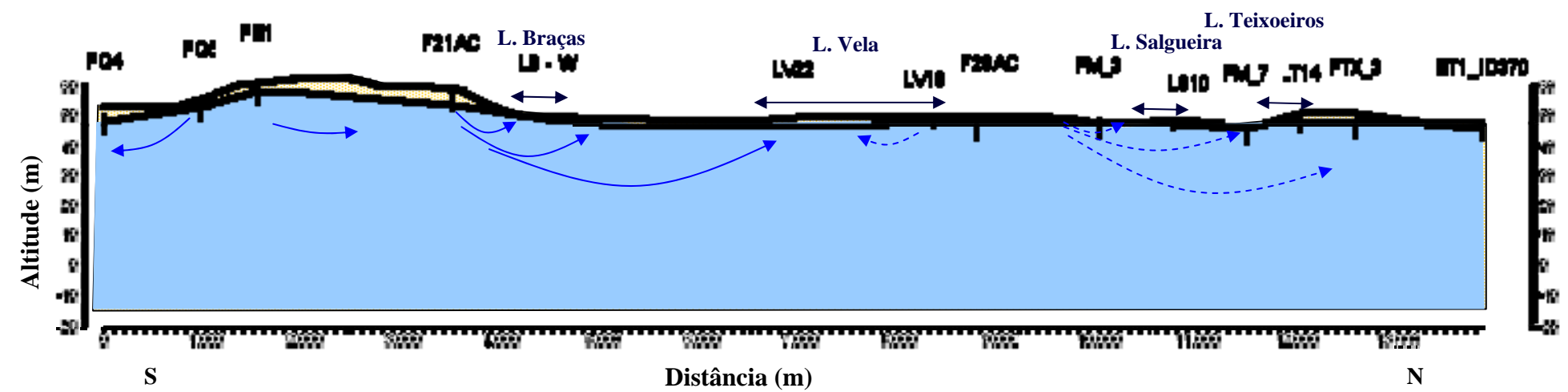


Figura 5.15 (d) – Corte NS

Figura 5.15 – Cortes com dados das superfícies piezométricas dos aquíferos superior e inferior, cuja localização está marcada na planta da figura 5.15 (a).

O corte NS (figura 5.15), tem um comprimento de cerca de 13 km e uma direcção NNE-SSW, ligando o poço PQ4, a sul, ao poço ET1, a norte, acompanhando as lagoas das Braças e da Vela a ocidente, intersectando a lagoa Salgueira e marginando a lagoa dos Teixeiros a oriente.

A zona não saturada na área envolvente das lagoas é muito pequena. O fluxo subterrâneo diverge a partir da linha de cumeada próxima do poço PE1e do furo F21. A norte desta zona o fluxo subterrâneo far-se-á maioritariamente em direcção a norte, com gradientes inicialmente mais elevados, mas que se tornam muito reduzidos nas áreas envolventes das lagoas. Notam-se algumas zonas de afloramento do nível freático próximas do ponto de medida LB-W, que corresponde à lagoa das Braças, entre os poços LV22 e LV18, que estão a oriente da lagoa da Vela e muito perto de LS10 e LT14, ou seja das lagoas Salgueira e Teixeiros, respectivamente. O fluxo subterrâneo apresenta gradientes hidráulicos muito reduzidos nesta zona seguindo tendencialmente em direcção ao Norte, embora na zona envolvente das lagoas, onde o aquífero freático aflora, possa existir pelo menos momentaneamente fluxo subterrâneo em direcção às lagoas.

O corte NS foi realizado entre isopiezas e perpendicularmente à direcção de fluxo dominante, por isso nesta zona o gradiente é ainda mais baixo não sendo visível a direcção predominante do fluxo subterrâneo que continua a fazer-se para ocidente em direcção ao mar, a norte, e em direcção à vala do Zurrão, a sul.

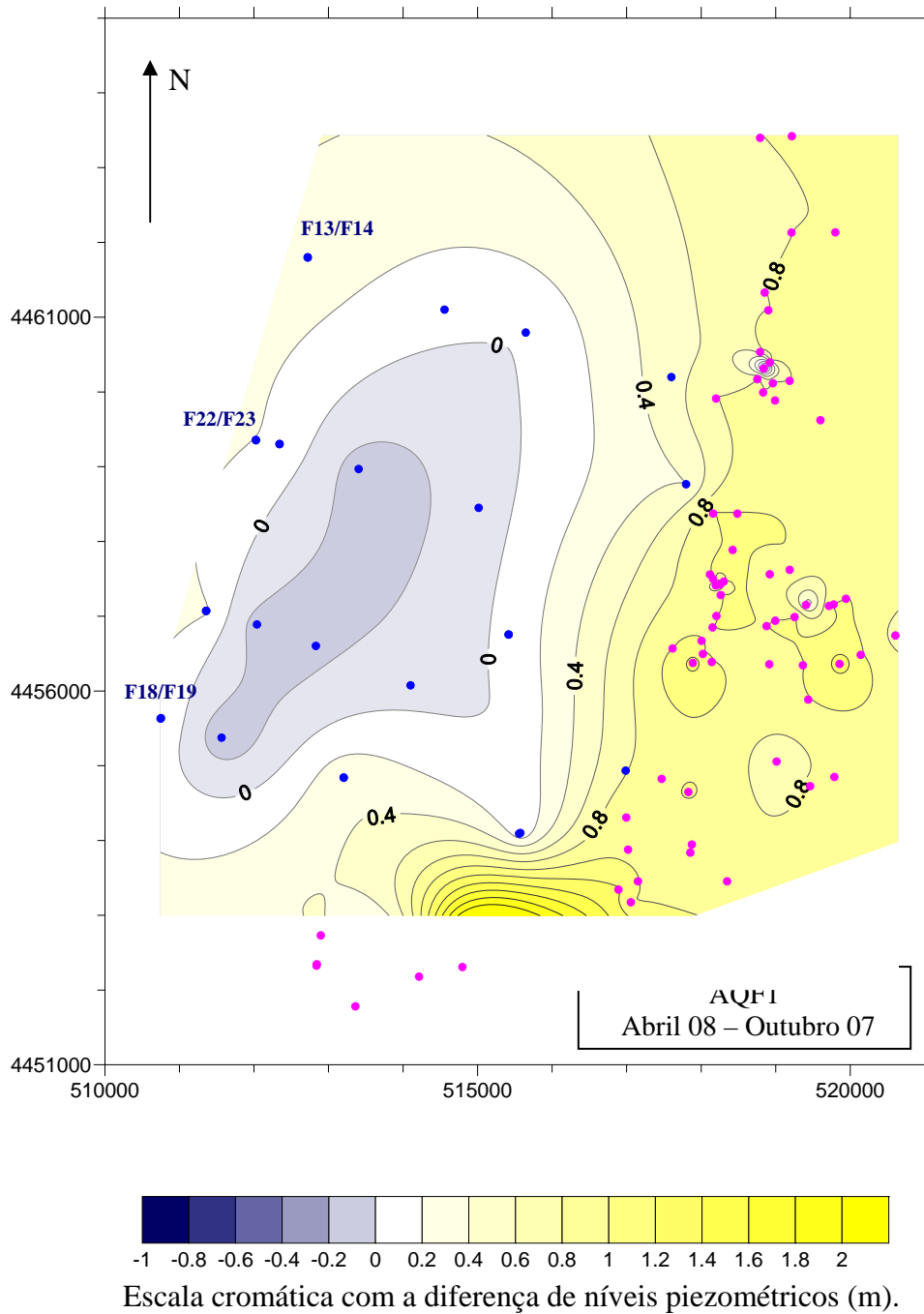
5.3.5 Evolução temporal das superfícies piezométricas dos aquíferos superior e inferior

Analisou-se a evolução das superfícies piezométricas dos dois níveis aquíferos ao longo do ano hidrológico 2007/2008 (anexo 5.5 e figuras 5.16 e 5.17).

Entre Abril de 2008 e Outubro de 2007, verifica-se que o aquífero superior tem em Abril cotas mais elevadas na zona oriental, representadas em tons de amarelo na figura 5.16, enquanto que na zona central e ocidental a variação praticamente não se faz sentir. Nas áreas em não existe camada confinante entre os dois níveis aquíferos as cotas da superfície piezométrica em Abril são ligeiramente mais baixas do que em Outubro.

Se analisarmos, no mesmo período, a variação da superfície piezométrica do aquífero inferior (AQF2) (figura 5.17), verifica-se uma situação muito semelhante, mas em que a variação não é tão notória nas zonas mais orientais sendo praticamente idêntica nas zonas ocidentais.

A noroeste, próximo do furo duplo F13/F14, o aquífero superior apresenta uma subida relativa do nível freático entre Outubro de 2007 e Abril de 2008 (figura 5.16), enquanto que no aquífero inferior há uma descida ligeira do nível piezométrico no mesmo período (figura 5.17). Esta diferença relativa é mais evidente nesta zona já que a camada confinante é menos permeável.



Legenda:

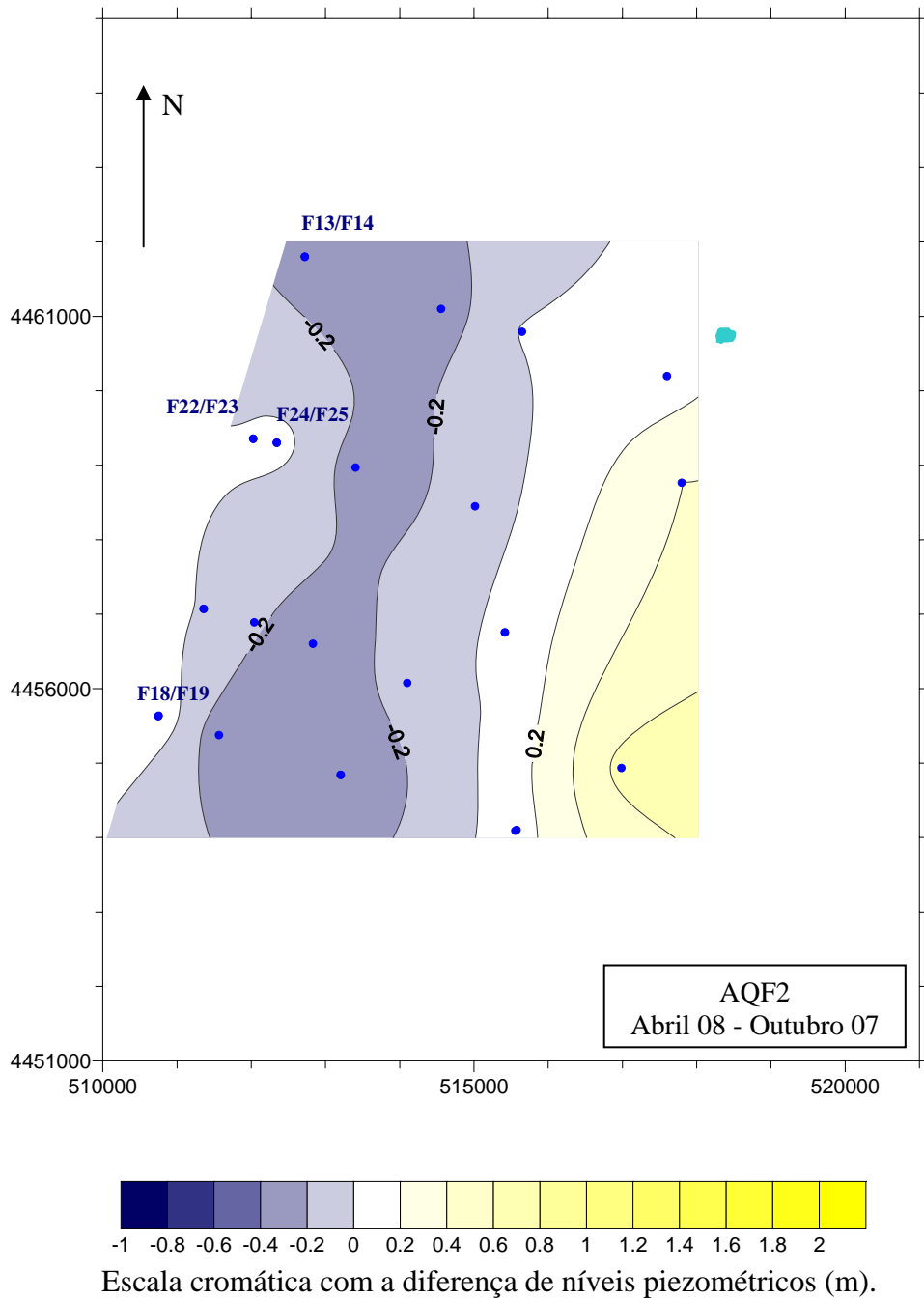
— Isopieza (m) (acima do NMMA – Datum Vertical Marégrafo de Cascais)

● Furo

● Poço

Nota: as coordenadas indicadas referem-se à quadrícula quilométrica UTM Fuso 29 – WGS84.

Figura 5.16 – Diferença de nível piezométrico do aquífero superior (AQF1) entre Abril de 2008 e Outubro de 2007. Estimação por subtração de malhas.



Legenda:

— Isopieza (m) (acima do NMMA – Datum Vertical Marégrafo de Cascais)

● Furo

● Poço

Nota: as coordenadas indicadas referem-se à quadrícula quilométrica UTM Fuso 29 – WGS84.

Figura 5.17 – Diferença de nível piezométrico do aquífero inferior (AQF2) entre Abril de 2008 e Outubro de 2007. Estimação por subtracção do nível piezométrico em furos.

A anisotropia entre as permeabilidades vertical e horizontal é bastante mais marcada no furo F13/F14 do que nos furos F22/F23, F24/F25 ou mesmo no furo F18/F19, tornando mais demorado o estabelecimento do equilíbrio entre os dois aquíferos dada a dificuldade em efectuar o percurso vertical ao longo do camada confinante. Esta evidência reforça o que se concluiu acerca da heterogeneidade dos materiais geológicos que compõem o aquífero AQT1-W (litofácies SM).

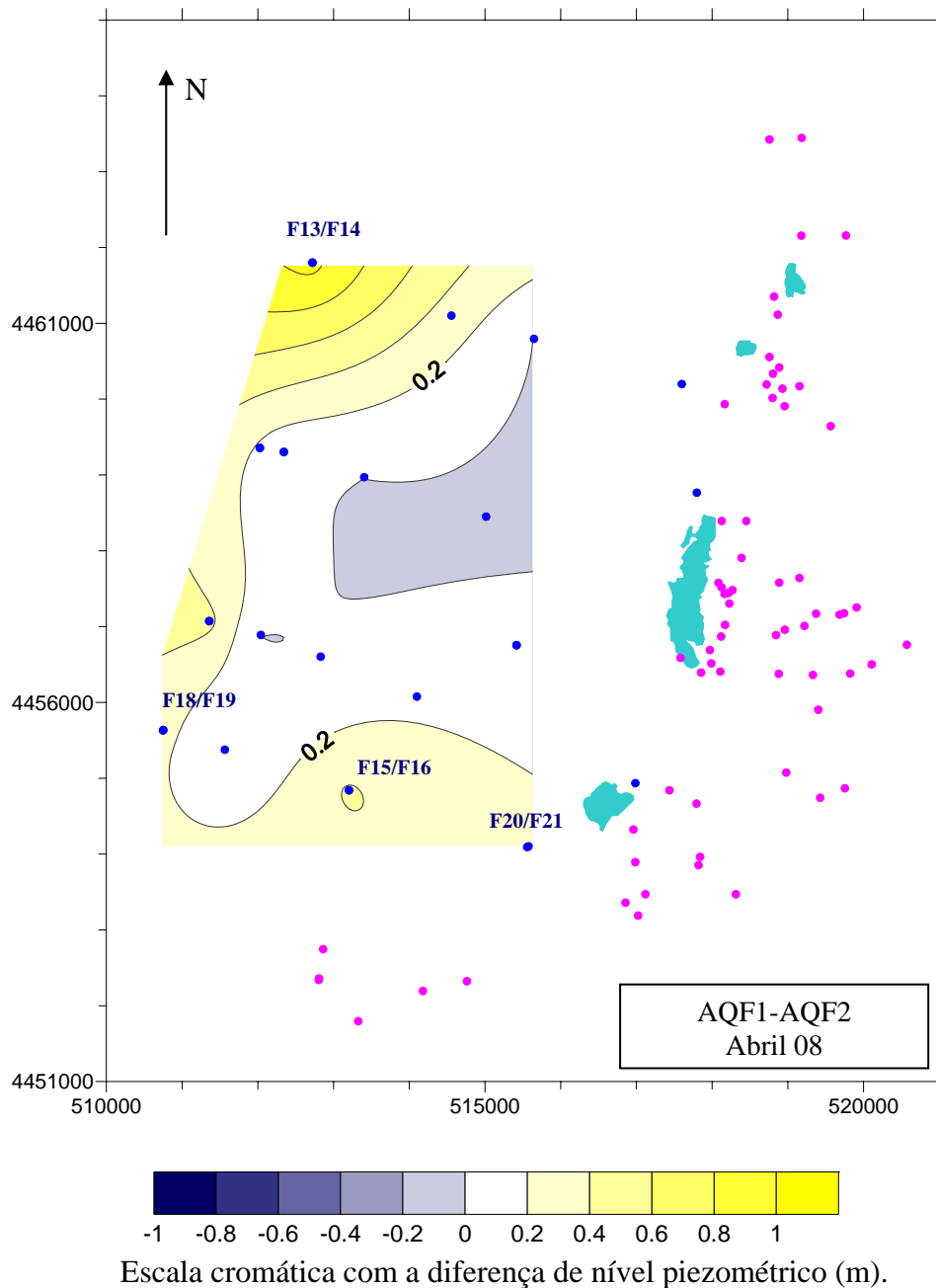
É de salientar, da análise destas figuras, que a zona ocupada pelos furos que captam no Sector Central, em que não existe camada confinante, se mantém idêntica e com níveis ligeiramente mais baixos em Abril de 2008, após um período de chuva intensa. Neste local a espessura não saturada é bastante maior do que nos restantes furos podendo atingir cerca de 12 m. Esta situação torna mais demorado o trajeto da água desde a superfície até ao aquífero, já que os valores de permeabilidade são muito mais baixos na zona não saturada. O percurso que a água tem que fazer até atingir o aquífero é maior, havendo um atraso na recarga desta zona a partir da água da chuva, o que acontece em muito menor grau a oriente onde a espessura da zona não saturada é inferior.

Nas áreas em que a camada confinante existe e a zona não saturada é menor, como nos sectores Oriental e Ocidental, a influência da chuva faz-se sentir primeiro e com maior intensidade no aquífero freático, havendo uma subida quase imediata do nível de água deste aquífero. A recarga diferida para o aquífero inferior, a partir da água existente no aquífero superior, demorará tanto mais tempo e será menos eficaz quanto maior for a profundidade a que este se encontra e quanto maior for a diferença entre a permeabilidade horizontal dos aquíferos e a permeabilidade vertical dos aquíferos. Assim, o fluxo será preferencialmente horizontal nos locais onde a permeabilidade vertical da camada confinante for menor, fazendo-se em direcção aos locais de descarga e aumentando temporariamente o nível do aquífero freático, na medida em que este o possa acomodar. A descarga far-se-á para a rede de drenagem superficial ou para os níveis aquíferos mais profundos, sempre que a camada confinante o permita, ou esteja ausente.

5.3.6 Posição relativa das superfícies piezométricas no mesmo período temporal

Avaliou-se a posição relativa das superfícies piezométricas dos dois níveis aquíferos, no mesmo período temporal do ano hidrológico 2007/2008, recorrendo à diferença de alturas de águas em furos duplos que captam níveis aquíferos diferentes (anexo 5.5 e figuras 5.18 e 5.19).

As diferenças de cotas entre as superfícies piezométricas dos aquíferos AQF1 e AQF2 são relativamente pequenas (inferiores a 1 m), sendo maiores em Abril de 2008 (figura 5.18) do que em Outubro de 2007 (figura 5.19).



Legenda:

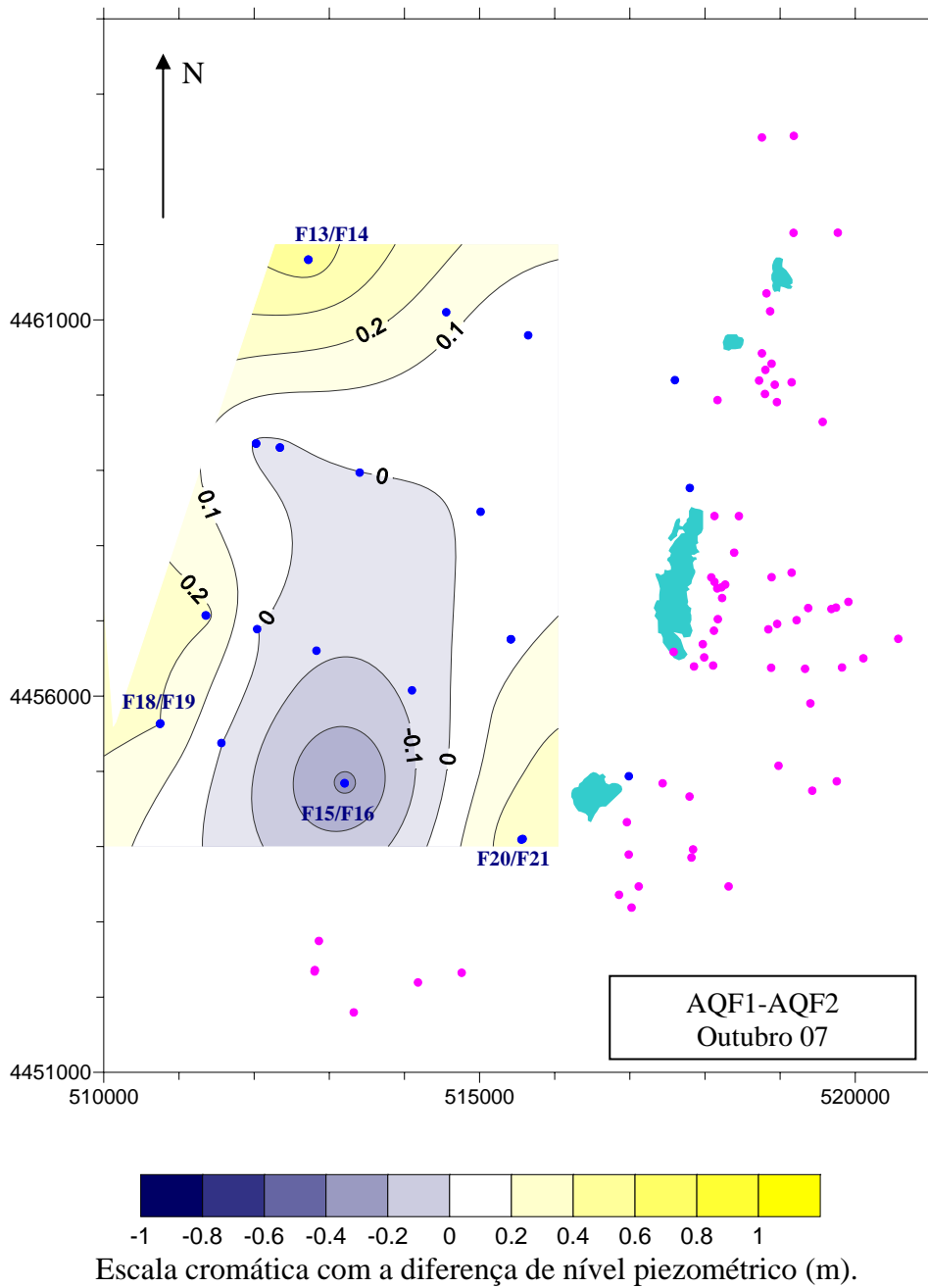
— Isopieza (m) (acima do NMMA – Datum Vertical Marégrafo de Cascais)

● Furo




● Poço

Nota: as coordenadas indicadas referem-se à quadrícula quilométrica UTM Fuso 29 – WGS84.

Figura 5.18 – Diferença de nível piezométrico entre o aquífero superior (AQF1) e o aquífero inferior (AQF2), em Abril de 2008. Estimação por subtração do nível piezométrico em furos duplos.



Legenda:

-  Isopieza (m) (acima do NMMA – Datum Vertical Marégrafo de Cascais)
-  Furo
-  Poço

Nota: as coordenadas indicadas referem-se à quadrícula quilométrica UTM Fuso 29 – WGS84.

Figura 5.19 – Diferença de nível piezométrico entre o aquífero superior (AQF1) e o aquífero de inferior (AQF2), em Outubro de 2007. Estimação por subtracção do nível piezométrico em furos duplos.

Em Abril de 2008 (figura 5.18) o nível piezométrico do aquífero superior é geralmente mais elevado que o do aquífero inferior, muito visível a NW e a S. Na zona correspondente aos furos do sector Central não se notam diferenças de nível de água, já que aqui não existem camadas confinantes entre os dois aquíferos.

A posição relativa das superfícies piezométricas do aquífero superior e do aquífero inferior em Outubro de 2007 (figura 5.19) é praticamente a mesma de Abril de 2008, com excepção da região em torno do furo F16. O aquífero superior tem um nível piezométrico ligeiramente acima do que existe no aquífero inferior, embora a variação seja menor do que em Abril de 2008 (entre -0,3 e +0,6 m). As diferenças inferiores a zero são potenciadas pela diferença de cotas piezométricas que se verifica em torno do furo F16, em que o nível do aquífero AQF2 é ligeiramente superior ao nível do aquífero AQF1. No furo F20, o nível piezométrico do aquífero superior continua a ser mais elevado do que o inferior, contrariamente ao que ocorre no furo F16 tendo os dois furos posições hidroestratigráfica muito semelhantes. A diferença pode ser justificada pelo facto de o furo F20 se situar nas proximidades dos furos de captação de água para abastecimento público da Figueira da Foz, junto da lagoa das Braças. A extracção nos furos de captação das Braças é mais intensa durante os meses de Verão, o que poderá fazer com que a diferença de níveis piezométricos seja mais notada em Outubro do que em Abril (figura 5.19).

As figuras 5.18 e 5.19 demonstram a maior ou menor dificuldade em se atingir um equilíbrio hidráulico entre os dois aquíferos, especialmente nos sectores Oriental e Ocidental, denotando confinamento local do aquífero inferior, evidenciado pela heterogeneidade nas fácies sedimentares das camadas confinantes; permeabilidades horizontais muito superiores a permeabilidades verticais; distintas espessuras da zona não saturada ao longo do perfil transversal de fluxo e capacidades de armazenamento muito variadas.

5.4 Hidroquímica

A composição química de uma água natural resulta das interacções químicas, físicas e biológicas, que ocorrem durante o seu ciclo hidrológico. Deste processo resultam composições químicas diversas e em constante mutação, sempre que as condições de equilíbrio se alterem. As principais reacções químicas envolvidas neste processo são reacções de ácido/base, de precipitação/dissolução, de complexação e de oxidação/redução, que dependem da composição das fases sólida, líquida e gasosa em contacto.

Conhecer a composição química das águas subterrâneas e superficiais encontradas na zona em estudo, poderá permitir a identificação dos processos hidrogeoquímicos activos na sua formação. Do mesmo modo, águas com diferentes proveniências, percursos e interacções terão assinaturas químicas distintas, sendo possível a sua integração em grupos de amostras com histórias semelhantes.

Para tal, foram recolhidas 54 amostras de água subterrânea e superficial, em diversos locais e com diferentes tipos de captação, para que se pudessem efectuar análises químicas (tabela 5.10 e figura 5.20). Foi realizada ainda a análise química de um testemunho de campo designado como F4 (anexo 5.7). A medição dos parâmetros de campo, a amostragem e a análise química foram executadas de acordo com a metodologia descrita no capítulo 1.

Determinaram-se, segundo a notação de Freeze & Cherry (1979; citado em Delleur, 2007), os constituintes maiores (> 5 mg/L) e menores (0,01 a 10 mg/L) e 14 constituintes vestigiais: alumínio, bário, brometo, cádmio, chumbo, crómio, cobalto, cobre, lítio, manganésio, níquel, nitrito, fosfato e zinco, num total de 36 parâmetros (anexo 5.7).

Tabela 5.10 – Distribuição das amostras recolhidas por aquífero ou água superficial, tipo de captação ou local de recolha .

		Furo	Lagoa	Linha de água	Poço	Total
Aquífero	AQF1	11	-	-	8	19
	AQF1/AQF2	4	-	-	-	4
	AQF2-E	14	-	-	-	14
	AQF2-W	6	-	-	-	6
	AQF3-E	3	-	-	-	3
Água Superficial		-	6	2	-	8
Total		38	6	2	8	54

Os resultados das análises químicas foram organizados em folhas de cálculo, no formato Excel (anexo 5.7), a partir dos quais se calcularam os parâmetros de estatística descritiva, (anexo 5.8) e se projectaram os diagramas de extremos e quartis (anexo 5.9). Efectuaram-se as determinações de parâmetros de campo e as análises químicas segundo metodologia descrita no capítulo 1, com um total de 36 determinações analíticas e 47 variáveis. São indicados, no anexo 5.9, os valores legalmente estabelecidos para águas superficiais e subterrâneas destinadas à produção de água para consumo humano, de água de rega e os objectivos ambientais de qualidade mínima para águas superficiais, que constam do D.L. n.º 243/2001, de 5 de Setembro, e do D.L. n.º 236/1998, de 1 de Agosto.

5.4.1 Composição química de águas subterrâneas e superficiais

A composição química da água das unidades aquíferas, definidas no capítulo 5.1, é apresentada em mapas com diagramas de Stiff (figura 5.20), em diagramas de Piper (figura 5.21) e em alguns diagramas de extremos e quartis das variáveis analisadas (figura 5.22). Nos diagramas das figuras 5.20 e 5.21 utilizou-se uma análise da água da chuva da zona litoral centro de Portugal (Aveiro) (Melo, 2002), dada a inexistência de dados de água da chuva para a zona em estudo.

A concentração em catiões Na+K, Ca e Mg e em aniões Cl, HCO₃+CO₃ e SO₄, nas águas analisadas permitiu elaborar um mapa com a projecção dos diagramas de Stiff de cada uma das amostras, na área em estudo (figura 5.20). Esta projecção foi efectuada tendo em conta a existência de águas subterrâneas e superficiais, as respectivas unidades hidrogeológicas e o tipo de captação.

Existem diferenças evidentes nas características hidroquímicas das águas captadas a ocidente das lagoas e destas para oriente. A linha de fronteira entre estes dois espaços coincide com o limite oriental da floresta e a localização das lagoas. A região ocidental tem um uso florestal sem episódios de contaminação conhecidos, enquanto que, a região oriental tem um uso predominantemente agrícola e urbano, com contaminação essencialmente difusa (Fernandes, 1999).

As águas captadas nos aquíferos AQF1 e AQF2-W, do sector Ocidental, as águas do sector Central (AQF1/AQF2) e as águas do aquífero AQF1 do sector Oriental, são de fácies bicarbonatadas cálcicas, com mineralizações progressivamente mais elevadas no sentido do fluxo, isto é, para ocidente em direcção ao mar (SEC < 200 µS/cm e TDS < 100 mg/L a oriente e SEC > 780 µS/cm com TDS > 480 mg/L, a ocidente).

Nos furos duplos em que existem captações no aquífero AQF1 e no aquífero AQF2-W o tipo de água é muito semelhante, havendo apenas um ligeiro aumento de sódio e cloretos que evidenciam uma maior influência marinha do aquífero superior nesta zona.

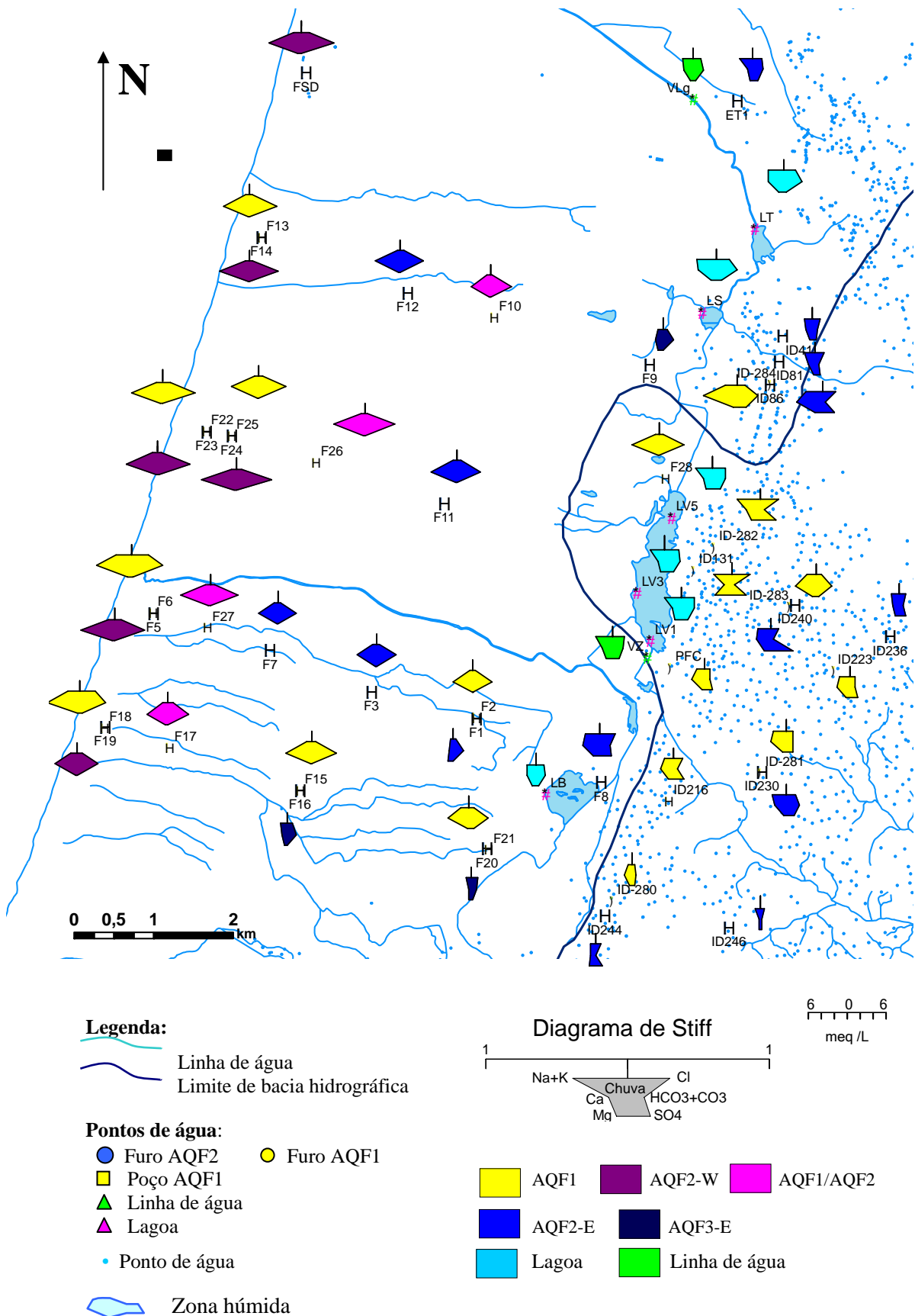


Figura 5.20 – Localização dos pontos de amostragem. Diagramas de Stiff das amostras analisadas, com indicação dos aquíferos a que pertencem e do tipo de captação, em Julho de 2007.

Diagrama de Stiff da água da chuva na legenda, com escala exagerada em relação aos restantes.

As águas captadas nos aquíferos inferiores do sector Oriental (AQF2-E e, sobretudo, AQF3-E) são distintas das existentes no aquífero superior AQF1 e inferior ocidental AQF2-W. Apresentam mineralizações muito reduzidas ($SEC < 253 \mu S/cm$; $TDS < 155 mg/L$) e fácies mistas, em que predominam os aniões bicarbonato (e raramente cloreto), sendo os catiões muito variáveis geralmente sódio (e potássio), mas também pontualmente cálcio e magnésio (figura 5.20).

Águas de furos e poços do aquífero superior AQF1 e do aquífero inferior AQF2-E, na região a oriente das lagoas de Quiaios (região da Gândara), têm características hidroquímicas diversas, com fácies geralmente mistas onde predominam cloretos e sulfatos, sódio e cálcio (figura 5.20).

As águas superficiais estudadas, geralmente de fácies mista (bicarbonatadas e cloretadas, sódicas e cálcicas), ocupam posições centrais no diagrama de Piper (figura 5.21) e apresentam mineralizações intermédias e progressivamente mais elevadas para norte (figura 5.20).

As amostras da figura 5.21 projectam-se em torno de um eixo que une as amostras dos aquíferos AQF2-W e AQF1/AQF2, de fácies bicarbonatada-cálcica, a uma posição próxima da água da chuva, mas com um ligeiro incremento nos teores de sulfatos e, em menor grau de magnésio. A mancha mais dispersa é formada por amostras dos aquíferos AQF1 e AQF2-E e por amostras de águas superficiais. Tem composições que se situam entre as linhas de 20 e 40 % de $Na+K$ (entre 80 e 60% de $Ca+Mg$) e cujas percentagens de $Cl+SO_4$ variam aproximadamente entre 10 e 100%.

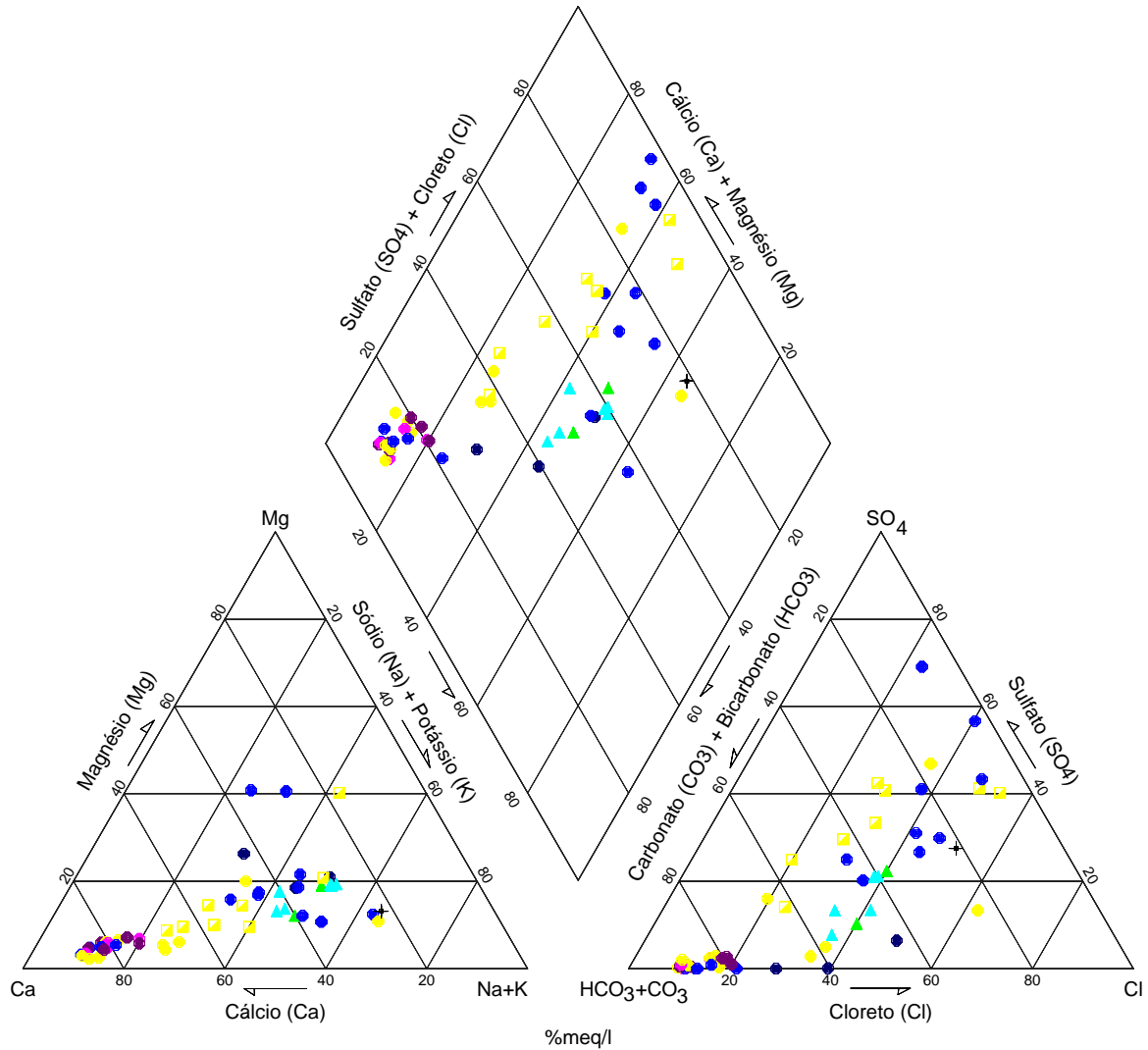
A temperatura medida em amostras de águas subterrâneas e de águas superficiais é muito diferente, como seria de esperar, tendo a colhida sido efectuada no Verão. As águas de lagoas e linhas de água apresentam temperaturas mais elevadas (média de $25 ^\circ C$) do que as existentes em amostras de água subterrânea. Nos aquíferos, a temperatura da água era tanto mais baixa quanto mais profunda era a captação, sendo nos aquíferos AQF1 e AQF2-E, geralmente mais elevada do que nos restantes, com valores de $19 ^\circ C$ e de $18 ^\circ C$, respectivamente. A temperatura da água atinge o valor mais baixo nos furos do aquífero AQF3-E, com valor médio de $16,5^\circ C$ (figura 5.22).

O pH das águas superficiais na área em estudo (7,5 em média) é geralmente mais elevado do que existe nas águas subterrâneas. As águas subterrâneas mais alcalinas encontram-se no aquífero AQF2-W, apresentando valores médios de 6,9. O pH do aquífero AQF1 distribui-se normalmente em torno de uma média de 6,25, sendo mais elevado na zona do sector Central em que não existe camada confinante (6,6 em média). As unidades aquíferas que apresentam água com pH inferior são os aquíferos AQF2-E e AQF3-E.

As águas subterrâneas analisadas apresentam valores de Eh muito variáveis, mas quando se analisam as médias dos diferentes aquíferos verifica-se que o valor decresce com a profundidade da captação. Os valores máximos foram obtidos nos aquíferos AQF1 e AQF2-E com cerca de 500 mV. No entanto, mesmo nestes aquíferos, existem águas com

condições menos oxidantes, havendo furos em que o Eh é inferior a 100 mV. O aquífero AQF3-E apresenta águas cujos valores de Eh são geralmente baixos, com valor médio de cerca de 100 mV.

A quantidade de nitratos é geralmente baixa, excepto nos aquíferos AQF1 e AQF2-E onde podem atingir os 100 mg/L, havendo mesmo um ponto extremo com 228 mg/L de NO_3 .



Legenda:

Furo – & (AQF1), & (AQF2-E), & (AQF3-E)

& (AQF1/AQF2), & (AQF2 – W)

Poço – ◊ (AQF1)

Água superficial – ▢ (Lagoa) e ▣ (Linha de água)

Água da Chuva – +

Figura 5.21 – Diagrama de Piper com a projecção das amostras de água subterrânea, de água superficial e de água da chuva, com indicação do tipo de captação (furo ou poço). Colheita efectuada em Julho de 2007. Análise de água da chuva de Aveiro (Melo, 2002).

A unidade aquífera que apresenta águas com valores mais elevados de alcalinidade é a AQF2-W (média de 230 mg/L de CaCO₃), seguida das águas existentes no sector Central (AQF1/AQF2) com valores médios de 191 mg/L. Os restantes aquíferos apresentam valores de alcalinidade mais baixos, com especial relevo para o aquífero AQF3-E com valores médios de 60 mg/L.

As águas superficiais são as que apresentam concentrações de O₂ dissolvido mais elevadas (7,20 mg/L). As águas subterrâneas apresentam concentrações médias deste gás de cerca de 2 mg/L, com excepção das amostras dos aquíferos AQF3-E (0,50 mg/L) e AQF2-E (0,87 mg/L) (anexo 5.9).

Concentrações relativamente elevadas de CO₂ livre foram encontradas nas amostras da unidade aquífera AQF3-E (com uma média de 80 mg/L) e em algumas amostras das unidades aquíferas AQF2-E e AQF1, com concentrações sempre inferiores a 100 mg/L, sendo as águas superficiais, aquelas onde a sua concentração é menor (com uma média de 25 mg/L) (anexo 5.9).

Os valores de concentração de sulfatos em águas subterrâneas são geralmente baixos nas unidades aquíferas mais profundas de zonas não poluídas, com valores inferiores a 7 mg/L para todas as amostras dos aquíferos AQF2-W, AQF1/AQF2 e AQF3-E. As águas de unidades aquíferas mais próximas da superfície, sobretudo em zonas com contaminação difusa de origem agrícola, apresentam concentrações de sulfatos bastante mais elevadas podendo atingir 100 mg/L e, em casos extremos, 165 mg/L (figura 5.22).

Os cloretos existem principalmente nas águas superficiais, tendo o valor médio das análises obtidas nestas águas (62 mg/L) sido superior ao das águas subterrâneas, geralmente inferior a 30 mg/L. A única excepção são os aquíferos AQF1 e AQF2-E com alguns pontos extremos (82 e 101 mg/L) (anexo 5.9).

Os fosfatos são praticamente inexistentes nas águas subterrâneas, podendo atingir 7 mg/L nas águas superficiais (Lagoa Salgueira) (anexo 5.9).

Só existem fluoretos nas águas superficiais e em três amostras dos aquíferos AQF1 (ID131), AQF1/AQF2 (F27) e AQF2-E (ID81) (anexo 5.9).

A concentração de brometos é muito reduzida ou mesmo nula para águas dos aquíferos inferiores AQF1/AQF2, AQF2-E e AQF2-W, sendo bastante mais elevada no aquífero AQF3-E, onde se distribui normalmente em torno de uma média de cerca de 0,15 mg/L. O aquífero superior AQF1 apresenta uma grande dispersão de valores com a média de 0,1 mg/L. Os valores mais elevados em termos médios obtêm-se nas águas superficiais, com resultados acima dos 0,2 mg/L (figura 5.22).

O alumínio apresenta concentrações geralmente muito reduzidas nas amostras de águas subterrâneas analisadas, com excepção para as amostras da unidade aquífera AQF3-E onde apresenta valores médios de 80 µg/L. Em águas superficiais, existem teores de alumínio superiores a 200 µg/L (anexo 5.9).

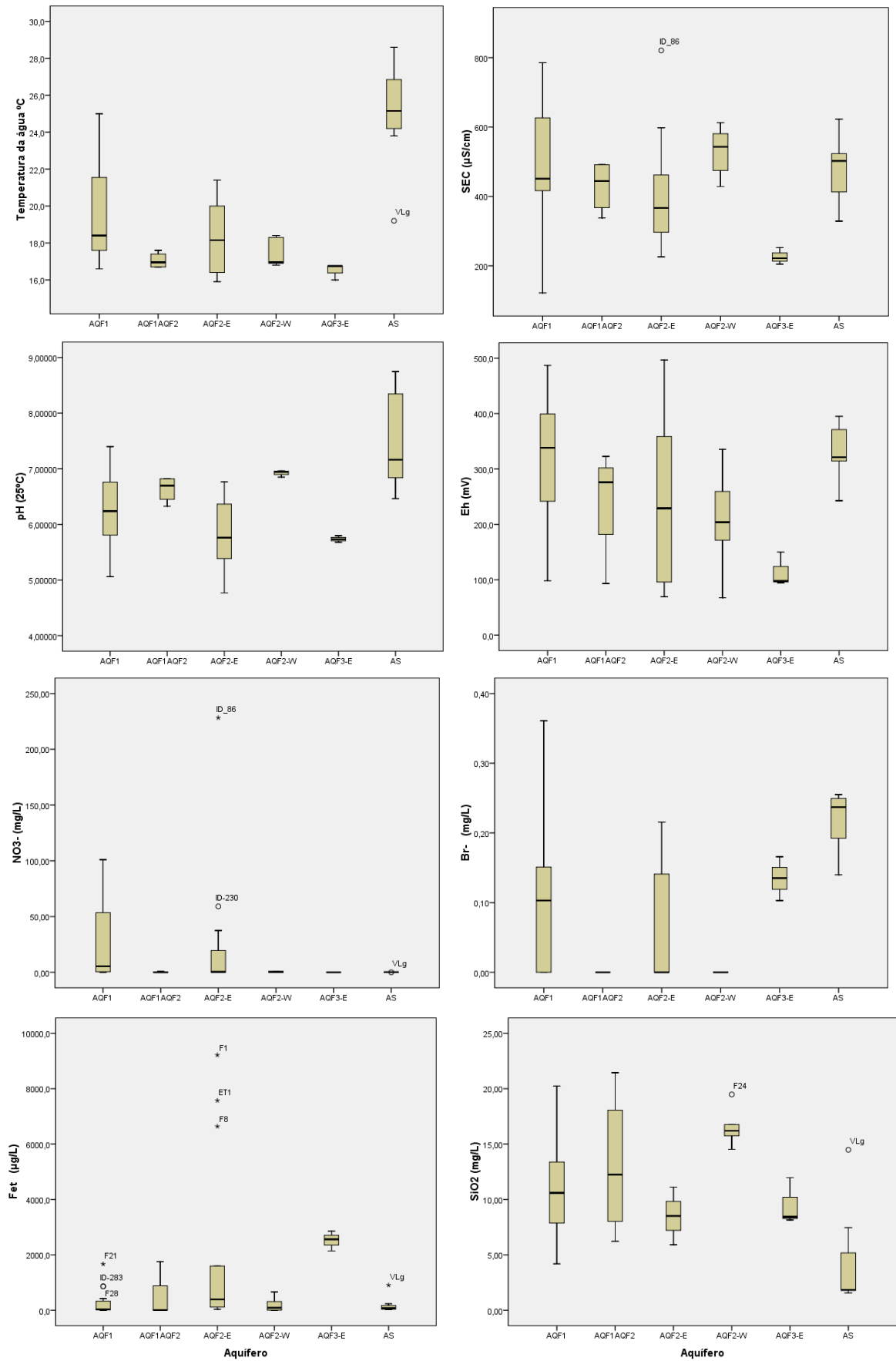


Figura 5.22 – Diagramas de extremos e quartis, para algumas das variáveis, e sua distribuição nas unidades aquíferas.

A quantidade de ferro total existente nas águas analisadas é geralmente baixa. No entanto pode ser elevada, em termos médios, nos furos do aquífero AQF3-E (2,5 mg/L), sendo máxima em alguns furos do aquífero AQF2-E (F1, F8 e ET1) onde chega a superar os 9 mg/L. As águas superficiais apresentam valores reduzidos deste elemento (figura 5.21).

A quantidade de manganésio é muito elevada nas águas superficiais amostradas, o mesmo acontecendo com o níquel. Já o cádmio existe sobretudo no aquífero superior AQF1 e no aquífero inferior AQF2-E (anexo 5.9).

O bário tem valores inferiores nos aquíferos do sector ocidental e central sendo mais elevado nos aquíferos do sector oriental. O estrôncio apresenta distribuição idêntica à do cálcio pelo que a origem deverá ser semelhante e terá a ver com dissolução de carbonatos em que existiam.

A quantidade de sílica é sempre maior na água subterrânea do que água superficial onde é muito reduzida. Os teores mais elevados encontram-se nas amostras do aquífero AQF2-W, seguidas por amostras do sector Central (AQF1/AQF2). As amostras dos aquíferos inferiores do sector oriental apresentam valores de sílica mais baixos do que os do sector ocidental.

5.4.2 Análise de dados das análises químicas de água

A análise de dados efectuada em resultados de análises químicas de águas permite verificar as semelhanças ou diferenças existentes entres amostras. Neste trabalho interessava saber se a composição química da água era diferente nas unidades hidrogeológicas definidas ou se as diferenças se prendem com outras razões. Para além disso, a análise de dados possibilita o conhecimento das principais relações entre variáveis que explicam a diversidade dos dados obtidos nas análises químicas. Os procedimentos utilizados estão descritos no capítulo 1.

Estudaram-se as leis de distribuição das variáveis e compararam-se com populações normais e log-normais. Não se efectuou a separação das variáveis em aquíferos para não reduzir demasiado o número de amostras, que era já muito limitado para as amostras recolhidas em lagoas e poços (tabela 5.11). Verificou-se que a grande maioria das variáveis seguia leis de distribuição log-normais. No entanto, algumas variáveis encontram-se normalmente distribuídas, como a condutividade eléctrica da água (EC), Eh, total de sólidos dissolvidos (TDS), oxigénio dissolvido em lagoas, nitratos em águas superficiais e sílica e sulfatos em poços. Raras variáveis (como o potássio dissolvido a turvação e o pH em furos) não obedeciam a nenhuma destas leis de distribuição. O melhor ajuste está assinalado a vermelho na tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Aplicação de testes K-S para algumas das variáveis.

		Distribuição Normal			Distribuição Log-Normal		
		Estatística	df	Sig.	Estatística	df	Sig.
Temperatura da água °C	Furo	,201	38	,000	,176	38	,004
	Lagoa	,170	6	,200	,159	6	,200
	Poço	,188	8	,200	,187	8	,200
Condutividade elétrica (EC) (µS/cm)	Furo	,088	38	,200	,129	38	,112
	Lagoa	,320	6	,054	,354	6	,018
	Poço	,198	8	,200	,188	8	,200
pH	Furo	,156	38	,020	,159	38	,017
	Lagoa	,234	6	,200	,209	6	,200
	Poço	,289	8	,048	,250	8	,149
Eh (mV)	Furo	,110	38	,200	,135	38	,080
	Lagoa	,219	6	,200	,243	6	,200
	Poço	,206	8	,200	,223	8	,200
Turvação (FTU)	Furo	,438	38	,000	,156	38	,021
	Lagoa	,215	6	,200	,196	6	,200
	Poço	,246	8	,168	,141	8	,200
O2 (mg/L)	Furo	,255	38	,000	,094	38	,200
	Lagoa	,214	6	,200	,290	6	,125
	Poço	,278	8	,069	,255	8	,133
CO2 (mg/L)	Furo	,132	37	,103	,094	38	,200
	Lagoa	,337	6	,031	,263	6	,200
	Poço	,215	8	,200	,312	8	,021
Alcalinidade (mg/L de CaCO3)	Furo	,119	38	,190	,225	38	,000
	Lagoa	,290	6	,125	,248	6	,200
	Poço	,286	8	,054	,185	8	,200
Sulfatos	Furo	,284	32	,000	,133	32	,157
	Lagoa	,291	6	,124	,281	6	,152
	Poço	,169	8	,200	,239	8	,198
Cloretos	Furo	,176	38	,004	,106	38	,200
	Lagoa	,424	6	,001	,437	6	,001
	Poço	,338	8	,008	,241	8	,193
Nitratos	Furo	,374	24	,000	,147	24	,191
	Lagoa	,113	6	,200	,144	6	,200
	Poço	,138	8	,200	,196	8	,200
Fosfatos	Furo	,307	9	,014	,214	9	,200
	Lagoa	,220	3		,323	3	
Brometo	Furo	,190	12	,200	,146	12	,200
	Lagoa	,379	6	,007	,405	6	,003
	Poço	,254	8	,137	,202	8	,200
Sódio	Furo	,161	38	,014	,086	38	,200
	Lagoa	,347	6	,023	,374	6	,009
	Poço	,296	8	,038	,203	8	,200
Potássio	Furo	,309	38	,000	,228	38	,000
	Lagoa	,280	6	,156	,371	6	,010
	Poço	,250	8	,150	,250	8	,149
Cálcio	Furo	,148	38	,034	,224	38	,000
	Lagoa	,368	6	,011	,356	6	,017
	Poço	,278	8	,070	,196	8	,200
Magnésio	Furo	,194	38	,001	,068	38	,200
	Lagoa	,286	6	,136	,303	6	,090
	Poço	,340	8	,007	,226	8	,200
Silica	Furo	,149	38	,034	,089	38	,200
	Poço	,224	8	,200	,267	8	,097
Ferro total	Furo	,306	38	,000	,099	38	,200
	Lagoa	,225	6	,200	,175	6	,200
	Poço	,322	8	,014	,209	8	,200
Alumínio	Furo	,165	12	,200	,130	12	,200
	Poço	,208	7	,200	,199	7	,200
Manganésio	Furo	,208	32	,001	,121	32	,200
	Lagoa	,341	6	,028	,186	6	,200
	Poço	,203	8	,200	,163	8	,200
Boro	Furo	,258	32	,000	,128	32	,200
	Lagoa	,295	6	,112	,277	6	,168
	Poço	,192	8	,200	,168	8	,200
Bário	Furo	,263	36	,000	,084	36	,200
	Poço	,268	8	,094	,286	8	,052
Estrôncio	Furo	,153	38	,025	,170	38	,007
	Poço	,325	8	,013	,284	8	,056

* - significativa para 95%

* - significativa para 95%

A independência das variáveis foi definida pelos coeficientes de correlação de Spearman, dado o tipo de distribuições existentes na maioria das variáveis. Dada a dimensão da matriz esta estará presente no anexo 5.10, sendo aqui referidas apenas as correlações mais importantes, todas elas com probabilidades de certeza superiores a 99% (tabela 5.12). Não se colocaram na matriz as variáveis carbonato e bicarbonato, já que as quantidades destes iões foram calculadas a partir dos dados de alcalinidade.

Tabela 5.12 – Correlações mais significativas.

Coeficientes de correlação de Spearman							
> 0,900		0,800-0,899		0,700-0,799		0,600-0,699	
Positivos	Negativos	Positivos	Negativos	Positivos	Negativos	Positivos	Negativos
Na - Cl		DM - Ba	DM - Alc	DM - SO4	DM - NO2	DM - Eh	DM - Ca
		TDS - EC	SO4 - NO2	DM - Zn	DM - Sr	DM - NO3	pH - CO2
		Alc - Ca	Alc - Ba	Eh - NO3	Br - NO2	DM - Br	Eh - NO2
		Alc - Sr		Alc - NO2	K - NO2	DM - K	Alc - SO4
		K - Mg		Cl - SO4	NO2 - B	Temp - Eh	Alc - Br
				SO4 - Na	NO2 - Ba	Temp - Na	Alc - Al
				SO4 - K	Sr - Ba	Temp - K	Alc - Mn
				K - Cl		Temp - Zn	Alc - Zn
				Mg - Cl		pH - Alc	SO4-Zn
				Br - K		Eh - SO4	SO4 - B
				Na - K		EC - Ca	SO4 - Ba
				Na - Mg		EC - Sr	NO2 - Na
				K - Zn		TDS - Cl	NO2 - Al
				K - B		TDS - Na	NO2 - Zn
				K - Ba		SO4 - NO3	NO2 - Sr
				Ba - Zn		SO4 - Br	Ca - Ba
						SO4 - Mg	
						NO2 - Ca	
						Br - Zn	
						Br - Ba	
						Br - Na	
						Br - Mg	
						Na - B	
						Mg - Zn	
						Mg - Ba	
						Si - Sr	
						Mn - Ba	
						B - Zn	
						B - Ba	

Abreviaturas: DM – distância ao mar; Temp – temperatura da água, Alc – alcalinidade; EC- condutividade eléctrica, TDS – total de sólidos dissolvidos, Si – sílica; iões indicados pela fórmula química.

A mais importante correlação, e a única com coeficiente superior a 0,900, é definida pela relação entre o sódio e o cloro, que poderá revelar uma influência marinha para estes constituintes. Com coeficientes de correlação superiores a 0,600 existem algumas relações positivas e negativas, que parecem reflectir processos que envolvem incremento ou decréscimo da mineralização da água; dissolução/precipitação de carbonatos; mobilidade de iões, fenómenos de adsorção e de troca iónica; reacções de oxidação-redução; alteração de silicatos e influência antrópica.

A dependência positiva entre TDS e EC era já esperada, assim como, as que existem entre a alcalinidade e as concentrações de Ca e Sr. Mas, a relação negativa entre a alcalinidade e a distância ao mar indica que, na direcção do fluxo a alcalinidade cresce, assim como o conteúdo em Ca e Sr. Estas relações são corroboradas pela análise da figura 5.20. As correlações entre o bário, a alcalinidade e a distância ao mar indicam uma situação inversa da do cálcio e do estrôncio.

A correlação positiva e forte ($> 0,8$) existente entre o potássio e o magnésio é muito interessante, já que esta correlação é muito mais marcada que a existente entre o cálcio e o magnésio, indicando uma provável origem diferente dos carbonatos para o Mg. As correlações positivas existentes entre o magnésio (ou o potássio) e os cloretos, o sódio, e em menor grau os sulfatos, os brometos, o bário e o zinco, parecem ligar a sua origem à actividade humana e nomeadamente à contaminação de origem agrícola.

Os adubos contêm essencialmente azoto, fósforo e potássio (N-P-K), com quantidades elevadas de Ca, S e Mg, a que se adicionam quantidades menores de elementos como B, Cl, Cu, Fe, Mo, Mn, Zn, e Se (micronutrientes), por vezes associados a extractos húmicos. Dependendo das matérias-primas utilizados no fabrico da mistura fertilizante pode haver ainda a introdução de elementos como o Pb, As, Cr, Cd e Ni, assim como compostos orgânicos tóxicos.

5.4.2.1 Análise Grupal

Foi efectuada a classificação das amostras de água, através de análise grupal por classificação hierárquica, cuja metodologia foi descrita no capítulo 1. Dado o reduzido número de amostras (54) optou-se por classificá-las recorrendo à classificação hierárquica clássica (com recurso a dendrogramas). As variáveis utilizadas foram: temperatura da água, SEC, pH (25°C), Eh, O₂, CO₂, alcalinidade, sulfatos, cloretos, nitratos, nitritos, fosfatos, fluoretos, brometos, sódio, potássio, cálcio, magnésio, sílica, ferro, cobre, alumínio, manganésio, níquel, cádmio, crómio, chumbo, zinco, boro, bário, estrôncio e lítio. Os resultados obtidos são semelhantes entre si estabelecendo geralmente três grupos (HC) onde as relações entre elementos de cada grupo são muito fortes. Estão reunidos no anexo 5.11 os dendrogramas resultantes de quatro modos diferentes de classificação hierárquica.

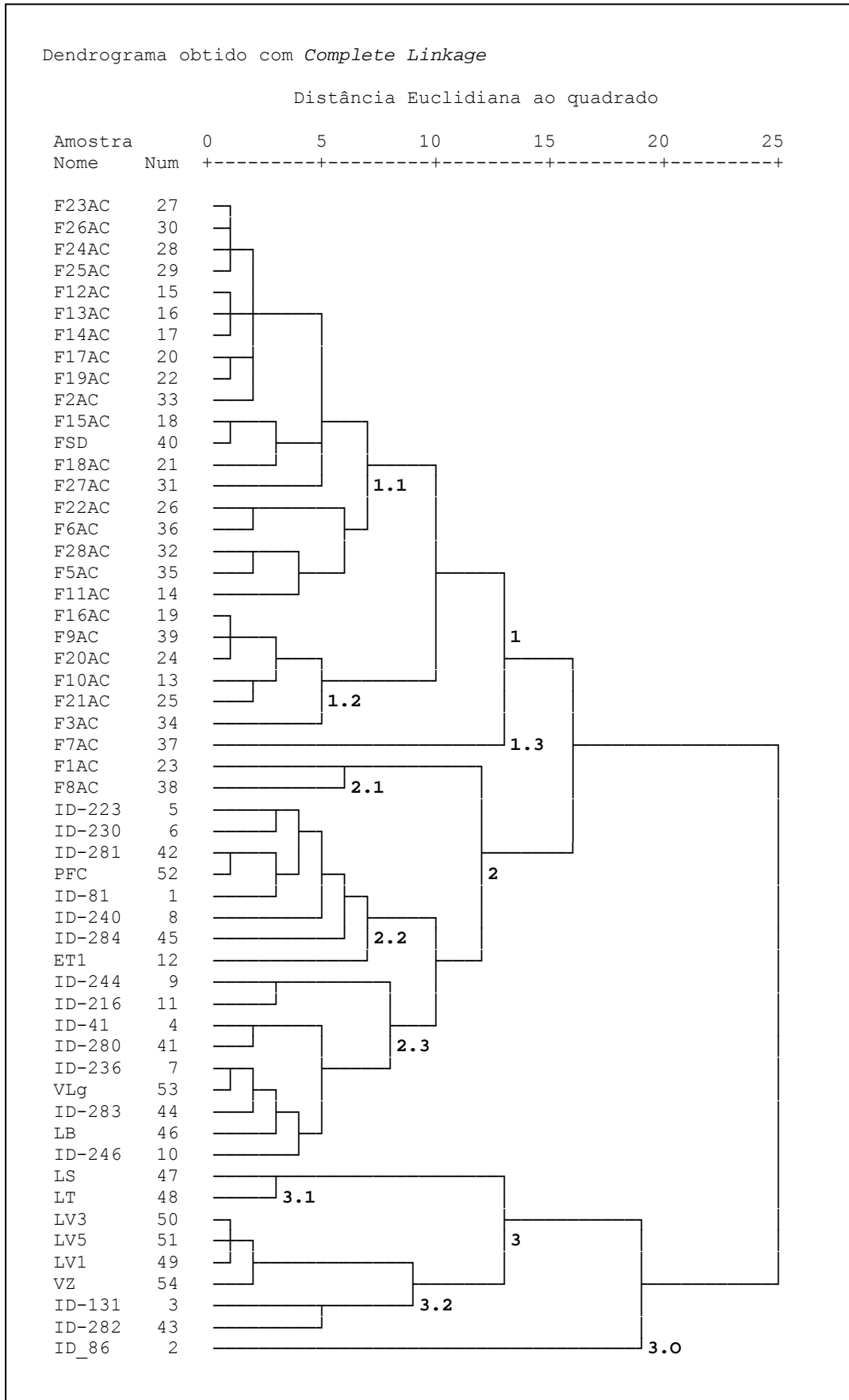


Figura 5.23 – Resultado da Análise Grupal por Classificação Hierárquica.

No geral, as amostras situam-se nos mesmos grupos para todas as análises havendo, no entanto, um reduzido número de amostras que alteram a sua posição conforme o tipo de classificação hierárquica utilizado. Um grupo de amostras com fortes semelhanças entre si, contendo todas as amostras do aquífero AQF3-E e algumas do aquífero AQF2-E (F16, F9, F20, F10, F21 e F3), ocupa posições que oscilam entre o grupo HC1 e o grupo HC2, porque provavelmente há diferenças entre estas amostras e as que compõem os grupos pré-estabelecidos. O mesmo acontece com as amostras F3, F7, ID86 e as amostras LS e LT. Todas se situam nos mesmos grupos sempre que é maximizada a distância entre grupos, mas são introduzidas em grupos diferentes quando é maximizada a semelhança intra-grupo.

Das quatro análises efectuadas foi escolhido um dendrograma de fácil leitura, que usa a máxima distância entre grupos (figura 5.23). Apresenta três grupos, que estão referidos nessa figura, sendo cada um dividido em subgrupos. As amostras são integradas nos subgrupos definidos e nos grupos mais alargados, referidos por HC1, HC2 e HC3, cuja distribuição geográfica pode ser vista na figura 5.24.

A amostra ID86 é a última a entrar na classificação sendo semelhante ao grupo 3 (HC3), mas mesmo assim suficientemente diferente para se separar num subgrupo único (HC3.0). A amostra F7 pertencente ao grupo 1 (HC1), mas é considerada ligeiramente diferente das restantes o que provoca a sua integração num grupo único designado por HC1.3.

O primeiro grupo (HC1), marcado com uma auréola quadrada na figura 5.24, é formado por furos tanto do aquífero AQF1 como dos aquíferos AQF2-W e AQF1/AQF2, que se situam relativamente próximos da linha de costa, nos sectores Ocidental e Central (HC1.1) e pelos furos dos aquíferos AQF1, AQF2-E e AQF3-E (HC1.2), que se situam no limite ocidental do sector Oriental da área em estudo e uma amostra que se distancia das restantes (F7 – HC1.3).

O grupo HC2, marcado com uma cruz na figura 5.24, é formado por furos e poços do aquífero AQF1 e do aquífero AQF2-E, que se situam nas zonas mais orientais da área em estudo, havendo mesmo um deles (ID246) que se localiza no sistema aquífero Viso-Queridas. Contém 3 subgrupos. O primeiro subgrupo (HC2.1) é formado pelos furos F1 e F8, com composições químicas semelhantes entre si e ainda relativamente próximas dos furos dos grupos HC1.2 e HC1.3. Os segundo e terceiro subgrupos (HC2.2 e HC2.3) são constituídos por amostras de poços e furos dos aquíferos AQF1 e AQF2-E, que se situam a oriente das lagoas, na região da Gândara, sem localização específica para nenhum deles, e ainda pelas amostras de água superficial da lagoa das Braças (LB) e da vala das Lagoas (VLg).

O grupo HC3, marcado com uma auréola octogonal na figura 5.24, é um grupo formado pela generalidade das amostras de águas superficiais encontradas na área em estudo e por raros poços que se situam na zona de influência da lagoa da Vela, a oriente. Existe ainda outro ponto de amostragem (ID86), mas cuja composição o torna o menos afim ao grupo HC3, ficando no subgrupo HC3.0.

As amostras colhidas nas lagoas Salgueira e dos Teixoeiros, que são muito semelhantes entre si, constituem o subgrupo HC3.1.

As três amostras colhidas na Lagoa da Vela, os poços ID282 e ID131, e a amostra colhida na vala do Zurrão, que é efluente desta lagoa, constituem o subgrupo HC3.2.

Interessante é notar que os furos situados a ocidente das lagoas fazem parte dos grupos HC1 ou HC2, como por exemplo o furo F28, muito próximo da lagoa da Vela, o furo F9 próximo da Lagoa Salgueira e o furo ET1 próximo da lagoa dos Teixoeiros, assim como todos os furos próximos da lagoa das Braças.

Para verificar a discriminação obtida com a classificação em grupos, por análise hierárquica, efectuou-se a representação das variáveis nos respectivos grupos e subgrupos (anexo 5.12). Da análise destas imagens e tabelas verifica-se que existem variáveis que são mais importantes na separação dos diversos grupos e subgrupos. Esta distribuição justifica e demonstra as correlações obtidas através dos coeficientes de correlação de Spearman (anexo 5.9 e tabela 5.12).

Adicionou-se a informação que existe sobre a distribuição das variáveis nos grupos com a localização geográfica das amostras, cruzando a informação que está no anexo 5.12 com a localização presente na figura 5.24.

Descrevem-se, em seguida, os três grupos HC e respectivos subgrupos, em termos das variáveis que ajudam a discriminá-los e que reflectem a influência do meio (anexo 5.12, figuras 5.23 e 5.24 e tabela 5.13).

Tabela 5.13 – Distribuição de águas subterrâneas e superficiais nos grupos HC.

	Aquíferos					Água Superficial	Total	Percentagem
	AQF1	AQF1/AQF2-E	AQF2-W	AQF2-E	AQF3-E			
HC1	9	4	6	4	3	0	26	45%
HC2	8	0	0	9	0	2	15	26%
HC3	2	0	0	1	0	6	17	29%
Total	19	4	6	14	3	8	58	100%
Percentagem	33%	7%	10%	24%	5%	14%	100%	

Grupo HC1

O grupo HC1 contém 26 amostras, que correspondem a 45% da totalidade das amostras analisadas (tabela 5.13). Engloba praticamente todos os furos efectuados na zona florestal das Dunas de Quiaios em 2006.

Contém dois subgrupos principais: o subgrupo HC1.1, constituído pelos furos dos aquíferos AQF1, AQF2-W, AQF1/AQF2 e AQF2-E, mais próximos da costa (a distâncias inferiores a 3 km) e o subgrupo HC1.2 formado pelas amostras do aquífero AQF3-E, com amostras únicas dos aquíferos AQF1, AQF1/AQF2 e AQF2-E, que se encontram a distância superiores a 3 km da linha de costa actual. Existe ainda o subgrupo HC1.3 constituído por uma amostra isolada (F7).

São amostras captadas em furos relativamente profundos em termos locais, especialmente no caso do subgrupo HC1.2, com profundidades médias superiores a 10 m (anexo 5.12). Provavelmente por isso, a temperatura da água é a menor encontrada nos 3 grupos, apresentando valores inferiores a 17 °C, em especial nos subgrupos HC1.2 e HC1.3.

A condutividade eléctrica da água não apresenta diferenças notórias entre o grupo HC1 e os restantes, com excepção do subgrupo HC1.2 cuja condutividade eléctrica é reduzida (inferior a 300 µS/cm). As amostras que compõem este subgrupo pertencem na sua grande maioria ao aquífero AQF3-E.

São águas neutras com pH entre 6 e 7, que podem apresentar condições redutoras no caso dos subgrupos HC1.2 e HC1.3, com Eh de cerca de 100 mV.

Uma outra característica que pode resultar do facto de serem furos mais profundos é a quantidade de oxigénio dissolvido nas águas deste grupo ser mínima, estando muito próxima de 0 mg/L no subgrupo HC1.2. No entanto, a quantidade de CO₂ dissolvido é relativamente elevada, sobretudo no subgrupo HC1.2, sendo semelhante à do grupo HC2. Devido à profundidade a que se situam estes furos, a proveniência do CO₂ não deverá ser atmosférica.

A alcalinidade é a mais elevada entre os 3 grupos, sendo particularmente elevada no subgrupo HC1.1.

Em termos dos restantes aniões, a composição química destas águas é pobre em sulfatos, em todos os subgrupos. São também reduzidas as concentrações de cloretos, com excepção de duas amostras de água dos furos F6 e F18, que captam no aquífero AQF1, muito próximo da costa. A quantidade de nitratos é praticamente nula, o mesmo acontecendo aos fosfatos, no entanto, a concentração de nitritos é relativamente mais elevada do que a existente nos restantes grupos. Não apresenta fluoretos e a quantidade de brometos é muito diminuta, com excepção das amostras do subgrupo HC1.2.

O catião predominante no grupo HC1 é o cálcio, cuja percentagem é a maior encontrada, com destaque para o subgrupo HC1.1, sendo as concentrações dos catiões sódio, potássio e magnésio, relativamente baixas em relação aos restantes grupos.

A concentração de sílica dissolvida é a maior de todos os grupos, com especial relevo para o subgrupo HC1.1, mais próximo da costa e no sentido do fluxo.

As amostras do grupo HC1 são relativamente ricas em ferro, sobretudo as do subgrupo HC1.2 que contêm também as maiores concentrações de alumínio e que pertencem ao aquífero AQF3-E. As quantidades de cobre, manganésio, níquel, cádmio, crómio, chumbo e zinco são relativamente baixas, o mesmo acontecendo ao boro, bário e lítio.

As concentrações de estrôncio são as mais elevadas de todos os grupos com destaque para o subgrupo HC1.1, também muito rico em cálcio e bicarbonato.

Grupo HC2

O grupo HC2 apresenta amostras de furos cuja distância ao mar é a mais elevada. Situam-se praticamente todos no sector Oriental, na região da Gândara, a mais de 7 km do mar. São furos e poços com profundidades relativamente baixas, cerca de 5 m, e cuja temperatura é intermédia entre as amostras dos furos do grupo HC1 e as águas superficiais, sendo em média de cerca de 20 °C. Existe, no entanto, uma diferença térmica entre as amostras do subgrupo HC2.1 e as restantes, com temperaturas mais baixas muito próximas de 16 °C.

A condutividade eléctrica das amostras do subgrupo HC2.3 é relativamente baixa.

As águas que fazem parte do grupo HC2 são as mais ácidas encontradas, apresentando valores médios inferiores a 6. São também aquelas que apresentam as condições mais oxidantes (subgrupos HC2.2. e 2.3), com uma ressalva para o subgrupo HC2.1. Apresentam concentrações de oxigénio dissolvido intermédias entre o grupo HC1 e o grupo HC3 e concentrações de CO₂ livre semelhantes para todos os subgrupos, com excepção do subgrupo HC2.1 onde são mais elevadas.

A alcalinidade é a menor encontrada nas amostras dos grupos definidos, muitas vezes inferior a 50 mg/L de CaCO₃, sendo progressivamente mais baixa desde o subgrupo HC2.1 ao subgrupo HC2.3.

A concentração dos restantes aniões é geralmente intermédia entre o grupo HC1 e o grupo HC3. As águas deste grupo contêm sulfatos, com valores médios de cerca de 50 mg/L para todos os subgrupos e uma única excepção (ID240) com concentrações acima de 150 mg/L; e cloretos, com concentrações geralmente inferiores a 60 mg/L, semelhantes em todos os subgrupos. A concentração média de nitratos é a maior de todos os grupos, ultrapassando os 50 mg/L no subgrupo HC2.2. Apresenta fosfatos nos subgrupos HC2.1 e HC2.3, e quantidade baixas de nitritos, no subgrupo HC2.1. As amostras analisadas não contêm fluoretos e possuem concentrações de brometos intermédias em relação aos grupos HC1 e HC3, relativamente idênticas em todos os subgrupos.

As concentrações de catiões são intermédias entre o grupo HC1 e HC3 para o sódio, potássio e o magnésio e reduzidas para o cálcio, especialmente no subgrupo HC2.3.

A concentração de sílica dissolvida é também intermédia sendo mais elevada no subgrupo HC2.1.

No que diz respeito aos constituintes menores e constituintes vestigiais, a quantidade de ferro dissolvido é geralmente baixa, com excepção do subgrupo HC2.1, onde é superior a 8 mg/L, e na amostra ET1 do subgrupo HC2.2. Apresenta as concentrações mais elevadas de todos os grupos em bário, cobre (HC2.2 e 2.3), zinco (HC2.3), níquel, cádmio e boro (HC2.2), chumbo e lítio (HC2.1); e concentrações intermédias de alumínio, manganésio e estrôncio.

Grupo HC3

As amostras do grupo HC3 foram colhidas, na sua maioria, em massas de água superficial e em dois poços muito próximos da Lagoa da Vela. Devido a esse facto, a temperatura da água é a mais elevada de todos os grupos, já que a colheita foi efectuada no Verão. As águas deste grupo encontravam-se a temperaturas que chegam a atingir os 28°C, no subgrupo HC3.1, constituído pelas lagoas Salgueira e Teixoeiros que têm áreas mais reduzidas e cuja coluna de água é menos profunda.

A condutividade eléctrica é também a mais elevada dos três grupos, sendo relativamente maior no subgrupo HC3.1, o pH é o mais alcalino, com principal relevo para o subgrupo HC3.2 constituído pelas amostras da lagoa da Vela e pelos poços próximos. Tem também condições oxidantes e a concentração mais elevada de oxigénio dissolvido. Pelo contrário, tem a menor quantidade de CO₂ livre, com especial relevo para o subgrupo HC3.2.

A alcalinidade é intermédia entre o grupo HC1 e o grupo HC2. As concentrações de cloretos, sulfatos e fosfatos são as mais elevadas de todos os grupos. Os nitratos são relativamente baixos e as águas deste grupo não contêm nitritos. Os fluoretos são típicos deste grupo e praticamente não existem nos restantes. Este grupo contém águas cuja concentração em brometos é mais elevada, com especial relevo para as amostras do subgrupo HC3.2.

O grupo HC3 apresenta as maiores quantidades de sódio, potássio e magnésio, sendo as quantidades de cálcio intermédias entre o grupo HC1 e o grupo HC2.

A quantidade de sílica dissolvida é a mais baixa de todos os grupos especialmente no subgrupo HC3.2.

As águas analisadas do grupo HC3 contêm reduzidas concentrações de ferro e de cádmio. Apresentam concentrações de cobre, níquel, chumbo, boro, bário e estrôncio, intermédias entre os grupos HC1 e HC2 e concentrações elevadas de alumínio, manganésio, crómio, zinco e lítio.

5.4.2.2 Análise em Componentes Principais

Efectuou-se uma Análise em Componentes Principais para retirar um pequeno número de componentes do conjunto inicial dos dados, que reproduzissem as relações de simpatia ou de antipatia de determinadas variáveis no conjunto das amostras, e cuja metodologia se encontra descrita no capítulo 1. Esta análise foi realizada em ficheiros que continham a totalidade das amostras, com unidades tanto em mg/L como em meq/L. Para complementar este estudo fez-se ainda a análise de um ficheiro mais restrito, apenas com as amostras de furos executados em zonas sem episódios de contaminação documentados.

Todas as análises revelaram relações muito fortes tanto no grupo mais alargado como no grupo mais restrito de amostras. Essas relações são semelhantes e explicam no geral cerca de 80% da variância total do sistema. Optou-se então por considerar o conjunto mais alargado de amostras, sabendo que as principais relações encontradas são também evidentes no grupo mais restrito.

As comunalidades obtidas para o conjunto total dos dados e para as diversas variáveis são as que constam da tabela 5.14. Foram extraídas todas as variáveis que tivessem valores inferiores a 0,7 ficando apenas as variáveis com comunalidades elevadas.

Tabela 5.14 – Comunalidades iniciais e após a extracção das componentes.

Comunalidades		
	Iniciais	Extracção
Distância ao mar (m)	1,000	0,864
Temperatura da água (°C)	1,000	0,855
SEC (µS/cm)	1,000	0,974
pH (25°C)	1,000	0,846
Eh (mV)	1,000	0,744
CO ₂ (mg/L)	1,000	0,787
Alcalinidade (mg/L de CaCO ₃)	1,000	0,960
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	1,000	0,826
Cl ⁻ (mg/L)	1,000	0,898
NO ₃ ⁻ (mg/L)	1,000	0,862
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	1,000	0,964
Br ⁻ (mg/L)	1,000	0,788
Na ⁺ (mg/L)	1,000	0,907
K ⁺ (mg/L)	1,000	0,830
Ca ²⁺ (mg/L)	1,000	0,942
Mg ²⁺ (mg/L)	1,000	0,780
SiO ₂ (mg/L)	1,000	0,685
Fet (µg/L)	1,000	0,808
Mn ²⁺ (µg/L)	1,000	0,939
Cd ²⁺ (µg/L)	1,000	0,943
Ba ²⁺ (µg/L)	1,000	0,711
Sr ²⁺ (µg/L)	1,000	0,947

Método de extracção: componentes principais

Para as variáveis que constam da tabela 5.14, resultaram seis componentes principais que explicam 85% da variância total do sistema (tabela 5.15), cuja matriz de componentes principais após rotação, está presente na tabela 5.16.

A primeira componente, que explica 23% da variância total do sistema, relaciona positivamente as variáveis SEC, alcalinidade (Alc), cálcio, sílica (Si) e estrôncio e, negativamente, a distância ao mar (DM) e os brometos. Pode ser interpretada como colocando em relevo a dissolução de carbonatos, com posterior aumento da alcalinidade e da concentração de cálcio e de estrôncio que o pode substituir na estrutura destes minerais. A existência de carbonatos é maior nas proximidades da linha de costa e no sentido do fluxo, o que se manifesta também pelo aumento do teor em sílica. Esta componente parece apontar ainda para uma existência mais elevada de brometos longe da costa.

A segunda componente, que explica cerca de 22% da variância total, relaciona positivamente cloretos, sódio, magnésio, SEC, potássio, brometos e sulfatos. Pode indicar a maior ou menor influência marinha nas amostras de água.

A terceira componente explica cerca de 15% da variância total e relaciona positivamente o Eh, os sulfatos, os nitratos, o potássio e o bário e negativamente o pH. As amostras que contêm quantidades elevadas destes elementos são as captadas no aquífero AQF1 ou AQF2-E, na região oriental das lagoas (Gândara), onde se pratica agricultura intensiva, com produção de milho verde e de pastagens.

A quarta componente explica cerca de 11 % da variância total e relaciona positivamente a temperatura da água, o pH e o Eh e negativamente o CO₂ livre e o ferro. Representa a maioria das amostras de água superficial e as restantes amostras do grupo HC3, que apresentam temperaturas elevadas, pH mais alcalino, condições mais oxidantes e reduzidas quantidades de dióxido de carbono e de ferro.

As restantes duas componentes explicam, no seu conjunto cerca de 15% da variância total. A componente cinco dá conta da simpatia do fosfato pelo manganésio e a componente seis refere apenas positivamente a variável cádmio.

As duas últimas componentes parecem fazer referência a situações particulares. A quinta componente relaciona-se com a existência de fosfatos e manganésio, sobretudo nas amostras de água do subgrupo HC3.1 constituído pelas lagoas Salgueira e Teixeiros. A sexta componente engloba as amostras cujo conteúdo em cádmio é elevado, de que fazem parte amostras disseminadas pelos aquíferos AQF1, AQF2-W e AQF2-E e distribuídas pelos três grupos HC. Por serem componentes que focam situações particulares de algumas amostras, com reduzido número, não sendo muito evidente a sua acção na separação entre os grupos, só serão realizadas as projecção das amostras nas primeiras quatro componentes (anexo 5.13).

As figuras 5.25 a 5.29 apresentam projecções das variáveis e das amostras, por grupo HC e por aquífero, nalgumas das componentes principais.

Tabela 5.15 – Valores próprios e total de variância explicada obtida após a rotação.

Variância Total Explicada						
Componente	Valores Próprios Iniciais			Extracção após Rotação*		
	Total	% Variância	% Cumulativa	Total	% Variância	% Cumulativa
1	8,11	36,86	36,86	5,14	23,38	23,38
2	4,05	18,43	55,29	4,73	21,51	44,89
3	2,52	11,46	66,75	3,24	14,72	59,61
4	1,65	7,51	74,26	2,32	10,56	70,17
5	1,45	6,61	80,87	2,25	10,24	80,41
6	1,07	4,85	85,73	1,17	5,32	85,73
7	0,83	3,76	89,49			
8	0,51	2,31	91,80			
9	0,40	1,80	93,60			
10	0,35	1,59	95,19			
11	0,24	1,11	96,30			
12	0,19	0,88	97,18			
13	0,18	0,81	97,99			
14	0,13	0,59	98,58			
15	0,10	0,44	99,02			
16	0,08	0,34	99,36			
17	0,04	0,20	99,56			
18	0,04	0,18	99,74			
19	0,03	0,13	99,87			
20	0,02	0,10	99,97			
21	0,00	0,02	99,99			
22	0,00	0,01	100,00			

Método de extracção: componentes principais

* - Considerados apenas valores próprios superiores a 1.

Tabela 5.16 – Matriz de componentes principais obtida após a rotação.

	Componente					
	1	2	3	4	5	6
Distância ao mar (m)	<u>-0,779</u>	0,195	0,439	0,024	0,111	0,119
Temperatura da água (°C)	-0,401	0,463	0,049	<u>0,505</u>	0,435	-0,181
SEC (µS/cm)	<u>0,636</u>	<u>0,673</u>	0,294	0,146	0,099	0,013
pH (25°C)	0,305	0,348	<u>-0,573</u>	<u>0,518</u>	0,002	-0,188
Eh (mV)	-0,284	0,153	<u>0,611</u>	0,475	0,196	-0,049
CO ₂ (mg/L)	0,016	-0,263	0,277	<u>-0,799</u>	0,033	-0,038
Alcalinidade (mg/L de CaCO ₃)	<u>0,859</u>	-0,185	-0,397	0,139	0,051	-0,092
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	-0,328	<u>0,602</u>	<u>0,541</u>	0,003	-0,002	0,253
Cl ⁻ (mg/L)	-0,008	<u>0,933</u>	0,090	0,038	0,131	-0,020
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,008	0,270	<u>0,882</u>	0,043	-0,094	-0,039
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	-0,021	0,099	-0,083	0,061	<u>0,969</u>	-0,068
Br ⁻ (mg/L)	<u>-0,581</u>	<u>0,604</u>	0,078	0,177	0,205	-0,075
Na ⁺ (mg/L)	-0,129	<u>0,915</u>	0,097	0,088	0,183	-0,046
K ⁺ (mg/L)	-0,249	<u>0,612</u>	<u>0,505</u>	0,213	0,296	-0,071
Ca ²⁺ (mg/L)	<u>0,956</u>	-0,081	0,050	0,135	-0,022	-0,022
Mg ²⁺ (mg/L)	-0,242	<u>0,798</u>	0,255	0,062	0,048	0,114
SiO ₂ (mg/L)	<u>0,748</u>	-0,210	-0,023	-0,147	-0,156	0,187
Fet (µg/L)	-0,218	0,106	-0,223	<u>-0,836</u>	-0,022	-0,012
Mn ²⁺ (µg/L)	-0,175	0,264	0,098	-0,037	<u>0,908</u>	0,055
Cd ²⁺ (µg/L)	0,039	0,028	0,000	-0,006	-0,028	<u>0,969</u>
Ba ²⁺ (µg/L)	-0,263	0,342	<u>0,690</u>	-0,220	0,005	-0,016
Sr ²⁺ (µg/L)	<u>0,926</u>	0,000	-0,247	0,106	-0,133	0,021

Método de extracção: Componentes principais. Rotação Varimax.

Valores sublinhados são os que mais contribuem para a componente.

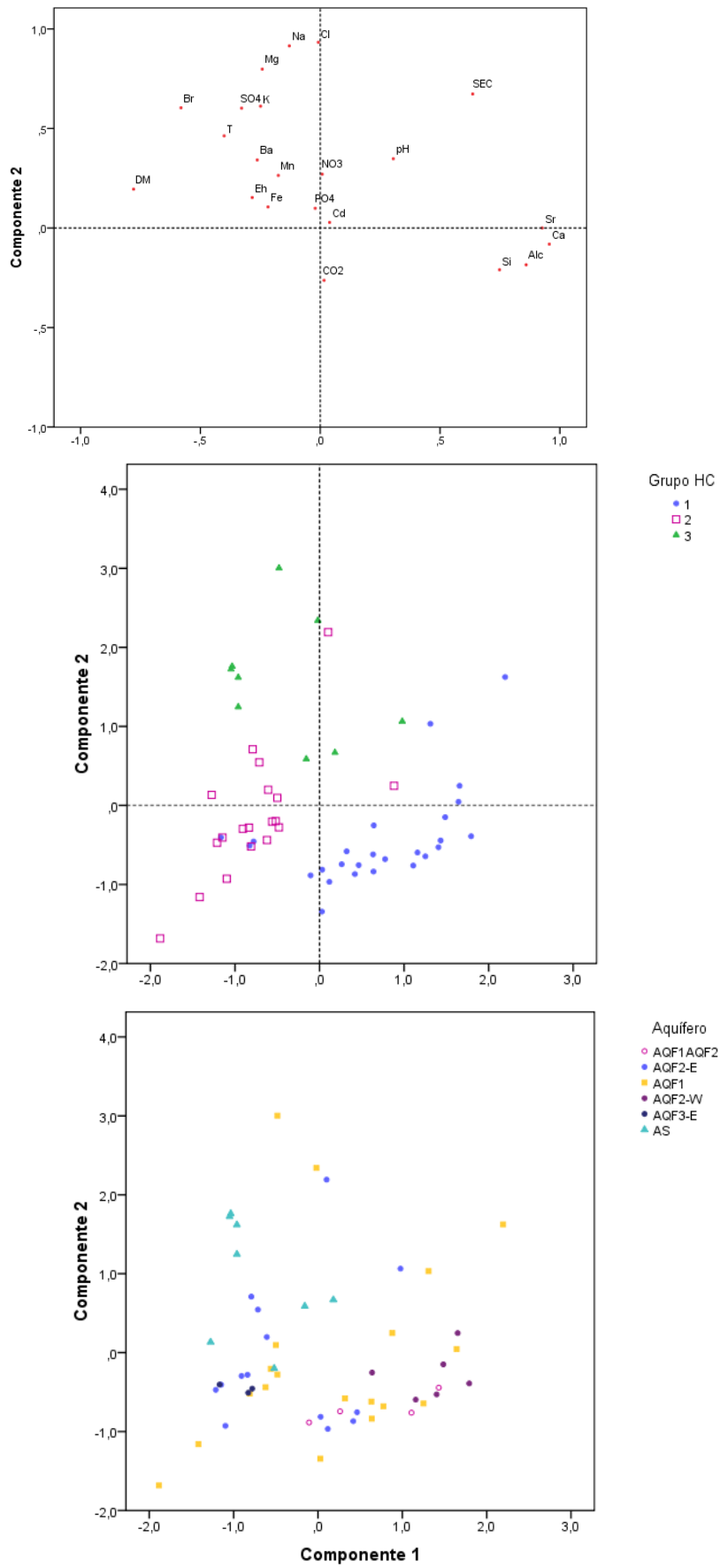


Figura 5.25 – Projecção das variáveis e das amostras nas componentes 1 e 2.

As duas primeiras componentes, que explicam a maior parte da variância total do sistema, permitem separar os 3 grupos HC que se projectam em locais diferentes do diagrama da figura 5.25.

O grupo HC1 projecta-se geralmente nos valores positivos da componente 1 e negativos da componente 2, apresentando uma mancha que se desenvolve próximo das variáveis alcalinidade, cálcio, estrôncio e sílica. As únicas exceções são as 3 amostras do aquífero AQ3-E, que se destacam deste primeiro grupo, deslocando-se para valores negativos da componente 1.

O grupo HC2 projecta-se sobretudo no sector negativo da componente 1, afastando-se das variáveis alcalinidade, cálcio, estrôncio e sílica e aproximando-se das restantes variáveis sobretudo da distância ao mar (DM), dos brometos e da temperatura (T).

O grupo HC3 projecta-se no semi-eixo positivo da componente 2 e numa posição relativamente intermédia e próxima da origem da componente 1. Os pontos situam-se próximo das variáveis sódio, cloro, magnésio, sulfato e potássio.

Os gráficos da figura 5.26 destacam sobretudo as amostras do grupo HC2, que têm valores geralmente positivos da componente 3 e negativos da componente 1. As amostras projectam-se próximas das variáveis DM, brometos, temperatura, sulfatos, Eh, bário, potássio e nitratos.

Os restantes grupos ocupam posições tendencialmente opostas em relação ao eixo da componente 1. Observa-se uma tendência na distribuição das amostras do grupo HC3 segundo a diagonal dos quadrantes com o mesmo sinal da componente 1 e da componente 3, enquanto que, a distribuição das amostras do grupo HC1 é paralela ao eixo da componente 1, ocupando posições pouco negativas da componente 3, ocupando posições próximas das variáveis fosfato, sílica, cálcio, alcalinidade, estrôncio e pH.

Os gráficos da figura 5.27 separam novamente os 3 grupos HC em relação à componente 3. O grupo HC2 apresenta valores geralmente positivos da componente 3, ficando as amostras do grupo HC1 com valores negativos ou próximos de zero.

Existe uma tendência para a distribuição das amostras do grupo HC3 numa direcção paralela às diagonais dos quadrantes de sinal contrário, com um subgrupo que ocupa uma zona muito limitada do sector positivo da componente 2 e negativo da componente 3, e um outro subgrupo que se situa próximo das representações das variáveis sódio, cloro, magnésio, SEC, potássio e sulfato.

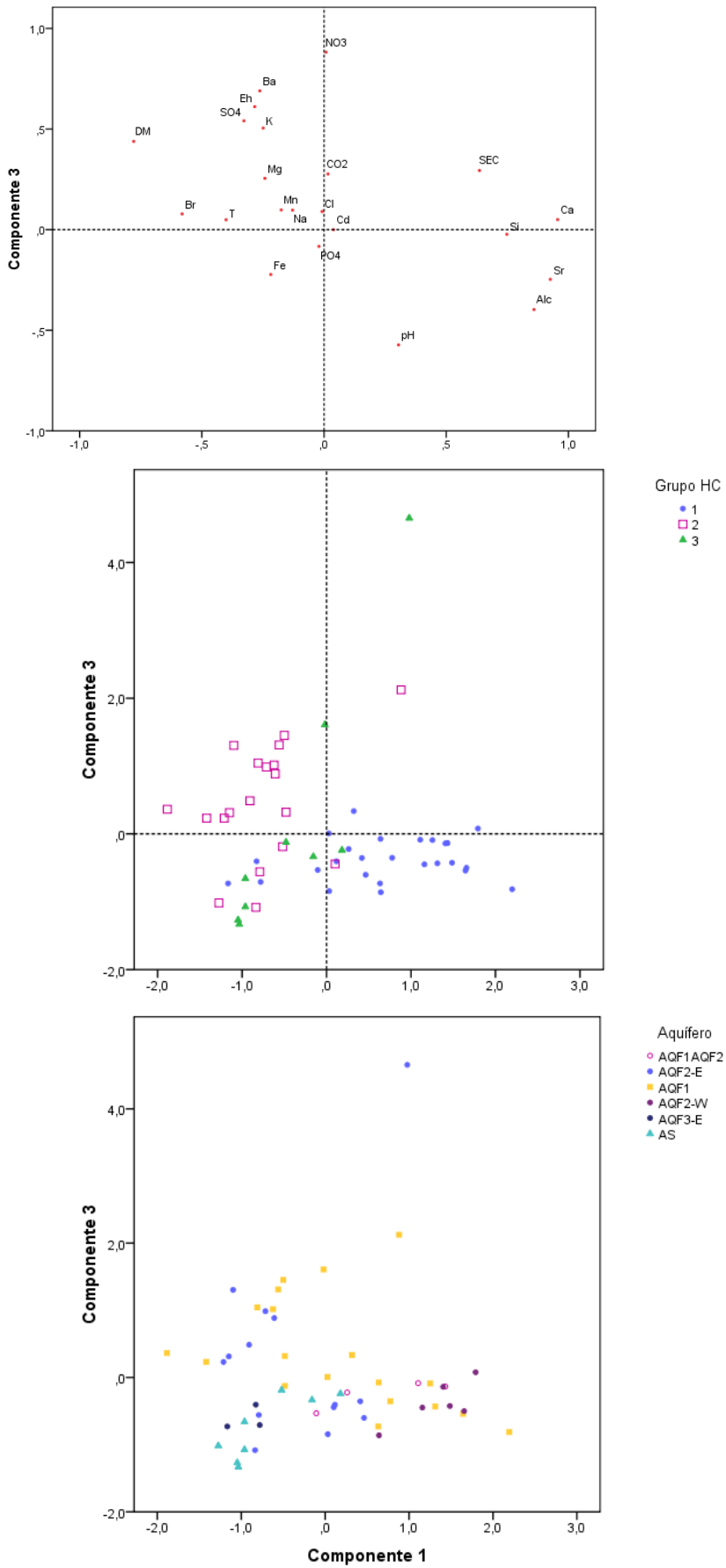


Figura 5.26 – Projecção das variáveis e das amostras nas componentes 1 e 3.

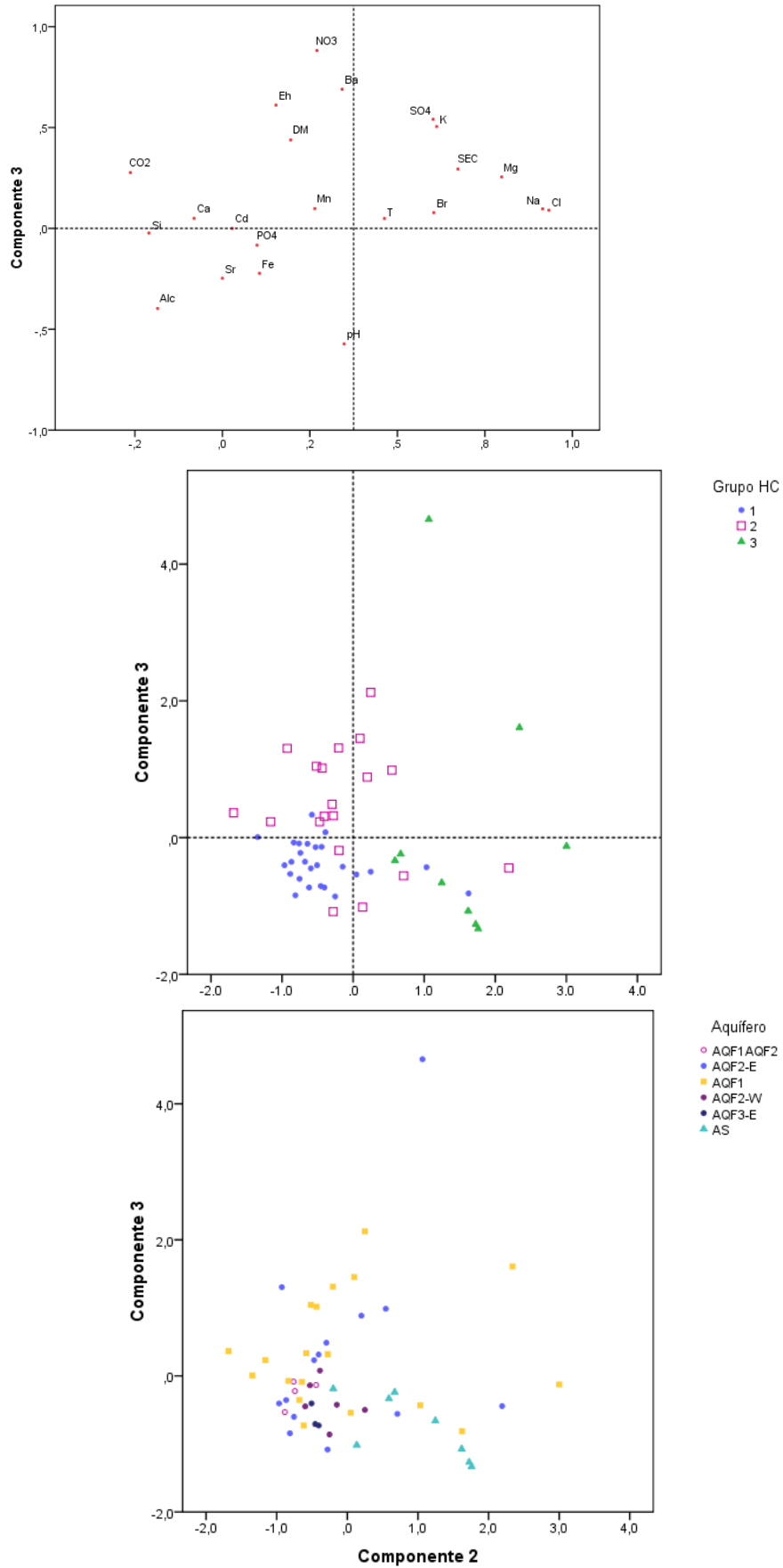


Figura 5.27 – Projecção das variáveis e das amostras nas componentes 2 e 3.

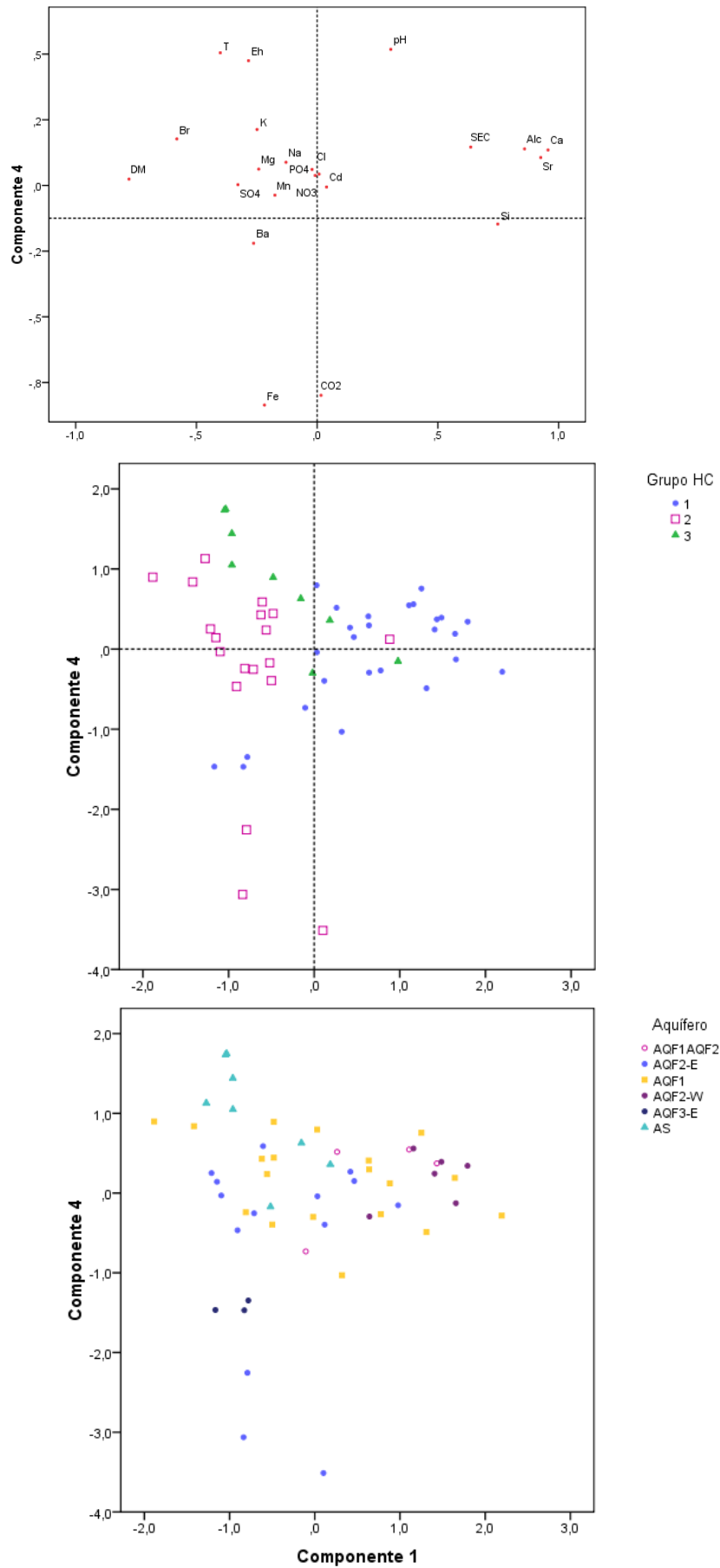


Figura 5.28 – Projecção das variáveis e das amostras nas componentes 1 e 4.

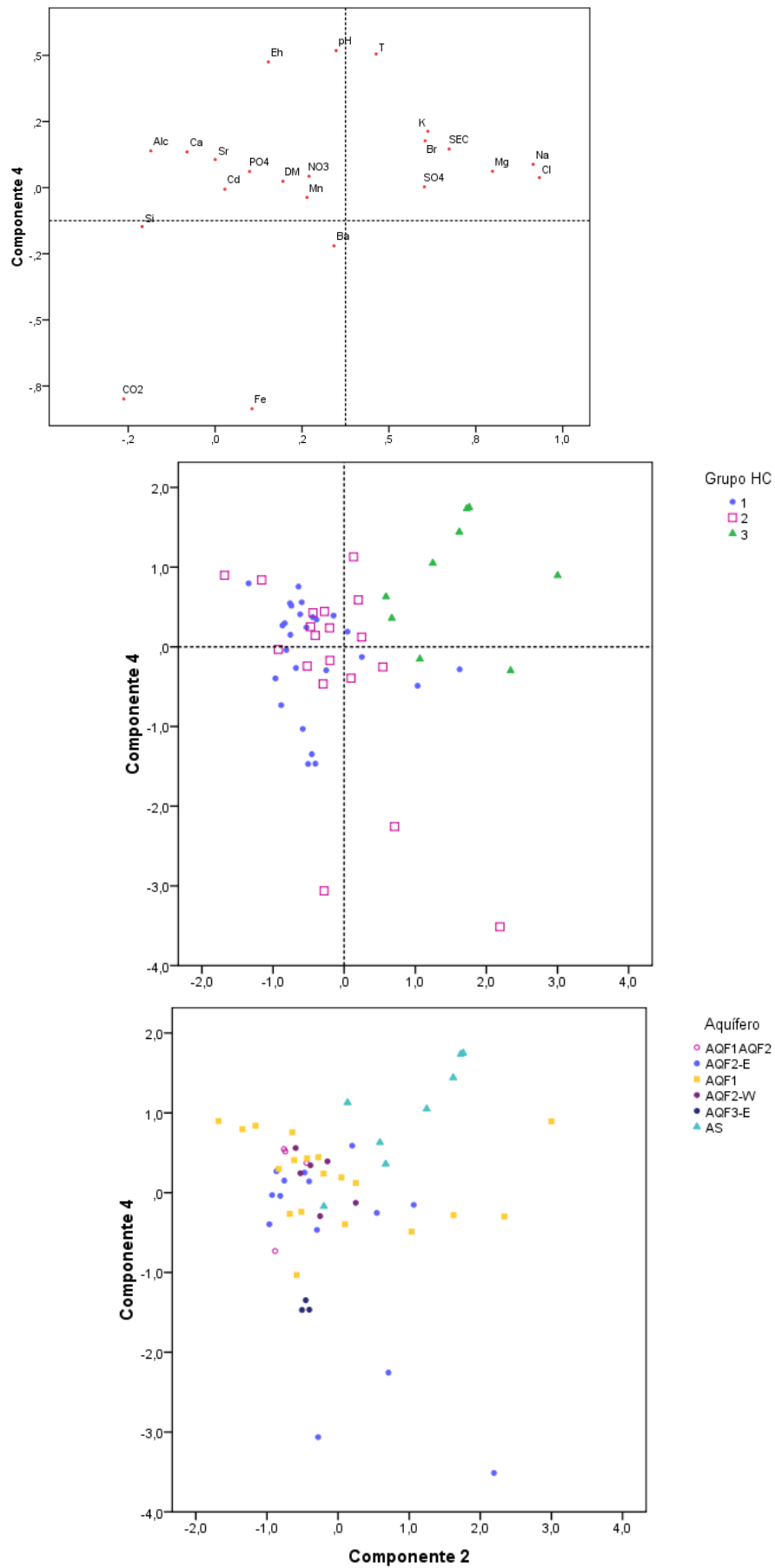


Figura 5.29 – Projecção das variáveis e das amostras nas componentes 2 e 4.

Os gráficos da figura 5.28 apresentam a componente 4, com posições opostas das variáveis de CO₂ e ferro em relação às variáveis temperatura, Eh e pH. A projecção das amostras dos grupos HC é feita geralmente no quadrante positivo ou muito próximo da origem da componente 4, havendo uma separação das amostras do aquífero AQF3-E e de três amostras do aquífero AQF2-E, que se deslocam para o semi-eixo negativo desta componente, aproximando-se das variáveis ferro e CO₂. Situam-se também no semi-eixo negativo da componente 1 longe das variáveis cálcio, estrôncio, alcalinidade, sílica e SEC.

A figura 5.29 permite separar o grupo HC3 para sectores positivos da componente 2 e componente 4, apresentando uma distribuição que se aproxima da diagonal positiva e que situa as amostras junto das variáveis sulfato, brometo, SEC, potássio e também sódio, cloro e magnésio, em menor grau. Esta diagonal evolui no sentido das variáveis pH, Eh e temperatura, e no sentido contrário das variáveis ferro e CO₂.

5.4.2.3 Distribuição espacial das amostras segundo as componentes principais

As componentes obtidas pela análise de dados podem revelar os processos hidrogeoquímicos dominantes, responsáveis pela evolução e quimismo das águas subterrâneas, que se reflectem e são condicionadas pelas interacções com as águas superficiais.

A distribuição espacial dos valores das amostras nas componentes principais permite evidenciar os locais onde os processos hidrogeoquímicos são mais actuantes, possibilitando o cruzamento de vários tipos de dados e uma análise pluridisciplinar (figuras 5.30 a 5.35 e anexo 5.16). A sua representação tridimensional foi efectuada por modelação espacial de valores das componentes nas amostras, sem correcção topográfica, utilizando o inverso da distância.

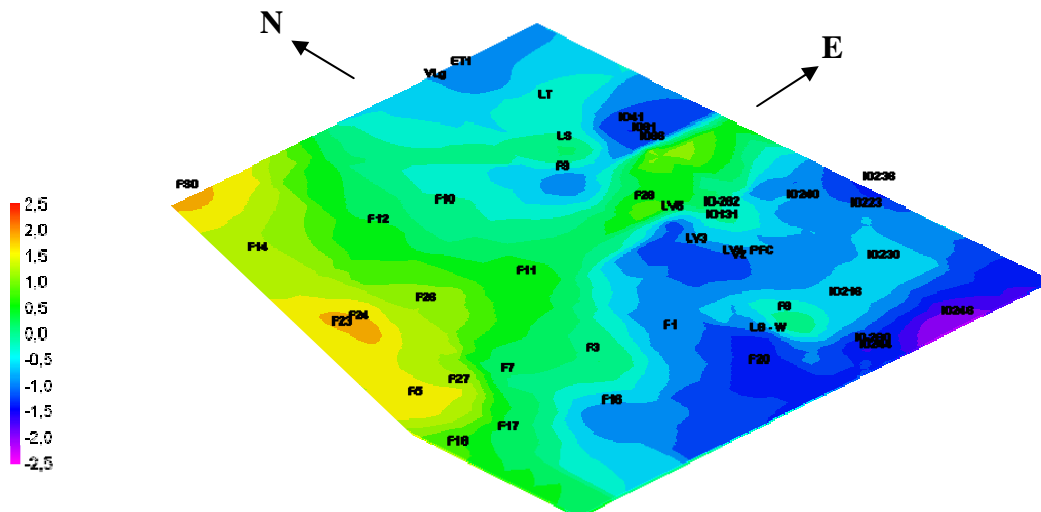


Figura 5.30 – Distribuição espacial dos valores das amostras na componente 1.

A componente 1 integra alguns dos processos hidrogeoquímicos responsáveis pela grande maioria da diversidade química observada nas amostras de água recolhidas, havendo uma certa antipatia na acção que exercem. Valores positivos da componente 1 indicam águas mais mineralizadas (SEC, TDS e Rs), com teores elevados de Ca, Sr e HCO_3 (principal espécie responsável pela alcalinidade nestas águas). A sua contribuição parece depender sobretudo das propriedades do meio poroso, que se encontra em contacto com a água (enquadramento hidrogeológico) e do fluxo, sendo também condicionados pela localização espacial das amostras. A dissolução de carbonatos e a alteração de silicatos são os processos que podem ser descritos por esta componente, prevalecendo o primeiro nas zonas mais próximas do litoral, a jusante, e o segundo nas áreas mais orientais, a montante (figura 5.30).

A componente 2 parece estar relacionada com a concentração de sais por evaporação de água da chuva. A sua acção faz-se sentir pela concentração de cloretos, sódio, magnésio, potássio, brometos e sulfatos, com o aumento de SEC.

Manifesta-se com maior evidência em zonas afastadas do mar, o que exclui nesses locais a possibilidade de intrusão salina (figura 5.31). A fácies hidroquímica mais comum destas águas é cloretada-sódica, semelhante à da água da chuva. Uma outra hipótese que se pode colocar como justificação para esta componente prende-se com a existência de contaminação antrópica de origem doméstica e/ou agrícola.

Existem ainda locais com valores da componente 2 menores que 1,0 que se situam próximo da costa especialmente a norte, admitindo-se nesses casos alguma influência marinha.

A componente 3 relaciona positivamente Eh, sulfatos, nitratos, potássio e bário e negativamente o pH. Faz-se notar mais numa faixa oriental, cuja ocupação do solo é predominantemente agrícola, com cultivo de milho verde e pastagens. A norte existe uma área ocupada por floresta onde não se manifesta esta componente. Os elementos mais influentes são constituintes comuns dos fertilizantes utilizados nesta prática agrícola (figura 5.32).

A componente 4 faz-se sentir mais pelos seus valores negativos, ou seja por teores relativamente elevados de ferro e de dióxido de carbono, em águas mais frias, com condições mais ácidas e redutoras. As áreas em que a sua acção é mais evidente são relativamente restritas e estão espalhadas pelos sectores Oriental e Central, especialmente em furos mais profundos. Pode revelar o efeito de reacções de oxidação-redução, sendo mais notórios os resultados da degradação da matéria orgânica, provavelmente em ambientes fechados à entrada (ou saída) de CO₂, em ambientes redutores e ácidos, que promovem a redução de óxidos e hidróxidos de ferro e a solubilização de Fe(II) (figura 5.33).

A componente 5 destaca a concentração em fosfatos e manganésio em águas geralmente mais quentes. Manifesta-se em águas superficiais nas lagoas Salgueira e dos Teixoeiros e na vala das Lagoas e em alguns furos e poços do aquífero AQF1 e AQF2-E (figura 5.34). A origem dos fosfatos pode estar na fertilização química, sendo a sua existência em solução muitas vezes regulada pela adsorção específica em óxidos de Fe(III) (Stumm & Morgan, 1996).

O ferro e o manganésio têm também comportamentos diferentes em ambientes oxidantes e redutores, este fenómeno é muito notado em águas de lagos e manifesta-se principalmente na interface sedimento-água superficial. Em condições anóxicas, a redução de óxidos de Mn(III, IV) coloca em solução Mn(II), não sendo a redução de óxidos de Fe(III) favorecida por estas condições (Stumm & Morgan, 1996). Esta situação pode verificar-se na lagoa Salgueira, na lagoa dos Teixoeiros e na vala das Lagoas, que apresentam teores elevados de fosfatos e manganésio e reduzidos de ferro. A concentração de ferro dissolvido pode ainda limitar a adsorção específica de fosfatos em óxidos de Fe(III) permanecendo as restantes concentrações de Mn e PO₄ em solução.

As águas captadas em furos e poços que apresentam teores de Mn elevados têm teores de Fe igualmente elevados, havendo por isso a redução de óxidos e hidróxidos de ferro e manganésio muito abundantes nos níveis de paleossolos podzólicos, que podem co-precipitar com fosfatos se estiverem disponíveis.

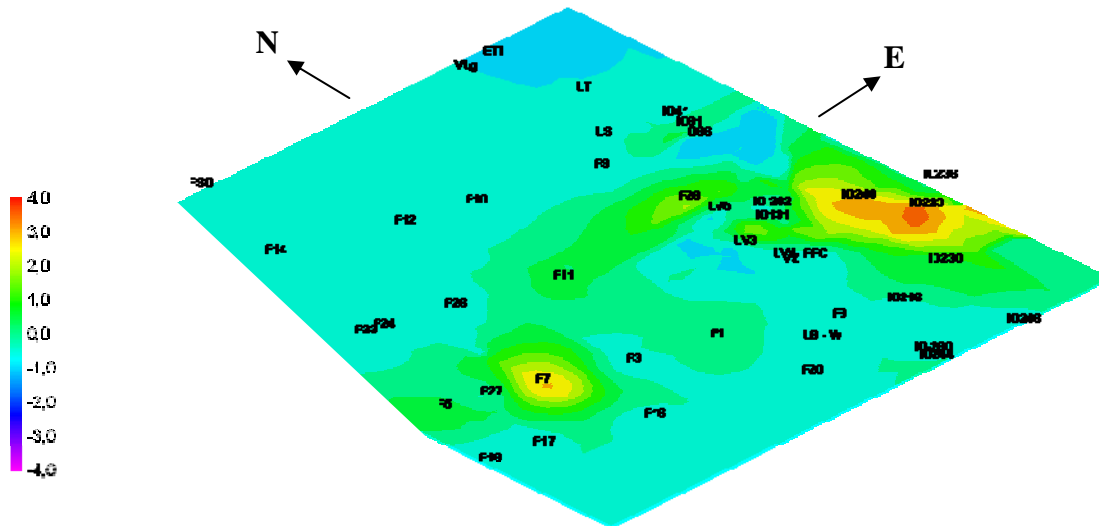


Figura 5.35 – Distribuição espacial dos valores das amostras na componente 6.

A componente 6 reúne as amostras de água com os mais elevados teores de cádmio, sempre inferiores a 5 µg/L. Elas situam-se numa faixa com direcção aproximadamente E-W, com concentrações mais elevadas nos pontos ID236 e ID223, parecendo reduzir-se ao longo do fluxo com excepção do furo F7.

Esta mancha é quase coincidente com as de pH inferior a 6,0, atingindo valores inferiores a 5,0 nas áreas meridionais e orientais (anexo 5.16).

Como no caso da maioria dos metais, existe uma forte dependência do pH para o coeficiente de distribuição do cádmio em solos que controla a sua disponibilidade na água (Christensen, 1984; citado em Appelo & Postma, 2005).

Para o crómio, o chumbo, o cobre, o cádmio, o zinco e o níquel, a sua adsorção na superfície da ferrihidrite inicia-se a pH crescentes, sendo que, para cada elemento, esta aumenta com o pH. Assim, o pH a que 50% de cádmio se encontra adsorvido e 50% em solução, é de cerca de 5,5 para o rútilo, 5,8 para a ferrihidrite e de 7 para a calcite (Shindler & Stumm, 1987; Stumm, 1992; Zachara *et al.*, 1991; citados em Appelo & Postma, 2005).

5.4.3 Identificação dos processos hidrogeoquímicos dominantes na área em estudo

A água que se evapora e se transforma em chuva, interage com a atmosfera e precipita sobre a terra, é interceptada pela vegetação, infiltra-se, reage com os colóides do solo e vai ganhando e perdendo matéria, através de interações constantes com sólidos, líquidos e gases durante o seu percurso. As reacções em que é parte são os processos hidrogeoquímicos responsáveis pela sua composição química, que actuam até ao momento da recolha de uma amostra de água e que procuramos sejam reveladores da sua evolução e história.

A análise dos parâmetros físicos e químicos da água, dos seus principais índices hidrogeoquímicos e de saturação em minerais, efectuada de acordo com a análise de dados e segundo a sua distribuição espacial, permite tirar elações sobre os principais processos hidrogeoquímicos actuantes nas águas da área em estudo (anexos 5.7 a 5.16).

5.4.3.1 Dissolução e precipitação de carbonatos

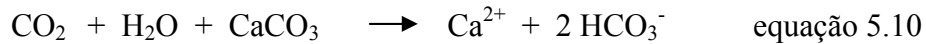
Um dos fenómenos hidrogeoquímicos mais importantes que afectam águas subterrâneas e superficiais é o equilíbrio dos minerais carbonatados em contacto com a água.

Os carbonatos mais comuns são a calcite, a dolomite e a aragonite. Os sedimentos carbonatados mais recentes apresentam geralmente aragonite e calcite magnésiana, de origem biogénica em conchas, restos de esqueletos e sob a forma de micrite, enquanto que, as rochas carbonatadas mais antigas, ante-pleistocénicas, contêm normalmente calcites e dolomites (Hanshaw & Beck, 1979, citado em Appelo & Postma, 2005).

Os outros minerais carbonatados menos comuns, como por exemplo, a siderite e a rodocrosite aparecem apenas em pequenas proporções, mas podem mesmo assim ter um importante controlo nas concentrações de ferro e manganésio dissolvidos (Al *et al.*, 2000; Jurjovec *et al.*, 2002; citados em Appelo & Postma, 2005).

Podem ocorrer ainda soluções sólidas de diferentes minerais carbonatados. Soluções sólidas entre calcite e magnesite, com substituição de Ca^{2+} por Mg^{2+} na calcite, são muito comuns em sedimentos e em conchas de organismos marinhos, sendo a quantidade de magnésio dependente da temperatura. Frequentemente o Ca^{2+} é substituído por Cd^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+} e Mn^{2+} na calcite; o Ca^{2+} substitui o Mn^{2+} na rodocrosite e o Mn^{2+} substitui o Fe^{2+} na siderite, o Sr^{2+} substitui o Ca^{2+} na aragonite. A substituição do Ca^{2+} por Fe^{2+} ou Mn^{2+} é também habitual, na dolomite (Morel & Hering, 1993; Stumm & Morgan, 1996; Appelo & Postma, 2005).

O conjunto de reacções químicas que explica a dissolução de carbonatos é simples. A água pode dissolver CO_2 atmosférico que reage com a água formando ácido carbónico, que ajuda a dissociar o carbonato da calcite, formando bicarbonato, através da reacção seguinte:



Esta reacção ajuda a compreender a dissolução e precipitação de carbonatos nas águas naturais. Aumentando a concentração de CO_2 existe uma evolução da reacção no sentido do segundo membro, resultando na dissolução de carbonatos enquanto que a remoção de CO_2 provoca uma evolução da reacção no sentido contrário, aumentando a precipitação de carbonatos.

A degradação da matéria orgânica e a respiração produzem CO_2 favorecendo a dissolução de carbonatos em sedimentos, enquanto que, a fotossíntese consome CO_2 promovendo a precipitação de CaCO_3 em lagos ou outras águas superficiais.

A dissolução de calcite em sistemas abertos ou fechados à entrada de CO_2 é diferente. Um sistema aberto à entrada de CO_2 , geralmente atmosférico, gera concentrações de cálcio e bicarbonato mais elevadas do que um sistema fechado em relação ao CO_2 atmosférico. Para além disso, o pH varia também de forma diferente, atingindo valores mais elevados no caso de sistemas fechados.

O fluxo de água é um factor importante na concentração destes elementos dependendo esta do tempo e da superfície de contacto. Assim, fluxos lentos em contacto com minerais carbonatados disseminados numa matriz porosa geram normalmente contactos mais eficazes e prolongados e portanto, concentrações mais elevadas de iões dissolvidos (Martin & Dean, 2001; citados em Appelo e Postma, 2005) do que a produzida por um fluxo rápido ou turbulento através de fracturas em calcários.

A presença de magnésio na água do mar não permite a precipitação de minerais estáveis, como calcites e dolomites, mas favorece a precipitação de minerais metaestáveis como aragonite e calcite magnésiana. Quando os minerais que se formam neste ambiente entram em contacto com a água doce, devido à variação do nível da água do mar ou a mistura, sobretudo em aquíferos costeiros, o contacto com água doce provoca a precipitação de calcite, uma vez que deixa de haver inibição e é largamente favorecida havendo também dissolução de aragonite e da calcite magnésiana enquanto a calcite precipita. A transição da aragonite para calcite pode provocar a libertação de estrôncio, que vai sendo progressivamente libertado para a água, enquanto que, algum do cálcio pode precipitar sob a forma de calcite. O mesmo acontece em relação à calcite magnésiana com um processo mais lento, em que as calcites magnésianas vão precipitando progressivamente calcites menos magnésianas e o teor de magnésio na água vai aumentando (Appelo & Postma, 2005).

A precipitação de carbonatos pode também ser inibida pela presença de fosfatos e ácidos orgânicos em ambientes aquáticos continentais, mesmo para concentrações reduzidas de fosfatos ($<0,1 \mu\text{mol/L}$) ou de ácidos orgânicos ($< 10 \mu\text{mol/L}$) (Inskeep & Blomm, 1986; Reddy, 1977; Lebron & Suarez, 1996; citados em Appelo & Postma, 2005).

A especiação de carbonatos nas águas analisadas foi determinada, através do *software* PHREEQC[®], utilizando o par pH e alcalinidade. Calcularam-se igualmente os índices de saturação (IS) nos principais minerais carbonatados, calcite dolomite e aragonite, e os índices hidrogeoquímicos calculados a partir das concentrações em meq/L, com interesse na precipitação de carbonatos, especialmente $r\text{Mg}/r\text{Ca}$, $r\text{Sr}/r\text{Ca}$, $r\text{Na}/r(\text{Ca}+\text{Mg})$ e $(\text{Ca} \cdot (\text{HCO}_3)_2)^{1/3}$. A esta informação vai juntar-se a resultante da análise de dados efectuada, com especial atenção para a componente 1 (figura 5.30) e as distribuições espaciais dos principais elementos envolvidos neste processo hidrogeoquímico (pH, alcalinidade, CO_2 , Ca, Mg, Sr). (figuras 5.36 a 5.42 e anexo 5.16).

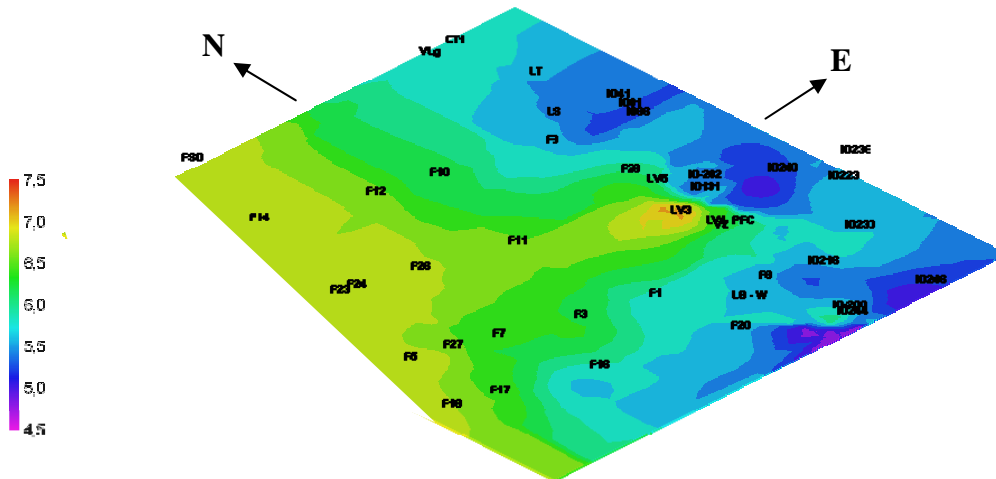


Figura 5.36 – Distribuição espacial de pH (dados de furos e poços).
pH da água da chuva – 5,6 (azul-ciano).

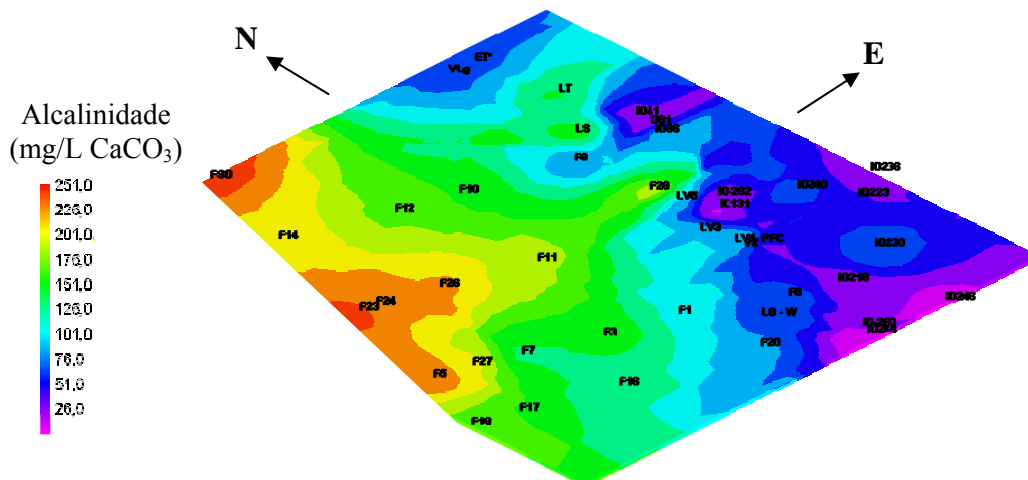


Figura 5.37 – Distribuição espacial de alcalinidade (mg/L de CaCO_3).

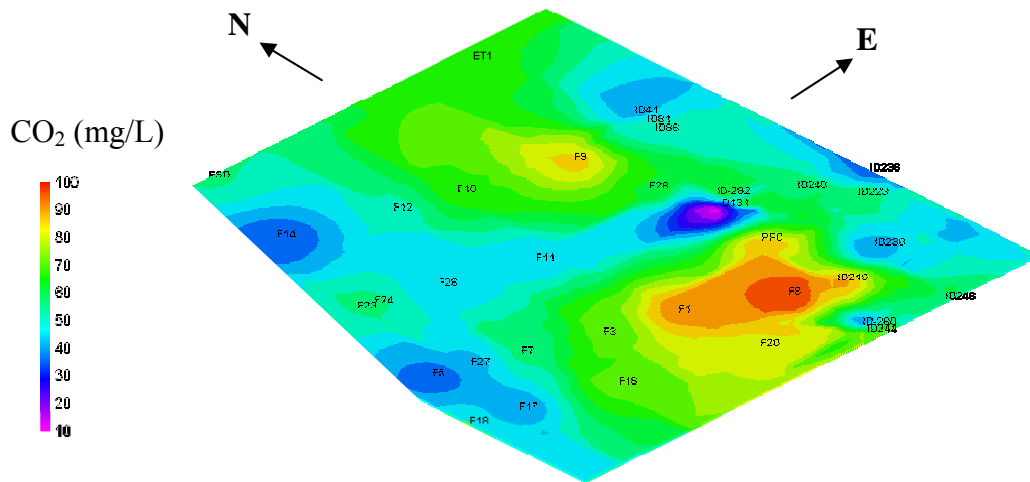


Figura 5.39 – Distribuição espacial de CO₂ (dados de furos e poços) (mg/L).

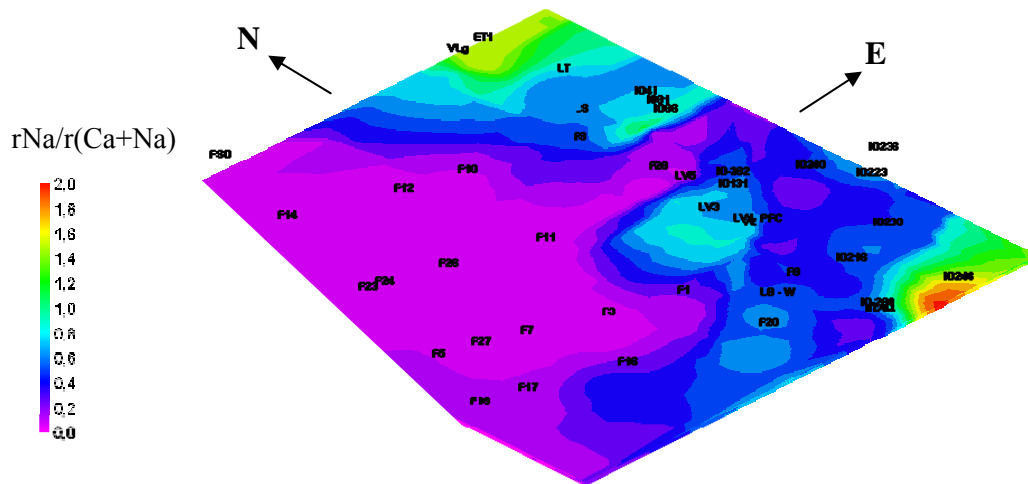


Figura 5.40 – Distribuição espacial da relação $rNa/r(Ca+Mg)$ (elementos em meq/L). Água da chuva ~ 1,7 (amarelo).

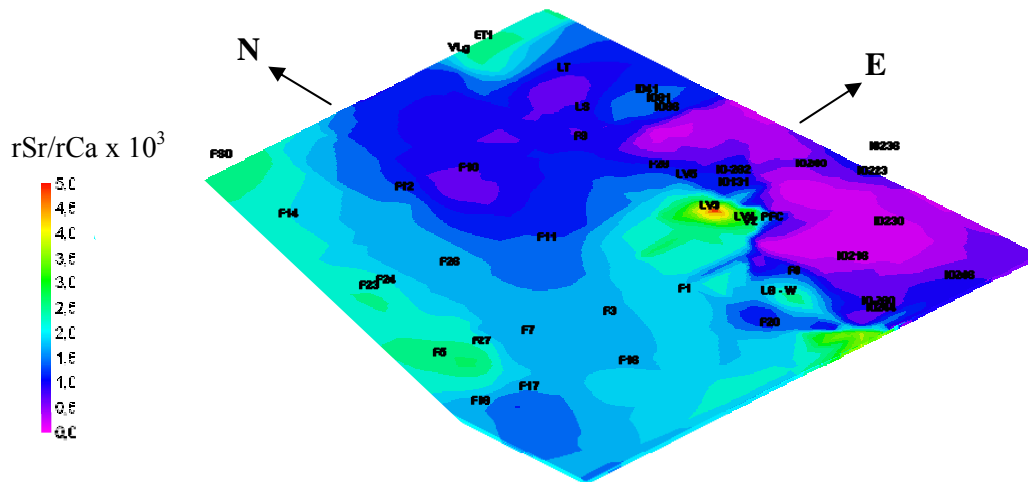


Figura 5.41 – Distribuição espacial da relação $rSr/rCa \times 10^3$ (ambos em meq/L).

Da análise das figuras 5.36 a 5.42 verifica-se a existência de uma concordância com os valores positivos da componente 1.

A dissolução de carbonatos, em especial daqueles em que o Sr^{2+} substitui parcialmente o Ca^{2+} , parece constituir um dos processos hidrogeoquímicos mais influentes na definição do quimismo das águas subterrâneas e, pela interacção entre ambas, também das águas superficiais.

Ao longo do fluxo observa-se um aumento do pH e da alcalinidade, assim como das concentrações de Ca^{2+} e Sr^{2+} , havendo igualmente uma diminuição de CO_2 dissolvido, com claras evidências de que existe um desenvolvimento da equação 5.10 no sentido dos produtos. Parece ainda haver alguns locais com condições ambientais características de sistemas fechados ao CO_2 atmosférico. Estes resultados são compatíveis com a especiação de espécies carbonatadas obtida na área, para os valores de pH e alcalinidade medidos.

A origem do Mg^{2+} em solução nas águas subterrâneas deverá ser outra, que não apenas a dissolução de carbonatos, podendo haver um efeito cumulado de várias proveniências. Tendo em conta a sua distribuição espacial na área em estudo parece haver uma maior abundância em áreas de agricultura intensiva, ou a sul, junto à serra da Boa Viagem, coincidindo com as zonas com índices $r\text{Na}/r(\text{Ca}+\text{Mg})$ mais elevados, o que pode indicar fenómenos de troca iónica (figura 5.38).

Constata-se que os índices de saturação obtidos para os minerais calcite, aragonite e dolomite são decrescentes por esta ordem, havendo zonas no sentido do fluxo que estão sobressaturadas em calcite, mas que se encontram em equilíbrio ou ligeiramente subsaturadas em aragonite, situação muito frequente em aquíferos costeiros e anteriormente referida (Appelo & Postma, 2005) (figura 5.42). Este processo coloca inicialmente Sr^{2+} em solução e, só mais tarde e lentamente Mg^{2+} .

Interessante é verificar que as áreas onde a componente 1 (figura 5.30) é positiva e para as quais se admite a dissolução de carbonatos como processo hidrogeoquímico dominante, se situam nos sectores Ocidental e Central, próximos da costa, em direcção à qual se observaram quantidades progressivamente mais elevadas de conchas e outros restos de organismos marinhos. A zona central que parece definir uma reentrância para oriente corresponde à localização do furo F28 onde foi detectada a existência de minerais carbonatados (*vide* capítulo 4) e a uma zona do sector geofísico Id-, com valores de condutividade eléctrica aparente mais reduzidos que a zona envolvente (*vide* capítulo 3).

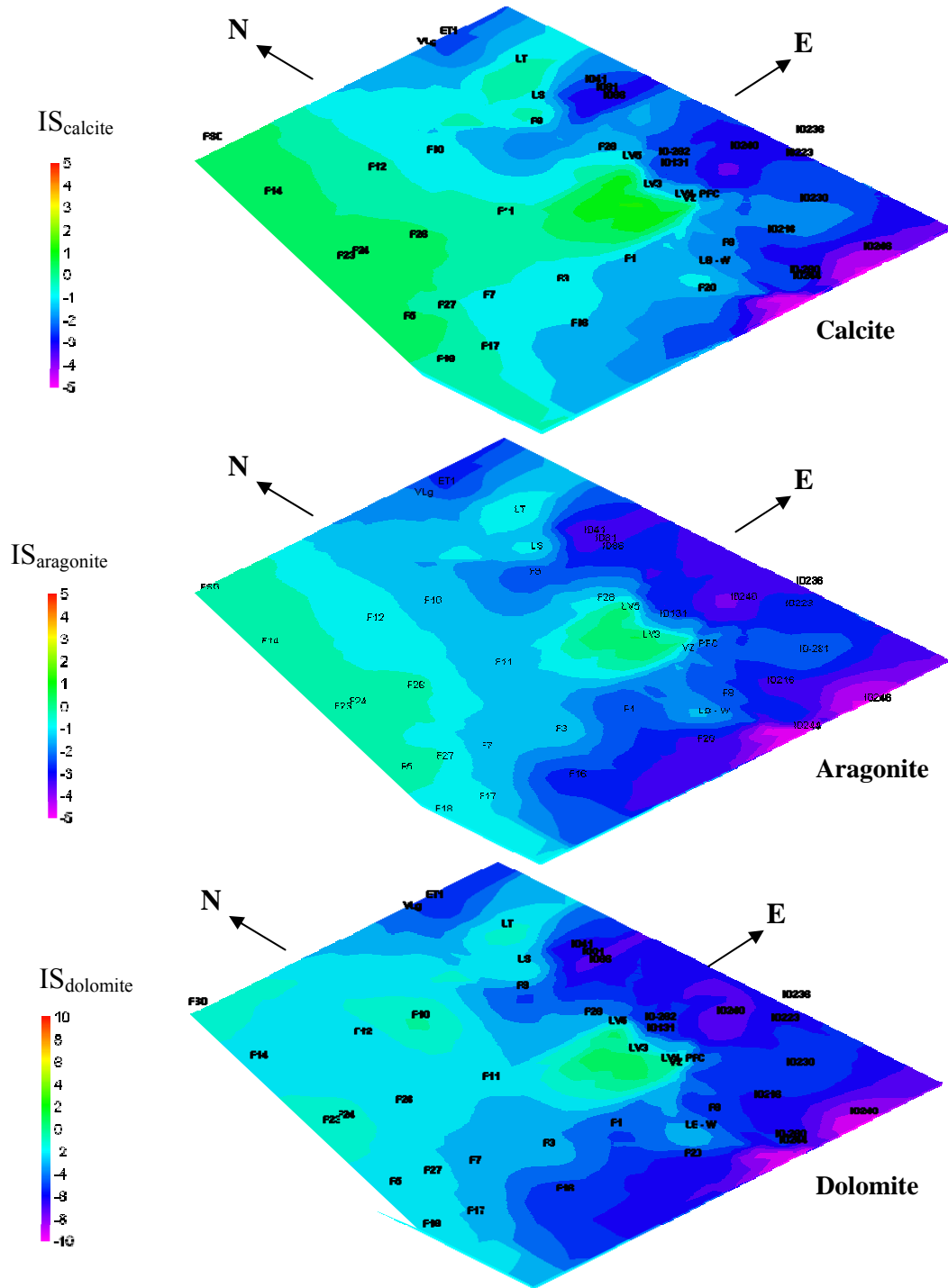


Figura 5.42 – Distribuição espacial dos índices de saturação em calcite, aragonite e dolomite.

5.4.3.2 Alteração de silicatos

A alteração química de minerais é um dos mais importantes processos que controlam a composição hidrogeoquímica da água e o ciclo global dos elementos. Neste ciclo, a água constitui-se como reagente e como agente transportador dos produtos resultantes da alteração, a atmosfera como reservatório de CO₂ e de oxidantes necessários, a biota da Terra fornece ligantes e ácidos orgânicos e CO₂ suplementar (Stumm & Morgan, 1996).

A alteração de silicatos é um processo químico mais lento e gradual do que a dissolução de carbonatos ou de evaporitos, mas constituiu uma fonte importante de elementos dissolvidos na água (cerca de 45 % do total). É um processo hidrogeoquímico que cria um sumidouro importante de CO₂ em zonas não carbonatadas e favorece o controlo do pH da água (Stumm & Morgan, 1996; Appelo & Postma, 2005).

O efeito principal da alteração de silicatos na constituição química da água é a adição de cátions e de sílica. Durante as reacções de alteração de silicatos é comum o consumo de hidrogeniões, provenientes geralmente do ácido carbónico ou de ácidos orgânicos, com o aumento do pH e da alcalinidade da solução final. Óxidos de ferro insolúveis são ainda subprodutos comuns deste tipo de reacções, desde que o mineral original contenha ferro (Appelo & Postma, 2005).

A sequência de produtos de alteração reflecte a intensidade da lixiviação e da remoção de cátions e de sílica, sendo geralmente formada por montmorilonite, caulinite e gibsite para intensidades progressivamente maiores, dependendo das condições climáticas. Os produtos finais da alteração de silicatos, que se formam geralmente em condições de intensa lixiviação são os hidróxidos de alumínio (ex. gibsite), cuja solubilidade é fortemente dependente do pH da água, podendo em determinadas condições ser uma fonte de alumínio em solução. O mesmo pode acontecer através dissociação da caulinite. Assim, minerais resultantes da alteração de silicatos, como a gibsite ou a caulinite, podem estar na origem de concentrações elevadas de alumínio na água subterrânea.

Em águas de rochas ígneas e metamórficas, conteúdos elevados em sílica indicam alteração de silicatos. Os principais cátions são o sódio e, em menor quantidade o potássio, que resultam sobretudo da alteração de plagioclases sódicas e de feldspatos; o cálcio, que resulta principalmente da alteração de plagioclases cálcicas; e ainda magnésio e ferro presentes nos minerais ferromagnesianos. O aumento em cátions dissolvidos é acompanhado geralmente por um aumento de bicarbonato (alcalinidade), de pH e, caso haja ferro na constituição dos minerais, pode ser acompanhado por um consumo de oxigénio (Stumm & Morgan, 1996; Hem, 1985, citado em Appelo & Postma, 2005).

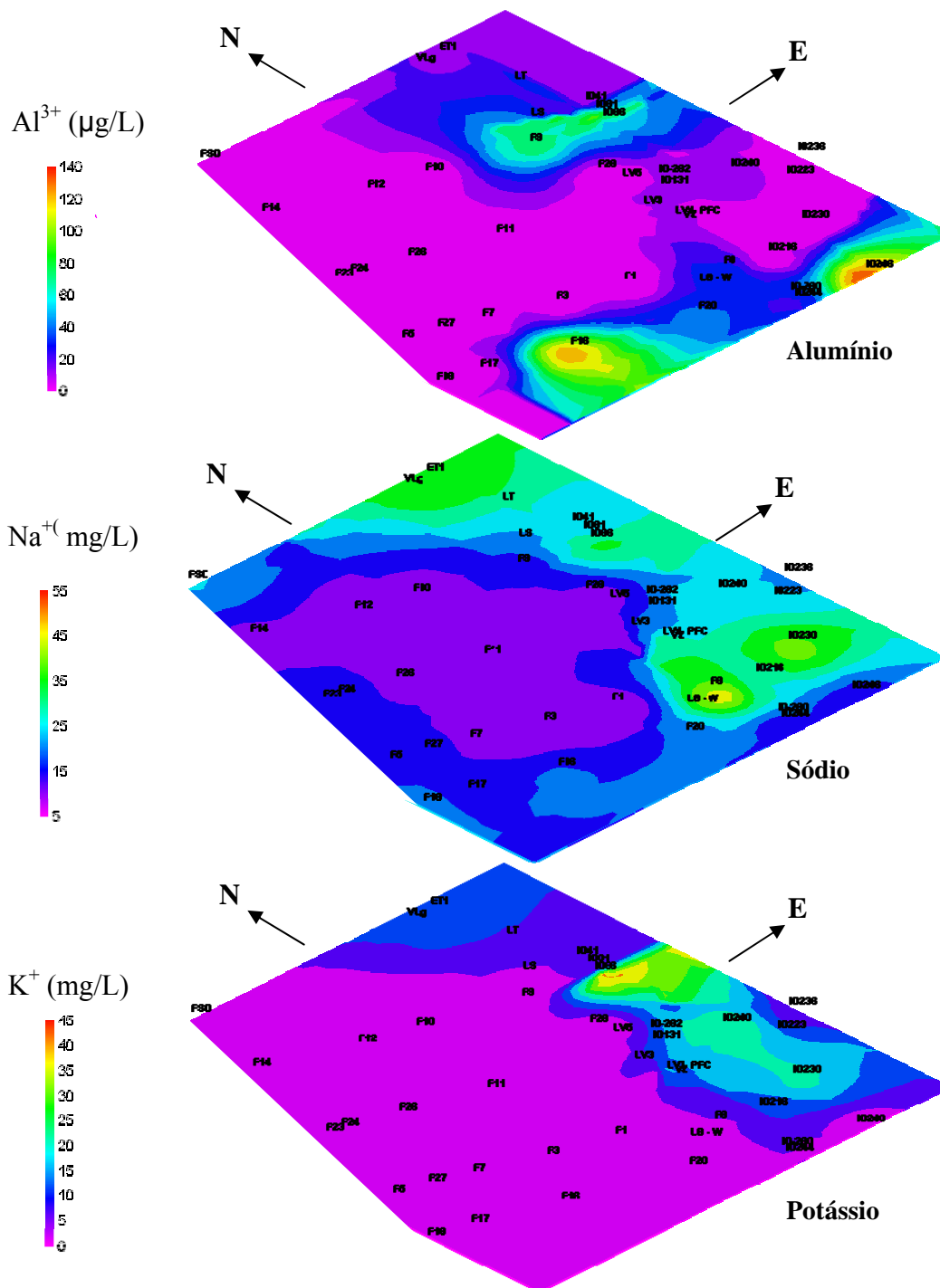


Figura 5.44 – Distribuição espacial de alumínio, sódio e potássio (dados de furos e poços).

As áreas onde o pH, a alcalinidade e a sílica dissolvida são mais baixos coincidem com as que apresentam teores mais elevados em Al, Na e K. Os teores de Mg não apresentam a mesma distribuição.

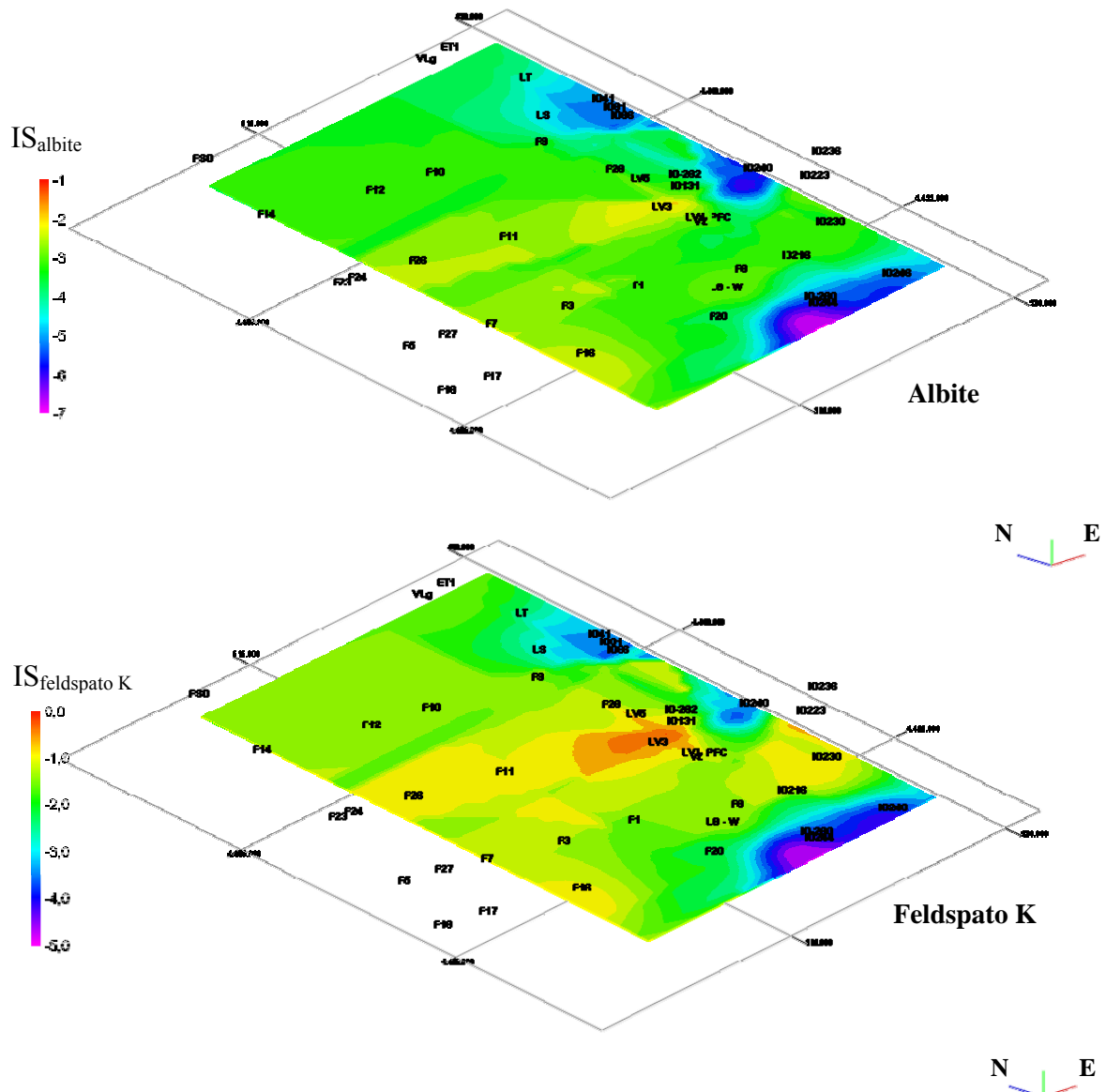


Figura 5.45 – Distribuição espacial dos índices de saturação em albite e feldspato alcalino (dados de furos e poços).

Os teores de alumínio, sódio e, com menor expressão, o potássio, são mais elevados a sul e a oriente, em zonas onde as unidades hidrogeológicas formadas por sedimentos das litofácies WS p, APS e McS são mais espessas. É nestas regiões que a água subterrânea se encontra subsaturada em relação a albite e feldspato alcalino (figura 5.45), praticamente em equilíbrio em relação a quartzo e a ilite (e também micas brancas) ou ligeiramente saturada em caulinite (figura 5.46 e anexo 5.16).

Os índices de saturação nestes minerais aumentam no sentido do fluxo e o mesmo sucede com o pH, a alcalinidade e a sílica. Assiste-se assim a um incremento da generalidade dos produtos de reacções de alteração, ao longo do fluxo, apenas sendo limitado para aqueles cuja mobilidade é menor, devido provavelmente a fenómenos de precipitação ou troca iónica.

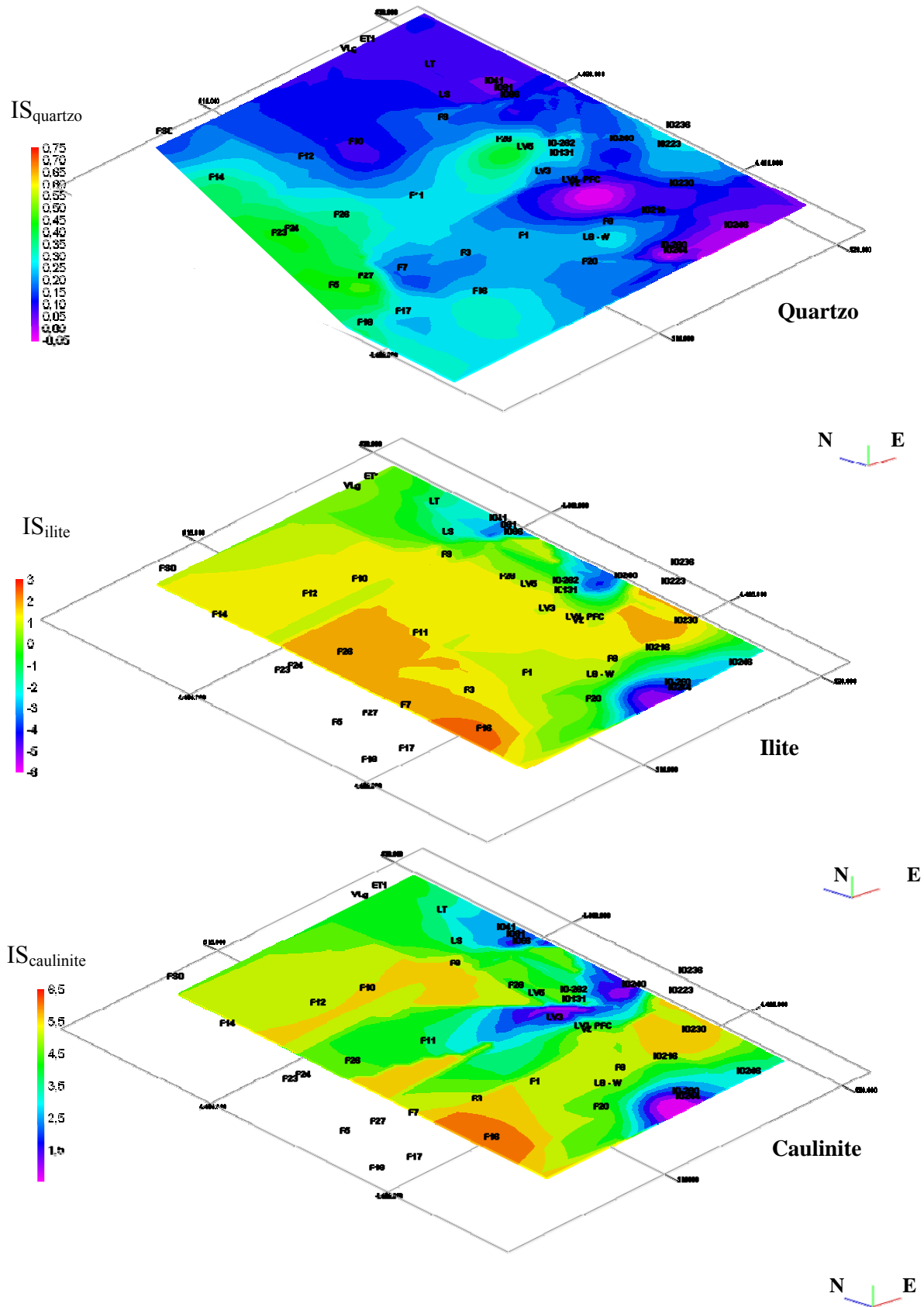


Figura 5.46 – Distribuição espacial do índice de saturação em quartzo, ilite e caullinite (dados de furos e poços).

Estudos efectuados em sedimentos quaternários, constituídos maioritariamente por areias quartzosas, mas com quantidades significativas de plagioclase, feldspato alcalino e mica, revelaram relações entre os índices de saturação destes minerais na água e a sua modificação nos sedimentos. A dissolução de silicatos primários é lenta e raramente atinge o equilíbrio, enquanto que, a precipitação de minerais secundários resultantes da alteração é mais rápida. A sílica produzida pela alteração de silicatos não é consumida ao mesmo ritmo na precipitação de quartzo ou de outras formas mais solúveis de SiO_2 , como a calcedónia, a cristobalite, a tridimite, a opala-CT (forma desordenada de cristobalite-tridimite), ou a sílica amorfa, ficando a água subterrânea frequentemente sobressaturada neste constituinte, que acompanha o fluxo (Helgeson *et al.*, 1969; Ohse *et al.*, 1984; White *et al.*, 2001; citados em Appelo & Postma, 2005).

Os elementos mais móveis vão sendo transportados pelo fluxo, enquanto que, aqueles cuja mobilidade é menor terão a sua disponibilidade limitada por reacções de precipitação, oxidação ou redução, troca iónica ou outros processos hidrogeoquímicos que promovam a existência de espécies menos solúveis ou insolúveis.

Em zonas costeiras é muito frequente a existência de sílica amorfa em organismos de diatomáceas. Esta forma de SiO_2 é muito solúvel e a sua dissolução pode aliar-se à alteração de silicatos na promoção de conteúdos elevados de sílica nas zonas mais próximas do mar.

5.4.3.3 Adsorção e troca iónica

Alguns dos constituintes de solos e sedimentos presentes nas unidades aquíferas, como os minerais de argila, a matéria orgânica e alguns óxidos e hidróxidos metálicos, têm um papel preponderante no controlo de substâncias químicas na água. Esta acção é mais evidente quando estes estão presentes em fracções de reduzida dimensão sendo, por isso, muitas vezes apelidados de colóides do solo.

Os processos envolvidos implicam a existência de superfícies sólidas em águas, sedimentos e solos, cuja superfície é carregada electricamente, sendo esta carga fortemente dependendo do pH do meio, para além de outros factores como a concentração dos iões em solução. De uma forma simplificada, o pH em que uma determinada superfície apresenta carga neutra chama-se ponto isoeléctrico (pH_{PZC} ou *Point of Zero Charge*) (tabela 5.17).

Em torno da superfície electricamente carregada existe uma camada onde os iões de sinal contrário se acumulam e cuja distribuição em equilíbrio obedece à equação de Poisson-Boltzman (Sposito, 1984). A disposição destes iões em torno da superfície coloidal devido à atracção electrostática é designada por Camada Dupla Difusa (CDD). Esta camada tem uma espessura finita correspondente ao alcance do campo eléctrico da superfície.

Os fenómenos ocorridos na CDD podem ser agrupados em três categorias: iões com grande afinidade pela superfície desenvolvem geralmente ligação através da camada interna de hidratação (adsorção química ou retenção); iões que se ligam à superfície sólida através da interposição de uma ou mais camadas de hidratação, sendo a natureza das ligações de origem electrostática (adsorção selectiva ou específica) e, por fim, os iões com reduzida afinidade pela superfície sólida, que se dispõem na CDD e estão sujeitos a permanentes trocas entre a CDD e a solução (adsorção não selectiva).

Quando se entra em consideração com os três tipos de interacção referidos, os fenómenos existente em torno da superfície explicam-se através de um modelo de três camadas (Modelo da Camada Tripla MDT, ou *Triple Layer Model, TLM*), baseado na teoria de Stern-Grahame (Appelo & Postma, 2005). Se apenas considerarmos, ou se forem largamente preponderantes, os fenómenos de atracção electrostática, genericamente apelidados de adsorção (selectiva e não selectiva), o modelo pode ser simplificado para um modelo de camada dupla difusa, baseado nas relações de Gouy-Chapman (Appelo & Postma, 2005).

Tabela 5.17 – Ponto isoeléctrico (pH_{PZC}) de alguns minerais comuns em solos e sedimentos (segundo diversos autores indicados abaixo).

	pH _{PZC}
Caulinite	4,6 ^a
Montmorilonite	<2,5 ^a
Corindo - α - Al ₂ O ₃	9,1 ^b
γ - Al ₂ O ₃	8,5 ^b
alfa - Al(OH) ₃	5,0 ^b
Hematite - α - Fe ₂ O ₃	8,5 ^c
Goetite - α - FeOOH	9,3 ^d
Fe(OH) ₃	8,5 ^b
Birnessite - δ - MnO ₂	2,2 ^c
Quartzo	2,9 ^c
Calcite	9,5 ^a

^a - Segundo Parks (1967); citado em Appelo & Postma (2005).

^b - Segundo Stumm & Morgan (1996).

^c - Segundo Davis & Kent (1990); citado em Appelo & Postma (2005).

^d - Segundo Venema *et al.* (1996); citado em Appelo & Postma (2005).

Nota: As superfícies encontram-se geralmente carregadas positivamente para valores de pH inferiores a pH_{PZC} e negativamente para valores acima de pH_{PZC}

Em águas naturais, com condições normais de pH, a grande maioria das superfícies de minerais de argila está carregada negativamente (tabela 5.17). Os óxidos e hidróxidos apresentam na sua maioria pontos isoeletrônicos relativamente altos e estão geralmente carregados positivamente, para valores de pH neutro a ácido, com exceção dos hidróxidos de alumínio e dos óxidos de manganésio, que apresentam valores de pH_{PZC} bastante mais baixos (tabela 5.17) e que estarão carregados negativamente em condições normais de pH.

A matéria orgânica apresenta também valores de carga altamente dependentes do pH e da concentração do eletrólito mas, como o pH_{PZC} é relativamente baixo, a carga de superfície é geralmente negativa em condições normais (tabela 5.18).

Em condições de regime permanente, a composição química da água encontra-se em equilíbrio com a da camada dupla difusa, mas quando se verifica a alteração das condições e da composição da água existe um reajustamento desta através de processos de troca iônica, em que os iões adsorvidos trocam com iões em solução de modo a repor o equilíbrio químico.

A este processo chama-se troca ou permuta iônica. É particularmente importante já que altera a composição química da água subterrânea e pode limitar, em muitas circunstâncias, o transporte de poluentes em aquíferos, trocando-os com outras substâncias adsorvidas em solos e desse modo diminuindo a sua disponibilidade e mobilidade.

Genericamente a capacidade de troca iônica de um solo ou sedimento é o número de moles por carga de um ião adsorvido que pode ser desadsorvido por unidade de massa de solo, sob determinadas condições de temperatura, pressão, composição da solução e relação entre as massas de solo e de solução (Sposito, 1989). A medida mais conhecida e utilizada de capacidade de troca iônica é a CTC ou Capacidade de Troca Catiônica (CEC ou *Cation Exchange Capacity*) que mede a quantidade de catiões adsorvidos, na camada dupla difusa, que podem ser trocados por cada quilograma de solo carregado negativamente (em meq/kg).

A capacidade de troca catiônica total de um solo depende do tipo e quantidade de colóides que apresenta (tabela 5.18), mas sobretudo da quantidade de minerais de argila (< 2 μm) e de matéria orgânica (C ou carbono orgânico).

Existe uma estimativa simples e empírica da capacidade de troca catiônica dada a quantidade de argila e carbono orgânico, através da equação 5.14 (segundo Breeuwsma *et al.*, 1986; citado em Appelo & Postma, 2005):

$$CTC \text{ (meq/kg)} = 7 \times (\% \text{ argila}) + 35 \times (\% \text{ C}) \quad \text{equação 5.14}$$

que revela a importância da matéria orgânica na CTC total de um solo.

Tabela 5.18 – Capacidade de troca catiónica de alguns minerais comuns em solos e sedimentos (segundo Appelo & Postma, 2005).

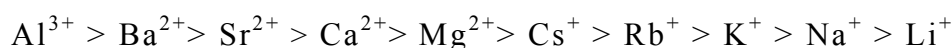
	CTC (meq/kg)
Caulinite	30-150
Haloisite	50-100
Illite	200-500
Clorite	100-400
Montmorilonite	800-1200
Vermiculite	1000-2000
Goetite e Hematite	< 1000 (pH > 8,3)
	1500-4000 (pH = 8)
Matéria Orgânica (função do pH)	CTC = 510 x pH - 590 (*) por kg de carbono orgânico

(*) - segundo Scheffer & Schachtschabel (2002), citado em Appelo & Postma (2005).

Embora tenham sido desenvolvidas inúmeras teorias para prever o comportamento das superfícies sólidas envolvidas em processos de troca iónica, a informação empírica que existe é muito útil para resolver a maioria dos problemas hidrogeoquímicos (Morel & Hering, 1993). Coeficientes de selectividade determinados para a troca de catiões monovalentes em argilas bentoníticas, revelaram que estes eram fortemente dependentes dos raios de hidratação dos iões (Gast, 1969; citado em Morel & Hering, 1993).

A afinidade da superfície sólida por iões de maior carga em relação a iões de menor carga é inversamente dependente da força iónica da solução e, em casos de actividades iónicas elevadas, os iões monovalentes podem substituir iões bivalentes (Stumm & Morgan, 1996). Fenómenos de permuta ou troca iónica são muitas vezes referidos em estudos efectuados na interface entre a água salgada e a água doce. Sayles e Mangelsdorf (1979; citados em Stumm & Morgan, 1996) estudaram as interacções de argilas fluviais que foram colocadas em contacto com a água do mar, observando que o cálcio adsorvido nas argilas trocou com o sódio da água do mar. Devido à elevada concentração electrolítica da água do mar as argilas já não apresentam selectividade por iões bivalentes, preferindo os iões monovalentes, ao contrário do que aconteceria se a solução fosse mais diluída.

Noções gerais sobre os coeficientes de selectividade permitem ordenar os iões desde a maior afinidade em relação à maioria das argilas (e muitas vezes óxidos) até à menor afinidade, para baixas concentrações electrolíticas (Morel & Hering, 1993; Stumm & Morgan, 1996; Fetter, 2001):



O resultado é que os iões da esquerda são preferidos pelos minerais em relação aos da direita em processos de troca. Assim os iões da esquerda substituem geralmente os iões da direita na camada dupla difusa.

Esta relação explica porque a razão rK/rNa é geralmente menor que 1, em águas naturais em contacto com argilas, embora o potássio seja apenas ligeiramente menos abundante do que o sódio nas rochas ígneas.

As reacções de adsorção têm um papel importante no controlo do transporte de substâncias dissolvidas na água e, em especial, de elementos metálicos. Enquanto que um elemento conservativo se desloca e comporta da mesma maneira que a água que o transporta, um elemento passível de ser adsorvido é retardado.

A troca catiónica afecta sobretudo os iões Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , H^+ , Sr^{2+} e Li^+ . Os iões K^+ e NH_4^+ tendem a ser fixados fortemente pelo solo, sendo mais dificilmente trocados (Custódio & Llamas, 2001). Por vezes utiliza-se a noção de troca de bases como sinónimo de troca catiónica, embora nesse caso se contabilizem os iões Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} .

As razões iónicas com maior interesse para estudar processos de troca iónica são relações entre catiões ou relações entre catiões e um elemento conservativo (por exemplo o ião Cl^-). As mais utilizadas são as razões rK/rNa ; rNa/rCa ; rNa/rMg ; rMg/rCa ; $rNa/r(Ca+Mg)$; rNa/rCl ; rCa/rCl e rMg/rCl (Custódio & Llamas, 2001). É ainda de grande interesse o chamado índice de troca de bases ou índice de desequilíbrio entre alcalinos e cloretos (ITB) que foi definida por Schoeller (1962, citado em Custódio & Llamas, 2001) como:

$$ITB = (rCl - r(Na+K))/rCl \quad \text{equação 5.15}$$

Na água subterrânea o ITB pode tomar valores positivos ou negativos, geralmente próximos de zero (Custódio & Llamas, 2001). Se houver troca de magnésio e cálcio adsorvidos por sódio em solução esta relação tende a crescer e a água resultante terá uma dureza mais elevada, se for o contrário, a relação diminui e dá-se um abrandamento da água (Custódio & Llamas, 2001).

Em águas cloretadas sódicas pode existir abrandamento da água sem que este se reflecta no valor de ITB, dada a quantidade relativa de sódio em solução. Neste caso convém utilizar um outro índice definido pela relação seguinte (Custódio & Llamas, 2001):

$$ITB_2 = [rCl - r(Na+K)]/r(SO_4+HCO_3+NO_3) \quad \text{equação 5.16}$$

Este índice de troca de bases pode, no entanto, ser afectado por processos de redução e de precipitação.

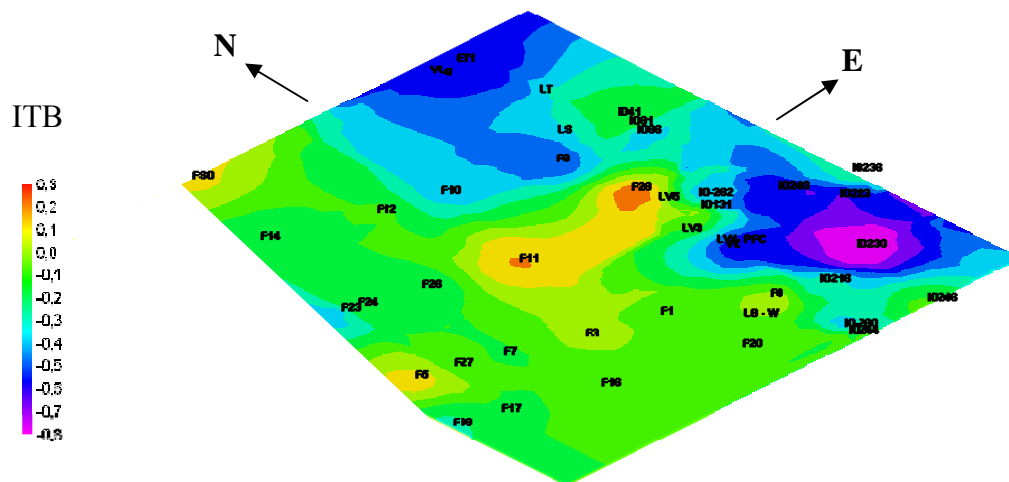


Figura 5.47 – Distribuição espacial do índice de troca de bases ITB ou relação $[rCl-r(Na+K)]/rCl$ (elementos em meq/L) (dados de furos e poços).
 Água subterrânea ~ 0 (verde). Água da chuva ~ -0,3 (azul-ciano).

As unidades hidrogeológicas que são mais activas em processos de troca catiónica são as que contam maior quantidade de matéria orgânica e de fracção argilosa e, dentro dessas, as que apresentam argilas com maior CTC. Assim, teremos em primeiro lugar os aquíferos AQT1-E, em especial, os níveis da litofácies OM, o aquífero AQT1-W e o aquífero AQT2-E.

No entanto, se a velocidade média linear da água¹ nas unidades hidrogeológicas for muito pequena, a água terá dificuldade em se movimentar através destas camadas e o seu efeito não se fará notar. Alguns níveis da litofácies OM (AQT1-E) têm velocidades médias de percolação de água inferiores a 2 m/ano; SM (AQT1-W) apresenta valores de cerca de 17 m/ano (podendo atingir cerca de 500 m/ano) e McS (AQT2-E) tem velocidades próximas de 30 m/ano (com valores máximos de 550 m/ano). Existem ainda algumas camadas das litofácies WS m e WS p (AQT1-E), cujas velocidades médias de percolação de água são próximas de 170 m/ano e que contêm argilas com CTC bastante elevada, como esmectite e vermiculite, muitas vezes associadas a ilite, clorite e caulinite, podendo ainda apresentar matéria orgânica (WS m) e/ou sesquióxidos (WS p). Estas camadas encontram-se no Sector Oriental separando os aquíferos superior e inferior.

Parecem assim estar ligados aos aquíferos AQT1-E e AQT2-E, e às litofácies referidas, os processos de troca catiónica mais eficazes, sendo mais evidentes no Sector Oriental e sobretudo nas zonas setentrional e meridional, onde se encontram os aquíferos mais espessos e com maior condutividade hidráulica. A figura 5.48 mostra nesses locais uma

¹ A velocidade média linear foi determinada a partir da lei de Darcy para porosidades eficazes médias obtidas a partir da classificação textural (Johnson, 1967; citado em Fetter, 2001).

prevalência dos íons monovalentes em solução, em especial o sódio, enquanto que os íons bivalentes se encontram provavelmente adsorvidos.

A NNE e a SE existe uma concentração de Na^+ e K^+ na água subterrânea superior à da água da chuva, o que pode indicar a entrada em solução de Na^+ e K^+ por adsorção preferencial de íons bivalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}), o que faz com que esta relação tome valores mais negativos. Existe, portanto, um abrandamento da água nestes locais devido a uma diminuição dos íons bivalentes em solução. Por outro lado, nestes locais o Na^+ e o K^+ podem ter outras origens que se podem adicionar a essa. A contaminação antrópica, agrícola e urbana, pode colocar em solução quantidades de Cl^- , Na^+ e K^+ que alterem a razão natural existente na água da chuva.

Na zona costeira, mais próxima do mar, existe abrandamento ou endurecimento local da água, possivelmente devido a variações de permeabilidade na camada confinante, do complexo de troca adsorvido, da superfície e do tipo de colóides existentes e da sua capacidade de troca catiónica. Nas zonas em que a permeabilidade do aquitardo AQT1-W é mais elevada a percolação de água promove o contacto com a fase sólida e, portanto, a adsorção de Ca^{2+} e Mg^{2+} e a troca pelo Na^+ adsorvido em argilas, que se formaram provavelmente em ambientes de salinidade elevada em equilíbrio com águas cloretadas sódicas. Existirá ainda nesse caso uma influência que será dependente da água de percolação, na maioria dos casos de fácies bicarbonatada-cálcica. Por outro lado, também localmente pode ocorrer enriquecimento em cloretos por influência da água da chuva e dos aerossóis marinhos, já que não parece haver razões para que haja intrusão marinha. A quantidade de cloretos não é elevada e a salinidade é compatível com a existência de água doce.

A concentração de potássio em solução é mais elevada numa área oriental restrita, que coincide com os terrenos onde se efectua a cultura intensiva de milho verde (milho para forragens), onde é empregue KCl em fertilizantes (figura 5.44). É nesta área que a razão $r\text{K}/r\text{Na}$ é mais elevada, possivelmente como reflexo desse uso.

A relação entre catiões monovalentes e bivalentes aproxima-se do valor existente na água da chuva a NNE e a SE, diminuindo no sentido do fluxo dentro do Sector Oriental. Nos sectores Central e Ocidental esta razão apresenta valor muito reduzido, possivelmente devido à entrada em solução de íons Ca^{2+} por dissolução de carbonatos.

A relação $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ pode indicar a dissolução de dolomias para valores próximos de 1, ou de silicatos ricos em magnésio para valores ainda maiores. No entanto, estes não são os únicos motivos, já que, em caso de precipitação de carbonatos a relação $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ aumenta; o mesmo acontecendo quando existe um abrandamento da água, uma vez que o solo tem uma adsorção preferencial de cálcio em relação ao magnésio, ficando a água em equilíbrio com o solo enriquecida neste ião; quando existe reacções de redução de sulfatos, pode também aumentar o mesmo acontece quando existe uma origem antrópica para o magnésio.

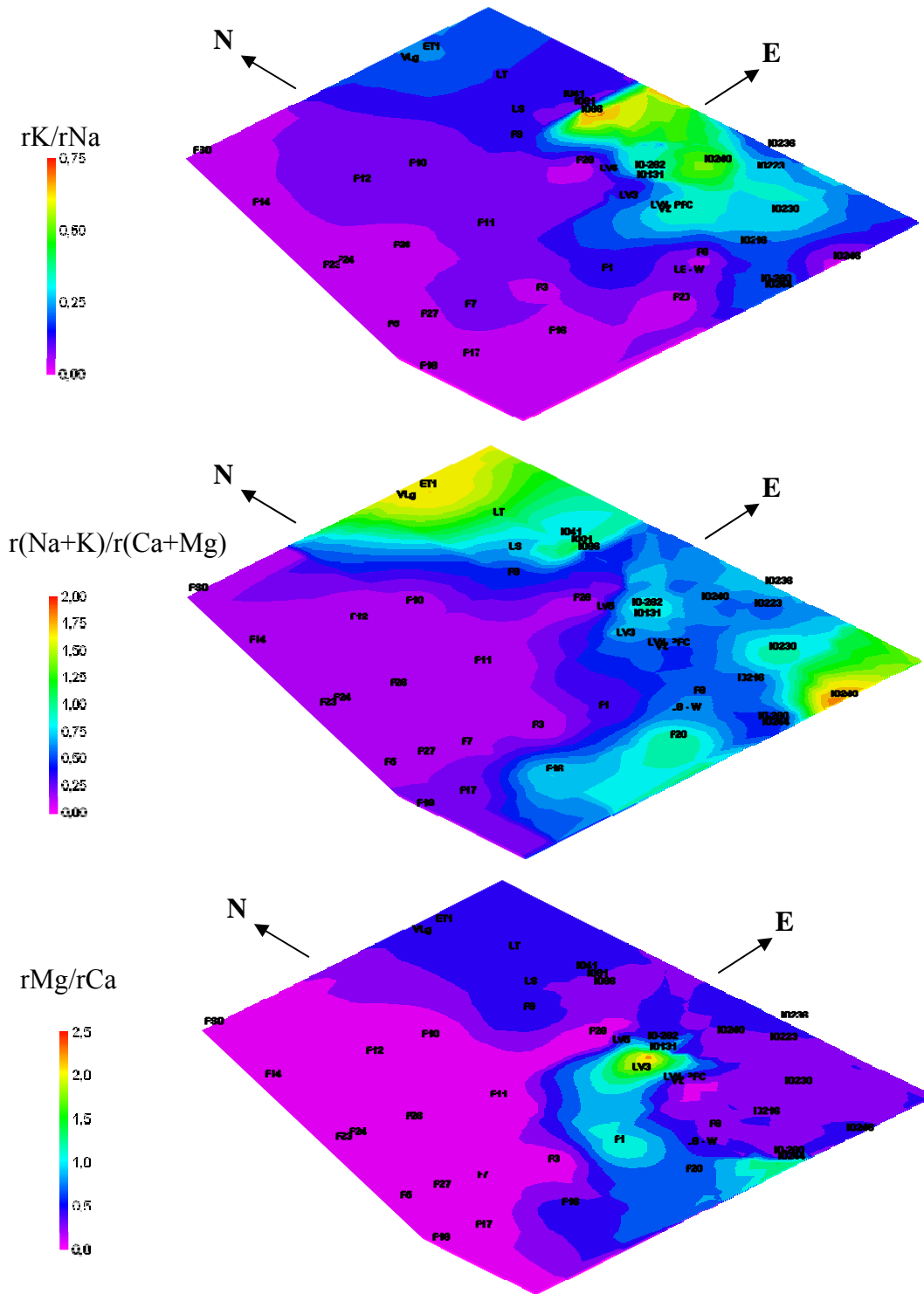


Figura 5.48 – Distribuição espacial das razões rK/rNa , $r(Na+K)/r(Ca+Mg)$ e rMg/rCa (elementos em meq/L) (dados de furos e poços).

rK/rNa : água da chuva ~ 0,04 (lilás a roxo); água do mar ~ 0,02.

$r(Na+K)/r(Ca+Mg)$: água da chuva ~ 1,8 (laranja), água do mar ~ 0,012.

rMg/rCa : dolomite = 1 (azul-ciano); água subterrânea ~ 0,3 a 1,5 (roxo a azul), água da chuva ~ 0,6 (azul); mar ~ 5.

Uma grande parte da região em estudo apresenta valores de rMg/rCa inferiores aos da água da chuva (0,6) em áreas onde a concentração de cálcio é elevada, por dissolução de carbonatos. Nas áreas mais orientais, a norte e a sul, a razão rMg/rCa é muito próxima da que existe na água da chuva e só localmente, nas zonas a leste das lagoas onde se pratica agricultura intensiva, se verifica um aumento desta relação. Uma vez que este elemento é um constituinte de fertilizantes pode haver uma origem antrópica para o aumento de concentração.

5.4.3.4 Reacções de oxidação-redução

A sequência das principais reacções redox pode ser vista a partir do diagrama redox da figura 5.49 (adaptado de Stumm & Morgan, 1996 e com as correcções introduzidas por Appelo & Postma, 2005). Muitas destas reacções podem ser mediadas por microrganismos e variam com o pH (Drever, 1988; citado em Stumm & Morgan, 1996).

Num sistema aquoso fechado ao oxigénio que contenha matéria orgânica, a oxidação desta é conseguida inicialmente através da redução do oxigénio dissolvido, passando depois pela redução de nitratos e de nitritos. À medida que o pe vai decrescendo, dá-se a redução de óxidos de manganésio, caso haja, seguindo-se-lhe a redução de óxidos de ferro. Para valores de pe suficientemente baixos a redução de sulfatos e a metanogénese podem acontecer quase simultaneamente (figura 5.49) (Stumm & Morgan, 1996; Appelo & Postma, 2005).

Esta sequência de reacções pode ser observada ao longo de um perfil vertical de um lago enriquecido em matéria orgânica e nutrientes, ou numa sucessão temporal em aquíferos com níveis ricos em matéria orgânica, provocando muitas vezes zonamentos nas águas subterrâneas. Ao longo do fluxo verifica-se sequencialmente a depleção de oxigénio, a redução de nitratos, a redução de óxidos de manganésio e de ferro e por fim a redução de sulfatos e a produção de metano (Appelo & Postma, 2005).

No diagrama inferior da figura 5.49 pode ainda ver-se a sequência de reacções de oxidação, desde a oxidação da matéria orgânica, para valores mais baixos de pe , até à formação de O_2 , para condições com pe progressivamente maior.

As reacções de redução podem acontecer simultaneamente com reacções de oxidação que são estáveis para valores mais baixos de pe (Appelo & Postma, 2005; Stumm & Morgan, 1996).

Os ambientes redox são frequentemente distinguidos pela quantidade de oxigénio dissolvido. Concentrações de O_2 superiores a 10^{-6} mol/L são próprias de ambientes aeróbicos. Concentrações inferiores a esse valor são características de ambientes redutores, nítricos, ferrosos, sulfídricos, ou metânicos.

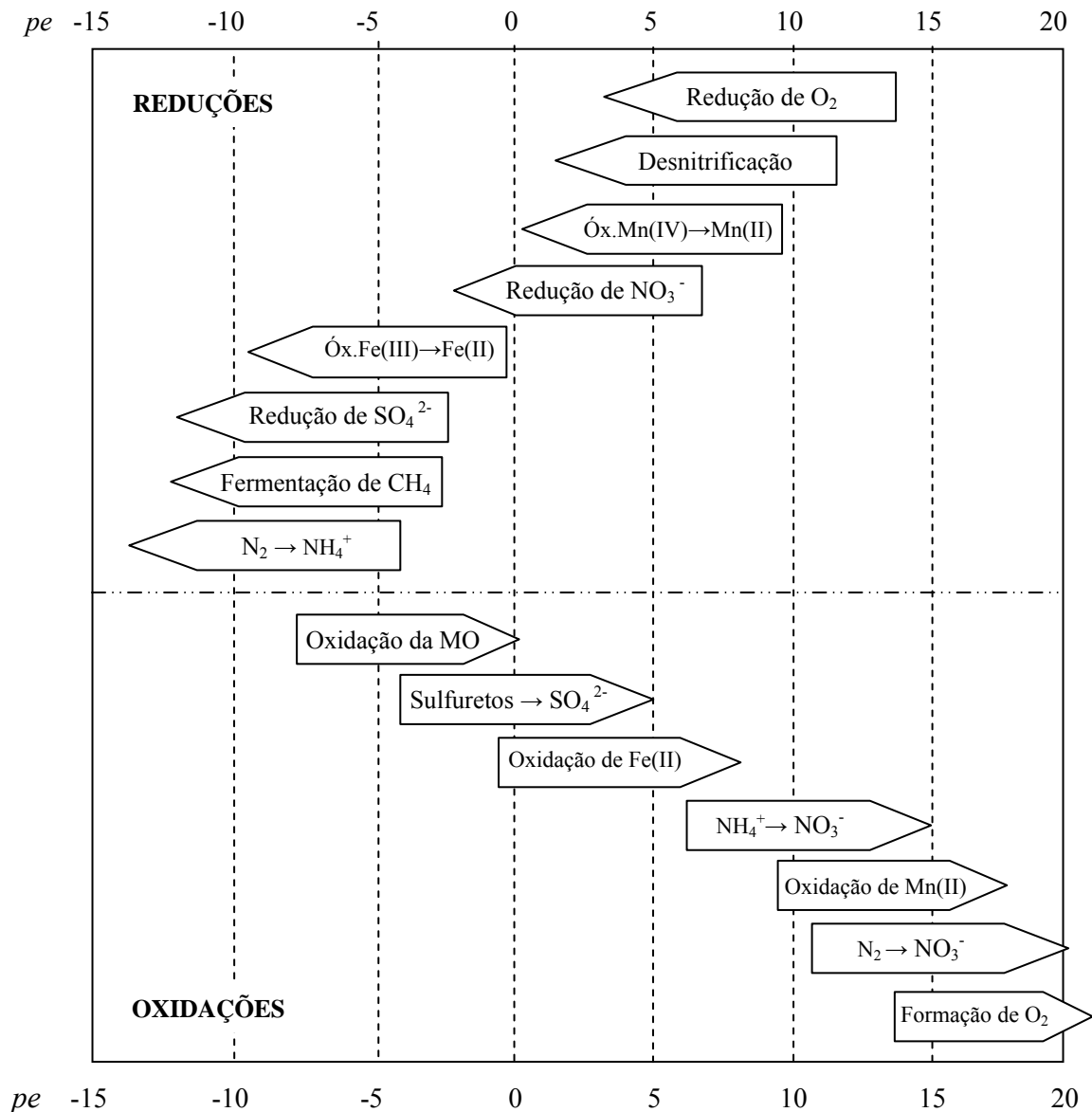


Figura 5.49 – Sequência de processos redox função de *pe* para pH igual a 7 (adaptado de Stumm & Morgan, 1996 e com as correcções introduzidas por Appelo & Postma, 2005).

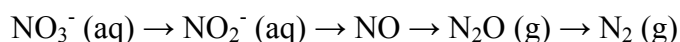
Nota: A descida de pH aumenta o valor de *pe* relativo às reacções aqui esquematizadas.

A água na atmosfera e durante o seu trajecto de infiltração, após precipitar, vai ficando saturada em oxigénio atmosférico. Ao entrar em contacto com substâncias redutoras o oxigénio pode ser consumido, mas muitas vezes os níveis de saturação de oxigénio da água subterrânea podem permanecer quase inalterados, percorrendo elevadas distâncias em aquíferos. Se o aquífero mantiver contacto com a atmosfera o oxigénio vai sendo renovado e o ambiente subterrâneo mantém-se oxidante.

O conteúdo em nitratos da água subterrânea tem origem geralmente em vários tipos de contaminação antrópica ou na oxidação de azoto orgânico em solos.

Os nitratos não precipitam e não são adsorvidos de uma forma significativa pelos colóides do solo. A forma mais eficaz de remoção destes iões da solução é a sua redução. O processo mais importante de redução de nitratos na maioria dos ambientes é a desnitrificação, termo usado para a redução microbiana de nitratos através do carbono orgânico.

A sequência de reacções que leva à formação progressiva de espécies reduzidas é a seguinte (Appelo & Postma, 2005):



Espécies intermédias como os nitritos e o óxido nítrico são geralmente encontradas nos sistemas naturais e evidenciam a desnitrificação. A redução de nitratos faz-se muitas vezes à custa de degradação (oxidação) de matéria orgânica. Nesse caso, existe um aumento das concentrações de bicarbonatos e de pH.

O ferro na água subterrânea pode ter origem na oxidação de pirite, na dissolução ou alteração de minerais que contenham ferro e, especificamente, na redução e dissolução de óxidos de Fe(III).

Os diagramas redox sugerem que o Fe(II) é a forma dominante do ferro dissolvido no intervalo de pH usual para águas subterrâneas, enquanto, que o Fe (III) para esse intervalo é insolúvel. O comportamento do ferro é semelhante ao comportamento do manganésio em águas subterrâneas, no entanto, os óxidos de manganésio reduzem-se para valores de *pe* mais elevados do que os óxidos de ferro e o manganésio é menos abundante nas águas subterrâneas.

Existem fontes naturais de sulfatos, como o gesso ou outros sulfatos, a oxidação de pirite, a mistura da água doce com água do mar; ou fontes antrópicas, como a chuva ácida, o aerossol marinho, os fertilizantes e os lixos urbanos.

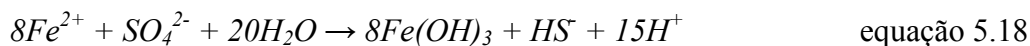
A redução de sulfatos pela matéria orgânica, processo hidrogeoquímico muito comum em ambientes redutores, é efectuada por vários tipos de bactérias de acordo com a reacção:



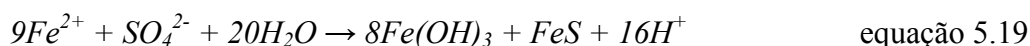
Esta reacção é dependente da quantidade de matéria orgânica disponível e da concentração de sulfatos. A identificação desta reacção de redução é muitas vezes feita através da presença de H₂S, que dá um cheiro característico à água (ovos podres) e é altamente tóxico não sendo desejável na água bebível. Este pode reagir com óxidos de ferro, presentes nos sedimentos, para formar sulfuretos de ferro e, se houver excesso de óxidos, pode até consumir-se todo o H₂S (Appelo & Postma, 2005).

A disponibilidade de ferro pode ser reduzida em áreas dominadas pela redução de sulfatos, dada a precipitação de sulfuretos de ferro (Appelo & Postma, 2005).

Embora os diagramas de estabilidade pH-*pe* indiquem que a redução de óxidos de ferro se dá para valores de *pe* mais elevados que a redução de sulfatos, as duas reacções podem acontecer simultaneamente, sempre que haja disponibilidade de óxidos de ferro com baixa solubilidade. A reacção de equilíbrio pode ser a seguinte:



Eliminando HS⁻, a reacção pode escrever-se:



A redução de sulfatos é favorecida se concentrações de Fe²⁺ e pH forem mais elevados do que os respectivos valores em equilíbrio, havendo um desenvolvimento da equação no sentido dos produtos. Pelo contrário, na presença de Fe(OH)₃ amorfos a sua redução é favorecida na maioria dos ambientes aquáticos ([Fe] < 10⁻³ M e pH < 8,5). No entanto, a redução de sulfatos é igualmente favorecida se existirem minerais como a hematite ou a goetite (Appelo & Postma, 2005).

A última fase da sequência redutora é a formação de metano, que é um constituinte comum dos ambientes anaeróbicos, de plumas de contaminação de águas subterrâneas por lixos orgânicos e de ambientes explosivos. A redução de sulfatos costuma ser um processo precursor da formação de metano em sedimentos marinhos. Após essa zona a reacção dominante para a metanogénese passa a ser a redução de CO₂.

Para o estudo dos processos de oxidação e de redução activos na área em estudo, projectaram-se as distribuições espaciais de pH (figura 5.36), *pe*, O₂, SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, Fe²⁺, Mn²⁺ e CO₂ (figura 5.39). Pode relacionar-se esta informação com a gerada pela distribuição espacial da componente 4 (figura 5.33). Esta componente pode possivelmente ser explicada pelo desenvolvimento de processos de oxidação ou de redução.

Alguns índices hidrogeológicos podem ter interesse na explicação de reacções redox. A relação rSO₄/rCl pode denotar a redução de sulfatos quando conjugada com a informação da razão rHCO₃/rCl, que revela a intrusão salina ou a mistura com água do mar e caracteriza a concentração de sais ao longo do fluxo, sendo apenas alterada por precipitação de carbonatos, redução de sulfatos ou entrada de CO₂ (Custódio & Llamas, 2001). A relação rMg/rCa também deve ser analisada, porque aumenta na presença de processos de redução de sulfatos, especialmente quando a concentração destes na água subterrânea é reduzida (figura 5.48) (Custódio & Llamas, 2001).

Interessante é verificar a distribuição espacial dos índices de saturação em anidrite (CaSO₄), gesso (CaSO₄ · 2H₂O), barite (BaSO₄), Fe(OH)₃, hematite (Fe₂O₃), goetite (FeOOH), manganite (MnOOH) e pirolusite (MnO₂), ou ainda, pontualmente, pirite (FeS₂) e alguns sulfatos, como jarosites e alunites.

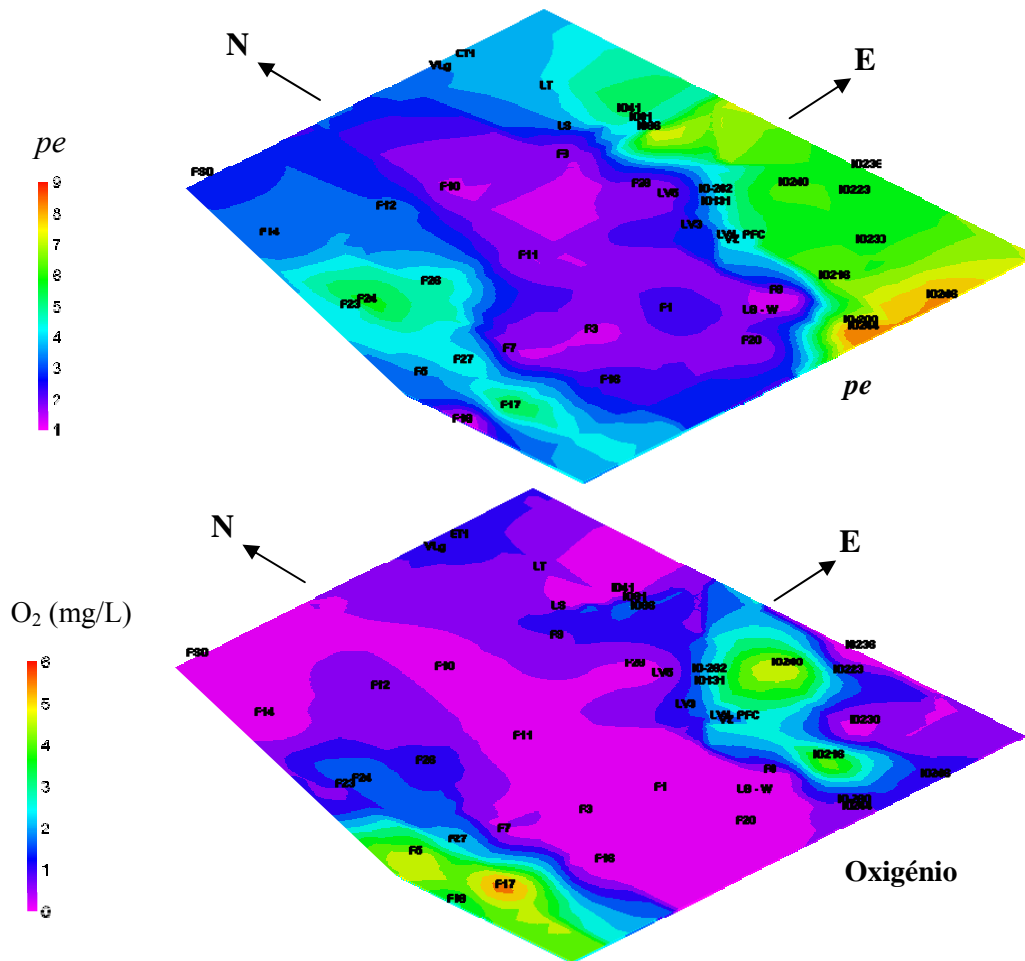


Figura 5.50 – Distribuição espacial de pe e O_2 (dados de furos e poços).

As condições de oxidação-redução variam ao longo da área em estudo verificando-se condições mais oxidantes, com valores de pe mais elevados, nas zonas orientais e no Sector Central, em que não existe camada confinante e por isso o aquífero está em contacto com a fase gasosa do solo na zona não saturada. Isso mesmo se pode verificar pela distribuição de oxigénio dissolvido, que é mais elevado no Sector Oriental, sobretudo a leste da lagoa da Vela, e no Sector Central para jusante dos furos F17, F27 e F26.

Ao longo do fluxo, geralmente efectuado de leste para oeste, parece haver condições para uma sequência de reacções de redução com valores de pe e de O_2 progressivamente menores até ao Sector Central, onde o aquífero inferior deixa de ter confinamento passando à condição de aquífero livre.

Assiste-se a uma quase depleção de oxigénio dissolvido, que é progressiva no Sector Oriental. No entanto, quando a camada confinante desaparece e o contacto com a atmosfera é restabelecido, através da zona não saturada, o oxigénio dissolvido aumenta.

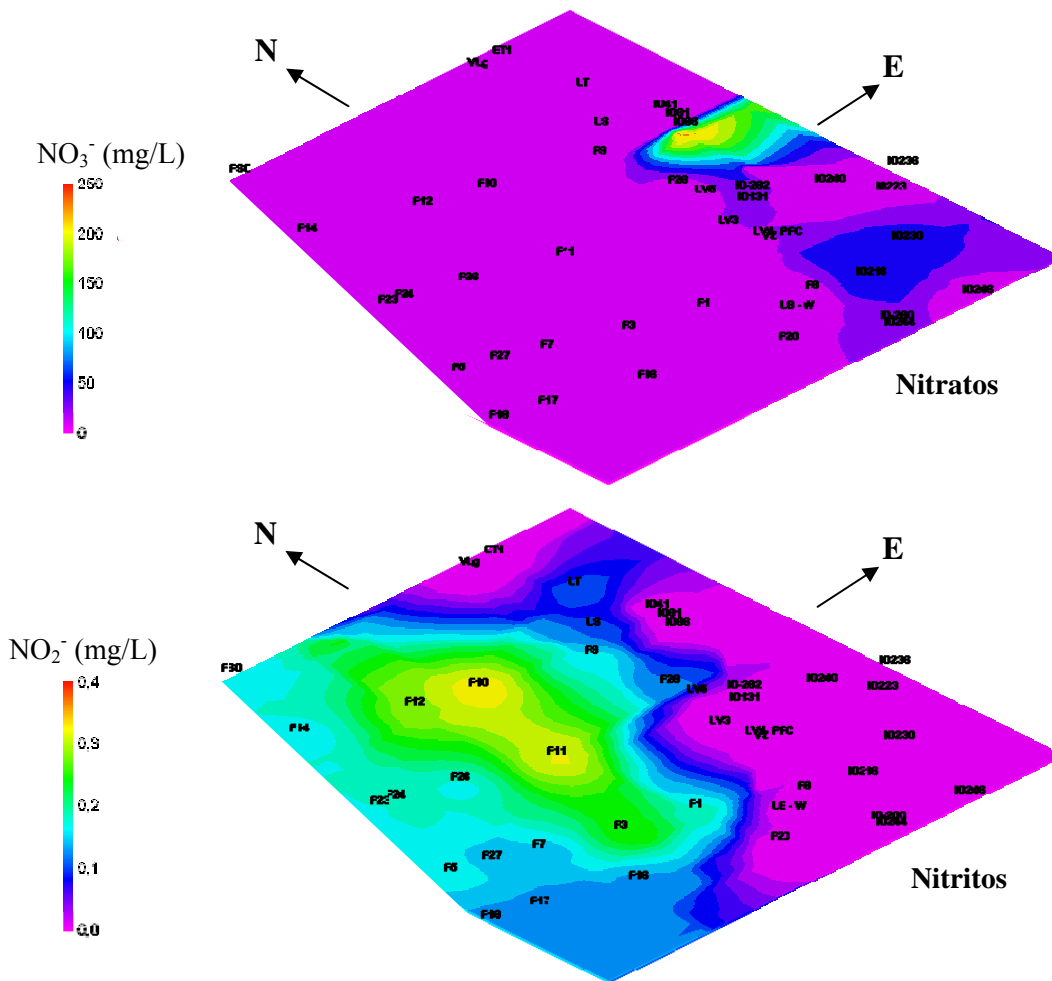


Figura 5.51 – Distribuição espacial de NO_3^- e NO_2^- (dados de furos e poços).

As condições de oxidação-redução são muito marcadas pelas direcções principais do fluxo subterrâneo e pelas características de confinamento dos aquíferos que vão favorecer ou inibir o contacto com o oxigénio atmosférico através da zona não saturada. Estas observações são de novo comprovadas quando se analisa a quantidade de nitratos e nitritos em solução (figura 5.51).

Após a depleção de oxigénio, na sequência normal de reacções de redução, segue-se a desnitrificação, com a redução de nitratos a nitritos e, posteriormente, a azoto gasoso. A concentração de nitratos é mais elevada a oriente, onde se encontram os pontos de contaminação agrícola e pecuária, que provavelmente estarão na sua origem, diminuindo abruptamente ao longo das direcções de fluxo, para oriente e para norte.

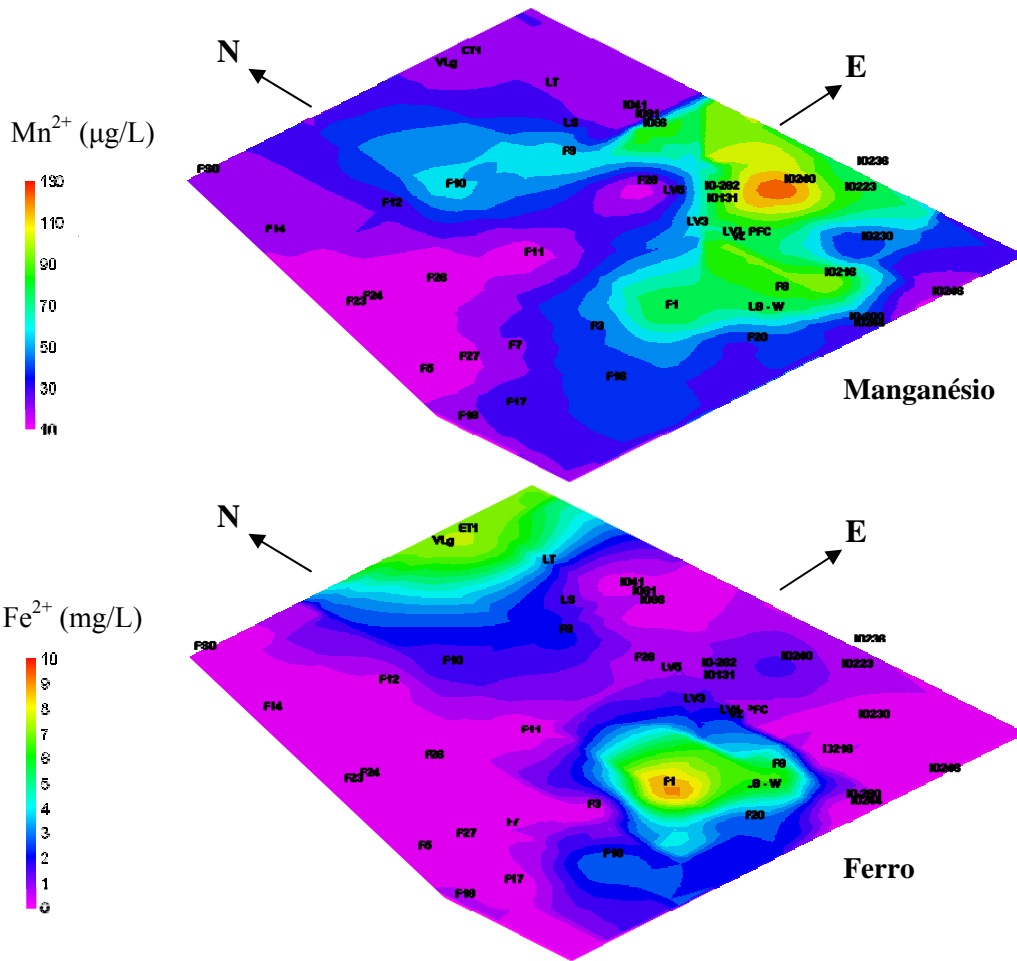


Figura 5.52 – Distribuição espacial de Mn^{2+} e Fe^{2+} (dados de furos e poços).

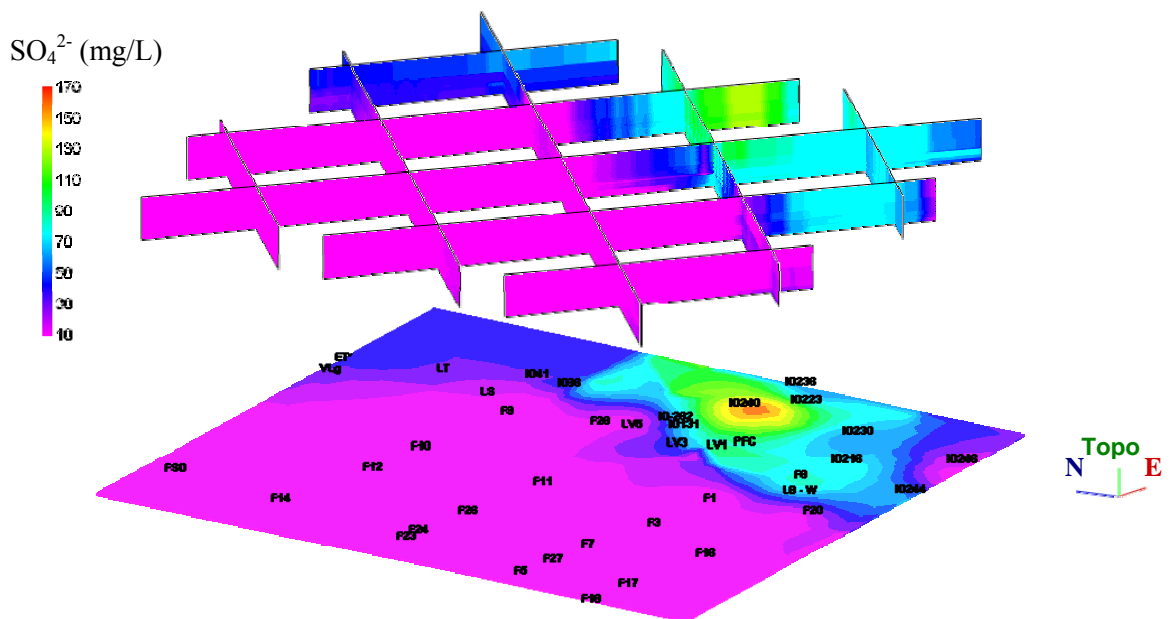


Figura 5.53 – Distribuição espacial de SO_4^{2-} (dados de furos e poços).

A hipótese de desnitrificação é reforçada pela existência de nitritos e o seu aumento ao longo do fluxo, sugerindo um processo não reversível e relativamente eficaz de remoção de nitratos. A concentração de nitritos, embora muito reduzida, permite reconhecer o processo de desnitrificação, que provavelmente já terá evoluído para outras formas azotadas.

Após a desnitrificação a sequência de reacções redox evolui no sentido da solubilização de óxidos de manganésio e de ferro. A figura 5.52 apresenta a distribuição espacial dos produtos destas reacções.

A concentração de Mn^{2+} em solução é muito elevada próximo das zonas orientais diminuindo ao longo do fluxo, enquanto que as concentrações de Fe^{2+} em solução são máximas para jusante destes locais, nos sectores Oriental e Central e para norte. Parece ter havido, numa primeira fase, uma solubilização do manganésio que posteriormente teria sido desmobilizado por outros mecanismos, como a adsorção ou co-precipitação. A solubilização do Fe^{2+} dar-se-ia numa segunda fase, sendo também retirado da solução por fenómenos idênticos.

A concentração de Fe(II) e de Mn(II) é controlada pela existência de óxidos de Fe(III) e de Mn(III, IV) (Drever, 1988; citado em Stumm & Morgan, 1996). Da análise dos diagramas de estabilidade para ferro e manganésio (Krauskopf, 1979; citado em Appelo & Postma, 2005; Stumm & Morgan, 1996) a presença de pirolusite (MnO_2) em sedimentos indica condições fortemente oxidantes, enquanto que, a hematite (Fe_2O_3) permanece estável para intervalos de *pe* bastante mais largos. A forma dissolvida de Mn^{2+} é relativamente estável em contacto com hematite mas, por outro lado, o Fe^{2+} é instável para condições de pH-*pe* típicas do campo de estabilidade da pirolusite (Krauskopf, 1979; citado em Appelo & Postma, 2005).

Uma das reacções que pode acontecer, em ambientes com valores de *pe* inferiores, é a redução de sulfatos. A concentração deste anião é máxima no sector Oriental, muito próximo das zonas cultivadas a oriente das lagoas da Vela e das Braças, mas é praticamente inexistente a ocidente. Embora os valores de *pe* sejam ligeiramente elevados em relação ao estabelecido para esta reacção², verifica-se que nalguns furos dos aquíferos AQF3-E, AQF2-W e AQF1/AQF2 existe um odor que pode indicar a presença de H_2S , um dos produtos possíveis para a reacção de redução de sulfatos, podendo também acontecer a precipitação de pirite dada a disponibilidade de Fe^{2+} em solução.

A distribuição espacial dos índices $rHCO_3/rCl$ e rSO_4/rCl apenas denota o aumento do cloreto no sentido do fluxo e dos sulfatos nas zonas com agricultura intensiva. Não há sinais de intrusão salina, manifestada pela diminuição de ambas as relações (anexo 5.16) nem pelo aumento do teor em cloretos.

² Para os valores de pH medidos na zona dos furos referidos (5-6) a redução de sulfato e a formação de H_2S dá-se para valores de *pe* ligeiramente inferiores a zero (aproximadamente entre 0 e -3) (Brookins, 1988; citado em Stumm & Morgan, 1996).

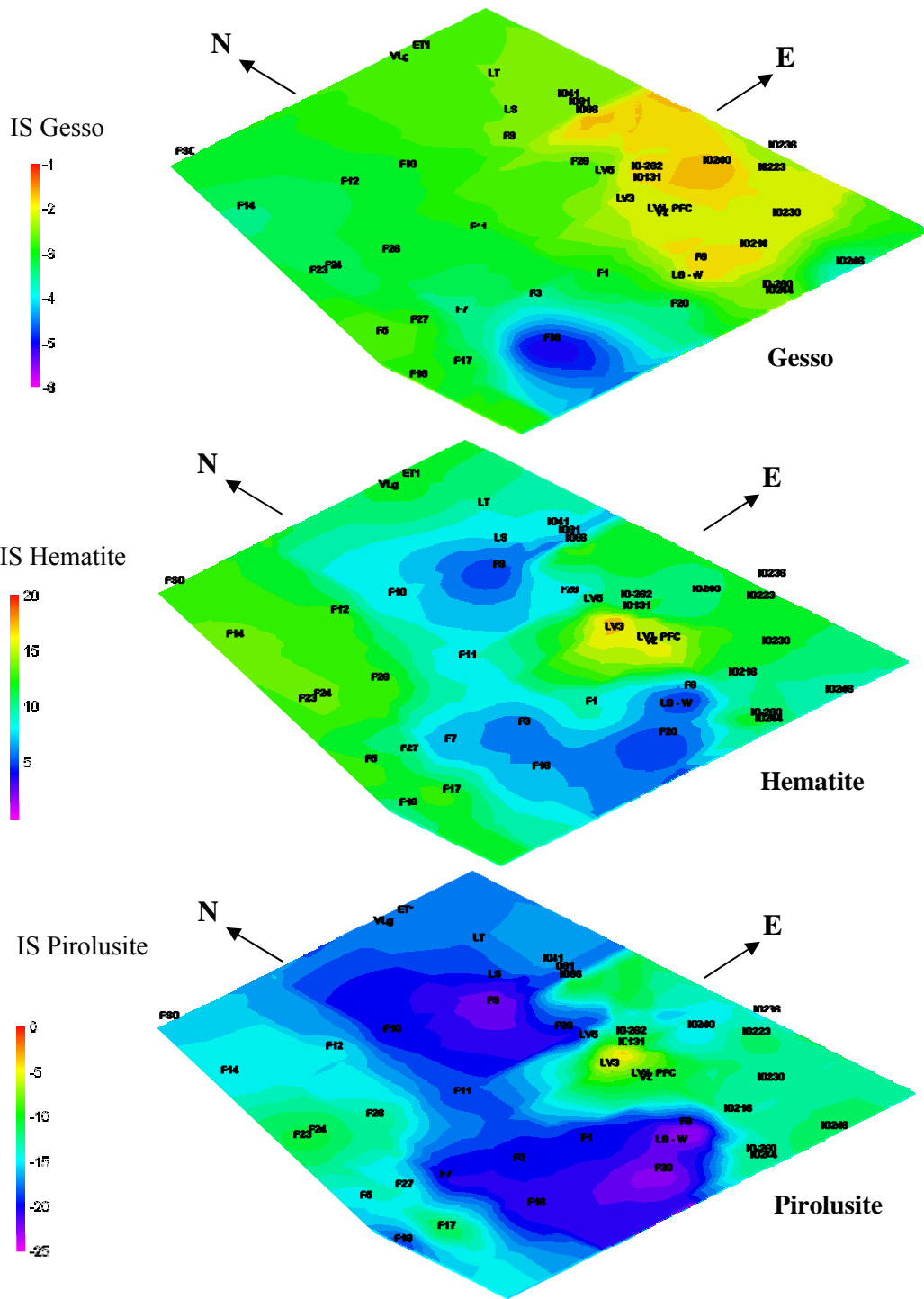


Figura 5.54 – Distribuição espacial dos índices de saturação em gesso, hematite e pirolusite (dados de furos e poços).

A distribuição espacial dos índices de saturação em gesso e anidrite, óxidos e hidróxidos de ferro e óxidos e hidróxidos de manganésio, é idêntica para cada par. A figura 5.54 apresenta assim uma imagem de cada par (gesso, hematite e pirolusite).

A água subterrânea parece estar ligeiramente subsaturada em gesso (e anidrite) na região oriental das lagoas, região onde a prática de agricultura intensiva providenciará um afluxo de sulfatos. Nas restantes áreas a subsaturação é mais evidente, particularmente em redor dos furos F16, F14 e ID 246. Esta situação reflecte em parte o facto da redução de sulfatos ter levado a uma remoção deste ião da solução, com especial destaque a sul e a ocidente. O gesso foi detectado em difractogramas de raios X efectuadas nas amostras do furo F18, da litofácies SM (AQF2-W) e nas amostras do furo F20 (AQF3-E), na base da litofácies WS g e no seu contacto com a litofácies McS. Estes furos situam-se na zona sul da área em estudo, onde os processos de oxidação e de redução e, especialmente a redução de sulfatos, parecem ter ocorrido com maior intensidade.

A distribuição espacial de minerais de Fe e Mn revela uma sobressaturação em hematite e uma subsaturação em pirolusite. Este facto revela que pode haver precipitação de óxidos e hidróxidos de ferro, mas não é possível a formação de óxidos e hidróxidos de manganésio. A razão prende-se com as condições de pH e *pe* da área estudada que apresenta valores de pH entre 5 e 7 e de *pe* positivos e inferiores a 9. Para estas condições a hematite é estável, mas a pirolusite só o seria para *pe* ligeiramente mais elevados (> 10). Nestas condições, o controlo de solubilidade do Mn será provavelmente feita à custa de carbonatos (rodocrosite) para pH acima de 6. Para condições mais ácidas o Mn permanecerá em solução. A remoção de ferro da solução será controlada essencialmente pela precipitação de hematite (ou os hidróxidos de ferro amorfos), e pontualmente, para *pe* muito próximos de zero e pH acima de 6 ou 7 (dependendo da concentração em bicarbonato), pela siderite (FeCO₃) (Krauskopf, 1979; citado em Appelo & Postma, 2005).

Outro dos minerais do grupo dos sulfatos é a barite, cujo índice de saturação nas águas subterrâneas da área em estudo pode ser vista na figura 5.55. Parece haver uma sobressaturação em barite no Sector Oriental e, em especial, nos sectores geofísicos Ie e II e subsaturação nas restantes áreas.

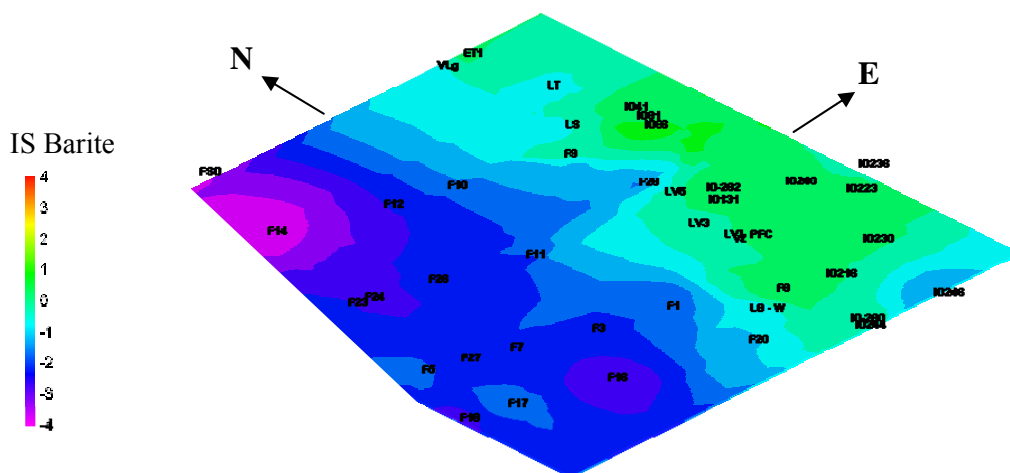


Figura 5.55 – Distribuição espacial do índice de saturação de barite (dados de furos e poços).

5.4.3.5 Comportamento de íões metálicos em solução

Existem várias origens para os íões metálicos em solução na água subterrânea ou superficial. Uma das maiores é a alteração química de minerais preexistentes, como os sulfuretos, os silicatos, especialmente os ferromagnesianos, as argilas e os óxidos e hidróxidos metálicos. Neste contexto, podem surgir algumas situações em que a concentração de metais pesados é muito elevada, na periferia de antigas explorações mineiras, instalações de tratamento de minério e escombreliras. Ao efeito da alteração química destes depósitos de minerais acrescenta-se ainda a acção dos efluentes mineiros, gerados pela percolação de águas muitas vezes acidificadas, que conseguem solubilizar quantidade consideráveis de íões metálicos.

O transporte através da atmosfera pode ser também muito importante, sobretudo para um grupo de metais como Hg, As, Se, Sn e Pb que são muito móveis, já que os seus óxidos têm baixos pontos de ebulição ou são voláteis. Os íões libertados na atmosfera sob a forma de partículas ou vapor, através da queima de combustíveis fósseis, do transporte de poeiras pelo vento, de aerossóis marinhos, ou libertados por erupções vulcânicas, fogos florestais e fontes biogénicas, podem assim percorrer distâncias significativas e mesmo tornar-se a fonte primordial destes íões em zonas remotas (Nriagu, 1989; citado em Stumm & Morgan, 1996).

Outros íões metálicos como Al, Ti, Mn, Co, Cr, V, e Ni são transportados preferencialmente pela água, tanto nos oceanos como em ambientes continentais.

A concentração de metais em águas continentais é induzida naturalmente pela precipitação atmosférica e por processos de alteração de minerais em solos e rochas. A influência antrópica leva, no entanto, a um aumento das concentrações de metais em solução através da exploração mineira, da produção de efluentes e resíduos domésticos e industriais, da escorrência superficial em zonas urbanas e do transporte atmosférico de gases e fumos.

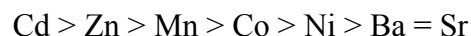
Uma vez introduzidas em meio aquático a mobilidade de metais é controlada essencialmente por processos genericamente denominados de sorção, que incluem a adsorção e a co-precipitação, em argilas, óxidos, hidróxidos e compostos orgânicos. Dentro dos processos de adsorção, a adsorção específica é o mais efectivo no controlo dos metais pesados. Neste caso, existe a adsorção em locais determinados não sendo necessária a libertação de íões de sinal contrário em proporção equivalente (Appelo & Postma, 2005).

Alguns íões metálicos podem ainda ser adsorvidos na camada dupla difusa e, portanto, ser trocados por outros íões em solução. Em minerais argilosos, como a montmorilonite, os metais alcalinos e elementos como Ni, Zn, Cd e Sr estão geralmente adsorvidos deste modo (Appelo & Postma, 2005).

Com o aumento do pH a adsorção de elementos metálicos vestigiais em óxidos cresce na seguinte ordem (Dzombak & Morel, 1990; McKenzie, 1980; citados em Appelo & Postma, 2005):



Também é possível haver adsorção específica e co-precipitação em calcite, igualmente dependente do pH e da concentração da solução, sendo esta crescente com o pH para a seguinte sequência de metais, muito semelhante à obtida para os óxidos (Zachara *et al.*, 1991; citado em Appelo & Postma, 2005):



Outro dos processos de controlo da mobilidade de iões metálicos é a absorção ou assimilação por organismos vivos, atingindo deste modo toda a cadeia alimentar. Este é um dos problemas mais frequentemente referidos quando se aborda a existência de metais pesados dissolvidos em águas subterrâneas e superficiais, em especial, no caso de metais com elevada perigosidade e toxicidade.

Sposito (1986) classificou mesmo alguns metais como os mais potencialmente perigosos a uma escala regional ou global, como Cu, Zn, Ag, Sb, Sn, Hg e Pb.

Ácidos húmicos dissolvidos podem formar complexos com metais e aumentar a sua mobilidade na água subterrânea (Christensen & Christensen; citado em Appelo & Postma, 2005), mas este processo apenas é eficaz para águas subterrâneas muito ricas em carbono orgânico dissolvido, o que é muito raro, podendo por isso ser ignorado na maioria das situações (Appelo & Postma, 2005).

Em águas superficiais, como lagos ou zonas húmidas de água doce, os elementos em solução interagem com solutos e com partículas orgânicas e inorgânicas. A afinidade dos diversos elementos dissolvidos pelas partículas presentes na coluna de água, que vão sedimentando, determina o seu tempo de residência, as concentrações finais na solução e o seu destino final (tabela 5.19). Assim, o registo dos sedimentos de fundo de um lago reflecte a acumulação destes elementos no passado e ao longo do tempo (Stumm & Morgan, 1996).

São geralmente esperadas concentrações baixas em iões metálicos dissolvidos se estes se ligarem às partículas suspensas no lago e se a taxa de sedimentação for elevada. Os factores químicos que determinam estas ligações, como o pH, o tipo de ligantes e a sua superfície, e a assimilação por parte dos organismos, os factores de coagulação e a taxa de sedimentação afectam a repartição deste elemento entre a fase sólida e a fase líquida e o seu tempo de residência.

Tabela 5.19 – Papel das partículas suspensas na regulação de elementos vestigiais em lagos (segundo Stumm & Morgan, 2005)

Componentes de partículas	Características
Fitoplâncton e partículas biológicas	<p>As superfícies de organismos têm elevada afinidade por metais pesados como Cu(II), Pb(II), Zn(II), Cd(II) e Ni(II) (complexação)</p> <p>Os organismos podem absorver (ou assimilar) nutrientes (P, N, Si, S, etc.), nutrientes metálicos como Cu(II), Zn(II) Co(II) ou metais que confundem com nutrientes como Cd(II) ou As(V).</p> <p>O fitoplâncton é mineralizado na água e nos sedimentos.</p>
CaCO ₃ geralmente precipitado em lagos	<p>Pode adsorver e incorporar metais pesados e fosfatos</p> <p>Os cristais são geralmente grandes (> 5 µm) e têm uma reduzida superfícies específica, por isso o seu papel é pequeno.</p>
Óxidos e/ou Hidróxidos de Fe(III) herdados ou neoformados em lagos	<p>Afinidade elevada por metais pesados, fosfatos, silicatos e oxianíons de As e Se.</p> <p>Os óxidos de Fe(III) mesmo em pequenas quantidades podem exercer um papel importante na remoção de elementos</p> <p>Na fronteira entre condições aeróbicas e anaeróbicas em lagos os óxidos de Fe(III) podem representar uma grande parte das partículas sedimentadas.</p> <p>O ciclo do Fe, com a dissolução de espécies reduzidas e a precipitação de espécies oxidadas, está ligado ao ciclo dos metais.</p>
Óxidos de Mn(III, IV) a maioria neoformados em lagos	<p>Afinidade elevada por metais pesados. Elevada superfície específica.</p> <p>O ciclo redox do Mn é muito importante na regulação das concentrações de elementos vestigiais e nas transformações que se dão na base e nos sedimentos de lagos.</p>
Aluminossilicatos (argilas e óxidos)	<p>Activos na troca iónica, adsorção de metais pesados e fosfatos. Se a sua presença não for muito expressiva, o seu efeito na remoção de elementos vestigiais é pequeno.</p>

Para estudar as concentrações de metais e o papel de solos, sedimentos ou partículas em suspensão, projectaram-se as concentrações de Cr, Pb, Cu, Cd, Zn, Ni, Ba, B e Li, na área envolvente das lagoas de Quiaios (figuras 5.56 a 5.58).

Outros parâmetros de interesse para este estudo são pH (figura 5.36); *pe* ou Eh (figura 5.50); concentrações de ferro, manganésio, alumínio (figuras 5.52 e 5.44); índices de saturação em minerais que podem co-precipitar metais, como óxidos de ferro e manganésio (figura 5.55), carbonatos (figura 5.42) e minerais de argila (figura 5.46).

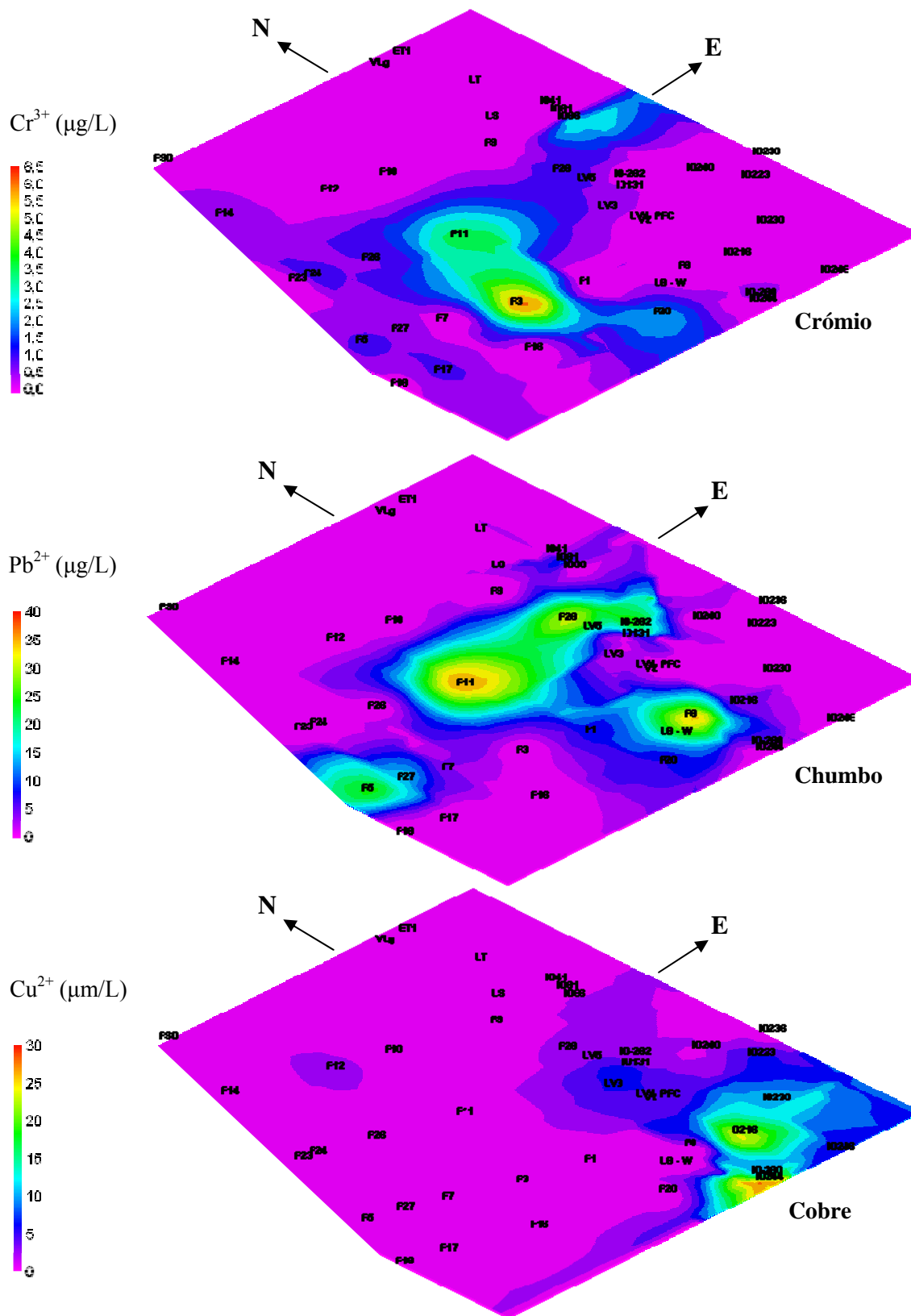


Figura 5.56 – Distribuição espacial de crómio, chumbo e cobre (dados de furos e poços).

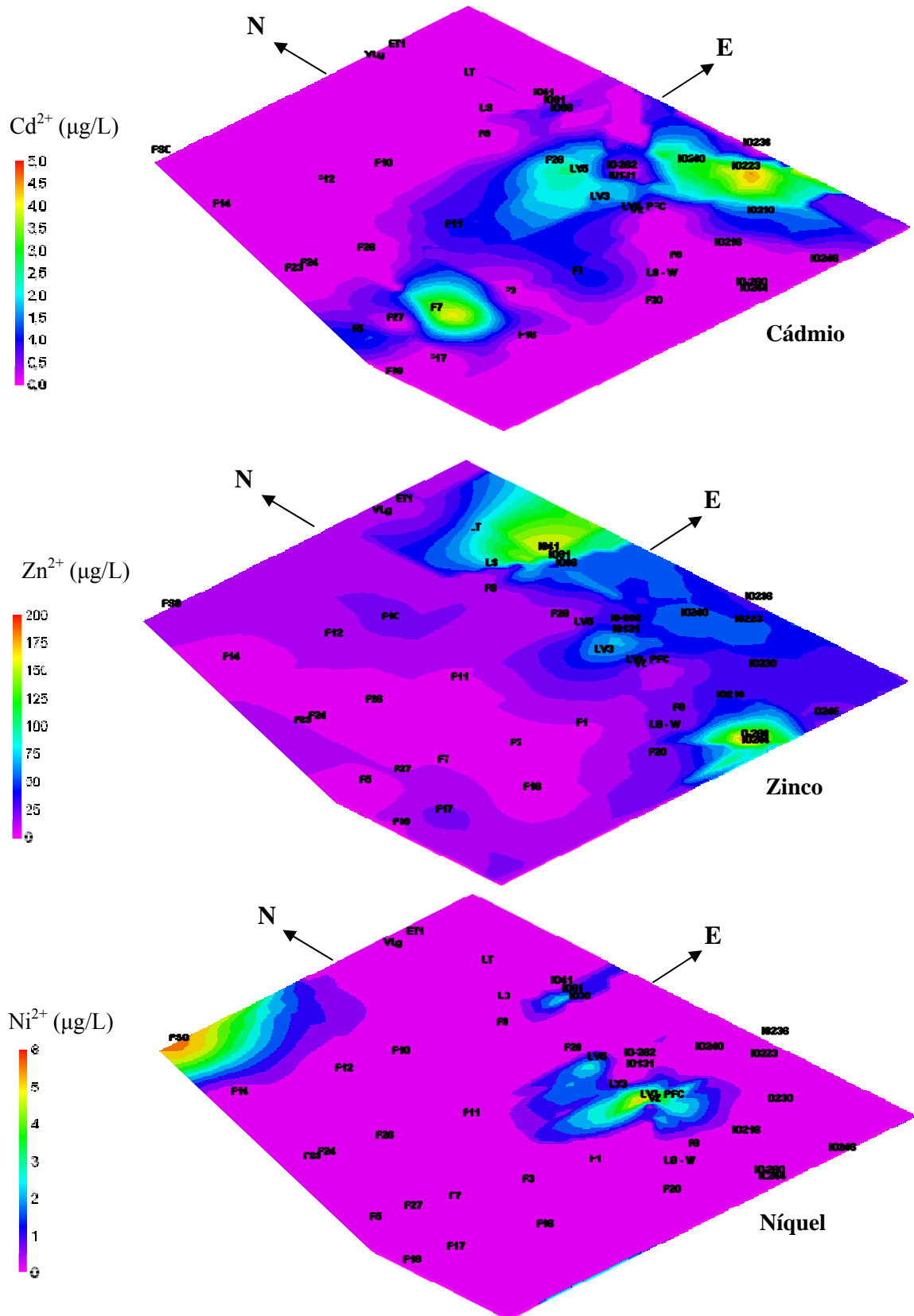


Figura 5.57 – Distribuição espacial de cádmio, zinco e níquel (dados de furos e poços).

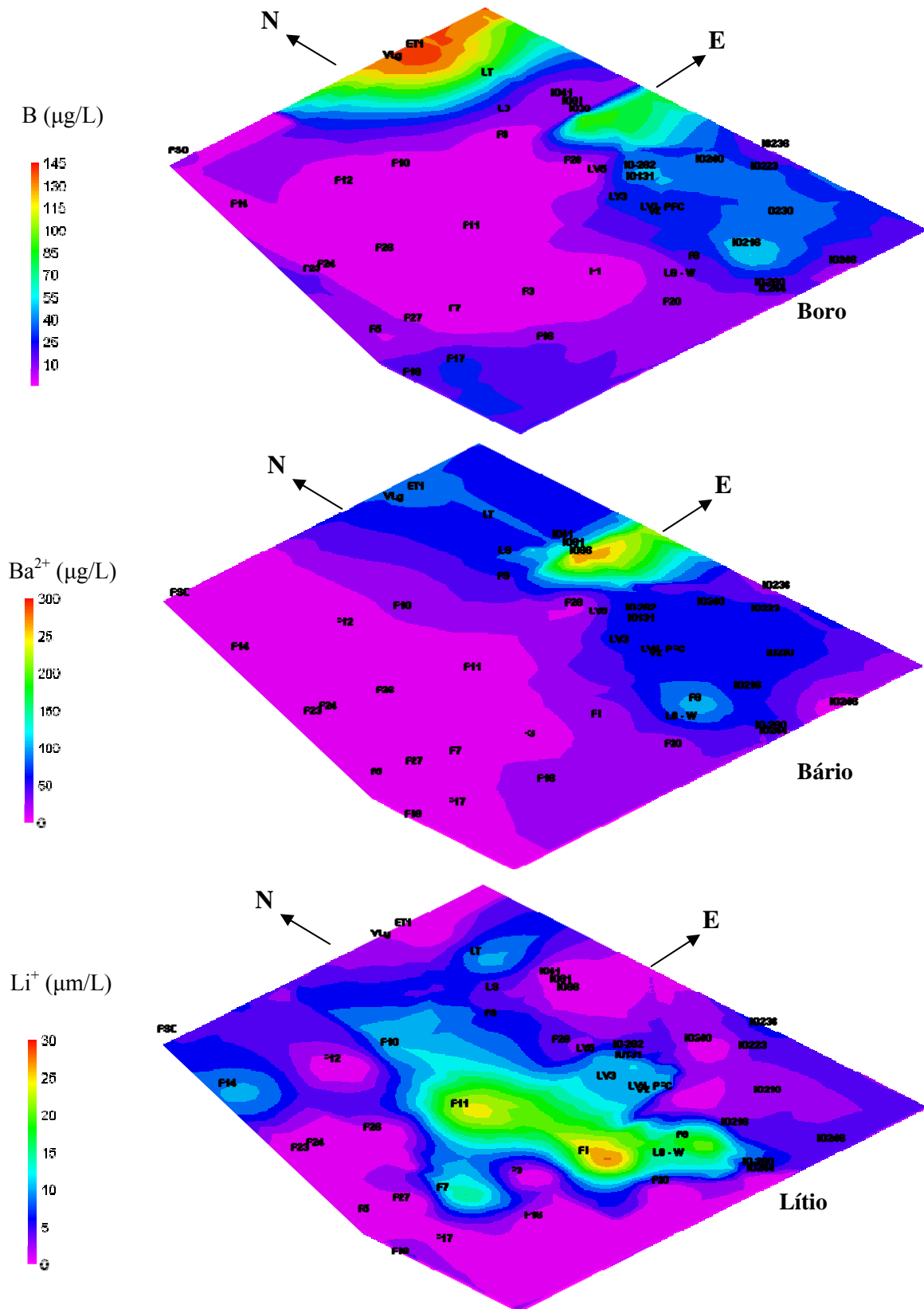


Figura 5.58 – Distribuição espacial de boro, bário e lítio (dados de furos e poços).

A área envolvente das lagoas de Quiaios apresenta concentrações de ferro e manganésio muito elevadas. As concentrações de manganésio são superiores a 120 µg/L em áreas localizadas no Sector Oriental (ID240), sendo superiores ao limite máximo admissível para águas de consumo humano (50 µg/L) (Decreto-Lei nº 243/2001 de 5 de Setembro e Decreto-Lei nº 236/1998 de 1 de Agosto) em muitos locais. As concentrações de ferro são também muito superiores ao limite máximo admissível das águas para consumo humano segundo a mesma legislação (200 µg/L) sobretudo a norte e a sul numa zona próxima dos furos ET1 e F1, respectivamente (figura 5.52).

Os teores de alumínio são relativamente elevados e, em muitos locais, são superiores ao valor máximo recomendado pela legislação portuguesa para qualidade da água para consumo humano, sendo no entanto sempre inferiores ao limite máximo admissível, que se situa em 200 µg/L. Os valores são mais elevados junto aos furos F9, F16 e ID246, ou seja, na zona sul e na zona norte onde as litofácies APS e McS são mais espessas (figura 5.44).

Existem ainda concentrações elevadas de outros metais, como o cádmio, que se aproxima muito do limite máximo admissível das águas para consumo humano (5µg/L) em algumas zonas (figura 5.57); o zinco, cujos valores máximos rondam os 200 µg/L sendo superiores ao valor máximo recomendado segundo a legislação referida (figura 5.57); o bário, com concentrações de 300 µg/L, superiores ao limite máximo admissível das águas para consumo humano (figura 5.58); e o chumbo, que se aproxima muito do valor máximo recomendado de 50 µg/L (figura 5.56).

As concentrações de cobre e zinco são simultaneamente elevadas nos locais próximos dos poços ID240, podendo indicar uma causa natural para estas concentrações. Nessa zona as concentrações de chumbo são intermédias sendo mais elevadas um pouco mais para norte.

Os metais que têm concentrações mais elevadas em zonas com condições mais redutoras (com *pe* relativamente mais baixos) são o crómio, o chumbo, o cádmio e o lítio (figuras 5.56, 5.57 e 5.58). O alumínio, o ferro e o manganésio, o cobre e o zinco, o boro e o bário, apresentam concentrações mais elevadas em zonas em que o pH é mais baixo, na maioria dos casos em condições redutoras.

A concentração do cádmio, elemento principal da componente 6 (figura 5.35), praticamente atinge o limite máximo admissível de águas para consumo humano numa zona que acompanha o fluxo desde o ponto ID223 até à costa. As suas concentrações diminuem para norte e para sul e, progressivamente para oeste, havendo nova concentração junto ao furo F7. Haverá possivelmente uma fonte pontual de cádmio próximo do ponto ID223, que vai sendo transportado ao longo do fluxo e cuja concentração vai sendo controlada por fenómenos de adsorção ou precipitação, que vão removendo o cádmio em solução reduzindo-lhe a mobilidade, de modo a que a sua concentração vá diminuindo no sentido do fluxo. O incremento das concentrações deste metal, junto do furo F7, podem estar relacionadas com processos de solubilização ou troca iónica ou com um erro analítico que forneceu um valor mais elevado de cádmio naquele ponto.

Grandes quantidades do cádmio explorado são utilizadas no fabrico de baterias, sendo também utilizado para galvanoplastia, pigmentos, ligas metálicas e semicondutores. Alguns compostos de cádmio são também empregues no fabrico de plásticos. Encontra-se normalmente associado a minérios de zinco e é muitas vezes obtido como subproduto do zinco.

5.4.3.6 Processos hidrogeoquímicos actuantes nas águas superficiais

Em Agosto de 2007, após a colheita de amostras de água subterrânea, efectuou-se um levantamento de parâmetros físico-químicos e recolha de amostragem de águas superficiais nas lagoas das Braças, da Vela, Salgueira e dos Teixoeiros, assim como nas linhas de água com carácter mais perene existentes na área (vala do Zurrão e vala das Lagoas). Foram ainda recolhidos testemunhos de sedimentos de fundo das quatro lagoas em 8 locais.

A análise de parâmetros físico-químicos, constituintes maiores, menores e vestigiais das águas superficiais (lagoas e linhas de água) são apresentados nas tabelas 5.20 a 5.22.

Tabela 5.20 – Alguns parâmetros físico-químicos em águas superficiais (lagoas e linhas de água).

Amostra	Local de recolha	Condutividade elétrica específica (SEC) ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH (25°C)	Eh (mV)	pe	Turvação (FTU)
VLg	Linha de água	330,00	6,46	359,64	6,20	5,62
VZ	Linha de água	505,00	7,10	321,06	5,43	42,86
LS	Lagoa	623,00	6,79	382,84	6,42	12,23
LT	Lagoa	537,00	7,23	395,12	6,60	6,03
LB	Lagoa	329,00	6,89	242,72	4,12	1,28
LV1	Lagoa	510,00	8,15	321,24	5,44	57,00
LV3	Lagoa	496,00	8,75	311,68	5,26	28,69
LV5	Lagoa	500,00	8,54	317,20	5,35	44,25

LS - Lagoa Salgueira; LT - Lagoa dos Teixoeiros; LB - Lagoa das Braças;

LV - Lagoa da Vela; VZ - Vala do Zurrão; VLg - Vala das Lagoas

<LD - inferior ao limite de detecção

Tabela 5.21 – Concentração de elementos maiores em águas superficiais (lagoas e linhas de água).

Amostra	Alcalinidade (mg/L de CaCO_3)	SO_4^{2-} (mg/L)	Cl^- (mg/L)	NO_3^- (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)	F^- (mg/L)	Br^- (mg/L)	Na^+ (mg/L)	K^+ (mg/L)	Ca^{2+} (mg/L)	SiO_2 (mg/L)
VLg	77	15,23	44,03	<LD	0,38	0,10	0,15	32,26	8,50	27,23	14,49
VZ	86	48,90	64,65	0,16	<LD	0,28	0,24	42,84	23,20	31,10	1,56
LS	155	37,81	71,69	0,14	6,97	0,22	0,23	48,77	33,42	54,66	2,90
LT	145	19,18	66,92	0,10	4,40	0,18	0,23	43,57	20,89	48,11	7,46
LB	70	19,89	45,27	0,23	0,52	0,13	0,14	29,22	6,17	27,47	1,81
LV1	103	50,41	67,78	0,17	<LD	0,33	0,25	46,24	23,53	30,16	1,86
LV3	102	50,36	67,67	0,15	<LD	0,35	0,25	46,23	24,79	28,51	1,83
LV5	100	50,83	68,90	0,19	<LD	0,35	0,26	45,93	23,74	29,57	1,76

LS - Lagoa Salgueira; LT - Lagoa dos Teixoeiros; LB - Lagoa das Braças;

LV - Lagoa da Vela; VZ - Vala do Zurrão; VLg - Vala das Lagoas

<LD - inferior ao limite de detecção

Tabela 5.21 – Concentração de elementos menores e vestigiais em águas superficiais (lagoas e linhas de água).

Amostra	Fet ($\mu\text{g/L}$)	Cu ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)	Al ³⁺ ($\mu\text{g/L}$)	Mn ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)	Ni ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)	Cr ³⁺ ($\mu\text{g/L}$)	Pb ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)	Zn ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)	B ($\mu\text{g/L}$)	Ba ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)	Sr ²⁺ ($\mu\text{g/L}$)	Li ⁺ ($\mu\text{g/L}$)
VLg	906,3	<LD	40,2	164,2	<LD	1,1	<LD	14,7	15,2	31,3	99,8	2,6
VZ	51,0	6,6	215,2	98,9	<LD	0,7	<LD	28,2	48,2	32,3	171,6	3,9
LS	53,6	<LD	<LD	508,8	<LD	0,9	<LD	36,4	26,1	34,2	173,2	3,9
LT	109,5	4,2	<LD	277,5	<LD	2,6	2,70	61,0	16,3	59,0	135,3	10,7
LB	234,2	<LD	<LD	25,7	<LD	<LD	<LD	27,7	9,3	22,1	99,9	14,4
LV1	89,7	5,2	187,7	52,5	5,4	0,5	2,71	38,0	40,7	33,8	169,1	10,7
LV3	15,2	3,8	176,2	3,5	1,6	1,3	<LD	74,5	40,5	30,7	167,3	10,6
LV5	20,4	4,8	176,6	4,3	3,0	1,1	9,83	42,0	40,2	30,4	169,8	10,9

LS - Lagoa Salgueira; LT - Lagoa dos Teixeiros; LB - Lagoa das Braças;
 LV - Lagoa da Vela; VZ - Vala do Zurrão; VLg - Vala das Lagoas
 <LD - inferior ao limite de detecção

A lagoa das Braças apresenta água com menores valores de condutividade eléctrica (SEC), com um pH mais baixo e com condições ambientais mais redutoras. Estas podem dificultar a produção de biomassa o que pode explicar a sua menor turvação. A água existente na vala das Lagoas é semelhante à da lagoa das Braças, mas apresenta condições mais oxidantes.

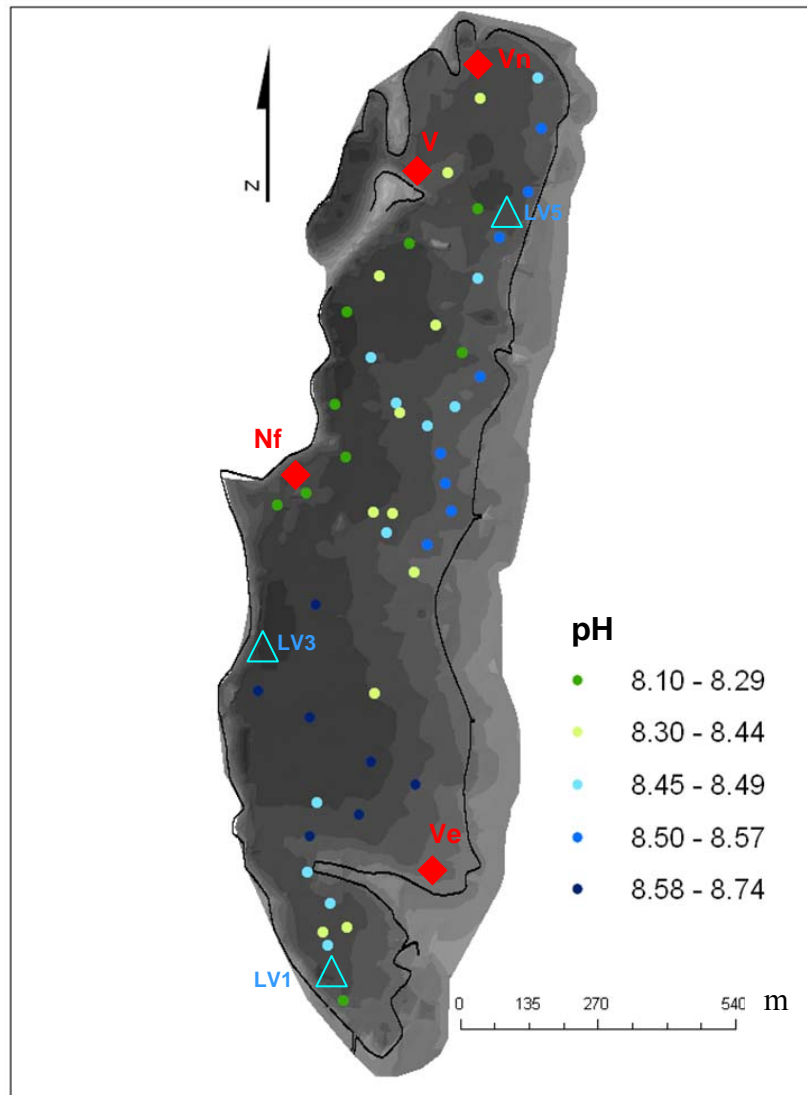
As águas superficiais apresentam fácies hidroquímicas semelhantes, geralmente mistas, bicarbonatadas cloretadas sódicas e cálcicas.

A concentração de sílica nas águas das lagoas é mais baixa do que nas águas subterrâneas, estando subsaturadas em calcedónia e em quartzo, enquanto que as águas subterrâneas estão em equilíbrio ou mesmo ligeiramente sobressaturadas nestes minerais. Parece que, em águas superficiais, a sílica proveniente da descarga de água subterrânea é removida por processos químicos ou biológicos (como a assimilação de Si pelo organismos aquáticos).

As lagoas com condições mais ácidas e redutoras apresentam maiores concentrações em metais como o ferro e o lítio. As menores concentrações de Mn, B, Ba e Sr podem estar relacionadas com a menor mineralização da água, sem ser reflexo da concentração relativa destes metais na água.

A campanha levada a cabo na lagoa da Vela foi mais detalhada do que nas restantes lagoas e contou com 46 pontos de medida de pH, Eh, condutividade eléctrica e oxigénio dissolvido. Em seis locais colheram-se amostras de água para determinação de alcalinidade, turvação e CO₂. Destas escolheram-se três amostras para análise química (LV1, LV3 e LV5), marcadas com triângulos azuis nas figuras 5.59 a 5.62.

Foi construído um modelo batimétrico da lagoa da Vela, com base em medições da coluna de água realizadas na campanha de Verão de 2007 e no levantamento topo-hidrográfico da lagoa, gentilmente cedido pela Câmara Municipal da Figueira da Foz (CMFF) (figuras 5.59 a 5.62).



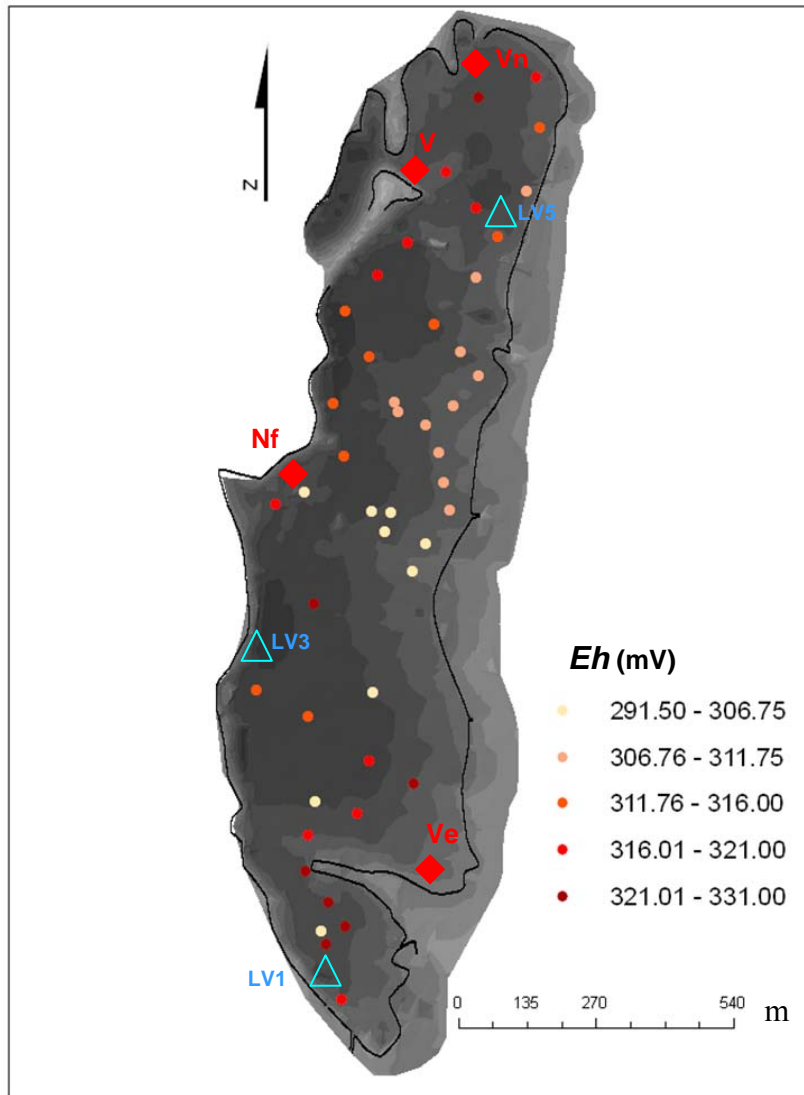
Legenda:

- Limite da área alagada
- LV1** Amostra de água para análise química
- Nf** Amostra de sedimentos de fundo

Intervalo de contorno de curvas batimétricas igual a 0,50 m. Curva mais profunda (mais escura) a -2 m. A coluna de água máxima medida em Agosto de 2007 tinha 1,78 m.

Figura 5.59 – Distribuição pontual de pH na lagoa da Vela.

As águas da Lagoa da Vela são alcalinas, com valores de pH entre 8,1 e 8,74. Os valores mais elevados encontram-se concentrados na zona central, entre os pontos de amostragem **Nf** e **Ve**. A norte desta zona, os valores de pH são mais variáveis, mas são tendencialmente mais baixos do lado ocidental do que no lado oriental. A sul do ponto de amostragem **Ve** a água tem um pH variável, mas sempre inferior a 8,5 (figura 5.59).



Legenda:

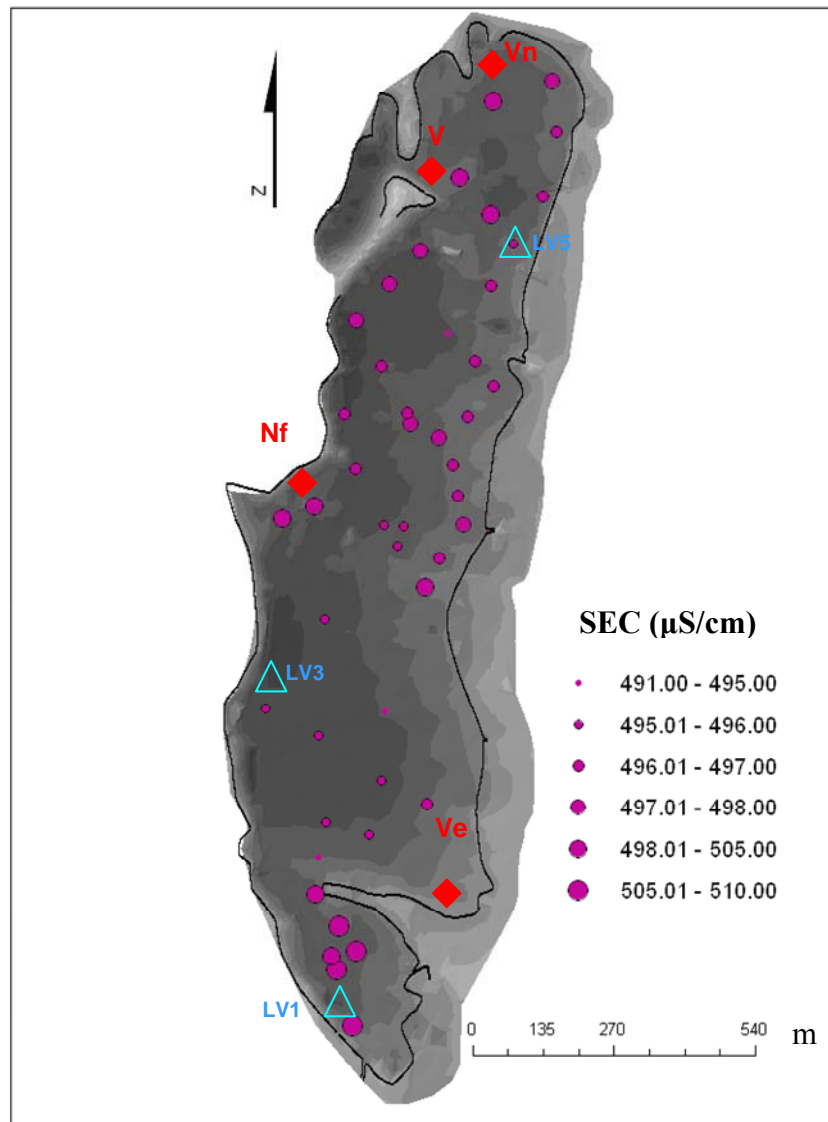
- Limite da área alagada
- △ LV1 Amostra de água para análise química
- ◆ Nf Amostra de sedimentos de fundo

Intervalo de contorno de curvas batimétricas igual a 0,50 m. Curva mais profunda (mais escura) a -2 m. A coluna de água máxima medida em Agosto de 2007 tinha 1,78 m.

Figura 5.60 – Distribuição pontual de Eh (mV) na lagoa da Vela.

As condições de oxidação/redução são muito semelhantes em toda a lagoa, com valores de Eh que variam entre 291,5 e 331 mV, o que corresponde a valores de *pe* próximos de 5,3.

Os valores mais elevados concentram-se na zona sul, sendo superiores a 321 mV (figura 5.60). Na zona norte, onde a densidade de amostragem é maior, verifica-se um aumento dos valores de Eh da margem oriental para a margem ocidental, onde a profundidade da água é mais elevada e os valores de pH são mais baixos.



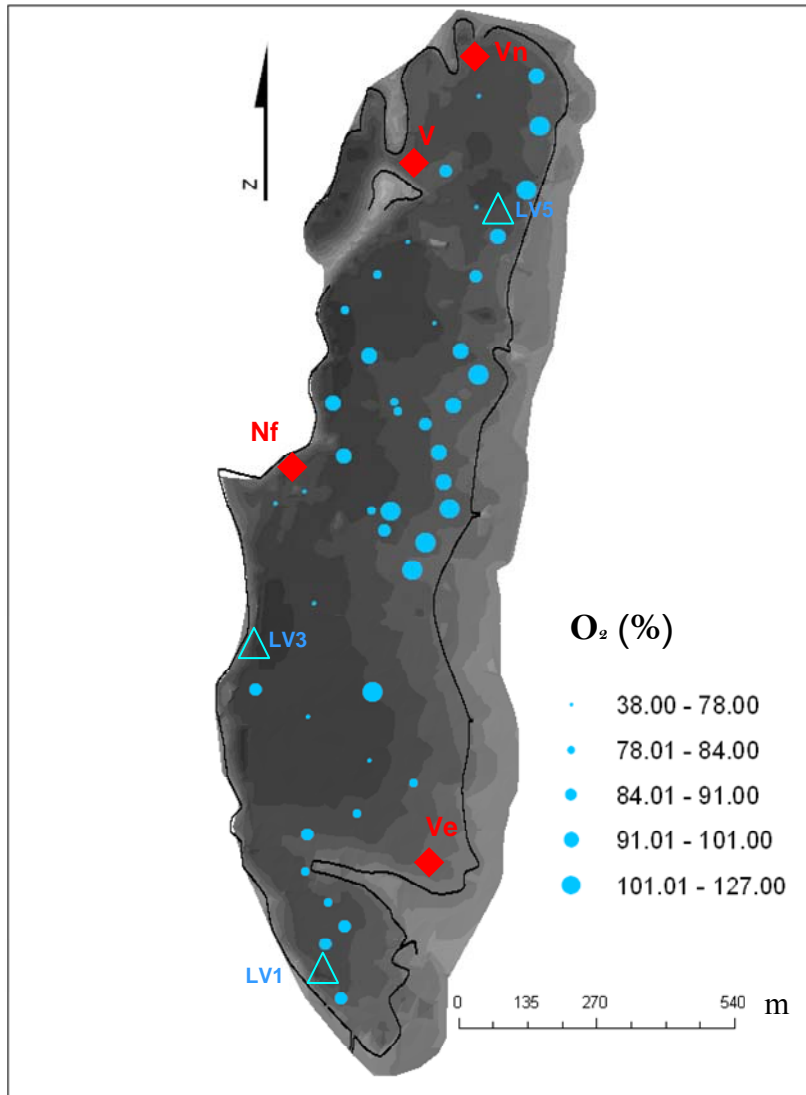
Legenda:

- Limite da área alagada
- LV1 △ Amostra de água para análise química
- Nf ◆ Amostra de sedimentos de fundo

Intervalo de contorno de curvas batimétricas igual a 0,50 m. Curva mais profunda (mais escura) a -2 m. A coluna de água máxima medida em Agosto de 2007 tinha 1,78 m.

Figura 5.61 – Distribuição pontual de condutividade eléctrica da água na lagoa da Vela.

As águas da lagoa da Vela apresentam condutividades eléctricas específicas entre 490 e 510 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (figura 5.61). Os valores mais elevados situam-se a norte do ponto de amostragem Nf, do lado ocidental, e a sul do ponto de colheita Ve, estando os valores mais baixos encostados à margem oriental, entre os dois pontos de amostragem referidos.



Legenda:

- Limite da área alagada
- LV1 Amostra de água para análise química
- Nf Amostra de sedimentos de fundo

Intervalo de contorno de curvas batimétricas igual a 0,50 m. Curva mais profunda (mais escura) a -2 m. A coluna de água máxima medida em Agosto de 2007 tinha 1,78 m.

Figura 5.62 – Distribuição pontual de oxigênio dissolvido (%) na lagoa da Vela.

Os valores de oxigênio dissolvido são mais elevados junto à margem oriental da lagoa da Vela e a norte do ponto de amostragem Nf, em zonas onde a vegetação aquática é mais densa (figura 5.62). Pensa-se que a principal origem do oxigênio que se encontra dissolvido na água superficial está na fotossíntese e no balanço entre a fotossíntese e a respiração, já que a amostragem foi realizada durante o dia no Verão.

Outros processos que possam consumir ou gerar oxigênio, como as reacções de oxidação-redução e a precipitação ou solubilização de óxidos, serão provavelmente menos

evidentes. Com efeito, de todos os parâmetros analisados aquele que apresenta maiores variações, dentro da lagoa da Vela, é a concentração de oxigénio dissolvido havendo áreas cujas condições estão próximas de um ambiente pobre em oxigénio.

Com o dispositivo de recolha de sedimentos de fundo (X-SedFun) extraíram-se 8 testemunhos de 4 locais diferentes da lagoa da Vela, assinalados com losangos vermelhos. Os testemunhos colhidos no mesmo local têm comprimentos diferentes: os mais longos permanecem congelados para análise futura, mas os mais pequenos foram descongelados, abertos, descritos e fotografados. Foram depois colhidas amostras dos diversos níveis de sedimentos (figuras 5.63 a 5.66).

Os sedimentos colhidos apresentam conteúdos diferentes de matéria orgânica e óxidos, conforme o local onde se encontram, a actividade biológica e as condições de acidez, o ambiente redox e a oxigenação da água com a qual estão em contacto. Reproduzem as condições físico-químicas da água e dos sedimentos existentes na altura da sua deposição.

No local assinalado como **Nf**, foi colhida uma amostra de sedimentos. Nesse local, em que o pH da água era mais baixo, a condutividade elevada e o oxigénio dissolvido era mínimo, os sedimentos apresentavam uma camada superficial muito rica em óxidos. A sondagem é relativamente superficial e não intersectou níveis de lodos (figura 5.63).



Figura 5.63 – Imagem do testemunho **Nf**, com sedimentos de fundo recolhidos na lagoa da Vela. Escala centimétrica de profundidades. Local assinalado a vermelho nas figuras 5.59 a 5.62.

No ponto situados a norte da lagoa (**Vn**), com pH intermédios próximos de 8,3 e valores de Eh relativamente altos (cerca de 320 mV), condutividades eléctricas da água intermédias e oxigénio dissolvido variável, existe uma camada na base constituída por lodos a que se segue um nível que apresenta mistura de matéria orgânica com óxidos (figura 5.64). Dos

11 cm de profundidade para o topo da sondagem aparecem areias e a camada superficial apresenta novamente um ligeiro enriquecimento em óxidos.



Figura 5.64 – Imagem do testemunho **Vn**, com sedimentos de fundo recolhidos na lagoa da Vela. Escala centimétrica de profundidades. Local assinalado a vermelho nas figuras 5.59 a 5.62.

O ponto de amostragem **V** tem um registo sedimentar semelhante ao do ponto **Vn** tendo, no entanto, a camada mais rica em matéria orgânica (e óxidos) numa posição mais superficial, entre 5 e 10 cm de profundidade (figura 5.65). Ambas registam um nível mais orgânico na base (a cerca de 20 cm de profundidade) a que se seguem sedimentos mais ricos em areia e óxidos. No caso do testemunho recolhido no local **V** existe ainda uma outra camada orgânica, mais superficial (figura 5.65).

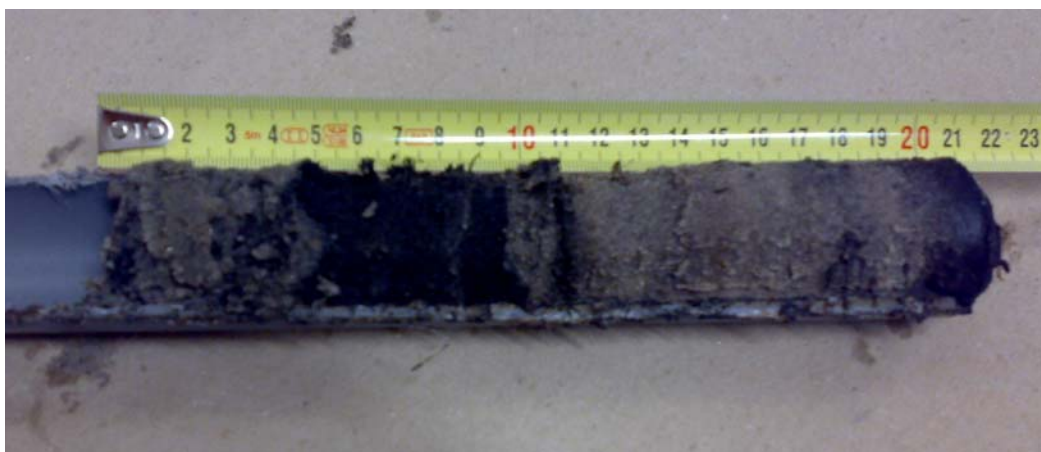


Figura 5.65 – Imagem do testemunho **V**, com sedimentos de fundo recolhidos na lagoa da Vela. Escala centimétrica de profundidades. Local assinalado a vermelho nas figuras 5.59 a 5.62.

O testemunho recolhido no local assinalado como **Ve** apresenta um registo sedimentar mais arenoso, semelhante ao obtido no local **Vn** (figura 5.66).



Figura 5.66 – Imagem do testemunho **Ve**, com sedimentos de fundo recolhidos na lagoa da Vela. Escala centimétrica de profundidades. Local assinalado a vermelho nas figuras 5.59 a 5.62.

Pensa-se que os níveis mais arenosos devem corresponder a épocas em que o fluxo de sedimentos era mais elevado, nomeadamente daqueles que eram transportados pelo vento. Os níveis mais ricos em matéria orgânica podem corresponder a períodos em que o transporte eólico foi menos intenso e em que houve condições grande produção de biomassa com condições neutras ou redutoras. Os precipitados de óxidos de ferro devem ter-se formado em períodos com condições mais oxidantes e aeróbicas. A concentração deste elemento em solução deve depender provavelmente da interacção entre a água superficial e água subterrânea na zona envolvente da lagoa. Dada a elevada disponibilidade deste elemento em solução nos aquíferos AQF2-E e AQF3-E a sua origem poderá estar ligada a estas unidades aquíferas.

As sondagens efectuadas aos sedimentos de fundo da lagoa das Braças revelam um conteúdo em matéria orgânica superior ao encontrado na lagoa da Vela, fazendo crer que as condições nestas lagoas são diferentes desde há muito tempo (figura 5.67).



Figura 5.67 – Imagem do testemunho **BW**, com sedimentos de fundo recolhidos na margem ocidental da lagoa das Braças. Escala centimétrica de profundidades.

Como conclusão, embora as fácies hidroquímicas das águas superficiais e, em especial das lagoas, sejam semelhantes existem diferenças evidentes entre as águas da lagoa da Vela e da vala do Zurrão, que a drena, e as das restantes lagoas e linhas de água analisadas (anexos 5.7 e 5.12 a 5.15).

As diferenças mais notadas entre a lagoa das Braças e a lagoa da Vela estão principalmente no pH, Eh, turvação, fluoretos e brometos, mais elevados da lagoa da Vela e nos teores de CO₂, fosfatos e ferro (e manganésio) mais baixos nesta lagoa. Como a mineralização das duas águas é diferente, mas as suas relações equivalentes são idênticas, as diferenças de constituintes maiores, medidos em mg/L, não são significativas.

O aspecto mais interessante é-nos revelado quando se comparam os índices de saturação em minerais das águas do conjunto formado pela lagoa da Vela e vala do Zurrão com as restantes águas superficiais. No grupo da lagoa da Vela os índices de saturação em carbonatos são geralmente positivos. As águas encontram-se sobressaturadas, por ordem decrescente, em dolomite, calcite e aragonite, estando praticamente em equilíbrio com a rodocrosite, enquanto que, nas restantes águas superficiais existe subsaturação nestes minerais. A outra grande diferença é que as águas da lagoa da Vela e da vala do Zurrão estão sobressaturadas em clorite e talco e subsaturadas em montmorilonite cálcica, enquanto que, as restantes águas superficiais o não estão.

As águas superficiais estão geralmente sobressaturadas em minerais de argila (illite, caulinite), micas, óxidos e hidróxidos de ferro (hematite e goetite) e alumínio (gibbsite).

Da análise destes dados verifica-se que existem condições para que se dê a precipitação de carbonatos na lagoa da Vela. Uma vez que, a calcite magnesiana e a dolomite tem uma velocidade de precipitação geralmente menor do que os restantes carbonatos, o magnésio tende a permanecer em solução, mantendo teores elevados. Esta situação pode potenciar a formação de outro tipo de precipitados minerais, como a camada de brucite, Mg(OH)₂ na clorite, não afectando os minerais magnesianos que se encontram em contacto com a solução, de modo a não aumentar ainda mais as suas concentrações. Como consequência da precipitação de carbonatos os teores de cálcio diminuem e a montmorilonite cálcica pode deixar de ser estável.

Como a precipitação se pode dar em sistema aberto relativamente ao CO₂, as concentrações de cálcio e bicarbonato (ou carbonato) diminuem mais do que num sistema fechado, enquanto que o pH não diminui tanto. Dada a alteração cíclica das condições da água o equilíbrio deve ser dificilmente atingido. Isso pode justificar o facto dos valores de pH serem relativamente mais altos e os teores de CO₂ dissolvido relativamente mais baixos do que seria previsível atendendo apenas aos resultados desta reacção.

Existe ainda o facto de a sobressaturação em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio poder provocar a precipitação destes minerais, o que é também sugerido pela análise dos testemunhos de sedimentos de fundo obtidos.

5.5 Algumas considerações sobre a hidrogeologia do sistema aquífero

A análise das unidades sedimentares e a sua associação em aquíferos e camadas confinantes permitiu esboçar um modelo hidroestratigráfico tridimensional e, a partir deste, desenhar perfis segundo direcções aproximadamente paralelas e perpendiculares à actual linha de costa.

Definiram-se assim duas grandes unidades hidrogeológicas:

- Um aquífero superior, freático (AQF1), instalado em areias eólicas de cor clara WS 1.2), com espessuras médias de cerca de 3 m, podendo atingir mais de 7 m, com permeabilidades estimadas de 20 a 25 m/d;

- Um aquífero inferior multicamada, confinado a semiconfinado nos sectores Oriental e Ocidental, passando a freático no Sector Central. Apresenta organizações hidroestratigráficas distintas nas áreas que apresentam confinamento. No sector Oriental é constituído por camadas de areias eólicas (WS 1.1) e areias com areão (WS g) na parte superior (AQF2-E) e, em alguns locais, por areias angulosas mal calibradas (APS) que se encontram sobre uma camada de areias argilosas micáceas (McS), com algum carácter confinante (AQF3-E). A espessura média desta unidade multicamada no Sector Oriental (AQF2-E AQF3-E) é de cerca de 6 m, podendo atingir os 16 m. As permeabilidades médias estimadas são de cerca de 10 m/d, podendo atingir os 20 m/d. No sector Ocidental, a unidade aquífera (AQF3-W) está instalada em areias grosseiras com conchas (SS) e confinada por lodos cinzentos com conchas (SM). Tem espessuras que podem atingir os 30 m e condutividades hidráulicas médias de cerca de 23 m/d, podendo atingir os 75 m/d, que é o valor mais elevado obtido na zona em estudo.

As unidades sedimentares e hidrogeológicas, a maneira como elas se distribuem geograficamente, a mineralogia das fracções mais finas, as mudanças climáticas e a evolução cenozóica da região condicionam de forma marcante a evolução hidrogeoquímica da água na área em estudo.

O fluxo subterrâneo, determinado a partir de dados das superfícies piezométricas, apresenta uma direcção principal de oriente para ocidente, em direcção ao mar tanto no aquífero superior como no inferior. Localmente, em zonas de cumeada, a direcção do fluxo diverge em direcções diferentes.

A sul, próximo de Ervedal e Quiaios, existe uma linha de separação de águas superficiais que origina alterações na direcção do fluxo no aquífero freático. Este segue para oeste, em direcção ao mar; para norte em direcção às lagoas (sobretudo a lagoa das Braças); e em direcção à rede de drenagem local cujas principais linhas de águas são a vala do Zurrão, a su-sudeste, e a vala da Lavadia, a norte (esta com fluxo intermitente).

A oriente, o limite entre as bacias hidrográficas do Vouga e do Mondego origina também uma divergência importante: o fluxo no aquífero superior dirige-se para oeste, para a planície da Gândara em direcção à lagoa da Vela; para norte, em direcção à rede de drenagem e, sobretudo a vala das Lagoas (bacia do Vouga e Ribeiras da Costa); e para sul em direcção à vala do Zurrão (bacia do Mondego).

Os gradientes hidráulicos obtidos nos sectores Central e Ocidental são cerca de 10 vezes mais elevados do que os valores aceites para a unidade superior do sistema aquífero Quaternário de Aveiro. As secções hidrogeológicas efectuadas nas direcções perpendiculares à costa e ao longo do fluxo principal indicam uma semelhança entre os gradientes hidráulicos e os gradientes topográficos, com excepção do limite oriental do Sector Central, onde o gradiente hidráulico é mais elevado do que o gradiente topográfico dada a inexistência de camadas confinantes. As diferenças geológicas e topográficas entre os diversos locais onde foram calculados os gradientes hidráulicos, assim como as metodologias empregues e a rede de amostragem utilizada, podem justificar os resultados obtidos.

As alterações existentes nas direcções principais de fluxo entre a estação húmida e a estação seca são mínimas, fazendo-se notar essencialmente nas áreas mais aplanadas, em que os gradientes hidráulicos são muito baixos. Um dos exemplos mais nítidos dessa mudança é a situação do fluxo próximo da lagoa da Vela, que parece alterar-se a oriente, sob os campos agrícolas da Gândara, originando um movimento semelhante a um vaivém cíclico entre estações. Por um lado, nas épocas em que a cota piezométrica da lagoa é mais elevada (após episódios de forte precipitação e durante períodos de rega intensa) o fluxo faz-se da lagoa para a bacia de drenagem circundante enquanto os gradientes forem favoráveis, quando a cota piezométrica da lagoa é mais baixa do que a da bacia circundante (épocas de menor precipitação e períodos de rega escassa ou nula) o fluxo faz-se em direcção à lagoa.

As lagoas constituem afloramentos da superfície freática. Estas zonas húmidas são massas de água superficial de passagem de fluxo, durante a maior parte do ano hidrológico, o que é mais evidente para as lagoas com fluxos de gradiente hidráulico mais elevado, como é o caso da lagoa das Braças, da lagoa Salgueira e da lagoa dos Teixoeiros. No caso da lagoa da Vela, pode ainda haver alterações locais da superfície piezométrica que a tornam uma massa de água momentaneamente influente ou efluente.

A recarga do sistema aquífero, e sobretudo do aquífero superior freático, é feita através da infiltração da água da chuva, da recarga indirecta que pode ocorrer nas lagoas e linhas de água e dos excedentes da água de rega. Neste último caso, o balanço entre os excedentes de rega e a água extraída ao aquífero para esse efeito é praticamente nulo³, já que a água

³ Se não se entrar em conta com a evaporação que se dá no momento da rega, que é efectuada, na maioria dos casos, por aspersão de água sobre a zona cultivada.

utilizada para rega é geralmente extraída da mesma unidade aquífera, através de poços de grande diâmetro.

A recarga dos aquíferos inferiores (AQF2-W, AQF2-E e AQF3-E) é feita através da infiltração directa em zonas onde não existem camadas confinantes (AQF1/AQF2) e da recarga diferida através dos aquíferos superiores, em locais onde as camadas confinantes o permitem.

A descarga do sistema aquífero é feita essencialmente para o mar e para a rede de drenagem, mais importante para o aquífero superior. Na áreas que pertencem à bacia hidrográfica do Mondego a descarga é feita para a vala do Zurrão e nas áreas que pertencem à bacia hidrográfica das Ribeiras da Costa (Vouga) a descarga é feita para a vala das Lagoas e, em menor grau, para a vala da Lavadia. Pontualmente, as lagoas também podem constituir áreas de descarga de água subterrânea, em especial a lagoa da Vela.

No caso do aquífero inferior a extracção de água para consumo doméstico e abastecimento público pode ter um peso importante na definição das perdas no sistema.

A recarga potencial, para um ano hidrológico médio, calculada através método de Penman-Grindley⁴ (referido em Vries & Simmers, 2002) é de cerca de 150 mm/ano. Os dados utilizados (de 1963 a 2007) são da estação meteorológica de Santo Varão (12F/02C), que é a mais próxima da área cujos dados são temporalmente expressivos. A pluviosidade média anual é de 875 mm e a temperatura média mensal de 15,1 °C (anexo 5.17). O cálculo foi efectuado tendo em conta uma capacidade máxima da água utilizada no solo de 100 mm, e para uma reserva nula de água armazenada no solo no início do ano hidrológico.

A recarga potencial para o ano hidrológico de 2006/2007, calculada pelo método Penman-Grindley com dados da estação meteorológica de Praia de Mira (11E/01C) foi de 56 mm, para uma pluviosidade anual de 709 mm, com temperaturas médias mensais de 14,9 °C. O ano hidrológico de 2006/2007 teve menos dois terços de água, para potencialmente recarregar os aquíferos, do que um ano médio.

Os resultados das análises químicas realizadas às amostras de água subterrânea e superficial permitiram conhecer melhor as águas e, de algum modo, os aquíferos a que pertencem. Verificou-se que existem duas áreas com águas de composição diferente. Estes grupos podem ser definidos com base na simples observação do mapa com a projecção dos diagramas de Stiff (figura 5.20), mas foram depois confirmados através da classificação hierárquica (figura 5.24).

⁴ Evapotranspiração potencial calculada pelo método de Thornthwaite (Custódio & Llamas, 2001).

O grupo HC1 reúne as amostras de água subterrânea das regiões mais ocidentais, coincidentes com os subsectores Ia a Ic e algumas zonas mais superficiais do Subsector Id. O grupo HC2 reúne a quase totalidade das amostras de água subterrânea colhidas a oriente da linha que une as lagoas de Quiaios e a vala das Lagoas, a norte, com a amostra de água subterrânea colhida no furo F1 e a água da lagoa das Braças. O grupo HC3 contempla as amostras de água superficial com excepção da água da lagoa das Braças e das amostras ID282 e ID131.

A contaminação antrópica, parece estar limitada geograficamente a uma zona oriental, é possível perceber a evolução natural da água desde a precipitação até à sua infiltração nos aquíferos e a sua evolução ao longo do fluxo. Em zonas onde a recarga é provavelmente maior (a sul e oriente) a água apresenta características químicas muito semelhantes às da água da chuva.

É evidente um ligeiro incremento de sódio e potássio, em algumas zonas, às vezes com remoção de cálcio da solução por troca iónica, no entanto, os fenómenos modificadores de água subterrânea na zona oriental são marcados sobretudo pelo contacto com a atmosfera, ou pela inibição desse contacto, por condições ácidas ou básicas, anaeróbicas ou aeróbicas, oxidantes ou redutoras.

As camadas confinantes existentes no Sector Oriental devem impedir de forma efectiva o contacto com a água subterrânea do aquífero superior, podendo os sedimentos da litofácies OM, que se encontram nesse sector, ter esse papel. É visível o resultado de uma sequência de reacções de redução no Sector Oriental da área em estudo, que é interrompido quando a camada confinante entre o aquífero superior e os aquíferos inferiores deixa de existir.

As águas subterrâneas dos aquíferos superior e inferior poderão misturar-se no local, onde a camada confinante desaparece e o gradiente hidráulico é máximo, provocando movimentos verticais de descida das águas mais superficiais. A oriente deste local, as águas subterrâneas existentes nos aquíferos superior e inferior, estariam praticamente isoladas. Mas, uma vez interrompido este isolamento do aquífero inferior vai haver uma mistura e a água fica bicarbonatada cálcica, uma vez que a quantidade de bicarbonato e de cálcio e a mineralização do aquífero superior é mais elevada do que a da água subterrânea existente no aquífero inferior e dada a alteração das condições ambientais.

A partir desse ponto e ao longo do fluxo acentua-se o carácter bicarbonatado cálcico da água subterrânea, potenciado pela dissolução de carbonatos, principalmente de aragonite. Após este percurso a água começa a entrar numa área de transição para ambientes costeiros, em que a influência do mar é mais evidente e a existência de carbonatos de cálcio e de estrôncio é mais elevada. As águas subterrâneas do aquífero freático ganham Na e Cl, o que é visível nos diagramas de Stiff efectuados (figura 5.20), cujo limite superior aumenta ligeiramente. Estas modificações químicas reflectem possivelmente uma

composição da água da chuva mais rica nestes elementos e a influência de aerossóis marinhos, mas não é ainda suficiente para que a fácies hidroquímica das águas se altere.

A heterogeneidade da camada confinante AQF2-W vai fazer com que haja locais onde o confinamento é menos evidente. Há zonas onde há abrandamento da composição da água, com trocas e enriquecimento ligeiro em sódio.

Não é notada nesta zona uma intrusão salina importante. Pontualmente, a norte da Praia da Tocha, existe uma mancha nos diagramas de distribuição espacial de sódio e de cloro, que pode indicar alguma elevação do teor de cloretos e da mineralização total, mas que nunca atinge os 1000 mg/L.

Um outro processo hidrogeoquímico, que é revelado pela análise estatística, é o aumento de mineralização da água, em conjunto com o aumento das concentrações em sódio, cloro, magnésio, brometos e sulfatos numa zona onde se pratica agricultura intensiva com recurso a rega por aspersão. Nestas circunstâncias é possível um aumento da concentração da água por evaporação em zonas de regadio.

Os resultados das análises químicas de águas subterrâneas, a determinação de índices hidrogeoquímicos e de índices de saturação em minerais, existentes na fase sólida em contacto com a água, possibilitaram a execução de modelos tridimensionais com a sua distribuição espacial que justificam e reflectem os resultados das fases de prospecção geofísica e de análise das unidades sedimentares.

Quando se comparam os resultados dos perfis de condutividade eléctrica aparente obtidos na campanha de prospecção electromagnética com os valores de condutividade eléctrica específica da água, verifica-se que uma parte da variabilidade dos dados é justificada pela composição da fase fluida contida nos poros das unidades sedimentares. Isso é particularmente visível na zona meridional, a sul da lagoa da Vela, onde a condutividade eléctrica aparente é relativamente baixa e onde se encontraram águas pouco mineralizadas (SEC <30 mS/m).

O condicionamento da composição química da água subterrânea pelo material geológico que a contém é tão evidente, que permite reforçar a organização hidroestratigráfica efectuada incluindo como unidade hidrogeológica o aquífero AQF3-E, instalado em areias da litofácies APS.

Capítulo 6

Considerações finais e recomendações

6.1 Considerações finais

Este trabalho de investigação começou com uma pergunta: Por que razão estão aqui estas lagoas?... As lagoas em questão são as zonas húmidas de água doce que existem entre Quiaios e a Tocha, numa região da Orla Mesocenozóica Ocidental quase totalmente recoberta por areias eólicas, de idade plistocénica superior a holocénica.

Para responder a esta pergunta efectuou-se uma campanha de prospecção electromagnética, com recolha de dados de condutividade eléctrica aparente, que permitiu definir dois sectores diferentes. O Sector I, mais ocidental, ocupa a quase totalidade da área e apresenta valores de condutividade eléctrica aparente mais baixos. Constituído por materiais geológicos pouco consolidados, com níveis de condutividade mais elevada a evidenciar antigas superfícies topográficas e correspondentes paleossolos. O Sector II ocupa uma área restrita a NE, junto à localidade da Tocha. Tem condutividades eléctricas aparentes mais elevadas, com distribuições que poderiam ser justificadas por materiais geológicos mais consolidados, interrompidos por descontinuidades que podem corresponder a estruturas de origem sedimentar ou tectónica.

Após esta fase de prospecção geofísica, a área objecto de investigação foi restringida ao Sector I. Neste podem ainda ser demarcados subsectores distintos, cujos limites são aproximadamente paralelos à LCA, alguns têm um traço muito linear, como os limites ocidental e oriental do Subsector Id. As suas direcções são compatíveis com estruturas tectónicas anteriormente definidas por diversos autores, como as direcções estruturais definidas para o bordo norte da serra da Boa Viagem (Machadinho, Pereira & Figueiredo, 2008; Machadinho, 2008) ou os alinhamentos estruturais referidos por Cabral & Ribeiro (1988) e Barbosa *et al.* (1988).

O conhecimento dos resultados da campanha de prospecção geofísica foi fundamental na delimitação de áreas geologicamente diferentes e na escolha dos locais onde foram efectuadas as sondagens mecânicas. O facto de se ter efectuado esta campanha antes da realização das sondagens possibilitou um melhor acompanhamento da fase de execução dos furos, nomeadamente na tomada de decisões sobre a escolha de locais e a profundidade a atingir. Por outro lado, as sondagens mecânicas e a recolha de amostras de sedimentos, permitiram explicar melhor os resultados obtidos na campanha de prospecção geofísica.

Os sedimentos recolhidos foram analisados do ponto de vista granulométrico, mineralógico, paleontológico e foram definidas unidades sedimentares, com base em critérios de textura, cor, matéria orgânica, mineralogia, conteúdo em conchas e geometria dos sedimentos. Essas unidades encontram-se distribuídas geograficamente de um modo semelhante ao dos sectores geofísicos. Assim, considera-se que o Sector Ocidental coincide aproximadamente com os sectores geofísicos Ia e Ib, o Sector Central tem uma

localização muito semelhante ao sector geofísico Ic e o Sector Oriental engloba os sectores geofísicos Id e Ie.

A análise de dados subsequente permitiu a integração das diversas amostras em grupos de sedimentos, que correspondem geralmente a associações de litofácies. A sua discriminação através de uma análise de componentes principais evidencia as semelhanças e diferenças entre grupos e amostras, assim, como a sua relação com os parâmetros (variáveis) que lhes dão identidade ou que os separam. Deste modo, obteve-se uma análise mais objectiva de um grande conjunto de dados, com resultados mais expressivos do que a análise bivariada.

Esta análise permitiu ainda descobrir diferenças dentro de unidades sedimentares que inicialmente se acreditava serem relativamente homogéneas, como as subunidades WS1.1 e WS1.2, que foram identificadas na litofácies WS. Mais tarde, aquando do estudo hidrogeológico esse conhecimento foi utilizado para ajudar a definir a unidade aquífera AQT2-E.

As unidades sedimentares são constituídas geralmente por areias de cor clara (litofácies WS), que apresentam localmente algumas modificações conforme são enriquecidas em óxidos de ferro, lodo orgânico ou partículas de dimensão mais grosseira, sendo denominadas de litofácies WS p, WS m e WS g, respectivamente. Estes sedimentos apresentam características granulométricas e mineralógicas que os associam a um transporte eólico dominante, embora seja localmente notada a influência de processos de podzolização e hidromorfismo, sobretudo nas litofácies WS p e WS m.

As camadas arenosas apresentam por vezes, no Sector Oriental, intercalações de lodos orgânicos (litofácies OM), cuja análise polínica indica zonas húmidas, inicialmente palustres que evoluíram para lagos de água doce.

No Sector Ocidental existem sob as areias dunares da litofácies WS, lodos cinzentos com conchas (litofácies SM) e, sobrejacentes a estes, areias grosseiras com conchas (litofácies SS). Estas unidades apresentam pólen e esqueletos de organismos que os ligam a ambientes lagunares ou estuarinos e de praia, respectivamente.

A possibilidade de que as lagoas de Quiaios poderem ter feito parte de uma antiga laguna costeira, formada numa altura em que a subida do nível do mar se atenuou, parece arredada, já que os ambientes com influência marinha são encontrados exclusivamente em posições mais ocidentais (litofácies SM e SS). Os sedimentos da litofácies SS teriam sido formados numa altura em que a linha de costa se encontrava a cerca de 1 km para oriente da sua posição actual. Desde então, assistiu-se a uma deslocação da linha de costa para oeste até à sua posição actual, evidenciada pelo enchimento do ambiente lagunar (topo da litofácies SM), num movimento localmente regressivo.

As areias eólicas da litofácies WS sobrepõem-se, no Sector Oriental, a unidades sedimentares mais antigas, como as areias argilosas micáceas, da litofácies McS, e as areias angulosas mal calibradas da litofácies APS. Sob estas unidades sedimentares encontram-se areias argilosas esverdeadas (litofácies MGS) e argilas avermelhadas (litofácies RC) com características de permeabilidade muito reduzida, que constituem o substrato do sistema aquífero nesta região. As sondagens mecânicas realizadas no Sector Ocidental não atingiram o substrato cretácico, no entanto, a partir dos dados de sondagens anteriormente efectuadas, sabe-se que ele existe a altitudes de cerca de -30 m (NMMA), enquanto que, a oriente, a altitude a que se apresenta é de mais de 30 m (NMMA).

Atendendo aos dados dos levantamentos de condutividade eléctrica aparente, com a definição de sectores, e aos resultados das sondagens mecânicas efectuadas, que sugerem que o limite superior dos sedimentos cretácicos possa ser pouco inclinado para ocidente, pensa-se que o limite entre os sectores geofísicos Ic e Id possa corresponder a uma mudança da geologia em profundidade, materializada por uma alteração da posição deste substrato.

A mineralogia da fracção silto-argilosa, determinada por difracção de raios X, permitiu a identificação de alguns minerais importantes para os processos de adsorção, troca iónica e, em alguns casos, co-precipitação. Reuniram-se igualmente dados que podem dar esclarecimentos sobre as condições climáticas que vigoravam na altura da formação.

A existência de minerais como pirite, gesso e sulfatos como jarosites, alunites e copiapites é também referida e pode ser explicada muitas vezes pela interacção entre a fase sólida e a fase líquida em contacto com as unidades sedimentares. Assim, é comum haver pirite em ambientes redutores, como aqueles que existem nas litofácies SM, OM e na litofácies MGS, em níveis mais orgânicos. Este mineral é importante para a definição das características químicas da água, já que, a sua origem pode estar ligada a processos de redução de sulfatos, com precipitação de sulfuretos de ferro. Por outro lado, a existência de pirite pode, em casos de oxidação, fornecer quantidades de sulfatos à água subterrânea.

A calcite é comum nas amostras da litofácies SM e em alguns locais da litofácies WS onde a quantidade de conchas é significativa. A sua existência no furo F28 pode ser corroborada pela análise química à água subterrânea, que se apresenta sobressaturada neste mineral, podendo ocorrer precipitação de carbonatos.

Nas condições físico-químicas que caracterizam a água subterrânea destes locais, o gesso pode ter sido aqui depositado por precipitação de sulfato de cálcio, a partir de sulfatos que se encontram reduzidos nos níveis aquíferos inferiores e que, em determinados locais, entram em contacto com zonas mais oxigenadas e com carácter mais oxidante, possibilitando a sua oxidação e a precipitação de gesso, dada a disponibilidade de cálcio.

A definição de unidades hidroestratigráficas foi feita a partir de associações entre unidades sedimentares, em duas unidades aquíferas. Uma unidade superior, freática, e uma unidade inferior multicamada, geralmente confinada a semiconfinada, que passa a freática no Sector Central, onde não existem camadas confinantes.

O fluxo subterrâneo para as duas unidades foi determinado a partir das superfícies piezométricas e tem uma direcção principal de oriente para ocidente, apenas alterada em zonas de cumeada e na vizinhança de linhas de água ou zonas húmidas, no caso do aquífero superior. Os gradientes hidráulicos acompanham os gradientes topográficos excepto no Sector Central, em que são mais elevados.

As lagoas são o reflexo de afloramentos da superfície freática, sendo geralmente zonas de passagem de fluxo de água. Temporariamente podem ainda alternar o seu comportamento, de influentes para efluentes, e isso é notório no caso da lagoa da Vela. A água desta lagoa apresenta algumas diferenças em relação à das restantes zonas húmidas. O fluxo na bacia circundante tem gradientes hidráulicos mais reduzidos permitindo um contacto prolongado com os sedimentos e favorecendo as reacções químicas. Os índices de saturação em carbonatos indicam sobressaturação ou equilíbrio em relação a estes minerais, mantendo níveis de pH bastante elevados e teores de CO₂ reduzidos, ao contrário do que acontece nas águas das restantes lagoas.

A contaminação antrópica, sobretudo de origem agrícola e doméstica, parece ser mais exclusiva das áreas situadas a oriente das lagoas. Nestes locais existem teores mais elevados de nitratos, fosfatos, sulfatos, cloretos, brometos, potássio, magnésio e de metais pesados.

Os processos hidrogeoquímicos naturais dominantes no sistema aquífero são as reacções de dissolução e precipitação de carbonatos, que condicionam a evolução da água sobretudo nas regiões ocidentais; as reacções de oxidação-redução, muito actuautes no sistema aquífero; as reacções de alteração química de silicatos e outros minerais, mais evidentes nas zonas orientais e meridionais; a adsorção e a troca iónica, favorecidas pela existência de minerais com elevada CTC; e as reacções de concentração por evaporação, em zonas de regadio com rega por aspersão. O controlo da contaminação por metais pesados é reduzido nas zonas onde o pH é mais baixo e as condições são mais redutoras mas, no geral, é efectivo para quase todos os metais, excepto para o cádmio e o chumbo.

De uma maneira geral, os resultados obtido nas diversas abordagens ao problema inicialmente colocado, fornecem respostas ou indicações concordantes e muitas vezes complementares. Os resultados obtidos puderam ser comprovados com dados de outros autores e, no geral, são muito semelhantes. Como a realidade é uma só, embora vista de diversos prismas, este é um motivo de satisfação e de garantia da fiabilidade dos resultados.

6.2 Recomendações

Ao longo deste trabalho de investigação, existiu uma incidência elevada na caracterização das unidades geológicas e hidrogeológica, tendo sido relegada para segundo plano a investigação experimental e a modelação de dados, tanto geológicos, como geofísicos e hidrogeológicos. A razão para este facto prende-se com a prioridade que foi dada à recolha de dados que pudessem ser futuramente tratados.

Os dados de condutividade eléctrica aparente deviam ser sujeitos a uma modelação geofísica, de modo a obter resultados reais a partir dos dados de condutividade eléctrica e profundidade aparentes. Esta modelação poderia ser executada após a extensão da campanha de geo-radar a toda a área onde foi efectuado o levantamento electromagnético. Os resultados deveriam ter em conta igualmente os resultados obtidos nas sondagens mecânicas efectuadas e nas características físico-químicas da água subterrânea.

Para esclarecimento de dúvidas que envolvam profundidades de investigação mais elevadas, poder-se-ia ainda recorrer a outras técnicas de prospecção geofísica, como a gravimetria, que já foi efectuada no bordo norte da serra da Boa Viagem. Isso seria bastante útil na definição e esclarecimento de alguns alinhamentos estruturais sugeridos pela campanha de prospecção electromagnética efectuada.

As amostras de sedimentos recolhidas aquando das sondagens mecânicas e de sedimentos de fundo recolhidos nas lagoas, depois de secas e moídas, deveriam ser sujeitas a análise química. Estes resultados, aliados aos resultados da análise química dos fluidos que com eles contactam e da mineralogia dos sedimentos, permitiriam uma melhor análise de todos os processos físico-químicos envolvidos e o seu relacionamento com os processos biológicos deles dependentes ou neles influentes.

A experimentação através da determinação de isotérmicas de adsorção de alguns elementos nos diversos minerais existentes, feita através de modelação matemática e por experimentação, poderá igualmente dissipar algumas dúvidas sobre os processos hidrogeoquímicos ligados a adsorção e troca iónica. Poderiam ainda ser usadas análises químicas com extracção sequencial de elementos em solos, para melhor conhecer as fases sólidas em que determinado elemento está adsorvido.

A execução de análises isotópicas às águas amostradas possibilitaria o esclarecimento das dúvidas acerca da origem e da influência dos processos hidrogeoquímicos na formação e evolução da água de determinados aquíferos.

Bibliografia

- Abecassis, C. K. (1955). The history of a tidalinlet and its improvement (The case of Aveiro, Portugal). *Proceedings 5^a Conf. Coastal Engineering*: 329-363. Berkeley.
- Abrantes, N. (2007). *Análise de Risco Ecológico na Lagoa da Vela*. Tese de Doutoramento: Universidade de Aveiro.
- Abrantes, N.; Antunes, S. C.; Pereira, M. J. & Gonçalves F. (2006). Seasonal sucession of cladocerans and phytoplankton and their interactions in shallow eutrophic lake (Lake Vela, Portugal). *Acta Oecologica*, 29: 54-64.
- Abrantes, N.; Pereira, R. & Gonçalves, F. (2006). First Step for an Ecological Risk Assesment to Evaluate the Impact of Difuse Pollution in Lake Vela (Portugal). *Environmental Monitoring and Assesment*, 117: 411-431.
- Allen, J. R. L. & Thornley, D. M. (2004). Laser granulometry of Holocene estuarine silts: effects of hydrogen peroxide treatment. *The Holocene* 14 (2): 290-295.
- Alley, W. M.; Healy, R. W.; LaBaugh, J. W. & Reilly, T. E. (2002). Flow and Storage in Groundwater Systems. *Science*, 296: 1985-1990.
- Almeida, A. C. (1993). Dunas de Quiaios: conjugação de morfologias e gerações. *Seminário sobre a zona Costeira de Portugal – ambiente, gestão e conservação*: 65-73. Lisboa: Inst. Sup. Técnico.
- Almeida, A. C. (1995). *Dunas de Quiaios, Gândara e Serra da Boa-Viagem. Uma abordagem ecológica da paisagem*. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra.
- Almeida, A. C. (1997). *Dunas de Quiaios, Gândara e Serra da Boa-Viagem. Uma abordagem ecológica da paisagem*. Coimbra: Fundação Calouste Gulbenkian, JNICT.
- Almeida, C., Mendonça, J. L., Jesus, M. R. & Gomes A. J. (2000). *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. Lisboa: Centro de Geologia / Instituto da Água.
- Almeida, C., Mendonça, J. L., Silva, M. A. M. & Serra, A. (2000). Síntese da Hidrogeologia das Bacias do Mondego, Vouga e Lis. *Actas do IV Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos de Língua Oficial Portuguesa (IV SILUSBA)*: 1-18. Coimbra
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) & Water Environment Federation (WEF) (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (20th ed). LOCAL:APHA/AWWA/WPCF.
- Andres, A. S. Howard, C. S. (2002). *Results of Hydrogeological studies of the Cupress Swamp Formation, Delaware*. Report of Investigation N° 64. Newark: University of Delaware.
- Anthony, S. S., Hunt, C. D., Brasher, A. M. D., Miller, L. D. & Tomlinson, M- S. (2004). *Water Quality on the Island of Oahu, Hawaii, 1999-2001*. Circular 1239. Reston, Virginia: U. S. Department of the Interior / USGS.

- Antunes, S. C. ; Abrantes, N. & Gonçalves, F. (2003). Seasonal variation of the abiotic parameters and the cladoceran assemblage of Lake Vela: comparison with previous studies. *Ann. Limnol. - Int. J. Lim.* 39(3): 255-264.
- Appelo, C. A. J. ; Postma, D. (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution* (2 Ed.) London: A. A. Balkema Publishers.
- Bailey, S. W. (1980). Structures of Layer Silicates: in Brindley, G. W. & Brown, G., editors, *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification*. Monografia nº5. London: Mineralogical Society: 1-124.
- Banfield J. D. and A. E. Raftery. (1993). Model-based Gaussian and non-Gaussian clustering. *Biometrics*, 49: 803–821.
- Barbosa, B. P. (1981). *Carta Geológica de Portugal. Notícia Explicativa da Folha 16-C. Vagos*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- Barbosa, B. P.; Soares, A. F.; Rocha, R. B. & Henriques, M. H. (1988). *Carta Geológica de Portugal. Notícia Explicativa da Folha 19-A. Cantanhede*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- Batu, V. (1998). *Aquifer Hydraulics. A comprehensive guide to hydrogeologic data analysis*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Bernárdez, P.; Gonzalez-Álvarez, R.; Francés, G.; Prego, R.; Bárcena, M. A. & Romero, O. E. (2008). Late Holocene history of the rainfall in the NW Iberian peninsula - Evidence from a marine record. *Journal of Marine Sediments* 72: 366-382.
- Berthou, P. Y. (1984). Résumé synthétique de la stratigraphie et de la paléo-géographie du Crétacé moyen et supérieur du bassin occidental portugais. *Geonovas*, 7: 99-120.
- Berthou, P. Y.; Hasenboehler, B. & Moron, J. M. (1981). Apports de la palynologie à la stratigraphie du Crétacé moyen et supérieur du bassin occidental portugais. *Memórias e Notícias*, Nº 91-92: 183-221.
- Bettencourt, P. & Ângelo, C. (1990). Faixa Costeira Centro Oeste (Espinho-Nazaré): Enquadramento Geomorfológico e Evolução Recente. *Geonovas: A Geologia e o Ambiente*, número especial 1: 7-30.
- Blott, S. J. & Pye, K. (2001). GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26: 1237-1248.
- Bracht, JM. J. (1995). Geohydrological Information System for Water Management. *Wat. Sci. Tech.*, 31 (8): 353-356.
- Brassington, F. C. & Preene, M. (2003). The design, construction and testing of a horizontal wellpoint in a dune sands aquifer as a water source. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 36: 355-366.

- Brindley, G. W. & Brown, G. (1980). X-ray Diffraction Procedures for Clay Mineral Identification: in Brindley, G. W. & Brown, G., editors, *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification*. Monografia nº5. London: Mineralogical Society: 305-360.
- Brindley, G. W. & Brown, G. (Eds.) (1980). *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification*. Monografia nº5. London: Mineralogical Society.
- Brindley, G. W. (1980). Order-disorder in Clay Mineral Structures: in Brindley, G. W. & Brown, G., editors, *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification*. Monografia nº5. London: Mineralogical Society:125-196.
- Brindley, G. W. (1980). Quantitative X-ray Mineral Analysis of Clays: in Brindley, G. W. & Brown, G., editors, *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification*. Monografia nº5. London: Mineralogical Society: 411-438.
- Brookins, D. G. (1988). *Eh-pH diagrams for geochemistry*. Berlin: Springer.
- Brown, G. (1980). Associated Minerals: in Brindley, G. W. & Brown, G., editors, *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification*. Monografia nº5. London: Mineralogical Society: 361-410.
- Cabral, J. & Ribeiro, A. (1988). *Carta Neotectónica de Portugal Continental*. Lisboa: Serv. Geol. Portugal.
- Cabral, J. (1995). Neotectónica em Portugal Continental. *Mem. I. G. M.* 31:1-265.
- Calado, A. J. B. F. M. (1993). Algas da lagoa das Braças (Quiaios, Figueira da Foz). ao longo da transição Primavera Verão de 1989 (Diatomáceas excluídas). *Bol. UCA. Universidade do Algarve*, UCTRA, vol.1: 9-23.
- Callapez, P & Soares Pinto, J. (2003). História Natural das regiões de Montemor-o-Velho e Figueira da Foz:Estratigrafia, Paleontologia e Arqueologia. In *XXIII Curso de Actualização de Professores de Geociências*. Coimbra: 8 a 10 de Maio de 2003.
- Carrilho, F. J. R.; Nunes, J. A. C. & Pena, J. O. A. (2004). *Catálogo Sísmico de Portugal Continental e Região Adjacente para o Período 1970-2000*. Lisboa: Ministério da Ciência, Inovação e Ensino Superior, Instituto de Meteorologia, Divisão de Sismologia.
- Carvalho, C. R., Sobral, P. N. R., Ramos, C. A. S., Simões, J. A., Fabrício, J. F. & Cristo, F. P. (1996). *Rede udométrica da bacia do Mondego (versão provisória)*. Coimbra: Ministério do Ambiente / Direcção Regional do Ambiente e Recursos Naturais do Centro.
- Carvalho, G. S. & Granja, H. M. (1997). Terraços versus litostratigrafia e geocronologia do Plistocénico e do Holocénico da zona costeira norte de Portugal. *Estudos do Quaternário* 1: 25-40.
- Carvalho, G. S. & Granja, H. M. (2003). As mudanças da zona costeira pela interpretação dos sedimentos plistocénicos e holocénicos (a metodologia aplicada na zona costeira do NO de Portugal). *Revista da Faculdade de Letras - Geografia*. I Série, Vol.XIX: 225-236.
- Carvalho, G. S. (1951). Os depósitos detríticos e a morfologia da região de Aveiro. *Memórias e Notícias*, 31: 38-79.

- Carvalho, G. S. (1952). Les dépôts détritiques Plio-pleistocènes et la morphologie de la «Gandara» au Nord de la Serra da Boa Viagem (Portugal). *Revue Geomorph. Dynam.*, 6: 275-293.
- Carvalho, G. S. (1954). A Gândara (Portugal) e as Landes de Gasconha (França). *Memórias e Notícias*, Nº37: 3-25.
- Carvalho, G. S. (1964). Areias da Gândra (Portugal); uma formação eólica quaternária. *Publ. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciências* 82 (4ª série): 7-32.
- Carvalho, G. S. (1981). Uma metodologia para análise dos depósitos do Quaternário. *Arqueologia* (Grupo de Estudos Arqueológicos do Porto), 4: 5-18.
- Carvalho, G. S. (1983). Análise Dimensional de Areias e Sedimentogénese (Alguns exemplos de aplicação). *Bol. Soc. Geol. Portugal*, XXIV: 117-124.
- Carvalho, L. H. M. (1996). *Métodos de Análises de Águas*. Série Técnica-Científica - Ciências Aplicadas, 21. Vila Real: UTAD.
- Casas Sainz, A. M. & Faccena, C. (2001). Tertiary compressional deformation of the Iberia plate. *Terra Nova* 13: 281-288.
- Castilho, A. M.; Danielsen, R. & Dinis, P. (2007). Palaeoenvironmental development of the Quiaios-Tocha dunes based on geological and palynological investigations. *Proceedings of the 35th IAH Congress on Groundwater and Ecosystems*, PDF 471: 1-8. Lisbon.
- Castilho, A. M.; Marques da Silva, M.; Soares, A. F.; Figueiredo, F. P. O. & Senos Matias, M. (2006). Interpretação Preliminar de Dados de Prospecção Electromagnética Obtidos nas Lagoas de Quiaios. In José Mirão e Ausenda Albino Mirão (Eds.). *Actas do VII Congresso Nacional de Geologia*: 537-540. Estremoz.
- Castilho, A. M.; Marques da Silva, M.; Soares, A. F.; Figueiredo, F. P. O.; Senos Matias, M. & Dinis, P. (2007). Preliminary interpretation of geological and hydrogeological data obtained in Quiaios Lagoons. *Proceedings of the 35th IAH Congress on Groundwater and Ecosystems*, PDF 295: 1-7. Lisbon.
- Castro, B. B.; Antunes, S. C.; Pereira, R.; Soares, A. M. V. M. & Gonçalves, F. (2005). Rotifer community structure in three shallow lakes: seasonal fluctuations and exploratory factors. *Hydrobiologia*, 543: 221-232.
- Cavaco, A. (1967). *Execução de furos de pesquisa e eventual captação de água subterrânea no local das Braças, destinados ao abastecimento da Figueira da Foz – Relatório Final*. Lisboa: Sondagens e Fundações A. Cavaco, Lda.
- Cavaco, A. (1975). *Execução de furos de pesquisa e eventual captação de água subterrânea no local das Braças, destinados ao abastecimento da Figueira da Foz – Relatório Final*. Lisboa: Sondagens e Fundações A. Cavaco, Lda.
- Cavaco, A. (1981). *Execução de furos de pesquisa e eventual captação de água subterrânea no local das Braças, destinados ao abastecimento da Figueira da Foz – Relatório Final*. Lisboa: Sondagens e Fundações A. Cavaco, Lda.

- Cavaco, A. (1996). *Execução de oito furos de pesquisa e eventual captação de água salgada na Praia da Tocha – Relatório Final*. Lisboa: Sondagens e Fundações A. Cavaco, Lda.
- Chamley, H. (1989). *Clay Sedimentology*. Berlin: Springer-Verlag.
- Chen, P. Y. (1977). Table of Key Lines in X-ray Powder Doffraction Patterns of Minerals in Clays and Associated Rocks. *Dep. of Natural Resources Geological Survey Occasional Paper* 21:1-66.
- Choffat, P (1897). Sur le Crétace de la région du Mondego. *C. R. Acad. Sciences Paris*, 124: 422-424.
- Clark, I. & Fritz, P. (1997). *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. New York: Lewis Publishers.
- Clarke, M. L. & Rendell, H. M. (2006). Effects of storminess, sand supply and the North Atlantic Oscillation on sand invasion and coastal dune accretion in western Portugal. *The Holocene* 16, 3(2006): 341-355.
- Cloetingh, S.; Burov, E.; Beekman, F.; Andeweg, B.; Andriessen, P. A. M.; Garcia-Castellanos, D.; Vicente, G. & Vegas, R. (2002). Litospheric folding in Iberia. *Tectonics*, 21(5) - 1041: 1-26.
- Comissão de Coordenação da Região Centro (1994). *Plano Regional de Ordenamento do Território para o Centro Litoral*. Coimbra: Autor.
- Comissão Nacional do Ambiente (1974). *Portugal. Atlas do Ambiente*. Lisboa: Autor.
- Costa, M. (2004). *Prospecção electromagnética aplicada ao estudo geológico da Planície Litoral entre Quiaios e Tocha*. Relatório da disciplina de Estágio.
- Cotté-Krief, M-H., Guieu, C., Thomas, A. J. & Martin J-M (2000). Sources of Cd, Cu, Ni, and Zn in Portuguese coastal waters. *Marine Chemistry* 71(2000): 199-214.
- Cravidão, F. D. (1988). *A população e o povoamento da Gândara - génese e evolução*. Tese de Doutoramento. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Cronican, A. E. & Gribb, M. M. (2004). Hydraulic conductivity prediction for sandy soils. *Ground Water* 42 (3): 459-464.
- Cruz, R. J. L., Figueiredo, F. P. O., Pratas, J. A. M. S. (2005). Diagnóstico ambiental da zona envolvente da lixeira da Vila Moreira (Alcanena), com utilização do método electromagnético de prospecção geofísica. In *Anais do IV Seminário sobre Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território*: C-17. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Cunha, P. & Reis, R. (1995). Cretaceous sedimentary and tectonic evolution of the northern sector of the Lusitanian Basin (Portugal). *Cretaceous Research*, 16: 155-170.
- Cunha, P. M. (1999). Unidades Litostratigráficas do Terciário na região de Miranda do Corvo - Viseu (Bacia do Mondego, Portugal). *Com. Inst. Geol. Mineiro*: 86: 143-196.

- Cunha, P. M. R. R. P. (1992). *Estratigrafia e sedimentologia dos depósitos do Cretácico superior e do Terciário de Portugal Central, a leste de Coimbra*. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra.
- Cunha, P. P. & Martins, A. A. (2004). Principais Aspectos Geomorfológicos de Portugal Central, Sua Relação com o Registo Sedimentar e a Importância do Controlo Tectónico. *Actas de Geomorfologia do Noroeste da Península Ibérica*: 155-182. Porto: Faculdade de Letras.
- Custódio, E. & Llamas, M. R. (Eds.) (2001). *Hidrología subterránea* (2 Ed.). Barcelona: Ediciones Omega.
- Danielsen, R. (2008). Palaeoecological development of the Quiaios-Mira dunes, northern central littoral Portugal. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 152: 74-99.
- Danielsen, R.; Castilho, A. M.; Dinis, P. & Callapez, P. (2008). Evolução da paisagem a Norte do Cabo Mondego durante os últimos milhares de anos. In F. C. Lopes & P. M. Callapez (Eds.), *Por Terras da Figueira*: 45-53. Figueira da Foz: Kiwanis Club.
- Daveau, S. (1980). Espaço e tempo, evolução do ambiente geográfico de Portugal ao longo dos tempos pré-históricos. *Clio-Rev. Centro Hist. Univ. Lisboa* 2, 13-37.
- Davis, R. A. (1985). *Coastal Sedimentary Environments* (2. Ed). New York: Springer-Verlag.
- Delleur, J. W. (Ed) (2007). *The Handbook of Groundwater Engineering*. (2nd. Ed). New York: CRC Press - Taylor & Francis Group.
- Dias, A. F. D. (2004). *Contributo para a reabilitação ambiental da Lagoa da Vela*. Relatório de fim de curso. Castelo Branco: Escola Superior Agrária.
- Dias, J. A., Pilkey, O.H. & Heilwel, V. M. (1984). Detrital mica: Environmental significance in North Portugal continental shelf sediments. *Comunicações Serviços Geológicos de Portugal*, 70 (1): 93-101,
- Dias, J. M. A. (1985). Registos de migração da linha de costa durante os últimos 18.000 anos na plataforma continental setentrional. *Actas da 1ª reunião do Quaternário Ibérico*:281-285. Lisboa.
- Dias, J. M. A. (2004). *A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos*. Faro: Universidade do Algarve.
- Dias, J.M.A., Boski, T., Rodrigues, A. & Magalhães, F. (2000). Coast line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until present - a synthesis. *Marine Geology*, 170: 177-186.
- Dias, J.M.A., Rodrigues, A. & Magalhães, F. (1997). Evolução da linha de costa, em Portugal, desde o último máximo glaciário até à actualidade – síntese dos conhecimentos. *Estudos do Quaternário* 1: 53-66.
- Dias, M. H. (2006). *Portugalliae Descriptio. Do 1º mapa conhecido (1561) ao 1º mapa moderno (1865)*. Lisboa: Instituto Geográfico do Exército.
- Dinis, J. L. (2001). Definição da Formação da Figueira da Foz. Aptiano a Cenomaniano do sector central da margem oeste ibérica. *Com. Serv. Geol. Portugal*, 88: 127-160.

- Dinis, J. M. L. (1999). *Estratigrafia e Sedimentologia da Formação de Figueira da Foz. Aptiano a Cenomaniano do sector norte da Bacia Lusitânica*. Tese de Doutoramento: Universidade de Coimbra.
- Dinis, P & Soares, A. F. (2007). Controlling factors on clay mineral assemblages: insights from facies analysis of Pliocene to Pleistocene coastal margin deposits, Western Portugal. *Geologica Acta*, Vol. 5, Nº2, 177-192.
- Dinis, P. A. (2004). *Evolução Pliocénica e Quaternária do Vale do Cértima*. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra.
- Direcção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas. (1939). *Projecto de arborização das Dunas de Quiaios*. Lisboa: Autor.
- Driscoll, F. G. (1986). *Groundwater and Wells* (2nd Ed.). Minnesota: Johnson Division.
- Farinha, J. C. & Trindade, A. (1994). *Contribuição para o inventário e caracterização de zonas húmidas de Portugal*. Lisboa: Publ. MedWet / Inst. Cons. Natureza.
- Fatela, F. M. (1995). *Contribution des Foraminifères benthiques profonds à la reconstitution des paléoenvironnements du Quaternaire récent de la Marge Ouest Ibérique (Marge Nord Portugaise et Banc de Galice)*. Tese de Doutoramento. Universidade de Bordéus.
- Feio, M. & Daveau, S. (2004). O Relevo de Portugal. Grandes Unidades Regionais. *Rev. Associação Portuguesa de Geomorfólogos*. Vol. II. Coimbra: Associação Portuguesa de Geomorfólogos.
- Fernandes, F. (2006). *Avaliação de duas novas técnicas não destrutivas: microperfuração de tijolos e de argila e radar de prospecção geotécnica em alvenaria*. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho.
- Fernandes, M. J. S. (1999). *Modelação e simulação nas lagoas de Quiaios*. Tese de Doutoramento. Universidade do Algarve.
- Ferrão, J. E. M. (1992). *A aventura das plantas e os descobrimentos portugueses*. Lisboa: Autor.
- Ferreira, O. M. F. C. (1998). *Morfodinâmica de praias expostas : Aplicação ao sector costeiro Aveiro - Cabo Mondego*. Tese de Doutoramento. Universidade do Algarve.
- Ferreira, P. L. O. (1995). *Hidrogeologia do Quaternário da Região Norte da Ria de Aveiro. (Aplicação de Isótopos Ambientais)*. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro.
- Fetter, C. W. (2001). *Applied Hydrogeology* (4th Ed.). London: Pearson Education International.
- Figueiredo F. P. & Catarino, L. (2001). Em busca das estruturas. In Monteiro, J. G. (Aut.). *Aljubarrota Revisitada*: 26-96. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Figueiredo, D. R.; Reboleira, A. S. S. P.; Antunes, S. C.; Abrantes, N.; Azeiteiro, U. Gonçalves, F. & Pereira, M. J. (2006). The effect of environmental parameters and cyanobacterial blooms on phytoplankton dynamics of a Portuguese temperate lake. *Hydrobiologia* (2006). 568: 145-157.

- Figueiredo, F. P. O. & Senos Matias, M. J. (1998). Estudo da interface água doce - água salgada na península Barra - Costa Nova do Prado - Vagueira (Aveiro) pelo método eléctrico de resistividades. *Comunicações do Inst. Geol. Mineiro* 84(2): E33-E36.
- Figueiredo, F. P. O., Ferreira, F. A. & Senos Matias, M. J. (1999). Contamination plume evaluation of two ditches using frequency domain electromagnetic method. *Proceedings of 5th Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society, European Section*, (De6). Budapest, Hungary.
- Figueiredo, M. M. (1987). Degradação Paisagística da Faixa Costeira: Uma Reflexão. *LOCUS Revista da Associação de Investigação do Território*. Nº 2-3: 29-47.
- Flemming, B. W. (2000). A Revised Textural Classification of Gravel-free Muddy Sediments on the Basis of Ternary Diagrams. *Continental Shelf Research*, 20: 1125-1137.
- Folk, R. L. (1951). Stages of Textural Maturity in Sedimentary Rocks. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol.2, Nº 3: 127-160.
- Folk, R. L. (1965). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin: Hemphill's.
- Folque, F. (1865). *Carta Geographica de Portugal*. Lisboa: Instituto Geographico de Portugal.
- Folque, F. (1866). *Carta Chorographica do Reino*. Folha nº13 - Coimbra, na escala 1/100 000. Lisboa: Direcção Geral dos Trabalhos Geodésicos do Reino.
- Freitas, A. S. B. (1940). *Dunas de Quiaios. Breves notas sobre a sua arborização*. Figueira da Foz: Autor.
- Freitas, M. C., Andrade, C. & Cruces, A. (2000). A importância do conhecimento geológico no ordenamento de ambientes lagunares. Exemplos do SW de Portugal. *Actas do Seminário "Perspectivas de Gestão Integrada de Ambientes Costeiros"*: 1-24. Porto: Eurocoast - Portugal.
- Freitas, M. C., Andrade, C. & Cruces, A. (2002). The geological record of environmental changes in southwester Portugal coastal lagoons since the Lateglacial. *Quaternary International* 93-94: 161-170.
- Friedman, G. M. (1961). Distinction between dune, beach and riversands from their textural characteristics. *J. Sed. Pet.* 31: 514-529.
- Friedman, G. M., (1967). Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *J. Sed. Pet.* 37: 327-354.
- Friedman, G.M.; Sanders, J. E. & Kopaska-Merkel, D. C. (1992). *Principles of Sedimentary Deposits. Stratigraphy and Sedimentology*. New York: Macmillan Publishing Company.
- Garcia-Amorena, I.; Manzanque, F. G. ; Rubiales, J. M. ; Granja, H. M.; Carvalho, G. S. & Morla, C. (2007). The Late Quaternary coastal forests of western Iberia: A study of their macroremains. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology* 254: 448-461.
- Gibert, J., Mathieu, J. & Fournier, F. (Eds.). (1998). Groundwater / surface water ecotones: biological and hydrological interactions and management options. *International Hydrology Series*. Cambridge University Press: 231-235.

- Girard, A. A. (1915). A Lagoa de Óbidos. *Comunicações Tomo XI*, 1-7 Coimbra: Imprensa da Universidade.
- Gomes, C. F. (1988). *Argilas. O que são e para que servem*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Gonçalves, F.; Ribeiro, R.; Vasconcelos, V. & Soares, A. M. V. M. (1996). Anthropogenic influences on seasonal changes of nutrients, physical and chemical factors in three coastal freshwater shallow lakes (Portugal). *Limnetica* 12(2): 47-52,
- Gossens, D. (2008). Techniques to measure grain-size distributions of loamy sediments: a comparative study of ten instruments for wet analysis. *Sedimentology* 55: 65-96.
- Granja, H. M. & Carvalho, G. S. (1992). Dunes and Holocene deposits of the coastal zone of Portugal, North Mondego Cape. In Carter, R. W. G.; Curtis, T. G. F. & Sheehy-Skeffington, M. J. (Eds.). *Coastal Dunes: Geomorphology, Ecology and Mangment for Conservation*. Rotterdam: A. A. Balkena: 43-50.
- Granja, H. M. & Carvalho, G. S. (1995). Sea-level changes during the Pleistocene-Holocene in the NW coastal zone of Portugal. *Terra Nova* 7: 60-67.
- Granja, H. M. (1999). Evidence for Late Pleistocene and Holocene sea-level, neotectonic and climate control in the coastal zone of northwest of Portugal. *Geologie en Mijnbounw* 77 (3-4): 233-245.
- Granja, H. M., Correia, A. M., Loureiro, E. & Carvalho, G. S.(2000). A estabilidade e instabilidade da faixa costeira (sistema praia-duna) revelada pelas mudanças nas geoformas e sua ligação às associações vegetais. (A experiência na zona costeira do NO de Portugal). *Actas do Seminário "Perspectivas de Gestão Integrada de Ambientes Costeiros"*: 1-24. Porto: Eurocoast - Portugal.
- Granja, H. M., Ribeiro, I., Carvalho, G.S. & Senos Matias, M. (1999). Some neotectonic indicators in Quaternary formations of the northwest coastal zone of Portugal. *Physics and Chemistry of the Earth*. 24(4): 223-336.
- Granja, H. M.; de Groot, T. A. M. & Costa, A. L. (2008). Evidence for Pleistocene wet aeolian dune and interdune accumulation, S. Pedro de Maceda, north-west Portugal. *Sedimentology* 55: 1203-1226.
- Guimarães, F. (1947). Francisco Tavares, hidrologista. *Publicações do Instituto de Climatologia e Hidrologia da Universidade de Coimbra*. Vol. IX: 4-53.
- Hach.(2006). *Digital Tritrator. User Manual*. (24 Ed.). Catalog Number 16900-08.
- Henriques, F. F. (1726). *Aquilégio Medicinal*. (Edição fac-similada de 1998).. Lisboa: Instituto Geológico e Mineiro.
- Hermosilha, H. T. & Matias, M. (2007). Caracterização interna da lixeira de Ílhavo. *Actas do 5º Simpósio de Metereologia e Geofísica da APMG*: 61-66. Peniche.
- Hermosilha, H. T. (2007). *Georadar - Conceitos e especificações*. Curso de Georadar, 26 e 27 de Março. Coimbra: Departamento de Ciências da Terra.

- Instituto do Ambiente (1980). *Atlas do Ambiente Digital*. Disponível online no sítio <http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp>.
- Instituto Geográfico do Exército (2000). *Carta Militar de Portugal 1:25 000*. Continente. Série M 888. Folha 238-A. Lisboa: Instituto Geográfico do Exército (IGE).
- Instituto Geográfico do Exército (2001). *Carta Militar de Portugal 1:25 000*. Continente. Série M 888. Folha 217. Lisboa: Instituto Geográfico do Exército (IGE).
- Instituto Geográfico do Exército (2001). *Carta Militar de Portugal 1:25 000*. Continente. Série M 888. Folha 228. Lisboa: Instituto Geográfico do Exército (IGE).
- Instituto Geográfico do Exército (2002). *Carta Militar de Portugal 1:25 000*. Continente. Série M 888. Folha 239. Lisboa: Instituto Geográfico do Exército (IGE).
- Instituto Geográfico e Cadastral. (1935). *Carta Corográfica de Portugal*, na escala 1/50 000. Folha 19-A Cantanhede. Lisboa: Instituto Geográfico e Cadastral.
- Johnson, A. I. (1967). *Specific Yield - Compilation of specific yields for various materials*. USGS Water-Supply Paper 1662-D.
- Jol, H. M. & Bristow, C. (2003). GPR in sediments: advice on data collection, basic processing and interpretation, a good practice guide. In Bristow, C. & Jol, H. M. (eds.). *Ground Penetrating Radar in Sediments. Geological Society of London, Special Publications 211*: 9-27.
- Kahle, M.; Kleber, M. & Jahn, R. (2002). Review of XRD-based quantitative analysis of clay minerals in soils: the suitability of mineral intensity factors. *Geoderma* 109: 191-205.
- Kalbus, E.; Reinstorf, F. & Schirmer, M. (2006). Measuring methods for groundwater-surface water interactions: a review. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10: 873-887.
- Keary, P. & Brooks, M. (1984). *An Introduction to geophysical exploration. Geosciences texts*, Volume 4. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Keller, J. (1962). *Relatório sobre furos de pesquisa e captação de água para abastecimento da Figueira da Foz*. Cascais: Autor.
- Keller, J. (1967). *Relatório sobre o trabalho de execução dos furos JK24 a JK28 de abastecimento de água à Figueira da Foz*. Cascais: Autor.
- Keller, J. (1981). *Relatório sobre o trabalho de execução dos furos de pesquisa e eventual captação para abastecimento de água à Figueira da Foz – furos JK31 e JK32*. Cascais: Autor.
- Konert, M. & Vandenberghe, J. (1997). Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of clay fraction. *Sedimentology* 44: 523-535.
- Krumbein, W. C. & Sloss, L. L. (1963). *Stratigraphy and Sedimentation*. San Francisco: W. H. Freeman and Company.

- Kübler, B. & Jaboyedoff, M., (2000). Illite crystallinity. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences – Series IIA – Earth and Planetary Science*. Vol. 331 (2): 75-89.
- Lewis, D. W. & McConchie, D. (1994a). *Practical Sedimentology* (2nd. Ed).. New York: Chapman & Hall.
- Lewis, D. W. & McConchie, D. (1994b). *Analytical Sedimentology* (2nd. Ed). New York: Chapman & Hall.
- Machadinho, A. T. (2008). *Aplicação de métodos gravimétricos na caracterização tectono-estrutural do bordo norte da serra da Boa Viagem*. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Machadinho, A., Pereira, L. & Figueiredo, F. (2008). Tectono-structural analysis of the Serra da Boa Viagem stratigraphic series (Central Portugal): preliminary study. *Abstracts of the International Meeting of Young Researchers in Structural Geology and Tectonics*: 557-560. Oviedo.
- Marques, J. (1997). O significado dos depósitos Quaternários do Baixo Mondego. *Seminário “O Baixo Mondego”*: 21-39. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Martín-Chivelet, J. (1996). Late Cretaceous subsidence history of the Betic Continental Margin (Jumilla-Yecla region, SE Spain). *Tectonophysics* 265(1995): 191-211.
- Martins, A. M. A.; Raposo, J. M.; Pimentel, M. H.; Silveira, S. M.; Sousa, A. C. & Raimundo, S. M. (2006). *Bases para um Plano de Requalificação das Lagoas do Litoral da Região Centro*. Coimbra: Comissão de Coordenação da Região Centro - Divisão do Litoral e da Conservação da Natureza
- Martins, V.; Dubert, J.; Jouanneau, J-M; Weber, O.; Ferreira da Silva, E. Patinha, C.; Dias, J. M. A. & Rocha, F. (2007). A multiproxy approach of the Holocene evolution of shelf-slope circulation on the NW Iberian Continental Shelf. *Marine Geology*, 239: 1-18.
- Martins, V.; Jouanneau, J-M; Weber, O. & Rocha, F. (2006). Tracing the late Holocene evolution of the NW Iberian upwelling system. *Marine Micropaleontology*, 56 (1): 35-55.
- McNeill, J. D.(1980). *Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers*. *Technical note TN-6*. Canada: Geonics Ltd.
- Medawar, P. B. (1964). Is the scientific paper a fraud? In D. Edge (Ed.). *Experiment*. London: BBC Publications.
- Melo, M. T. C. (2002). *Modelo matemático de fluxo e transporte de massa do sistema multiaquífero Cretácico da região de Aveiro*. Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro.
- Melo, M. T.C., Cabano, G. & Silva, M. M. (2002). Evolução hidrogeoquímica do Sistema Multiaquífero Quaternário de Aveiro, in *Actas do 6º Congresso da Água*. PDF 57:1-17. Porto: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- Milsom, John (2003). *Field Geophysics* (3rd Ed.). England: John Willey & Sons Ltd.

- Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações / Laboratório Nacional de Engenharia Civil (1994a). *Desenvolvimento de um inventário das águas subterrâneas de Portugal. Metodologias de análise da recarga de aquíferos*. Relatório 319/94 - GIAS. Dept. Hidráulica, Grup. Invest. Ág. Subt. L, Proc. 607/19/10665 (pp. 29-32). Lisboa: Autor.
- Ministério do Ambiente - Direcção Regional do Ambiente e Recursos Naturais do Centro (1997). *Rede Climatológica. Bacias Hidrográficas dos Rios Mondego, Vouga e Lis*. Coimbra: Autor.
- Ministério do Planeamento e administração do Território – Comissão de Coordenação da Região Centro (1992). *PROT Centro Litoral – Recursos Naturais do Centro Litoral. Sistemas aquíferos – Caracterização*. Coimbra: Autor.
- Missão Hidrográfica da Costa de Portugal. (1914). *Carta Litológica Submarina da Costa de Portugal - de Leixões ao Cabo Mondego*. Lisboa: Ministério da Marinha.
- Missão Hidrográfica da Costa de Portugal. (1914). *Plano Hidrográfico de Espinho ao Cabo Mondego*. (5ª Ed. com alterações introduzidas em 1936, 1939 e 1952).. Lisboa: Ministério da Marinha.
- Moore, D. M. & Reynolds, R. C. (1997). *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford: Oxford University Press.
- Morel, F. M. M. & Hering, J. G. (1993). *Principles and Applications of Aquatic Chemistry* (2 Ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Moura, R. P., Marques da Silva, M. A. & Senos Matias, M. (2002). Métodos Electromagnéticos e Detecção da interface água doce - água salgada na região de Aveiro. *Comunicações do Inst. Geol. e Mineiro* 84(2): E25-E28.
- Munsell (2000). *Munsell Washable Soil Color Charts*. USA: X-Rite.
- Nery Delgado, J. F. & Choffat, P. (1899). *Carta Geológica de Portugal*. Escala 1/500 000.
- Nielsen, E. (1998). Lake Winnipeg coastal submergence over the last three centuries. *Journal of Paleolimnology* 19, 335-342.
- Noivo, L. M. S. (1996). *Morfologia e dinâmica sedimentar das dunas de Quiaios, Portugal*. Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro.
- Odong, J. (2007). Evaluation of Empirical Formulae for Determination of Hydraulic Conductivity based on Grain-Size Analysis. *Journ. American Science* 3(3): 54-60.
- Ogilvy, R. D., Cuadra, A., Jackson, P. D. & Cuellar, V. (1991). Delineation of a resistive drainage channel by EM conductivity survey. *GeosExploration*, 28(1991): 139-152.
- Oliveira, O.O. (1983). *Origens da ria de Aveiro*. Aveiro: Câmara Municipal de Aveiro.
- Orellana, E. (1972). *Prospección geoelectrica en corriente continua*. Madrid: Parainfo.
- Ozler, H. M. (2003). Hydrochemistry and salt-water intrusion in the Van aquifer, east Turkey. *Environmental Geology* 43: 759-775.

- Pacheco, D., Pereira, R. M. C., Lopes, C. P., Cybron, R., Câmara, H. G., Brito, A. G., Santos, C. R., Rodrigues, A. & Santana, F. P. (2002). Diagnóstico e estratégia de requalificação ambiental da Lagoa das Sete Cidades. *Actas do 6º Congresso da Água*, PDF 74: 1-14. Porto: 18-22 de Março de 2002.
- Pais, J. & Barbosa, B. (1989). Análise polínica de argilas de Lagoa Negra. *Ciências da Terra (UNL)* Nº10: 41-50.
- Parasnis, D. S. (1997). *Principles of Applied Geophysics* (5th Ed). Sítio: Chapman & Hall.
- Paredes, R.; Callapez, P. M. ; Danielsen, R.; Dinis, P.; Carvalho, M. & Soares, A. F. (2006). Paleocologia da malacofauna salobra e biofácies da laguna holocénica de Leirosa (Figueira da Foz). *Actas do VII Congresso Nacional de Geologia: 737-740*. Estremoz.
- Peixinho de Cristo, F. (1985). *Estudo Hidrogeológico do Sistema Aquífero do Baixo Vouga*. Coimbra: Direcção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Divisão de Geohidrologia.
- Pe-Piper, G.; Dolansky, L. & Piper, D. J. W. (2005). Sedimentary environment and diagenesis of the Lower Cretaceous Chashwood Formation, southeastern Canada: the origin of kaolin-rich mudstones. *Sedimentary Geology*, 178: 75-97.
- Pereira, H. G. (1990). *Análise de dados geológico-mineiros. Aplicações e estudo metodológico*. Tese de Agregação. Instituto Superior Técnico.
- Pereira, L. C. G. (2008). A região da Figueira da Foz no contexto da cadeia Central Ibérica. Notas para a sua compreensão. In F. C. Lopes & P. M. Callapez (Eds.), *Por Terras da Figueira: 29 -34*. Figueira da Foz: Kiwanis Club.
- Pereira, R. M. (1997). *Plano de Ordenamento e Gestão das Lagoas das Braças e da Vela (Centro-Litoral)*. Tese de Mestrado. Universidade de Coimbra.
- Pereira, V. (1989). Podzóis da região de Mira. I- Caracterização Geral. *Geociências, Rev. Univ. Aveiro*, Vol. 4 (2): 123-135.
- Pestana, G.C.N. (1926). *Relatório dos Serviços Realizados nos Perímetros Encorperados na 5.ª Regência Florestal*. Relatório final do curso de engenheiro silvicultor. Figueira da Foz, Portugal: Tipografia Popular.
- Pinheiro, L. M.; Wilson, R. C. L.; Pena dos Reis, R.; Whitmarsh, R. B. & Ribeiro A. (1996). The westerns Iberia Margin: a geophysical and geological overview. In Whitmarsh, Sawyer, Klaus & Masson (Eds.) *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, Vol. 149: 1-24.
- Powers, M. C. (1953). A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, 23: 17-119.
- Ramos, A. M. (2000). *Organização e Significado dos Depósitos Mais Recentes da Zona Vestibular do Rio Mondego*. Tese de Mestrado: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

- Rei, M. A. (1913). *Submissão ao regimen florestal do prazo de Santa Marinha de Quiaios (Serra da Boa Viagem), Figueira da Foz*. Figueira da Foz: Tipografia Popular.
- Rei, M. A. (1924). *Pinhais e dunas de Mira: subsídios para a sua história: 1919 a 1924*. Figueira da Foz: Autor.
- Rei, M. A. (1925). *Arborização da Serra da Boa Viagem da Figueira da Foz: subsídios para a sua história - 1911-1925*. Figueira da Foz: Tipografia Popular.
- Rei, M. A. (1940). *Arborização: alguns artigos de propaganda regionalista*. Figueira da Foz: Tipografia Costa.
- Reis, R. P. (1983). *A Sedimentologia de Depósitos Continentais. Dois Exemplos do Cretácico Superior - Miocénico de Portugal*. Tese de Doutotamento: Universidade de Coimbra.
- Reis, R. P.; Corrochano, A.; Bernardes, C.; Cunha, P. M. R. R. P. & Dinis, J. M. L. (1992). O Meso-Cenozóico da Margem Atlântica Portuguesa. *Excursiones, III Cong. Geol. España / VIII Cong. Lat-Amer. Geol.*: 115-138. Salamanca.
- Reis, R. P.; Soares, A. F. & Telles Antunes, M. (1984). As Areias e Argilas de Silveirinha. *Memórias e Notícias*, Nº 91-92: 245-267.
- Reynolds, J. M. (1997). *An introduction to Applied and Environmental Geophysics*. New York: John Wiley & Sons.
- Reynolds, R. C. (1980). Interstratified Clay Minerals: in Brindley, G. W. & Brown, G., editors, *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification*. Monografia nº5. London: Mineralogical Society: 249-304.
- Ribeiro, C. & Nery Delgado, J. F. (1876). *Carta Geológica de Portugal*. Escala 1/500 000.
- Ribeiro, O. (1941). A cultura do milho, economia agrária e povoamento. *Biblos XVII (II)*: 645-663.
- Rocha, R. B.; Manupella, G.; Mouterde, R; Ruget, C. & Zbyszewski, G. (1981). *Carta Geológica de Portugal. Notícia Explicativa da Folha 19-C. Figueira da Foz*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- Rocha, F. & Bernardes, C. (1997). Caracterização mineralógica dos níveis lodosos no sistema de dunas costeiras a Sul do Cabo Mondego (Leirosa, Portugal). *Estudos do Quaternário 1*: 67-72.
- Rocha, F. Galhano, A. C. & Gomes, C. (1999). Characterization and datation of Holocene mud layers from the subsoil of the urban area of Aveiro (Portugal). *Cuaternário Y Geologfología*, 13 (1-2): 45-52.
- Rocha, F. J. F. T. (1993). *Argilas Aplicadas a Estudos Litostratigráficos e Paleoambientais na Bacia Sedimentar de Aveiro*. Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro.
- Rodrigues, A., Magalhães, F. & Dias, J.M.A. (1991). Evolution of the North Portuguese Coast in the last 18,000 years. *Quaternary International 9*: 67-74.
- Rosenbaum, G.; Lister, G. S. & Duboz, C. (2002) Relative motions of Africa, Iberia and Europe during Alpine orogeny. *Tectonophysics 359(2002)*: 117-129.

- Sanders, L. L. (1998). *A Manual of Field Hydrogeology*. New Jersey: Prentice Hall.
- Scholz, C. A., Cohen, A. S., Johnson, T. C., King, J. W & Moran, K (2006). The 2005 Lake Malawi Scientific Drilling Project. *Scientific Drilling 2* (March2006): 17-19.
- Selley, R.C. (1982). *Ancient sedimentary environments* (2nd Ed.). Ithaca:New York, Cornell University Press.
- Selley, R.C. (1988). *Applied Sedimentology*. London: Academic Press.
- Serrano, J. A. P. F. & Garcia, P. C. S. (1997). *Piezometria da Região Centro*. Coimbra: Divisão dos Recursos Hídricos, Direcção Geral do Ambiente do Centro.
- Serviços Geológicos de Portugal (1972). *Carta Geológica de Portugal*. Escala 1/500 000. Lisboa: SGP.
- Shepard, F. P. (1954). Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24: 151-158.
- Sibuet, J. C; Srivasyava, S. P. & Spakman, W. (2004). Pyrenean orogeny and plate kinematics. *Journal of Geophysical Research*, 109, B08104.: 1-18.
- Siegel, F. R. (2002). *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals*. New York: Springer.
- Silva, A. P.; Machado, A.; Rocha, F. & Gomes, C. (1997). Depósitos Quaternários da praia de Cortegaça (Ovar): caracterização mineralógica, evolução paleoambiental e oscilações climáticas. *Estudos do Quaternário*, 1: 73-82.
- Silva, M. A. M. (1990). *Hidrogeologia del sistema multiacuífero del Bajo Vouga - Aveiro (Portugal)*. Tese de Doutoramento. Facultad de Geologia, Universidad de Barcelona.
- Silva, M. M. & Ramalho, E. C. (2002). Utilização semi-quantitativa de diagrfias em hidrogeologia - um exemplo do Cretácico de Aveiro. *Comunicações do Inst. Geol. e Mineiro* 84(2): E29-E32.
- Soares, A. F. & Godinho, M. M. (1978). Sobre a Ocorrência de Copiapite na Orla meso-cenozóica Ocidental de Portugal. *Ciências da Terra* (UNL). Nº4: 179-190.
- Soares, A. F. & Gomes, C. R. (1997). A Geologia do Baixo Mondego (Organização do Mesozóico). *Seminário "O Baixo Mondego"*: 5-20. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Soares, A. F. (1966). Estudo das formações pós-jurássicas da região entre Sargento-Mor e Montemor-o-Novo (margem direita do rio Mondego). *Memórias e Notícias* Nº 62: 1-343.
- Soares, A. F. (1993). O tempo das caretas. *Actas da 3ª Reunião do Quaternário Ibérico*: 363-375. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Soares, A. F. (1999). As unidades pliocénicas e quaternárias no espaço do Baixo Mondego (uma perspectiva de ordem). *Estudos do Quaternário* 2: 7-17.
- Soares, A. F.; Barbosa, B. P. & Pena dos Reis, R. P. B. (1982). Esboço de enquadramento cronostratigráfico das unidades líticas pós-jurássicas da Orla Meso-Cenozóica Ocidental entre os paralelos de Pombal e Aveiro. *Memórias e Notícias*, Nº 93.

- Soares, A. F.; Cunha, L. & Marques, J. F. (1989). Depósitos quaternários do Baixo Mondego. Tentativa de coordenação morfogenética. *Actas da II Reunião do Quaternário Ibérico*: 803-812. Madrid.
- Soares, A. F.; Cunha, L. Almeida, A. C. & Marques, J. F. (1992). Depósitos quaternários do Baixo Mondego. Estado actual dos conhecimentos e tentativa de coordenação morfogenética. *Actas do VI Colóquio Ibérico de Geografia*: 1-14. Porto: Universidade do Porto.
- Soares, A. F.; Cunha, L.; Marques, J. F. & Almeida, A. C. (1993). Depósitos de vertente no Cabo Mondego. Integração no modelo evolutivo do Quaternário no Baixo Mondego. *Actas da III Reunião do Quaternário Ibérico*: 199-208. Coimbra.
- Soares, A. F.; Ramos, A. M. & Marques, J. F. (1998). Os depósitos mais recentes da margem direita do Mondego entre Coimbra e Montemor-o-Velho. *Cadernos de Geografia*, nº17: 73-79.
- Somay, A. M. & Filiz, S. (2003). Hydrology, hydrogeology and hydrochemistry of wetlands: a case study in Izmir Bird Paradise, Turkey. *Environmental Geology* 43: 825-835.
- Sposito, G. (1984). *The Surface Chemistry of Soils*. New York: Oxford University Press.
- SPSS (2001). *The SPSS TwoStep Cluster Component*. White paper - technical report TSCWP - 0101. USA: SPSS Inc.
- SPSS (2007). *SPSS Base 16.0 User's Guide*. USA: SPSS Inc.
- Stumm, W. & Morgan, J. J. (1996). *Aquatic Chemistry. Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters* (3rd Ed). New York: John Wiley & Sons Inc.
- Teixeira, C.; Pais, J. & Rocha, R. (1979). *Quadros de Unidades Estratigráficas e da Estratigrafia Portuguesa*. Lisboa: Inst. Nac. Invest. Científica.
- Teixeira, F. C. & Pinheiro, L. M. (1998). Contribuição para o estudo da evolução geológica da Ria de Aveiro e da Plataforma Continental Adjacente. *Actas do V Congresso Nacional de Geologia*. Tomo 84, Fascículo I: E43- E46. Lisboa.
- Teixeira, S. L. R. B. (1994). *Dinâmica Morfo-sedimentar da Ria de Aveiro (Portugal)*. Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa.
- Telford, W. M.; Geldart, L. P.; Sheriff, R. E. & Keys, D. A. (1976). *Applied Geophysics*. New York: Cambridge University Press.
- Telford, W. M.; Geldart, L. P.; Sheriff, R. E. & Keys, D. A. (1990). *Applied Geophysics* (2nd. Ed.). New York: Cambridge University Press.
- Thorez, J. (1976). *Practical Identification of clay minerals*. G. Lellote Belgique.
- Thorez, J., Bourguignon, P. & Paepe, R. (1970). Étude préliminaire des associations de minéraux argileux des loess pleistocènes en Belgique. *Ann. Soc. Geol. Belgique*, 3: 265-285.
- Tonicher, P. M. C. (1998). *Estratigrafia e Paleobiologia do Cenomaniano-Turoniano - O significado do eixo da Nazaré-Leiria- Pombal*. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra.

- Vries, J. J. & Simmers, I (2002). Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. *Hydrogeology Journal* 10: 5-17.
- Walker, R.G. & James, N.P. (1992). *Facies models: response to sea level change*. St. John, Newfoundland: Geol. Association of Canada.
- Weight, W. D. & Sonderegger, J. L. (2000). *Manual of Applied Field Hydrogeology*. New York: McGraw-Hill.
- Wilson, M. J. & MacEwan, D. M. C. (1980). Interlayer and Intercalation Complexes of Clay Minerals: in Brindley, G. W. & Brown, G., editors, *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification*. Monografia nº5. London: Mineralogical Society: 197-248.
- Winter, T. C.; Harvey, J. W.; Franke, O. L. & Alley, W. M. (1998). Ground water and surface water: a single resource. *U. S. Geological Survey Circular* nº 1139.
- Zeuner, F. (1945). *The Pleistocene Period. Its Climate, chronology and faunal successions*. London: Bernard Quaritch, LTD.
- Zhang, T., Ramakrishnon, R. & Livny, M. (1996). BIRCH: An efficient data clustering method for very large databases. *Proceedings of the ACM SIGMOD Conference on Management of Data*: 103–114. Montreal, Canada.
- Zhinsheng, A., Li, A. Yougui, S. & Colman, S. M. (2006). Lake Qinghai Scientific Drilling Project. *Scientific Drilling* 2 (March2006): 20-22.

