

As Águas Subterrâneas e o Abastecimento de Água a Lisboa - As Captações da EPAL

EPAL Technical Editions

As Águas Subterrâneas e o Abastecimento de Água a Lisboa-As Captações da EPAL

EPAL Technical Editions

Edição: EPAL, Empresa Portuguesa das Águas Livres S.A.

Autor: João Lopo Mendonça

Coordenação Técnica: Conceição Almeida e Francisco Serranito

Design gráfico e paginação: António Carvalho

Fotografia (exceto onde assinalado): António José Canaveira

Apoio e cedência de imagens: EPAL-CDHT - Museu da Água - Centro de Documentação Histórica e Técnica da EPAL

Impressão e acabamento: Página Ímpar

1ª edição dezembro, 2018, 300 exemplares

ISBN : 978-989-8620-06-4

Dep. Legal:

Aviso Legal

A EPAL e os autores não se responsabilizam por qualquer perda ou dano sofrido por qualquer pessoa ou entidade que atue ou se abstenha de agir sobre qualquer informação ou omissão contida nesta publicação.

A referência a determinadas marcas, empresas ou produtos não implica que sejam aprovados ou recomendados pela EPAL ou pelos autores em detrimento de outros de natureza similar que não são mencionados nesta publicação.

Para referir esta publicação: Mendonça, J. L. (2018), As Águas Subterrâneas e o Abastecimento de Água a Lisboa-As Captações da EPAL. EPAL, Empresa Portuguesa das Águas Livres S.A., Lisboa. 228 pp.
ISBN : 978-989-8620-06-4

índice

Preâmbulo e Nota Prévia

1. As águas subterrâneas e o abastecimento de água a Lisboa	21
2. Uma síntese sobre a hidrogeologia de Portugal	41
2.1 Maciço Hespérico	41
2.2 Orla Ocidental	51
2.3 Orla Meridional	65
2.4 Bacia do Tejo-Sado	68
3. Campos de furos de captação em aluviões do Tejo	71
3.1 Introdução	71
3.2 O sistema aquífero Aluviões do Tejo (T7)	72
3.3 Campo de captações de Valada I	76
3.4 Campo de captações de Valada II	79
3.5 Campo de captações de Valada III	80
3.6 Campo de captações de Valada IV	82
3.7 Campo de captações de Espadanal	86
3.8 Campo de captações de Quinta do Campo	91
3.9 Campo de captações do Carregado	94
4. Campos de captações no sistema aquífero terciário do Tejo-Sado	101
4.1 Campo da Lezíria I	103
4.2 Pesquisa e captação de água subterrânea na margem direita do Tejo entre Carregado e Santarém	106
4.3 Campos de captações de Lezíria II e Lezíria III	120
4.3.1 Trabalhos de pesquisa	121
4.3.2 Trabalhos de captação	124
4.3.3 Hidrogeoquímica e qualidade da água	128
4.4 Reposição da capacidade de produção das captações da Lezíria II	132

5. Captações da EPAL em calcários mesozoicos: Alviela, Alenquer e Ota	137
5.1 O escoamento da água subterrânea nos calcários	137
5.2 A nascente do Alviela e o escoamento de água subterrânea no sistema aquífero Maciço Calcário Estremenho	141
5.3 As captações de Ota e Alenquer e o sistema aquífero Ota-Alenquer	149
5.3.1 As captações de Alenquer	153
5.3.2 A exploração recente dos furos de captação de Alenquer	157
5.3.3 As captações de Ota	159
5.3.4 A exploração recente dos furos de captação de Ota	160
6. Pesquisa de água no sistema aquífero Aluviões do Tejo na margem direita a montante e a jusante de Santarém e na margem esquerda em Mouchão d'Eça	165
6.1 Pesquisa nas aluviões a montante e jusante de Santarém e zona de Valada	165
6.1.1 Trabalhos realizados na primeira fase	168
6.1.2 Trabalhos realizados na segunda fase	174
6.1.3 Trabalhos realizados na terceira fase	176
6.1.4 Conclusões do estudo	178
6.2 Pesquisa nas aluviões da margem esquerda do Tejo em Mouchão d'Eça	179
7. Pesquisa no sistema aquífero Tejo-Sado ao longo do traçado do aqueduto do Alviela	183
8. Pesquisa e prospeção de água no sistema aquífero terciário do Tejo-Sado nas zonas A e B do plano diretor da EPAL	193
8.1 Furos de pesquisa na zona A	193
8.2 Projeto das captações na zona A	206
8.3 Estudo hidrogeológico de pré-viabilidade da zona B	208
9. Apêndice I	
9.1 Componentes de um furo de captação de água subterrânea com tubagem telescópica	213
10. Apêndice II	
10.1 Legenda dos diagramas de caixa e bigodes	214
11. Apêndice III	
11.1 Glossário de termos hidrogeológicos e geológicos	215
BIBLIOGRAFIA	221

Índice FIGURAS Pág.

CAPÍTULO I		
Figura 1.1	Cisterna e poço no castelo de S. Jorge atribuídos por Romariz (2006) à época de ocupação árabe	21
Figura 1.2	Chafariz d'El Rei	22
Figura 1.3	Nascentes do canal adutor do Olival do Santíssimo em arenitos cretácicos	23
Figura 1.4	Aqueduto de Águas Livres (vista parcial na travessia do vale de Alcântara)	24
Figura 1.5	Chafarizes do largo do Rato e do largo do Carmo	25
Figura 1.6	Arranjo de nascente (bica) no bairro da Bica	25
Figura 1.7	Nascente do Alviela em período de final de seca (Dezembro de 2017)	26
Figura 1.8	Entrada da água no Canal do Alviela	26
Figura 1.9	Trecho inicial do Aqueduto do Alviela, à saída da origem	27
Figura 1.10	Vista parcial da arcada do Aqueduto do Alviela em Louriceira	27
Figura 1.11	Vista atual parcial do campo de captações do Carregado	28
Figura 1.12	Quadro de azulejos com uma quadra de elogio ao canal e à água	29
Figura 1.13	Campo de captações da Quinta do Campo: edifício de apoio aos trabalhadores e posto de transformação elétrico, e caseta do poço Hebard com a tubagem adutora	30
Figura 1.14	Campo de captações da Quinta do Campo: em primeiro plano a caseta do poço Hebard construído na década de 1930 e, mais afastada, a caseta do furo de captação ACP1 construído em 1962	30
Figura 1.15	Entrada do campo de captações de Espadanal com as casetas, soerguidas em relação à superfície do terreno, de dois furos de captação no sistema aquífero aluvionar do Tejo. É também visível a cabeça de um furo, com parte da tubagem de elevação, que capta nas formações do sistema aquífero terciário (ACP500-1)	31
Figura 1.16	Estação de desferrização da água do Espadanal	31
Figura 1.17	Casetas sobre-elevadas dos furos de captação de Valada I dispostas num alinhamento com direção NW-SE e afastadas entre si cerca de uma centena de metros	31
Figura 1.18	Vista do campo de captações de Alenquer com caseta enterrada de um furo de captação, no canto inferior direito da fotografia, e outra, a meio, entre a planta florida e o alinhamento dos edifícios de apoio técnico	32

Índice FIGURAS Pág.

Figura 1.19	Furo de captação de Alenquer em caseta enterrada e equipado com uma eletrobomba submersível	32
Figura 1.20	Vista parcial do campo de captação de Ota com a caseta do furo ACP2 em primeiro plano e a caseta do ACP1 no final do alinhamento dos edifícios	33
Figura 1.21	Interior da caseta do furo de captação ACP2 de Ota com motor da bomba de eixo vertical e equipamento elétrico e de controlo da exploração	33
Figura 1.22	Furo de captação nas aluviões do campo de Valada II (ACP19 e edifícios)	33
Figura 1.23	Operações relativas à eliminação de uma captação de Lezíria I	33
Figura 1.24	Furo AC-ME3 (Valada) com artesianismo repuxante de 70 L/s	33
Figura 1.25	Furo de captação no Miocénico profundo em Valada I (ACP500-1)	33
Figura 1.26	Central elevatória da água dos furos artesianos de Valada I: poço de chegada e de bombeamento da água de uma das captações; conduta do furo para o poço de chegada (conduta horizontal), coluna de elevação da bomba (vertical sobre o poço de chegada) e conduta adutora para o canal Tejo com cotovelo de 90 °	34
Figura 1.27	Sala da central elevatória com três bombas, uma para cada poço de chegada da água do artesianismo	34
Figura 1.28	Evolução do consumo de água em Lisboa	34
Figura 1.29	Grupo GI de Lezíria II com o furo ACP500-1A em primeiro plano, o depósito de cloro do Posto de Cloragem da Lezíria a meio e, ao fundo, o edifício com o equipamento eletromecânico e de controlo da exploração; o furo está localizado do lado de Vila Franca de Xira relativamente ao edifício	36
Figura 1.30	Furo ACP250-1A, localizado do lado de Porto Alto relativamente ao edifício do GI	36
Figura 1.31	Furo ACP-23 do campo de captação de Valada III, junto do perímetro das instalações da estação elevatória da captação de Valada-Tejo	37
Figura 1.32	Furo ACP-22 do campo de captação de Valada III, junto ao pé interior do dique de proteção do Tejo	37
Figura 1.33	Poço de drenos horizontais de Valada IV	38
Figura 1.34	A contribuição das diferentes origens de água da EPAL em 1985	39
Figura 1.35	Campos de captação de água subterrânea da EPAL em 1985	39
Figura 1.36	Panorâmica da barragem e albufera de Castelo de Bode com a torre de captação	39

Índice FIGURAS Pág.

CAPÍTULO II		
Figura 2.1	Unidades hidrogeológicas de Portugal Continental (a) e sistemas aquíferos de Portugal Continental (b)	41
Figura 2.2	Escoamentos subterrâneos em meios fraturados: granitos (A e B), xisto e grauvaques (C e D) e filão de quartzo (E)	42
Figura 2.3	Exemplos de estruturas geológicas que podem condicionar o escoamento de água subterrânea: caixa de falha em xistos e grauvaques do Carbónico (A); superfície de falha com estrias subverticais em quartzitos de Sandim (B); falha oblíqua com brecha de falha de dimensão centimétrica em xistos e grauvaques do Carbónico (C); falha no plano axial de dobra em grauvaques do Carbónico com brecha consolidada (D)	42
Figura 2.4	Exemplos de minas de água do abastecimento da vila de Manteigas da empresa Águas do Vale do Tejo, S.A. (AdVT) cujas entradas estão protegidas por casetas e localizam-se em encostas muito íngremes de rochas metassedimentares do Grupo das Beiras do Supergrupo Dúrico-Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico); nestes casos estão a cerca de duas a três centenas de metros abaixo da superfície de aplanamento da ordem de 1250 m de altitude observável na fotografia (A)	43
Figura 2.5	Arranjos de nascente em granitos e xistos e grauvaques	43
Figura 2.6	Galerias ou minas em rochas fraturadas, neste caso como origens de água para o abastecimento público de Manteigas da empresa AdVT	44
Figura 2.7	Poços e furos no maciço antigo: poço (A), poço com nora (B), furo vertical (C), furo horizontal (D), poço com drenos horizontais em aluviões do Mondego (E)	44
Figura 2.8	Geologia e estrutura local do sinclinal de Castelo de Vide	45
Figura 2.9	Abatimento de cavidade cársica cerca de 1,5 km a WNW de Porto Espada	46
Figura 2.10	Troço da vertente (caleira) sobranceira aos antigos fornos da cal de Escusa	46
Figura 2.11	Furos do campo de captação de Olhos de Água de Aramenha da empresa AdVT	47
Figura 2.12	Enquadramento hidrogeológico do sistema aquífero de Estremoz-Cano	48
Figura 2.13	Representação esquemática das direções preferenciais do sentido de fluxo de água subterrânea no anticlinal de Estremoz	48
Figura 2.14	Pedreira de mármore com o fundo inundado	49
Figura 2.15	Superfície da água no interior do algar das Morenas à profundidade estimada de 60 m	49

Índice FIGURAS Pág.

Figura 2.16	Imagens capturadas da endoscopia do furo junto do algar das Morenas: NHE à profundidade de 60,25 m e cavidade cársica abaixo dos 63 m de profundidade.	50
Figura 2.17	Captação de água no algar das Morenas da empresa AdVT para o abastecimento da vila de Alandroal: troço superior do algar das Morenas revestido com parede de betão armado, coluna de elevação da água e cabos elétricos (A); topo da bomba submersível com união na saída para a mangueira de elevação da água (B); ralo da bomba preso por abraçadeira de plástico e aperto rápido (C); fundo do algar recoberto por camada de detritos finos e blocos e uma ponta de cabo perdida (D).	50
Figura 2.18	Salinas de Rio Maior	51
Figura 2.19	Sistema Aquífero Sicó-Alvaiázere	52
Figura 2.20	Corte geológico esquemático entre as serras de Sicó e Alvaiázere	53
Figura 2.21	Saídas naturais do sistema aquífero Sicó-Alvaiázere	53
Figura 2.22	Nascente de Anços no período de seca severa do ano de 2017 (fotografia superior de 2 de Novembro de 2017) e após alguns dias de chuva no final do ano de 2017	54
Figura 2.23	Comparação das estatísticas do caudal das nascentes dos setores oeste (Arrifana, Anços e Ourão) e este (Dueça, Alcamouque, Alvirge e Ansião) do sistema aquífero Sicó-Alvaiázere.	55
Figura 2.24	Nascente do Agroal com saída da água para uma piscina, na margem esquerda do rio Nabão, e água muito turva no rio	55
Figura 2.25	Açude em Porto de Cavaleiros	56
Figura 2.26	Nascentes da Mendacha: nascente junto à margem do rio Nabão com evidência da separação da água cristalina da nascente da água turva no rio (A) e nascente no leito junto à margem do rio em dia sem turvação (B)	56
Figura 2.27	Vista da escarpa de Nª Senhora da Nazaré a partir da estrada que sobe de Anços para a serra de Sicó (A), e vista do miradouro de Nª Senhora da Nazaré em direção a W onde se aprecia a morfologia suave e ondulada e a orientação dominante, próxima de NS, dos relevos em arenitos e argilitos cenozoicos (B)	57
Figura 2.28	Arenitos do Cretácico inferior em afloramentos do sistema aquífero de Tentúgal (A) e do sistema aquífero de Ourém (B)	58
Figura 2.29	Sedimentos sub-horizontais plio-pleistocénicos indiferenciados, recobertos por dunas e areias de duna do sistema aquífero Leirosa-Monte Real	59

Índice FIGURAS Pág.

Figura 2.30	Sistema lagunar de Linhos (A) e nascente no leito da lagoa (B)	59
Figura 2.31	Lagoa da Ervedeira	60
Figura 2.32	Lagoas artificiais cujo nível da água representa o afloramento do nível freático	60
Figura 2.33	Lagoa artificial resultante da exploração submersa atual de inertes e cujo nível da água representa o afloramento do nível freático	61
Figura 2.34	Zona das nascentes difusas (A) onde se inicia o escoamento da ribeira de Nasce Água (B)	61
Figura 2.35	Ribeira de Nasce Água junto do pequeno povoado de Nasce Água (A) e no canal da Azenha de Cavadas, cerca de 3 km a jusante (B)	62
Figura 2.36	Ribeira de Nasce Água na povoação da Aroeira: "trop plein" de uma derivação da ribeira que lança os excedentes novamente para o curso de água (A) e que liga por comporta a um canal de rega (B)	62
Figura 2.37	Arranjo de nascente e nascente difusa ao lado: é visível a presença de um gel alaranjado próximo das emergências	62
Figura 2.38	Leito da linha de água recoberto por gel bacteriano e óxidos/hidróxidos de ferro (vista de montante para jusante)	62
Figura 2.39	Distribuição da profundidade e produtividade dos furos no sistema aquífero Leirosa-Monte Real	63
Figura 2.40	Distribuição da transmissividade e do caudal específico dos furos no sistema aquífero Leirosa-Monte Real	63
Figura 2.41	Fácies da água dos furos localizados no diapiro e na orla costeira do sistema aquífero Leirosa-Monte Real	64
Figura 2.42	Distribuição da concentração do cloreto, do bicarbonato e do sulfato da água dos furos no sistema aquífero Leirosa Monte-Real	64
Figura 2.43	Fontes de Estômbar: aspeto geral com descarga das nascentes superiores em maré cheia (A); nascente superior (B); Pego Azul em maré baixa (C); gruta de Ibn 'Ammar (D)	65
Figura 2.44	Produtividade das captações inventariadas no sistema aquífero Querença-Silves	66
Figura 2.45	Fácies das águas do sistema aquífero Querença-Silves: as águas de nascentes são evidenciadas a cor vermelha	67
Figura 2.46	Distribuição espacial dos valores da concentração em sódio (Na) da água dos furos no sistema aquífero Querença-Silves (os valores 20 mg/L e 150 mg/L correspondem ao VMR e ao VMA, respetivamente, do Anexo I do Decreto-Lei nº 236/98)	67
Figura 2.47	Perfil geológico da bacia do Baixo Tejo	68

Índice FIGURAS Pág.

CAPÍTULO III

Figura 3.1	Localização dos campos de captação de Valada	71
Figura 3.2	Enquadramento litostratigráfico do sistema aquífero Aluviões do Tejo	72
Figura 3.3	Topografia do substrato ante-Quaternário do sistema aquífero Aluviões do Tejo	73
Figura 3.4	Distribuição dos valores da transmissividade do sistema aquífero Aluviões do Tejo	74
Figura 3.5	Representação gráfica das estatísticas das amostras do caudal específico dos furos no sistema aquífero Aluviões do Tejo.	74
Figura 3.6	Distribuição dos valores do caudal específico dos furos localizados no sistema aquífero Aluviões do Tejo	74
Figura 3.7	Estatísticas de algumas características da perfuração e tubagem dos furos de prospeção/pesquisa hidrogeológica realizados em Valada, na década de 1940, pela empresa J. Keller	76
Figura 3.8	Localização dos furos de captação em Valada I	77
Figura 3.9	Perfil geológico esquemático, passando pelos furos de captação de Valada I	77
Figura 3.10	Caraterísticas da perfuração e tubagem de revestimento definitivo dos furos de captação nas aluviões de Valada I.	77
Figura 3.11	Furo/Poço-tipo das captações de Valada I	78
Figura 3.12	Produtividade dos nove furos de captação da 2ª geração de Valada I	78
Figura 3.13	Fácies da água dos furos de captação de Valada I	79
Figura 3.14	Localização dos furos de captação de Valada II	79
Figura 3.15	Características da perfuração e da tubagem de revestimento de furos de pesquisa e de captação construídos em Valada II	79
Figura 3.16	Fácies da água dos furos de captação de Valada II comparada com a dos furos de Valada I	80
Figura 3.17	Localização dos furos de pesquisa e dos furos de captação de Valada III	80
Figura 3.18	Características da perfuração e da tubagem dos furos de pesquisa e de captação construídos em Valada III	81
Figura 3.19	Produtividade dos furos de captação de pesquisa e de captação de Valada III	81
Figura 3.20	Fácies da água dos furos de captação de Valada III comparada com a dos furos de Valada I e Valada II	81
Figura 3.21	Localização do poço de drenos horizontais, AC-PDH1, em Valada IV	82
Figura 3.22	Corte interpretativo do levantamento geoelectrico, paralelo ao rio Tejo	83

Índice FIGURAS Pág.

Figura 3.23	Resultados dos ensaios de produtividade dos furos de pesquisa de Valada IV (ACA24V a ACA31V)	83
Figura 3.24	Localização dos furos de Valada IV e superfície piezométrica induzida por bombeamento da captação ACP25	84
Figura 3.25	Estatísticas principais das amostras dos valores da transmissividade calculados através de ensaios de bombeamento em Valada IV	84
Figura 3.26	Estatísticas principais valores do coeficiente de armazenamento calculados através de ensaio de bombeamento em Valada IV	84
Figura 3.27	Poço de drenos horizontais (AC-PDH1)	85
Figura 3.28	Pormenor dos drenos do nível I do AC-PDH1	85
Figura 3.29	Tipologia da água do AC-PDH1 de Valada IV comparada com a dos furos de Valada I, Valada II e Valada III (em particular com a água do ACP25)	86
Figura 3.30	Localização do campo de captações de Espadanal	86
Figura 3.31	Corte geológico esquemático com direção NNW-SSE, aproximadamente perpendicular ao alinhamento dos furos de captação do campo de Espadanal	87
Figura 3.32	Produtividade dos furos de captação do Espadanal da geração de 1937/38	87
Figura 3.33	Localização dos furos de pesquisa e captação da geração de 1956/57 em Espadanal	87
Figura 3.34	Perfil geológico esquemático, passando pelos furos de captação de Espadanal	88
Figura 3.35	Características da perfuração e da tubagem dos furos de captação construídos em Espadanal.	88
Figura 3.36	Representação gráfica parcial dos resultados do ensaio de caudal do furo de captação ACP8 de Espadanal	89
Figura 3.37	Representação gráfica das estatísticas principais das três amostras de valores da transmissividade no Espadanal, conforme o método interpretativo	89
Figura 3.38	Localização dos furos de pesquisa AC10 a AC13 entre Espadanal e Valada	89
Figura 3.39	Caraterísticas das tubagens dos furos de pesquisa construídos na região de Espadanal-Azambuja	90
Figura 3.40	Resultados dos ensaios de produtividade dos furos de pesquisa na região de Espadanal-Azambuja	90

Índice FIGURAS Pág.

Figura 3.41	Fácies da água dos furos de captação de Espadanal (colheita de 28-2-1967) e comparação com a água dos furos dos campos de captação aluvionares localizados a montante.	90
Figura 3.42	Localização do campo de captação da Quinta do Campo	91
Figura 3.43	Corte vertical do poço Hebard em Quinta do Campo	91
Figura 3.44	Localização das captações e furos de pesquisa e observação em Quinta do Campo (são indicadas as cotas do topo das tubagens definitivas dos furos)	92
Figura 3.45	Caraterísticas da coluna de revestimento definitivo dos furos de pesquisa e do furo de captação em Quinta do Campo	92
Figura 3.46	Fácies da água dos furos de captação de Quinta do Campo (colheita de 28-2-1967) e comparação com a água dos furos dos campos de captação aluvionares localizados a montante	93
Figura 3.47	Localização do campo de captação de água subterrânea do Carregado	94
Figura 3.48	Alinhamento dos furos de captação (P1 a P6) do campo do Carregado, construídos pela empresa J. Keller em 1935, e a localização dos furos de pesquisa (com a designação C).	94
Figura 3.49	Corte geológico esquemático com a representação dos seis furos de captação do campo do Carregado, construídos em 1935	94
Figura 3.50	Corte longitudinal de um tubo filtrante em grés cerâmico, da marca "Schoenebeck"	95
Figura 3.51	Corte transversal de um tubo filtrante em grés cerâmico, com destaque para o filtro zonado	95
Figura 3.52	Localização dos furos de captação renovados do campo do Carregado (construção em 1953/1955)	96
Figura 3.53	Características dimensionais da tubagem dos furos de captação renovados, construídos em 1953/1955	96
Figura 3.54	Resultados dos ensaios de caudal no decurso da verificação das captações PR1, PR3 e PR4 no final da década de 1960 ou início da década de 1970	96
Figura 3.55	Localização do furo de captação ACP1 no campo do Carregado	97
Figura 3.56	Fácies da água dos furos de captação do Carregado e comparação com a água dos furos dos campos de captação aluvionares localizados a montante	98

Índice FIGURAS Pág.

CAPÍTULO IV		
Figura 4.1	Modelo conceptual de fluxo na bacia do Tejo	101
Figura 4.2	Localização do campo de captações de Lezíria I: furos TD-CI a TD-CIII	102
Figura 4.3	Localização das sondagens de pesquisa (S) e furo de ensaio (C.1) para escolha da localização do campo de captação de Lezíria I	103
Figura 4.4	Estatísticas das características dimensionais das sondagens e do furo de ensaio de Lezíria I	103
Figura 4.5	Complexos litológicos e hidrogeológicos atravessados pelas sondagens de Lezíria I	104
Figura 4.6	Resultados dos ensaios de bombeamento nas sondagens de reconhecimento e no furo de ensaio de Lezíria I	105
Figura 4.7	Composição química da água amostrada nos ensaios de caudal de curta duração em Lezíria I	105
Figura 4.8	Características dimensionais das captações de Lezíria I	105
Figura 4.9	Curvas características dos furos de captação TD-CI, TD-CII e TD-CIII de Lezíria I	106
Figura 4.10	Localização dos furos de pesquisa, de ensaio e de observação na margem direita do Tejo, entre Carregado e Santarém.	106
Figura 4.11	Máquinas de perfuração utilizadas na empreitada: Sonda Salzgitter SW 200 (A) e Sonda Star 72 RP (B)	107
Figura 4.12	Exemplos de furos executados na margem direita do Tejo, entre Carregado e Santarém: AC-MP2, furo de pesquisa; AC-ME3, furo de ensaio; AC-MO4, furo de observação	108
Figura 4.13	Aparelho WIDCO para diagrafias elétricas em furos	108
Figura 4.14	Características das colunas de revestimento dos furos de pesquisa, de ensaio e de observação	109
Figura 4.15	Medição do NHE de camadas de profundidade diferente	109
Figura 4.16	Furo AC-ME3 (Valada) com artesianismo repuxante de 70 L/s durante o ensaio de caudal	110
Figura 4.17	Furo AC-MP1 (Lezíria do Caldas) a artesianar 44 L/s	110
Figura 4.18	Cabeça do furo AC-MP2 (Esfola Vacas)	110
Figura 4.19	Ensaio do furo AC-ME6 (Espadanal) e furo AC-MO7, em último plano, sob a cabrilha ou tripé	110
Figura 4.20	Furo AC-MP8 (Quinta do Campo): visita da fiscalização durante um ensaio de caudal (senhores engenheiros Ricou, à esquerda na fotografia, e Soares Franco)	112
Figura 4.21	Cabeça do furo AC-MP5 (Quinta do Lezirão)	112

Índice FIGURAS Pág.

Figura 4.22	Síntese dos resultados dos ensaios de produtividade dos furos de pesquisa e de ensaio com o caudal de 30 L/s	112
Figura 4.23	Esboço geológico parcial da bacia do Tejo com localização dos perfis geológicos representados na Figura 4.24	113
Figura 4.24	Perfis geológicos esquemáticos transversais ao eixo da bacia terciária localizados na Figura 4.23	113
Figura 4.25	Fácies geológica das camadas identificadas em cada um dos furos de pesquisa e de observação	113
Figura 4.26	Perfil geológico longitudinal e interpretativo entre Alpiarça e Carregado	114
Figura 4.27	Comparação das amostras dos valores da transmissividade a jusante (seis valores) e a montante (oito valores) da falha da Azambuja.	115
Figura 4.28	Evolução da concentração dos elementos maiores da água das amostras colhidas nos vários ensaios de bombeamento executados no furo AC-ME3 (localizado em Valada, Figura 4.31).	115
Figura 4.29	Evolução da concentração dos elementos maiores da água das amostras colhidas nos vários ensaios de bombeamento executados nos furos AC-ME6 e AC-MO7 em Espadanal (localização na Figura 4.32).	115
Figura 4.30	Fácies e mineralização da água dos furos de pesquisa e ensaio	115
Figura 4.31	Planta de localização de furos em Valada I	116
Figura 4.32	Planta de localização de furos em Espadanal	116
Figura 4.33	Furo de captação-tipo com a diagrafia elétrica	117
Figura 4.34	Estrutura da sequência geológica em Valada I	118
Figura 4.35	Síntese dos resultados dos ensaios de bombeamento dos furos de captação e dos furos de pesquisa na parte superior da série miocénica. As letras terminais E e V na designação dos furos referem-se aos campos de Espadanal e Valada, respetivamente	118
Figura 4.36	Variação do nível da água com a profundidade da zona de captação (campo de captação de Valada I)	118
Figura 4.37	Evolução da concentração dos elementos maiores da água das amostras colhidas no furo de captação AC-P500/1 em Espadanal.	119
Figura 4.38	Evolução da concentração dos elementos maiores da água das amostras colhidas no furo de pesquisa AC-9C em Espadanal.	119
Figura 4.39	Variação da mineralização e da fácies da água com a profundidade em Valada I	119
Figura 4.40	Evolução do nível hidrostático (ao terreno) dos furos entre a data da sua construção e 9 de agosto de 2007, em Valada (V) e Espadanal (E).	119

Índice FIGURAS Pág.

Figura 4.41	Localização dos grupos de captação (G) e dos furos de ensaio (E) e de observação (O) em Lezíria II e III	120
Figura 4.42	O sistema aquífero Terciário do Tejo e a localização dos campos de captações de Lezíria II e de Lezíria III, com destaque para a localização da estação de bombeamento centrada no AC-ME13 no G5 e do furo AC-ME11 no G1	120
Figura 4.43	Características gerais da perfuração dos furos de ensaio e de observação (Lezíria II e Lezíria III).	122
Figura 4.44	Diâmetro das colunas de revestimento dos furos de ensaio e observação	122
Figura 4.45	Síntese da profundidade das colunas de revestimento dos furos de ensaio e observação	122
Figura 4.46	Perfil geológico interpretativo da área de Lezíria II com representação das captações construídas após os trabalhos de pesquisa	123
Figura 4.47	Síntese dos resultados dos ensaios de bombeamento nos furos de ensaio AC-M11, AC-M13 e AC-ME24	123
Figura 4.48	Níveis piezométricos em furos de ensaio e de observação, respeitantes às formações hidrogeológicas interessadas pelas captações das séries 250 e 500.	123
Figura 4.49	Profundidade cumulativa das captações de cada grupo de Lezíria II e de Lezíria III	124
Figura 4.50	Furos-tipos de captação com diagrfias elétrica e de radiação gama natural	124
Figura 4.51	Resultados dos ensaios de produtividade das captações da Lezíria II e Lezíria III.	125
Figura 4.52	Estatísticas principais do caudal específico das captações da série 250 e da série 500.	125
Figura 4.53	Principais estatísticas dos valores da transmissividade calculados pela interpretação das curvas de evolução dos níveis de água em furo de bombeamento. As séries 250 e 500 não incluem os furos do GV que são apresentados individualmente	125
Figura 4.54	Variabilidade da transmissividade calculada através de ensaios de bombeamento em furos de captação da série 250 (a) e da série 500 (b)	126
Figura 4.55	Condutividade hidráulica aparente média da zona captada (T_m/EC) e condutividade hidráulica aparente por metro de tubo ralo (T_m/MR)	126
Figura 4.56	Interpretação da fase de bombeamento do ensaio do furo ACP-250-2 com evidência de uma provável fronteira impermeável	126
Figura 4.57	Estatísticas principais da amostra de valores do coeficiente de armazenamento (S)	127
Figura 4.58	Fácies hidrogeoquímica da água das captações de Lezíria II e III	128

Índice FIGURAS Pág.

Figura 4.59	Composição da água das captações das séries 250 e 500 do campo de Lezíria II	128
Figura 4.60	Caracterização hidrogeoquímica da água amostrada no GI: furo AC-ME11 e captação AC-P250-1 (os traços verticais indicam a extensão das zonas captadas de onde foram extraídas as amostras S1 a S5)	128
Figura 4.61	Comparação da qualidade da água da série miocénica em Valada I e no GI de Lezíria II	129
Figura 4.62	Composição da água das captações do campo de Lezíria III	129
Figura 4.63	Diagrafias hidrogeoquímicas e de radiação gama natural em repouso (esq.) e em bombeamento na captação ACP-250-7	129
Figura 4.64	Variação dos valores de δD e $\delta^{18}O$ das amostras de água de furos dos campos de captação de Lezíria II e III	131
Figura 4.65	Isótopos estáveis ($\delta^{18}O$ e δD) nas amostras de água de furos dos campos de captação de Lezíria II e III, a Reta das Águas Meteoricas de Portugal é representada a cor preta com os limites do intervalo de confiança a cor amarela e a MWL é indicada a cor vermelha	131
Figura 4.66	Isótopos estáveis ($\delta^{18}O$ e δD) nas amostras de água de furos dos campos de captação de Lezíria II e III e do subsistema mio-pliocénico da região de Setúbal, a Reta das Águas Meteoricas de Portugal a preto com os limites do intervalo de confiança a cor amarela e a MWL é indicada a cor vermelha	131
Figura 4.67	Variação dos valores de $\delta^{18}O$ e de δD com os valores da condutividade elétrica - amostras de água de furos dos campos de captação de Lezíria II e III	132
Figura 4.68	Máquina de perfuração Salzgitter RC8, executando um furo de reposição pelo método de circulação inversa	132
Figura 4.69	Características gerais da tubagem dos novos furos de captação de Lezíria II	133
Figura 4.70	Imagens da construção dos novos furos em Lezíria II: descida de um troço soldado de tubo ralo de fenda contínua em aço inoxidável (A), pormenor do tubo ralo (B) e máquina de perfuração Salzgitter RC8 e desenvolvimento do furo com ar comprimido (C)	133
Figura 4.71	Síntese dos resultados dos ensaios de produtividade dos novos furos de captação de Lezíria II	134
Figura 4.72	Taxa de rebaixamento médio anual dos níveis piezométricos em Lezíria II. Δt é o intervalo de tempo entre medições do NHE, ΔNHE representa a variação do NHE no intervalo Δt e $\Delta NHE/\Delta t$ é a taxa média anual de variação do NHE	134

Índice FIGURAS Pág.

Figura 4.73	Comparação dos NHE das captações de Lezíria II medidos quando da reposição das captações (2001 a 2004) e em 21 fevereiro de 2008	134
CAPÍTULO V		
Figura 5.1	Lapiás, planalto de Stº António	138
Figura 5.2	Dolina na Serra de Aire	138
Figura 5.3	Polje de Alvados	139
Figura 5.4	Algar de Arroiteia situado na vertente ocidental da uvala de Chão das Pias	140
Figura 5.5	Estalactites, estalagmites e colunas na gruta de Alvados, polje de Alvados	140
Figura 5.6	Fórnea de Alvados	140
Figura 5.7	Perfil geológico NW (esquerda) a SE (direita), passando pelo limite do Maciço Calcário Estremenho, sinclinal de Monsanto e pela nascente do Alviela no contacto com as formações terciárias da bacia do Tejo	141
Figura 5.8	Esquema geomorfológico do canhão cársico da ribeira de Amiais e galerias associadas com as nascentes de Alviela: P – entrada do curso subterrâneo da ribeira dos Amiais, R – ressurgência da ribeira dos Amiais após cerca de 200 m de percurso subterrâneo, PE – Poço Escuro (nascente temporária) e G – Nascentes temporárias na vertente esquerda à saída do canhão da ribeira de Amiais	141
Figura 5.9	O bloco de calcários do Jurássico médio, a saída do canhão e a nascente dos Olhos de Água de Alviela	142
Figura 5.10	Sumidouro ou início do curso subterrâneo da ribeira dos Amiais (local "P" da Figura 5.8)	142
Figura 5.11	Janela cársica de onde se pode observar o curso subterrâneo da ribeira dos Amiais; estrutura cársica entre as localizações "P" e "R" da Figura 5.8	143
Figura 5.12	Traçagens realizadas na área do polje de Minde (a vermelho rodamina, a verde fluoresceína)	143
Figura 5.13a	Polje de Minde visto da costa, com Minde em primeiro plano e Mira de Aire ao longe, no interior da grande depressão de origem cársica	144
Figura 5.13b	A imponente escarpa de falha, designada localmente por Costa de Minde, que delimita o polje a SW	144
Figura 5.14	Esboço do escoamento subterrâneo nas áreas adjacentes aos poljes de Alvados e de Minde	145
Figura 5.15a	Nascente dos Olhos de Água de Alviela em período de pico de cheia	146
Figura 5.15b	Nascente dos Olhos de Água de Alviela em período de seca	146
Figura 5.16a	Poço escuro, nascente temporária, em período de pico de cheia, local PE da Figura 5.8	147

Índice FIGURAS Pág.

Figura 5.16b	Poço escuro, nascente temporária, em período de seca	147
Figura 5.17a	Saída do canhão da ribeira de Amiais em período de pico de cheia nas nascentes temporárias da vertente esquerda do canhão, local "G" da Figura 5.8.	148
Figura 5.17b	Saída do canhão da ribeira de Amiais com as nascentes temporárias em período de seca	148
Figura 5.18	Delimitação do sistema aquífero Ota-Alenquer com indicação dos campos de captações de Ota e Alenquer	149
Figura 5.19	As captações de Ota e de Alenquer e o trajeto do aqueduto do Alviela	149
Figura 5.20	Vale em canhão do rio de Ota com depósito de cascalheira	150
Figura 5.21	Localização dos núcleos de pedreiras na área do sistema aquífero Ota-Alenquer: a norte, o núcleo de Atouguia e a sul, o núcleo de Alenquer; as linhas poligonais fechadas de cor verde delimitam a zona intermédia do perímetro de proteção das captações de Ota e de Alenquer	150
Figura 5.22	Alteração da geomorfologia pelas pedreiras	151
Figura 5.23	Frente de desmonte de uma pedreira com uma galeria de pequeno diâmetro perto da superfície, associada a fraturação sub-vertical	151
Figura 5.24	Rede hidrográfica na área envolvente da zona de delimitação do sistema aquífero de Ota-Alenquer	151
Figura 5.25	Delimitação da área de recarga do sistema aquífero Ota-Alenquer e das captações de Ota e Alenquer	151
Figura 5.26	Localização dos furos de captação de água na área do sistema aquífero onde se situam as pedreiras dos núcleos de Alenquer e de Atouguia	152
Figura 5.27	Os vales afluentes dos Banhos (à esquerda) e do Pedregal (à direita) na vertente esquerda do vale do rio de Alenquer	153
Figura 5.28	Vista exterior da Lapa dos Morcegos	154
Figura 5.29	Antiga captação da base do vale de Pedregal, com o seu lavadouro temporário dos períodos pluviosos	154
Figura 5.30	Extração de água na base do suporte da estrada a alguns metros do açude no rio de Alenquer	154
Figura 5.31	Localização de trabalhos de pesquisa e captação na margem esquerda do rio Alenquer	155
Figura 5.32	Trabalhos de construção dos furos de captação em Alenquer	155
Figura 5.33	Furo de captação ACP2 com caseta enterrada	156
Figura 5.34	Transformação de um furo de pesquisa em furo de captação	157

Índice FIGURAS Pág.

Figura 5.35	Evolução da cota piezométrica da água nas captações de água subterrânea do campo de Alenquer	158
Figura 5.36	Caudal conjunto das captações do campo de captação de Alenquer (m ³ /h)	158
Figura 5.37	Histograma do caudal de exploração do campo de captação de Alenquer	158
Figura 5.38	Fácies da água das captações e do rio de Alenquer	159
Figura 5.39	Comparação gráfica das amostras da condutividade eléctrica da água dos furos de captação e do rio Alenquer	159
Figura 5.40	Comparação do IS de Langelier da água das captações do campo de Alenquer	159
Figura 5.41	Localização de furos de pesquisa e de captação na Ota	160
Figura 5.42	Furo ACP2 de Ota com caseta elevada	160
Figura 5.43	Ilustração do equipamento e das condições de realização dos ensaios de produtividade dos furos de captação de Ota	161
Figura 5.44	Evolução da cota piezométrica da água nas captações do campo de Ota	162
Figura 5.45	Evolução da cota piezométrica da água e do caudal bombeado na captação ACP2 de Ota	162
Figura 5.46	Caudal conjunto das captações do campo de captação Ota (m ³ /h)	162
Figura 5.47	Histograma do caudal de exploração do campo de captação de Alenquer	162
Figura 5.48	Fácies da água das captações e do rio de Ota	162
Figura 5.49	Comparação gráfica das amostras da condutividade eléctrica da água dos furos de captação e do rio Ota	162

CAPÍTULO VI

Figura 6.1	Esboço geológico e localização das áreas pesquisadas a montante e jusante de Santarém e em Valada	165
Figura 6.2	Furos-tipos da 1ª fase dos trabalhos de pesquisa	166
Figura 6.3	Localização dos furos na zona a montante de Santarém	166
Figura 6.4	Localização dos furos na zona a jusante de Santarém	167
Figura 6.5	Localização dos furos na zona de Valada	167
Figura 6.6	Perfil geológico S3, S2, S1, P1, P5, P2, P3, e P4, zona a montante de Santarém	170
Figura 6.7	Espessura do complexo 1 nas zonas de montante e jusante	170

Índice FIGURAS Pág.

Figura 6.8	Perfil geológico P19, P22, P15 e P18, zona a jusante de Santarém	170
Figura 6.9	Perfil geológico P16, P18 e P20, zona a jusante de Santarém	171
Figura 6.10	Perfil geológico S13, S16, S23, S22, S21 (V45), V50, S17, zona de Valada	171
Figura 6.11	Representação gráfica dos ensaios experimentais de caudal da camada basal das aluviões intersetada pelos furos profundos (P), zona de montante	171
Figura 6.12	Representação gráfica dos ensaios experimentais de caudal da camada aquífera superficial intersetada pelos furos profundos (P), zona de montante	172
Figura 6.13	Representação gráfica dos ensaios experimentais de caudal da camada aquífera superficial intersetada pelos furos superficiais (S), zona de montante	172
Figura 6.14	Representação gráfica das principais estatísticas das três amostras de valores do caudal específico (L/s/m) na zona de montante	172
Figura 6.15	Representação gráfica dos ensaios experimentais de caudal da camada basal das aluviões intersetada pelos furos profundos (P), zona de jusante	172
Figura 6.16	Representação gráfica dos ensaios experimentais de caudal da camada aquífera superficial intersetada pelos furos profundos (P), zona de jusante	172
Figura 6.17	Representação gráfica dos ensaios experimentais de caudal da camada aquífera superficial intersetada pelos furos superficiais (S), zona de jusante	172
Figura 6.18	Representação gráfica das principais estatísticas das duas amostras de valores do caudal específico (L/s/m) na zona de jusante	173
Figura 6.19	Representação gráfica dos ensaios experimentais de caudal da camada superficial intersetada pelos furos superficiais (S), zona de Valada	173
Figura 6.20	Comparação gráfica das estatísticas principais dos valores do caudal específico dos furos da camada superficial das três zonas pesquisadas	173
Figura 6.21	Tipos de água que ocorrem nas aluviões do Tejo nas zonas de pesquisa a montante e jusante de Santarém e em Valada	173
Figura 6.22	Representação gráfica da média e do desvio padrão das concentrações dos iões principais das amostras de água representadas na Figura 6.21	173
Figura 6.23	Perfil geológico P13, P15 e P16, zona a jusante de Santarém	173
Figura 6.24	Resultados dos ensaios finais de caudal: o caudal específico é representado para os vários caudais de ensaio, por exemplo, q15 refere-se ao caudal específico para o caudal de ensaio de 15 L/s	174
Figura 6.25	Ensaio de caudal final do furo S4	174
Figura 6.26	Ensaio de caudal final do furo P2	174

Índice FIGURAS Pág.

Figura 6.27	Ensaio de caudal final do furo P19	176
Figura 6.28	Ensaio de caudal final do furo S21	176
Figura 6.29	Corte do furo AC1	176
Figura 6.30	Extratos do ensaio de produtividade do furo AC1 da zona de Valada	177
Figura 6.31	Localização dos furos de pesquisa ensaio e observação na zona de Mouchão d'Éça.	178
Figura 6.32	Caraterísticas da tubagem de revestimento definitivo dos furos construídos na zona de Mouchão d'Éça	178
Figura 6.33	Resumo dos resultados dos ensaios de caudal dos furos ACA17 e ACA18	178
Figura 6.34	Fácies da água dos furos de pesquisa localizados na zona de Mouchão d'Éça (ME-margem esquerda do Tejo) e comparação com a água dos furos dos campos de captações aluvionares da margem direita do Tejo (MD)	180

CAPÍTULO VII

Figura 7.1	Localização dos furos de pesquisa ao longo do traçado do Canal do Alviela	183
Figura 7.2	Corte geológico esquemático	184
Figura 7.3	Caraterísticas geométricas da perfuração	185
Figura 7.4	Caraterísticas da profundidade da tubagem de revestimento definitivo dos furos AC-MP28 a AC-MP31	185
Figura 7.5	Localização e comprimento dos tubos ralos aplicados nos furos AC-MP28 a AC-MP31	185
Figura 7.6	Representação gráfica dos resultados dos ensaios de produtividade dos furos AC-MP28 a AC-MP31	186
Figura 7.7	Representação gráfica dos resultados da interpretação hidrodinâmica dos ensaios de produtividade	186
Figura 7.8	Interpretação do ensaio de bombeamento no furo AC-MP28 com medidas de rebaixamentos no mesmo: transmissividade = $4,77 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	186
Figura 7.9	Interpretação do ensaio de bombeamento no furo AC-MP29 com medidas de rebaixamentos no mesmo: transmissividade = $2,06 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	187
Figura 7.10	Representação gráfica dos resultados dos ensaios de caudal por troços da tubagem do furo AC-MP28	187
Figura 7.11	Representação gráfica dos resultados dos ensaios de caudal por troços da tubagem do furo AC-MP29	185
Figura 7.12	Representação gráfica dos resultados dos ensaios de caudal por troços da tubagem do furo AC-MP30	188

Índice FIGURAS Pág.

Figura 7.13	Representação gráfica dos resultados dos ensaios de caudal p§ do furo AC-MP31	188
Figura 7.14	Regressão linear do caudal específico sobre o caudal de ensaio (a reta de regressão calculada pelo método dos mínimos quadrados tem cor azul; o limite do intervalo de confiança da reta de regressão é indicado pelas duas linhas de tom amarelado; as linhas de cor preta indicam o intervalo de predição para a variável dependente; os limites estão definidos para o nível de confiança de 95 %)	188
Figura 7.15	Representação gráfica das estatísticas principais do caudal específico e do caudal por metro de troço ensaiado	188
Figura 7.16	Gráfico quantil-quantil do caudal específico (L/s/m).	188
Figura 7.17	Gráfico quantil-quantil do caudal por metro de troço ensaiado (L/s/m)	188
Figura 7.18	Representação gráfica das estatísticas principais da mineralização total e da concentração do ião cloreto da água recolhida no decurso dos ensaios por troços da tubagem de revestimento	189
Figura 7.19	Regressões lineares da mineralização total e do cloreto sobre o caudal específico	189
Figura 7.20	Extrato da Carta Neotectónica de Portugal Continental com localização aproximada dos furos de pesquisa executados ao longo do Canal do Alviela	189
Figura 7.21	Variações de fácies e de mineralização da água (diagramas de Stiff) dos vários troços amostrados (os traços verticais indicam a extensão das zonas captadas de onde foram extraídas as amostras, a representação gráfica localiza-se a meio das zonas e é também representada a profundidade da perfuração de cada furo)	190

CAPÍTULO VIII

Figura 8.1	Enquadramento geológico regional das zonas A e B (cercadura a vermelho): 1, soco paleozoico; 2 e 3, sedimentos jurássicos e cretácicos da Bacia Lusitânica; 4, maciço intrusivo de Sintra (Cretácico superior); 5, 6 e 7, sedimentos paleogénicos, miocénicos e pliocénicos da bacia do Baixo Tejo; 8 e 9, sedimentos fluviais quaternários do rio Tejo; 10, falha cartografada; o retângulo a tracejado delimita a área do estudo estrutural da zona A	193
Figura 8.2	Localização da zona A e dos locais de pesquisa A1 e A2	194
Figura 8.3	Furo de pesquisa ACMP/A1 atualmente com equipamento para extração de água para a agricultura	194

Índice FIGURAS Pág.

Figura 8.4	Caraterísticas da perfuração dos furos de pesquisa e de observação	196
Figura 8.5	Diagrafias elétricas e de radiação gama natural dos furos ACMP/A1 e ACMP/A2	196
Figura 8.6	Diagrafias de resistividade elétrica dos furos AC-MP1 e AC-MP2 na margem direita do Tejo, ver localização na Figura 8.2	196
Figura 8.7	Perfil esquemático e interpretativo dos resultados das diagrafias de resistividade	197
Figura 8.8	Características das colunas de revestimento definitivo dos furos de pesquisa e observação	197
Figura 8.9	Representação gráfica dos resultados do ensaio de produtividade escalonado da zona superior do furo ACMP/A1	197
Figura 8.10	Representação gráfica dos resultados do ensaio de produtividade escalonado da zona inferior do furo ACMP/A1	198
Figura 8.11	Comparação da produtividade das zonas superior e inferior no local A1	198
Figura 8.12	Representação gráfica dos resultados do ensaio de produtividade escalonado de toda a espessura produtiva do furo ACMP/A1 (furo total)	198
Figura 8.13	Representação gráfica da evolução do ensaio de produtividade escalonado do furo ACMP/A1 (furo total)	198
Figura 8.14	Representação gráfica dos resultados do ensaio de produtividade escalonado do furo ACMP/A2	198
Figura 8.15	Representação gráfica da evolução do ensaio de produtividade escalonado do furo ACMP/A2 (21/11/2001 a 25/11/2001); NA = Nível da água	198
Figura 8.16	Representação gráfica da evolução do ensaio a caudal quase constante do ACMP/A2 (26/11/2001 a 4/12/2001); NA = Nível da água	200
Figura 8.17	Representação gráfica conjunta da evolução dos níveis de água no decurso dos dois ensaios de caudal do furo ACMP/A2 (21/11/2001 a 4/12/2001); NA = Nível da água	200
Figura 8.18	Algumas caraterísticas físico-químicas da água bombeada das zonas superior e inferior do furo ACMP/A1	200
Figura 8.19	Características hidrodinâmicas da <i>camada 3</i> nos locais A1 e A2	200
Figura 8.20	Valores da transmissividade da <i>camada 3</i> em locais incluídos ou adjacentes à zona A	200
Figura 8.21	Interpretação do ensaio de bombeamento no local A2: rebaixamentos observados no piezómetro à distância $r \gg 50$ m; a transmissividade de comportamento é cerca de metade da transmissividade do aquífero (T inicial)	200
Figura 8.22	Caudal específico (q) para os vários escalões de bombeamento nos furos dos locais A1 e A2; ZI = zona inferior, ZS = zona superior	202

Índice FIGURAS Pág.

Figura 8.23	Valores do caudal específico com caudais de bombeamento superiores a 30 L/s em furos localizados na margem esquerda do Tejo e incluídos ou adjacentes à zona A	202
Figura 8.24	Estatísticas principais do caudal específico dos furos de pesquisa construídos nos locais A1 e A2 e dos furos existentes, incluídos ou adjacentes à zona A	202
Figura 8.25	Locais de pesquisa e localização de furos inventariados e de perfis piezométricos	203
Figura 8.26	Piezometria regional em novembro de 2001 com individualização de uma zona de depressão dos níveis piezométricos	203
Figura 8.27	Perfil piezométrico com direção geral aproximada NNE-SSW (A-B)	204
Figura 8.28	Perfil piezométrico com direção aproximada W-E (C-D)	204
Figura 8.29	Modelo proposto para as falhas inferidas por critérios geofísicos e/ou hidrológicos, a partir dos furos estudados. Cartografia geológica adaptada: 1, aluviões fluviais holocénicas; 2, sedimentos pliocénicos e cobertura arenosa indiferenciada; 3, sedimentos pliocénicos e miocénicos; 4, falha (certa e provável); 5, falha oculta inferida (dentado no bloco deprimido); 6, povoação; 7, furo	204
Figura 8.30	Fácies da água dos furos de pesquisa da zona A; símbolos quadrados sem sobrecarga colorida representam a água do furo de pesquisa ACMP/A1 e os círculos de cor vermelha individualizam a água amostrada no furo de pesquisa ACMP/A2	205
Figura 8.31	Localização das estações de captação do projeto de ACAVACO	207
Figura 8.32	Furos-tipos propostos para as séries 250 e 500	208
Figura 8.33	Distribuição espacial da profundidade dos furos de captação ($Q^3 \geq 20$ L/s) na área da Zona B e envolvente	209
Figura 8.34	Distribuição espacial do caudal dos furos de captação ($Q \geq 20$ L/s) na área da Zona B e envolvente	209
Figura 8.35	Relação entre a produtividade e a profundidade dos furos de captação na área da Zona B e envolvente	210
Figura 8.36	Distribuição espacial do caudal específico dos furos de captação ($Q \geq 20$ L/s) na área da Zona B e envolvente	210
Figura 8.37	Caracterização hidrogeoquímica da água amostrada em furo localizado no setor de Catapereiro (os traços verticais indicam a extensão das zonas captadas de onde foram extraídas as amostras)	210
Figura 8.38	Cotas piezométricas retiradas da base de dados do SNIRH: valores positivos a azul e negativos a vermelho (além da cota piezométrica, entre parênteses, são mencionados o mês e o ano em que a leitura foi feita)	211
Figura 8.39	Carta de isopiezas na área da península de Setúbal	211

Índice QUADROS

Pág.

Quadro 2.1	Estatísticas de parâmetros hidrodinâmicos calculados da interpretação de ensaios de bombeamento no sistema aquífero de Escusa	46
Quadro 2.2	Principais estatísticas dos caudais de furos no sistema aquífero de Estremoz-Cano, obtidos pelo projeto ERHSA (L/s)	48
Quadro 3.1	Principais estatísticas do caudal de furos no sistema aquífero Aluviões do Tejo (L/s)	73
Quadro 4.1	Transferência de massa em milimoles por litro de água (amostra superficial x amostra mais profunda), os números positivos indicam dissolução e os negativos referem-se a precipitação e X indica a superfície sólida para a troca iónica.	129
Quadro 4.2	Concentrações em trítio da água dos furos de Lezíria II e III (F=Fundo)	130
Quadro 5.1	Profundidade da perfuração e características da coluna de revestimento definitivo das captações ACP1 a ACP4 de Alenquer	156
Quadro 5.2	Resultados de ensaios de produtividade dos furos de captação de Alenquer realizados quando da sua construção (NHE = Nível hidrostático, NHD = Nível hidrodinâmico)	157
Quadro 5.3	Profundidade da perfuração e características da coluna de revestimento definitivo das captações ACP1 a ACP3 de Ota	160
Quadro 5.4	Resultados dos ensaios de produtividade dos furos de captação de Ota (os níveis da água são referidos à superfície do terreno)	160
Quadro 6.1	Caraterísticas da perfuração dos furos construídos na zona do Mouchão d'Éça	178
Quadro 6.2	Parâmetros físico-químicos da água dos furos da zona do Mouchão d'Éça	179
Quadro 8.1	Características das camadas hidrogeológicas na zona A, como caraterizadas no Plano Diretor da EPAL	195
Quadro 8.2	Equações dos furos de pesquisa	202

Preâmbulo



Ao longo da história da humanidade os recursos hídricos subterrâneos sempre assumiram um papel relevante, tanto no abastecimento de água às populações como na agricultura e na indústria.

A história do abastecimento de água à cidade de Lisboa não foi diferente tendo, inclusivamente, os seus períodos mais marcantes estado intimamente associados a captações de origem subterrânea, situação que se manteve até ao advento do Subsistema do Tejo e, sobretudo, do Subsistema do Castelo do Bode (1987).

Neste contexto, a EPAL dispõe de um alargado leque de informação sobre as suas captações subterrâneas (inventários, caracterização técnica, produtividade, etc.), o qual se entendeu que, com o tratamento técnico adequado, poderia constituir a base de uma publicação sobre a matéria. Preconizava-se que a mesma viesse a permitir abordar e tratar um assunto que, apesar da sua importância técnica e histórica, tem sido relativamente esquecido, ou objeto de menor atenção, por parte da Comunidade Técnica e Científica do Setor da Água.

Face ao interesse desta temática e tratando-se de matéria muito específica, cujo tratamento com o necessário rigor técnico-científico requer forte especialização, lançámos um desafio ao Professor Doutor Lopo Mendonça, especialista em hidrogeologia e profundo conhecedor das captações da EPAL. Pretendia-se que pudesse ser materializada, num documento resumido, a informação mais relevante sobre os diversos campos de captações e sistemas aquíferos associados à missão da EPAL.

O resultado desse desafio traduziu-se na presente publicação, intitulada "As Águas subterrâneas e o Abastecimento de Água a Lisboa – As Captações da EPAL", que, pelos motivos anteriormente referidos, temos o orgulho de incluir no âmbito das comemorações dos 150 anos da EPAL.

Assim, a presente edição pretende não só homenagear a história da EPAL e do abastecimento de água por ela promovido, mas também constituir uma fonte de conhecimento e de aprendizagem técnica, podendo ainda contribuir de forma sustentada para responder aos desafios do futuro, num contexto em que as alterações climáticas estão cada vez mais presentes neste tipo de atividade e, onde, as captações subterrâneas podem vir a assumir um papel de reserva estratégica de grande importância.

José Sardinha

Presidente do Conselho de Administração da EPAL



Ao longo do meu percurso profissional na EPAL, iniciado em 1997, e que envolveu diferentes funções operacionais, sempre tive a convicção de que as captações subterrâneas não têm sido tratadas pela empresa da mesma forma que as captações superficiais.

Atendendo à importância histórica que as águas subterrâneas, ao longo dos séculos, tiveram no abastecimento de água a Lisboa e, até, à existência de fontes mineromedicinais no atual espaço urbano da cidade, algumas das quais estiveram ativas até à década de 60 do último século, urge publicar um estudo que coloque as águas subterrâneas no patamar que merecem.

É, naturalmente, com muita satisfação que, como vogal do CA da EPAL, contribuí para a tomada de decisão que levou à promoção da presente publicação, com a qual se poderá iniciar a correção do estado de desequilíbrio referido.

Considera-se essencial recentrar a relevância das águas subterrâneas utilizadas no abastecimento humano, o que pode ser materializado através de estudos que permitam equilibrar o conhecimento das duas principais origens de água para este uso.

De facto, sendo os efeitos das alterações climáticas uma parte do nosso quotidiano, e que já se sentem na nossa atividade, podemos ter nas captações subterrâneas, reservas de água que muito podem ajudar a mitigar as consequências das secas prolongadas, e que certamente carecem de medidas de proteção, de modo a preservar a qualidade da água destas minas do futuro.

É, pois, com muita expectativa e grande sentido de responsabilidade que apoiamos esta publicação nos 150 de vida da EPAL, pensando fundamentalmente no futuro.

Barnabé Pisco
Vogal do Conselho de Administração da EPAL

Nota prévia

O peso específico das captações subterrâneas no contexto global do Sistema de Abastecimento da EPAL reduziu-se significativamente após a entrada em serviço do Subsistema de Castelo do Bode. No entanto, aquele tipo de recurso continuou a representar uma importância estratégica relevante para a empresa.

Assim, ao longo do nosso percurso profissional na EPAL, tivemos que lidar, por diversas ocasiões, com as diferentes vertentes associadas às captações subterrâneas: acompanhamento da elaboração do projeto e respetiva construção, exploração, manutenção, tratamento da água, etc. No entanto, mesmo para engenheiros civis com alguma experiência, a hidrogeologia é uma ciência que reserva alguns (muitos) segredos pelo que, para cumprir os objetivos delineados, necessitámos frequentemente de apoio técnico verdadeiramente especializado.

Foi neste contexto que, quis o acaso, tivéssemos conhecido o Professor Doutor João Lopo Mendonça, especialista em hidrogeologia e profundo conhecedor das captações da EPAL, quer na perspetiva prática (execução dos furos) quer na teórica e científica (conhecimento dos aquíferos envolvidos).

Nos primeiros contactos com o "Professor" somos, imediatamente, tocados por algumas características pessoais bem vincadas, como a sua extraordinária gentileza e uma desarmante simplicidade. Do ponto de vista técnico, somos confrontados com alguém que consegue tornar aparentemente simples e compreensível algo que, antes, nos parecia um segredo indecifrável.

Quando o começamos a conhecer melhor, o "Professor" revela uma disponibilidade e uma capacidade de resposta a situações de pressão temporal que nos surpreendem. Com efeito, era comum efetuar uma "visita" a uma instalação problemática na tarde de um dia e, na madrugada do dia seguinte, já dispúnhamos de um relatório com as recomendações a seguir.

O primeiro contacto profissional impactante que mantivemos com o Professor Lopo Mendonça teve lugar quando realizámos trabalhos de pesquisa de novas origens subterrâneas no que designámos como "Zona A", os quais culminaram com a descoberta do fundo da bacia sedimentar do Tejo (confirmada através da recolha de testemunhos das rochas subjacentes aos depósitos sedimentares-granitóides).

Posteriormente, foram várias as situações em que tivemos que recorrer à ajuda e conhecimentos do "Professor", usufruindo sempre de um serviço de excelência. Neste relacionamento só havia um problema recorrente—quando se perguntava ao Professor: "Qual vai ser o custo do seu trabalho?", a resposta era muitas vezes "Ah, isso não vale nada...", quando na realidade o valor para a EPAL era inestimável, pois podia significar que a Empresa viesse a ter, ou não, falhas de serviço.

Um exemplo dessa situação foi a colaboração que solicitámos ao "Professor", em plena de seca severa de 2005, sobre a evolução da produção das captações subterrâneas de Ota e de Alenquer, atendendo à importância e imprescindibilidade das mesmas no contexto do abastecimento regional assegurado pela EPAL. A resposta contemplou uma previsão dos níveis e dos caudais das captações em causa até ao final do verão de 2005, a qual se veio a revelar correta e nos permitiu efetuar uma gestão otimizada durante o período crítico da seca.

A vivência desta crise e os conhecimentos demonstrados pelo "Professor" permitiram reforçar a consciência da importância deste tipo de origem para o abastecimento de água para consumo humano. Para além do referido, a inexistência na EPAL de informação organizada sobre as captações subterrâneas levou-nos a solicitar, de novo, os serviços do Professor no trabalho de recolha, compilação e análise de informação disponível na Empresa e nos arquivos próprios do Professor para a elaboração do "Inventário dos trabalhos de pesquisa e captação de água subterrânea", cuja execução a EPAL promoveu desde o primeiro terço do século passado.

Mais tarde, e por imposição da legislação em vigor, fomos impelidos a definir os perímetros de proteção de todas as captações subterrâneas da empresa. Nessa altura, tendo em conta a especificidade do estudo, entendemos que a melhor opção para a EPAL passaria pela coordenação e assistência técnica do "Professor" no desenvolvimento dos estudos a elaborar.

Entendendo-se que a publicação do presente livro seria a melhor forma de compilar, conservar e divulgar, numa perspetiva de utilização futura, todo o acervo da EPAL sobre a importância das águas subterrâneas para o abastecimento público, o historial de colaboração exposto deixa claro que a única opção possível seria convidar o Professor João Lopo Mendonça para assegurar a respetiva elaboração.

Pela nossa parte tem sido uma honra trabalhar com o "Professor" e, ainda que modestamente, fazer parte da equipa que tornou possível a existência deste livro. Convictos de que a importância da temática e o rigor científico com que a mesma é tratada justificam o interesse do mesmo, esperamos que ele possa ser útil e inspirar os leitores à meditação sobre a ocorrência de águas subterrâneas e em relação ao respetivo papel para o abastecimento de água às populações.

Francisco Serranito e Conceição Almeida
Diretores de Operações e de Manutenção da EPAL



1. As águas subterrâneas e o abastecimento de água a Lisboa

A água é um recurso natural essencial à sobrevivência da vida na Terra! Além desta importância vital, possui um enorme valor económico, ambiental e social, fundamental à sobrevivência do Homem e dos ecossistemas do nosso planeta. A sua disponibilidade, quer em quantidade quer em qualidade, afeta fortemente o desenvolvimento económico e o bem-estar social, pois ao contrário de outros recursos, não é substituível na maioria das suas utilizações.

Noventa e sete por cento de toda a água na Terra é água salgada, não utilizável para o consumo humano e para a agricultura. Os três por cento remanescentes são água doce e correspondem ao volume total de 35 milhões de km³. Quase toda esta água potável está efetivamente armazenada nos gelos da Antártida e da Gronelândia e em aquíferos profundos. Só menos de 100.000 km³ – cerca de 0,3 % do total das reservas de água doce na Terra – estão armazenadas nos rios e lagos que são a origem principal dos abastecimentos destinados à atividade humana (Gleick, 1993).

A água doce é, assim, um recurso renovável e limitado, movido e disponibilizado continuamente por ação da energia solar, que evapora a água dos oceanos e da

superfície sólida da Terra e a redistribui por todo o globo terrestre. Nos oceanos, o volume de água que se evapora é maior do que o da precipitação: há uma transferência contínua de água doce dos oceanos para os continentes. Esta água escoar-se pela superfície sólida da Terra, alimenta as linhas de água e os lagos, mantém a sobrevivência dos ecossistemas, promove a recarga dos aquíferos, assegura a existência de vida, satisfaz os consumos da atividade humana e cerca de 45.000 km³/ano regressa aos oceanos através dos rios e da descarga dos aquíferos.

Em resumo, o armazenamento da água na hidrosfera é repartido de forma desigual por cinco grandes reservatórios-água salgada dos oceanos, gelos, água subterrânea, água superficial dos continentes e atmosfera-que desempenham também uma função reguladora: física (térmica, em particular), hidrodinâmica, química e biológica.

A abundância ou carência de água teve profundas repercussões na evolução dos povos, a ponto de condicionar o aparecimento, a evolução e o desaparecimento de civilizações. Uma manifestação evidente desta importância da água para a vida e a atividade humana é a maior concentração de população nos vales dos grandes rios e ao longo das regiões costeiras.

21



Figura 1.1 Cisterna e poço no castelo de S. Jorge atribuídos por Romariz (2006) à época de ocupação árabe (fotos do autor)



Figura 1.2 Chafariz d'El Rei (foto Pedro Inácio)

Em contraste com as águas superficiais, que constituem um recurso natural exposto à observação direta e cuja problemática é de apreensão aparentemente fácil, a água subterrânea sai do contato direto com os órgãos dos sentidos, o que torna mais difícil a compreensão da sua ocorrência e movimento e dos problemas técnicos e legais que lhe andam associados. A água subterrânea aparece, por isso, muitas vezes envolta por uma certa aura de mistério para os não especialistas.

Os recursos hídricos subterrâneos sempre tiveram uma importância relevante e deverão continuar a ter, tanto no abastecimento das populações como na origem de água para a agricultura e a indústria. Na realidade, este recurso quase sempre constituiu as primeiras origens de

água, tendo mantido esse desempenho em muitas regiões, até há pouco tempo, e mantendo-o ainda noutras. Mesmo em vastas zonas onde as águas subterrâneas são escassas, elas podem ser fundamentais, na ausência de outros recursos hídricos economicamente mobilizáveis, permitindo assegurar o abastecimento de núcleos urbanos ou industriais de pequena dimensão, de explorações agropecuárias e do regadio de pequenas explorações agrícolas (Almeida *et al.*, 2000).

A história da EPAL e das entidades e empresas que a antecederam confunde-se com a história do abastecimento de água a Lisboa e este só se pode entender no contexto da sua localização e dos recursos hídricos disponíveis na cidade e na sua periferia. Não existem ou

existiram massas de água superficial potável e, durante os longos séculos entre a fundação da cidade e a construção dos primeiros furos nas aluviões do Tejo a norte de Vila Franca de Xira e da tomada de água superficial do rio Tejo em Valada (anos da década de 1930), só foi possível explorar água subterrânea emergente ou de jazida a pequena profundidade (Figura 1.1).

O estuário do rio Tejo, a oriente e a sul da cidade, foi uma barreira na prática quase intransponível à adução de água para Lisboa – só no princípio do século XIX foi utilizado episodicamente o transporte por barcaças de água da margem sul, com origem na Fonte da Pipa (Pinto, 1989). A norte, pelo contrário, sempre houve continuidade que permitiu, com maior ou menor dificuldade, a construção de estruturas de transporte de água.

O avanço do conhecimento e das tecnologias de prospeção, pesquisa e de construção de captações de água subterrânea, por outro lado, facilitaram e possibilitaram o acesso a novas origens de água potável tanto a norte como a sul do Tejo.

Até 1987, a água subterrânea teve um papel preponderante no abastecimento da água a Lisboa. Desde a fundação até ao final do século XVIII, a população utilizava a água das nascentes, poços, galerias e cisternas localizados no perímetro urbano e, depois, através da importação de regiões progressivamente mais afastadas.

Em 1147, aquando da conquista de Lisboa aos Mouros por D. Afonso Henriques, a superfície da cidade orçava pelos 15 ha e a população era de cerca 15.000 almas (Pinto, 1989).

Seguiu-se um desenvolvimento acelerado na área ocupada e da população residente de tal modo que, no final da primeira dinastia, D. Fernando manda construir uma nova muralha que ampliou para 100 ha a área da cidade; no final da dinastia de Avis a população já ultrapassava os cem mil habitantes. Como os recursos hídricos disponíveis se mantiveram mais ou menos constantes, nestes cerca de quatro séculos, a capitação de água terá caído para cerca de um sétimo do que era na altura da conquista.



Figura 1.3 Nascentes do canal adutor do Olival do Santíssimo em arenitos cretácicos (foto do autor)

O Chafariz d'El Rei (Figura 1.2) e o Chafariz de Dentro a que se juntaram mais tarde outros subsidiários (Chafariz dos Paus ou da Aguada, o Chafariz da Praia e o Chafariz da Preguiça) eram as principais origens (Saldanha, 2004).

Ao aumento da população terá correspondido também o adensamento da ocupação urbana. Como consequência, cresceu a área impermeabilizada e diminuiu a área de infiltração e de recarga das camadas aquíferas. As alterações do uso e da ocupação do solo, por sua vez, alteraram os níveis piezométricos, os escoamentos e a qualidade da água. Isto é, diminuiu a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos disponíveis. Assim, a falta de água era progressivamente potenciada pelo aumento da procura e a diminuição dos recursos. Ao longo dos tempos, foi-se tornando óbvia a necessidade de encontrar novas origens de água para além do perímetro urbano, que resolvesse definitivamente a questão do abastecimento de água a Lisboa.

Durante cerca de dois séculos, foram sendo apresentadas propostas para resolver a situação de penúria de água em Lisboa através de um aqueduto que a trouxesse da zona de Carenque, onde brotavam numerosas e produtivas nascentes dos arenitos do Cretácico inferior. Tratava-se afinal de reproduzir o que os romanos haviam planeado e construído (Pinto, 1989) havia mais de um milénio (século III d.C.) com o represamento da água na

ribeira de Carenque e a construção de um aqueduto que a levava ao povoado (Olisipo) que seria mais tarde a cidade de Lisboa.

Entre as formações geológicas que afloravam na periferia da cidade de Lisboa, as formações detríticas de Caneças e Belas eram as que apresentavam melhores condições de infiltração, permeabilidade e produtividade. (Figura 1.3). O nível piezométrico estava perto da superfície, as condições estruturais eram favoráveis (alternâncias de arenitos e pelitos) e, por conseguinte, as nascentes eram frequentes e com água de boa qualidade e caudal perene.

O Aqueduto das Águas Livres viria a ser construído no século XVIII por iniciativa de D. João V. O Aqueduto Geral, ou seja, o troço principal desde a nascente da Água Livre (Mãe d'Água Velha) em Carenque até à Mãe d'Água das Amoreiras em Lisboa, começou a ser construído em agosto de 1732, estando concluído em 1748 (Figura 1.4). Este feito permitiu que Lisboa recebesse diariamente 1.300 m³ de água de excelente qualidade que se acrescentavam aos cerca de 600 m³/d que eram os recursos disponíveis desde os primórdios da nacionalidade (Pinto, 1989). Os aquedutos adutores, isto é, os ramos auxiliares do Aqueduto das Águas Livres foram sendo construídos até 1835.

O comprimento do Aqueduto Geral é de 14.104 metros, os ramais adutores mais importantes têm a extensão de 44.031 metros (<http://revelarlx.cm-lisboa.pt/gca/?id=1192>). No total, o Aqueduto das Águas Livres mede 58.135 metros e chegou a ser alimentado por cinquenta e oito nascentes.

No princípio do século XIX, decorrido poucas dezenas de anos sobre o reforço do abastecimento pelo Aqueduto de Águas Livres, entrou-se novamente numa situação em que a água era insuficiente para atender às exigências da população de Lisboa, de tal modo, que foi necessário transportar água da margem sul do Tejo. No final do século, o abastecimento domiciliário era praticamente inexistente, com exceção de alguns edifícios públicos e das residências mais ricas, sendo a generalidade da população servida por chafarizes e bicas (Figura 1.5 e Figura 1.6), espalhados pela cidade (55 em 1895), e considerados escassos nas zonas mais populosas (Bruno & Inácio, 2014).

O Aqueduto das Águas Livres deixou de abastecer Lisboa a partir de 1967 e, atualmente, faz parte do Museu da Água, criado em 1987 e instalado na Estação Elevatória a Vapor dos Barbadinhos. O museu integra igualmente o Reservatório da Mãe de Água das Amoreiras e o Reservatório da Patriarcal.

Figura 1.4 Aqueduto de Águas Livres (vista parcial na travessia do vale de Alcântara) (foto Shutterstock)





Figura 1.5 Chafarizes do largo do Rato e do largo do Carmo (fotos do autor)

Como resposta às carências existentes foi construído, entre 1871 e 1880, um novo aqueduto, o Aqueduto do Alviela, preparado para o transporte gravítico da água captada nas nascentes dos Olhos de Água do rio Alviela, localizadas à altitude de 64 m e a 114 km a norte de Lisboa (Figura 1.7).

O reservatório final da água transportada pelo aqueduto do Alviela foi construído na cerca de um extinto convento franciscano, antes ocupado pela ordem religiosa dos Barbadinhos Italianos, e denominado de Reservatório dos Barbadinhos.

Sem a monumentalidade do Aqueduto das Águas Livres, o Aqueduto do Alviela é uma notável obra de engenharia hidráulica (Figura 1.8 a Figura 1.10) com mais de 75 km de trincheiras, 94 túneis num total de 17.537 m, 15.590 m de sifões repartidos por 51 unidades, 106 arcadas num total de 891 arcos e 3.523 m de comprimento, e o canal com dimensões interiores de 1,9 m de altura e 1,3 m de largura (Pinto, 1989).

Com a assinatura do quarto contrato, entre a Companhia das Águas de Lisboa e o Governo, em 31 de dezembro de 1932, no seguimento do Decreto n.º 21879, de 18 de novembro de 1932, "obrigava-se a Companhia a executar, conforme projetos aprovados pelo Governo, as obras necessárias não só para a ampliação do aprovisio-

namento em água da capital, mas também as requeridas pelo abastecimento da zona do trajeto dos adutores e da zona suburbana, incluindo Estoril, Cascais e Sintra" (Pinto, 1989). O plano dessas obras era dividido em quatro fases que incluíam a captação, elevação e adução de água do rio Tejo e de uma grande represa a construir no Zêzere com a capacidade mínima de 30.000.000 m³.

A primeira obra a ser executada foi a duplicação dos sifões do Canal do Alviela a montante de Ota. Seguiu-se a construção do primeiro troço do Canal Tejo entre Lisboa e Carregado. Quanto à captação das águas superficiais do

25

Figura 1.6 Arranjo de nascente (bica) no bairro da Bica (foto do autor)





26

Figura 1.7 Nascente do Alviela em período de final de seca (Dezembro de 2017)



Figura 1.8 Entrada da água no Canal do Alviela



Figura 1.9 Trecho inicial do Aqueduto do Alviela, à saída da origem



Figura 1.10 Vista parcial da arcada do Aqueduto do Alviela em Louriceira



Figura 1.11 Vista atual parcial do campo de captações do Carregado

28

Tejo, a montante de Santarém, foi interrompida a atualização de um projeto de 1908, por ter surgido inesperadamente a perspectiva de uma outra solução porventura mais oportuna. Com efeito, a empresa americana Laune & Co, propôs ao governo a captação por poços/furos profundos da água subterrânea das aluviões do Tejo a norte de Vila Franca de Xira. A solução incluía algumas das vantagens da captação de águas subterrâneas: o projeto e a construção seriam rápidos, era competitiva do ponto de vista económico, o caudal disponível poderia ser a qualquer momento acrescentado com a construção de novos poços/furos e o investimento poderia ser fracionado ao longo do tempo de acordo com as necessidades do consumo. Além disso, não prejudicava a primitiva intenção de se utilizarem as águas superficiais e os furos seriam abertos na região que o novo adutor iria atravessar. Por outro lado, "se os poços não fossem capazes de assegurar a ampliação do abastecimento, continuar-se-ia a construção do canal e retomar-se-ia a solução das águas superficiais" (Pinto, 1989).

O Aqueduto ou Canal Tejo, o novo adutor, foi inaugurado em 1940 e ampliado em 1963 e 1976 para uma capacidade nominal na ordem dos 400.000 m³/d. Tem cerca

de 60 km de comprimento e transporta a água das captações aluvionares e da captação de água superficial de Valada até à Estação Elevatória dos Olivais, em Lisboa.

Esta nova era ou período de construção de captações subterrâneas por poços/furos em Portugal começou com a publicação do Decreto-Lei n.º 24624, de 1 de novembro de 1934. Este diploma permitiu a adaptação do plano previsto no contrato de 31 de dezembro de 1932 à captação de águas subterrâneas das aluviões do Tejo a norte de Vila Franca de Xira. Com fundamento nas observações realizadas por ocasião da visita de dois engenheiros da CAL a obras de captação análogas na Alemanha, foi escolhida a empresa alemã Johann Keller (JK), que tinha larga experiência de captações nas aluviões do rio Reno, para executar no Carregado a primeira captação profunda de águas subterrâneas em Portugal (Pinto, 1989).

A obra do Carregado (Figura 1.11) iniciou-se em fevereiro de 1935 e terminou em outubro de 1936 (Pinto, 1989). Os trabalhos de pesquisa e captação de água subterrânea estenderam-se para montante à Quinta do Campo, Espadanal e Valada (Valada I), onde ficaram concluídos em 1945 (Mendonça *et al.*, 1982).



Figura 1.12 Quadro de azulejos com uma quadra de elogio ao canal e à água

No início da década de 1950 os furos do Carregado começaram a apresentar sinais de deterioração e rapidamente ficaram inutilizados. A obra de substituição de todas as captações foi iniciada em novembro de 1953 e só veio a considerar-se concluída em abril de 1955.

Além das instalações destinadas à exploração e adução da água, nalguns dos campos de captação de água subterrânea da EPAL, existia uma casa para apoio aos seus trabalhadores que permaneciam dias seguidos nestes locais isolados e afastados das povoações.

No campo do Carregado, ainda existe a casa que, numa das paredes interiores, conserva um arranjo de azulejos com versos em quadra sobre a natureza, importância e louvor da água e do canal adutor: "A água deste canal,/ quantas fortunas encerra!/É o sangue natural/que anima o corpo da Terra." (Figura 1.12).

Das captações subterrâneas construídas na década de 1930 apenas existe a primeira captação construída na Quinta do Campo: um poço de grande diâmetro interior (4,26 m) que se previu ser do tipo Ranney, isto é, um poço de drenos radiais e horizontais. Surgiram certos percalços e depararam-se dificuldades de tal ordem, que obrigaram à alteração profunda do que havia sido projetado e acabou por ser construído um poço de parede dupla em que a exterior é de chapas de aço perfuradas, a interior é contínua

e estanque de betão e o intervalo é dividido em células independentes preenchidas com um filtro de seixo (poço Hebard), (Figura 1.13 e Figura 1.14).

A localização do campo de captações em Espadanal (Figura 1.15) foi antecedida da realização de uma campanha de prospeção que culminou com a construção de seis furos de captação em 1937/38 (P7 a P12). O campo de captações viria a ser renovado a partir de 1956 com a substituição das velhas captações da década de 1930 por outras de características semelhantes.

Como a utilização da água para consumo humano deste campo era particularmente condicionada pelos teores de ferro e de manganês dissolvidos, foi construída uma estação de desferrização e de desmanganização da água próximo da vila de Azambuja e do traçado do Canal Tejo. (Figura 1.16)

Tal como em Espadanal, a localização do primeiro campo de captações em Valada foi antecedida da realização de uma campanha de furos de prospeção realizada pela empresa J. Keller. A fase de captação realizou-se nos anos de 1944/45. Estes furos de captação, considerados como da primeira geração, foram sendo substituídos por furos de características idênticas a partir de 1957 (Figura 1.17).

Entretanto, no ano de 1934, foi autorizada pelo Governo a utilização das emergências de água dos calcários jurássicos da zona de Alenquer, com a finalidade de dominar rapidamente a crise de água que se tinha instalado na zona de Lisboa. A água seria transportada para Lisboa através do Aqueduto do Alviela cujo trajeto passa próximo de Alenquer.

As nascentes mais abundantes brotavam de fendas nos calcários jurássicos nas margens e leito do rio Alenquer. A água era considerada quimicamente de boa qualidade e má do ponto de vista bacteriológico devido à sujidade existente nas proximidades das nascentes. As condições higiénicas deficientes da captação justificaram severas críticas e, desde 1939, ou mesmo anteriormente, a Comissão de Fiscalização das Obras de Abastecimento de Água à cidade de Lisboa lutou para melhorar esta situação que devia ser provisória (Fleury, 1944).



30

Figura 1.13 Campo de captações da Quinta do Campo: edifício de apoio aos trabalhadores e posto de transformação elétrico e caseta do poço Hebard com a tubagem adutora



Figura 1.14 Campo de captações da Quinta do Campo: em primeiro plano a caseta do poço Hebard construído na década de 1930 e, mais afastada, a caseta do furo de captação ACP1 construído em 1962



Figura 1.15 Entrada do campo de captações de Espadanal com as casetas, soerguidas em relação à superfície do terreno, de dois furos de captação no sistema aquífero aluvionar do Tejo. É também visível a cabeça de um furo, com parte da tubagem de elevação, que capta nas formações do sistema aquífero terciário (ACP500-1)



Figura 1.16 Estação de desferrização da água do Espadanal



Figura 1.17 Casetas sobre-elevadas dos furos de captação de Valada I dispostas num alinhamento com direção NW-SE e afastadas entre si cerca de uma centena de metros

A substituição da captação superficial da água das nascentes tornou-se possível graças à introdução em Portugal de técnicas de construção de furos de água subterrânea e à perceção de que os furos seriam captações menos vulneráveis às ações antropogénicas e que o volume de água disponível passaria a ser maior e mais regular com a captação mais profunda.

Os primeiros furos de pesquisa nos calcários de Alenquer foram construídos em 1944/45 sob a orientação do Professor E. Fleury. Só na década seguinte, através de uma empreitada concretizada em 1959/1960, a firma Augusto Cavaco Eng.º construiu os furos de captação ACP1, ACP2 e ACP3 que substituíram as pesquisas antes realizadas. Aqueles furos continuaram a funcionar até à atualidade e constituem o campo de captação da EPAL na margem esquerda do rio Alenquer (Figura 1.18 e Figura 1.19).

Na Ota, cerca de 6 km a NNE do campo de Alenquer, onde ocorriam nascentes cársicas semelhantes às de Alenquer e cuja localização relativamente ao Aqueduto do Alviela também era próxima, os trabalhos de pesquisa iniciaram-se em 1949 sob a orientação Prof. E. Fleury. Os furos de captação ACP1, ACP2 e ACP3 foram construídos em 1959 a jusante das nascentes, na margem direita do rio Ota e à saída do seu vale em canhão. Na atualidade, estes furos compõem o campo de captações de Ota da EPAL (Figura 1.20 e Figura 1.21).

Nos anos de 1950 e 1951, a construção de captações nas aluviões de Valada estendeu-se a nova área, designada por campo de Valada II, muitas vezes referida como dos "poços isolados de Valada" (ACP-19 a ACP-21), Figura 1.22.

Na década de 1950, a Empresa Teixeira Duarte executou vários furos, que não ultrapassaram os 200 metros de profundidade, na área da Lezíria Grande ou de Vila Franca de Xira, num setor que inclui o local onde posteriormente se construiu o campo de captações de Lezíria I. Os furos (ou poços como por vezes são designados quando o diâmetro e a produtividade dos furos são superiores à média) foram construídos no interior de recintos próprios afastados entre si cerca de 500 metros. A água destas captações era encaminhada para Lisboa através de conduta instalada na ponte de Vila Franca de Xira. Após largas dezenas de anos



Figura 1.18 Vista do campo de captações de Alenquer, com caseta enterrada de um furo de captação, no canto inferior direito da fotografia, e outra, a meio, entre a planta florida e o alinhamento dos edifícios de apoio técnico

sem exploração, os poços e as sondagens de prospeção e pesquisa de Lezíria I foram eliminados no final de 2001

(Figura 1.23), mantendo a EPAL a propriedade dos recintos, dos acessos e da conduta elevatória.



Figura 1.19 Furo de captação de Alenquer em caseta enterrada e equipado com uma eletrobomba submersível

Na procura de novas origens de água, no ano de 1965, a Companhia das Águas de Lisboa equacionou a possibilidade de recorrer a águas subterrâneas mais profundas na margem direita do Tejo. Para isso, contribuiu o conhecimento entretanto adquirido através de sondagens na região de Almeirim-Santarém, que reconheceram camadas do Terciário com muito interesse hidrogeológico.

O programa de pesquisa elaborado pela CAL foi executado em 1966/67 pela empresa ACAVACO. Desenvolveu-se numa faixa de terreno com perto de 30 km de comprimento ao longo do Vale do Tejo, entre Carregado e Santarém. Foram executados nove furos: cinco de pesquisa, dois de ensaio e dois de observação (Figura 1.24).



Figura 1.20 Vista parcial do campo de captação de Ota com a caseta do furo ACP2 em primeiro plano e a caseta do ACP1 no final do alinhamento dos edifícios



Figura 1.23 Operações relativas à eliminação de uma captação de Lezíria I (foto do autor)



Figura 1.21 Interior da caseta do furo de captação ACP2 de Ota com motor da bomba de eixo vertical e equipamento elétrico e de controlo da exploração



Figura 1.24 Furo AC-ME3 (Valada) com artesianismo repuxante de 70 L/s (foto ACAVACO)



Figura 1.22 Furo de captação nas aluviões do campo de Valada II (ACP19 e edifícios)



Figura 1.25 Furo de captação no Miocénico profundo em Valada I (ACP500-1)



Figura 1.26 Central elevatória da água dos furos artesanais de Valada I: poço de chegada e de bombeamento da água de uma das captações; conduta do furo para o poço de chegada (conduta horizontal), coluna de elevação da bomba (vertical sobre o poço de chegada) e conduta adutora para o canal Tejo com cotovelo de 90°

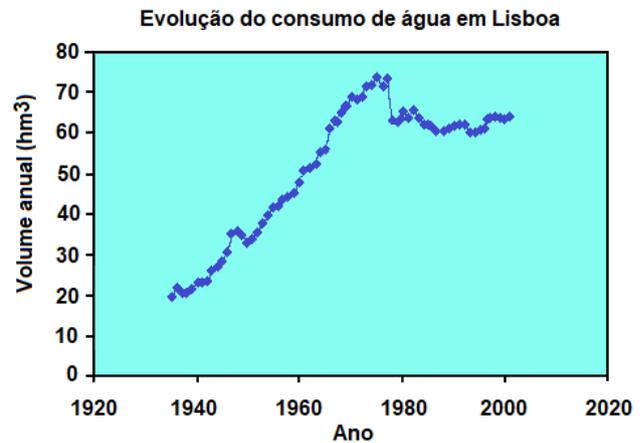


Figura 1.28 Evolução do consumo de água em Lisboa (adaptado de figura EPAL)

multaneamente de chegada e de bombeamento (Figura 1.26), equipados com bombas de eixo vertical que enviam a água para Lisboa (Figura 1.27).

Após os trabalhos de pesquisa profunda do Miocénico na margem direita do Tejo, perante o aumento contínuo do consumo de água em Lisboa (Figura 1.28) e a necessidade de novo reforço de caudal, procedeu-se à execução de um plano de pesquisa do Terciário profundo na Lezíria de Vila Franca de Xira, que decorreu entre 1971 e 1973.

Seguiu-se, até 1980, a construção do campo de captações da Lezíria II, constituído por cinco grupos de duas captações (GI a GV). Cada grupo inclui um furo que capta até profundidades de cerca de 250 m (série 250) e outro que capta abaixo desta profundidade até cerca de 500 m (série 500), Figura 1.29 e Figura 1.30. Os grupos GI a GV localizam-se numa faixa de terreno paralela (do lado SW) à estrada N10, entre Vila Franca de Xira e Porto Alto. A ordem dos grupos é no sentido de Vila Franca de Xira para o Porto Alto. Cada grupo de duas captações fornece um caudal (12.096 m³/d) superior ao valor médio do intervalo de caudal que o Aqueduto de Águas Livres transportava (2.000 a 20.000 m³/d, segundo Paradela & Zbyszewski, 1971).

Em 1980, construíram-se as duas captações do grupo GVI e em 1984, as do GVII, de Lezíria III. Estes grupos localizam-se a cerca de 4 km a NE do GII no sítio denomi-



Figura 1.27 Sala da central elevatória com três bombas, uma para cada poço de chegada da água do artesanismo

Os trabalhos de pesquisa tiveram como sequência a construção de quatro furos de captação, três em Valada I (ACP500-1 a ACP500-3, Figura 1.25) e um no Espadanal (ACP500-1, Figura 1.15) em 1970/72.

Os três furos de captação de Valada I apresentaram forte artesianismo repuxante (cerca de uma centena de litros por segundo por furo à superfície do terreno) que foi aproveitado para a sua exploração conjunta, que se mantém na atualidade. A água das três captações vai para uma central elevatória onde existem três poços si-

nado por Mouchão d'Eça, ao longo da estrada das lezírias que segue para Benavente. O conceito de construção e exploração destes grupos é idêntico ao dos grupos GI e GV embora as captações dos GVI e GVII sejam mais profundas que as de Lezíria II (máximos de 339 m na série 250 e de 632 m na série 500).

Apesar da construção dos campos das lezírias, o contínuo aumento do consumo pressionou a procura de novas origens de água. É neste contexto que, em 1981 e 1982, se constrói o campo de Valada III, constituído por quatro furos nas aluviões, ACP-22 a ACP-25 (Figura 1.31 e Figura 1.32).

Na sequência do campo de Valada III, seguiu-se o projeto de um poço de drenos horizontais (captação de Valada IV), cuja construção teve início em 3 de outubro de 1983 e foi concluído em 11 de agosto de 1984 (Figura 1.33). Foi desativado poucos anos após a sua construção como resultado da qualidade deficiente da água, com concentrações de ferro e manganês muito elevadas.

Em 1985, o conjunto da água subterrânea (nascentes e furos) era 51 % do total de água que abastecia Lisboa; os outros 49% vinham da captação no rio Tejo em Valada do Ribatejo (Mendonça, 1990), Figura 1.34.

A localização dos campos de captação em atividade naquele ano é representada na Figura 1.35.

A entrada em funcionamento do subsistema de Castelo de Bode em 1987, associado com mudanças estratégicas na estrutura de negócios da EPAL, reduziu progressivamente a importância das águas subterrâneas como origem do sistema de abastecimento da EPAL, nomeadamente à cidade de Lisboa, e privilegia as origens de águas superficiais (Castelo de Bode e Valada Tejo).

Atualmente, a água é transportada das origens através do Aqueduto do Alviela, do Aqueduto do Tejo e do adutor de Castelo de Bode. Além de Lisboa, os sistemas de captação e adução da EPAL servem mais de 25 concelhos da margem norte do rio Tejo, correspondendo a uma área total abastecida de 5.292 km².

Apesar da importância das águas subterrâneas ter diminuído drasticamente após a entrada em funcionamento do subsistema de Castelo de Bode, a EPAL, até meados da década de 2000/2010, procedeu a alguns trabalhos de conservação, reabilitação e até de prospeção e pesquisa de águas subterrâneas.

Em 1997 e em 1999/2000 foram concretizados trabalhos de inspeção das captações da Lezíria II que detetaram algumas ocorrências (assoreamentos e concentrações anormalmente elevadas de cloretos) atribuídas a roturas nos revestimentos provocadas pela agressividade da água das camadas aluvionares.

No início da década de 2000, todos os furos de captação do campo de Lezíria II (GI a GV) foram substituídos por outros com características geométricas e hidráulicas idênticas às dos anteriores, sendo reposta a capacidade de produção das captações deste campo.

Além dos trabalhos descritos até 1985, que foram sendo executados sob a pressão do aumento do consumo de água na cidade de Lisboa, realizaram-se outros apenas de pesquisa de água subterrânea que, por várias razões, não tiveram seguimento: (1) pesquisa de água nas aluviões da margem direita do Tejo a montante e jusante de Santarém (1953); (2) pesquisa de água nas aluviões da margem esquerda do Tejo na área do Mouchão d'Eça (1979); (3) execução de furos de pesquisa ao longo Canal de Alviela (1982/84); (4) prospeção e pesquisa de água subterrânea nas Zona A e Zona B do Plano Diretor de Desenvolvimento do Sistema de Abastecimento da EPAL (2001/2002); (5) estudo de viabilidade da reabilitação do campo de captações de Lezíria I (2004).

O modelo atual do abastecimento de água a Lisboa é "robusto e configura vantagens inequívocas" mas apresenta algumas desvantagens, nomeadamente a vulnerabilidade associada a acidentes ou conflitos nucleares, às alterações climáticas e a situações de catástrofe grave (por exemplo, terramoto, ataque terrorista, conflito militar interno e/ou externo, etc.) que degradem a qualidade água superficial para além dos limites toleráveis para o consumo humano e/ou impossibilite a chegada da água e consequentemente interrompa o abastecimento à cidade.



36

Figura 1.29 Grupo GI da Lezíria II com o furo ACP500-1A em primeiro plano, o depósito de cloro do Posto de Cloragem da Lezíria a meio e, ao fundo, o edifício com o equipamento eletromecânico e de controlo da exploração; o furo está localizado do lado de Vila Franca de Xira relativamente ao edifício



Figura 1.30 Furo ACP250-1A, localizado do lado de Porto Alto relativamente ao edifício do GI



Figura 1.31 Furo ACP-23 do campo de captação de Valada III, junto do perímetro das instalações da estação elevatória da captação Valada-Tejo

37



Figura 1.32 Furo ACP-22 do campo de captação de Valada III, junto ao pé interior do dique de proteção do Tejo

Concretamente, numa situação de emergência, é possível estabelecer um conjunto integrado de medidas que permitam assegurar as necessidades básicas das populações através do recurso às disponibilidades de água proporcionadas pelos furos. Esta ideia é tanto mais relevante quanto pode ser aplicada fora de Lisboa, recorrendo aos furos de que a EPAL já dispõe, como na própria cidade, mediante recurso a furos existentes ou a novos furos, que a EPAL poderá vir a construir, assegurando a sua gestão (Mendonça, 2016).

A tecnologia de prospeção, pesquisa e captação de furos de água subterrânea tem evoluído e permite atualmente captar em formações aquíferas profundas localizadas no perímetro urbano da cidade de Lisboa em áreas onde não há exurgências da água e, por isso, no passado, foram consideradas sem recursos hídricos subterrâneos.

O património da EPAL, relativamente à captação de águas subterrâneas por furos, é muito vasto e foi construído ao longo de muitas dezenas de anos. Inclui além dos campos de captações, direitos de exploração e conhecimento adquirido pelos trabalhos de elevada qualidade técnica que mandou executar. Estes trabalhos são marcos significativos do conhecimento da hidrogeologia da bacia cenozoica do Tejo e dos calcários de Ota e Alenquer e foram um dos motores do desenvolvimento das técnicas de construção de furos de captação de água subterrânea em Portugal.



O objetivo deste livro é apresentar os trabalhos mandados executar, com base na consulta de documentação produzida pelas empresas que os realizaram, e que fizeram parte de uma época de forte desenvolvimento da captação de água subterrânea para o abastecimento público das grandes urbes e das povoações recônditas, da agricultura e da indústria, em toda a área de Portugal continental e insular. Deste modo, reúne-se, conserva-se e disponibiliza-se informação dispersa que pode ser muito útil para estudos e trabalhos posteriores.

A informação disponível foi em grande parte reinterpretada do ponto de vista hidrogeológico de modo a inseri-la numa visão atualizada da caracterização e do funcionamento dos sistemas aquíferos. No entanto, usar-se-á a cronostratigrafia utilizada em cada um dos relatórios ou documentos que descrevem os trabalhos de pesquisa e captação de água subterrânea mandados executar pela EPAL.

Do livro constam oito capítulos e três apêndices. Dos capítulos, após este primeiro, segue-se outro com caráter introdutório sobre a hidrogeologia de regiões de Portugal Continental onde se localizam captações subterrâneas de abastecimentos públicos importantes, em particular, de empresas do Grupo Águas de Portugal. Os outros seis capítulos são dedicados aos trabalhos de pesquisa e captação de água subterrânea mandados executar pela EPAL e empresas que a antecederam, a partir dos anos trinta do século passado.

Nos três apêndices procura-se fornecer informação complementar para os leitores não especialistas. O primeiro apêndice consta de um desenho com as várias componentes e o processo construtivo dos furos de captação de água subterrânea; no apêndice II apresenta-se uma legenda interpretativa dos diagramas de caixas e bigodes que são utilizados ao longo do texto; do apêndice III faz parte um glossário de termos hidrogeológicos e geológicos, que apesar dos esforços para simplificação da linguagem técnica, tiveram que ser utilizados.

Figura 1.33 Poço de drenos horizontais de Valada IV

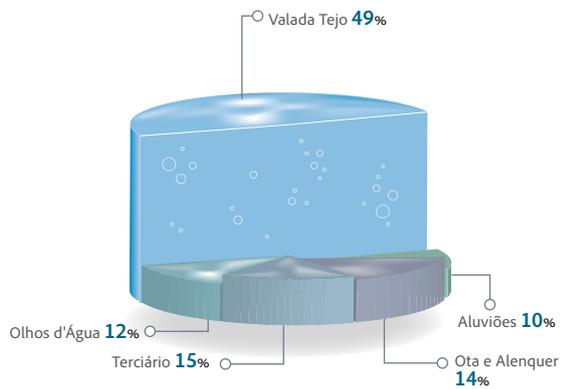


Figura 1.34 A contribuição das diferentes origens de água da EPAL em 1985 (Mendonça, 1990).

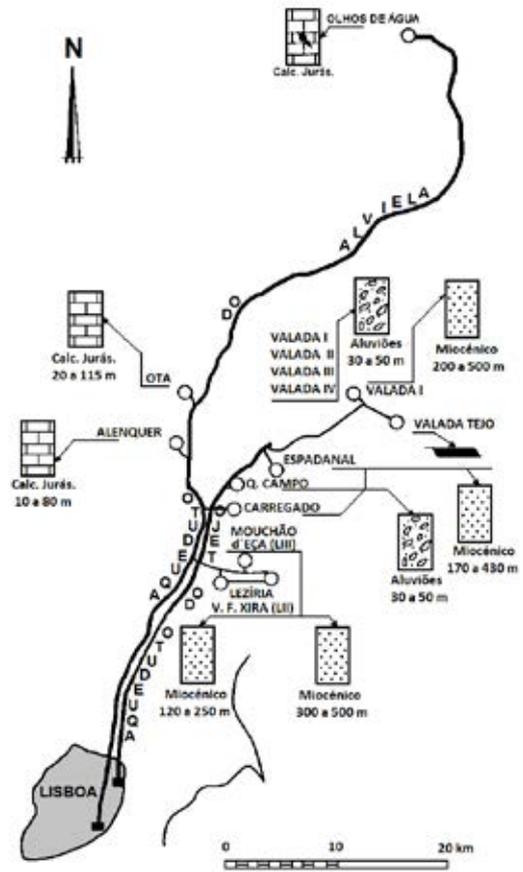
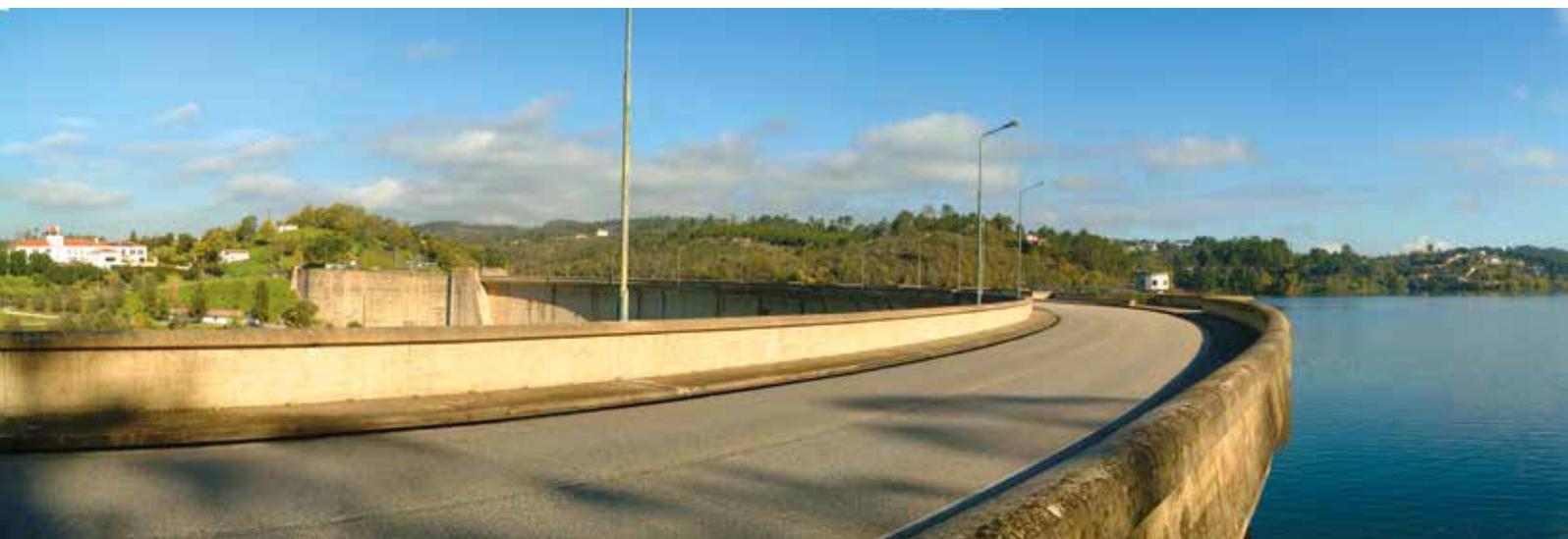


Figura 1.35 Campos de captação de água subterrânea da EPAL em 1985 (adaptado de Paradela & Zbyszewsky, 1971)

Figura 1.36 Panorâmica da barragem e albufeira de Castelo de Bode com a torre de captação (foto de Nuno Farinha)





2. Uma síntese sobre a hidrogeologia de Portugal

O território continental de Portugal interessa quatro unidades hidrogeológicas que correspondem ao mesmo número de unidades morfoestruturais: o Maciço Ibérico/Hespérico/Varisco (abreviadamente maciço antigo), a Orla Ocidental Mesocenoica (abreviadamente orla ocidental), a Orla Meridional Mesocenoica (abreviadamente orla meridional) e a Bacia Cenozoica do Tejo-Sado (abreviadamente bacia Tejo-Sado), [Figura 2.1](#).

Nestas unidades hidrogeológicas, o Plano Nacional da Água de 2015 (PNA, 2015) considera setenta e três sistemas aquíferos: vinte e um no maciço antigo, trinta na orla ocidental, dezassete na orla meridional e cinco na bacia Tejo-Sado.

2.1 Maciço Hespérico

O maciço antigo é a unidade morfoestrutural que ocupa a maior extensão em Portugal, sendo constituído, essencialmente, por rochas ígneas e metamórficas.

As litologias correspondentes àqueles tipos de rochas, em hidrogeologia, são designadas genericamente por rochas cristalinas, rochas duras (*hard rocks*), rochas fraturadas e rochas fissuradas. Em termos gerais, podem considerar-se como rochas com escassa aptidão hidrogeológica, pobres em recursos hídricos subterrâneos. No entanto, estes recursos desempenham um papel importante, tanto nos abastecimentos às populações como na

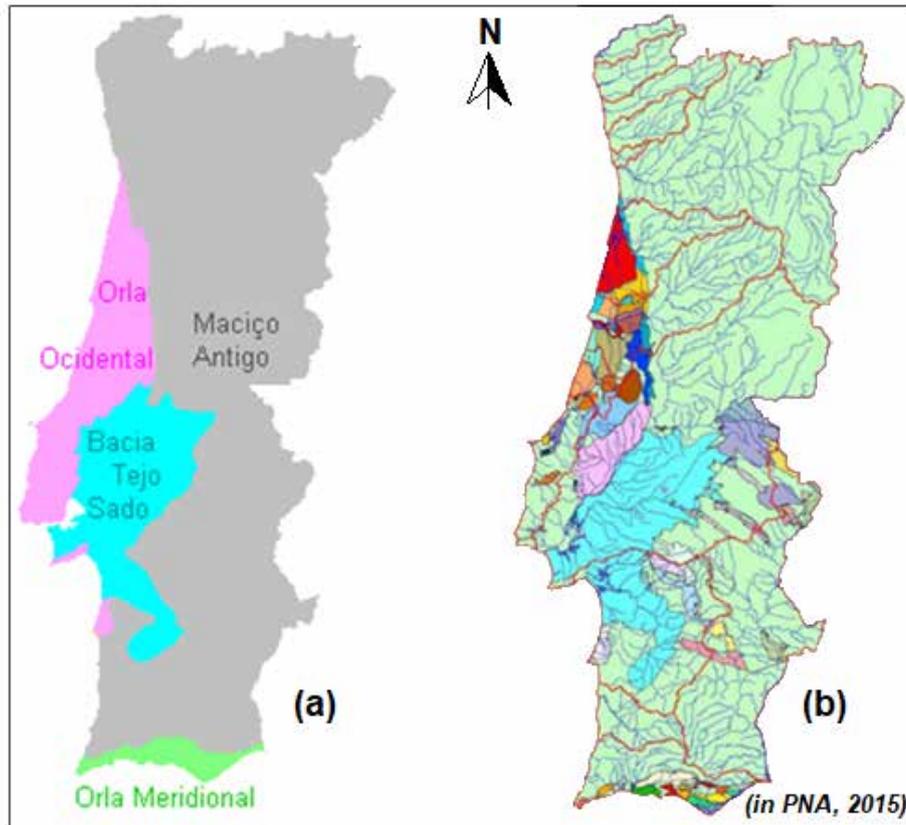


Figura 2.1 Unidades hidrogeológicas de Portugal Continental (a) e sistemas aquíferos de Portugal Continental (b).



Figura 2.2 Escoamentos subterrâneos em meios fraturados: granitos (A e B), xisto e grauvaques (C e D) e filão de quartzo (E) (fotos do autor)

agricultura e na indústria, através de muitos milhares de furos, poços, nascentes e galerias aí localizados.

Embora o maciço antigo seja caracterizado por uma relativa uniformidade, em termos hidrogeológicos, é possível considerar algumas subunidades, com características próprias e que correspondem às divisões geoestruturais do maciço.

Assim, a zona Centro-Ibérica é caracterizada pela grande extensão que ocupam as rochas granitoides, seguida pelos xistos e grauvaques afetados por grau de metamorfismo variável. São também de assinalar, pela sua importância hidrogeológica, os quartzitos que formam alguns dos relevos importantes. A zona de Ossa-Morena embora seja constituída, maioritariamente, por rochas eruptivas e metassedimentares, distingue-se das zonas Centro-Ibérica e Sul-Portuguesa, pela presença de alguns maciços carbonatados importantes e pela extensão de alguns maciços de rochas básicas, praticamente ausentes nas restantes zonas. A zona Sul-Portuguesa, a mais

pobre em recursos hídricos subterrâneos, é constituída fundamentalmente por xistos e grauvaques, afetados por um metamorfismo de grau baixo, assinalando-se, ainda, a presença de uma faixa onde afloram metavulcanitos e depósitos de sulfuretos maciços (Almeida *et al.* 2000).

Os granitos, os xistos, os grauvaques, os quartzitos e outras rochas duras (Figura 2.2) têm em comum muitas características hidrogeológicas, nomeadamente o modo de ocorrência e de circulação da água subterrânea.

O escoamento faz-se predominantemente por fraturas e o armazenamento ocorre igualmente nas fraturas e, quando a alteração é significativa, na porosidade intergranular. Quando ocorrem em simultâneo os dois tipos de porosidade, constituem-se os chamados meios de porosidade dupla, em que a função de armazenamento nos poros pode ser dominante. A drenância para as fraturas torna-se, por isso, um fator importante de recarga.

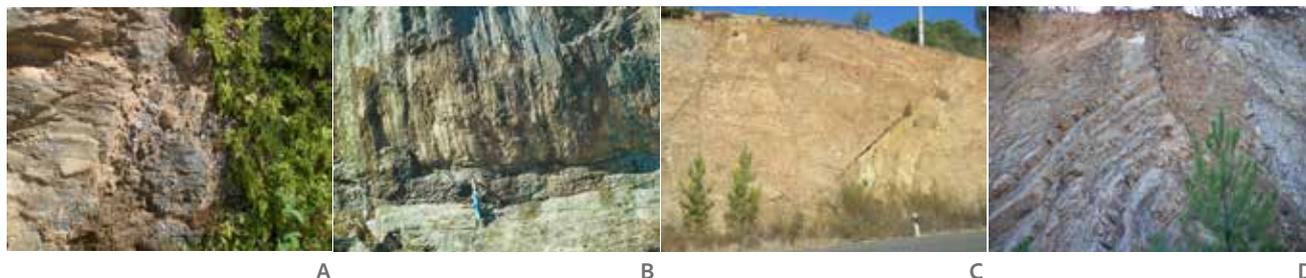


Figura 2.3 Exemplos de estruturas geológicas que podem condicionar o escoamento de água subterrânea: caixa de falha em xistos e grauvaques do Carbónico (A); superfície de falha com estrias subverticais em quartzitos de Sandim (B); falha oblíqua com brecha de falha de dimensão centimétrica em xistos e grauvaques do Carbónico (C); falha no plano axial de dobra em grauvaques do Carbónico com brecha consolidada (D). (Cortesia de MSc A. Vieira da Silva)



Figura 2.4 Exemplos de minas de água do abastecimento da vila de Manteigas pela empresa Águas do Vale do Tejo, S.A. (AdVT) e cujas entradas estão protegidas por casetas; localizam-se em encostas muito íngremes de rochas metassedimentares do Grupo das Beiras do Supergrupo Dúrico-Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico); nestes casos estão a cerca de duas a três centenas de metros abaixo da superfície de aplanamento da ordem de 1250 m de altitude observável na fotografia (A) (fotos do autor)

A condutividade hidráulica ou permeabilidade por fraturas depende, entre outros fatores, da abertura e do tipo de enchimento. Em meio saturado e em fraturas com paredes lisas, a velocidade do escoamento é diretamente proporcional ao quadrado da abertura, isto é, a velocidade e o caudal dos escoamentos são muito sensíveis a pequenas variações da abertura da fraturação. Constituem-se, por isso, subdomínios associados às grandes estruturas frágeis e suas fraturas secundárias abertas (Figura 2.3), onde a circulação da água é significativa e onde a produtividade dos furos que as intersectam pode ser relativamente elevada (até à meia dezena de litros por segundo ou maior em condições muito excepcionais). Pelo contrário, falhas com caixa de materiais argilosos ou milonitizações soldadas e filões compactos e/ou muito alterados podem servir de barreiras aos escoamentos.

A configuração da superfície livre da água é irregular e depende da interação entre a distribuição da condutivi-

dade hidráulica e da infiltração; o meio aquífero resulta fortemente compartimentado, com variações bruscas dos níveis piezométricos e das características hidráulicas entre compartimentos adjacentes.

As condições geomorfológicas também condicionam a ocorrência e a circulação da água, em particular a infiltração. O relevo vigoroso, com as suas encostas muito declivosas, influencia negativamente a infiltração, promovendo a escorrência superficial e o escoamento hipodérmico para uma rede hidrográfica que penetra profundamente as rochas que atravessa, Figura 2.4. Estes subdomínios de altitudes elevadas são locais potencialmente geradores de escoamentos profundos que podem entrar no âmbito da hidrogeotermia. Nas plataformas de aplanamento, pelo contrário, o relevo mais suave e os sedimentos que recobrem localmente as rochas do soco, são fatores que facilitam a infiltração.



Figura 2.5 Arranjos de nascente em granitos e xistos e grauvaques (fotos do autor)



Figura 2.6 Galerias ou minas em rochas fraturadas, neste caso como origens de água para o abastecimento público de Manteigas da empresa AdVT (fotos do autor)

Tradicionalmente, os agregados populacionais utilizavam a água que emergia espontaneamente à superfície do terreno (nascentes) ou fazia alguns arranjos para melhorar as condições de emergência. Essa água era utilizada diretamente da emergência ou era encaminhada para chafarizes onde era recolhida para o consumo humano e dos animais, para os usos de higiene doméstica e os excedentes eram encaminhados para a agricultura. Nalguns casos, os arranjos de nascentes e os chafarizes apresentam alguma monumentalidade que sobressai entre a arquitetura local (Figura 2.5).

Também as galerias ou minas são captações tradicionais especialmente adaptadas à captação de água nas encostas dos vales do maciço antigo e cuja construção está sendo abandonada devido ao elevado custo (Figura 2.6). Nas galerias, quando as condições geológicas, estruturais e hidrogeológicas são favoráveis, procura-se interseccionar os escoamentos de água das várias famílias de fraturas, penetrando mais profundamente no maciço. O caudal acumulado é habitualmente superior ao das nas-

centes e o regime de exploração é menos influenciado pelas variações climáticas sazonais. A água das galerias, além dos usos que partilham com a água das nascentes, pertencem e contribuem muitas vezes para sistemas de abastecimentos de maior dimensão, como o abastecimento domiciliário de aldeias e vilas.

Os pequenos aquíferos suspensos, suportados pelos sedimentos das pequenas bacias de cobertura, recarregam por drenância as rochas cristalinas subjacentes, constituindo ambientes onde a recarga se prolonga para além da época das chuvas. São subdomínios onde tradicionalmente se constroem poços que, muitas das vezes, também podem captar água do substrato fraturado e/ou alterado (Figura 2.7, fotos A e B).

Desde os anos da década de 1970, com o grande desenvolvimento da aplicação da técnica de furação por rotopercurssão (martelo-de-fundo-de-furo) com ar comprimido, particularmente adaptado a este tipo de rochas, os furos verticais passaram a ser a captação de água mais comum



Figura 2.7 Poços e furos no maciço antigo: poço (A), poço com nora (B), furo vertical (C), furo horizontal (D), poço com drenos horizontais em aluviões do Mondego (E) (fotos do autor)

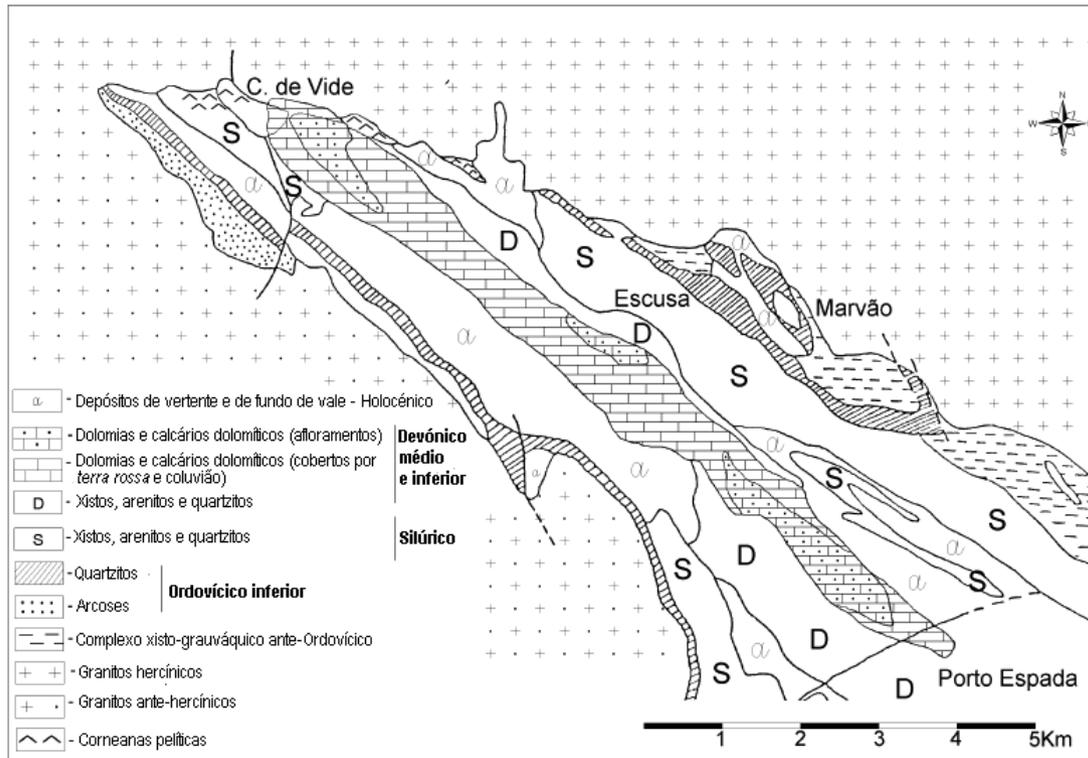


Figura 2.8 Geologia e estrutura local do sinclinal de Castelo de Vide (adaptado de Monteiro, 2001)

no maciço antigo: existem muitos milhares de furos para o abastecimento público e privado de água (consumo doméstico, pequena agricultura e indústria), [Figura 2.7](#) (C) e (D).

Os poços escavados em rocha com furos radiais é uma técnica também usada para melhorar a produtividade e que veio substituir os poços com galerias laterais.

Os poços com drenos horizontais (PDH) construídos nas aluviões dos rios, [Figura 2.7](#) (E), são uma técnica construtiva com que se obtêm caudais para abastecimentos públicos de grande dimensão (o abastecimento da cidade de Coimbra inclui três PDHs com caudal unitário superior a 500 L/s).

As rochas carbonatadas paleozoicas, que ocorrem no maciço antigo, são uma exceção em termos de produtividade, podendo assumir uma importância regional assinalável. São aquíferos do tipo cársico cuja génese se descreverá mais adiante a propósito da orla ocidental.

São considerados, como exemplos, o sistema aquífero de Escusa e o sistema aquífero de Estremoz-Cano onde existem captações de água subterrânea para o sistema de abastecimento público da empresa AdVT.

O sistema aquífero de Escusa ocupa uma estreita faixa com orientação NW-SE, com cerca de 11 km de comprimento, largura máxima de 1 km e área de 7,9 km². Localiza-se na parte central do sistema montanhoso da Serra de S. Mamede ([Figura 2.8](#)).

A matriz do sistema aquífero é constituída por rochas carbonatadas do Devónico, na maioria dolomias e calcários dolomíticos, que ocupam o núcleo do sinclinal de Castelo de Vide.

A maioria da área do sistema é recoberta por terra rossa que dificulta a infiltração da água da recarga e de eventuais contaminações lançadas à superfície. Os afloramentos das



Figura 2.9 Abatimento de cavidade cárstica cerca de 1,5 km a WNW de Porto Espada (foto do autor)



Figura 2.10 Troço da vertente (caleira) sobranceira aos fornos da cal de Escusa (foto do autor)

dolomias, em grande parte do sistema aquífero, apresentam o exocarso pouco desenvolvido, tendo aspeto bastante compacto e são. Os exemplos de formas endocársticas são aparentemente mais abundantes, tais como um abatimento antigo na margem direita da ribeira de Vide, abatimento nas proximidades do cemitério de Castelo de Vide, abatimento a cerca de 1,5 km a WNW de Porto Espada (Figura 2.9) e a presença de numerosas cavidades, com dimensão métrica, visíveis nas caleiras sobranceiras aos fornos da cal de Escusa (Figura 2.10).

É um sistema cársico, livre ou freático, recarregado pela água das chuvas (infiltração direta) e infiltração indireta da água de drenagem das encostas adjacentes. A NE,

SE e SW, as formações xistosas e quartzíticas do Silúrico comportam-se como fronteiras impermeáveis. A NW, os granitos desempenham um efeito de barragem que promove o afloramento da superfície freática e a subsequente descarga na rede hidrográfica e pela evapotranspiração. O rio Sever é o eixo principal de descarga do sistema aquífero, quando o atravessa transversalmente nas proximidades da povoação de Portagem.

O volume médio anual da recarga estima-se em 50% da precipitação, equivalente a 3,30 hm³/ano (418 mm/ano). O sistema aquífero considera-se em bom estado quantitativo, subexplorado, com uma taxa de exploração de 45%.

Estatística	Caudal de ensaio (L/s)	Transmissividade (m ² /s)	Profundidade do furo (m)	Condutividade hidráulica (m/s)
Número de valores	11	13	13	13
Média	20,98	7,53x10 ⁻³	47,51	2,00x10 ⁻⁴
Mediana	9,60	1,81x10 ⁻³	43,50	4,38x10 ⁻⁵
Desvio padrão	28,35	1,30x10 ⁻²	25,29	3,71x10 ⁻⁴
Quartil 1	2,50	1,40x10 ⁻³	33,00	1,43x10 ⁻⁵
Quartil 3	27,80	6,85x10 ⁻³	51,00	1,34x10 ⁻⁴

Quadro 2.1 Estatísticas de parâmetros hidrodinâmicos calculados da interpretação de ensaios de bombeamento no sistema aquífero de Escusa (resultados originais in Monteiro, 2001)



Figura 2.11 Furos do campo de captação de Olhos de Água de Aramenha da empresa AdVT (fotos do autor)

Monteiro (2001) realizou ensaios de caudal em 11 captações do sistema aquífero: as estatísticas dos resultados apresentam-se no [Quadro 2.1](#). Tanto a transmissividade como a condutividade hidráulica são valores equivalentes, isto é, como se o meio fosse poroso, homogêneo e isotrópico

A água do sistema aquífero é do tipo bicarbonatada cálcica-magnésiana ou bicarbonatada magnésiana-cálcica com condutividade elétrica (CE) média da ordem de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e pH alcalino.

Junto aos Olhos de Água de Aramenha, localizam-se quatro furos de captação que fazem parte das origens do sistema público de abastecimento de água de Portalegre: JK3, JK4, JK5 e RA1C ([Figura 2.11](#)). Os Olhos de Água, emergência natural principal do sistema aquífero, só funcionam muito esporadicamente, em anos excepcionalmente chuvosos.

Outro sistema aquífero carbonatado importante do maciço antigo é o sistema Estremoz-Cano, denominado também por A4 na classificação oficial do INAG. Trata-se de um sistema aquífero que tem a área de 186,8 km^2 , com forma alongada que se estende segundo a direção NW-SE por cerca de 50 km com largura máxima de 7 km (Carvalho *et al.*, 1998). Almeida *et al.* (2000) refere que a área total do sistema aquífero é de 202 km^2 . O abastecimento público dos concelhos de Borba e Alandroal, que é da responsabilidade da empresa AdVT, baseia-se em captações localizadas neste sistema.

O sistema aquífero localiza-se numa grande estrutura regional em antifórma – o anticlinório de Estremoz – orientada segundo a direção NW-SE. As formações aquíferas dominantes são de natureza carbonatada, iniciando-se pela Formação Dolomítica de Estremoz, de idade câmbrica, que assenta num substrato impermeável, constituído por depósitos detríticos câmbricos e xistos pré-câmbricos (Xistos de Mares). Segue-se a Formação Vulcano-Sedimentar de Estremoz (Mármore de Estremoz) a que se atribui possível idade ordovícica. Na região do Cano, na extremidade NW do anticlinório, os calcários lacustres de Cano, plistocénicos, recobrem os calcários paleozoicos.

O sistema aquífero Estremoz-Cano pode ser subdividido em dois setores ([Figura 2.12](#)): (1) setor de Estremoz, onde as formações produtivas são os calcários paleozoicos (aquífero de Estremoz) e (2) o setor de Cano, onde as formações plistocénicas (calcários lacustres de Cano) são o aquífero principal e recobrem os calcários paleozoicos.

No setor de Estremoz, que se estende para SE até à extremidade periclinal na zona do Alandroal, o sistema assume as características de aquífero cársico livre, embora nalguns locais seja confinado, devido às intercalações de xistos e metavulcanitos.

O sistema aquífero, regista a ocorrência de endo e exocarsos resultantes da sucessão de ciclos de carsificação que ocorreram na área (Cupeto, 1991). A parte mais desenvolvida da carsificação está associada à fácies mármore, que apresenta as formas morfológicas mais significativas. Na área carsificada, as condutas têm grande desenvolvimento vertical.

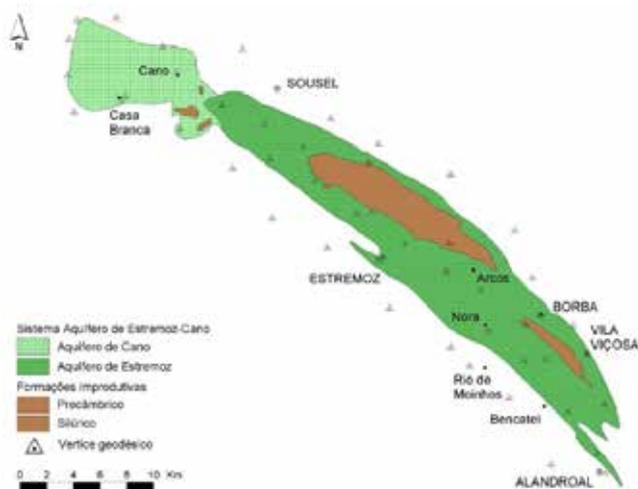


Figura 2.12 Enquadramento hidrogeológico do sistema aquífero de Estremoz-Cano (in Midões, 1999)

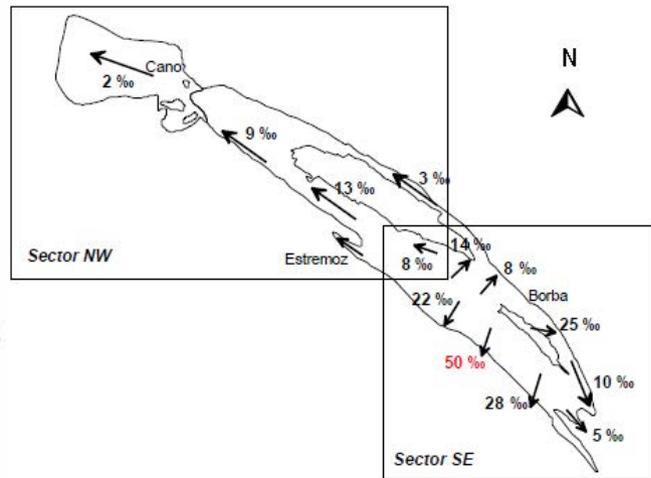


Figura 2.13 Representação esquemática das direções preferenciais do sentido de fluxo de água subterrânea no anticlinal de Estremoz (ERHSA, 2001)

48

Segundo os dados geológicos e hidrogeológicos, o maior desenvolvimento de estruturas cársticas no sistema Estremoz-Cano parece ocorrer nas terminações periclinais de SE e NW (Carvalho *et al.*, 1998). Na região da terminação de SE, entre outros, ocorrem os algares das Morenas e de Santo António relacionados com o abastecimento de água da vila de Alandroal.

Os algares das Morenas e de Santo António e outros são representantes de volumes geológicos, onde o alargamento progressivo das redes de fraturas deu origem ou confluuiu com um sistema de drenagem subterrâneo, organizado e hierarquizado, na direção da zona de descarga do período em que ocorreu a carsificação.

Relativamente ao bordo sul do sector de Estremoz, as nascentes são mais numerosas quanto mais próximas de Estremoz. No bordo norte observa-se uma situação similar, mas os caudais são inferiores (Almeida *et al.*, 2000).

São ainda de assinalar as ocorrências de nascentes no interior do maciço, não relacionadas com quaisquer contactos mas, simplesmente, devidas à posição topográfica (Cupeto, 1991).

Na **Figura 2.13** representam-se as direções principais do escoamento subterrâneo. De um modo geral, a circulação tem uma orientação de SE para NW, em direção aos Calcários do Cano (Cupeto, 1991), e para SE em direção à outra extremidade periclinal. No entanto, a rede de fraturação e as alternâncias de litologias pouco permeáveis provocaram a compartimentação do aquífero, que se manifesta por mudanças bruscas da piezometria e consequentes alterações de direção dos escoamentos.

De acordo com os estudos no âmbito do projeto ERHSA (2011), estimam-se as entradas anuais do sistema em cerca de 34 hm³. Esta estimativa foi baseada numa taxa média de recarga da ordem dos 25% da precipitação média anual.

Média	Desvio padrão	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo
4,6	5,2	0	0,7	2,5	7,8	20

Quadro 2.2 Principais estatísticas dos caudais de furos do sistema aquífero de Estremoz-Cano, obtidos pelo projeto ERHSA (L/s), Almeida *et al.* (2000)

Almeida *et al.* (2000), com base em 51 valores do caudal de furos de captação, calculou as estatísticas principais que se apresentam no [Quadro 2.2](#)

A fácies dominante da água é a bicarbonatada cálcica e magnésiana, como é característico de sistemas aquíferos cujo suporte são rochas carbonatadas.

As indústrias extrativa e transformadora de mármore, fortemente implantadas na região SE do anticlinal de Estremoz são um risco de contaminação do sistema aquífero, nomeadamente no que respeita à turvação da água. Por outro lado, para que os trabalhos da lavra se desenvolvam sem constrangimentos, é necessário que haja o constante rebaixamento do nível piezométrico e, por conseguinte, extração de água subterrânea. Desta, só parte volta ao sistema aquífero com composição alterada em relação à que tinha quando do bombeamento e com mineralização total muito superior à da recarga natural pela água das chuvas. Estas extrações de água dos rebaixamentos do nível freático em conjunto com as outras extrações para o consumo huma-

no e agricultura provocam o aumento progressivo da profundidade do nível da água ([Figura 2.14](#)). Esta descida progressiva dos níveis da água influencia as condições da exploração das captações, que no limite, obriga à sua substituição por outras que captem a maior profundidade.

Assim, no flanco sudoeste do anticlinório de Estremoz, perto da extremidade periclinal de sudeste e no extremo de uma faixa de mármore escuros de direção NW-SE com 3 km de comprimento e 250 m de largura onde se localiza o Algar das Morenas (uma das captações do abastecimento a Alandroal), o nível de água na rede cársica é demasiado profundo para permitir a ocorrência de exurgências ativas. A profundidade do nível da água no Algar das Morenas estima-se em cerca de 60 m e a espessura saturada em cerca de uma dezena de metros, muito menor que a espessura superior a 50 m referida por *Carvalho et al.* (1987).

A cerca de uma dezena e meia de metros a sul do Algar das Morenas existe um furo de captação de água atual-



Figura 2.15 Superfície da água no interior do Algar das Morenas à profundidade estimada de 60 m (Foto fornecida por AdVT)

Figura 2.14 Pedreira de mármore com o fundo inundado (foto do autor)



Figura 2.16 Imagens capturadas da endoscopia do furo junto do algar das Morenas: NHE à profundidade de 60,25 m e cavidade cársica abaixo dos 63 m de profundidade

mente fora de serviço. O furo não tem revestimento (está em *open hole*) abaixo de 9,2 m até à profundidade final de 72,8 m.

Em 08-05-2016 foi realizada uma observação do interior do furo com câmara TV e registo vídeo (endoscopia do furo) pela empresa Renato Azenha – Sondagens e Captação de Água (Figura 2.16).

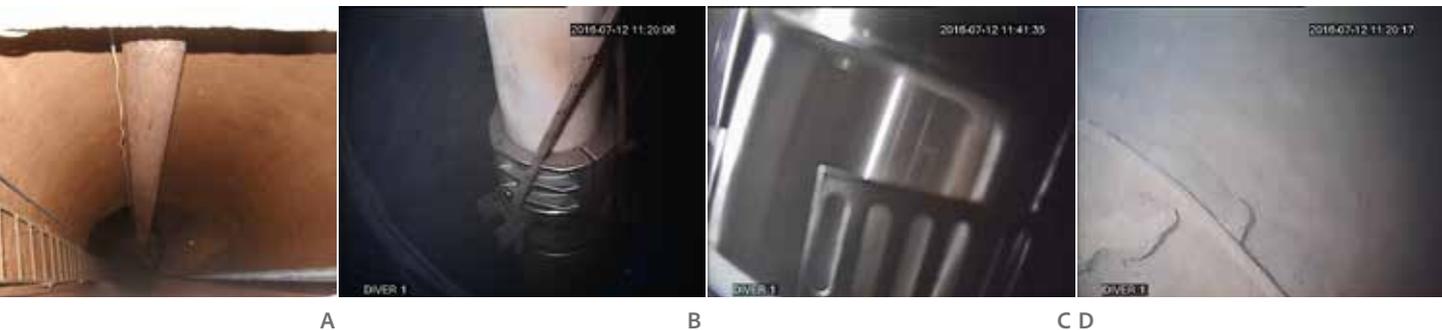


Figura 2.17 Captação de água no algar das Morenas da empresa AdVT para o abastecimento da vila de Alandroal: troço superior do algar das Morenas revestido com parede de betão armado, coluna de elevação da água e cabos elétricos (A); topo da bomba submersível com união na saída para a mangueira de elevação da água (B); ralo da bomba preso por abraçadeira de plástico e aperto rápido (C); fundo do algar recoberto por camada de detritos finos e blocos e uma ponta de cabo perdida (D). (B), (C) e (D) são imagens capturadas do vídeo do mergulho realizado pela empresa SUBcentro–Mergulhadores Profissionais após a descida e instalação da bomba submersível (A) foto do autor

Após atravessar o nível freático a 60,25 m de profundidade, entrou numa cavidade cársica que se presume estar relacionada com o vizinho algar das Morenas.

Entre a data de 25/7/2015 e a da endoscopia (8/5/2016) o NHE desceu de 53,5 m para 60,3 m. Esta descida de 6,6 m não parece justificável apenas por uma variação sazonal, mas também por uma tendência. Recorda-se, a este propósito, que em ERHSA (2001) se refere que a profundidade do NHE no algar das Morenas era de 11,8 m em

julho de 1999. Sendo admissível concluir que a cavidade atravessada pelo furo está conectada com o algar, esta observação significaria uma descida dos níveis de água de cerca de 45 m em 17 anos (1999 a 2016) com uma taxa média de cerca de 2,6 m/ano.

Além das extrações do algar das Morenas (Figura 2.15 e Figura 2.17), o abastecimento de água à vila do Alandroal faz-se a partir de um furo localizado nas imediações do Algar de Santo António.

2.2 Orla Ocidental

Nas orlas, as condições geomorfológicas, geológicas e estruturais são completamente diversas das que ocorrem no maciço antigo.

A orla ocidental e o seu prolongamento para *offshore* correspondem a uma bacia sedimentar que se começou a diferenciar no Triásico: a Bacia Lusitânica, como muitas vezes é designada. Esta bacia é uma depressão alongada com orientação NNE-SSW, onde os sedimentos acumulados na zona do eixo atingem cerca de 5000 m de espessura. A leste encontra-se individualizada do maciço antigo pela falha Porto-Coimbra-Tomar, a sul pelo ramo desta fratura, com direção NNE, que se estende até ao canhão de Setúbal e a ocidente por um *horst* hercínico, atualmente materializado pelos granitos e rochas metamórficas do arquipélago das Berlengas.

O estilo tectónico na Bacia Lusitânica é caracterizado pela presença de famílias de acidentes de direções variadas que correspondem em parte ao rejogo de fraturas tardihercínicas; ao longo destes acidentes, a cobertura é deformada por dobras, falhas e dobras-falhas que delimitam blocos, no interior dos quais a cobertura tem um estilo subtabular, com deformações de grande raio de curvatura (Ribeiro *et al.*, 1979).

A fraturação dominante, que corresponde às direções principais tardihercínicas do soco, mostra três orientações preferenciais (Ribeiro *et al.*, 1979): NNE-SSW, coincidente com os principais alinhamentos diapíricos; ENE-S-SW, paralela aos acidentes de orientação bética; NW-SE, orientação das falhas secundárias no interior dos blocos limitados pelos acidentes maiores.

As estruturas tectónicas desenvolvidas no decurso da evolução desta bacia mesocenozoica proporcionaram o afloramento das diversas unidades geológicas, constituindo assim subdomínios onde as formações aquíferas são recarregadas superficialmente pela infiltração da água das chuvas.

O prolongamento em profundidade dessas formações, em estruturas do tipo sinclinal, monoclinal ou anticlinal,

faz com que, em domínios vastos, as camadas aquíferas se encontrem a muitas centenas ou alguns milhares de metros de profundidade, em condições de confinamento ou semiconfinamento, com importante artesianismo. Nalguns casos, esses domínios profundos nunca foram pesquisados na perspetiva da água subterrânea e desconhece-se, por isso, o seu comportamento quer no que respeita à quantidade quer à qualidade dos seus recursos hídricos.

A tectónica salífera proporcionou o desenvolvimento de "penetrações" de terrenos salíferos, que nalguns casos, atravessaram toda a sequência sedimentar supra evaporítica. Estas estruturas comportam-se como limites impermeáveis e compartimentam lateralmente as unidades aquíferas que penetraram.

Algumas destas estruturas evaporíticas deram origem a vales tifónicos onde, por efeito da erosão dos sedimentos evaporíticos, se formaram importantes bacias de sedimentação de material detrítico com grande potencial aquífero (por exemplo, diapiros de Monte Real e de Ervedeira). Noutros casos, as estruturas evaporíticas formam subdomínios aflorantes ou subaflorantes (Soure, Ereira, Monte Real, etc.). Estes terrenos têm produtividade

51

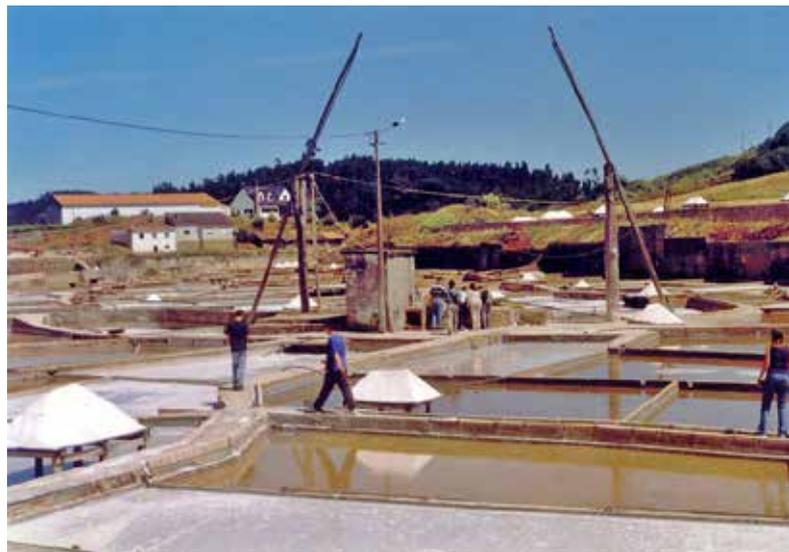


Figura 2.18 Salinas de Rio Maior (foto do autor)

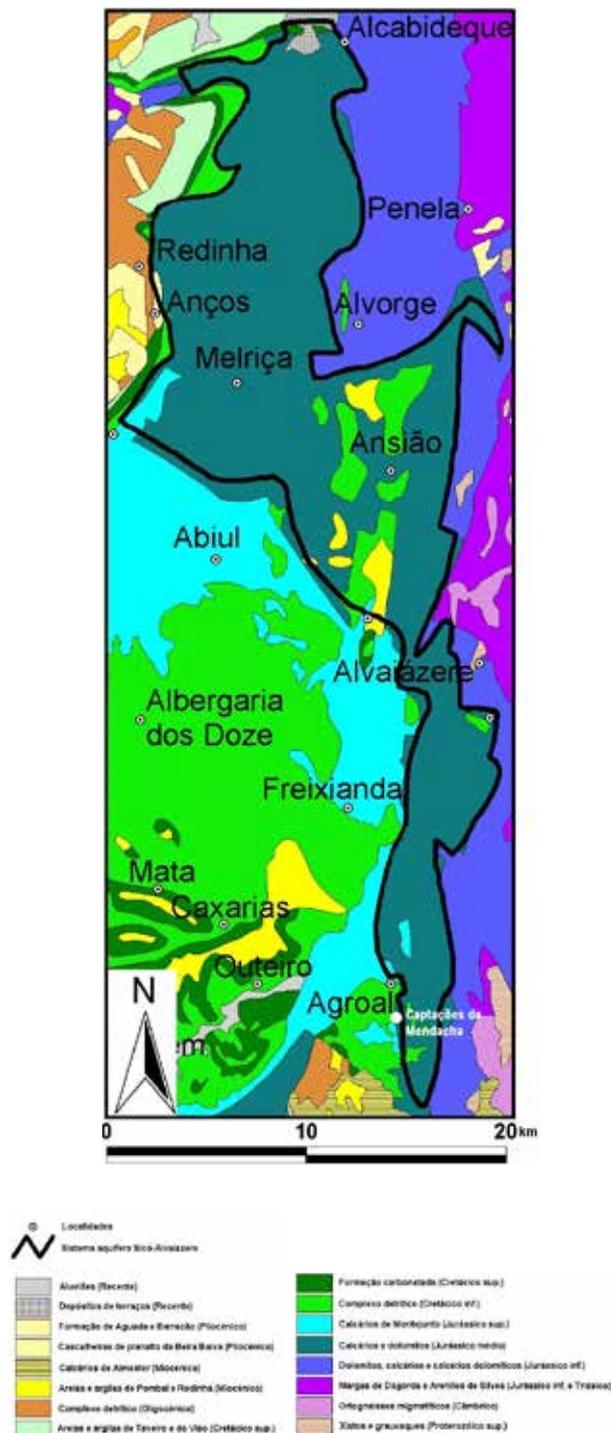


Figura 2.19 Sistema Aquífero Sicó-Alvaiázere
(in Almeida *et al.*, 2000)

de muito baixa e são locais onde a água de circulação adquire forte mineralização, com fácies aniónica cloretada e/ou sulfatada, que contaminam a água das formações adjacentes (Figura 2.18). Este tipo de contaminação também é comum nas águas da base dos sedimentos que preenchem os vales tifónicos.

No que respeita à circulação da água subterrânea individualizam-se dois tipos de sistemas aquíferos: os cársicos e os porosos (nalguns casos, como nos arenitos do Cretácico inferior, a contribuição da fraturação é certamente significativa). Nos primeiros, suportados por calcários e dolomitos, com circulação em grande, por estruturas cársicas que se desenvolvem através da dissolução dos carbonatos provocada pela própria água do escoamento do aquífero. A infiltração, quando os carbonatos se encontram carsificados à superfície, é elevada, da ordem ou mesmo acima de 50 % da precipitação. Também a capacidade de armazenamento e a transmissividade dependem da carsificação. Estes aquíferos têm em regra poder de autorregulação limitado, que bem se evidencia pelas grandes variações de caudal das importantes nascentes por onde descarregam e pela amplitude da variação dos níveis da água entre a época das chuvas e a estação seca.

A infiltração e o escoamento rápido pelas estruturas cársicas tornam estes aquíferos particularmente vulneráveis à poluição, com muito baixo poder autodepurador e com propagação rápida das contaminações.

Entre as origens de água da EPAL incluem-se três núcleos de captação em calcários carsificados da orla ocidental: a nascente do Alviela que é uma saída natural do sistema aquífero Maciço Calcário Estremenho e os campos de furos da Ota e de Alenquer que captam no sistema aquífero Ota-Alenquer (vieram substituir as nascentes cársicas locais). Estes campos de captação serão analisados com pormenor no capítulo 5.

O sistema aquífero Sicó-Alvaiázere é outro importante sistema aquífero cársico da Orla Ocidental, onde se localiza um campo de captações da empresa AdVT. Este campo situa-se na extremidade sul daquele sistema aquífero, nas proximidades das nascentes cársicas de Mendacha, na margem direita do rio Nabão (Figura 2.19).

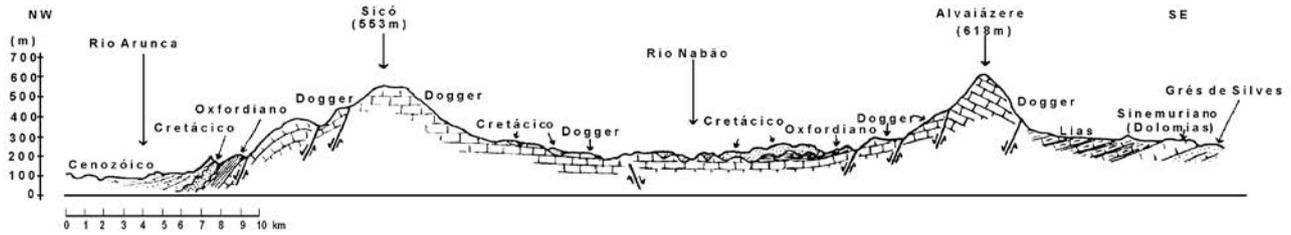


Figura 2.20 Corte geológico esquemático entre as serras de Sicó e Alvaiázere (Romariz *et al.*, 1987)

O sistema aquífero Sicó-Alvaiázere, cuja área é de 332 km², apresenta um funcionamento tipicamente cársico, estando a drenagem subterrânea organizada em torno de um número pequeno de nascentes permanentes com caudal elevado.

As formações aquíferas fundamentais do sistema aquífero são do Jurássico médio (Batoniano e Bajociano), enquadradas superiormente pelo Oxfordiano com características progressivamente mais margosas, e a base, pelo Aaleniano, representado por margas e calcários margosos. Em muitas áreas, os calcários do Jurássico médio encontram-se cobertos por arenitos do Cretácico.

As unidades morfoestruturais condicionam os grandes traços da circulação regional. Podem considerar-se dois setores principais distintos: o setor oeste correspondente à linha de relevos Sicó-Rabaçal e, a leste, o setor correspondente à linha de relevos de Ansião-Alvaiázere. A separar estas duas unidades principais encontra-se uma área deprimida, em grande parte preenchida por sedimentos cretácicos que cobrem os calcários (Figura 2.20).

O setor ocidental apresenta-se, em termos de circulação, dividido longitudinalmente de forma assimétrica, representando a vertente oeste maior área de recarga, pelo que alimenta as nascentes mais importantes, Anços, Ourão e Arrifana e outras secundárias: nascente da Estrada, Caruncho, da Rainha, etc. (Figura 2.21 a Figura 2.23). As principais secam raramente e no caso de Ourão não há mesmo registo de tal ocorrência entre janeiro de 1993 e Dezembro de 2017, de acordo com os dados disponíveis no sítio da internet do SNIRH e as observações realizadas no decurso

da seca severa de 2017. A nascente de Anços, cujo caudal pode atingir 8 m³/s, estava sem escoamento no final de outubro de 2017, em período de seca prolongada (Figura 2.22), enquanto a de Ourão se mantinha ativa.

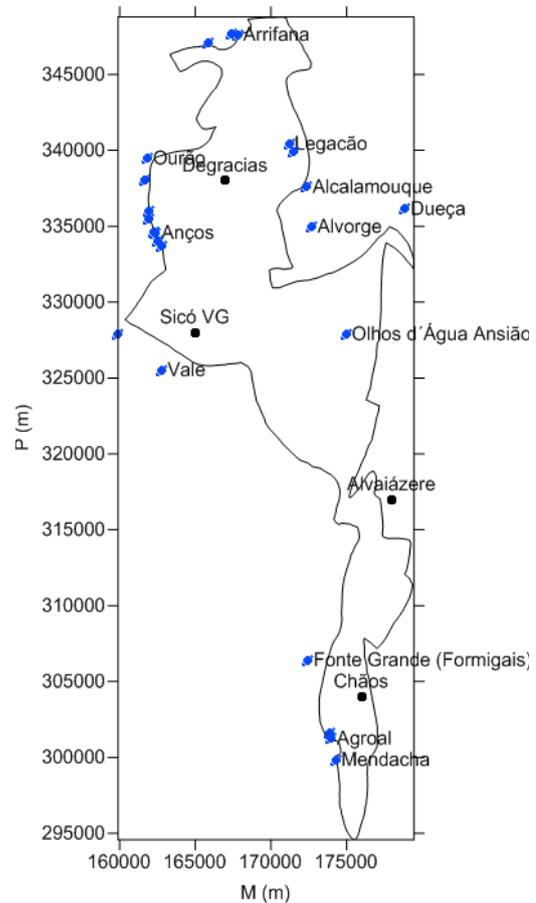


Figura 2.21 Saídas naturais do sistema aquífero Sicó-Alvaiázere (coordenadas do inventário de Almeida *et al.*, 2000 e do SNIRH)



Figuras 2.22 Nascente de Anços no período de seca severa do ano de 2017 (fotografia superior, de 2 de novembro de 2017) (foto do autor) e após alguns dias de chuva no final do ano de 2017 (fotografia de 27 de dezembro de 2017)

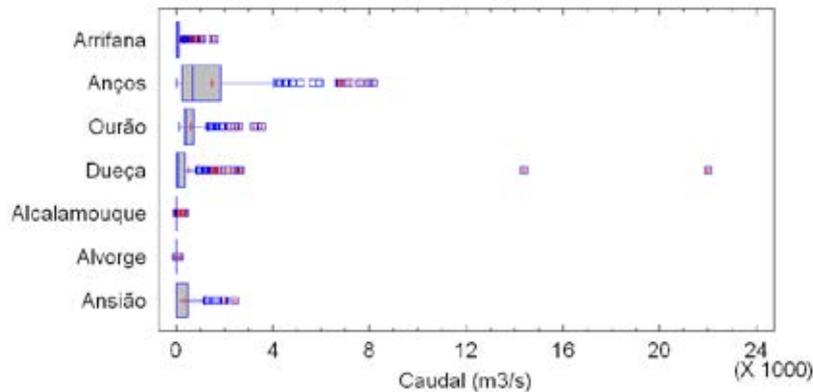


Figura 2.23 Comparação das estatísticas do caudal das nascentes dos setores oeste (Arrifana, Anços e Ourão) e este (Dueça, Alcamouque, Alvorge e Ansião) do sistema aquífero Sicó-Alvaiázere (dados do SNIRH). A interpretação dos gráficos de caixa e bigodes é apresentada no Apêndice II

Os arenitos cretácicos que recobrem e preenchem depressões nos calcários jurássicos poderão funcionar como aquíferos que promovem a recarga dos calcários. Esta suposição é baseada no facto de não se observarem variações sazonais muito significativas nos níveis da água dos poços implantados nesses arenitos, enquanto os níveis piezométricos dos calcários sofrem variações de grande amplitude, nitidamente relacionadas com a drenagem natural através das nascentes (Almeida *et al.* 2000).

A análise espacial mostra a existência de subsistemas independentes, cada um caracterizado por superfícies piezométricas próprias. No setor oriental os níveis de-

crecem no sentido N-S (Almeida *et al.*, 2000), o que indica um escoamento no sentido das nascentes mais meridionais (Agroal e Mendacha).

A nascente do Agroal está localizada na margem esquerda do rio Nabão onde a água alimenta uma piscina com fins recreativos e depois descarrega para o rio (Figura 2.24). As nascentes de Mendacha localizam-se cerca de 2 km a jusante daquela.

O rio Nabão é perene e o nível da água na área das nascentes e furos de captação de Mendacha é influenciado por um açude localizado a jusante, junto da antiga fábri-



Figura 2.24 Nascente do Agroal com saída da água para uma piscina, na margem esquerda do rio Nabão, e água muito turva no rio (fotos do autor)



Figura 2.25 Açude em Porto de Cavaleiros (foto do autor)

A/B

Figuras 2.26 A e B Nascentes da Mendacha: nascente junto à margem do rio Nabão com evidência da separação da água cristalina da nascente da água turva no rio (A) e nascente no leito junto à margem do rio em dia sem turvação (B) (fotos do autor)

56

ca de papel em Porto de Cavaleiros (Figura 2.25). O açude mantém o nível da água no rio sem grandes variações sazonais, à exceção do período das cheias, com o nível da água a montante superior ao que teria em regime natural. As várias nascentes conhecidas localizam-se na margem direita e no leito menor do rio (Figura 2.26) com potencial superior ao da água do rio com exceção provável dos períodos de grandes cheias.

A maioria e os mais importantes sistemas aquíferos carbonatados localizam-se no bordo oriental da Bacia Lusitânica. Representam maciços calcários que dominam a área central/ocidental da bacia, de relevo suave e ondulado, onde dominam os maciços detríticos. Entre uns e outros há um desnível de algumas centenas de metros, por vezes, salientado por imponentes escarpas verticais (Figura 2.27A).

A área central/ocidental da bacia Lusitânica é um domínio espacial com grande espessura de sedimentos,

com geomorfologia suave, com colinas e vales amplos e pouco profundos (Figura 2.27B). É também um domínio de grande variabilidade litológica, textural e estrutural.

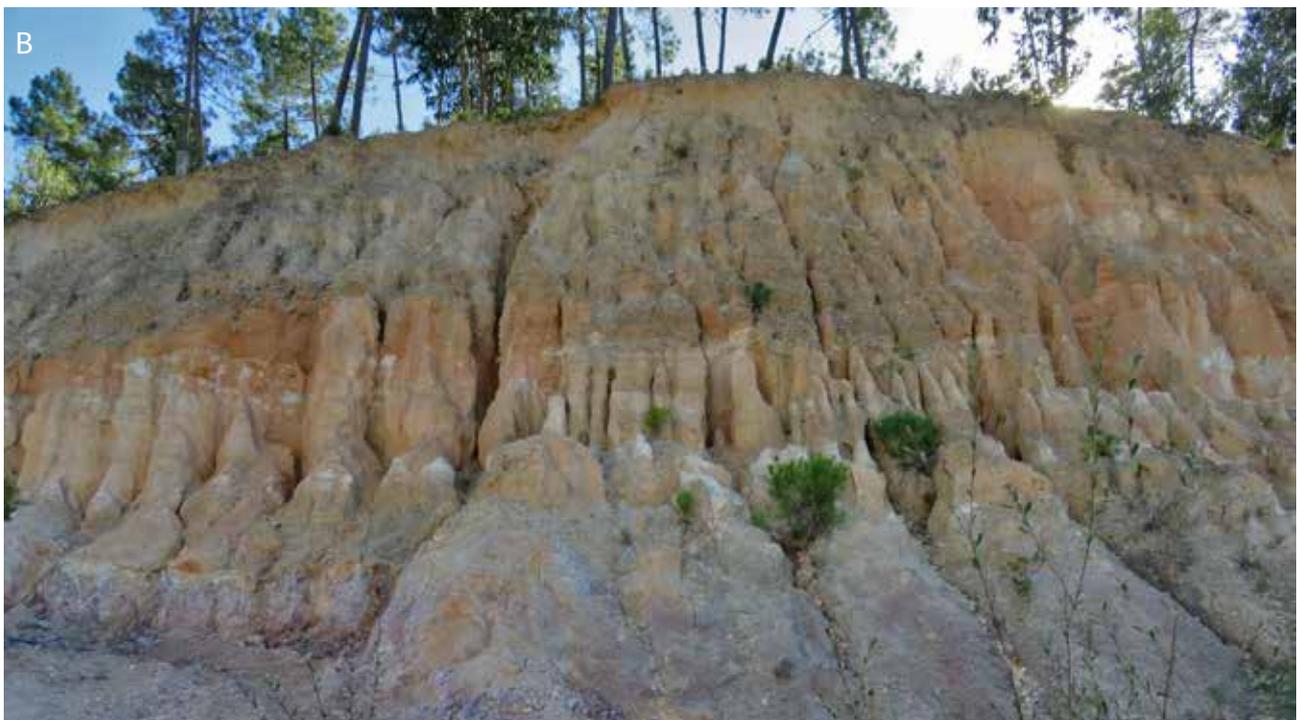
Dominam à superfície os arenitos e os argilitos e, na cobertura quaternária ou plio-quaternária, materiais arenosos desagregados propiciam fácil infiltração da água das chuvas. A organização sequencial dos sedimentos individualiza verticalmente as formações com comportamento hidrogeológico diverso, criando alternâncias, mais ou menos cíclicas de aquíferos, aquíferos e aquíferos. Formam-se, assim, sistemas aquíferos multicamada, com escoamentos de drenância entre camadas, de acordo com o potencial hidráulico local e genericamente descendentes nas zonas de recarga e ascendentes nas de descarga.

Entre os depósitos detríticos mesozoicos, os arenitos do Cretácico inferior sobressaem pela sua produtividade



57

Figuras 2.27 A e B Vista da escarpa de Nª Senhora da Nazaré a partir da estrada que sobe de Anços para a serra de Sicó (A) e vista do miradouro de Nª Senhora da Nazaré em direção a W onde se aprecia a morfologia suave e ondulada e a orientação dominante, próxima de NS, dos relevos em arenitos e argilitos cenozoicos (B)



Figuras 2.28 A e B Arenitos do Cretácico inferior em afloramentos do sistema aquífero de Tentúgal (A) e do sistema aquífero de Ourém (B) (B—foto do autor)



Figura 2.29 Sedimentos sub-horizontais plio-pleistocénicos indiferenciados, recobertos por dunas e areias de duna, do sistema aquífero Leirosa-Monte Real (foto do autor)

Figuras 2.30 A e B Sistema lagunar de Linhos (A) e nascente no leito da lagoa (B) (fotos do autor)

de nos sistemas aquíferos Cretácico de Aveiro, Torres Vedras, Tentúgal e Ourém, [Figura 2.28](#). Já os terrenos representativos de outro grande episódio de espessa sedimentação detrítica na bacia Lusitânica, ocorrido no Jurássico superior, têm um comportamento global de aquífero pobre a muito pobre.

Entre as formações mais recentes, plio-quadernárias, destacam-se os depósitos das bacias de sedimentação relacionadas com a tectónica salífera. Entre estes, salientam-se os que formam a matriz dos sistemas aquíferos de Leirosa-Monte Real e de Caldas da Rainha-Nazaré.

O sistema aquífero Leirosa-Monte Real (LMR) situa-se ao longo do litoral entre Figueira da Foz, a norte, e o rio Lis, a sul; é constituído essencialmente por sedimentos sub-horizontais plio-pleistocénicos, recobertos junto ao litoral por dunas e areias de duna ([Figura 2.29](#)). As dunas e areias de duna são representadas por areias de granulometria fina a média bem calibrada.

Neste sistema aquífero, localiza-se um núcleo importante de captações subterrâneas da empresa Águas do Centro Litoral (Grupo Águas de Portugal) que abastece a cidade de Leiria.

Os terrenos plio-pleistocénicos preenchem depressões do substrato em domínios estruturalmente distintos: a norte da Lagoa dos Linhos, as formações plio-quadernárias assentam sobre substrato argilo-arenoso antemioecénico ou calco-margoso mesozoico e a sul, os sedimentos preenchem a estrutura diapírica complexa formada pelos vales tifónicos da Lagoa dos Linhos-Monte Real (Diapiro de Monte Real) e Coimbra-Lagoa de Ervedeira (Diapiro de Ervedeira). O sinclinal da Crasta Alta localiza-se entre estes vales tifónicos. No diapiro de Monte Real, a espessura dos sedimentos plio-pleistocénicos é muito maior e aproxima-se ou ultrapassa mesmo as duas centenas de metros nalguns locais.

No caso presente, em função do relevo e da constituição do aquífero (areias), poderia prever-se que a recarga

seria muito elevada não fora a cobertura vegetal (maioritariamente pinheiro bravo) a provocar valores altos da transpiração e da interceção. Tendo em conta as características da cobertura vegetal e a sua distribuição, estima-se que o valor da recarga útil tome valores situados entre 25% e 30% da precipitação média de 852 mm/ano (Mendonça & Almeida, 2008).

O sistema aquífero LMR, que ocupa uma área aproximada de 218 km², é poroso e de produtividade elevada nas zonas onde o enchimento detrítico é potente e constituído por materiais de boa condutividade hidráulica. Camadas lenticulares de natureza argilosa separam localmente as várias camadas aquíferas o que, em conjunto com as variações de granulometria, dão um certo carácter multicamada ao sistema aquífero.

Em muitas áreas, o sistema é limitado superiormente por uma superfície freática que tem oscilações sazonais da ordem de 1,5 m. Em época de águas altas, em áreas morfológicamente deprimidas, a superfície freática aflora e dá origem a lagoas.

Na área do sistema aquífero, estão instalados dois sistemas lagunares naturais principais, a lagoa dos Linhos (Figura 2.30) e a lagoa da Ervedeira (Figura 2.31), e lagoas artificiais (Figura 2.32 e Figura 2.33) que resultam da exploração das areias plio-pleistocénicas para inertes da construção civil.

A lagoa da Ervedeira é uma massa de água com aproximadamente 30 ha de área, com forma elíptica, com o eixo maior alinhado N-S. Localiza-se no domínio estrutural do sinclinal de Crasta Alta. Em torno da lagoa, a N e W, há uma cobertura de dunas e areias de dunas que vai até à praia de Pedrogão. Imediatamente a SE e E da Lagoa há dois pequenos afloramentos de arenitos do Cretácico inferior e um do Jurássico médio (Bajociano inferior).

As nascentes individualizadas e com arranjos artificiais são pouco frequentes na área do sistema aquífero Leirosa-Monte Real. A maioria é de nascentes difusas que ocorrem ao longo do leito da ribeira de Nasce Água (Figura 2.34), num percurso de cerca de 5 km, desde as emergências situadas a norte do pequeno povoado de Nasce



Figura 2.31 Lagoa da Ervedeira (foto do autor)



Figuras 2.32 Lagoas artificiais cujo nível da água representa o afloramento do nível freático (fotos do autor)



Figura 2.33 Lagoa artificial resultante da exploração submersa atual de inertes e cujo nível da água representa o afloramento do nível freático (foto do autor)



Figuras 2.34 A e B Zona das nascentes difusas (A) onde se inicia o escoamento da ribeira de Nasce Água (B) (fotos do autor)

Água até à aldeia de Aroeira a sul. Aqui a linha de água é conhecida pelo nome de vala da Aroeira.

O caudal estimado em 23-7-2008 foi de uma dezena a duas dezenas de litros por segundo junto ao povoado de Nasce Água (Figura 2.35). Na mesma data, em Aroeira, 5 km a sul, o caudal estimado era superior a três centenas de litros por segundo (Figura 2.36), isto é, há um acréscimo sucessivo de caudal ao longo da linha de água que tem origem em descargas difusas do sistema aquífero.

Observações realizadas no final do mês de Outubro de 2017, em período de seca severa prolongada, permitiram concluir que o caudal era semelhante ao observado em 2008.

Num parque de merendas localizado na mata Nacional do Urso, junto da estrada (lado norte) que segue de Carriço para Vieira de Leiria, cerca de 3 km antes do cruzamento para a praia de Pedrogão, localizam-se várias nascentes cujo conjunto, disposto ao longo de uma curta linha de água, é designado pelo nome de Corre Água. O caudal do conjunto das emergências variou entre cerca de 5 L/s e 3 L/s, entre março e julho de 2003. Cerca de uma centena de metros a jusante, a água das nascentes volta a infiltrar-se na areia das dunas.

A água das nascentes não tem cheiro e é incolor (Figura 2.37). O leito da linha de água, após a emergência principal, está atapetado por um gel de cor alaranjada que resulta da atividade de ferrobactérias (Figura 2.38).

O inventário de pontos de água incluiu poços escavados nas áreas circundantes aos sistemas lagunares de Linhos e da Ervedeira. Na primavera de 2003, na área de Linhos, os poços tinham entre 2 e 5 m de profundidade e o nível hidrostático estava menos de 1 m abaixo da superfície do terreno. A profundidade dos poços localizados nas proximidades da lagoa de Ervedeira era de cerca de 4 m e a profundidade do NHE era inferior a 1,2 m. Numa e noutra área, o escoamento fazia-se em direção às lagoas.

As considerações seguintes baseiam-se na informação obtida a partir de dados de quase uma centena de furos inventariados. São furos feitos com perspetivas diversas

(de pesquisa, de pesquisa e captação, de captação e piezómetros) logo têm dimensionamento também diversificado. Decorre daqui que os resultados, nomeadamente a

produtividade, além de serem influenciados pelas características hidrogeológicas, também o são pelo dimensionamento e construção.

Como norma geral, a profundidade e a produtividade diminuem para os bordos do sistema aquífero, nomeadamente para o limite oriental (Figura 2.39).

Aos domínios estruturais em que se subdividiu o sistema aquífero também correspondem características distintas dos furos e das propriedades hidráulicas do sistema aquífero e dos furos (Figura 2.40).

A qualidade da água do aquífero varia entre dois tipos extremos: as águas cloretadas sódicas e as bicarbonatadas cálcicas (Figura 2.41). As intermédias, são mistas, aniónicas e/ou catiónicas. O magnésio é o catião sistematicamente minoritário entre os principais.

As águas da Orla Costeira são bicarbonatadas. Nos cações há um pouco mais de diversidade, mas a grande maioria é cálcica.

Na área do diapiro de Monte Real, as águas cloretadas sódicas são maioritárias. O total da mineralização das águas é significativamente variável (fator de 3 ou 4 entre as mais e menos mineralizadas): encontram-se aqui as águas menos mineralizadas entre todas as inventariadas no sistema aquífero e outras bastante mais mineraliza-



Figuras 2.35 A e B Ribeira de Nasce Água junto do pequeno povoado de Nasce Água (A) e no canal da Azenha de Cavadas, cerca de 3 km a jusante (B) (fotos do autor)

Figuras 2.36 A e B Ribeira de Nasce Água na povoação da Aroeira: "trop plein" de uma derivação da ribeira que lança os excedentes novamente para o curso de água (A) e que liga por comporta a um canal de rega (B) (fotos do autor)



Figura 2.37 (em baixo) Arranjo de nascente e nascente difusa ao lado: é visível a presença de um gel alaranjado próximo das emergências (foto do autor)



Figura 2.38 Leito da linha de água recoberto por gel bacteriano e óxidos/hidróxidos de ferro (vista de montante para jusante) (foto do autor)

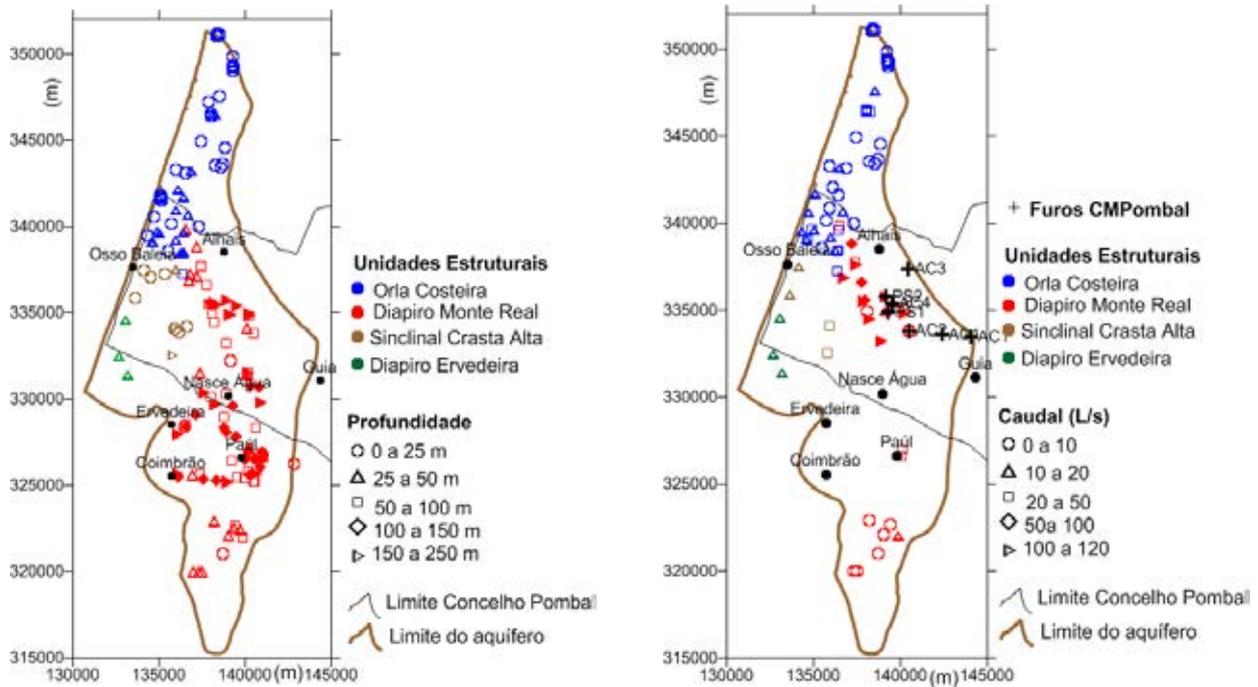


Figura 2.39 Distribuição da profundidade e produtividade dos furos no sistema aquífero Leirosa-Monte Real

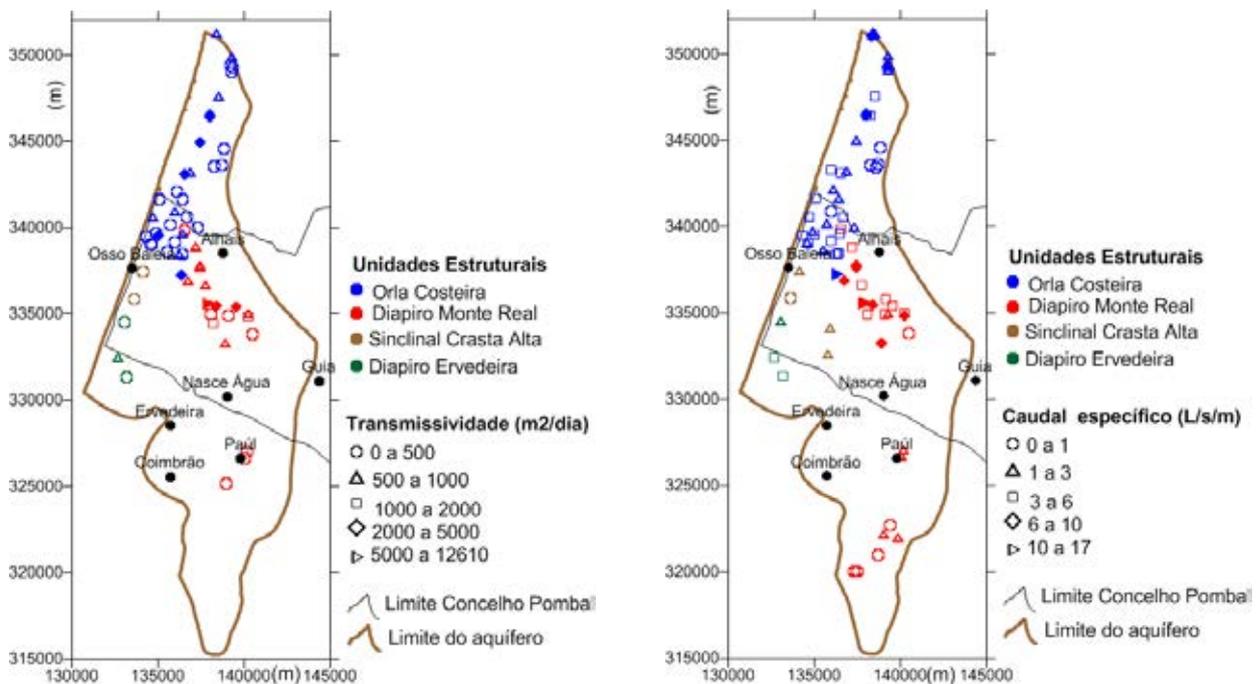


Figura 2.40 Distribuição da transmissividade e do caudal específico dos furos no sistema aquífero Leirosa-Monte Real

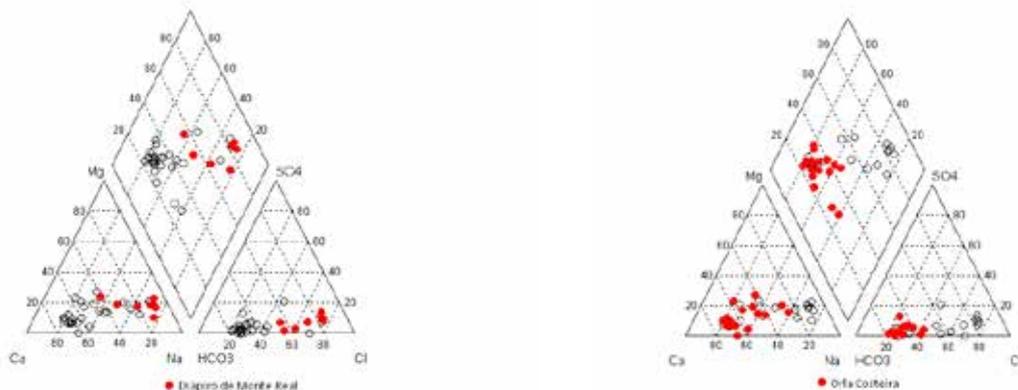


Figura 2.41 Fácies da água dos furos localizados no diapiro e na orla costeira do sistema aquífero Leirosa-Monte Real

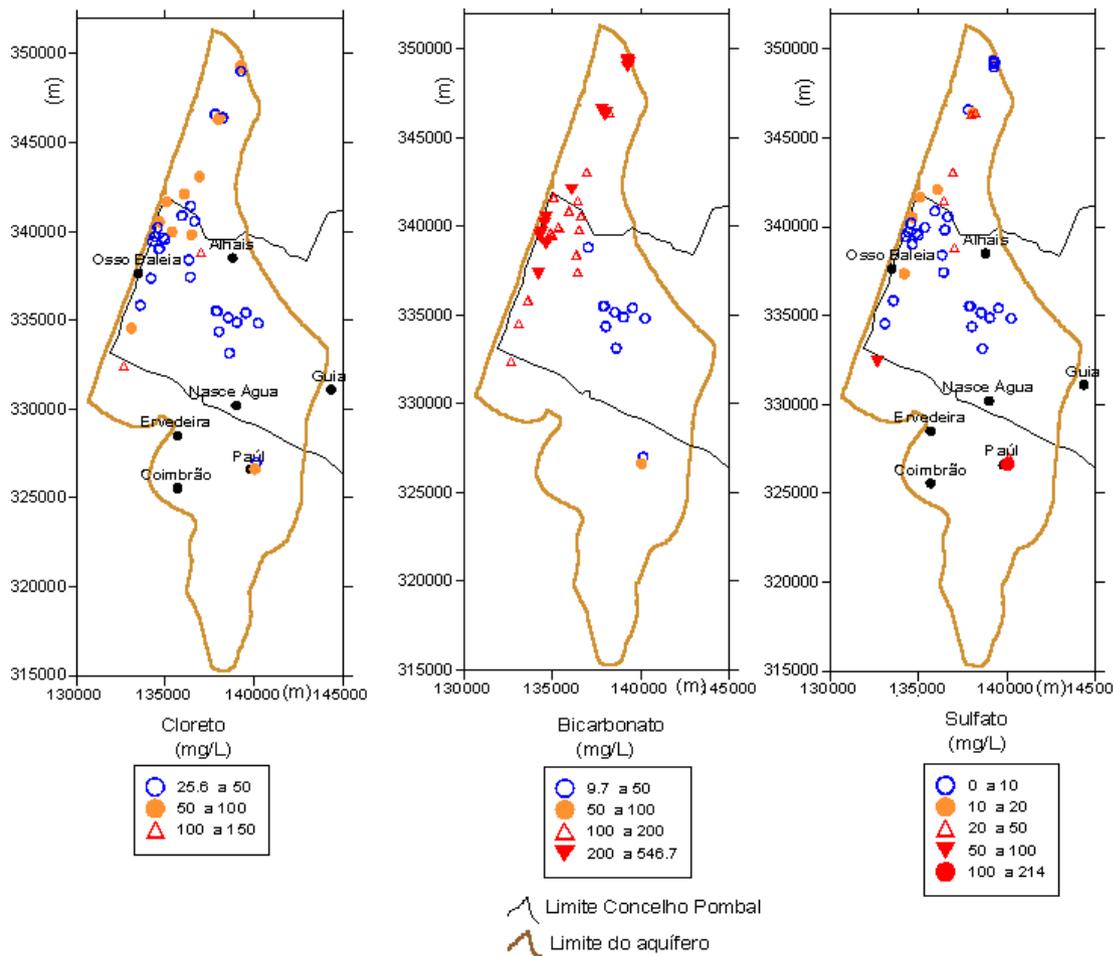


Figura 2.42 Distribuição da concentração do cloreto, do bicarbonato e do sulfato da água dos furos no sistema aquífero Leirosa-Monte Real

das. As maiores mineralizações associam-se ao acréscimo das concentrações em cloreto e/ou sulfato, na parte aniónica, e de cálcio e/ou sódio, no que respeita aos cations (Figura 2.42). Estas águas mais mineralizadas pertencem a furos que penetraram no substrato, embora não tenham sido colocados ralos em frente destas formações.

2.3 Orla Meridional

A orla meridional ou Algarvia é constituída por terrenos sedimentares de idade mesozoica e cenozoica, assentes sobre o soco hercínico, constituído por xistos e grauvaques do Carbónico. Corresponde ao limite norte de uma bacia sedimentar que se estende para sul e para leste, respetivamente, sob o Atlântico e sob os depósitos espessos da bacia do rio Guadalquivir em Espanha (Costa *et al.*, 1985).

Do ponto de vista estrutural, segundo Ribeiro *et al.* (1979), a bordadura sedimentar é descrita como um monoclinal, inclinando para sul, explicável por deslocamento da cobertura relativamente ao complexo plástico evaporítico.

No Algarve, a geomorfologia, a constituição geológica, o clima e a cobertura vegetal definem três sub-regiões com características distintas: a serra, o barrocal e o litoral.

Na serra, região de xistos e grauvaques do Carbónico, com declives acentuados, dominam os cabeços arredondados, nalguns locais estreitos e alongados, e os vales e barrancos profundos.

O barrocal, com relevo geralmente moderado, está separado da serra por uma depressão periférica, de vales largos e de fundo plano, escavada nas formações do Trias e do Infralias. É constituído por terrenos carbonatados, com pequenas elevações dispostas paralelamente à costa, onde se desenvolve uma geomorfologia cársica, constituída por lapiás, dolinas, uvalas, algares, vales secos e *poljes*.

O litoral forma uma faixa aplanada e estreita, onde afloram terrenos do Cretácico, do Terciário e do Quaternário. É a zona mais quente e de menor pluviosidade e onde a ocupação do solo e os impactes antropogénicos se fazem sentir de um modo generalizado e muito intenso.

Tal como na orla ocidental, na orla meridional também se individualizam dois tipos de sistemas aquíferos: os cársicos e os porosos. As formações do Lias e Dogger são o suporte de alguns dos aquíferos mais importantes, pois, além de possuírem boas propriedades hidráulicas, afloram em grande extensão. Em parte, as características de porosidade e permeabilidade que possuem são devidas a processos de dolomitização secundária que afetou grande parte das referidas formações (Almeida *et al.*, 2000). O sistema aquífero mais importante da orla Algarvia é o sistema aquífero cársico de Querença-Silves.

A maior parte da área do sistema aquífero Querença-Silves desenvolve-se a N da flexura Sagres-Algoz-Algibre-Querença, até ao contacto com a formação dos Grés de Silves, desde Querença, a oriente, até Estômbar, a ocidente. Ocupa a área aproximada de 320 km², com cerca

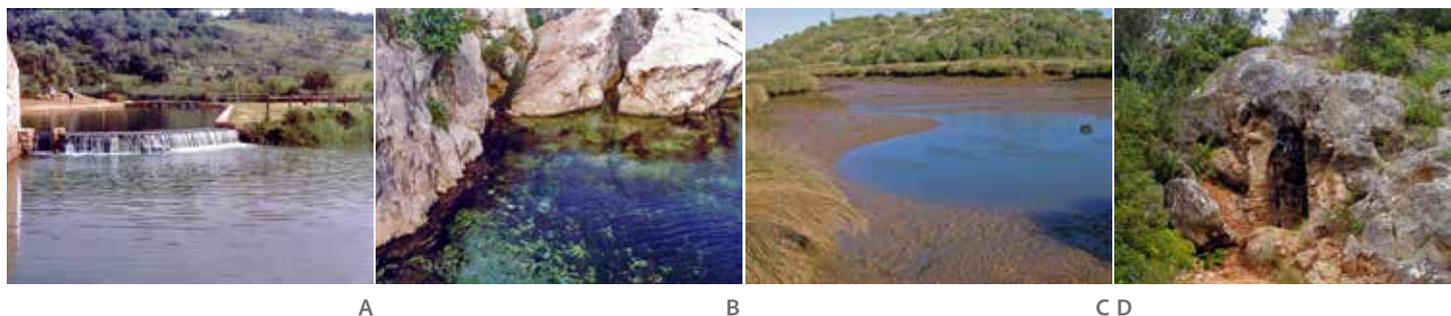


Figura 2.43 Fontes de Estômbar: aspeto geral com descarga das nascentes superiores em maré cheia (A); nascente superior (B); Pego Azul em maré baixa (C); gruta de Ibn 'Ammar (D) (fotos do autor)

de 45 km de extensão e largura variável, diminuindo gradualmente para ocidente. A Formação do Grés de Silves limita a norte e é a base impermeável do sistema aquífero; por vezes, as formações carbonatadas assentam diretamente sobre os xistos e os grauvaques do Carbónico. As litologias dominantes do sistema aquífero são calcários, dolomitos e calcários dolomíticos do Lias e do Dogger.

O sistema aquífero Querença-Silves é multiaquífero cársico, livre a confinado.

O dobramento e as falhas que afetaram os calcários e os dolomitos liásicos produziram o isolamento hidráulico de alguns setores ou subunidades que são drenados por nascentes importantes (Almeida, 1985).

A espessura das formações aquíferas atinge pelo menos 270 metros. A carsificação em geral é menos profunda embora localmente possa ultrapassar 200 metros (Almeida *et al.*, 2000).

O sentido geral do escoamento subterrâneo é de Este para Oeste (Costa, 1983; Costa *et al.* 1985; Almeida, 1985; Andrade, 1989). As descargas principais, localizadas perto do limite oeste, formam um conjunto de descargas naturais, de que se destacam as Fontes de Estômbar (caudal médio de 239 L/s), [Figura 2.43](#).

O fluxo subterrâneo no setor oriental tem direção aproximada NE-SW, passando a E-W na zona Este de Paderne. Esta direção de fluxo mantém-se na zona Central-Sul até Algoz. No setor ocidental, a direção de fluxo volta a ser NE-SW e o gradiente hidráulico diminui substancialmente, sugerindo um aumento da transmissividade.

Embora o sistema aquífero Querença-Silves tenha sido objeto de numerosos estudos (Costa, 1983; Almeida, 1985; Costa *et al.*, 1985; Andrade, 1989; Lopes, 1995; Mendonça & Almeida, 2003; Neves *et al.* 2016), ainda se está longe de conhecer com rigor os valores dos vários termos do balanço hidrológico do sistema. A estimativa dos recursos hídricos renováveis do sistema aquífero de Costa *et al.* (1985) adianta 120 hm³/ano e Almeida *et al.* (2000) propõem o valor de 70±17 hm³/ano.

A produtividade do sistema aquífero é ilustrada na [Figura 2.44](#) onde se localizaram cerca de 480 furos. A variabilidade do caudal é grande e pode atribuir-se à heterogeneidade do maciço carbonatado, à existência de subunidades hidrogeológicas, à profundidade muito distinta dos furos e à natureza da procura da água. A maioria dos furos está localizada no setor de jusante do sistema aquífero, que é o mais transmissivo e produtivo, e está relativamente próxima da fronteira mais problemática do sistema, a água salgada do rio Arade.

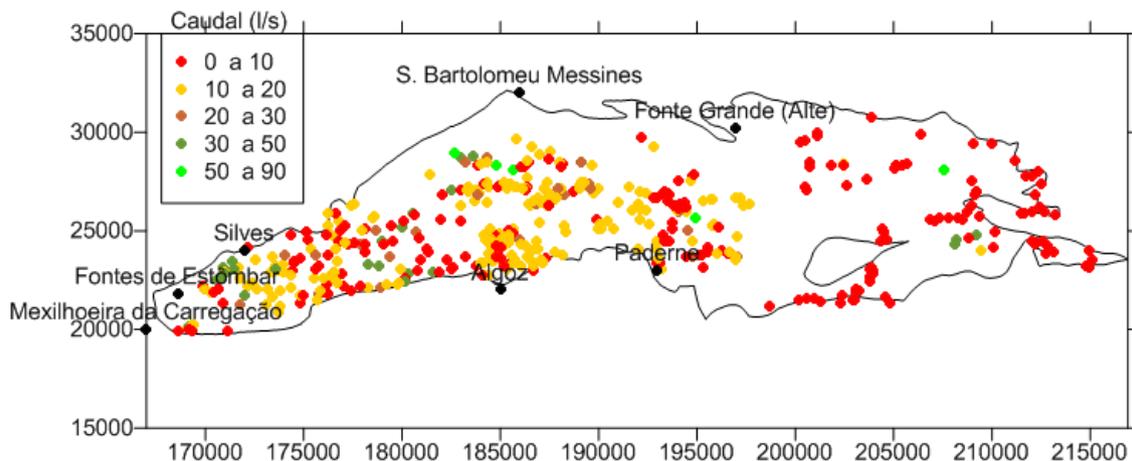


Figura 2.44 Produtividade das captações inventariadas no sistema aquífero Querença-Silves

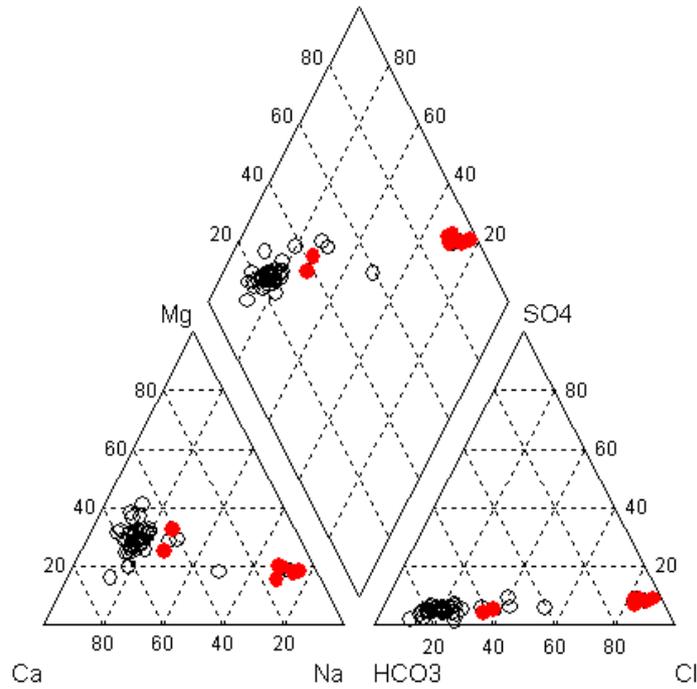


Figura 2.45 Fácies das águas do sistema aquífero Querença-Silves: as águas de nascentes são evidenciadas a cor vermelha

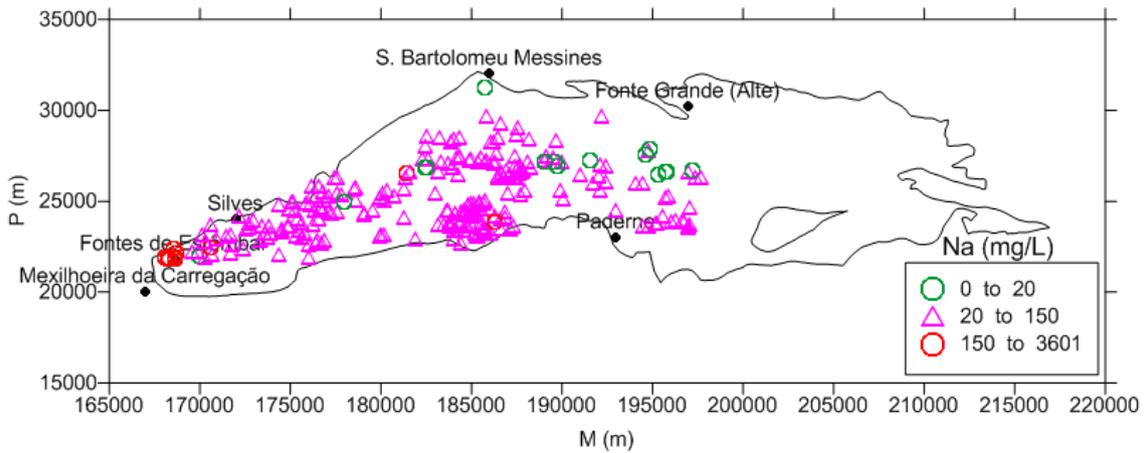


Figura 2.46 Distribuição espacial dos valores da concentração em sódio (Na) da água no sistema aquífero de Querença-Silves (os valores 20 mg/L e 150 mg/L correspondem ao VMR e ao VMA, respetivamente, do Anexo I do Decreto-Lei nº 236/98)

A fácies da água do sistema é maioritariamente bicarbonatada cálcica. A qualidade da água para consumo humano é regra geral aceitável a deficiente, com a mineralização muito elevada. Na área das Fontes de Estômbar é perceptível a contribuição da água salgada do estuário do rio Arade (Figura 2.45 e Figura 2.46).

2.4 Bacia do Tejo-Sado

Na Bacia Cenozoica do Tejo-Sado, preserva-se um importante enchimento sedimentar predominantemente detrítico e de origem continental, com intercalações de formações marinhas e salobras correspondentes a máximos transgressivos (Figura 2.47). Por uma questão metodológica, esta grande unidade geológica é comumente dividida na bacia do Tejo, a norte, e na bacia do Sado (ou bacia de Alvalade), a sul, embora estas sejam semelhantes do ponto de vista estratigráfico e morfológico (Mendonça & Cabral, 2003).

A bacia do Tejo-Sado corresponde a uma depressão tectónica que sofreu subsidência controlada por falhas no decurso do Neogénico. Apresenta um contorno cartográfico grosso modo retangular, alongado segundo a direção NE-SW, e mostra, de um modo geral, um fundo de geometria regular, que se reflete numa disposição

geralmente sub-horizontal do conjunto sedimentar cenozoico. A estrutura dos sedimentos cenozoicos apresenta-se perturbada junto a alguns acidentes tectónicos principais, que delimitam depocentros e introduzem alguma complexidade na estrutura geral. Pode interpretar-se como uma bacia de antepaís gerada na dependência de um regime compressivo que desencadeou inversão tectónica da Bacia Lusitânica, em resultado da convergência do continente africano relativamente ao bloco continental ibérico (Mendonça & Cabral, 2003).

A subsidência na bacia do Baixo Tejo começou provavelmente no Miocénico inferior (Aquitaniense), desencadeando um contexto transgressivo testemunhado pela presença de sedimentos marinhos. A subsidência prosseguiu, compensando a sedimentação, de modo a acumular-se uma espessura de depósitos miocénicos que atinge cerca de 800 m em áreas de depocentro (780 m na sondagem Samora Correia, segundo Barbosa (1995), e 815 m na sondagem Barreiro-2, segundo Azevedo *et al.*, 1994), podendo mesmo aproximar-se de 2.000 m segundo dados de reflexão sísmica (Rasmussen *et al.*, 1998).

Embora o alinhamento pronunciado do curso do rio Tejo segundo a direção NNE-SSW sugira a ocorrência de deformação crustal quaternária (neotectónica) à escala regional, também testemunhada por atividade sísmica,

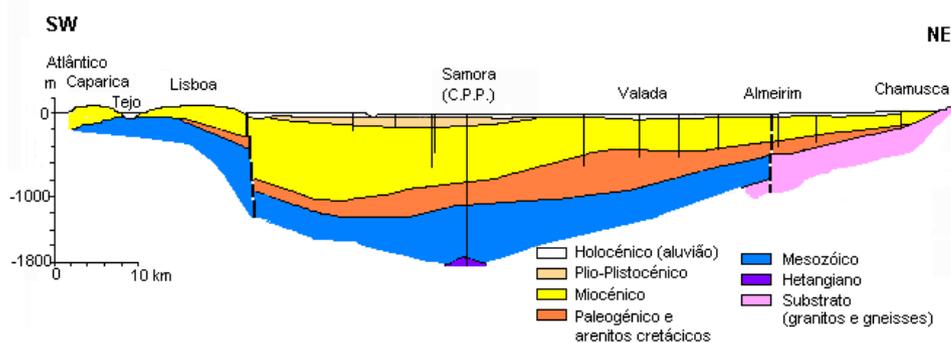


Figura 2.47 Perfil geológico da bacia do Baixo Tejo (adaptado de Ribeiro *et al.*, 1979)

nunca se confirmou a presença de um acidente tectónico contínuo disposto ao longo do vale, correspondente a uma “falha do vale inferior do Tejo”, como é sugerido em numerosa bibliografia referenciada em Cabral (1995). De facto, os estudos geológicos recentes que se têm realizado na área, apoiados em informação geofísica (principalmente em dados de reflexão sísmica), indicam a presença de um sistema de falhas complexo, segmentado, ainda deficientemente conhecido.

No que respeita às características hidrogeológicas, o modelo conceptual de fluxo na bacia do Tejo é relativamente simples e inclui dois sistemas aquíferos que têm por suporte: (1) as aluviões e (2) as formações terciárias. Alguns autores (*e.g.* Almeida *et al.*, 2000) consideram dois sistemas aquíferos terciários distintos, um para cada margem. Devido à forte conexão hidráulica, o rio Tejo provoca efeitos hidrodinâmicos no sistema aluvionar e condiciona a qualidade da sua água.

No sistema aquífero terciário é possível individualizar vários tipos de escoamentos e áreas hidrogeologicamente diferenciadas. Em regime natural, o escoamento tinha uma componente transversal, das terras altas marginais em direção ao Tejo, onde descarregava nas aluviões, por drenância ascendente, e uma componente longitudinal em direção ao Oceano Atlântico segundo uma orientação que, na península de Setúbal, se aproximava da perpendicular à linha de costa, nomeadamente a sul da cadeia da Arrábida. Na zona central da bacia, o potencial hidráulico no sistema aquífero terciário era superior ao do aquífero aluvionar sobrejacente, estava acima da superfície do terreno e aumentava com a profundidade.

Atualmente, em muitas áreas da bacia, devido à exploração do sistema terciário, o sentido do fluxo está invertido, nomeadamente na parte central, onde o potencial hidráulico no sistema aluvionar é superior ao do sistema aquífero terciário.

A maioria das captações de água subterrânea e dos furos de pesquisa mandados executar pela EPAL foi cons-

truída na área da bacia do Tejo-Sado: os profundos no sistema aquífero terciário até cerca de 700 m de profundidade na região de Manique do Intendente; 660 m na região da Lezíria de Vila Franca de Xira; 500 m na margem direita do Tejo entre Carregado e Santarém; e os superficiais no sistema aquífero aluvionar com profundidade da ordem de 50 m.

O sistema aquífero aluvionar é constituído por aluviões modernas e depósitos de terraços; as areias superficiais de vales e de terraços recobrem-nos parcialmente. É caracterizado por uma grande irregularidade e complexidade da estratificação e é genericamente formado por alternâncias de areias e lodos, com um depósito basal de areias com seixos e calhaus que pode atingir quatro dezenas de metros.

A bacia quaternária alarga substancialmente de montante para jusante e tem cerca de uma dezena e meia de quilómetros de largura na zona estuarina.

As nascentes, poços e galerias, que desde a fundação da cidade de Lisboa até ao final do século XVIII, abasteciam localmente a cidade, também se localizam na bacia terciária do Tejo, num setor em que a baixa produtividade das formações e a ocupação do território terão inviabilizado a sua classificação como sistema aquífero.

As formações hidrogeológicas que afloram no concelho de Lisboa são genericamente de permeabilidade baixa a muito baixa. No entanto, pode-se fazer uma distinção entre as formações de Benfica e o Complexo Vulcânico de Lisboa, que são de permeabilidade muito baixa em todas as áreas onde afloram, e as formações sedimentares do Cretácico e do Miocénico que são de permeabilidade mais elevada, mais produtivas e com água de qualidade adequada ao consumo doméstico (Mendonça, 2016).

Nos capítulos que se seguem, será dado grande destaque às características dos sistemas aquíferos da bacia Tejo-Sado e às captações construídas pela EPAL nestes sistemas.



3. Campos de furos de captação em aluviões do Tejo

3.1 Introdução

A EPAL possui vários campos de captação de água subterrânea localizados no sistema aquífero Aluviões do Tejo (T7), de montante para jusante: Valada, Espadanal, Quinta do Campo e Carregado (Figura 1.35). Em Valada há quatro áreas de captação: Valada I, Valada II, Valada III e Valada IV (Figura 3.1); na exposição que se segue, serão consideradas individualmente, como campos de captação.

Os trabalhos de aproveitamento das águas das aluviões do Vale do Tejo tiveram início no Carregado em 1935 (Pinto, 1989); estenderam-se a seguir, para montante, à Quinta do Campo, Espadanal e Valada I onde ficaram concluídos em 1945 (Mendonça *et al.*, 1982).

Em 1950 e 1951, a exploração do aquífero aluvionar em Valada estendeu-se para uma área mais afastada do rio com a construção dos três furos de captação de Valada II.

Com o objetivo de reforçar o caudal explorado daquelas captações, as pesquisas prosseguiram em 1953. Foram executados furos a montante e a jusante de Santarém, numa zona com cerca de 27 km de extensão, ao longo da margem direita do Rio Tejo. Estes trabalhos não conduziram à construção de novos campos de captações e a sua descrição é apresentada no capítulo 6.

A partir de 1956, começou a proceder-se à renovação dos furos de captação mediante a construção de novos furos semelhantes, a uma distância de cerca de 10 m dos anteriores.

No segundo semestre de dezembro de 1979, a EPAL encarregou a empresa ACAVACO da execução de três furos de pesquisa, ensaio e observação nos depósitos aluvionares do rio Tejo na zona do Mouchão d'Éça (margem esquerda do rio Tejo). Também estes trabalhos não tiveram seguimento e a sua descrição é apresentada no capítulo 6.

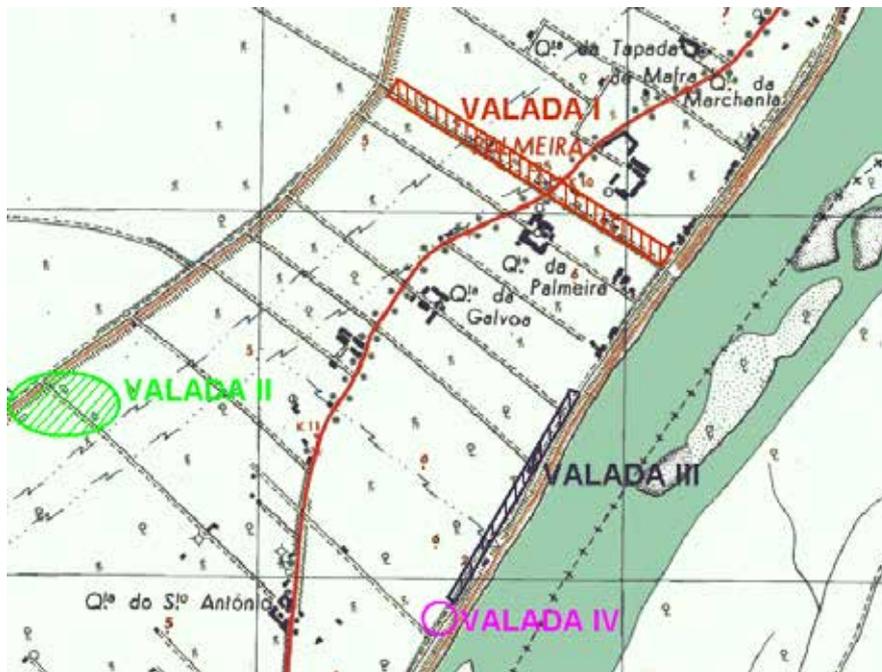


Figura 3.1 Localização dos campos de captação de Valada (Extrato da carta 377, 1/25000, dos SCE)

Posteriormente, já nos anos oitenta do século passado, entraram em exploração novas captações nas formações aluvionares de Valada: furos de captação em Valada III e um poço de drenos horizontais (PDH) em Valada IV. Este acabou por ser desativado porque a água apresentava concentrações muito elevadas de ferro e manganês.

3.2 O sistema aquífero Aluviões do Tejo (T7)

O sistema aquífero é constituído por aluviões modernas e depósitos de terraços (Figura 3.2); as areias superficiais, de vales e de terraços, recobrem-nos parcialmente. A região compreende, fundamentalmente, três unidades morfológicas e geológicas:

- A grande planície aluvionar de inundação do rio Tejo, cuja largura pode ultrapassar 10 km nas proximidades da zona estuarina;
- Os terraços quaternários, dispostos a diferentes altitudes;
- O substrato terciário, cujos afloramentos constituem os planaltos que dominam e em que encaixa a de-

pressão quaternária de orientação aproximada NE-SW.

A topografia das formações do substrato, recobertas pelos depósitos quaternários, é esquematizada através de curvas de nível na Figura 3.3.

No setor de montante, tanto na margem esquerda como na direita, o terciário forma um planalto que domina a depressão quaternária; a descida faz-se por declive mais pronunciado na margem esquerda. A jusante, pelo contrário, desce-se do planalto terciário por um declive suave até cotas inferiores a -60 m.

No vale do Tejo, as aluviões são, genericamente, constituídas por alternâncias de areias e lodos, com um depósito basal de areias com seixos e calhaus que pode atingir quatro dezenas de metros. Os seixos e/ou calhaus são muitas vezes dominantes. Estas camadas são contemporâneas do máximo da regressão do Wurm. A possança máxima das aluviões do Tejo é cerca de setenta metros.

Na margem esquerda do Tejo existem extensas zonas cobertas por depósitos de areias superficiais de origens diversas que se estendem desde a parte baixa das ver-

72

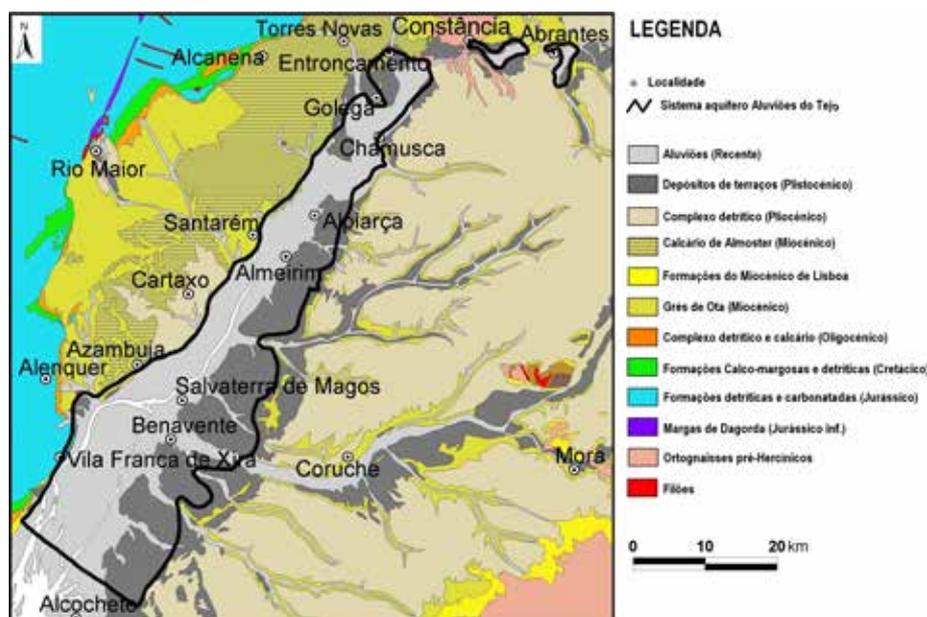


Figura 3.2 Enquadramento litostratigráfico do sistema aquífero Aluviões do Tejo (Almeida *et al.*, 2000)

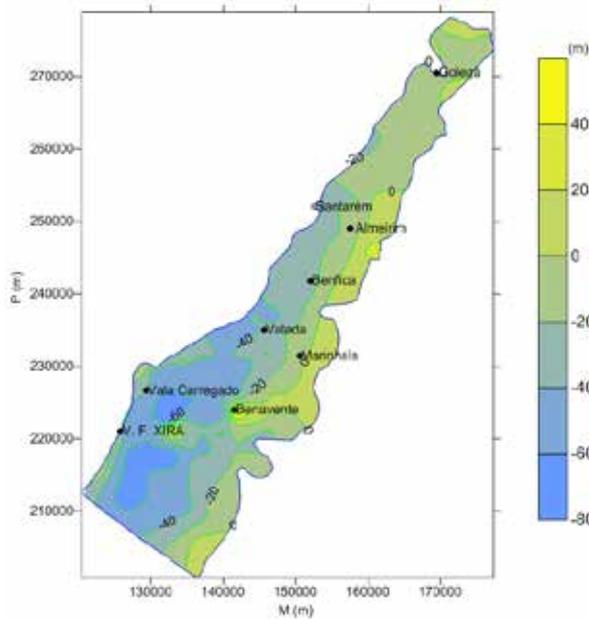


Figura 3.3 Topografia do substrato ante-Quaternário do sistema aquífero Aluviões do Tejo

tentes, junto das aluviões modernas, até aos terraços. A cobertura, por vezes, é tão homogênea e contínua que mascara o degrau de separação dos terraços e reduz os afloramentos destes aos vales transversais.

Os terraços quaternários ocorrem ao longo do vale do Tejo, desde a fronteira com a Espanha até Lisboa, e dispõem-se a diferentes altitudes nas vertentes do vale.

A partir de Tancos, depois de abandonar o Maciço Hespérico, os terraços têm um grande desenvolvimento na margem direita, nas proximidades de Entroncamento, Golegã, Azinhaga e Pombalinho. A sua extensão reduz-se em seguida muito rapidamente e aparecem, entre Santarém e Lisboa, sob a forma de retalhos isolados, ou muitas das vezes, como simples plataformas sem depósitos.

Na margem esquerda do Tejo, os terraços apresentam um desenvolvimento considerável; a largura pode atingir vários quilómetros. Estendem-se ininterruptamente desde Chamusca até ao estuário onde se unem às antigas praias do estuário.

As formações quaternárias são circunscritas e têm terrenos terciários por substrato em quase toda a sua extensão. Constituem exceção: na margem direita, a jusante, os setores entre Alverca do Ribatejo e Alhandra e entre Vila Franca de Xira e a vala do Carregado (afloresce o Jurássico superior); a montante, os afloramentos graníticos de Vila Nova da Barquinha e Chamusca (Figura 3.2).

A profundidade dos furos de pesquisa e captação genericamente aumenta de montante para jusante. A maioria capta na camada basal de areias com seixos e calhaus. A jusante de Valada, vão a profundidades entre 50 e 80 m. Além de Vila Franca de Xira, deixa de haver furos captantes nas aluviões, devido à má qualidade da água (salobra/salgada).

As captações implantadas nas aluviões são mais produtivas que as dos terraços (Quadro 3.1).

Pela interpretação hidrodinâmica de ensaios de caudal, calcularam-se valores da transmissividade em 108 localizações do sistema aquífero: 80 nas aluviões e 28 nos terraços. Vinte e cinco das determinações são realizadas com base na evolução de níveis em furos de observação; as restantes foram feitas a partir da evolução dos níveis de água no próprio furo de bombeamento.

A localização dos furos e os valores da transmissividade calculados são representados na Figura 3.4. Os valores variam entre $6,9 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ e $0,067 \text{ m}^2/\text{s}$. O valor médio da transmissividade dos terraços é de $0,023 \text{ m}^2/\text{s}$ e das

Aquífero	n	Média	Desvio padrão	Mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Máximo
Aluviões	135	19,9	16,2	1,0	10,0	12,0	25,0	80,0
Terraços	73	12,6	10,2	1,1	5,5	10	15,0	50,0

Quadro 3.1 Principais estatísticas do caudal dos furos no sistema aquífero Aluviões do Tejo (L/s)

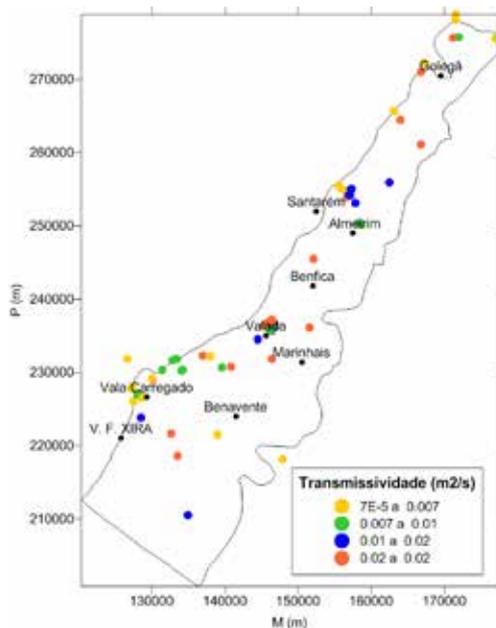


Figura 3.4 Distribuição dos valores da transmissividade do sistema aquífero Aluviões do Tejo

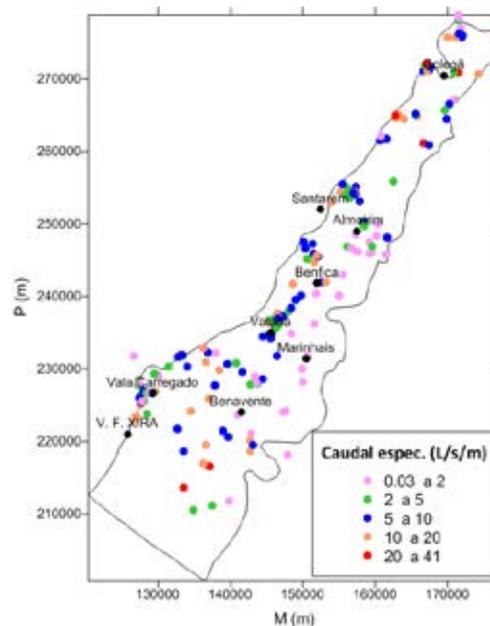


Figura 3.6 Distribuição dos valores do caudal específico dos furos localizados no sistema aquífero Aluviões do Tejo

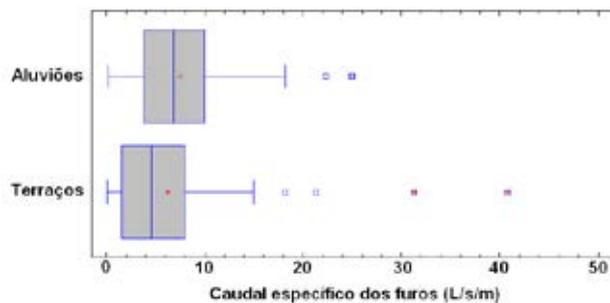


Figura 3.5 Representação gráfica das estatísticas das amostras do caudal específico dos furos no sistema aquífero Aluviões do Tejo

aluviões de $0,018 \text{ m}^2/\text{s}$. Os valores da média, da mediana e da variância das duas amostras dos valores da transmissividade não são estatisticamente diferentes para o nível de confiança de 95%.

Calculou-se também o caudal específico (representado frequentemente pela letra q) de 209 furos localizados no sistema aquífero: 137 nas aluviões e 72 nos terraços (Figura 3.5 e Figura 3.6); as duas amostras apresentam alguns valores considerados *outliers* (teste de Dixon).

Considerando os valores sem censura, a média e a mediana dos valores do caudal específico dos furos nas aluviões tomam os valores de $7,46$ e $6,80 \text{ L/s/m}$, respetivamente; os furos dos terraços têm os valores daquelas estatísticas de $6,20$ e $4,65 \text{ L/s/m}$. Há uma diferença estatisticamente significativa entre os valores das medianas e não há diferença estatística significativa entre as médias.

De 34 determinações do coeficiente de armazenamento (S), 25 foram-no a partir da evolução dos níveis de água em furos de observação e 9 tiveram por base os rebaixamentos em furos de bombeamento. Neste caso, utilizou-se o programa de cálculo automático de Lopez Palancal & Martinez Alfaro (1987). O coeficiente de armazenamento calculado variou entre $2,13 \times 10^{-5}$ e $0,10$, com média igual a $8,39 \times 10^{-3}$.

O rio Tejo é o grande eixo longitudinal de drenagem do sistema aquífero. O escoamento subterrâneo dá-se transversalmente em direção ao rio e ao longo da faixa das aluviões modernas até ao estuário. Os vales dos afluentes do rio Tejo drenam escoamentos de trajeto mais reduzido.

A recarga do sistema aquífero faz-se a partir da precipitação direta sobre o aquífero e é estimada em 200 mm/ano, com exceção da área aluvionar de jusante onde se estima ser apenas de 100 mm/ano. Estes valores da recarga são equivalentes ao volume anual de 244 hm³ (Mendonça, 1990).

Na zona a jusante de Santarém, as camadas mais ou menos contínuas e espessas de lodos e/ou areias lodosas semiconfinam as areias e cascalheiras da base das aluviões; assim, generalizando, podem distinguir-se três unidades sobrepostas: (1) areias com alternâncias lodosas; (2) lodos; (3) areias e cascalheiras de base. A montante, a espessura dos lodos diminui, aparecem de forma mais descontínua e, em alguns locais, a coluna geológica passa a ser constituída exclusivamente por areias. As areias e as cascalheiras da base, quer das aluviões quer dos diferentes depósitos de terraço, são as unidades mais transmissivas, onde capta a maioria dos furos.

Além de drenante, o rio Tejo, em períodos de cheia, quando o nível da água no rio sobe acima do nível piezométrico do aquífero, funciona como infiltrante: a água passa, então, do rio para as margens, dando lugar a um armazenamento nos terrenos marginais (*bank storage*). Logo que o nível da água desce no rio, este armazenamento é responsável pelo aumento da contribuição subterrânea para o caudal do rio.

Em regime natural, antes da exploração intensa do sistema aquífero terciário subjacente, as aluviões drenavam também parte das descargas naturais daquele sistema (drenância vertical ascendente).

Atualmente, devido à exploração do sistema aquífero terciário, em muitas áreas da bacia, o sentido do fluxo está invertido, nomeadamente na parte central, onde o potencial hidráulico no sistema aluvionar é mais elevado que o da parte superior do sistema aquífero terciário.

Almeida *et al.* (2000) apresentam conclusões sobre a qualidade da água do sistema aquífero baseadas em análises efetuadas no período compreendido entre maio e dezembro de 1996. Algumas das análises correspon-

dem a diferentes colheitas feitas na mesma captação, correspondendo a períodos de águas baixas e de águas altas. As profundidades de amostragem variaram entre 6 e 73 m.

A tipologia das águas é variável, com águas cloretadas, bicarbonatadas e mistas no que respeita à composição aniónica e sódicas, cálcicas e mistas quanto à composição catiónica.

Segundo Mendonça (1990), as águas dos terraços da margem sul do Tejo são as de melhor qualidade. São, predominantemente, águas cloretadas sódicas. Nos terraços do setor Azambuja/Carregado, encontraram-se águas que tipificam situações de poluição do sistema aquífero. Estas amostras de água foram colhidas em furos de unidades industriais e apresentavam valores anormalmente elevados de sulfato (1320 mg/L), cálcio (340 mg/L) e magnésio (125 mg/L).

Em estudo que engloba a área do sistema aquífero Aluviões do Tejo, Cerejeira *et al.* (1999) apresentam uma síntese dos resultados da avaliação da contaminação de águas subterrâneas por pesticidas. No período de 1991-1995 (o estudo incidiu sobre 87 furos, de que se desconhecem a localização e as características), detetaram resíduos de atrazina em concentração superior a 0,1 µg/L na água de 27 dos furos. No período de 1996-1998, na água de 11 dos 40 furos amostrados, detetaram-se resíduos em concentrações superiores a 0,1 µg/L de pelo menos um dos seguintes pesticidas: alacloro, atrazina, metolacloro, metribuzina e simazina.

Da análise dinâmica dos resíduos de pesticidas na água subterrânea, aqueles autores constataram que, de um modo geral, havia variação das concentrações doseadas ao longo da época das colheitas.

A presença de concentrações elevadas de nitratos no sistema aquífero, em concentrações que ultrapassam os VMA (Decreto-Lei 236/98), é referida, por exemplo, por Cerejeira *et al.* (1995) e Batista *et al.* (1998). A área montante de Santarém é considerada como a mais problemática.

De acordo com o mapa 58 do Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo de 2011 da ARH Tejo, o sistema aquífero aluvionar pertence à zona designada para captação de água para consumo humano em massas de água subterrânea e à Zona Vulnerável do Tejo definida pela Portaria 164/2010 de 16 de março. Com este diploma, visou-se reforçar as medidas destinadas a reduzir a poluição das águas, causada ou induzida por nitratos de origem agrícola, através de um Programa de Ação definido no anexo da Portaria 83/2010 de 10 de fevereiro.

Conforme a apreciação do estado das massas de água no Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5) de 2016/2021, o estado quantitativo, químico e global da massa de água das aluviões do Tejo é bom.

A água muito mineralizada do estuário condiciona a sua utilização, quer para os consumos domésticos e industriais quer para a rega; estas limitações ocorrem no troço final do rio Tejo e nos seus afluentes de jusante. Os principais fatores que condicionam o grau de contaminação por água salgada são a distância ao estuário, o caudal da linha de água, vindo de montante, e o estado da maré. Assim, tomando em consideração o mecanismo de infiltração induzida e mesmo com uma apreciação apenas qualitativa, a possibilidade de exploração intensiva do volume aluvionar para jusante do limite norte da Lezíria de V. F. Xira parece fora de questão.

No volume aluvionar atrás referido, todas as características físico-químicas da água se degradam; a água só pode ser utilizada em consumos específicos e pouco exigentes. Com efeito, entre os dados disponíveis, que não contemplam localizações extremas a jusante, já se encontram valores do resíduo seco da ordem de 1.800 mg/L.

As concentrações de ferro e de manganês são condicionantes muito importantes na utilização da água do sistema aquífero aluvionar. A presença de matéria orgânica nos lodos promove condições de oxi-redução que favorecem a dissolução daqueles elementos. Assim, no volume aluvionar a jusante de Santarém esta realidade é uma constante. A montante, como a espessura e continuidade dos lodos diminuem, nos locais onde coluna

geológica é predominantemente arenosa, as concentrações daqueles elementos costumam ser compatíveis com o consumo doméstico.

3.3 Campo de captações de Valada I

O campo de Valada I, além de furos de captação nas aluviões, inclui captações profundas nas formações terciárias; estas captações serão analisadas separadamente no capítulo 4, dedicado aos campos de captações do Terciário da bacia do Tejo.

A localização do primeiro campo de captações em Valada foi antecedida pela realização de uma campanha de furos de prospeção realizada pela empresa Johann Keller na primeira metade da década de 1940. Trata-se de furos que tiveram por objetivo principal a aquisição de conhecimentos sobre a geologia da região, nomeadamente sobre a profundidade do substrato terciário e a estrutura e a textura do corpo aluvionar (Figura 3.7). A maioria dos furos foi equipada como piezómetros pontuais, com tubo de pequeno diâmetro (1,5" a 3") e pequeno comprimento de tubo ralo (mínimo e primeiro quartil de 1 m, mediana de 1,25 m, terceiro quartil igual a 2,15 m e máximo de 8 m).

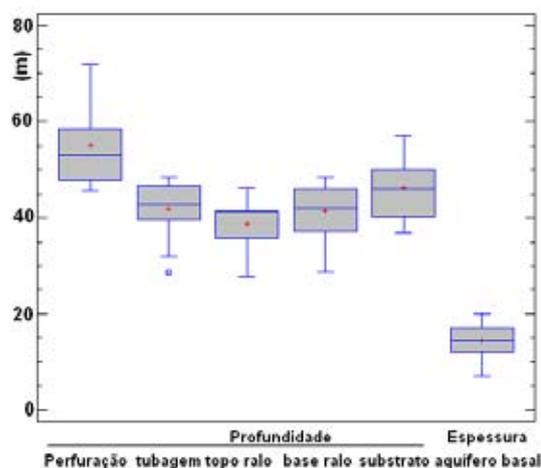


Figura 3.7 Estatísticas de algumas características da perfuração e tubagem dos furos de prospeção/pesquisa hidrogeológica realizados em Valada, na década de 1940, pela empresa J. Keller

A execução dos primeiros furos/poços de captação de água em Valada I data do período da Segunda Guerra Mundial - anos de 1944 e 1945 (primeira geração).

A partir de 1957, começou a renovação dos furos da primeira geração com a construção de novas captações semelhantes, á distância de cerca de 10 m das anteriores. As casetas iniciais foram reaproveitadas, mediante ripagem para as novas posições, e o mesmo aconteceu com todo o equipamento de bombeamento e manobra. A substituição dos furos terminou em 1971 com a construção do furo ACP-16.

Entretanto, em 1962, foi construído um novo furo de captação (ACP-13A) a NW dos existentes.

Só em 1975 terminou a construção dos furos de captação aluvionares em Valada I: dois novos furos a SE no alinhamento dos anteriores (ACP-17A e ACP-18A)

A localização de todos os furos de captação nas formações aluvionares de Valada I é representada na [Figura 3.8](#). Esta figura também inclui a localização de furos de pesquisa e de captação mais profundos em formações geológicas do Terciário.

Em Valada I, as aluviões são, genericamente, constituídas por alternâncias de areias e lodos, com um depósito basal de areias com seixos e calhaus com espessura de cerca de duas dezenas de metros ([Figura 3.9](#)). Os seixos e/ou calhaus são muitas vezes dominantes. Os furos captam neste depósito basal que assenta sobre formações terciárias do substrato, regra geral argilosas.

As casetas soerguidas relativamente à superfície do terreno, com os equipamentos elétrico e de controlo da exploração e a bomba de eixo vertical, recobrem os furos.

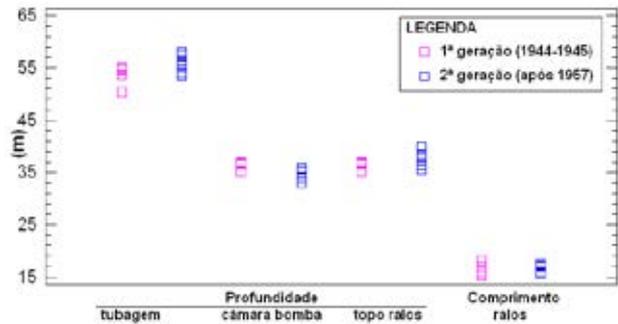


Figura 3.10 Características da perfuração e tubagem de revestimento definitivo dos furos de captação nas aluviões de Valada I

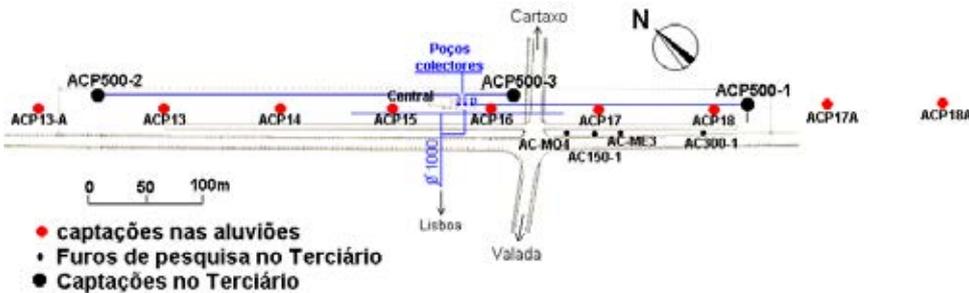


Figura 3.8 Localização dos furos de captação em Valada I (adaptado de folheto de divulgação de ACAVACO)

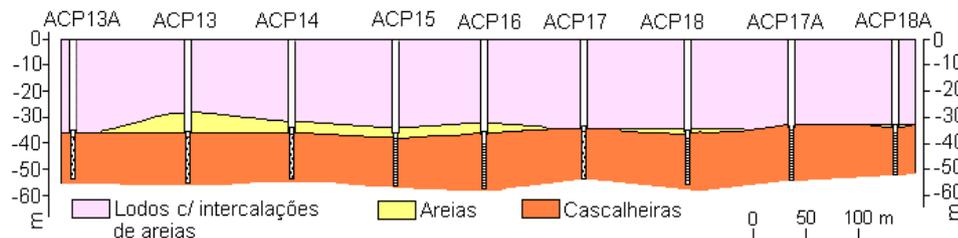


Figura 3.9 Perfil geológico esquemático, passando pelos furos de captação de Valada I (adaptado de folheto de divulgação de ACAVACO)

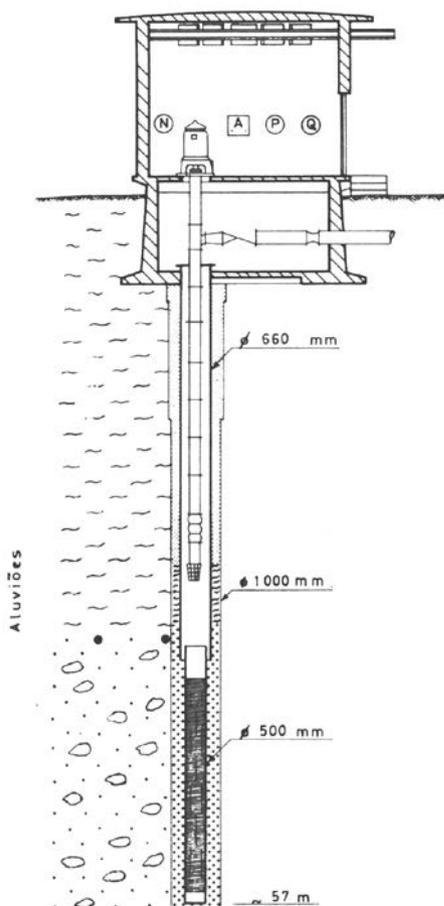


Figura 3.11 Furo/Poço-tipo das captações de Valada I
(in folheto de divulgação de ACAVACO)

As características construtivas dos nove furos de captação nas aluviões do campo de Valada I incluem tubagem de revestimento definitivo semelhante nos comprimentos (Figura 3.10) e no diâmetro (câmara da bomba de 650 ou 660 mm e zona de captação de 457 ou 500 mm). O furo-tipo da Figura 3.11 sintetiza as características construtivas do conjunto de furos nas aluviões de Valada I.

A profundidade dos níveis de água e a produtividade dos furos de captação da segunda geração são apresentados na Figura 3.12. O caudal dos ensaios de produtividade variou entre 50 e 80 L/s com o valor mediano de 70 L/s. O caudal específico é alto com valores entre 4,13 e 21,08 L/s/m e a mediana de 14,55 L/s/m. Os níveis de água em cada furo são influenciados pela exploração nos furos vizinhos.

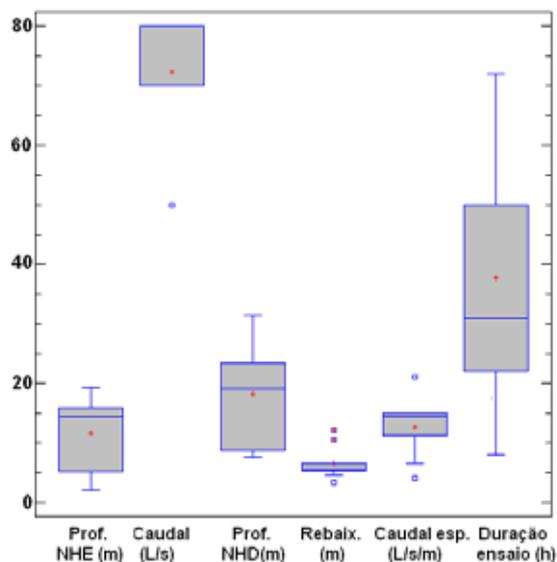


Figura 3.12 Produtividade dos nove furos de captação da 2ª geração de Valada I

O conjunto de seis valores calculados de transmissividade é homogêneo, variando entre o mínimo de $1,5 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ e o máximo de $2,87 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Estes valores revelam grande capacidade transmissiva da formação de areias com seixos e calhaus.

A água dos furos de Valada I tem fácies homogênea: nos catiões domina sempre o sódio com a percentagem de cerca de 80 %; entre os aniões, nas águas mais mineralizadas dos furos ACP13 e ACP13A, o cloreto é maioritário e nas restantes predomina o bicarbonato (Figura 3.13)

O resíduo seco das águas amostradas nas captações das aluviões em Valada I aumenta de SE para NW, sendo o valor mínimo de 365,8 mg/L na água do furo ACP18 e o valor máximo de 886,4 mg/L na água do furo ACP13A. O aumento da mineralização faz-se à custa do aumento da concentração de todos os iões principais, com exceção do sulfato cujo coeficiente de correlação com o resíduo seco e todos os catiões é muito baixo.

A utilização da água para consumo doméstico é condicionada pelas concentrações de ferro e de manganês que ultrapassam em regra os valores paramétricos da Parte III do Anexo I do Decreto-Lei 306/2007 de 27 de agosto. Para a

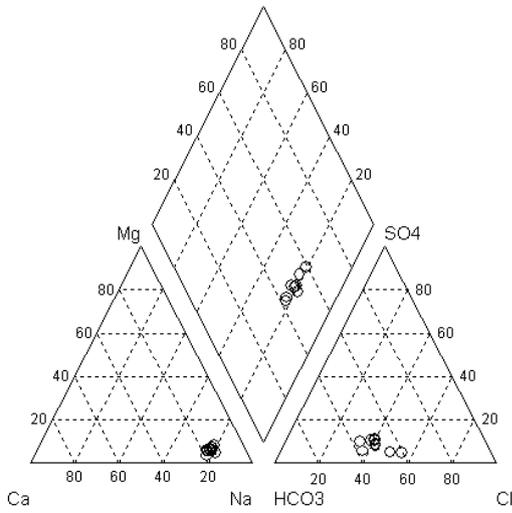


Figura 3.13 Fácies da água dos furos de captação de Valada I

produção de água para consumo humano, aqueles catiões também não cumprem os valores do Anexo I do Decreto-Lei 236/98 conforme o preconizado no Artigo 14º para as águas subterrâneas que apresentem qualidade superior ou igual à da categoria A1 das águas doces superficiais.

3.4 Campo de captações de Valada II

O campo de captação de Valada II (Figura 3.14) é constituído por três furos/poços, muitas vezes designados por "poços isolados de Valada" (ACP-19 a ACP-21). A anteceder a construção destes poços, foram executados três furos de pesquisa V53 a V55 próximos das localizações daqueles. Os furos foram construídos em 1950 e 1951.

Reconheceram-se duas camadas aquíferas, à semelhança dos trabalhos de pesquisa já antes realizados nas aluviões: uma superficial, pouco importante e com água mais mineralizada e outra mais profunda, com cerca de 10 m de possança, que corresponde à camada aquífera da base das aluviões.

A profundidade da camada basal em Valada II é cerca de 9 m, em média, inferior à encontrada em Valada I; a espessura também é inferior em cerca de 7 m.

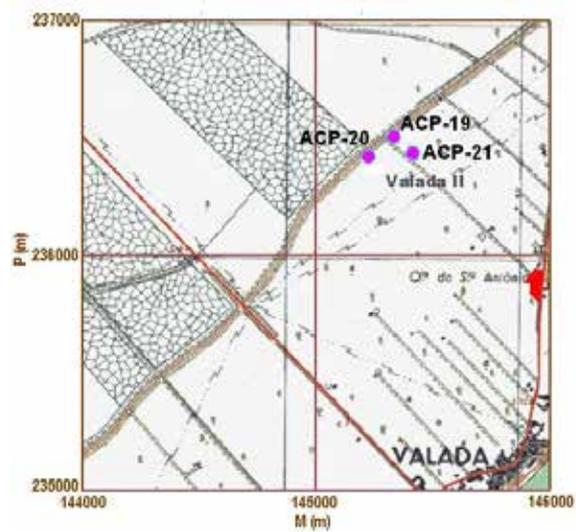


Figura 3.14 Localização dos furos de captação de Valada II

As características da tubagem dos furos de pesquisa e de captação são representadas graficamente na Figura 3.15. O diâmetro da zona de captação dos poços é de 400 mm e o da câmara da bomba é de 450 mm. Nos furos de pesquisa, a tubagem definitiva foi de menor diâmetro: 5" na zona de captação e 6" na câmara da bomba.

A produtividade dos três furos de captação é idêntica, entre 67 e 70 L/s. O caudal específico varia entre 8,02 e 12,20 L/s/m com média de 10,6 L/s/m.

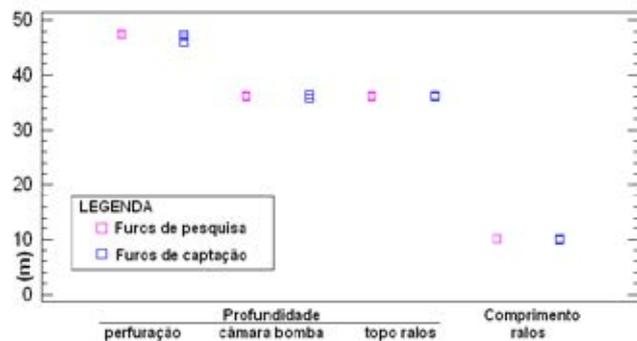


Figura 3.15 Características da perfuração e da tubagem de revestimento dos furos de pesquisa e de captação construídos em Valada II

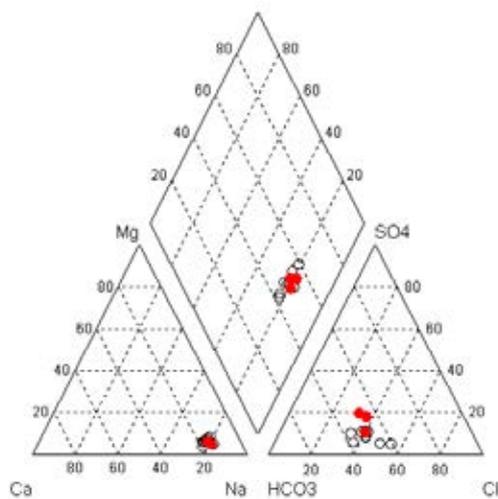


Figura 3.16 Fácies da água dos furos de captação de Valada II comparada com a de Valada I

A transmissividade da camada basal em Valada II toma valores entre $1,71 \times 10^{-2}$ e $3,33 \times 10^{-2}$ m²/s e o coeficiente de armazenamento varia entre $5,34 \times 10^{-4}$ e $1,69 \times 10^{-3}$.

As análises de água disponíveis dizem respeito a um ensaio de caudal conjunto dos 3 furos de captação, realizado em abril de 1971.

As águas dos furos de Valada II têm fácies homogénea, muito idêntica à da água dos furos de Valada I (Figura 3.16). A qualidade da água para consumo humano, à semelhança de Valada I, é condicionada pelos teores elevados de ferro e manganês.

3.5 Campo de captações de Valada III

O campo de captação de Valada III (Figura 3.17) é constituído por quatro furos/poços, ACP-22 a ACP-25, em localização adjacente ao rio Tejo. Os furos foram construídos em 1981 e 1982.

A antecedente a construção destes poços, foram executados cinco furos de pesquisa (ACA19V a ACA23V) em torno de Valada I, com o objetivo de identificar locais favoráveis para construção de novos furos de captação e aumento do caudal captado em Valada.

Reconheceram-se duas camadas aquíferas, à semelhança dos trabalhos de pesquisa antes realizados nas aluviões: uma superficial, pouco importante, e outra profunda constituída por areias com seixos e calhaus, mais produtiva.

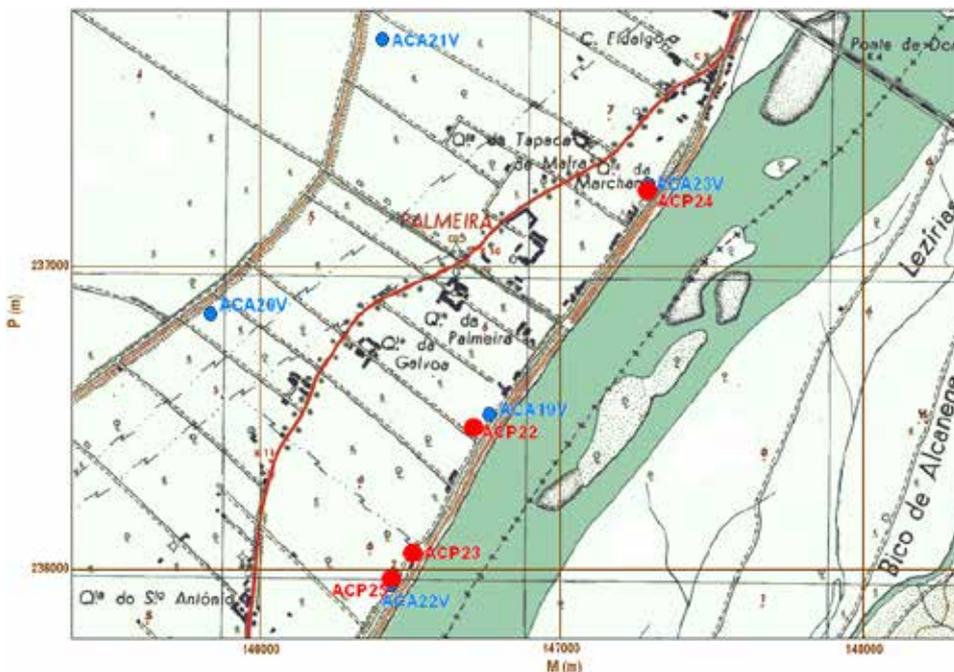


Figura 3.17 Localização dos furos de pesquisa e dos furos de captação de Valada III (Extrato da carta 377, 1/25000, dos SCE)

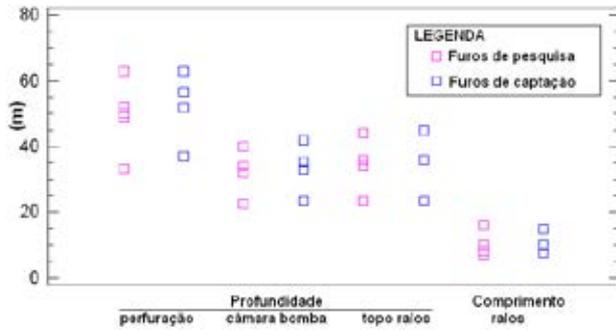


Figura 3.18 Características da perfuração e da tubagem dos furos de pesquisa e de captação construídos em Valada III

Nos locais dos furos de pesquisa ACA19V e ACA23V encontraram-se condições geológicas semelhantes às de Valada I: profundidade do substrato terciário maior que 50 m e espessura da camada basal de 16 e 17 m.

As características da perfuração e da tubagem dos furos de pesquisa e de captação são representadas no gráfico da **Figura 3.18**.

Nos locais dos furos de pesquisa ACA20V e ACA21V, as condições encontradas foram semelhantes às de Valada II, isto é, profundidade do substrato terciário da ordem de 45 m e espessura da camada basal de 10 e 12 m.

No local do ACA22V, o substrato está mais superficial relativamente a Valada I, cerca de 20 m, e a espessura da camada basal tem 7,5 m, cerca de metade do valor registado em Valada I. Esta singularidade geológica esteve na base da decisão de construção de um poço de drenos horizontais nesta área, que passou a designar-se por Valada IV.

O caudal do ensaio de produtividade dos furos de pesquisa varia entre 24 e 34 L/s e o dos furos de captação entre 41 e 75 L/s (**Figura 3.19**)

O caudal específico dos furos de pesquisa toma valores entre 3,56 e 21,60 L/s/m; nos furos de captação, o intervalo dos valores é menos extenso, entre 2,58 e 7,35 L/s/m. A média e a mediana tomam os valores de 9,29 e 4,51 L/s/m no caso dos furos de pesquisa e de 6,00 e 4,07 L/s/m nos furos da captação. Da comparação entre as

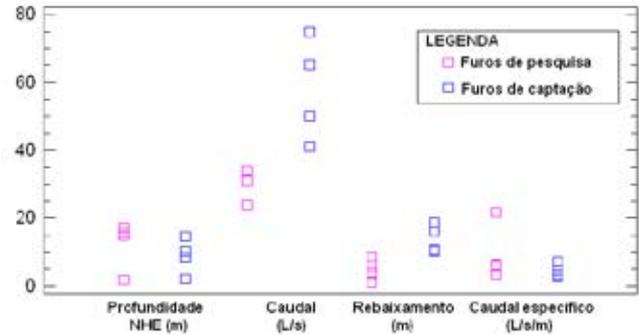


Figura 3.19 Produtividade dos furos de captação de pesquisa e de captação de Valada III

duas amostras do caudal específico conclui-se que não há diferença estatística significativa entre as médias e as medianas, resultado relativo não comum e que poderá significar que os furos de captação não terão sido bem desenvolvidos ou as características da camada captada eram menos favoráveis nos locais dos furos de captação.

Apesar dos valores do caudal específico basal serem inferiores aos verificados em Valada I e em Valada II, a transmissividade da camada basal, tendo valores entre $9,96 \times 10^{-3}$ e $3,99 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, é idêntica à reportada para

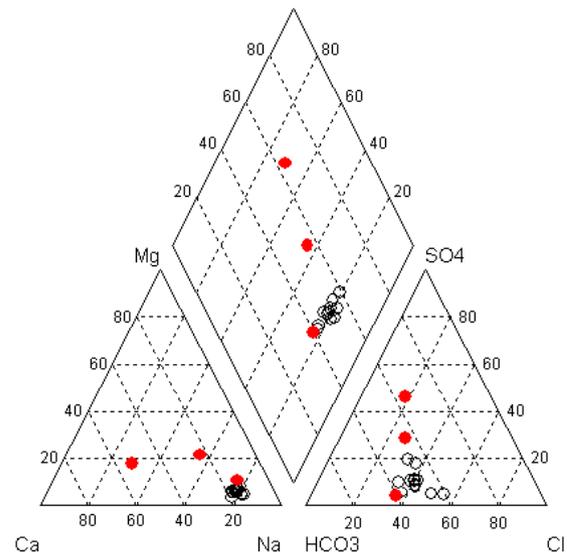


Figura 3.20 Fácies da água dos furos de captação de Valada III comparada com a dos furos de Valada I e Valada II

aqueles campos de captação. Em Valada III, os valores da transmissividade revelam grande capacidade transmissiva da formação de areias com seixos e calhaus, à semelhança de Valada I e de Valada II.

A água dos furos de captação de Valada III tem fácies mais heterogénea que a da água dos furos de captação de Valada I e Valada II (Figura 3.20): a água do furo de captação ACP24 é de fácies idêntica à água das captações de Valada I e Valada II; no caso dos furos ACP23 e ACP25, a percentagem de sulfato e cálcio aumenta simultaneamente; a água furo ACP25 é a mais sulfatada e a mais cálcica.

O resíduo seco das águas dos furos de captação de Valada III (332,4 mg/L a 452 mg/L) tem valores inferiores à média calculada em Valada I (550 mg/l).

A utilização da água para consumo doméstico, à semelhança de Valada I e Valada II, é particularmente condicionada pelos teores elevados de ferro e manganês.

3.6 Campo de captações de Valada IV

O campo de captação de água subterrânea Valada IV é constituído por um poço de drenos horizontais (PDH), cuja construção teve início em 3 de outubro de 1983, foi concluído em 11 de agosto de 1984 e desativado poucos anos após a sua construção.

O PDH foi projetado e construído por ACAVACO com a colaboração da firma Fehlmann Hydraulic Engineering Inc., de Berna, Suíça, que contribuiu com o *know-how* do processo patenteado Fehlmann de introdução dos drenos horizontais. Por parte da EPAL, foram consultores os senhores engenheiros P. Paradela e V. Fernandes.

A área onde se construiu o PDH (Figura 3.21) é próxima da área de localização do furo de pesquisa ACA22V e da captação ACP25 de Valada III.

Os trabalhos de prospeção e pesquisa realizados com o objetivo do estudo da localização e dimensionamento do PDH, incluíram: sondagens elétricas verticais; sete furos de

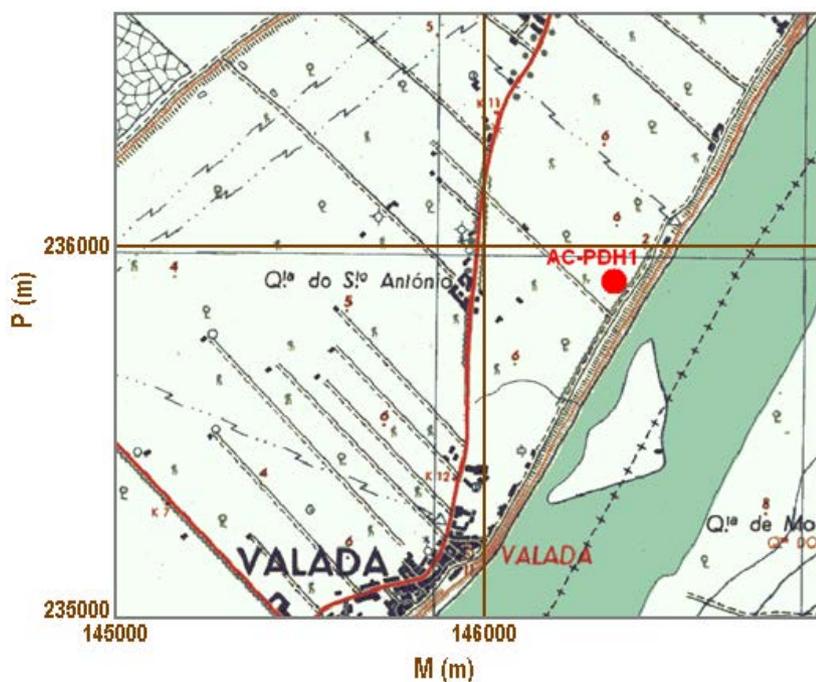


Figura 3.21 Localização do poço de drenos horizontais, AC-PDH1, em Valada IV (Extrato da carta 377, 1/25000, dos SCE)

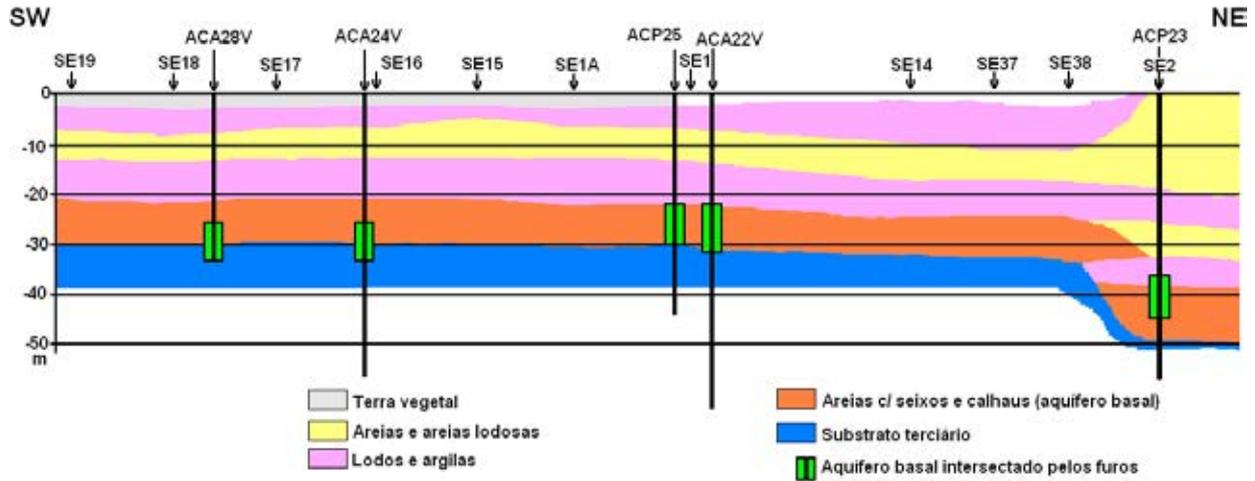


Figura 3.22 Corte interpretativo do levantamento geológico, paralelo ao rio Tejo (adaptado de documento ACAVACO)

pesquisa, numa área aproximada de 100x100 m² (Figura 3.22); ensaios de caudal com observação de níveis de água no furo de bombeamento e em outros furos.

Após a tomada de decisão de construção do PDH, foi executado um furo de reconhecimento geológico (ACA31V) no local do eixo do PDH que atingiu a cota aproximada de -31,5 m.

Construiu-se, ainda, um furo de pesquisa e observação (ACA32V), com o duplo objetivo de alargar a área reconhecida por sondagens mecânicas e observar o comportamento do aquífero durante o ensaio final de caudal do PDH e a fase de exploração.

Os resultados dos trabalhos de prospeção geofísica ilustram-se com um corte interpretativo paralelo ao rio Tejo. O perfil põe em evidência o abatimento do substrato terciário em cerca de 20 m, que se pode correlacionar com uma falha transversal ao rio Tejo, orientada W-E a WNW-ESE, pertencente ao sistema que Cabral *et al.* (2000) e Ribeiro *et al.* (2000) descrevem como estruturas de transferência relativamente ao sistema de falhas longitudinais, orientadas NE-SW a NNE-SSW, dispostas *en echelon*.

Os níveis da água no aquífero basal são influenciados pelas variações do nível da água no rio Tejo. As oscila-

ções do nível da água, quer no rio Tejo quer no aquífero, apresentam configuração sinusoidal, relacionada com a evolução da maré no estuário do rio Tejo. A natureza e amplitude das oscilações também dependem do caudal do rio. As oscilações no aquífero basal são amortecidas e variam com a distância ao leito do rio.

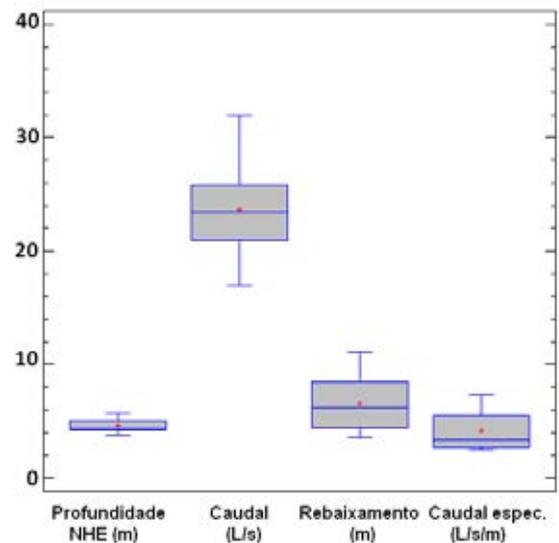


Figura 3.23 Resultados dos ensaios de produtividade dos furos de pesquisa de Valada IV (ACA24V a ACA31V)

Os resultados dos ensaios de produtividade, para o caudal máximo de ensaio, dos furos de pesquisa são sintetizados na [Figura 3.23](#).

Na fase de pesquisa, realizaram-se também três ensaios de bombeamento, com caudal constante e com observação de níveis da água nos furos vizinhos.

A superfície piezométrica provocada por bombeamento da captação ACP25 tem configuração assimétrica que evidencia a influência do rio Tejo ([Figura 3.24](#)).

Através dos resultados dos ensaios de caudal realizados e da aplicação dos métodos interpretativos de Cooper e Jacob (1946) e de Hantush (1964) calcularam-se os

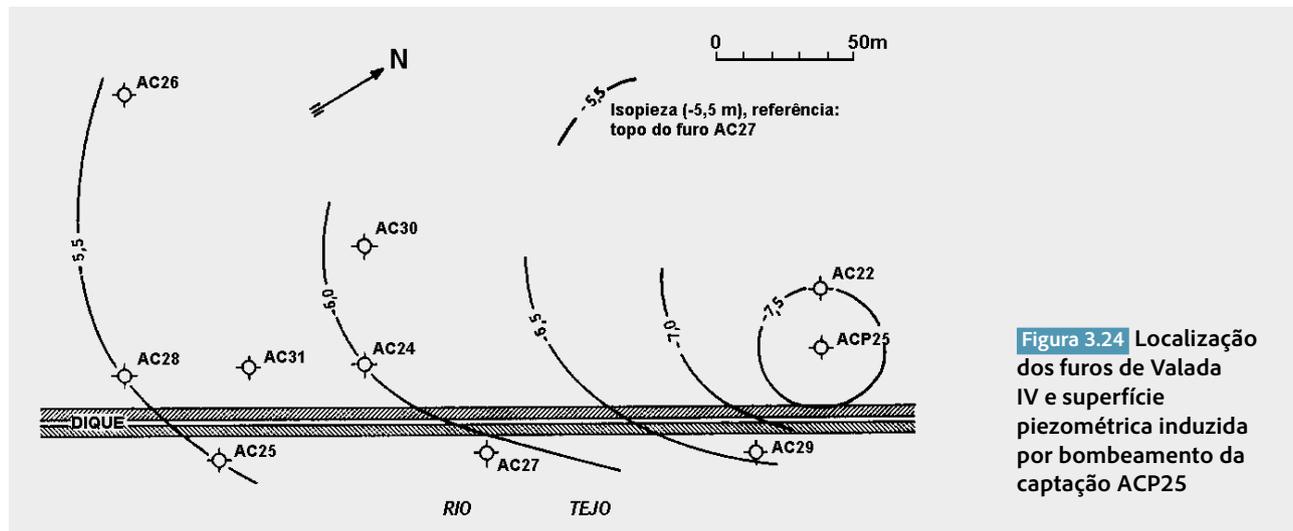


Figura 3.24 Localização dos furos de Valada IV e superfície piezométrica induzida por bombeamento da captação ACP25

84

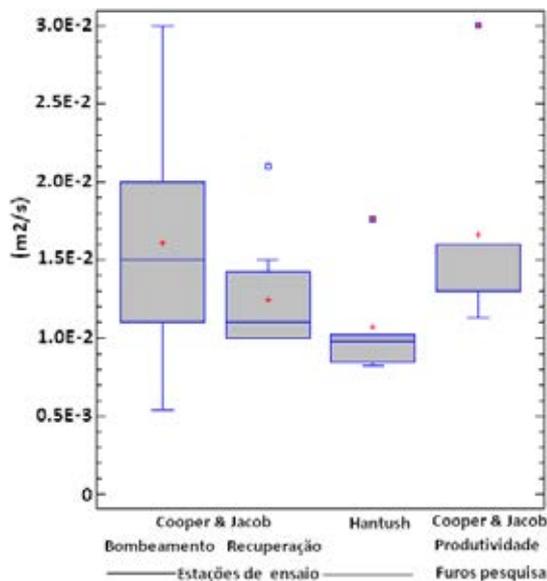


Figura 3.25 Estatísticas principais das amostras dos valores da transmissividade calculados através de ensaios de bombeamento em Valada IV

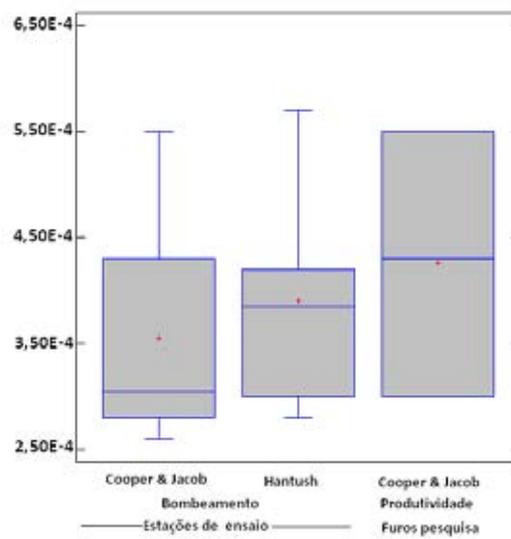


Figura 3.26 Estatísticas principais valores do coeficiente de armazenamento calculados através de ensaio de bombeamento em Valada IV

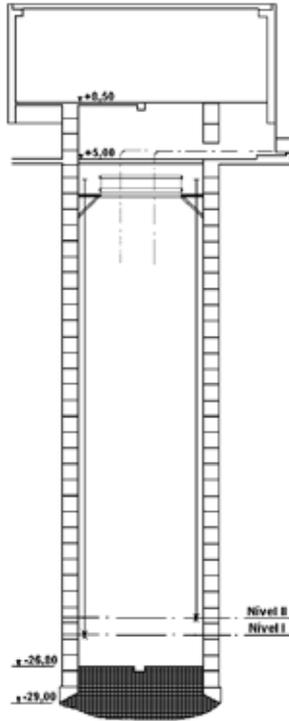


Figura 3.27 Poço de drenos horizontais (AC-PDH1) (adaptado de documento ACAVACO)

valores da transmissividade e do coeficiente de armazenamento que são representados graficamente nas Figura 3.25 e Figura 3.26, respetivamente.

O método de Hantush, além da transmissividade e do coeficiente de armazenamento, possibilitou o cálculo dos parâmetros característicos do semiconfinamento, B e K' . B é o fator de drenância (média 238 m e desvio padrão 120 m) e K' significa a condutividade hidráulica vertical do aquífero *i.e.* dos cerca de 10 m de areias lodosas e lodos sobrejacentes às areias de base da aluvião (média $2,78 \times 10^{-6}$ m/s e desvio padrão $1,95 \times 10^{-6}$ m/s).

A partir da superfície do terreno (cota +5,0 m) foi executado o poço coletor com diâmetro livre interior de 4 m, com paredes de betão fortemente armado de 0,5 m de espessura e fundo estanque (Figura 3.27). Incluídos na armadura em ferro das paredes do poço, antes da betonagem, foram colocados canhões especiais de aço inoxidável em localizações previamente definidas a dois níveis de profundidade.

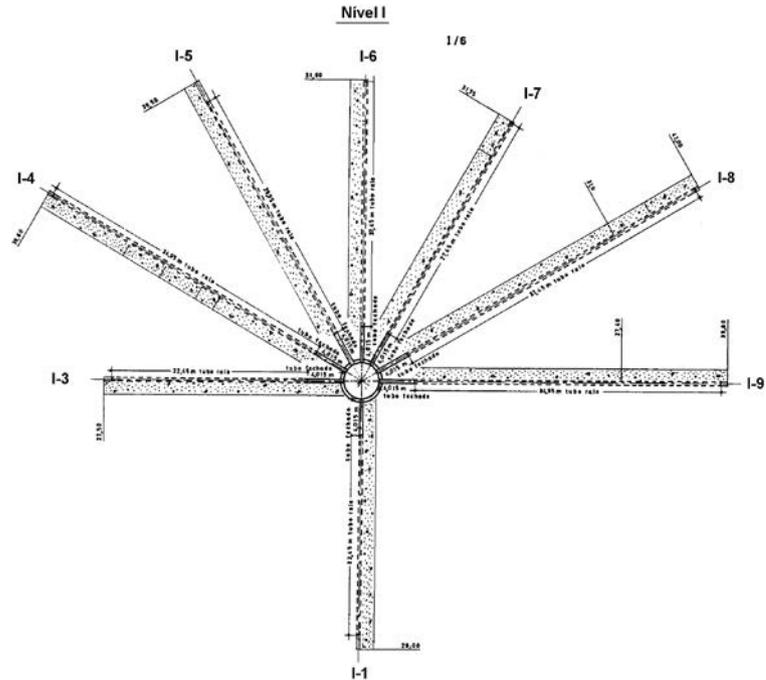


Figura 3.28 Pormenor dos drenos do nível I do AC-PDH1

O poço foi cravado no terreno pelo sistema *havage* até à cota -29,00 m. As paredes foram betonadas *in situ* e a cravação no terreno deu-se em resultado da escavação submersa do material existente.

O fundo do poço foi construído com betão submerso, numa primeira fase, a que se seguiu o esgoto da água e a colocação de uma camada de betão vibrado.

Os drenos horizontais foram instalados de acordo com o processo tipo Fehlmann, isto é, mediante operações com a sequência seguinte: (1) cravação do *casing*, (2) instalação dos tubos ralos, (3) extração do *casing*, e (4) desenvolvimento.

Os drenos foram cravados através dos canhões especiais em aço inoxidável incluídos nas paredes do poço.

A cravação do *casing* de diâmetro 270 mm foi feita por macacos hidráulicos. O material fino (areia e seixo) deslocado pela cabeça-piloto do *casing* foi arrastado para dentro do poço pela diferença de pressão de água existente entre o exterior e o interior.

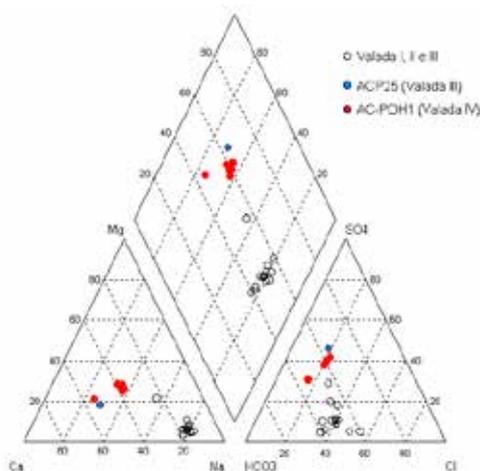


Figura 3.29 Tipologia da água do AC-PDH1 de Valada IV comparada com a dos furos de Valada I, Valada II e Valada III (em particular com a água do ACP25).

Aplicaram-se tubos ralos do tipo fenda contínua com diâmetro 200 mm e abertura (*slot*) de 1,5 mm.

Os catorze drenos têm o comprimento total de 425,51 m, distribuídos em dois níveis, instalados às cotas -23,70 m e -24,80 m. No nível I foram instalados oito drenos e no nível II seis. O comprimento total do tubo ralo aplicado foi de 369,30 m (Figura 3.28).

No final da colocação dos drenos horizontais, procedeu-se ao desenvolvimento individual dos drenos por sobrebombeamento.

O ensaio final de produtividade iniciou-se em 8 de julho de 1984 com o caudal de 350 L/s durante 24 h a que se seguiu a redução para 220 L/s nas 22 h seguintes. Os rebaixamentos observados foram de 15 e 9 m, respetivamente.

O ensaio foi interrompido em 10 de julho, após 46 h de bombeamento, para recomeçar com nova montagem de equipamento. O recomeço ocorreu às 19h30 de 16 de julho e prolongou-se até às 19h30 de 18 de julho com o caudal constante de cerca de 480 L/s, o rebaixamento de 21 m e o caudal específico de 22,86 L/s/m.

A água do AC-PDH1 é semelhante à água do furo

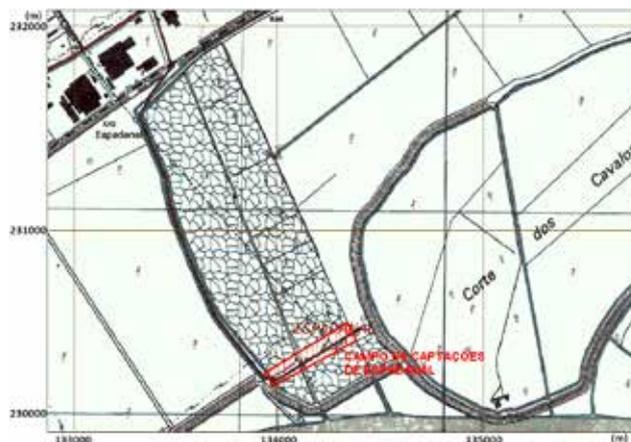


Figura 3.30 Localização do campo de captações de Espadanal (Extrato da carta 376, 1/25000, dos SCE)

ACP25 no total da mineralização dissolvida e na fácies (Figura 3.29). É mais sulfatada e calco-magnésiana que as águas de Valada I, Valada II e Valada III (exceção da captação ACP25). No que respeita às concentrações dos elementos maiores a água cumpre os respetivos valores paramétricos do Decreto-Lei 306/2007.

No decurso da exploração veio a verificar-se que a água tinha a concentração em ferro e manganês muito elevada e que a presença destes elementos tornava a água imprópria para o consumo humano e para a produção de água para consumo humano. Como consequência o AC-PDH1 foi abandonado, encontrando-se atualmente preenchido com areia e um selo de cimento superficial.

3.7 Campo de captações de Espadanal

O campo do Espadanal, além dos furos que captam nas aluviões, inclui três furos de pesquisa e um furo de captação em terrenos terciários.

A localização do campo de captações em Espadanal (Figura 3.30) foi antecedida da realização de uma campanha de furos de prospeção realizada pela empresa Joahnn Keller, na década de 1930. Trata-se de furos cuja construção visava a aquisição de conhecimentos sobre a profun-

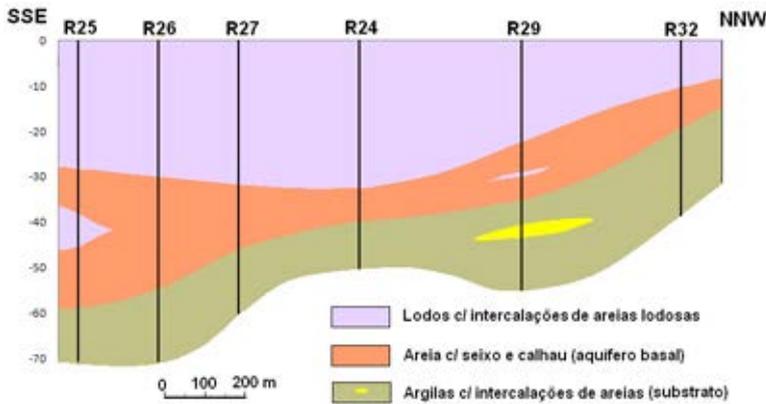


Figura 3.31 Corte geológico esquemático com direção NNW-SSE, aproximadamente perpendicular ao alinhamento dos furos de captação do campo de Espadanal

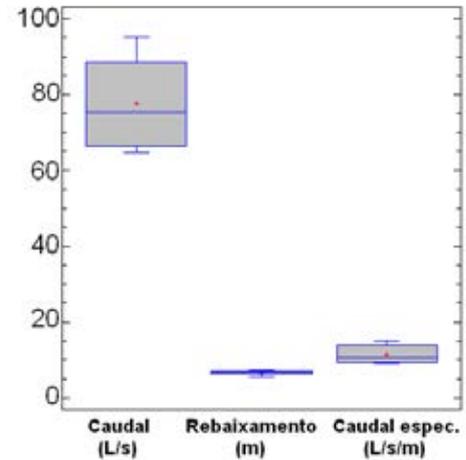


Figura 3.32 Produtividade dos furos de captação do Espadanal da geração de 1937/38

didade do substrato terciário e a estrutura e a textura do corpo aluvionar (Figura 3.31). Na maioria, os furos foram transformados em piezómetros pontuais.

A produtividade das primeiras captações (P7 a P12), construídas em 1937/38, é resumida na Figura 3.32. Tanto o caudal como o caudal específico são elevados e revelam boas condições de transmissividade.

A partir de 1956, começou a proceder-se à renovação dos furos com a construção de novas captações semelhantes e à distância de cerca de 10 m das anteriores.

A construção destas novas captações foi, igualmente, antecedida pela execução de alguns furos de pesquisa.

Foram construídos os furos AC7, AC8, AC9 e AC11, em locais próximos aos que seriam das novas captações ACP7, ACP8, ACP9 e ACP11, respetivamente.

A localização dos atuais furos de captação nas formações aluvionares de Espadanal é representada na Figura 3.33. Estão cerca de 10 m para NW dos furos substituídos, num alinhamento paralelo ao das antigas captações.

No campo do Espadanal, as aluviões são genericamente constituídas por lodos com intercalações de areias lodosas e por um depósito basal de areias com seixos e calhaus com espessura de cerca de 15 a 20 m. O depósito basal inclui um termo superior muito grosseiro, separado de outro inferior de areias menos grossas por uma len-

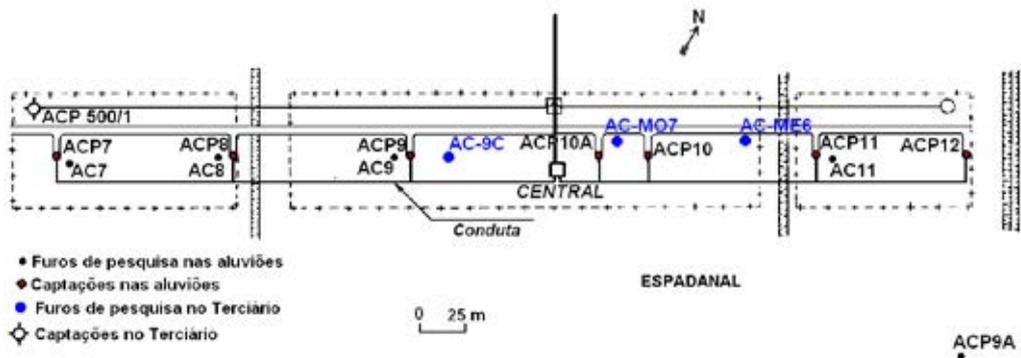


Figura 3.33 Localização dos furos de pesquisa e captação da geração de 1956/57 em Espadanal (adaptado de folheto de divulgação de ACAVACO)

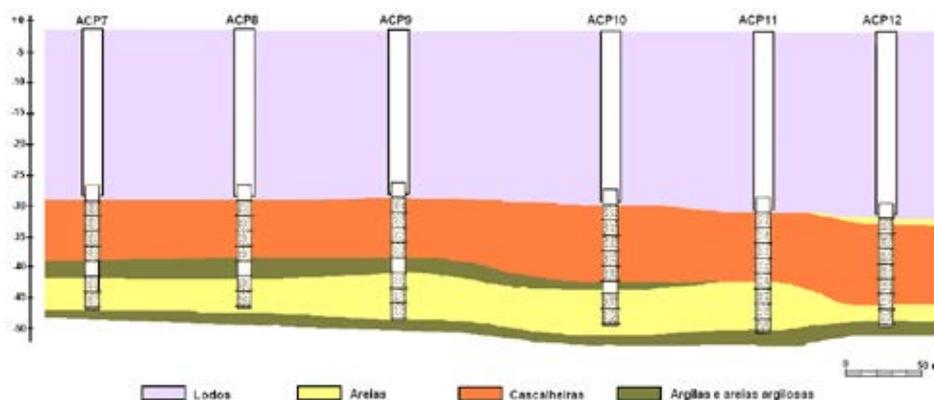


Figura 3.34 Perfil geológico esquemático, passando pelos furos de captação de Espadanal (adaptado de documento ACAVACO)

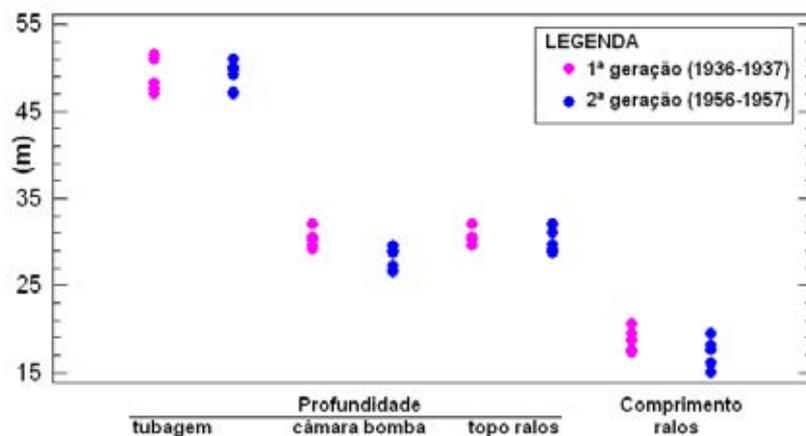


Figura 3.35 Características da perfuração e da tubagem dos furos de captação construídos em Espadanal

88

tícula de argila com cerca de 2 m de espessura máxima. O depósito de base das aluviões assenta sobre um substrato terciário argiloso (Figura 3.34). Todos os furos captam no depósito basal de areias com seixos e calhaus.

As características da tubagem dos furos de captação construídos em 1956/57 e dos furos que foram substituir, executados em 1936/37, são sintetizadas na Figura 3.35. Os furos das duas fases de construção têm características idênticas, diferindo essencialmente pelo maior diâmetro dos furos construídos em 1956/57.

Os ensaios finais de caudal da segunda fase de construção não terão sido totalmente esclarecedores por estarem furos antigos em bombeamento simultâneo. Nas captações ACP8, ACP9 e ACP11 mediram-se os caudais

de 80 L/s (com $q = 9$ L/s/m), 75 L/s e 90 L/s (com $q = 15$ L/s/m), respetivamente. O caudal total extraído do novo conjunto de seis captações foi de 40.000 m³/d.

Em 1970, por altura de construção do furo de pesquisa AC9C e do furo de captação AC-P500-1 nas formações terciárias da bacia do Tejo, executaram-se os furos de pesquisa AC9A e AC9B em locais não representados na Figura 3.33, para além da acaptação ACP12, segundo um alinhamento perpendicular ao alinhamento das captações aluvionares

Em 1978, foram executados ensaios de bombeamento em captações do Espadanal, segundo programa proposto pelos consultores, senhores engenheiros P. Paradela e V. Fernandes. Pretendia-se determinar os "parâmetros

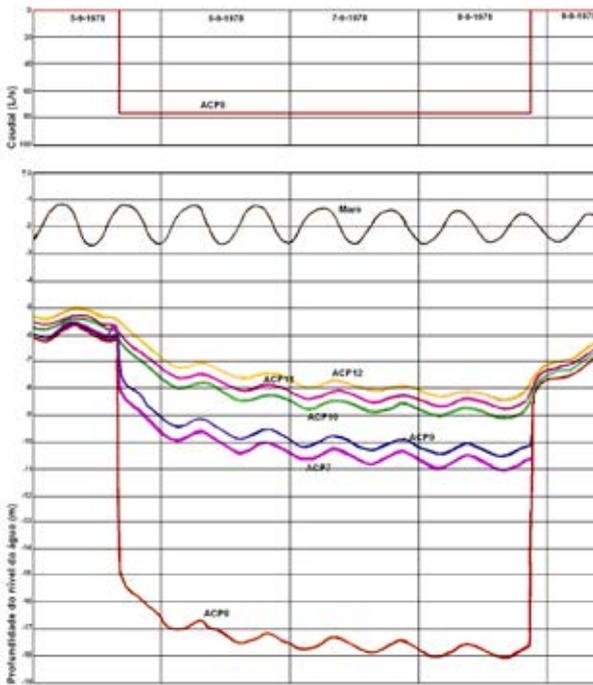


Figura 3.36 Representação gráfica parcial dos resultados do ensaio de caudal do furo de captação ACP8 de Espadanal

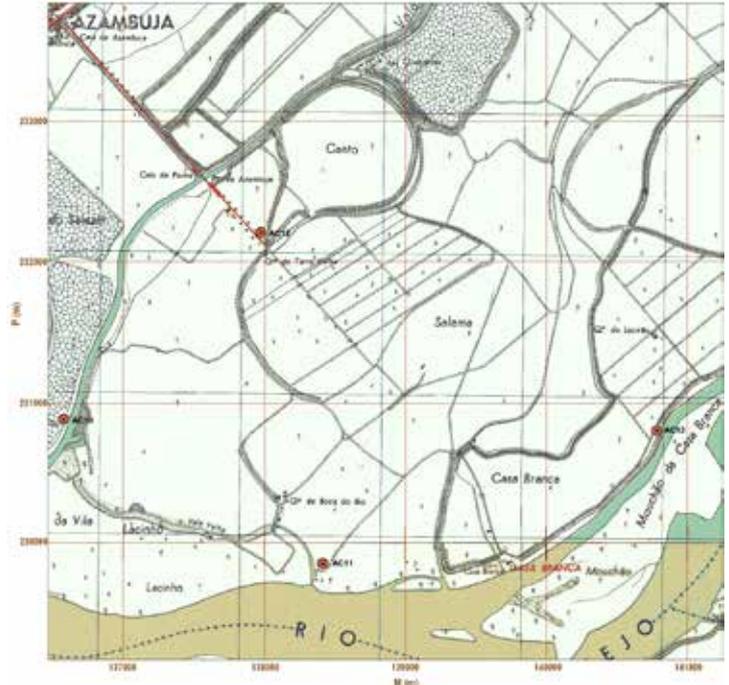


Figura 3.38 Localização dos furos de pesquisa AC10 a AC13 entre Espadanal e Valada (Extrato das carta 377 e 391, 1/25000, dos SCE).

hidrogeológicos do aquífero aluvionar com bombagens no Espadanal".

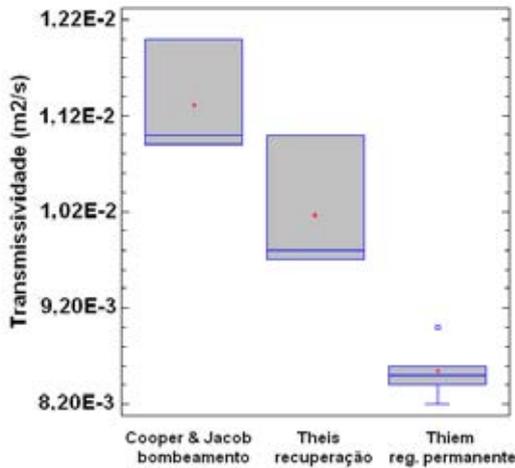


Figura 3.37 Representação gráfica das estatísticas principais das três amostras de valores da transmissividade no Espadanal, conforme o método interpretativo

O ensaio com bombeamento do furo ACP8 (Figura 3.36) desenrolou-se entre as 16 horas de 5 de setembro e as 21 horas de 8 de setembro de 1978. Foi precedido de leituras de níveis desde o dia 31 de agosto e seguido de leitura de níveis de recuperação até às 13 horas de 9 de setembro.

A determinação dos valores dos parâmetros hidráulicos fez-se a partir do ensaio com bombeamento no furo de captação ACP8 e das observações de níveis da água, em regime transitório nos furos ACP7 a ACP9 e em regime permanente nos ACP7 e ACP9 a ACP12.

O conjunto dos valores de transmissividade calculados compreende três amostras: duas em regime transitório com três valores cada (interpretados pelos métodos de Cooper e Jacob, 1946 e de recuperação de Theis) e uma em regime permanente com cinco valores (interpretações pelo método de Thiem, 1906). As médias das três amostras da transmissividade da Figura 3.37 são estatisticamente diferentes entre si para o nível de confiança de 95 %, formando três grupos homogêneos.

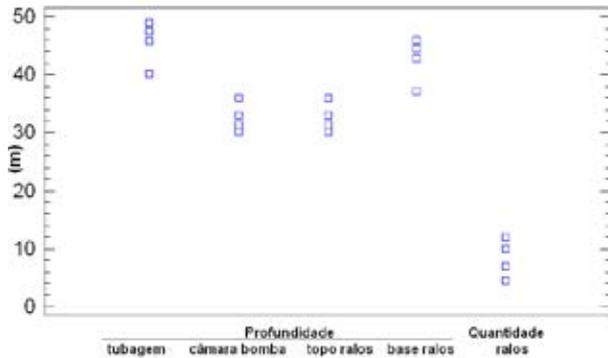


Figura 3.39 Características das tubagens dos furos de pesquisa construídos na região de Espadanal-Azambuja

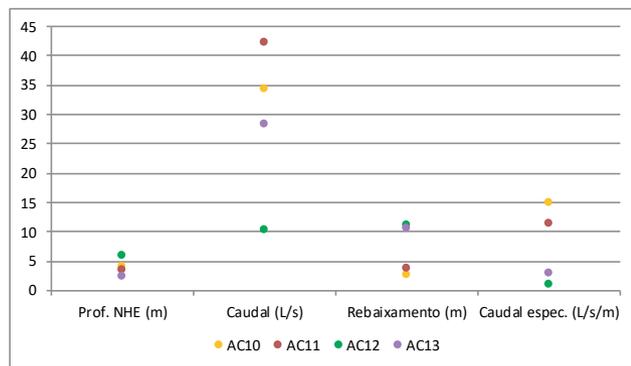


Figura 3.40 Resultados dos ensaios de produtividade dos furos de pesquisa na região de Espadanal-Azambuja

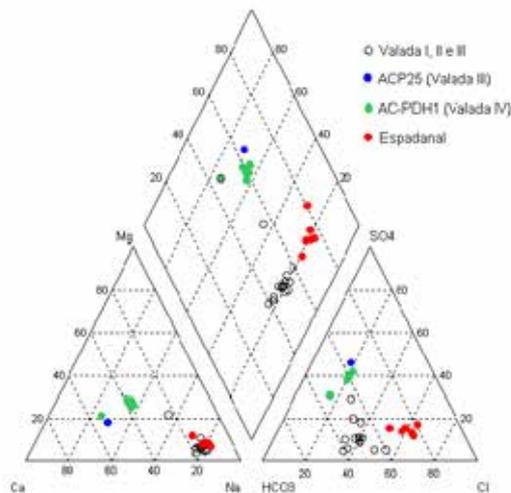


Figura 3.41 Fácies da água dos furos de captação de Espadanal (colheita de 28-2-1967) e comparação com a água dos furos dos campos de captação aluvionares localizados a montante

Estes resultados revelam boa capacidade transmissiva da formação de areias com seixos e calhaus. Têm cerca de metade do valor dos calculados em Valada.

Dos ensaios descritos, só foi possível calcular dois valores do coeficiente de armazenamento: $1,5 \times 10^{-4}$ e $2,6 \times 10^{-4}$, da mesma ordem de grandeza dos valores calculados nos campos de captação antes descritos.

Na mesma altura, foram executados quatro furos de pesquisa numa área entre Espadanal e Valada, incluída no triângulo Azambuja, Corte da Vila e Quinta do Lezirão (Figura 3.38). Inclui os furos designados por AC10 a AC13 (o furo AC11 aparece com a mesma designação de um furo de que se falou antes, localizado no campo de Espadanal junto ao furo de captação ACP11 (Figura 3.33).

A estrutura das aluviões nesta área pode ser de dois tipos: no AC10, o depósito basal de granulometria grosseira é recoberto só por lodos; nos outros furos, os lodos são encimados por areias cuja possança é cerca de 12 m no AC13 e de 8 a 9 m nos furos AC11 e AC12. No furo AC13, localizado junto ao atual leito do rio Tejo, a formação basal de areias com seixos e calhaus é pouco espessa, dividida em duas camadas com 2,5 m e 1,9 m de espessura.

As características das tubagens destes furos de pesquisa são representadas no gráfico da Figura 3.39 a que se acrescenta o valor do diâmetro de 8".

Os resultados dos ensaios de produtividade dos furos estão sintetizados na Figura 3.40. O caudal específico varia entre o valor muito baixo de 0,91 L/s/m no furo AC12 e o valor muito alto de 14,7 L/s/m no AC10; também a transmissividade é baixa no AC12 ($1,30 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$); para os valores do AC13 não há correlação entre o caudal específico baixo a moderado (2,69 L/s/m) e a transmissividade muito alta ($2,00 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$).

As águas dos furos de captação de Espadanal (colheita de 28-2-1967 em todas as captações) têm fácies homogénea: nos catiões domina o sódio com a percentagem de cerca de 80%; entre os aniões, o cloreto é dominante em todas as amostras e o bicarbonato é o segundo anião com cerca de 20 a 30% (Figura 3.41)

O resíduo seco das águas amostradas nas captações das aluviões em Espadanal aumenta de WSW para ENE: mínimo de 489,6 mg/L no ACP7 e máximo de 690 mg/L no ACP12.

A utilização da água para consumo humano é condicionada pelos teores elevados de ferro e manganês dissolvidos que ultrapassam em regra os valores paramétricos da Parte III do Anexo I do Decreto-Lei 306/2007 de 27 de agosto. Para a produção de água para consumo humano, aqueles cationes também não cumprem os valores do Anexo I do Decreto-Lei 236/98 conforme o preconizado no Artigo 14º para as águas subterrâneas que apresentem qualidade superior ou igual à da categoria A1 das águas doces superficiais. Em determinações efetuadas na estação de desferrição em 1980, à entrada na estação tinham-se os valores de 0,820 mg/L e 0,380 mg/L de ferro e manganês dissolvidos e na saída os valores eram, respetivamente, de 0,063 mg/L e 0,067 mg/L, compatíveis com a utilização da água para o consumo humano.

3.8 Campo de captações de Quinta do Campo

O campo de captações de Quinta do Campo (Figura 3.42) localiza-se a cerca de 4 km a WSW do Espadanal e a cerca de 700 m da margem direita do rio Tejo.

A primeira captação a ser construída foi um poço de grande diâmetro interior (4,26 m) que, inicialmente foi previsto ser do tipo Ranney. Como referido no Capítulo 1, surgiram certos percalços e depararam-se dificuldades de tal ordem, que obrigaram à alteração profunda do que havia sido projetado, com evidente prejuízo dos resultados finais obtidos. Acabou por ser construído um poço do tipo Hebard.

A descrição do poço Hebard (Figura 3.43) segue um documento da CAL escrito quando da sua construção em meados dos anos de 1930, intitulado "Descrição do Poço Hebard e seu Funcionamento".

O poço Hebard construído na Quinta do Campo, no termo de Vila Nova da Rainha, é um poço do tipo celular. Consta essencialmente de dois cilindros: o superior serve de casa de manobras e o inferior forma o coletor pro-

priamente dito. Este é fechado com um fundo estanque em betão e tem parede dupla: a exterior é de chapas de aço perfuradas e a interior é contínua e estanque de betão. Entre estas duas paredes, a dos ralos e a de betão, há



Figura 3.42 Localização do campo de captação da Quinta do Campo (Extrato da carta 390, 1/25000, dos SCE)

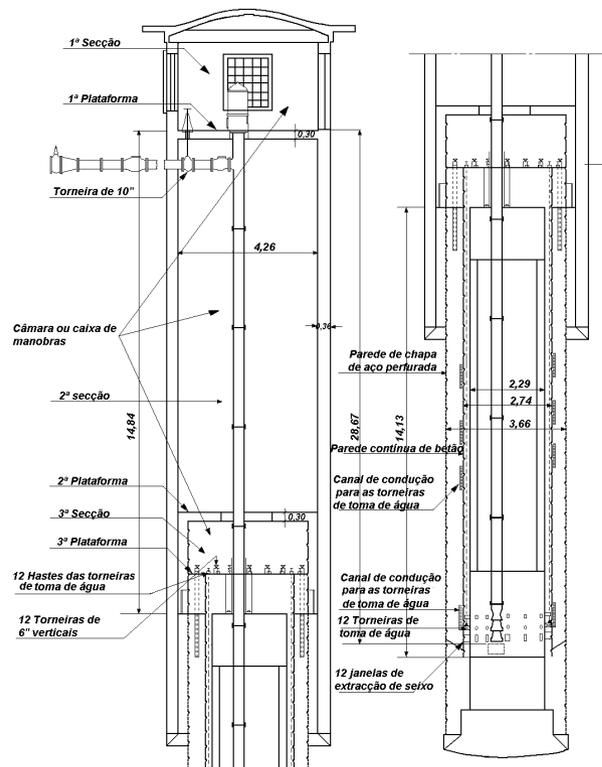
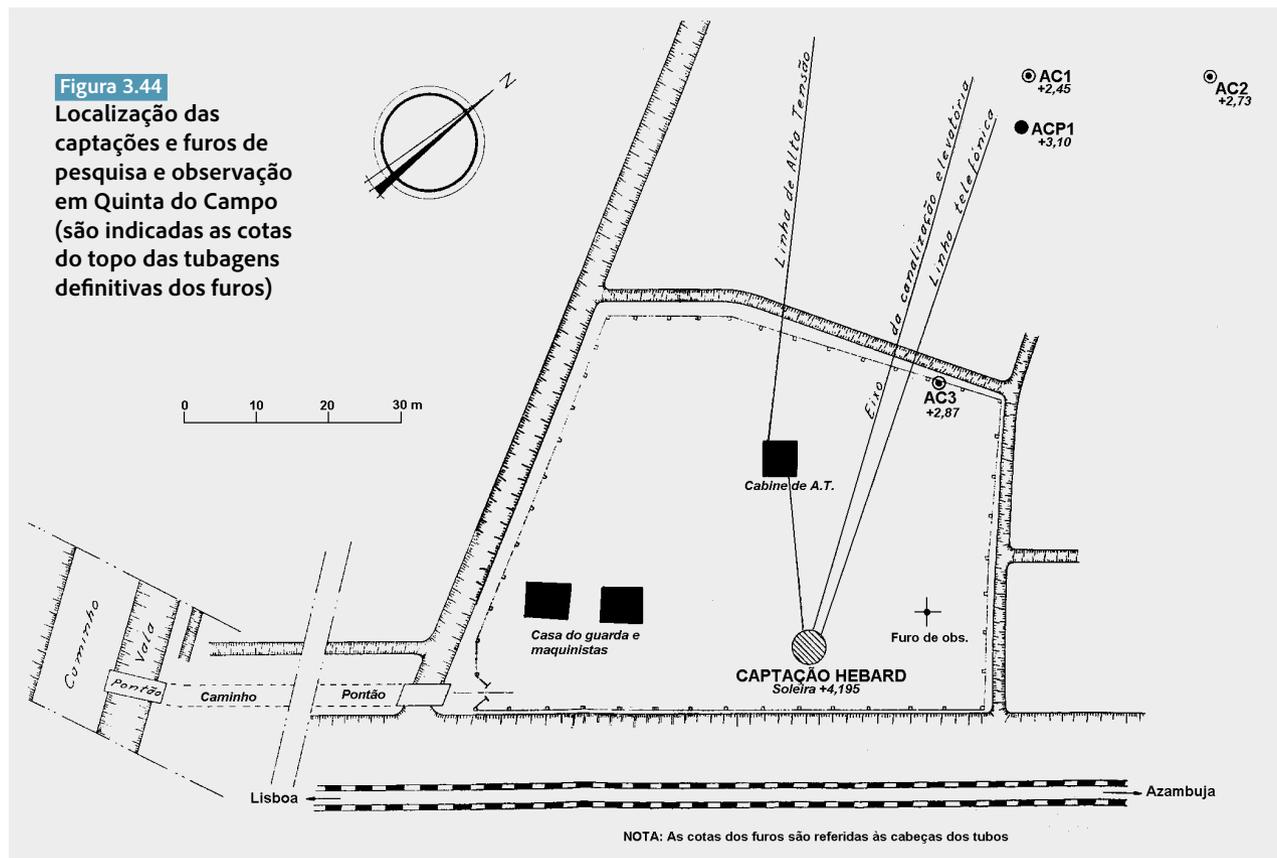


Figura 3.43 Corte vertical do poço Hebard em Quinta do Campo

Figura 3.44

Localização das captações e furos de pesquisa e observação em Quinta do Campo (são indicadas as cotas do topo das tubagens definitivas dos furos)



92

um intervalo que é dividido por 12 anteparas de chapa de aço em 12 espaços ou células independentes umas das outras. Cada uma destas células tem seixo calibrado que funciona como filtro vertical.

O coletor propriamente dito encontra-se isolado da câmara de manobras por uma laje de betão, formando uma plataforma de manobra com uma abertura por onde passa o tubo de elevação da água e se poderá entrar para visitar o coletor.

A casa ou câmara de manobras é também um corpo cilíndrico de paredes de betão armado com 0,36 m de espessura, coberto por uma calote esférica. A câmara tem janelas de grades para iluminação e ventilação, e uma porta de entrada. Encontra-se dividida em três compartimentos verticais por dois pavimentos ou plataformas de betão armado.

O primeiro pavimento encontra-se ao nível da porta de entrada e é nele que está instalado o motor da bomba com o seu arrancador e o registador do contador de Venturi.

O poço Hebard foi ensaiado entre 04/04/1938 e 08/04/1938 com o caudal de 450 m³/h, o rebaixamento de 10,4 m e o caudal específico de 43,23 m³/h/m (12,02 L/s/m). Estes resultados são modestos se comparados com os poços do tipo Ranney ou do tipo Fehlmann. Por exemplo, no poço Fehlmann de Valada IV obteve-se o caudal 480 L/s com o caudal específico de 22,86 L/s/m.

Em 1962, a empresa ACAVACO construiu um furo de pesquisa (AC1) e dois de observação (AC2 e AC3) cujos resultados positivos levaram à construção do furo de captação ACP1. A localização destes furos está representada na planta de pormenor, [Figura 3.44](#).

No furo de pesquisa AC1, sob um espesso conjunto de lodos (cerca de 26 m de espessura) foram encontrados dois conjuntos de camadas de areias com seixo separadas por argilas com cerca de 6 m de espessura. Os ensaios de produtividade vieram demonstrar que a camada arenosa mais profunda era a mais produtiva e acabou por ser a única a ser aproveitada no furo de captação ACP1.

Na [Figura 3.45](#) são representadas as características dimensionais das colunas de revestimento definitivo dos quatro furos.

Nos ensaios de avaliação da produtividade dos furos AC1 e ACP1 mediram-se os caudais máximos de 40 L/s e 50 L/s a que corresponderam os caudais específicos de 2,17 e 2,06 L/s/m, respetivamente. Salientam-se os valores do caudal específico relativamente baixos quando comparados com os dos furos de captação de outros campos de captação. Com a interpretação em regime transitório dos resultados dos ensaios nos furos AC1 e ACP1 calcularam-se os valores da transmissividade:

$4,83 \times 10^{-3}$ e $2,26 \times 10^{-2}$ m²/s e do coeficiente de armazenamento de $2,15 \times 10^{-5}$ e $1,08 \times 10^{-3}$, respetivamente.

A fácies da água das captações de Quinta do Campo é representada e comparada na [Figura 3.46](#) com a das águas dos outros campos de captação. Relativamente às captações do Espadanal, a mineralização total é idêntica (CE com valor médio de 1174,0 µS/cm e desvio padrão de 107 µS/cm), mas a concentração relativa em bicarbonato e cálcio é maior na água das captações de Quinta do Campo devido ao maior afastamento do rio Tejo.

Embora as análises sejam escassas, os valores conhecidos sugerem que a água do poço Hebard é menos mineralizada que a dos furos AC1 e ACP1.

Tal como nos restantes campos aluvionares da EPAL na margem direita do rio Tejo, a utilização da água para o abastecimento público é condicionada pelos teores elevados de ferro e manganês dissolvidos que ultrapassam em regra os valores paramétricos da Parte III do Anexo I do Decreto-Lei 306/2007 de 27 de agosto.

93

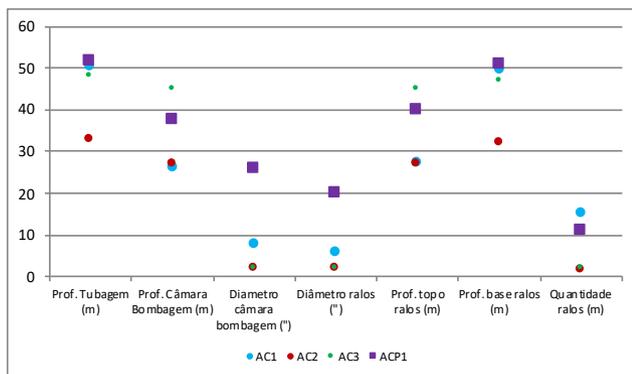


Figura 3.45 Características da coluna de revestimento definitivo dos furos de pesquisa e do furo de captação em Quinta do Campo

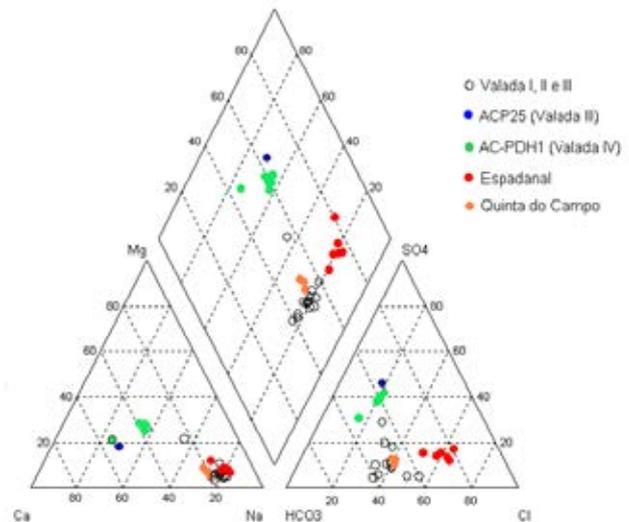


Figura 3.46 Fácies da água dos furos de captação de Quinta do Campo (colheita de 28-2-1967) e comparação com a água dos furos dos campos de captação aluvionares localizados a montante

3.9 Campo de captações do Carregado



Figura 3.47 Localização do campo de captação de água subterrânea do Carregado (Extrato da carta 390, 1/25000, dos SCE)

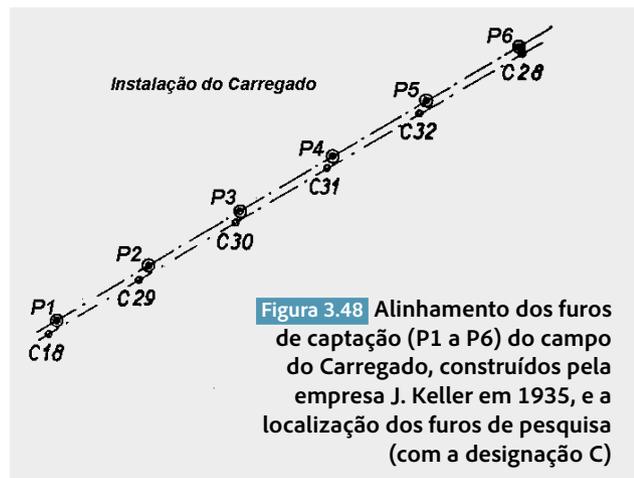


Figura 3.48 Alinhamento dos furos de captação (P1 a P6) do campo do Carregado, construídos pela empresa J. Keller em 1935, e a localização dos furos de pesquisa (com a designação C)

A construção do campo de captação do Carregado data de 1935 (Figura 3.47), o primeiro levado a efeito para a captação de água nas aluviões do vale do Tejo. Foi executado pela firma J. Keller. Os furos/poços de captação dispunham-se segundo um alinhamento reto com cerca de meio quilómetro de extensão, com as designações de P1 a P6 de WSW para ENE (Figura 3.47 e Figura 3.48).

Esse campo de captação começou por ser constituído fundamentalmente por seis furos de captação distanciados entre si aproximadamente 100 m e perfurados até ao substrato terciário, à profundidade média de 40 m. O revestimento aplicado foi em ferro de diâmetro 400 mm, protegido com borracha endurecida. Na Figura 3.49, apresenta-se a adaptação de um desenho publicado no Boletim dos Serviços Técnicos da CAL, ano de 1954, mostrando os seis furos em corte longitudinal.

Depois de atravessarem uma espessura de lodos da ordem de 20 a 25 m, os furos penetraram no depósito de areias com seixo e calhau e terminaram em formações argilosas do substrato entre as profundidades 37 m e 46 m.

Os primeiros registos sobre a produtividade dos furos correspondem a ensaios individuais efetuados entre 11 e 18 de maio de 1936. Estes ensaios teriam tido duração sempre inferior a um dia, por vezes com interrupções. A produtividade dos furos variou entre 4.500 e 5.200 m³/d, com valor médio de 4.792 m³/d.

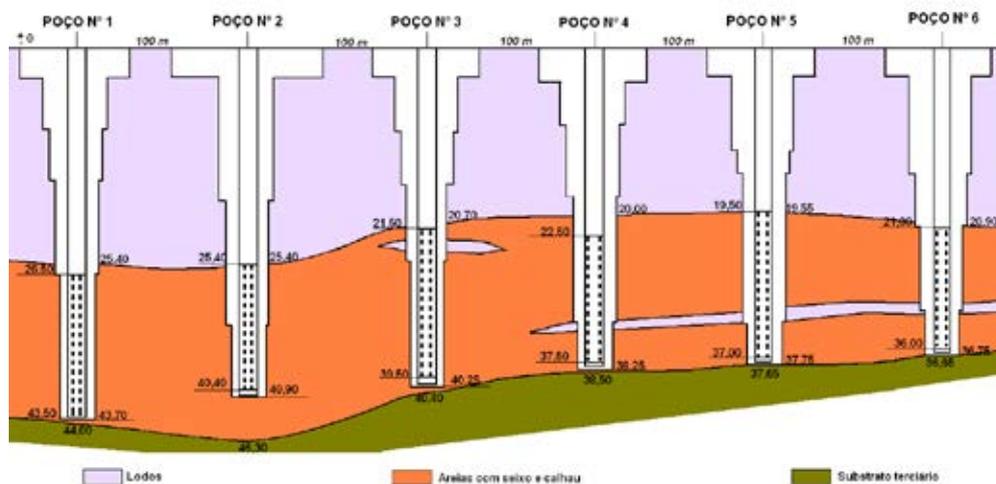


Figura 3.49 Corte geológico esquemático com a representação dos seis furos de captação do campo do Carregado, construídos em 1935

A fase de exploração teve início em 22 de dezembro de 1936 e, a partir do dia 26, o serviço começou a decorrer em regime de continuidade.

Segundo o "Parecer relativo às captações nas formações aluvionares do Carregado" elaborado pelos senhores engenheiros Paradela e V. Gonçalves, as captações foram bombeadas em conjunto, em 22 de dezembro de 1936, por algumas horas, e depois entre 26 e 30 do mesmo mês, de modo contínuo. A partir de 4 de janeiro de 1937 e até 26 do mesmo mês, a exploração foi contínua. De 18 de março a 10 de abril decorreu outro período de ensaio nas mesmas circunstâncias.

Durante os ensaios de janeiro de 1937, os volumes diários produzidos pelas captações variaram entre 4.900 e 5.200 m³/d com níveis hidrodinâmicos estabilizados entre 3,7 e 5,0 m de profundidade.

No início da década de 1950, começaram os primeiros sinais de deterioração e inutilização dos furos. Com exceção do P3, vieram rapidamente a inutilizar-se, desde que em junho de 1950 foram notadas as primeiras avarias no P5.

Segundo o Boletim dos Serviços Técnicos da CAL referido (que servirá de guia na exposição dos detalhes da reconstrução do campo de captações), reconhecida a necessidade de renovar o campo de captação, foi essa renovação estudada e posta a respetiva obra a concurso público em finais de 1952.

A proposta aprovada correspondia à solução de 6 furos (tantos como os primitivos), com o diâmetro de perfuração uniforme de 1.200 mm e perfurados até 0,50 m abaixo da camada impermeável que se encontra sob o aquífero (substrato). A furação seria feita sem tubagem de revestimento, por processo desenvolvido pela empresa Preussag. A estabilidade das paredes dos furos conseguia-se através de uma sobrepressão interior constante de água. A furação far-se-ia por rotação e extração dos produtos escavados por pressão hidráulica. Os tubos, filtrantes e fechados, em grés cerâmico, da marca "Schoenebeck", tinham 500 mm de diâmetro interior (Figura 3.50 e Figura 3.51). O material filtrante teria três camadas distintas de burgau, com calibres diferentes, sendo colocadas as duas interiores juntamente com o tubo filtrante, dentro duma rede metálica, e a terceira em seguida. O projeto previa o aproveitamento quase total das tubagens de ligação antigas e dos grupos eletrobomba.

95

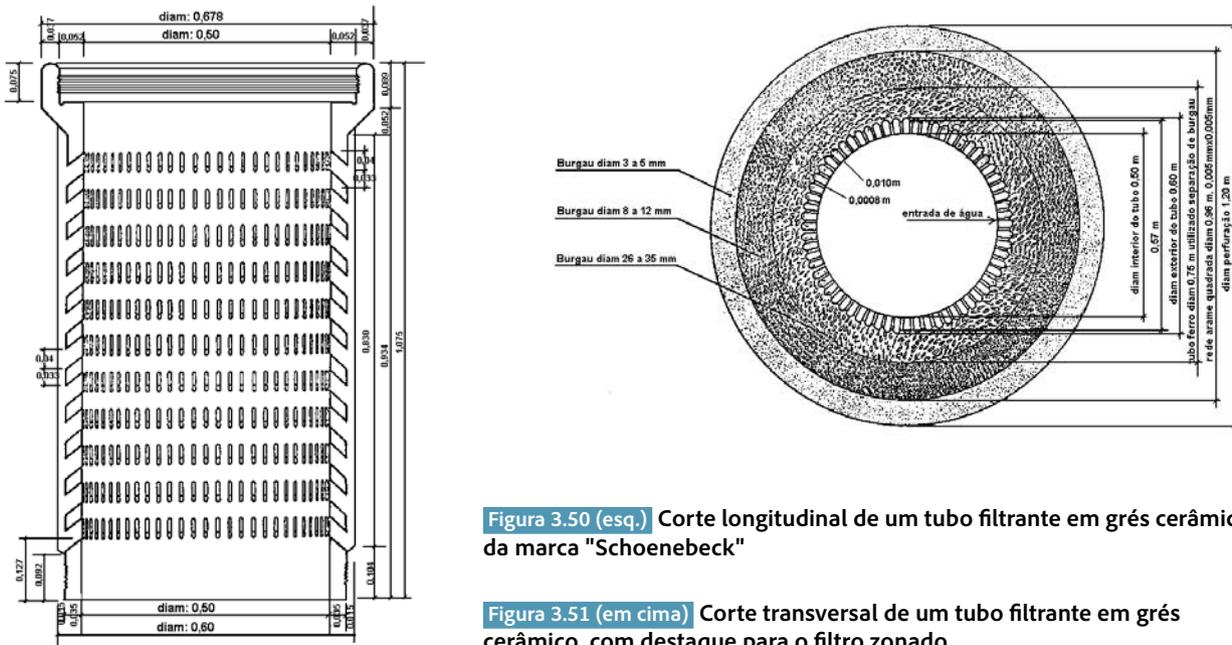


Figura 3.50 (esq.) Corte longitudinal de um tubo filtrante em grés cerâmico, da marca "Schoenebeck"

Figura 3.51 (em cima) Corte transversal de um tubo filtrante em grés cerâmico, com destaque para o filtro zonado

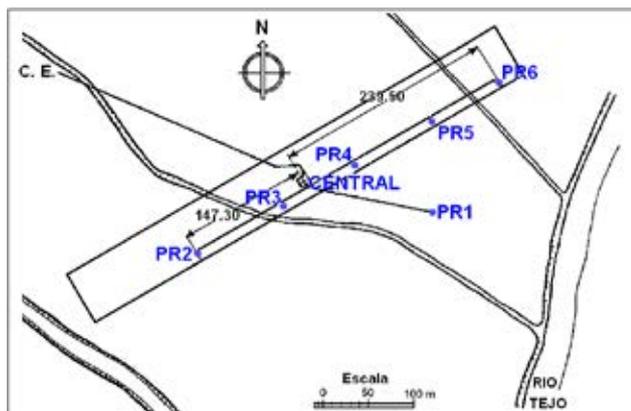


Figura 3.52 Localização dos furos de captação renovados do campo do Carregado (construção em 1953/1955)

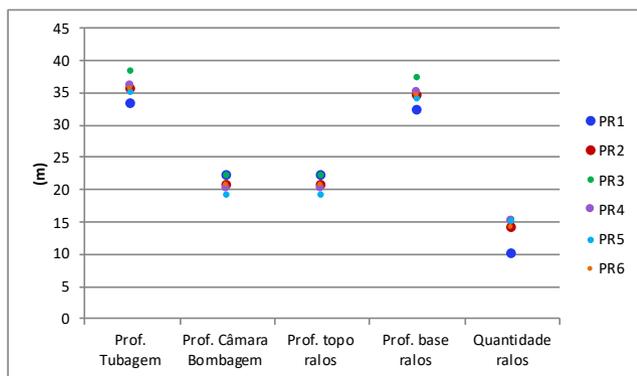


Figura 3.53 Características dimensionais da tubagem dos furos de captação renovados, construídos em 1953/1955

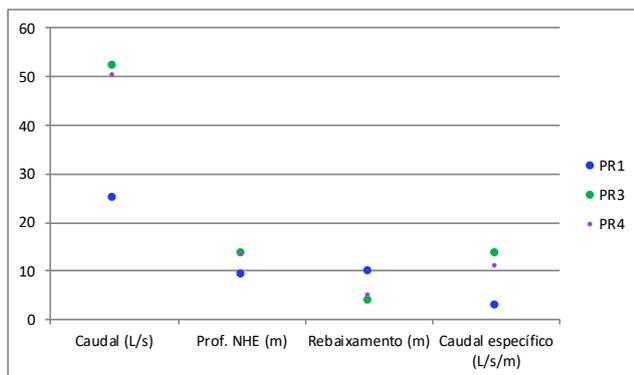


Figura 3.54 Resultados dos ensaios de caudal no decurso da verificação das captações PR1, PR3 e PR4 no final da década de 1960 ou início da década de 1970

A solução aprovada tinha como principais novidades a uniformidade de diâmetro dos furos e os tubos de revestimento, em material praticamente insensível às ações químicas. Outra importante novidade construtiva, foi o modo de efetuar a perfuração, até aí inteiramente desconhecido entre nós.

A obra foi iniciada em novembro de 1953 e só veio a considerar-se concluída em abril de 1955.

As novas captações tomaram a designação PR (poço renovado) e a numeração da captação substituída. A localização do PR1 estava inicialmente prevista no alinhamento dos restantes e aproximadamente à mesma distância dos antigos. Tendo desmoronado as paredes do PR1, transferiu-se para novo local, entre os furos P3 e P4, à distância aproximada de 100 m destes. No entanto, não se foi mais feliz nesse novo local, pois que o furo nele construído voltou a sofrer o mesmo acidente que o primeiro. Após várias tentativas infrutíferas, acabou por ser aberto onde se indica na planta geral (Figura 3.52).

As características dimensionais da tubagem dos furos de captação renovados descrevem-se na Figura 3.53.

Já depois de concluídos os cinco primeiros furos, verificou-se que quatro deles (PR2, PR3, PR4 e PR6) apresentavam sensíveis desvios da vertical. Só o PR5, que não demonstrava desaprumo apreciável, foi aceite sem quaisquer restrições.

Posteriormente, procurou-se determinar com o possível rigor o que efetivamente se passava em cada um dos furos, quanto aos seus desvios da vertical.

Concluiu-se então que os furos PR2 e PR4, por estarem de tal forma desaprumados, não permitiriam a introdução das tubagens verticais das bombas com folga apreciável, condição considerada indispensável para a sua aceitação.

Como solução para a situação que se apresentava, foi resolvido, de acordo com a firma adjudicatária, utilizar bombas elétricas submersíveis nos furos PR2 e PR4, em vez das bombas de eixo vertical dos antigos furos, e nos furos PR1, PR3 e PR6 utilizar os antigos grupos de eixo

vertical. Como contrapartida, o prazo de garantia dos furos passaria para dois anos e a recusa seria definitiva, se neste prazo fossem observadas deteriorações importantes na tubagem de grés.

O caudal médio captado nos primeiros ensaios realizados não foi além de 22.500 m³/d, com o nível dinâmico não estabilizado. Pelo contrato, o adjudicatário obrigava-se à obtenção "do caudal permanente mínimo de 25 000 metros cúbicos diários nos novos poços".

No que respeita à qualidade da água, o caderno de encargos da obra obrigava a que a concentração dos cloretos não deveria ultrapassar 250 mg/L. Verificou-se um pequeno aumento em relação a esse número, já por si bastante elevado em relação ao normalmente admissível.

No "Parecer relativo às captações nas formações aluivonares do Carregado", elaborado pelos senhores engenheiros P. Paradela e V. Gonçalves apresentam-se alguns resultados quanto à produtividade individual e aos níveis da água dos furos.

Funcionando em conjunto, no período de águas altas de Outubro de 1954, os furos PR3, PR4 e PR6 bombearam os caudais seguintes: PR3 = 4.100 m³/d, PR4 = 4.250 m³/d e PR6 = 4.150 m³/d. No final do mês de novembro, com todas as captações em laboração, o volume total extraído em 24 horas foi de 22.200 m³. Em agosto de 1956, em laboração contínua desde alguns meses, extraía-se o caudal 22.370 m³/d do conjunto das seis captações, com os níveis dinâmicos bastante profundos.

A partir de então a produção das seis captações iria decrescer até atingir o mínimo de 17.400 m³/d, em setembro de 1967, com elevação da água para a estação de desferrização. Em julho de 1968, com elevação para o canal Tejo, o volume diário extraído foi de 18.800 m³. Daqui para diante não voltaram a funcionar todas as captações em simultâneo.

Numa verificação aos furos PR1, PR3 e PR4, de que se desconhece a data, mas que se presume ter sido realizada no final da década de 1960 ou início da década de 1970, fizeram-se ensaios de caudal cujos resultados são apresentados na [Figura 3.54](#).

Em 1971, a captação PR1, cujo rendimento era inferior ao das restantes, deixou de funcionar e foi transformada em piezómetro, no final de 1976.

Em 1973, a empresa ACAVACO executou outro furo de captação, designado por ACP1 ([Figura 3.55](#)), que entrou em funcionamento logo a seguir.

O furo de captação ACP1 foi antecedido de um furo de pesquisa (AC1) que atingiu 45,40 m de profundidade. O furo ACP1 foi entubado até à profundidade de 45,84 m, a tubagem da câmara da bomba atingiu a profundidade de 29,60 m, com tubo em aço de diâmetro 660 mm revestido com poliéster, e foram aplicados 13,03 m de tubo ralo de diâmetro de 20" entre 30,70 e 45 m de profundidade.

Tal como os outros furos executados no campo de captação do Carregado, o furo ACP1 atravessou uma espe-

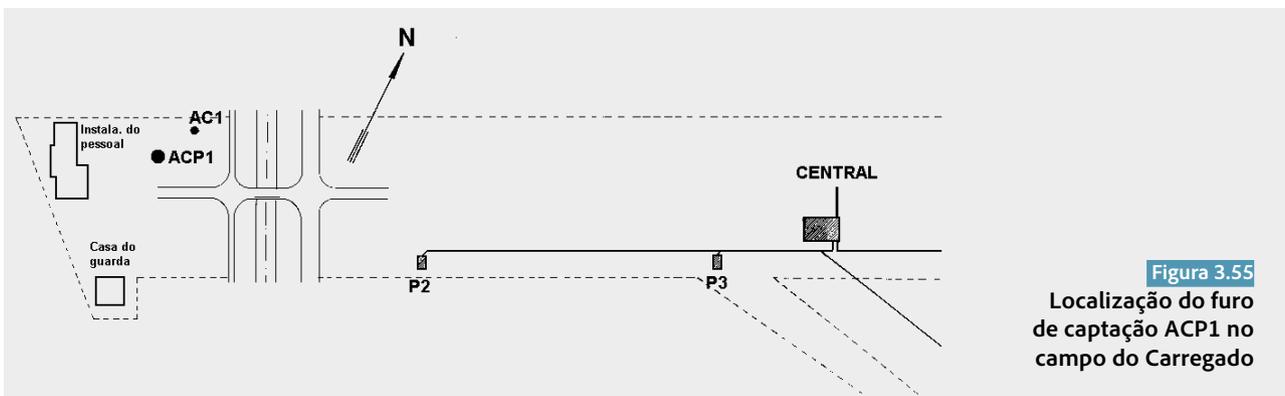


Figura 3.55
Localização do furo de captação ACP1 no campo do Carregado

sa série de lodos e argilas (27 m) e de seguida entrou nas areias com seixos e calhaus até aos 45 m de profundidade. Inferiormente encontraram-se argilas vermelhas do substrato terciário.

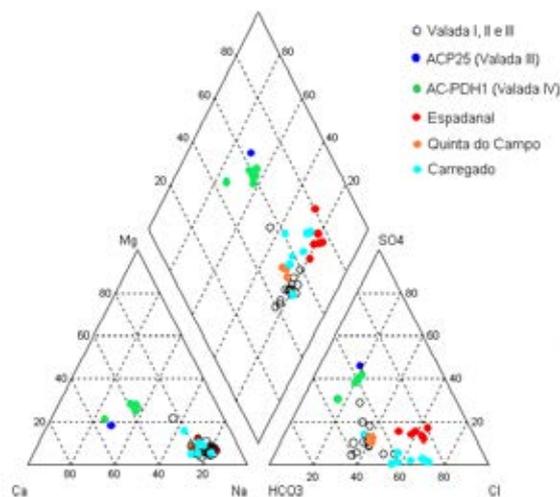


Figura 3.56 Fácies da água dos furos de captação do Carregado e comparação com a água dos furos dos campos de captação aluvionares localizados a montante

O ensaio de produtividade foi escalonado com o caudal máximo de 60 L/s. A interpretação dos resultados do ensaio em regime transitório conduziu aos valores

da transmissividade $2,68 \times 10^{-2}$ m²/s e do coeficiente de armazenamento de $1,28 \times 10^{-3}$, que revelam boa capacidade produtiva e transmissiva das areias com seixos e calhaus.

O furo de captação ACP1 foi o último a ser construído no campo do Carregado. Em 1977 já se encontravam fora de serviço os furos de captação PR2, PR5 e PR6.

As águas do campo do Carregado, além do domínio do cloreto e do sódio, diferem das águas dos restantes campos de captação nas aluviões pelo conteúdo relativo baixo em sulfato (Figura 3.56). São as mais mineralizadas de todos os campos de captação estudados, nomeadamente com as concentrações elevadas em cloreto e sódio, o que se entende, tendo em conta a sua localização mais próxima do estuário do Tejo. A média e o desvio padrão dos valores da condutividade elétrica de sete análises realizadas quando da execução das captações foram de 1543 µS/cm e de 512 µS/cm, respetivamente.

Tal como nos outros campos de captação aluvionares a principal condicionante para utilização da água para o abastecimento público são o ferro e o manganês, a que se acrescentam a concentração dos cloretos e a mineralização total elevadas. Ao contrário dos outros campos de captação, no Carregado, regista-se o predomínio do manganês sobre o ferro.





4. Campos de captações no sistema aquífero terciário do Tejo-Sado

O sistema aquífero terciário da bacia do Tejo-Sado é o mais extenso, profundo e importante sistema aquífero português. Ocupa a área aproximada de 8.550 km² e é constituído por depósitos terciários, parcialmente recobertos por unidades hidrogeológicas quaternárias. É a origem do abastecimento de água a importantes núcleos populacionais, à indústria e à agricultura.

Apesar da grande importância socioeconómica e hidrogeológica do sistema aquífero terciário, são em número limitado os estudos gerais e de pormenor que investigaram as suas características e funcionamento hidráulico (PNUD, 1980; Mendonça, 1990; Ribeiro, 1991; Macedo, 1994; Mendonça, 1996; GESTÁGUA, 1996; Simões, 1998; Fernandes, 2000). Subsistem muitas questões em aberto sobre a estrutura, as características hidráulicas, a qualidade e a química da água, o modelo de fluxo, as reservas e os recursos hídricos disponíveis.

O modelo conceptual de fluxo na bacia do Tejo é relativamente simples e inclui dois sistemas aquíferos que têm por suporte: as aluviões e as formações terciárias (Figura 4.1).

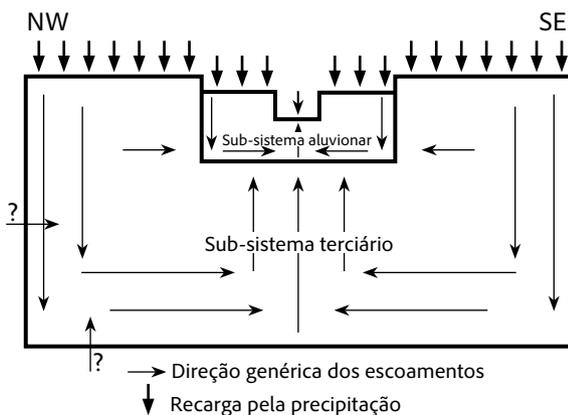


Figura 4.1 Modelo conceptual de fluxo na bacia do Tejo (Mendonça e Cabral, 2003)

O sistema aquífero terciário é multicamada, confinado/semiconfinado e com permeabilidade intersticial. Em condições naturais, na área central da bacia, apresentava forte artesianismo repuxante.

Neste sistema aquífero, é possível individualizar vários tipos de escoamentos e áreas hidrogeologicamente diferenciadas. Podem considerar-se escoamentos locais, isto é, escoamentos pouco extensos cujas áreas de descarga são as linhas de água adjacentes e as de recarga são os interflúvios. Por oposição aos escoamentos anteriores, existem os escoamentos extensos e profundos, com circulação à escala da bacia, onde se podem individualizar muito bem três áreas ou zonas de escoamento: a recarga onde o fluxo é descendente, a intermédia ou de transferência e a de descarga com fluxos ascensionais, que corresponde às áreas adjacentes ao grande eixo drenante (rio Tejo) e ao nível de base da bacia hidrográfica (nível médio no oceano Atlântico). A terceira classe de escoamentos corresponde a escoamentos intermédios, que podem incluir uma ou mais bacias dos tributários principais do rio Tejo.

Este modelo conceptual e geral de escoamento é suportado por observações de níveis piezométricos nas zonas central e laterais da bacia, na fase inicial da exploração do sistema, de que se dão três exemplos:

- Na Lezíria de Vila Franca de Xira, em regime natural, o potencial hidráulico no sistema terciário era superior ao do aquífero aluvionar sobrejacente e aumentava com a profundidade (nas camadas a cerca de 500 m profundidade, em 1974, estava cerca de 10 m acima da cota da superfície do terreno);
- Na península da Mitrena, a sul de Setúbal, em 1960, antes da exploração intensiva, o aquífero greso-calcário tinha a superfície piezométrica à cota aproximada de +6,5 m, superior à do aquífero pliocénico sobrejacente e inferior ao nível

da água das formações "margo-gresosa" e "grosso margosa" subjacentes;

- Furos com artesianismo repuxante, principalmente os profundos, no Miocénico, nos concelhos do Seixal, Montijo, Almada, Barreiro, Moita, Setúbal e Palmela.

Além da recarga pela água das precipitações e das trocas com as linhas de água e unidades aluvionares adjacentes, alguns autores admitem que o sistema terciário também possa receber recarga lateral proveniente das formações do Maciço Calcário Estremenho e dos calcários de Ota e Alenquer (PNUD, 1980; GESTÁGUA, 1996; Simões, 1998).

A questão das fronteiras é primordial na definição do funcionamento, na conceptualização e na modelação do sistema aquífero. As fronteiras do sistema aquífero na península de Setúbal, com exceção da fronteira sul, são constituídas por massas de água salgada dos estuários do Tejo e do Sado e do oceano Atlântico. A interação destes limites com o sistema aquífero não são fáceis de estabelecer e os modelos numéricos já realizados es-

colhem localizações diferentes para as fronteiras com o oceano e os estuários. Como resultado desta e de outras diferenças, cada modelo fornece resultados muito distintos.

A água dos vários escoamentos interage com diferentes tipos litológicos da bacia sedimentar sob condições de pressão, temperatura, tempo de contacto e estados de saturação variáveis que explicam a evolução das características físico-químicas da água ao longo dos escoamentos e a fácies diferenciada em extensão e em profundidade.

Entre os estudos de que o sistema aquífero foi objeto destaca-se, pelo seu pioneirismo e meios envolvidos, o projeto da Península de Setúbal (PNUD/POR/77/015), de que resultou um modelo matemático (PNUD, 1980). No referido estudo, os recursos renováveis dos sistemas aquíferos da bacia do Tejo foram avaliados em 1.100 hm³/ano. Admitindo que a componente de recarga direta a partir da precipitação constitui a quase totalidade daquele valor, ele corresponderia a uma taxa de recarga próximo de 20% da precipitação média da bacia (Almeida *et al.*, 2000).

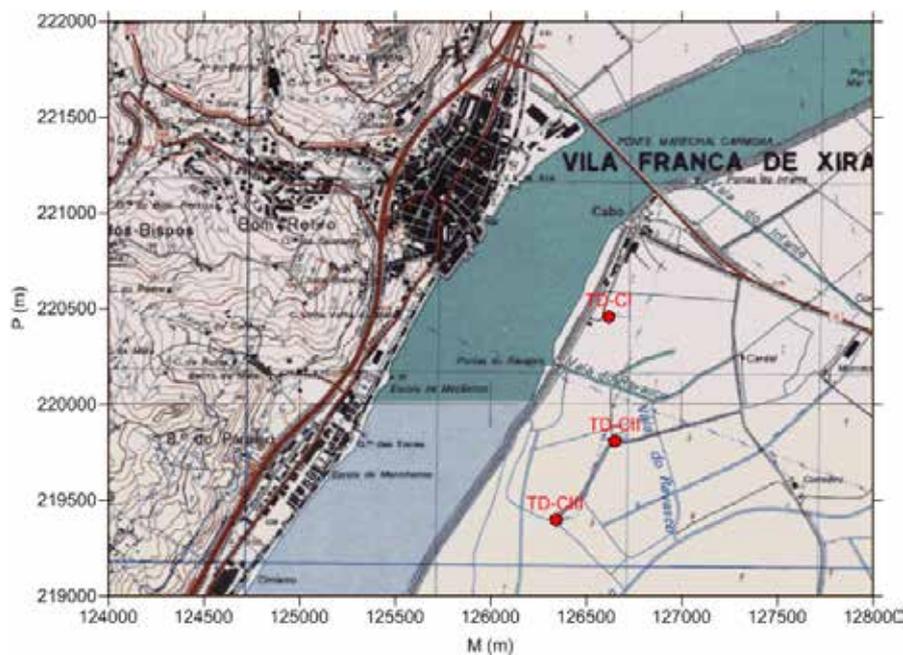


Figura 4.2 Localização do campo de captações de Lezíria I (TD-CI a TD-CIII)

Tendo em conta as características litológicas e topográficas do sistema, Almeida *et al.* (2000) recomenda que se adotem valores mais conservativos pelo que propõe como valor aceitável cerca de 700 hm³/ano.

No modelo que informa o Plano Diretor da EPAL (GESTÁGUA, 1996), os recursos renováveis subterrâneos da bacia do Tejo foram avaliados em 932 hm³/ano.

4.1 Campo da Lezíria I

Este campo de captações, abandonado há dezenas de anos, localizava-se na margem esquerda do rio Tejo, numa área a sul da EN10, logo após a Ponte de Vila Franca de Xira (Figura 4.2).

Quase no final da década 1950, foram construídos três furos ou poços de captação, TD-CI, TD-CII e TD-CIII, cuja produção era encaminhada, através de conduta elevatória instalada na ponte de Vila Franca de Xira, para o sistema adutor que transportava a água para Lisboa. Após dezenas de anos sem exploração, os poços foram elimi-

nados em 2001, mantendo a EPAL a propriedade dos recintos, dos acessos e da conduta elevatória.

A construção deste campo de captações fundamentou-se em trabalhos de prospeção, pesquisa e ensaio realizados pela empresa Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Lda. (TD). A descrição dos trabalhos, que se segue, é baseada em documentação elaborada por esta empresa e pelo senhor engenheiro Fernando Moitinho d'Almeida.

Os trabalhos de pesquisa que fundamentaram a construção das captações do antigo campo de captações de Lezíria I iniciaram-se em 8 de março de 1953.

Executaram-se onze sondagens de prospeção e pesquisa (S) e um furo de ensaio (C.1) cuja localização é apresentada na Figura 4.3.

Estes trabalhos tiveram por objetivo estudar a viabilidade de captação de 30.000 m³/d de água para abastecimento da cidade de Lisboa.

103

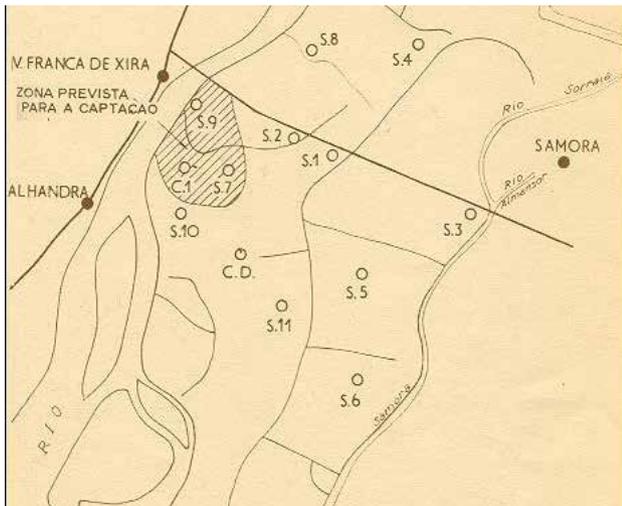


Figura 4.3 Localização das sondagens de pesquisa (S) e furo de ensaio (C.1) para escolha da localização do campo de captação de Lezíria I

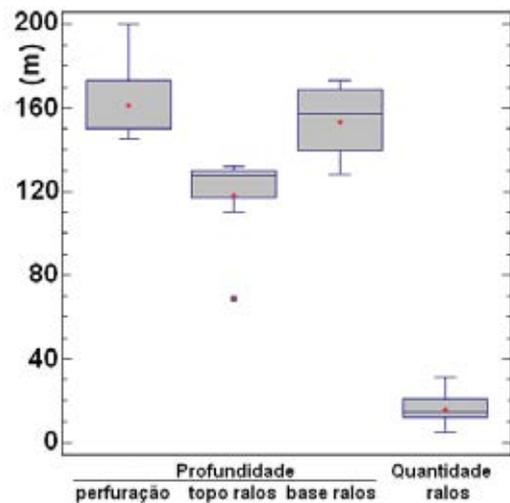


Figura 4.4 Estatísticas das características dimensionais das sondagens e do furo de ensaio de Lezíria I

As profundidades atingidas pelas sondagens foram definidas de acordo com os resultados do estudo geológico que acompanhou a execução da perfuração (Figura 4.4).

Com exceção da sondagem S.3 (transformada em piezómetro de ponta) e da S.4 (entulhada) em todas as outras se instalou revestimento definitivo, com tubo ralo de diâmetros compreendidos entre 4" e 6".

A maioria das sondagens foi realizada pelo sistema de percussão mecânica. Nas sondagens S.9, S.10 e no furo de ensaio C.1, utilizaram-se os métodos *rotary* e percussão mecânica (este para atravessar as zonas de calhaus e/ou perfurar os troços a ensaiar).

O estudo da amostragem das perfurações realizadas permitiu, ao senhor engenheiro Moitinho d'Almeida, separar seis complexos litológicos: os dois primeiros do Quaternário, seguiram-se três do Pliocénico e o mais profundo do Miocénico. A localização dos complexos em cada uma das sondagens é apresentada na Figura 4.5 e a sua descrição é a que se segue.

Complexo C1 – De cor negra ou cinzenta escura, por vezes castanha na parte superior, apresenta lodos carbonosos, mais ou menos arenosos, com intercalações

lenticulares de areias mais ou menos lodosas e raros pequenos burgaus. Apresenta permeabilidade baixa nos lodos e nas areias lodosas, e a água é sempre fortemente cloretada.

Complexo C2 – É caracterizado por areias grosseiras quase sempre com burgaus grados e miúdos, material que se pode apresentar solto ou mais ou menos consolidado por produtos argilosos. Representa a cascalheira de base das aluviões, muito transmissiva e com água de mineralização total muito elevada, relacionada com a do estuário do Tejo.

Complexo C3 – É constituído por uma série lenticular de grés mais ou menos argiloso com intercalações de espessura variável de argilas mais ou menos arenosas. Na parte superior apresenta uma zona com boa permeabilidade, mas a base é francamente impermeável. É de temer que a parte superior deste complexo apresente água com características comparáveis às do complexo C2 com o qual contacta diretamente.

Complexo C4 – De coloração predominantemente esbranquiçada ou acinzentada é constituído por um conjunto de arenitos argilo-cauliníferos mais ou menos consolidados, com estrutura lenticular e algumas inter-

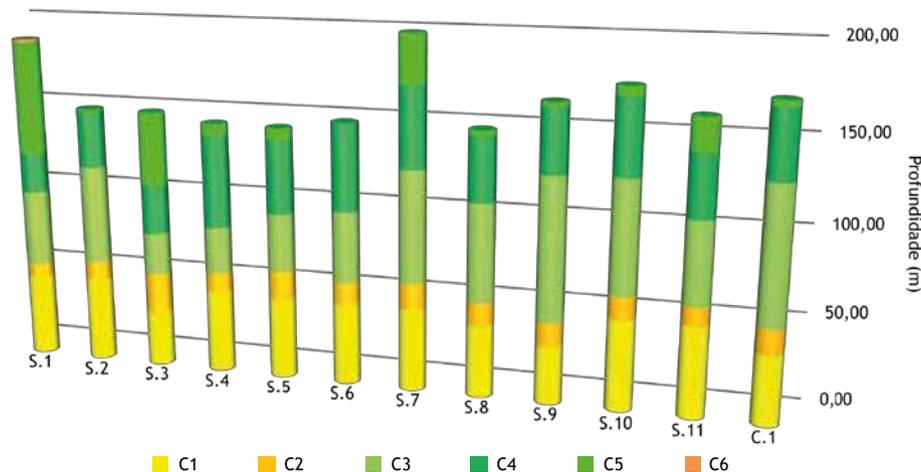


Figura 4.5 Complexos litológicos e hidrogeológicos atravessados pelas sondagens de Lezíria I

calações de argilas arenosas de espessura variável. Era, este, o complexo que mais importava ao estudo. Contudo, as zonas mais permeáveis, isto é, as areias grosseiras ou grés grosseiros pouco consolidados, são bastante irregulares e francamente lenticulares. As zonas impermeáveis com argilas e grés argilosos dominam sobretudo nas orlas da área estudada.

Complexo C5 - Apresenta características muito comparáveis às do complexo C4 mas os arenitos e as areias são predominantemente finos, sendo as lenticulas argilosas mais frequentes, o que dá ao conjunto fracas possibilidades aquíferas.

Complexo C6 - Trata-se de formações miocénicas de origem marinha, com calcários e fósseis, que afloram nas proximidades de Alhandra e que se encontram abaixo das camadas com interesse para o estudo.

Atendendo ao exame macroscópico do material encontrado, fizeram-se algumas análises granulométricas que se julgaram representativas da zona reconhecida. Calcularam-se os coeficientes de permeabilidade extremos e médio: $K_{\text{mínimo}} = 3 \times 10^{-3}$ m/s, $K_{\text{máximo}} = 6,8 \times 10^{-3}$ m/s e $K_{\text{médio}} = 5,3 \times 10^{-3}$ m/s (na documentação consultada não é mencionada a fórmula empírica usada nos cálculos).

Os tubos ralos aplicados nas sondagens e no furo de ensaio foram colocados em frente de camadas aquíferas do complexo C4.

Os ensaios de bombeamento de curta duração (24 h), executados nas várias sondagens de reconhecimento, e o ensaio prolongado do furo de ensaio (total: 1258 h) forneceram os resultados indicados na [Figura 4.6](#). Os valores representados dizem respeito ao maior caudal bombeado em cada uma das sondagens e no furo de ensaio (290 m³/h).

De um modo geral, os níveis de água nos furos apresentavam oscilações relacionadas com as variações do nível da água no rio Tejo.

Os resultados da campanha de sondagens permitiram caracterizar a zona, aparentemente, mais favorável para

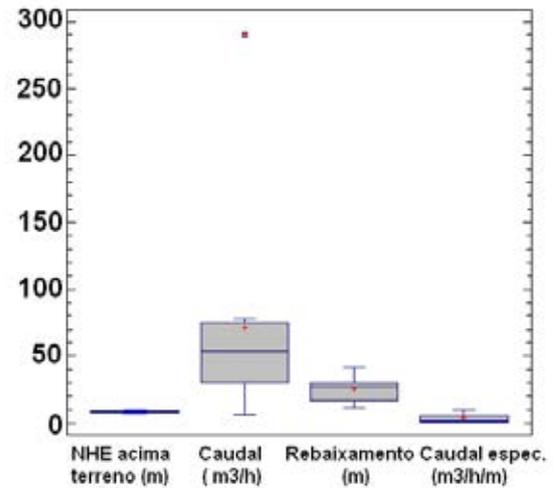


Figura 4.6 Resultados dos ensaios de bombeamento nas sondagens de reconhecimento e no furo de ensaio em Lezíria I

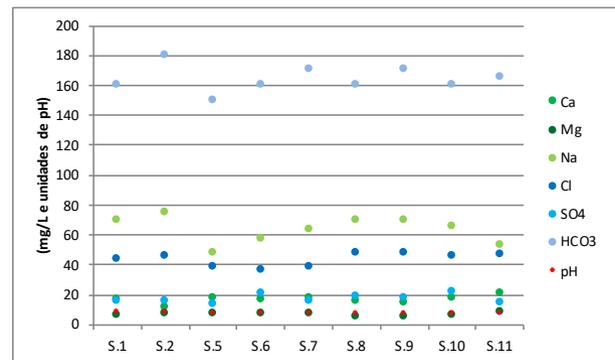


Figura 4.7 Composição química da água amostrada nos ensaios de caudal de curta duração em Lezíria I

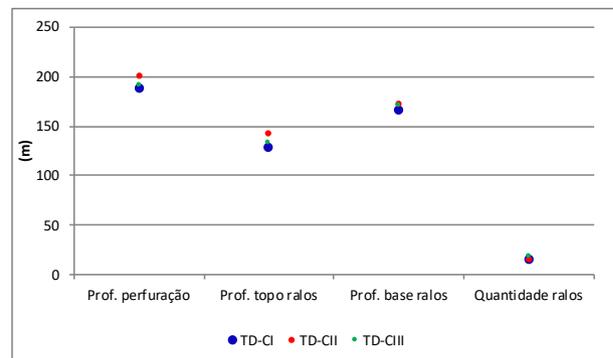


Figura 4.8 Características dimensionais das captações de Lezíria I

a localização das futuras captações, que corresponde à área triangular com o vértice setentrional no local da sondagem S.9 e abrange os locais das sondagens S.10, S.7 e do furo de ensaio C.1 (Figura 4.3).

Comparando as análises das águas dos furos de pesquisa e de ensaio, feitas desde o dia 9-10-1953 até 12-11-1955, concluiu-se que se trata de águas cujas características organoléticas, físicas e químicas estavam dentro dos limites de potabilidade e que, dada a constância dos resultados, seria previsível que a qualidade destas águas se iria manter.

A composição química da água amostrada nos ensaios de caudal de curta duração das sondagens é representada no gráfico da Figura 4.7; os valores foram retirados de representações gráficas em diagramas de Berkloff.

Os trabalhos de pesquisa relatados fundamentaram a construção do campo de captação de Lezíria I no local recomendado no relatório do senhor engenheiro Moitinho d'Almeida, Figura 4.2. O campo compreendia os poços/furos TD-CI, TD-CII e TDC-III.

As três captações de diâmetro 350 mm foram construídas em 1958. A profundidade de perfuração média foi de 190 m, os ralos distribuíram-se entre 127 e 172 m de profundidade e a quantidade aplicada em cada captação variou entre 14 e 17 m (Figura 4.8).

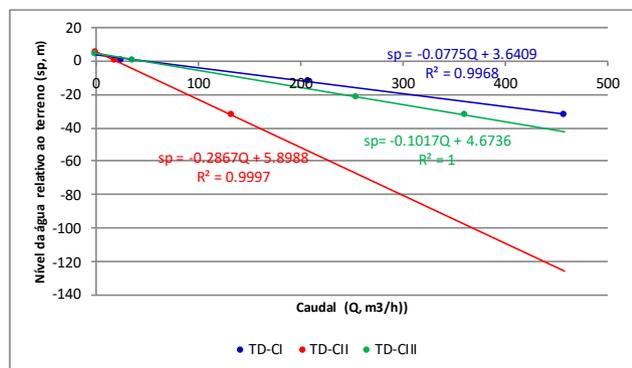


Figura 4.9 Curvas caraterísticas dos furos de captação TD-CI, TD-CII e TD-CIII de Lezíria I

As captações apresentavam artesianismo repuxante até cerca de 6 m acima da superfície do terreno. A captação TD-CII era a menos produtiva. Os caudais para o nível dinâmico de 32 m abaixo da superfície do terreno eram de 458 m³/h para a TD-CI, de 132 m³/h para a TD-CII e de 360 m³/h para a TD-CIII.

Os resultados dos ensaios de produtividade estão sintetizados nas respetivas curvas características cujas representações incluem apenas um troço linear (Figura 4.9), isto é, o escoamento em todos os escalões de ensaio fez-se em regime laminar.

4.2 Pesquisa e captação de água subterrânea na margem direita do Tejo entre Carregado e Santarém

No final do ano de 1965, a Companhia das Águas de Lisboa (CAL) equacionou o estudo da viabilidade de, na

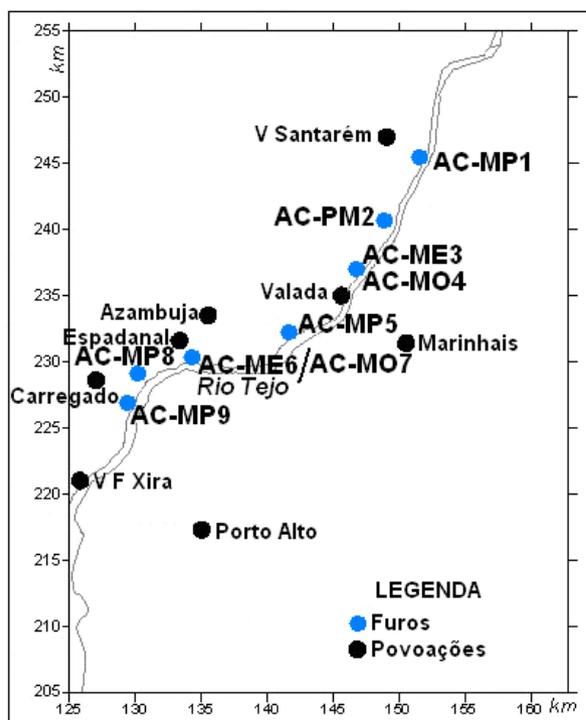


Figura 4.10 Localização dos furos de pesquisa, ensaio e observação na margem direita do Tejo, entre Carregado e Santarém

margem direita do Tejo, recorrer a águas subterrâneas mais profundas do que as que estavam a ser exploradas nas aluviões. A CAL pretendia captar 100.000 m³/d para reforço do abastecimento de água a Lisboa. A hipótese de êxito da tarefa era fundamentada no conhecimento entretanto adquirido através de sondagens realizadas na região de Almeirim-Santarém, onde se reconheceram camadas do Terciário com muito interesse hidrogeológico.

O programa de pesquisa foi executado em 1966/67 pela empresa ACAVACO. Desenvolveu-se numa faixa de terreno com perto de 30 km de comprimento, entre Carregado e Santarém (Figura 4.10) e foi denominado "Prospecção profunda do Miocénico na margem direita do Tejo entre Carregado e Santarém". Consistiu na execução e caracterização hidrogeológica de 9 furos profundos.

Os limites da área pesquisada foram impostos, a sul, por considerações de ordem geológica/estrutural e a norte, por motivos de ordem económica relacionados com a adução a Lisboa.

No total, foram executados nove furos: cinco de pesquisa, dois de ensaio e dois de observação. Localizaram-se em sete sítios diferentes, tanto quanto possível, nas imediações das estações de captação já existentes no aquífero aluvionar, onde havia infraestruturas que poderiam ser aproveitadas para a exploração dos futuros furos de captação mais profundos.

Cada furo foi designado por um conjunto de quatro letras e um número, correspondendo a última letra ao tipo de furo - E (ensaio), P (pesquisa) e O (observação) - e o número à sucessão dos furos, de montante para jusante.

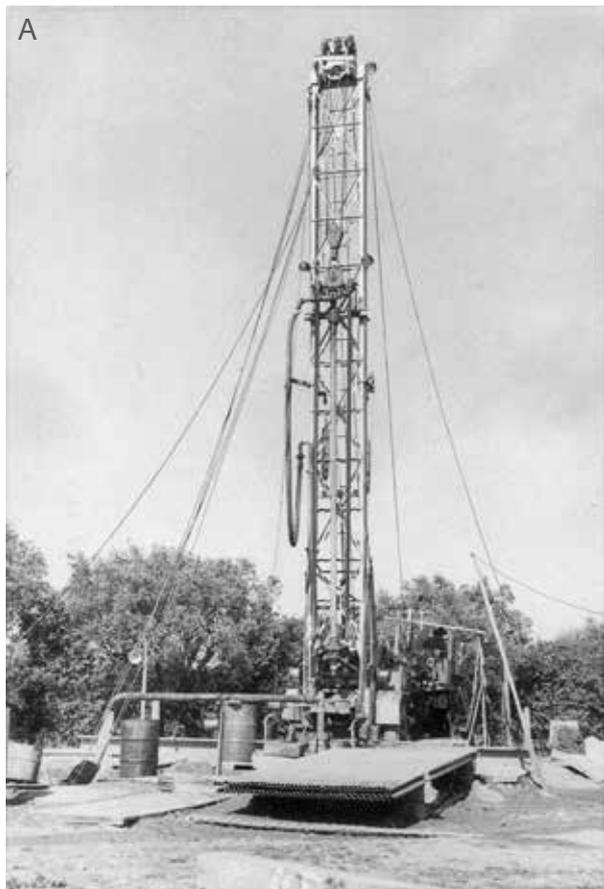


Figura 4.11 Máquinas de perfuração utilizadas na empreitada: Sonda Salzgitter SW 200 (A) e Sonda Star 72 RP (B)
Fotos ACAVACO / Imagens cedidas por EPAL-CDHT

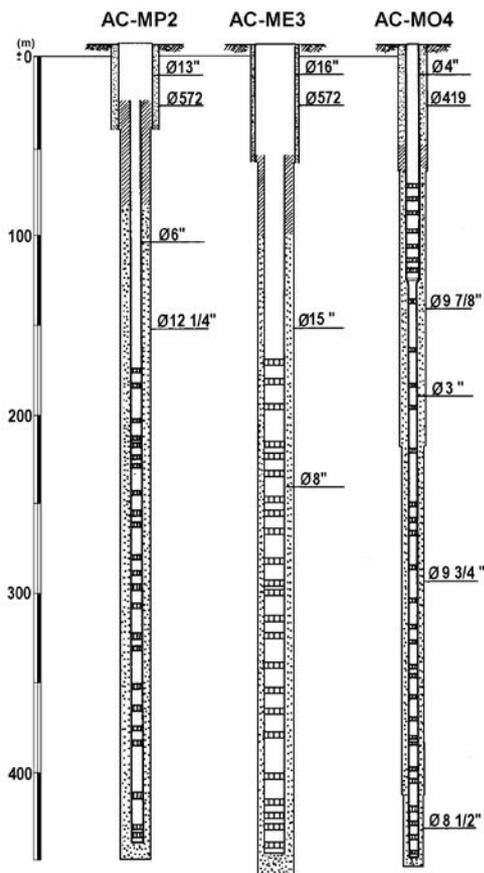


Figura 4.12 Exemplos de furos executados na margem direita do Tejo, entre Carregado e Santarém: AC-MP2, furo de pesquisa; AC-ME3, furo de ensaio; AC-MO4, furo de observação (adaptado de ACAVACO)



Figura 4.13 Aparelho WIDCO para diagrfias elétricas em furos. Foto ACAVACO / Imagens cedidas por EPAL-CDHT

A caracterização hidrogeológica realizada com os trabalhos de pesquisa, ensaio e observação teve como seqüência, em 1970/72, a construção de 4 furos de captação (poços), três em Valada I e um no Espadanal. Os poços de Valada I foram construídos em 1970 e o poço de Espadanal em 1972.

Neste capítulo seguir-se-ão os relatórios produzidos pela empresa ACAVACO e, em particular, pelo seu consultor senhor doutor G. Zbyszewski.

A localização dos furos encontra-se assinalada na Figura 4.10, ordenados de montante para jusante.

Os furos AC-MP1, AC-MP2, AC-ME3, AC-MO4, AC-MP5 localizaram-se a montante da falha da Azambuja que, como se verá, parece ser uma estrutura com relevância hidrogeológica. Pelo contrário, os furos AC-ME6, AC-MO7, AC-MP8 e AC-MP9 ficaram a jusante daquela falha.

Os trabalhos de execução da empreitada tiveram início a 26 de abril de 1966 e foram concluídos em 16 de maio de 1967.

Os furos foram executados à *rotary* com circulação direta após o atravessamento à percussão mecânica das areias e cascalheiras da camada basal das aluviões (Figura 4.11). Atingiram profundidades entre 424 m no AC-MP1 e 514 m no AC-MP5. Na Figura 4.12 apresentam-se os esquemas-tipos dos furos executados: E (ensaio), P (pesquisa) e O (observação).

No decurso da perfuração procedeu-se à recolha de amostras e, em zonas convenientes, à amostragem de testemunhos "intactos". Sobre as amostras da perfuração e os testemunhos, fez-se a observação microscópica para estudo da litofácies e da estratigrafia.

Com exceção do furo AC-ME3, em todos os outros, foram realizadas diagrfias elétricas diferidas e colheita de água para análises químicas (Figura 4.13).

O estudo da amostragem recolhida durante a perfuração, dos testemunhos de amostras intactas e das diagrfias elétricas permitiu definir a coluna de revestimento

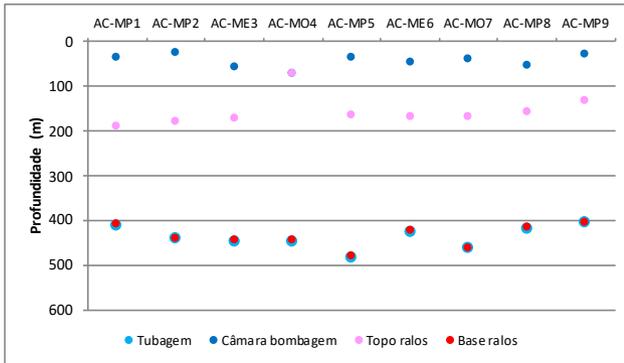


Figura 4.14 Características das colunas de revestimento dos furos de pesquisa, ensaio e observação

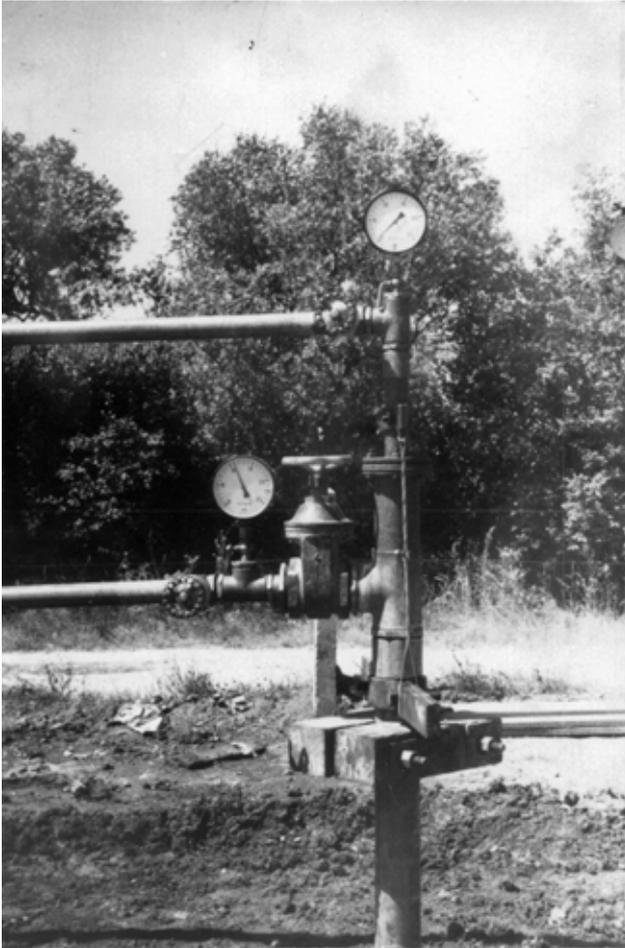


Figura 4.15 Medição do NHE de camadas de profundidade diferente. Foto ACAVACO / Imagens cedidas por EPAL-CDHT

em cada furo, com colocação dos ralos em frente das camadas mais promissoras. As características do revestimento definitivo dos furos são sintetizadas na [Figura 4.14](#).

Foram realizados dois ensaios de caudal nos furos de ensaio e de pesquisa: um com caudal constante e outro escalonado.

Todos os furos apresentaram forte artesianismo repugnante com exceção do furo AC-MP9. Devido a esse facto, a medição dos níveis da água acima do terreno foi efetuada com manómetros ([Figura 4.15](#)).

Na construção e no ensaio de alguns furos, encontraram-se algumas particularidades com interesse para a compreensão da hidrogeologia da região, que se passam a resumir de acordo com a cronologia da execução dos furos.

Em ensaios realizados no furo AC-MO4 (Valada I), que foi o primeiro a ser construído, chegou-se à conclusão que as camadas acima de 130 metros de profundidade apresentavam nível hidrostático (NHE) mais baixo que as mais profundas. Por esta razão, concluiu-se ser inconveniente o aproveitamento simultâneo das duas zonas aquíferas num mesmo furo.

Por via da conclusão anterior, no furo de ensaio AC-ME3 ([Figura 4.16](#)), próximo do local do AC-MO4, só foram colocados ralos e aproveitadas as camada entre 175 m e 448 m de profundidade ([Figura 4.12](#)).

O furo AC-MP1 (Lezíria do Caldas), [Figura 4.17](#), localizado a montante da zona da falha do Vale de Santarém, atingiu 414 m de profundidade e intersectou formações semelhantes às encontradas nos estudos anteriores entre Almeirim-Santarém e em Valada.

O furo AC-MP2 (Mouchão do Esfolo Vacas), [Figura 4.18](#), localiza-se a jusante da zona da falha do Vale de Santarém e atingiu 444,5 m de profundidade. Os tubos ralos foram colocados entre 181,5 m e 442,5 m, isto é, até uma profundidade maior que no AC-MP1. O caudal medido por artesianismo à cota +7 m foi de 46 L/s.



A **Figura 4.16** Furo AC-ME3 (Valada) com artesianismo repuxante de 70 L/s durante o ensaio de caudal. Foto ACAVACO / Imagens cedidas por EPAL-CDHT

B **Figura 4.17** Furo AC-MP1 (Lezíria do Caldas) a artesianar 44 L/s. Foto ACAVACO / Imagens cedidas por EPAL-CDHT

C **Figura 4.18** Cabeça do furo AC-MP2 (Esfola Vacas). Foto ACAVACO / Imagens cedidas por EPAL-CDHT

D **Figura 4.19** Ensaio do furo AC-ME6 (Espadanal) e furo AC-MO7 em último plano sob a cabrilha ou tripé. Foto ACAVACO / Imagens cedidas por EPAL-CDHT

Não pareceu haver diferenças significativas entre os resultados dos furos AC-MP1 e AC-MP2.

O furo AC-MO7 foi executado na área do campo do Espadanal. Atingiu 510,3 m de profundidade e a sua parte inferior atravessou formações com litologia e diagrfias elétricas diferentes das dos furos realizados a montante. Por isso, o furo foi aproveitado entre 171 e 463,5 metros. Numa amostra indeformada recolhida na profundidade máxima do furo, foram reconhecidos fósseis que atribuem os terrenos amostrados ao Jurássico (Caloviano). Os ensaios de bombeamento por zonas, com a utilização de empanques, permitiram concluir que as camadas abaixo de 425 m de profundidade tinham fraca produtividade e que a maior parte da água vinha da zona de ralos entre 170 e 220 m.

No Espadanal também foi executado o furo AC-ME6 (Figura 4.19) que aproveitou da experiência e informação recolhida com a execução do AC-MO7. A zona com ralos estendeu-se de 170,5 a 426 m de profundidade e o caudal de artesianismo repuxante foi de cerca de 37,5 L/s à cota +3,5 m. A água extraída tinha características algo diferentes das encontradas nos furos já realizados. Este facto e o aparecimento a profundidades semelhantes de camadas geológicas de natureza diferente levantaram a hipótese da falha de Azambuja influenciar o andamento das formações já reconhecidas a montante.

Nos terrenos da estação da Quinta do Campo foi executado o furo AC-MP8. Atingiu a profundidade de 505 m, com o objetivo de confirmar ou infirmar a correlação com as camadas profundas encontradas nos furos do Espadanal. O furo foi aproveitado até 419 m de profundidade, tendo o topo do ralo superior ficado a 161 m. Este ralo está colocado um pouco mais acima que nos outros furos. Isto teria sido consequência de as camadas estarem mais levantadas, seja por efeito da falha de Azambuja seja por esta localização estar mais próxima do bordo da bacia. Em ensaios realizados, foi medido o caudal de artesianismo repuxante de cerca de 17 L/s à cota +3,8 m (Figura 4.20). As características da água eram concordantes com as encontradas no Espadanal. Este facto veio fazer crer que as condições hidrogeológicas nas camadas profundas, a montante e a jusante da falha de Azambuja, seriam diferentes.

Simultaneamente com a execução do furo AC-MP8 foi realizado o furo AC-MP5 na Quinta do Lezirão (Figura 4.21) até à profundidade de 514 m. O objetivo era encontrar o substrato terciário e confirmar as condições já reconhecidas nos furos a jusante da falha de Azambuja. De facto, foi recolhida uma amostra intacta no final da perfuração cujos fósseis datam do Cretácico e confirmou-se que as condições hidrogeológicas eram semelhantes às reconhecidas nos furos a montante. Com os ralos colocados entre 170,5 e 426,0 m, o caudal de artesianismo foi de 17 L/s à cota + 5 m. A qualidade físico-química da água deste furo é idêntica à dos furos localizados mais a montante até à falha da Azambuja.

O furo AC-MP9 foi localizado no campo do Carregado. Perfurado até 459,75 m de profundidade, foi aproveitado entre 134,0 m e 407,5 m. O estudo micropaleontológico de um testemunho extraído à profundidade final levou à conclusão de que se teria atingido um complexo datado do Oligocénico. O nível hidrostático cotado era de +4,10 m, portanto mais baixo que o encontrado nos restantes furos.

Os ensaios de produtividade foram escalonados, com caudais de 10, 20 e 30 L/s em todos os furos; nos furos de ensaio acrescentaram-se os escalões de 50 e 70 L/s. Os principais dados relativos aos ensaios com o escalão de 30 L/s encontram-se representados na Figura 4.22.

O estudo geológico das camadas atravessadas pelos furos incluiu o estudo micropaleontológico, realizado pelos senhores dr. J. Nascimento Gomes e dr. J. Martins Ferreira, de seis dos nove furos executados, nomeadamente os AC-MP1, AC-MP2, AC-MO4, AC-MP5, AC-MO7 e AC-MP8.

Os furos interessaram várias unidades geológicas, nomeadamente: aluviões modernas, Miocénico, Paleogénico e substrato mesozoico.

As aluviões desenvolvem-se ao longo do vale do rio Tejo e nos vales dos seus afluentes. A espessura é variável desde 26 m (AC-MP8-Quinta do Campo) a 59,6 m (AC-MO4-Valada). São representadas na sua parte superior por lodos mais ou menos arenosos e na sua base por areias e cascalheiras. Foi constatado que nos furos



Figura 4.20 Furo AC-MP8 (Quinta do Campo): visita da fiscalização durante um ensaio de caudal (senhores engenheiros Ricou, à esquerda na fotografia, e Soares Franco) Foto ACAVACO / Imagens cedidas por EPAL-CDHT



Figura 4.21 Cabeça do furo AC-MP5 (Quinta do Lezirão) Foto ACAVACO / Imagens cedidas por EPAL-CDHT

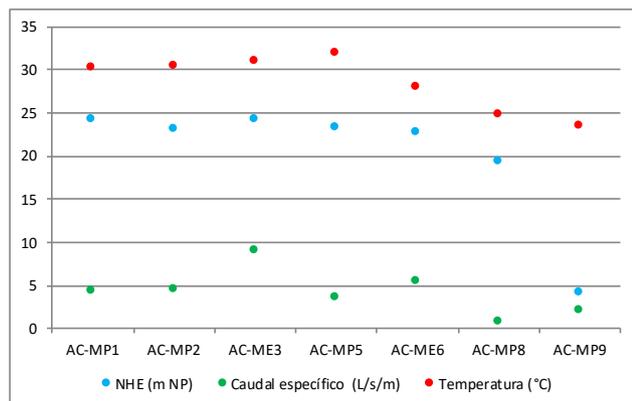


Figura 4.22 Síntese dos resultados dos ensaios de produtividade dos furos de pesquisa e de ensaio com caudal de 30 L/s

localizados no setor norte (AC-MP1 e AC-MP2), ocorre predominância das formações arenosas, já no setor sul, os lodos apresentam-se com maior desenvolvimento.

A série miocénica encontra-se representada por alternância de camadas arenosas, mais ou menos argilosas, argilas, mais ou menos arenosas, e margosas com elementos calcários.

O Paleogénico foi interessado pelos furos AC-MP8, AC-MO7 e AC-MP5. É caracterizado por alternância de areias, grés argilosos e argilas acastanhadas, por vezes, avermelhadas.

O substrato é conhecido em afloramentos na periferia da bacia e nos furos AC-MP8, AC-MO7 e AC-MP5. As formações do Cretácico são litologicamente semelhantes às do Paleogénico, pelo que o seu limite superior é de difícil separação. Pelo contrário, o Jurássico é de fácil distinção dado haver uma mudança nítida de litologia – ocorrência de calcários ou calcários margosos. No furo AC-MP5, foi identificado o Cretácico a cerca de 510 m de profundidade e, no furo AC-MO7, intersetou-se o Jurássico a 510 m.

Na intenção de facilitar a descrição geral da bacia terciária do Baixo Tejo, o estudo incluiu um esboço geológico (Figura 4.23) e três perfis transversais ao eixo da bacia (Figura 4.24).

A fácies geológica das camadas identificadas nos furos de pesquisa e observação encontram-se representadas na Figura 4.25

Ao longo do perfil longitudinal entre Alpiarça e Carregado notou-se a existência de algumas anomalias tectónicas as quais foram atribuídas à presença de falhas (Figura 4.26). Assim, concluiu-se que a falha da Azambuja, que se observa no terreno entre Azambuja, Pontével e Vale da Pinta, passaria entre os furos AC-MO7 e AC-MP5. Pareceu difícil avaliar com rigor a sua rejeição, que se supôs ser maior nas camadas superiores (cerca de 50 m). Trata-se de acidente de orientação NNE-SSW que, de acordo com os dados recolhidos e antes descritos, demonstrou uma certa influência sobre o comportamen-

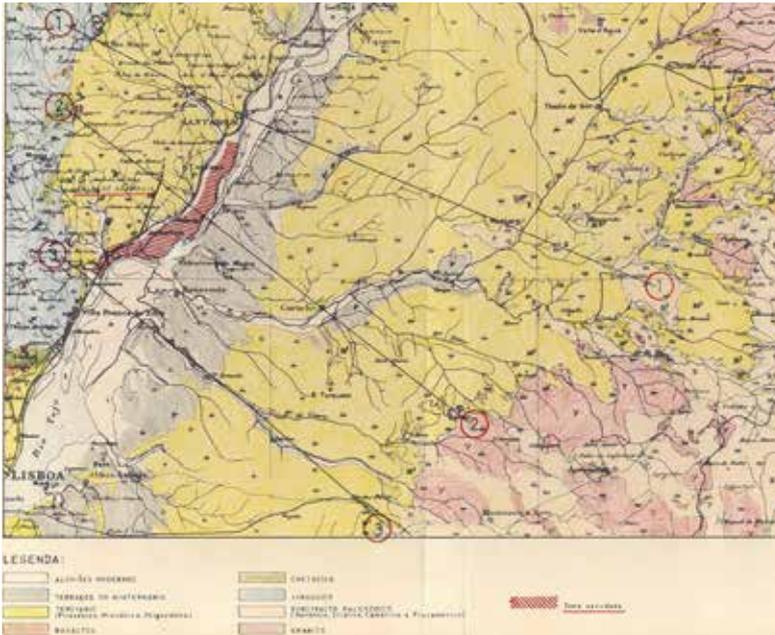


Figura 4.23 Esboço geológico parcial da bacia do Tejo com localização dos perfis geológicos representados na Figura 4.24 (documento ACAVACO) / Imagens cedidas por EPAL-CDHT

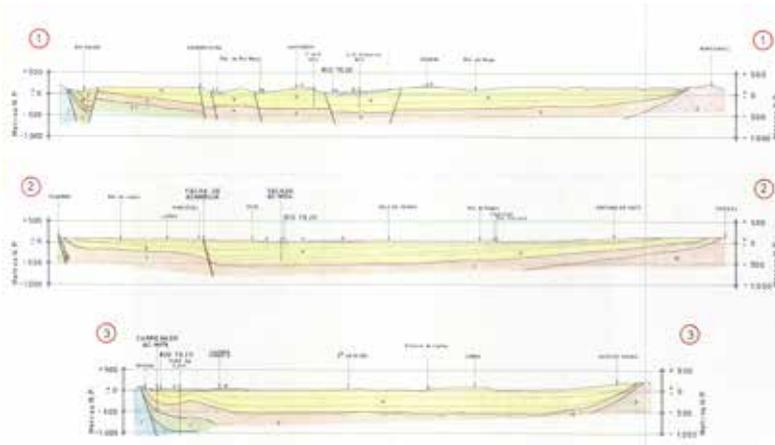


Figura 4.24 Perfis geológicos esquemáticos transversais ao eixo da bacia terciária localizados na Figura 4.23 (documento ACAVACO / Imagens cedidas por EPAL-CDHT)

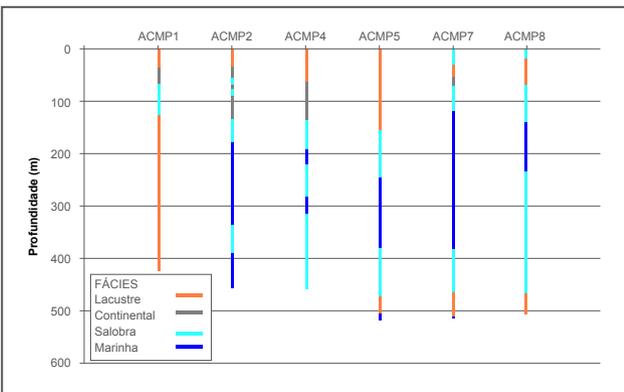


Figura 4.25 Fácies geológica das camadas identificadas em cada um dos furos de pesquisa e de observação

to das camadas aquíferas profundas. A falha levantou o compartimento situado a W e rebaixou o compartimento E.

O efeito das falhas de orientação NW-SE fez-se sentir nas formações terciárias situadas de um e outro lado do furo AC-MP1, embora com importância nitidamente menor que a da falha de Azambuja, mais a jusante no vale do Tejo.

O estudo conclui que na área onde foram executados os furos profundos do Miocénico, existem duas unidades de grande interesse do ponto de vista hidrogeológico:

- Sistema Aquífero aluvionar – trata-se de um aquífero livre e semiconfinado, com permeabilidade por poros e que pela sua posição e características apresenta elevada vulnerabilidade e risco à poluição no setor de montante (Capítulo 3);
- Sistema Aquífero Miocénico – corresponde a um aquífero multicamada, confinado e com permeabilidade intersticial. Em condições naturais apresentava forte artesianismo repuxante.

No dimensionamento final dos furos, apesar de existirem no Miocénico superior camadas aquíferas com possibilidades de serem aproveitadas, optou-se pelo seu não aproveitamento por terem artesianismo muito inferior ao das camadas existentes no Miocénico médio e inferior. No furo AC-MO4, foram colocados ralos nas camadas aquíferas do Miocénico superior, tendo-se verificado que não existia artesianismo repuxante.

Nas camadas aquíferas do Miocénico médio e inferior, com exceção no furo AC-MP9, observou-se forte artesianismo repuxante, elevando o nível hidrostático para a cota aproximada de +20 m. A diferença na cota piezométrica relativa ao AC-MP9 é atribuída à sua localização num bloco mais a SE, parcialmente isolado por um acidente tectónico difícil de identificar localmente devido à cobertura aluvionar.

Os valores obtidos para os níveis hidrostáticos, nas camadas do Miocénico médio e inferior, dos furos executados neste estudo e os valores observados em outros furos da bacia terciária, captando nas mesmas formações, levam a concluir pela existência de um gradiente piezométrico entre os bordos da bacia terciária e o centro da mesma bacia.

A caracterização hidrodinâmica baseou-se nos dados dos ensaios de caudal efetuados nos furos de pesquisa e de ensaio.

Começou por fazer-se um ensaio com três escalões de caudal seguido de outro a caudal constante, quer o último quer cada um dos escalões tiveram a duração de 24 horas. A medição dos níveis da água foi efetuada no próprio furo em bombeamento e nos furos de observação.

Calcularam-se catorze valores da transmissividade e dois do coeficiente de armazenamento. Dos dados de cada furo, fez-se a interpretação pelo método de Cooper e Jacob (1946) e de recuperação de Theis (1935).

As médias e as medianas das amostras dos resultados da transmissividade a jusante da falha da Azambuja (AC-ME6, AC-MP8 e AC-MP9) e a montante daquela falha

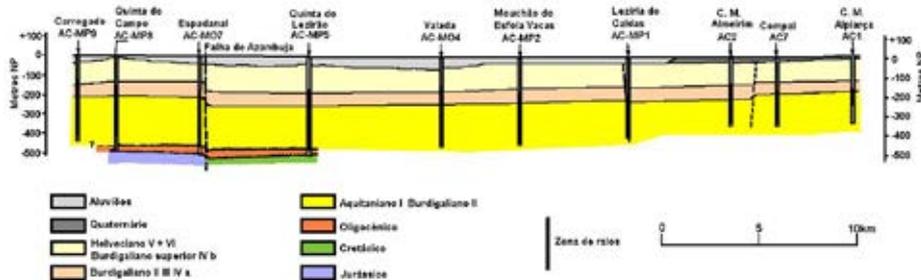


Figura 4.26 Perfil geológico longitudinal e interpretativo entre Alpiarça e Carregado (adaptado de documento ACAVACO Baseado em imagem cedida por EPAL-CDHT)

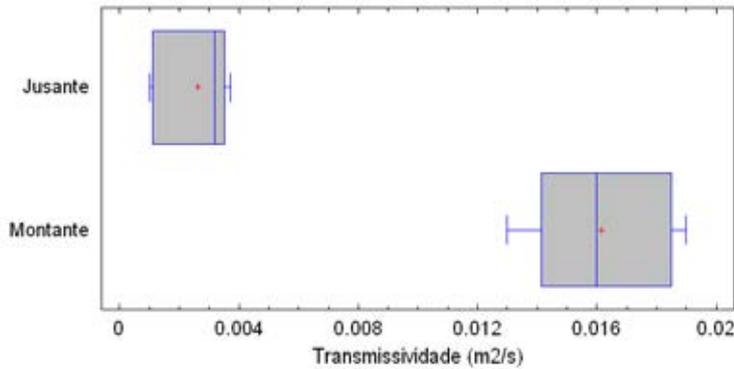


Figura 4.27 Comparação das amostras dos valores da transmissividade a jusante (seis valores) e a montante (oito valores) da falha da Azambuja

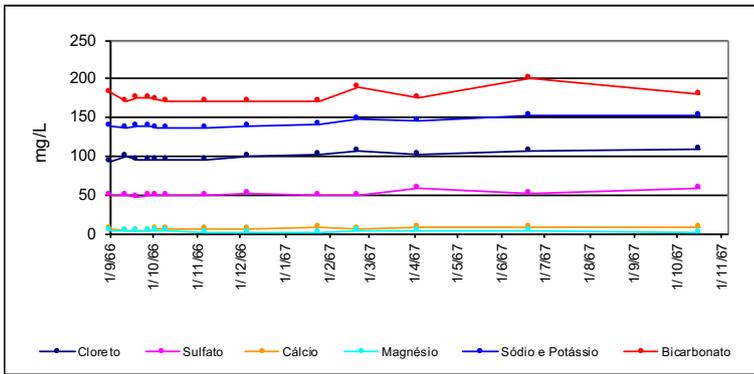


Figura 4.28 Evolução da concentração dos elementos maiores da água das amostras colhidas nos vários ensaios de bombeamento executados no furo AC-ME3 (localizado em Valada, Figura 4.31)

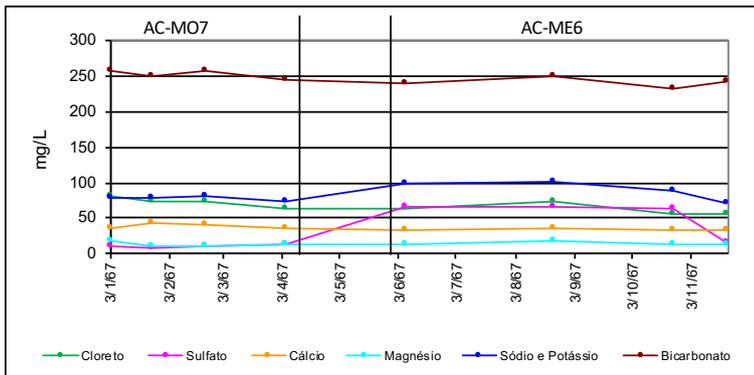


Figura 4.29 Evolução da concentração dos elementos maiores da água das amostras colhidas nos vários ensaios de bombeamento executados nos furos AC-ME6 e AC-MO7 em Espadanal (localização na Figura 4.32)

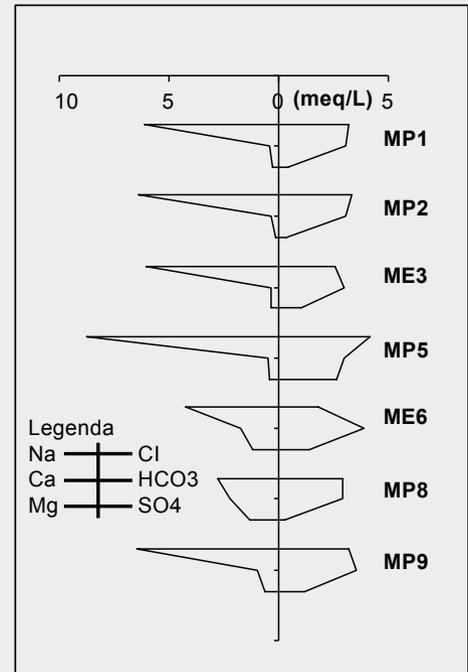


Figura 4.30 Facies e mineralização da água dos furos de pesquisa e ensaio

(AC-MP1, AC-MP2, AC-ME3 e AC-MP5) são estatisticamente diferentes para o nível de confiança de 95%; a jusante os valores são inferiores aos calculados a montante (Figura 4.27).

No que respeita ao coeficiente de armazenamento, calcularam-se: 1×10^{-3} em Valada (AC-ME3/AC-MO4) e 8×10^{-5} em Espadanal (AC-ME6/AC-MO7) – o primeiro valor a montante da falha da Azambuja e o segundo a jusante.

A jusante de Valada, de acordo as representações gráficas, a evolução dos níveis da água aparentam alguma influência das marés no estuário do rio Tejo.

Com exceção dos furos AC-MP8 e AC-MP9, fizeram-se vários ensaios de bombeamento de que se recolheram amostras de água para análise laboratorial. As amostras de água dizem respeito à espessura total captada por cada um dos furos.

A composição físico-química da água de cada furo manteve-se estável, sendo as pequenas variações de composição interpretadas como naturais e também re-

lacionadas com a precisão dos métodos analíticos (Figura 4.28). É exceção a concentração em sulfato na água dos furos AC-ME6 e AC-MO7, localizados muito próximos um do outro no campo de Espadanal. No que se refere à água do primeiro furo há três valores superiores a 60 mg/L e um de 16,9 mg/L, no AC-MO7 os valores variam entre 9,6 e 13,9 mg/L (Figura 4.29).

Relativamente aos parâmetros químicos e indicadores do Decreto-Lei n.º 306/2007 que regulamenta atualmente a qualidade da água para consumo humano, os valores determinados são regra geral conformes com os valores paramétricos.

No que respeita aos aniões as águas são mistas (Figura 4.30): bicarbonatadas-cloretadas (AC-ME3, AC-ME6 e AC-MP9), cloretadas-bicarbonatadas (AC-MP1, AC-MP2 e AC-MP8) e cloretada-bicarbonatada-sulfatada (AC-MP5). Quanto aos catiões, a água do AC-ME6 é sódica-cálcica, do AC-MP8 é sódica-cálcica-magnésiana e as restantes são sódicas.

Com exceção da área do Espadanal, verifica-se a subsaturação relativamente aos carbonatos e a saturação para

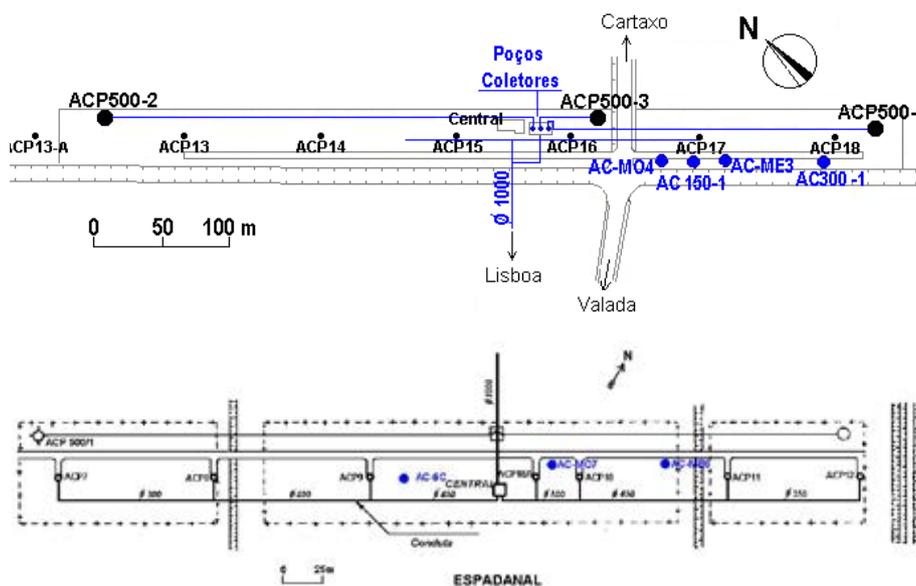


Figura 4.31 Planta de localização de furos em Valada I (adaptado de folheto de divulgação de ACAVACO)

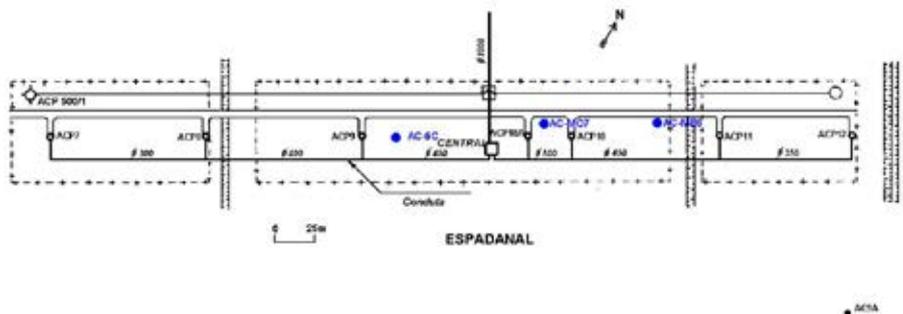


Figura 4.32 Planta de localização de furos em Espadanal (adaptado de folheto de divulgação de ACAVACO)

o quartzo. As amostras mostram uma notável constância do total de carbono inorgânico dissolvido (valores de TCID entre 3 mmol/L e 3,2 mmol/L), com exceção da área do Espadanal onde atinge o valor de 5,4 mmol/L e da área do Carregado onde toma o valor de 3,7 mmol/L.

As variações da mineralização total da água reportadas podem ser associadas aos mecanismos hidrogequímicos seguintes: aumento do TCID, dissolução de calcite, halite e gesso e trocas iónicas que controlam e mantêm a concentração do Ca^{2+} e do Mg^{2+} relativamente baixa e aumentam a concentração do Na^+ .

A halite e o gesso, segundo a interpretação que se faz, estão disseminados no enchimento sedimentar, com predomínio nas rochas carbonatadas. O acréscimo de TCID na área do Espadanal poderá associar-se com a proximidade da falha de Azambuja (ver perfil geológico longitudinal da [Figura 4.26](#)).

Com base nos trabalhos de pesquisa relatados e atendendo a que, em Valada I e Espadanal, existiam infraestruturas que permitiam minimizar os investimentos, procedeu-se, entre 1970 e 1972, à execução de três furos de captação em Valada e um em Espadanal.

Pela mesma altura foram executados furos de pesquisa na parte superior da série miocénica, que não foi avaliada em pormenor quando da campanha de prospeção entre Carregado e Santarém acabada de descrever. Executaram-se os furos AC-300/1 e AC-150/1 em Valada I e AC-9C em Espadanal.

A localização dos furos de captação em Valada I encontra-se assinalada na [Figura 4.31](#) e na [Figura 4.32](#) localizam-se os furos de Espadanal

Os furos da captação foram executados à circulação inversa com o diâmetro inicial de 1.100 mm e o final de 610 mm e atingiram profundidades entre 455 e 520 m ([Figura 4.33](#)). No decurso da perfuração, procedeu-se à recolha de amostras e em todos os furos executados foram realizadas diagragias eléctricas diferidas e colheitas de água para análise físico-química.

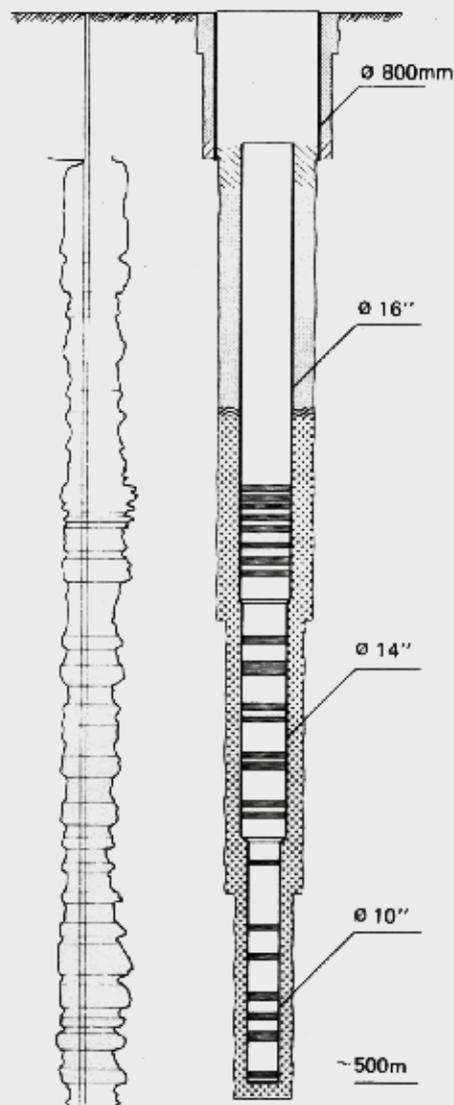


Figura 4.33 Furo de captação-tipo com a diagragia elétrica (adaptado de folheto de divulgação de ACAVACO)

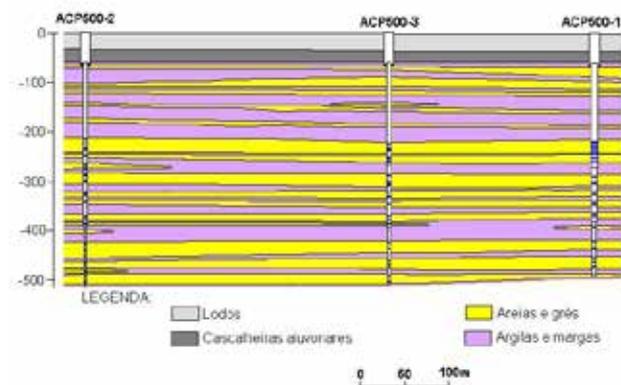


Figura 4.34 Estrutura da sequência geológica em Valada I (adaptado de folheto de divulgação de ACAVACO)

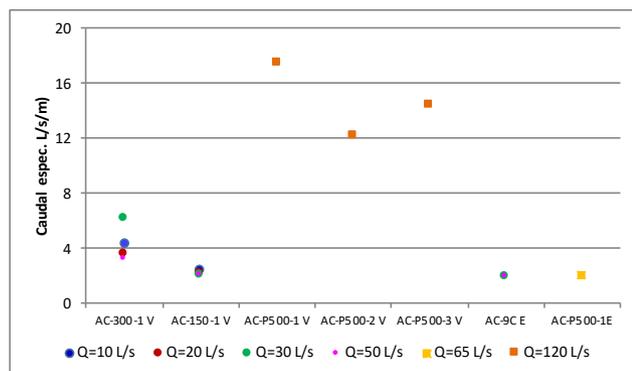


Figura 4.35 Síntese dos resultados dos ensaios de bombeamento dos furos de captação e dos furos de pesquisa na parte superior da série miocénica. As letras terminais E e V na designação dos furos referem-se aos campos de Espadanal e Valada, respetivamente

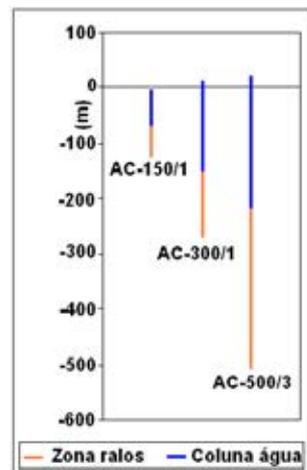


Figura 4.36 Variação do nível da água com a profundidade da zona de captação (Campo de Valada I)

As captações foram entubadas a aço com revestimento de poliéster na zona aluvionar e o tubo ralo em aço inoxidável, marca Jonhson, envolvido por dreno de seixo calibrado.

A interpretação da estrutura geológica em Valada está representada na [Figura 4.34](#). Na série miocénica, é constatado o caráter alternante de camadas mais permeáveis (areias e grés) com outros pouco permeáveis (argilas e margas) e a estrutura lenticular.

Nos furos de pesquisa foram realizados ensaios com caudal escalonado e em cada poço de captação de Valada I foi efetuado um ensaio de caudal de longa duração (6 dias). Os resultados dos ensaios de caudal são sintetizados e representados na [Figura 4.35](#).

Na [Figura 4.36](#), representam-se a profundidade da zona com tubo ralo e o nível da água, tendo como referência a superfície do terreno: a cota piezométrica aumenta claramente com a profundidade da zona de captação (os furos AC-300/1 e ACP-500/3 são repuxantes).

A composição físico-química da água de cada furo manteve-se estável durante os ensaios, sendo as pequenas variações de composição interpretadas como naturais e também relacionadas com a precisão dos métodos analíticos, como se exemplifica nas [Figura 4.37](#) e [Figura 4.38](#).

Relativamente aos parâmetros químicos e indicadores das Partes II) e III) do Anexo I do Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de agosto que regulamenta atualmente a qualidade da água para consumo humano, os resultados obtidos são regra geral conformes com os valores paramétricos.

Em Valada, a água do furo AC-150/1, a mais superficial, é a mais mineralizada, de fácies cloretada-bicarbonatada sódica. A água do furo AC-300/1 é a menos mineralizada, bicarbonatada-cloretada sódica. Segue-se o aumento mineralização da água com a profundidade à custa do aumento do cloreto e do sódio e passagem à fácies cloretada-bicarbonatada sódica ([Figura 4.39](#)).

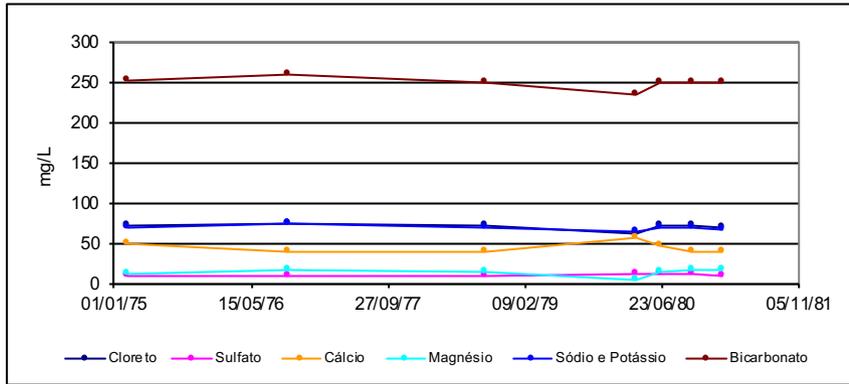


Figura 4.37 Evolução da concentração dos elementos maiores da água das amostras colhidas no furo de captação AC-P500/1 em Espadanal

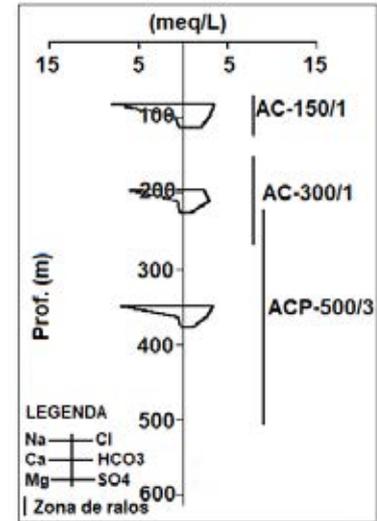


Figura 4.39 Variação da mineralização e da fácies da água com a profundidade em Valada I

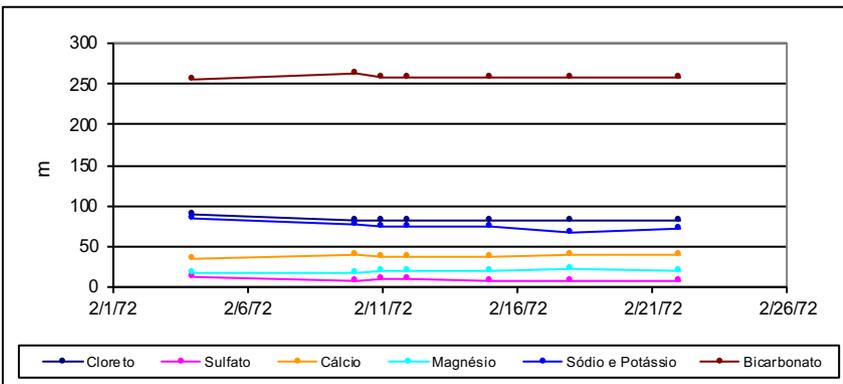


Figura 4.38 Evolução da concentração dos elementos maiores da água das amostras colhidas no furo de pesquisa AC-9C em Espadanal

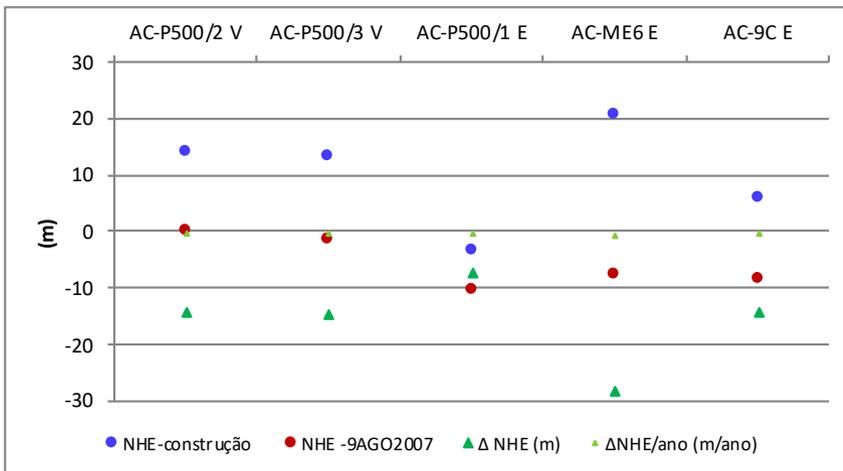


Figura 4.40 Evolução do nível hidrostático (ao terreno) dos furos entre a data da sua construção e 9 de agosto de 2007 em Valada (V) e Espadanal (E)

De acordo com medições de níveis de água realizadas em 9 de agosto de 2007, concluiu-se que os níveis da água dos furos em Valada e Espadanal estavam substancialmente mais baixos que os observados quando da sua construção, valores da ordem de 15 m. A descida de níveis fez-se a uma taxa média anual de cerca de 0,40 m/ano em Valada e de 0,70 m/ano no AC-ME6 do Espadanal (Figura 4.40). Estas descidas deveram-se ao acréscimo de exploração do sistema aquífero quer nas camadas do Miocénico médio e inferior quer nas camadas do Miocénico superior.

4.3 Campos de captações de Lezíria II e Lezíria III

Após os trabalhos de pesquisa profunda do Miocénico na margem direita do Tejo e perante a necessidade de novo reforço do abastecimento de água a Lisboa, procedeu-se à execução de um plano de pesquisa na Lezíria de Vila Franca de Xira que decorreu entre 1971 e 1973.

Como já haviam sido executados os trabalhos de pesquisa e captação em Lezíria I, naturalmente, a campanha de trabalhos iniciou-se com a reinterpretação dos dados geológicos e de elementos de natureza geofísica disponíveis, às escalas local e regional.

A localização dos trabalhos realizados está representada na Figura 4.41, enquadrada pelo perímetro do concelho de Vila Franca de Xira.

Os primeiros trabalhos de pesquisa envolveram a execução de um furo de ensaio (AC-ME11), com 615 m de profundidade, e a execução de uma estação de bombeamento constituída por um furo de ensaio e dois furos de observação: AC-ME13 com 466 m, AC-MO14 com 410 m e AC-MO15 com 274,5 m.

Após os trabalhos de pesquisa supra mencionados, construíram-se, até 1980, cinco grupos de captações (GI a GV) com dois tipos de furos:

- Captações intermédias, até profundidade da ordem de 250 m (ACP-250-1 a ACP-250-5), cujo conjunto foi denominado por série 250;
- Captações profundas, nas camadas até cerca de 450/500 m (ACP-500-1 a ACP-500-5), cujo conjunto foi denominado por série 500.

120

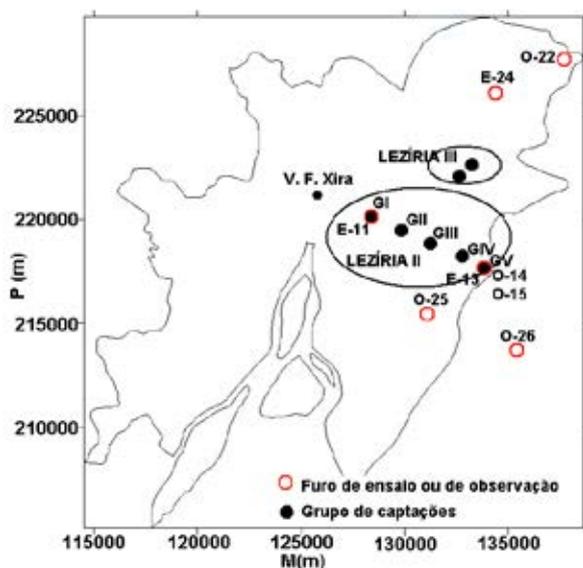


Figura 4.41 Localização dos grupos de captação (G) e dos furos de ensaio (E) e de observação (O) em Lezíria II e III

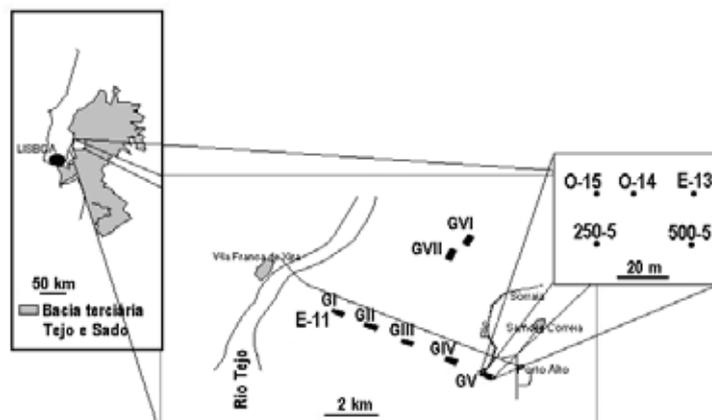


Figura 4.42 O sistema aquífero Terciário do Tejo e a localização dos campos de captações de Lezíria II e III, com destaque para a localização da estação de bombeamento centrada no AC-ME13 no GV e do furo AC-ME11 no GI

Segundo Mendonça *et al.* (1982), o interesse da solução de captação adotada consiste em primeiro lugar na possibilidade de coexistirem, numa mesma estação, captações independentes com características de exploração diferentes mas suscetíveis de se complementarem mutuamente, quer na perspetiva das características da água, quer no da programação da exploração ao longo do ano, de acordo com as necessidades de consumo. A economia de instalação pelo aproveitamento do mesmo terreno, das mesmas linhas de alimentação de energia e condutas de saída da água é por demais óbvio para necessitar de ser realçado.

Com o conjunto dos 5 grupos de captação foi possível captar o caudal total de 65.000 m³/d.

Em 1980, construíram-se as duas captações do grupo VI (GVI) e, em 1984, as do grupo VII (GVII) de Lezíria III. As captações destes grupos são mais profundas que as de Lezíria II (profundidade máxima de captação de 339 metros na série 250 e de 632 metros na série 500). Foram antecedidas da construção do furo de ensaio AC-ME24 na zona do Mouchão de Eça e dos furos de observação AC-MO25, AC-MO26 e AC-MO27 (Figura 4.41).

Em 1997 e em 1999/2000, foram concretizados trabalhos de inspeção das captações da Lezíria II que detetaram algumas ocorrências (assoreamentos e concentrações anormalmente elevadas de cloretos) atribuídas a roturas no revestimento, provocadas pela agressividade da água das camadas aluvionares.

Na primeira metade dos anos 2000, realizaram-se trabalhos de reposição da capacidade de produção das captações da Lezíria II (GI a GV). Eliminaram-se, através de cimentações, todos os furos construídos na década de 1970 e substituíram-se por novas captações com características geométricas e hidráulicas idênticas às anteriores. Também os furos de observação e ensaio foram eliminados por cimentação.

A localização dos campos de captações de Lezíria II e de Lezíria III está representada na Figura 4.42, enquadrada no âmbito do sistema aquífero Terciário do Tejo e Sado. Esta figura inclui o pormenor da organização da estação de ensaio do furo AC-ME13 com os furos de observação

AC-MO14 e AC-MO15 na área que seria do GV e a localização do furo AC-ME11 na área do futuro GI.

4.3.1 Trabalhos de pesquisa

A perfuração dos furos de pesquisa e observação foi executada pelos métodos de *rotary* com circulação inversa no atravessamento das aluviões quaternárias e *rotary* com circulação direta na perfuração dos terrenos terciários. As características gerais da perfuração são representadas no gráfico da Figura 4.43.

A coluna de revestimento definitivo dos furos de ensaio incluiu uma câmara de bombeamento com grande diâmetro (16") para instalação da bomba elétrica submersível (Figura 4.44). Na Figura 4.45, representa-se a profundidade total da tubagem e a localização da zona de captação. As reduções de diâmetro permitiram aplicar obturadores (empanques) que isolaram troços dos furos, possibilitando o bombeamento de zonas isoladas.

Os furos de observação AC-MO25, AC-MO26 e AC-MO27 foram equipados com dois piezómetros, um com ralos na zona dos terrenos captados pelos furos da série 500 e o outro, mais superficial, com ralos na zona dos terrenos captados pelos furos da série 250. Não havia isolamento entre os dois piezómetros.

Através de resultados dos furos de pesquisa de petróleo de Samora Correia, estima-se que, na região da Lezíria de Vila Franca de Xira, a profundidade do substrato dos terrenos terciários ultrapasse 1.000 m. No entanto, os trabalhos de pesquisa e captação de água não foram além de 660 metros de profundidade.

O enchimento compõe-se principalmente de séries detríticas continentais, de idade paleogénica-neogénica e neogénica, com intercalações de formações marinhas e salobras contemporâneas dos máximos das transgressões miocénicas (Ribeiro *et al.*, 1979).

Os trabalhos de pesquisa iniciaram-se com a execução do furo AC-ME11 que encontrou condições geológicas e hidrogeológicas que se poderão considerar paradigmáticas da área de Lezíria II.

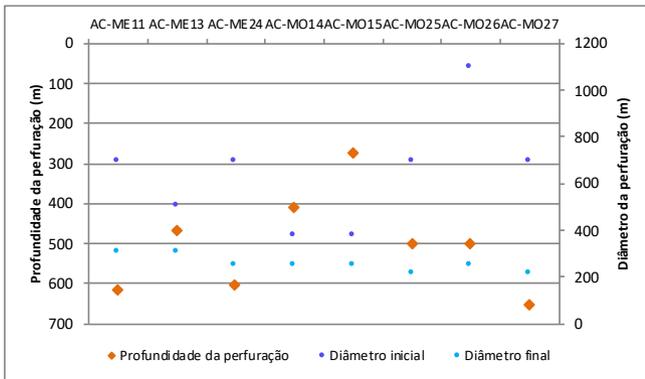


Figura 4.43 Características gerais da perfuração dos furos de ensaio e de observação (Lezíria II e Lezíria III)

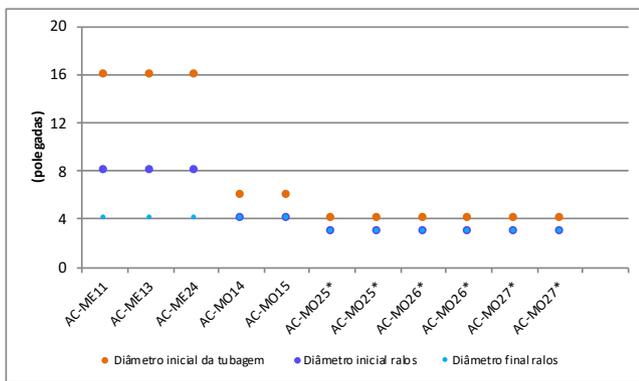


Figura 4.44 Diâmetro das colunas de revestimento dos furos de ensaio e observação (o asterisco significa que o furo de observação tem dois piezómetros instalados)

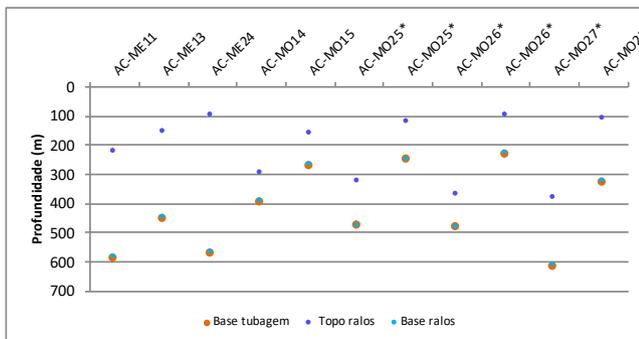


Figura 4.45 Síntese da profundidade das colunas de revestimento dos furos de ensaio e observação (o asterisco significa que o furo de observação tem dois piezómetros instalados)

Foram intersetadas várias zonas aquíferas distintas, que após os ensaios realizados, puderam ser agrupadas:

- Aluviões, até profundidades da ordem de 70 m, com água salobra;
- Unidade intermédia arenítica-argilosa, até cerca de 220 m de profundidade; não foi ensaiada no furo AC-ME11, mas a litologia e a correlação com os trabalhos de Lezíria I indicavam condições altamente favoráveis, que trabalhos posteriores vieram confirmar;
- Unidade profunda, calco-margosa e arenítica, até cerca dos 450 m de profundidade, com água de tipo idêntico às do sistema aquífero da margem direita do Tejo a montante da falha de Azambuja, e com níveis hidrostáticos acima do terreno;
- Unidade de base, representada por um complexo greso-margoso e calcário, com águas de pior qualidade, relativamente à das unidades superiores, em especial no que diz respeito às concentrações em cloretos e sulfatos; possuindo forte artesianismo repuxante, com o nível hidrostático a cerca de dezena e meia de metros acima da superfície do terreno e produtividade menor que a das unidades intermédia e profunda.

Com os trabalhos de pesquisa definiram-se duas unidades para serem exploradas pelas futuras captações (Figura 4.46): a unidade arenítico-argilosa, atribuída ao Pliocénico, que iria ser explorada pelas captações da série 250; a unidade calco-margosa, atribuída ao Miocénico, que seria explorada pelas captações da série 500.

A unidade arenítica-argilosa é constituída por arenitos finos a grosseiros, por vezes com seixos, de tons amarelados, acastanhados e acinzentados em alternância com argilas (de cores acinzentada, amarelada, esverdeada e avermelhada) e argilas com areia fina.

Na unidade calco-margosa, predomina claramente a fração carbonatada, com alternâncias de arenitos calcá-

rios e calcários (acinzentados e acastanhados) e de margas (cinzentas, esverdeadas e acastanhadas). Nalguns locais, na parte superior desta unidade aparecem intercalações de arenitos.

No decurso da pesquisa, realizaram-se ensaios de bombeamento de toda a espessura dos terrenos captados (ensaios do furo total) e ensaios por zonas do furo. Os ensaios parciais foram realizados com o auxílio de empanques (obturadores), instalados nas reduções de diâmetro do revestimento, que permitiram isolar a zona ensaiada das restantes zonas do furo em ensaio.

Os ensaios nos furos AC-ME11 e AC-ME13 (Figura 4.47), realizados na década de 1970, quando a exploração do sistema aquífero era reduzida, evidenciaram artesianismo re- puxante, com o NHE na zona do AC-ME13 acima da superfície do terreno cerca de uma dezena de metros. Na zona do AC-ME11, o artesianismo era menor, provavelmente pela influência da exploração nas captações de Lezíria I.

Nos ensaios do furo AC-ME24, realizado uma década depois, já não se encontraram evidências de artesianismo, devido à influência do bombeamento entretanto realizado das captações de Lezíria II.

Dos trabalhos de pesquisa, concluiu-se que o sistema aquífero terciário é multicamada, com alternâncias de camadas aquíferas lenticulares (fundamentalmente arenitos e calcários) com outras de permeabilidade baixa (aquicludos e aquitardos) como as argilas e as margas. Em regime natural, o potencial hidráulico no sistema aquífero terciário era superior ao do aquífero aluvionar sobrejacente e aumentava com a profundidade em demonstração de que se tratava de zona de descarga do sistema aquífero. Em regime natural, o nível piezométrico estava acima da superfície do terreno (Figura 4.47 e Figura 4.48).

Às duas unidades geológicas do terciário atrás definidas e captadas correspondem características hidrogeológicas distintas nomeadamente no capítulo da qualidade da água. Em regra, a água é adequada ao consumo humano, no entanto, na unidade calco-margosa, ocorrem fácies cloretadas e sulfatadas com mineralização mais elevada que na unidade arenítica-argilosa.

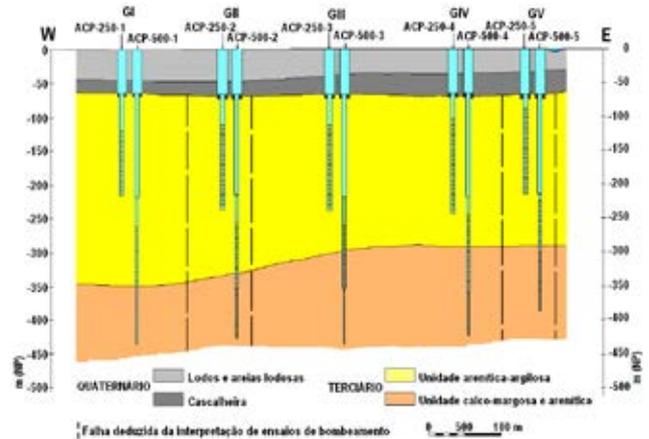


Figura 4.46 Perfil geológico interpretativo da área de Lezíria II com representação das captações construídas após os trabalhos de pesquisa (adaptado de folheto de divulgação de ACAVACO)

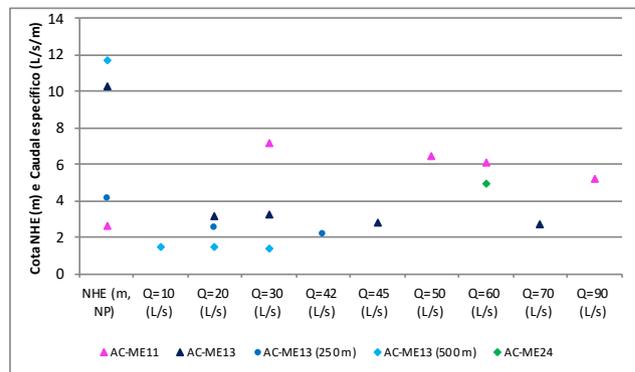


Figura 4.47 Síntese dos resultados dos ensaios de bombeamento nos furos de ensaio AC-M11, AC-M13 e AC-ME24

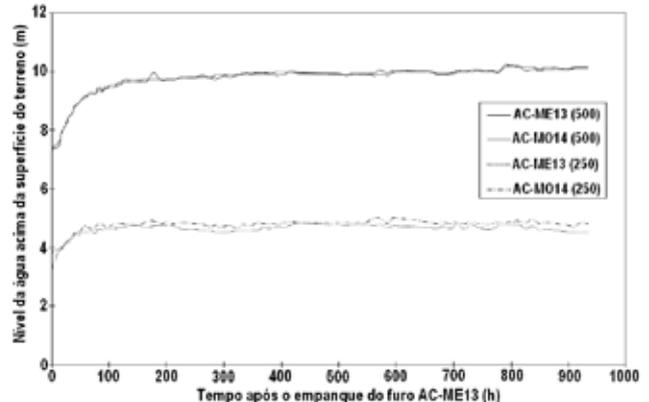


Figura 4.48 Níveis piezométricos em furos de ensaio e de observação respeitantes às formações hidrogeológicas interessadas pelas captações das séries 250 e 500

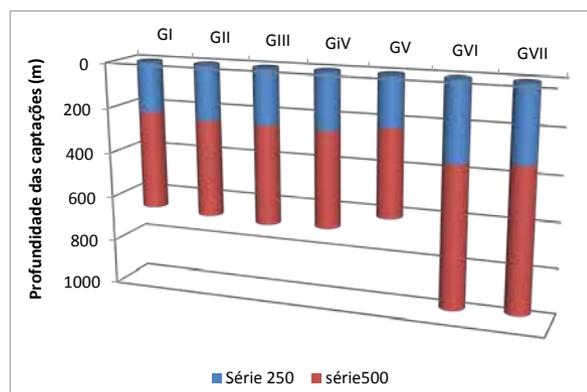


Figura 4.49 Profundidade cumulativa das captações de cada grupo de Lezíria II e de Lezíria III

4.3.2 Trabalhos de captação

Foram construídos sete grupos de captações (GI a GVII), cada um deles com dois furos de captação (poços): os que captam até profundidades de 250 a 350 m (série 250) e os que vão abaixo desta profundidade (série 500), [Figura 4.49](#).

O subsistema arenítico-argiloso é explorado essencialmente pelos furos de captação da série 250. Os furos da série 500 exploram sobretudo o subsistema aquífero calco-margoso. Nalguns casos, os ralos superiores dos furos desta série extraem água do subsistema arenítico-argiloso.

Os furos da série 250 dos grupos VI e VII (Lezíria III) são mais profundos que os dos outros grupos e exploram simultaneamente o subsistema arenítico-argiloso e o subsistema calco-margoso. Os furos de captação da série 500 da Lezíria III, também são mais profundos que os restantes, exploram exclusivamente o subsistema aquífero calco-margoso, que aqui tem a componente detrítica muito mais espessa e abundante que na zona da Lezíria II.

Os furos de captação foram executados pelo método de circulação inversa, com cravação e cimentação de uma coluna de 700 mm e a descida do restante revestimento definitivo após a conclusão da perfuração. A zona de redução de diâmetro foi cimentada e as tubagens foram assim fixadas entre si e o terreno envolvente.

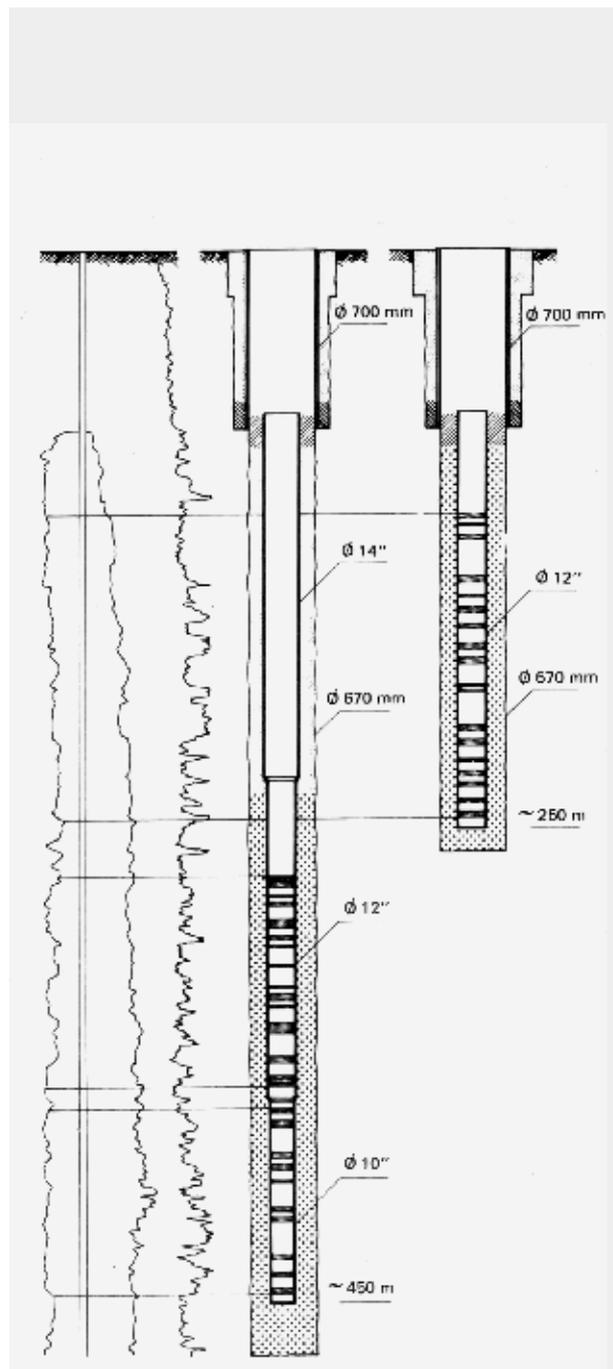


Figura 4.50 Furos-tipos de captação com diagrafia elétrica e de radiação gama natural (adaptado de folheto de divulgação de ACAVACO)

O revestimento definitivo dos furos de captação incluiu a câmara da bomba de grande diâmetro (700 mm) em aço revestido a poliéster e, na zona de captação, foram aplicados tubos ralos em aço inox Johnson do tipo fenda-contínua, envolvido por dreno de seixo calibrado (Figura 4.50)

Os resultados dos ensaios de produtividade são representados no gráfico da Figura 4.51. Os caudais variam entre 66 L/s e 100 L/s e não há diferença estatística significativa entre as médias e as medianas das amostras do caudal específico dos furos da série 250 e da série 500, para o nível de confiança de 95% (Figura 4.52).

A maioria dos ensaios de bombeamento realizados inscreve-se no conceito de ensaio de produtividade ou *well test*; nestes ensaios, só há observação do nível da água no próprio furo de bombeamento. Em número mais limitado de casos, há registo de medições em piezómetros ou em captações vizinhas que servem de furo de observação (*aquifer test*).

As curvas que traduzem graficamente a evolução dos níveis de água nos furos de bombeamento em regime transitório, nos furos de observação e nos piezómetros, seguem dois traçados característicos: (1) as que se ajustam a evoluções teóricas descritas por modelos para aquíferos cativos ou confinados de extensão radial infinita e (2) as que apresentam um traçado característico de aquíferos limitados por fronteiras impermeáveis.

Na interpretação das curvas, utilizaram-se o modelo de Theis (1935) e soluções que derivam deste modelo, nomeadamente a solução logarítmica de Cooper e Jacob (1946). Nos casos em que as curvas dos ensaios aparentam limites impermeáveis, utilizou-se a solução de Chapuis (1994).

A interpretação da recuperação do nível da água nos furos ou piezómetros após a paragem da bomba constitui técnica muito utilizada e, por vezes, mesmo mais vantajosa que o estudo da fase de bombeamento. Para os casos em que o caudal de bombeamento foi constante, utilizou-se o método de Theis-Jacob que permite determinar a transmissividade do aquífero. Se o caudal de bombeamento foi variável, em particular quando foi escalonado, usou-se a solução de Kawecky (1993).

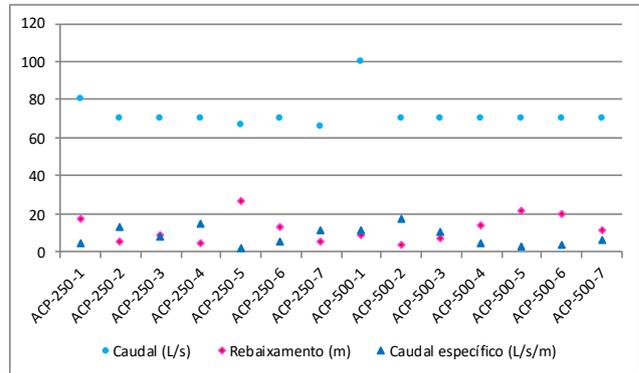


Figura 4.51 Resultados dos ensaios de produtividade das captações da Lezíria II e Lezíria III

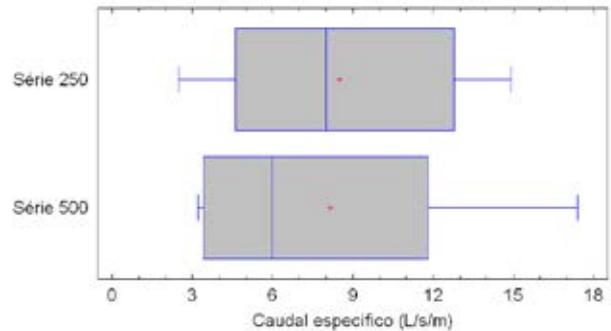


Figura 4.52 Estatísticas principais do caudal específico das captações da série 250 e da série 500

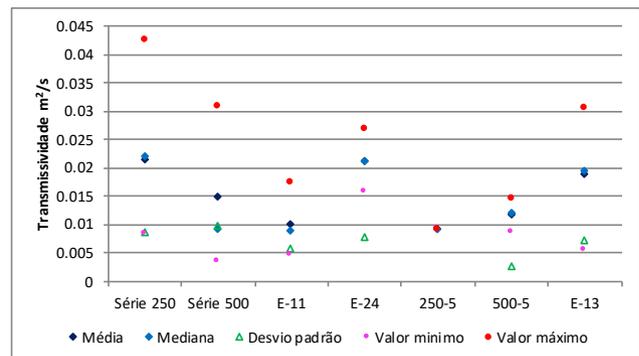


Figura 4.53 Principais estatísticas dos valores da transmissividade calculados pela interpretação das curvas de evolução dos níveis de água em furo de bombeamento. As séries 250 e 500 não incluem os furos do GV que são apresentados individualmente

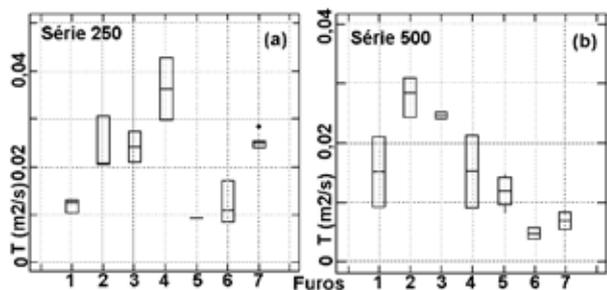


Figura 4.54 Variabilidade da transmissividade calculada através de ensaios de bombeamento em furos de captação da série 250 (a) e da série 500 (b)

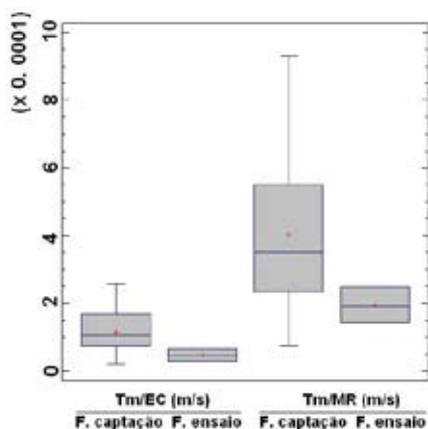


Figura 4.55 Condutividade hidráulica aparente média da zona captada (Tm/EC) e condutividade hidráulica aparente por metro de tubo ralo (Tm/MR)

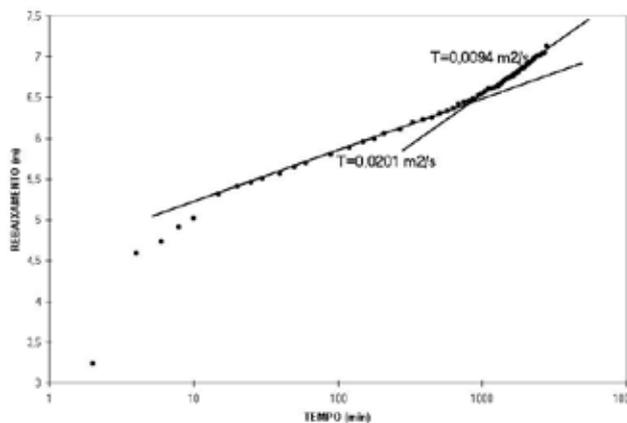


Figura 4.56 Interpretação da fase de bombeamento de ensaio do furo ACP-250-2 com evidência de uma provável fronteira impermeável

A interpretação da evolução dos níveis da água no furo em bombeamento fez-se com os modelos referidos e incidiu sobre 51 curvas que respeitam às fases de bombeamento e de recuperação. A análise do conjunto dos valores da transmissividade é feita, agrupando os resultados conforme as características geométricas e construtivas dos furos. Discriminam-se os resultados obtidos no GV, onde se realizou um número relativamente elevado de ensaios cujas curvas representativas parecem indicar o efeito de fronteiras impermeáveis, desde uma fase relativamente precoce dos ensaios. Nos casos em que o traçado das curvas é característico de aquífero limitado por fronteiras impermeáveis, os valores da transmissividade relatados referem-se ao primeiro troço retilíneo, que se presumem não influenciado pelas fronteiras.

Da Figura 4.53, faz-se ressaltar que a média dos valores da transmissividade da amostra respeitante a ensaios nos furos da série 250 é superior à média dos valores da amostra da série 500. Também as médias das amostras que respeitam aos ensaios dos furos do GV (do ACP-250-5 só há um valor) são inferiores às mesmas estatísticas das séries de que os furos fazem parte.

Os valores representados na Figura 4.54 mostram, como seria de esperar, que há variabilidade lateral da transmissividade. Sobressaem os valores calculados dos ensaios no ACP-250-4 que são manifestamente superiores aos restantes da série 250. Na série 500, distinguem-se os valores obtidos através dos ensaios nos furos ACP-500-6 e ACP500-7 que são os mais baixos calculados, apesar da espessura da zona de captação e da metragem de tubo ralo aplicado serem mais elevadas que nas outras captações da série 500.

Esta variação na transmissividade resulta de um ou mais fatores, tais como: variações laterais de propriedades hidrogeológicas, características geométricas e construtivas e profundidade dos furos.

A variabilidade dos resultados também se manifesta nos valores que respeitam a cada um dos furos. Na maioria dos casos, a razão entre o valor máximo e mínimo situa-se no intervalo entre 1 e 2 (os casos de AC-ME11, AC-ME13 e ACP-500-4 são exceção).

A explicação para a variabilidade dos resultados da transmissividade, calculados a partir de diferentes ensaios num mesmo furo, pode ser procurada nos caudais de bombeamento distintos, de ensaio para ensaio, em aquífero multicamada com cotas piezométricas diferentes em cada camada ou conjunto de camadas.

Salienta-se que a espessura do sistema aquífero interessada pelos furos de bombeamento não coincide com a dos furos de observação o que conduz a duas situações: o caudal extraído não provém na totalidade das camadas observadas ou, no caso contrário, há camadas sob observação donde não se extrai água. Estas condições não parecem influenciar significativamente os resultados da transmissividade; com efeito, não há evidência estatística significativa para o nível de confiança de 95 % que permita afirmar que o desvio padrão (0,007 m²/s) e a média (0,0175 m²/s) da transmissividade do grupo de valores calculados através dos valores medidos em furos de observação sejam diferentes daquelas estatísticas do grupo que resulta da interpretação da evolução dos níveis no furo de bombeamento (representado na Figura 4.53).

Para o grau de confiança de 95 %, também não há diferença estatística significativa entre as médias, as variâncias e as medianas das amostras da transmissividade calculada pela interpretação dos ensaios na fase de bombeamento e na fase de recuperação.

Os conjuntos dos furos de captação e dos furos de ensaio distinguem-se pelo objetivo e por características geométricas e construtivas. No entanto, dentro de cada um dos conjuntos, os furos têm diferenças na profundidade, na espessura captada (EC) e no número de metros de tubo ralo (MR) aplicado.

Sendo T_m a média dos valores da transmissividade calculados a partir dos ensaios de bombeamento em cada um dos furos, podem-se definir os índices T_m/EC e T_m/MR , de dimensões LT⁻¹, que representam a condutividade hidráulica aparente média da espessura captada (EC) e a condutividade hidráulica aparente por metro de tubo ralo aplicado (MR), respetivamente.

De salientar que os valores médios das amostras de T_m/EC e T_m/MR respeitantes a furos de captação mais que duplicam os valores correspondentes aos furos de ensaio (Figura 4.55). O que parece demonstrar o efeito das características, técnicas construtivas e do desenvolvimento dos furos.

As curvas de evolução dos níveis de água de ensaios de bombeamento em furos dos GII e GV apresentam configurações que se podem associar à ocorrência de fronteiras impermeáveis a compartimentar o aquífero. As curvas que representam o rebaixamento *versus* o logaritmo do tempo dos ensaios de bombeamento nos GII e GV têm dois ou mais troços retilíneos, sendo o declive do último igual ou superior ao dobro do declive da reta inicial (a representação gráfica das falhas interpretadas é feita na Figura 4.46).

O leitor encontrará detalhes sobre a interpretação e os resultados destas curvas compósitas e significado hidrogeológico em Mendonça (1996). A título de exemplo, apresenta-se a interpretação da fase de bombeamento de ensaio do furo ACP-250-2 (Figura 4.56): a interseção das duas retas dá-se para o tempo de ensaio de 15 horas, o que significa que, a partir deste tempo, o efeito da fronteira começa a fazer sentir-se na configuração do escoamento.

Os valores determinados do coeficiente de armazenamento (S) são em número reduzido (cinco); o valor médio é de $2,64 \times 10^{-3}$ e a variabilidade é grande (CV=1,32), Figura 4.57.

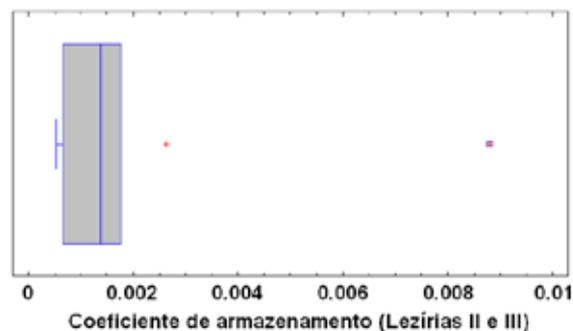


Figura 4.57 Estatísticas principais da amostra de valores do coeficiente de armazenamento (S)

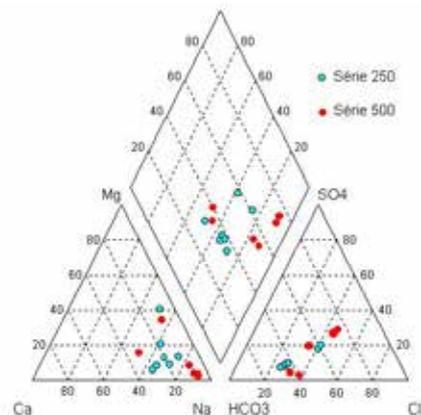


Figura 4.58 Fácies hidrogeoquímica da água das captações de Lezíria II e III

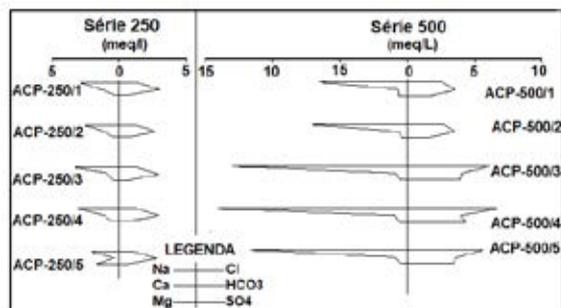


Figura 4.59 Composição da água das captações das séries 250 e 500 do campo de Lezíria II

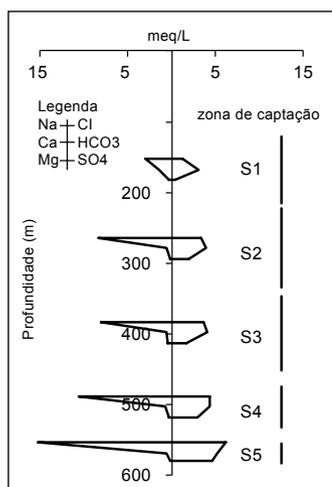


Figura 4.60 Caracterização hidrogeoquímica da água amostrada no GI: furo AC-ME11 e captação AC-P250-1 (os traços verticais indicam a extensão das zonas captadas de onde foram extraídas as amostras S1 a S5).

O valor de $S=8,81 \times 10^{-3}$, calculado a partir dos dados de ensaio de bombeamento no furo ACP-500-1 e observação no AC-ME11, destaca-se dos restantes e representa um *outlier* superior para o nível de confiança de 95%. A média dos valores calculados através de ensaios nos furos das séries 250 e 500 é: $S_{250}=1,6 \times 10^{-3}$ e $S_{500}=5,9 \times 10^{-4}$. O valor $S=2,2 \times 10^{-3}$ deverá ser uma boa estimativa do coeficiente de armazenamento da espessura total do aquífero terciário captado.

Os trabalhos realizados nos furos de ensaios, de observação e de captação além de permitirem esclarecer as condições geológicas e hidrogeológicas, permitiram colher amostras de água para análises laboratoriais cuja interpretação possibilitou conhecer a qualidade da água na região de Lezíria II e Lezíria III.

4.3.3 Hidrogeoquímica e qualidade da água

A mineralização da água das captações de Lezíria II (GI a GV) e Lezíria III (GVI e GVII) difere de captação para captação, muitas vezes de forma substancial. À semelhança do que acontece com os parâmetros hidráulicos há variabilidade lateral e vertical de características físico-químicas da água do sistema aquífero terciário.

As águas são maioritariamente de fácies bicarbonatada sódica e bicarbonatada-cloretada sódica a que se acrescentam as fácies cloretada-bicarbonatada sódica e cloretada-sulfatada sódica (Figura 4.58) com resíduo seco variável entre 250 mg/L e 1000 mg/L. O pH toma valores entre 7,5 e 8,5 e a ausência de NO_3^- e NH_4^+ são também características comuns a estas águas.

Em Lezíria II, a água das captações da série 250 tem mineralização inferior à água das captações da série 500. Naquela série, o resíduo seco da água varia entre 256 mg/L e 291 mg/L. A água das captações da série 500 tem resíduo seco que varia entre 480 mg/L e 961 mg/L, distinguindo-se a água menos mineralizada nos grupos GI e GII da água bastante mais mineralizada nos grupos GIII a GV (Figura 4.59).

Na Figura 4.60 faz-se a representação de análises realizadas em amostras de água colhidas no local do GI, furo AC-ME11 e captação AC-P250-1.

A amostra mais superficial, que corresponde à colheita de água das camadas aquíferas da unidade arenítico-argilosa, está subsaturada relativamente à aragonite, calcite, dolomite, gesso, halite e silicagel e sobressaturada para o quartzo.

Com o aumento de profundidade, nas camadas aquíferas pertencentes à unidade calco-margosa, a fácies da água das amostras passa a bicarbonata-cloretada e, finalmente, a cloretada-bicarbonatada, num e outro caso com largo predomínio do Na⁺. Estas águas estão sobressaturadas relativamente aos carbonatos e quartzo e mantêm a subsaturação relativamente ao gesso, halite e silicagel.

O Na⁺ aumenta em profundidade tal como acontece com os aniões Cl⁻, SO₄²⁻ e o total de carbono inorgânico dissolvido (TCID) atinge o máximo de 5,4 mmol/L na água da amostra mais profunda. O catião Ca²⁺ toma valor de 1,4 meq/L na água da amostra superior e decresce para cerca de 0,6 meq/L nas camadas aquíferas inferiores; o Mg²⁺, por sua vez, mantém valores aproximadamente constantes em toda a espessura do aquífero (de 0,2 a 0,5 meq/L). A mineralização total da água da amostra inferior atinge o valor de 31,8 meq/L.

A modelação inversa entre a água da amostra mais superficial e a água da amostra mais profunda pode ser conseguida através da transferência de massa das fases apresentadas no **Quadro 4.1**.

Fase	Composição	Transferência de massa (mmol/L)
CO ₂ gas	CO ₂	0,93
Calcite	CaCO ₃	1,24
Gesso	CaSO ₄ .2H ₂ O	2,05
Halite	NaCl	4,81
Na-X	NaX	7,44
Ca-X ₂	CaX ₂	-3,69
Mg-X ₂	MgX ₂	-0.029

Quadro 4.1 Transferência de massa em milimoles por litro de água (amostra superficial x amostra mais profunda), os números positivos indicam dissolução e os negativos referem-se a precipitação e X indica a superfície sólida para a troca iónica

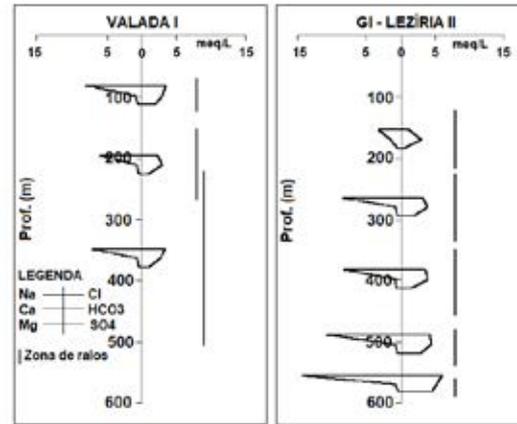


Figura 4.61 Comparação da qualidade da água da série miocénica em Valada I e no GI de Lezíria II

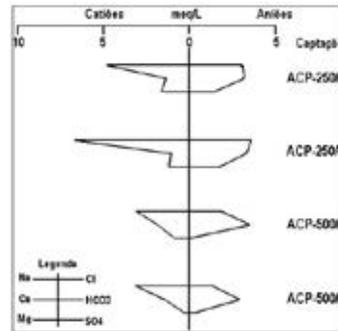


Figura 4.62 Composição da água das captações do campo de Lezíria III

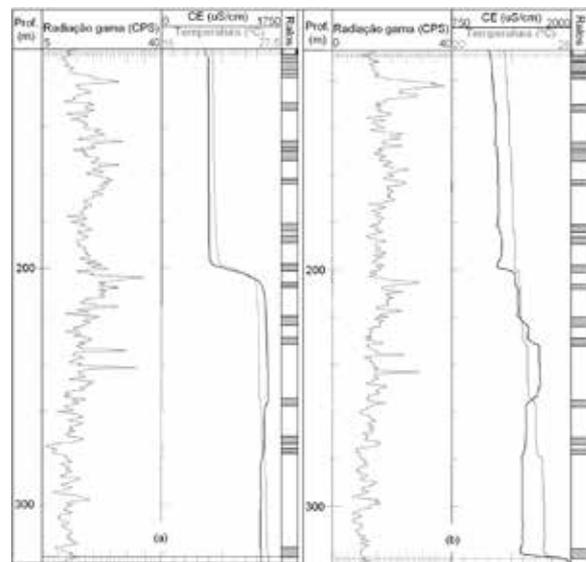


Figura 4.63 Diagramas hidrogeoquímicas e de radiação gama natural em repouso (esq.) e em bombeamento na captação ACP-250-7

Comparando as características da água da série terciária em Valada I (margem direita do Tejo) com a série no GI de Lezíria II, conclui-se que, além da diferença de fácies na zona superior até cerca de 200 metros, a água mais profunda é menos mineralizada em Valada que na lezíria, embora sejam de fácies idêntica (Figura 4.61).

Nas captações dos grupos GVI e GVII há decréscimo da mineralização da água das captações profundas relativamente às da série 250 (Figura 4.62). No furo de ensaio AC-ME24, localizado a NE de Lezíria III, a mineralização da água amostrada em troços individualizados com obturadores mostra a mesma evolução com a profundidade.

A água das captações da série 250 (ACP-250-6 e ACP-250-7) tem resíduo seco de 457 mg/L e 523 mg/L. As concentrações dos aniões e catiões seguem as relações $Cl^- \approx HCO_3^- > SO_4^{2-}$ e $Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$, respetivamente. A água das captações da série 500 (ACP-500-6 e ACP-500-7) tem resíduo seco de aproximadamente 315 mg/L e é de fácies semelhante à da água das captações da série 250 da Lezíria II, isto é, $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-}$ e $Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$.

Esta ocorrência de água mais mineralizada nas captações da série 250 de Lezíria III pode ser explicada pela contribuição das camadas aquíferas carbonatadas do Miocénico, que aqui ocorrem a menor profundidade que em Lezíria II, e de uma sequência detrítica, abaixo daquelas camadas, não encontrada em Lezíria II.

As diagrfias da condutividade elétrica e da temperatura da água, realizadas entre dezembro de 2002 e março de 2003, permitiram identificar o zonamento hidroquímico vertical nos furos de Lezíria II e Lezíria III e definir movimentos de água entre camadas que resultam de diferenças de potencial hidráulico com origem natural e/ou são provocados pela exploração dos sistema aquífero.

Deixa-se o exemplo da Figura 4.63, respeitante à captação ACP-250/7, onde se visualiza que as amostras de água colhidas aquando dos ensaios de caudal e da exploração dos furos com zonas de captação extensas são uma mistura de águas de mineralização e temperatura distintas.

As distribuições do trítio e dos isótopos estáveis ^{18}O e deutério na água dos furos de captação das séries 250 e 500 das Lezíria II e Lezíria III serão abordadas em seguida.

Das amostras de água analisadas no ITN, obtiveram-se valores que demonstram a ausência de trítio na água de alguns dos furos de captação das séries 250 e 500 (Quadro 4.2) as designações com o sufixo A referem-se a furos repostos conforme é descrito em 4.4). Estes resultados podem extrapolar-se para a água dos outros furos de captação de Lezíria II e III. Conclui-se também que a água dos furos deve ter-se infiltrado antes dos testes nucleares atmosféricos realizados nas décadas de 1950 e 1960.

Os valores da média aritmética dos teores de trítio na precipitação (1989/1997) são: em Porto-Serra do Pilar de 4,5 UT, em Penhas Douradas de 5,1 UT e em Portalegre de 5,3 UT (Carreira *et al.*, 2007).

Captação	Data	Teor em 3H (T.U.)
ACP-250-7	15/7/2004	-0,9 ± 0,7 F
ACP-250-4A	18/6/2004	-0,7 ± 0,7 F
ACP-500-4A	18/6/2004	-0,7 ± 0,7 F
ACP-250-3A	15/7/2004	0,1 ± 0,7 F
ACP-500-3A	15/7/2004	0,2 ± 0,6 F
ACP-500-1A	18/6/2004	-0,2 ± 0,6 F

Quadro 4.2 Concentrações em trítio da água dos furos de Lezíria II e III (F=Fundo)

Em estudo realizado na região de Setúbal, região de jusante do sistema aquífero, Carreira *et al.* (1994) fizeram diferentes amostragens de 12 furos (3 captantes no subsistema plio-quadernário e os restantes no subsistema mio-pliocénico). Só num furo, que capta o aquífero freático, a concentração de trítio foi mensurável ao longo das várias campanhas de amostragem (entre 1,27 e 2,88 UT); nas amostras dos restantes furos, o valor de trítio foi nulo, o que levou aqueles autores a considerarem uma interpretação que é idêntica à apresentada para as águas dos furos da lezíria.

No mesmo artigo, Carreira *et al.* (1994) apresentam valores do teor em radiocarbono (^{14}C) na água de 5 dos 12 furos antes referidos. Concluíram que as idades das águas amostradas no aquífero profundo variavam entre

12 e 20 mil anos e no aquífero superficial determinaram o valor de 0,68 mil anos.

A composição em isótopos estáveis ($\delta^{18}\text{O}$ e δD) nas amostras de água dos furos da lezíria apresentam valores de $\delta^{18}\text{O}$ entre -2,68 e -4,31 ‰ e de δD entre -17,8 e -28,2 ‰ (Figura 4.64). As amostras com teores enriquecidos em isótopos pesados correspondem a furos da série 500, com exceção do furo 500/3. Os teores das amostras dos furos da série 250 correspondem a um conjunto de valores muito homogêneos: $\delta^{18}\text{O}$ tem valor médio de -3,96 ‰, desvio padrão de 0,21 ‰ e coeficiente de variação de 5%; δD tem valor médio de -23,94 ‰, desvio padrão de 3,29 ‰ e coeficiente de variação de 14%.

Na mesma figura, está representada a Reta das Águas Meteóricas (MWL-Meteoric Water Line) definida por Craig (1961): $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ (‰).

A reta de correlação existente entre os isótopos das amostras de água da lezíria afasta-se da MWL. No entanto, os valores determinados distribuem-se segundo o intervalo de confiança da Reta das Águas Meteóricas de Portugal (Figura 4.65).

Carreira *et al.* (2007) define a Reta das Águas Meteóricas de Portugal, excluindo os valores obtidos na estação de Serra do Pilar, com a equação:

$$\delta\text{D} = 6,6 \delta^{18}\text{O} + 3,0 \text{ (‰)}$$

com $n = 737$ e $r = 0,95$.

Comparando os resultados das águas da lezíria com os da água dos furos do subsistema Mio-Pliocénico da região de Setúbal (Carreira *et al.*, 1994), obtém-se a representação da Figura 4.66.

Os valores determinados nas duas regiões distribuem-se dentro do intervalo de confiança da Reta das Águas Meteóricas de Portugal.

A partir das representações gráficas apresentadas, pode-se concluir que as águas têm origem meteórica e que as condições climáticas à data da infiltração eram idênticas às atuais.

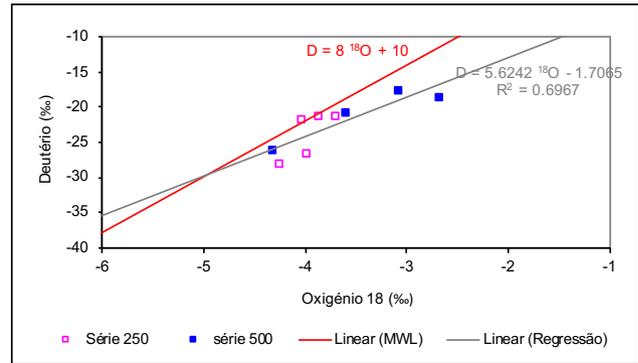


Figura 4.64 Variação dos valores de δD e $\delta^{18}\text{O}$ das amostras de água de furos dos campos de captação de Lezíria II e III

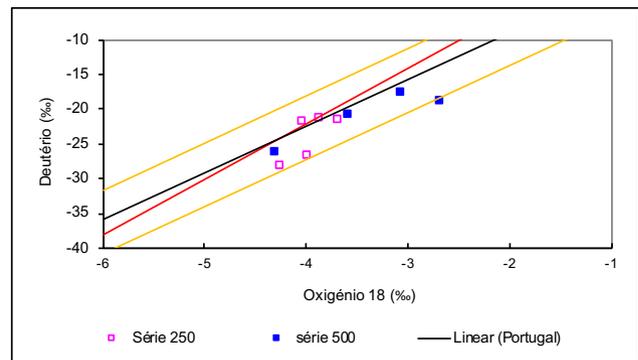


Figura 4.65 Isótopos estáveis ($\delta^{18}\text{O}$ e δD) nas amostras de água de furos dos campos de captação de Lezíria II e III, a Reta das Águas Meteóricas de Portugal é representada a cor preta com os limites do intervalo de confiança a cor amarela e a MWL é indicada a cor vermelha

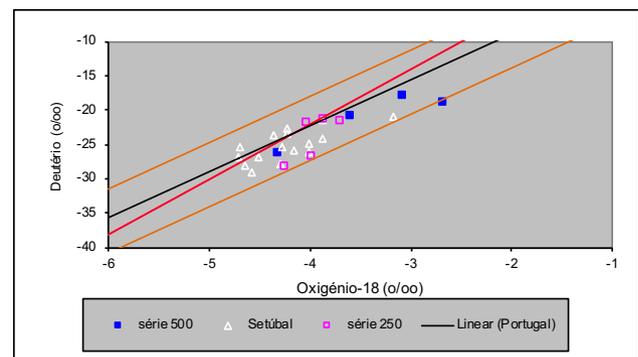


Figura 4.66 Isótopos estáveis ($\delta^{18}\text{O}$ e δD) nas amostras de água de furos dos campos de captação de Lezíria II e III e do subsistema mio-pliocénico da região de Setúbal, a Reta das Águas Meteóricas de Portugal a preto com os limites do intervalo de confiança a cor amarela e a MWL é indicada a cor vermelha

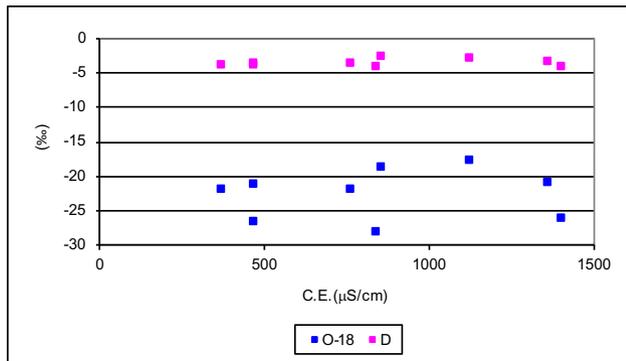


Figura 4.67 Variação dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ e de δD com os valores da condutividade elétrica – amostras de água de furos dos campos de captação de Lezíria II e III



Figura 4.68 Máquina de perfuração Salzgitter RC8, executando um furo de reposição pelo método de circulação inversa

Os valores médios numa e noutra região são semelhantes e, para um nível de significância de 5 %, não há evidência que sugira que as duas amostras venham de populações com médias diferentes. No entanto, a representação gráfica aparenta uma tendência para águas mais pesadas na área da lezíria.

No gráfico da **Figura 4.67** representam-se os valores de $\delta^{18}\text{O}$ e de δD em função da condutividade elétrica da água das amostras quando da colheita. A ausência de correlação exclui a mistura da água do aquífero com água salgada do estuário ou com águas salgadas contemporânea da formação do depósito sedimentar.

4.4 Reposição da capacidade de produção das captações da Lezíria II

Segundo o relatório RF03002 de ACAVACO de 30/04/2003, a execução do programa de verificação das captações de Lezíria II, em 1999/2000, evidenciou anomalias na qualidade da água e a necessidade da sua substituição.

Das respetivas conclusões teria ressaltado a "evidência de roturas na tubagem de revestimento definitivo por corrosão exterior e a necessidade de substituição urgente das captações, não só com vista à manutenção da qualidade da água captada mas também para obviar à contaminação do aquífero profundo por águas mineralizadas superficiais".

Segundo ACAVACO, ainda dentro desta linha de preocupações, foi feita a eliminação por cimentação dos furos de captação substituídos, assegurando, assim, que eles deixarão de constituir fonte de contaminação do aquífero. Para além destes, na área da lezíria, foram eliminados outros furos (de pesquisa, de observação, de captação em Lezíria-I e em aluviões), conforme o relatório RF02003 de 28/02/2002 de ACAVACO.

Continuando a citar o mesmo relatório RF03002 de ACAVACO, "dada a boa prestação dos furos anteriores, não se previu nenhuma alteração de monta ao respetivo projeto, mantendo-se o dimensionamento anteriormente adotado".

Como proteção exterior dos tubos superiores, correspondentes à câmara de bombeamento ou da bomba, foi aplicada uma cimentação integral com calda de cimento segundo as boas normas atualmente admitidas.

Foi ainda decidido que a câmara da bomba dos novos furos teria mais cerca de 20 m de comprimento para acautelar o rebaixamento disponível e atender à modificação dos níveis piezométricos provocada pela exploração do campo de captações.

As novas captações foram executadas no interior dos recintos existentes, tendo-se o cuidado de localizar o novo furo da série 250 junto ao antigo da série 500 e o novo furo da série 500 nas proximidades do antigo da série 250.

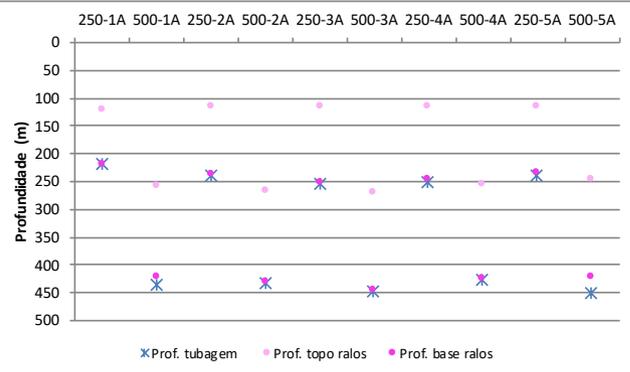


Figura 4.69 Características gerais da tubagem dos novos furos de captação de Lezíria II



Figura 4.70 Imagens da construção dos novos furos em Lezíria II: descida de um troço soldado de tubo ralo de fenda contínua em aço inoxidável (A), pormenor do tubo ralo (B) e máquina de perfuração Salzgitter RC8 e desenvolvimento do furo com ar comprimido (C) (fotos do autor)

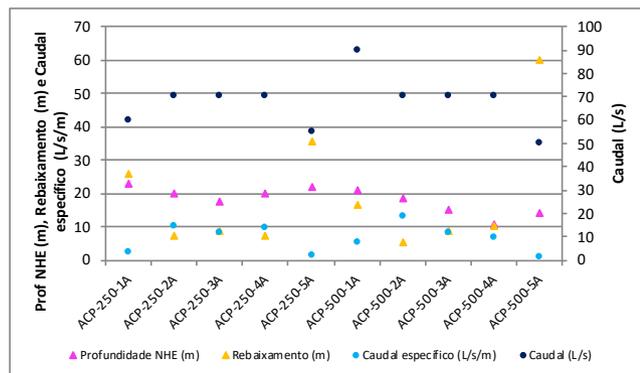


Figura 4.71 Síntese dos resultados dos ensaios de produtividade dos novos furos de captação de Lezíria II

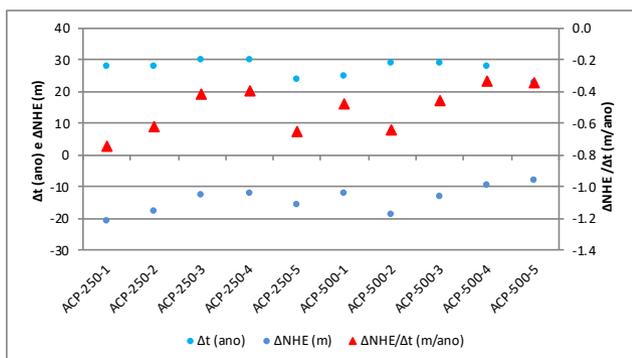


Figura 4.72 Taxa de rebaixamento médio anual dos níveis piezométricos em Lezíria II. Δt é o intervalo de tempo entre medições do NHE, ΔNHE representa a variação do NHE no intervalo Δt e $\Delta NHE/\Delta t$ é a taxa média anual de variação do NHE

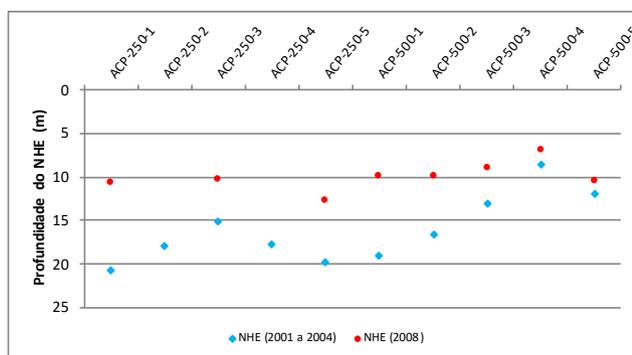


Figura 4.73 Comparação dos NHE das captações de Lezíria II medidos quando da reposição das captações (2001 a 2004) e em 21 fevereiro de 2008

A informação detalhada sobre os novos furos de captação encontra-se nos respetivos relatórios de ACAVACO: RF02003 (GI), RF03002 (GIV e GV) e RF04039 (GII e GIII). As novas captações tomaram a designação das substituídas, a que se acrescentou o sufixo "A".

Os furos de captação foram executados pelo método de circulação inversa (Figura 4.68). A perfuração iniciou-se em todos os furos com diâmetro de 1100 mm e terminou a 530 mm nos furos da série 250 e a 445 mm nos furos da série 500. Incluiu duas fases: a inicial concluiu-se com a cravação e a cimentação da tubagem definitiva correspondente à câmara da bomba, de diâmetro 700 mm; a segunda respeitou à zona de captação onde se aplicou tubagem de diâmetro de 12" nas captações da série de 250 e tubagens de 12" e 10" nas da série de 500 (Figura 4.69). Nos furos da série 500, aplicou-se uma tubagem fechada de 14", entre a câmara da bomba e a zona de captação, cujo espaço anelar, entre a tubagem e a perfuração, foi cimentado.

O tubo fechado aplicado foi em aço norma DIN 2458 e o tubo ralo em aço inoxidável AISI 300 do tipo fenda contínua (Figura 4.70).

A produtividade dos novos furos é idêntica à dos que foram substituídos (Figura 4.71) mas com caudal específico inferior, com relevo para os furos do GV.

A comparação dos níveis hidrostáticos à data da construção do campo de Lezíria II (década de 1970) e à data da sua substituição (primeira metade da década de 2000) permite calcular o rebaixamento médio anual de 0,51 m/ano (Figura 4.72), idêntico ao antes apresentado para o ano de 1984.

O rebaixamento médio do nível hidrostático medido nos furos da série 250 foi de 0,56 m/ano e nas captações da série 500 foi ligeiramente inferior, 0,45 m/ano.

No entanto, em 1974, quando da construção dos furos ACME13 e ACMO14 (GV), foram registados níveis hidrostáticos de +10,3 m e +11,73 m (NGP), respetivamente. Em 1980, mediram-se os níveis hidrostáticos de -4,6m e -4,2 m (NGP), respetivamente. Neste período (aproximadamente)

madamente 6 anos) registou-se um rebaixamento do nível da ordem dos 16 m, ou seja, 2,7 m/ano. Esta descida rápida dos níveis considera-se corresponder à fase inicial da exploração do sistema aquífero pelas captações entretanto construídas, eventual e localmente potenciada por fronteiras de condutividade hidráulica baixa.

No campo de captações Lezíria III (grupos GVI e GVII), construído mais tarde que o de Lezíria II e afastado deste, cerca de 3,5 km, a taxa de descida anual dos níveis da água foi mais lenta que em Lezíria II. Na série 250 praticamente não houve variações de níveis da água e na série 500 a taxa de descida foi de 0,12 m/ano na captação ACP500/6 e 0,28 m/ano na ACP500/7 (mais próxima 1 km de Lezíria II que a do GVI).

Concluindo, verifica-se que a exploração do sistema aquífero terciário criou novas relações entre sistemas aquíferos. O sistema aquífero terciário passou a ter potencial hidráulico mais baixo que o sistema aquífero aluvionar. Contudo, no sistema aquífero terciário, continuava a verificar-se o aumento do potencial hidráulico com a profundidade.

Em 21 de fevereiro de 2008 mediu-se a profundidade do nível hidrostático (NHE) dos furos das Lezírias II e Lezíria III. Em regra, os níveis da água na leitura de 2008 estão acima dos níveis da água na data da reposição das captações (Figura 4.73). A taxa de descida de níveis, tomando para valores comparativos os medidos à data da construção e os medidos em 21-2-2008, é cerca de 0,20

a 0,25 m/ano em Lezíria II e um pouco inferior em Lezíria III (cerca 0,15 m/ano). A subida dos níveis e a diminuição da taxa anual média de rebaixamento relativa a 2008 têm justificação no facto de a maioria dos furos não estar a ser explorada e/ou com caudal de exploração baixo. Destas considerações, conclui-se que o sistema aquífero, na zona da Lezíria de Vila Franca de Xira, estará em fase de recuperação do nível da água.

A água dos novos furos de captação tem características idênticas às dos furos substituídos e a qualidade é adequada ao consumo humano, conforme boletins de análise emitidos pela EPAL referentes aos anos de 2006 (28 boletins) e 2007 (40 boletins).

Os parâmetros agrupados sob a designação de "Parâmetros Orgânicos", que incluem os pesticidas, tomam valores que são sistematicamente inferiores ao limite de quantificação dos métodos de análise.

Na perspetiva das normas da classe A1 do anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de agosto, em regra, os resultados analíticos dos dois anos cumprem os valores máximos recomendados (VMR) e são inferiores aos máximos admitidos (VMA).

Do ponto de vista do Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de agosto, partes I, II e III do anexo I, os valores cumprem em regra os valores paramétricos definidos dos parâmetros microbiológicos, químicos e indicadores.



5. Captações da EPAL em calcários mesozoicos: Alviela, Alenquer e Ota

Este capítulo engloba a caracterização da nascente do Alviela e das captações de Alenquer e Ota. A primeira continua ativa, embora a sua exploração pela EPAL tenha sido descontinuada em 2015. As nascentes de Alenquer e Ota, na década de 1940, foram substituídas por furos de captação e, por consequência, só em períodos de pluviosidade muito elevada há emergência de água por algumas das estruturas cársicas existentes.

Estas captações localizam-se em calcários jurássicos da orla ocidental: a nascente do Alviela é uma saída natural do sistema aquífero Maciço Calcário Estremenho e os furos de captação de Alenquer e Ota extraem água do sistema aquífero Ota-Alenquer.

5.1 O escoamento da água subterrânea nos calcários

O texto que se segue, de introdução à apresentação dos trabalhos de pesquisa e captação e de descrição da nascente dos Olhos de Alviela, é uma síntese do relatório, elaborado pelos professores doutores Carlos Costa Almeida e José Crispim, que serviu para fundamentar a delimitação dos perímetros de proteção das captações da EPAL em rochas carbonatadas, Grandewater (2008).

Para descrever o comportamento hidráulico dos aquíferos cársicos em geral pode-se considerar, conceitualmente, a existência de dois meios com propriedades muito diferentes: um constituído por uma rede de galerias (coletores) com permeabilidade elevada mas capacidade de armazenamento escassa e outro constituído por blocos com permeabilidade baixa mas capacidade de armazenamento considerável, devido à existência de numerosas fissuras e poros de pequenas dimensões. Às grandes fraturas e galerias cabe a tarefa transmissiva, isto é, a de transportar a água através do maciço na direção das zonas de descarga, enquanto ao conjunto dos blocos cabe a função capacitiva, de armazenar a água.

A origem do mecanismo de carsificação é similar em todos os maciços de rochas carbonatadas. A água de infiltração, que dissolve algum anidrido carbónico quando atravessou a atmosfera, passa através dos vários horizontes do solo, aumenta progressivamente a concentração em CO₂ e torna-se mais acidulada. Quando a água se escoia através das fraturas e fissuras, a abertura destas aumenta por dissolução dos carbonatos.

À medida que se dá a evolução da drenagem dos maciços carbonatados, acentua-se a anisotropia e a heterogeneidade, pois os sistemas de fraturas e fissuras, inicialmente mais aptos à circulação, serão os mais alargados pela dissolução, evoluindo no sentido de formarem os eixos principais de drenagem. Assim, com o tempo, acentua-se o contraste entre as permeabilidades dos vários sistemas de fraturas, estabelecendo-se uma hierarquização semelhante à de uma rede hidrográfica subaérea. Isto conduz à existência de grande variação espacial das propriedades hidráulicas.

O relevo resultante da ação da água acidulada pelo anidrido carbónico, designado por relevo cársico, é constituído por superfícies rochosas sulcadas por fendas mais ou menos alargadas, os lapiás (Figura 5.1) e depressões fechadas com dimensões e formas variáveis, que podem ir desde as dolinas (Figura 5.2), com contornos simples e dimensão decamétrica a hectométrica, às uvalas, com contornos mais complexos e dimensão hectométrica, até aos *poljes* (Figura 5.3), com grandes extensões de fundo plano parcialmente coberto por sedimentos e dimensão quilométrica.

Os raros vales que se observam nas regiões cársicas são vales cegos, isto é, terminam abruptamente em sumidouros ou têm escoamento efémero. Quando rios com caudal permanente conseguem atravessar as regiões cársicas escavam profundas gargantas com vertentes verticais (vales em canhão), por vezes em resultado do abatimento do teto de grutas intersetadas.



Figura 5.1 Lapiás, planalto de Stº António



Figura 5.2 Dolina na Serra de Aire
(cortesia de prof. doutor Costa Almeida)

Ao infiltrar-se nas fendas dos lapiás, nos sumidouros ou no fundo das dolinas e das uvalas, a água continua o seu trabalho de dissolução, formando grutas. Estas podem ser simples poços verticais, os algares (Figura 5.4), ou ser constituídas por galerias, poços e salas (Figura 5.5). As grutas mais complexas são o resultado da progressiva confluência das águas infiltradas, formando-se redes subterrâneas com desenvolvimentos da ordem das dezenas de quilómetros que desembocam em exurgências, em geral com grandes caudais de ponta.

O recuo das encostas provocado pelas descargas de água das nascentes resulta em outra forma espetacular da geomorfologia cársica, em forma de anfiteatro. A Fórnea de Alvados (Figura 5.6) é uma estrutura geomorfológica em anfiteatro com cerca de 500 m de diâmetro e 250 m de profundidade máxima que resultou do recuo das encostas provocado pela erosão da água chuva e, principalmente, da água descarregada pela cerca de uma



Figura 5.3 Polje de Alvados

dezena de nascentes temporárias que se situam nas suas vertentes, todas de pequeno caudal, das quais a mais importante é a Cova da Velha. Foi escavada em calcários margosos e margas do Aaleniano a que se sobrepõem os calcários do Bajociano (Jurássico médio). As nascentes emergem na passagem destes calcários para os calcários margosos e margas.

As características particulares da circulação nos maciços calcários resultam fundamentalmente do facto destes possuírem, em geral, uma extensa rede de fraturas cujo alargamento progressivo, por dissolução, dá origem a um sistema de drenagem subterrâneo, por vezes altamente organizado e hierarquizado. O alargamento progressivo por dissolução é uma das características que permite distinguir os maciços calcários dos outros maciços fraturados, onde aquele alargamento não se verifica.

Para que um maciço calcário evolua no sentido atrás apontado, é necessário que tenha, à partida, uma rede mais ou menos desenvolvida de descontinuidades (fraturas, diáclases, planos de estratificação, etc.) e exista uma zona de recarga e uma zona de descarga que dê saída do material dissolvido para o exterior. A título de exemplo, refere-se que só a nascente do Alviela extrai anualmente cerca de 24.000 toneladas de calcário, correspondentes à escavação de um volume de quase 10.000 m³ de rocha (Almeida, 1992).

Em condições normais, a qualidade da água proveniente dos aquíferos cársicos tem qualidade para o consumo humano, pelo que a sua proteção constitui um objetivo importante. No entanto, dada a elevada vulnerabilidade destes aquíferos, essa proteção apresenta diversas dificuldades de ordem prática.



Figura 5.4 Algar de Arrosteia situado na vertente ocidental da uvala de Chão das Pias (cortesia de prof. doutor Costa Almeida)



Figura 5.5 Estalactites, estalagmites e colunas na gruta de Alvados, *polje* de Alvados (Foto J.A. Crispim in Romariz, 2012)

No que respeita ao comportamento dos aquíferos cárnicos em relação à contaminação podem-se referir os seguintes aspetos mais relevantes:

- Possuem escassa capacidade de filtração, absorção e adsorção de que resulta um rápido transporte dos contaminantes;
- Devido às elevadas velocidades de escoamento da água subterrânea e, por consequência, tempo de residência curto, alguns processos de decaimento são pouco efetivos e os contaminantes atingem rapidamente as nascentes e captações;
- Em contrapartida as condições oxidantes que são comuns nas águas dos aquíferos cárnicos contrariam a presença de elevadas concentrações de alguns contaminantes como por exemplo amónia, Fe, Mn e alguns outros metais pesados.

Uma característica comum dos maciços cárnicos desenvolvidos é a dificuldade de captar água através de furos, pois na maioria dos casos, estes são pouco produtivos ou mesmo improdutivos, dado que a água circula essencialmente através de galerias cárnicas, por vezes de grande capacidade, inseridas em maciços rochosos de

Figura 5.6 Fórnea de Alvados



permeabilidade muito mais baixa. As captações com mais sucesso localizam-se perto das principais áreas de descarga dos maciços.

5.2 A nascente do Alviela e o escoamento de água subterrânea no sistema aquífero Maciço Calcário Estremenho

As nascentes dos Olhos de Água do Alviela são uma das áreas de descarga do mais importante sistema aquífero cársico de Portugal: Maciço Calcário Estremenho (Almeida *et al.*, 2000).

As rochas que afloram na bacia de alimentação são sobretudo calcários, dolomitos, calcários margosos e margas do Jurássico, ocorrendo também menores extensões de sedimentos calcários, calco-margosos e detríticos do Cretácico, sedimentos detríticos do Oligocénico e outros mais recentes.

O Maciço Calcário Estremenho é constituído por blocos separados por falhas que segmentam a Bacia Lusitânica. Esses blocos foram desnivelados ainda durante a distensão (falhas normais), por movimentos diapíricos e por compressões resultantes da passagem de regime distensivo a compressivo durante as várias fases da orogenia alpina (Terrinha *et al.*, 2000).

A sul, estes blocos contactam com os sedimentos da Bacia do Baixo Tejo por acidentes cavalgantes (falhas dos Arrifes). Na região entre Vila Moreira e Alcanede, duas linhas de cavalgamento delimitam uma estrutura em sinclinal (sinclinal de Monsanto) em cujo núcleo aflo-

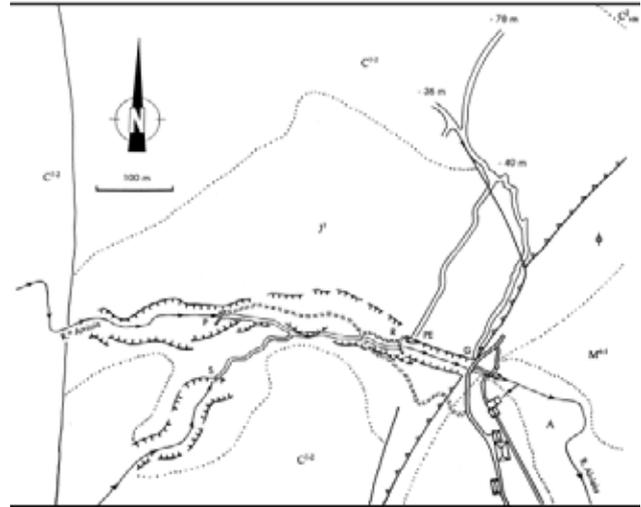


Figura 5.8 Esquema geomorfológico do canhão cársico da ribeira de Amiais e galerias associadas com as nascentes de Alviela: P – entrada do curso subterrâneo da ribeira dos Amiais, R – ressurgência da ribeira dos Amiais após cerca de 200 m de percurso subterrâneo, PE – Poço Escuro (nascente temporária) e G – Nascentes temporárias na vertente esquerda à saída do canhão da ribeira de Amiais (in Crispim, 2007)

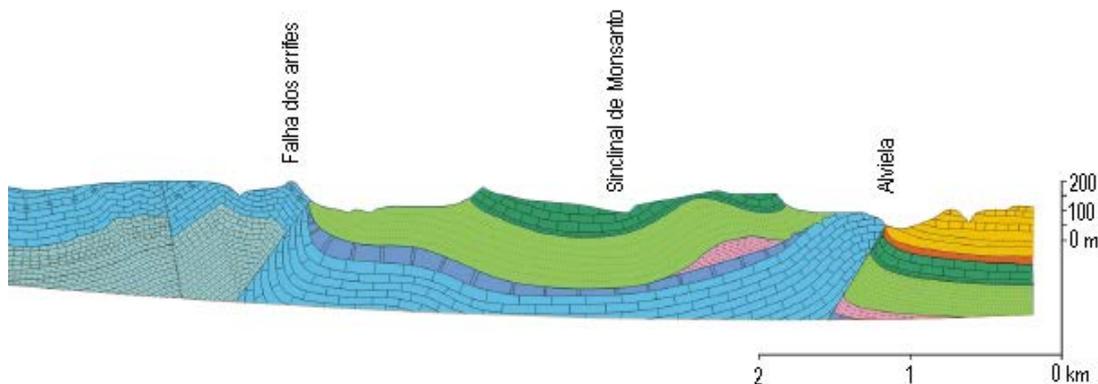


Figura 5.7 Perfil geológico NW (esquerda) a SE (direita), passando pelo limite do Maciço Calcário Estremenho, sinclinal de Monsanto e pela nascente do Alviela no contacto com as formações terciárias da bacia do Tejo (in Crispim, 2007)



Figura 5.9 O bloco de calcários do Jurássico médio, a saída do canhão e a nascente dos Olhos de Água de Alviela



Figura 5.10 Sumidouro ou início do curso subterrâneo da ribeira dos Amiais (local "P" da Figura 5.8)



Figura 5.11 Janela cársica de onde se pode observar o curso subterrâneo da ribeira dos Amiais; estrutura cársica entre as localizações "P" e "R" da Figura 5.8

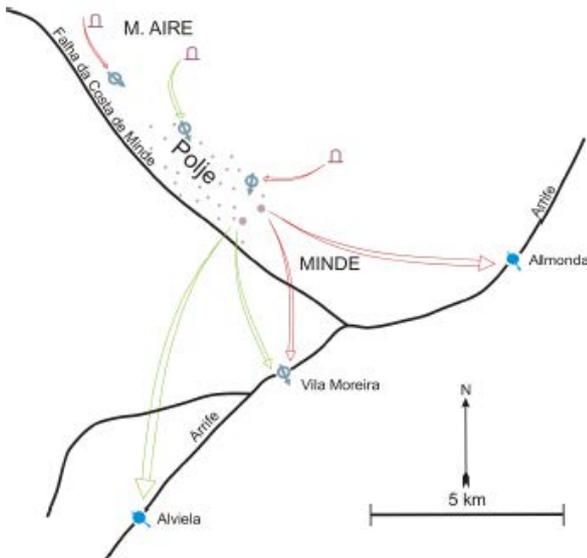


Figura 5.12 Traçagens realizadas na área do polje de Minde (a vermelho rodamina, a verde fluoresceína), in Crispim, 2007

ram os sedimentos detríticos do Cretácico e do Oligocénico, enquanto o bordo sul é constituído por calcários do Cretácico e do Jurássico. A nascente dos Olhos de Água do Alviela localiza-se num pequeno bloco de calcários do Jurássico médio do cavalgamento mais meridional (Figura 5.7 a Figura 5.11). O bloco é atravessado pela ribeira

dos Amiais que percorre cerca de 200 m em galeria subterrânea (Figura 5.8) e termina por um estreito canhão no final do qual emergem nascentes temporárias e a nascente do Alviela (permanente), Figura 5.9.

Do ponto de vista geomorfológico, o Maciço Calcário Estremenho constitui uma unidade bastante bem definida e individualizada, onde as formas cársicas assumem aspetos bem caraterísticos e espetaculares (Martins, 1949), como são os exemplos antes apresentados.

Os limites do sistema aquífero Maciço Calcário Estremenho não correspondem totalmente aos limites da unidade geomorfológica definida por Martins (1949), pois a circulação subterrânea estende-se para lá dos limites daquela. Assim, a oeste, o sistema inclui a Plataforma de Aljubarrota, estendendo-se até à nascente de Chiqueda e, a norte, inclui a serra de Porto de Mós e as Lombas de Fátima. A sul e a este, o sistema é delimitado pelo cavalgamento das formações do Maciço Calcário Estremenho sobre a Bacia Terciária do Tejo. A área total coberta é de 768 km² (Almeida *et al.*, 2000).

Este sistema é muito complexo, apresentando um comportamento típico de aquífero cársico, com um padrão



144

Figura 5.13a *Polje* de Minde visto da costa, com Minde em primeiro plano e Mira de Aire ao longe, no interior da grande depressão de origem cárstica



Figura 5.13b A imponente escarpa de falha, designada localmente por Costa de Minde, que delimita o *polje* a SW

de escoamento subterrâneo já muito evoluído e hierarquizado atestado pelo facto de uma área de recarga tão vasta ser drenada apenas por cinco nascentes perenes e várias nascentes temporárias que descarregam apenas em períodos de ponta. Estas nascentes permanentes definem vários subsistemas cuja delimitação coincide, aproximadamente, com as grandes unidades morfoestruturais que dividem o Maciço Calcário Estremenho.

A delimitação das áreas de alimentação de cada nascente apresenta grandes dificuldades devido ao padrão altamente complexo do escoamento em meios cárlicos. A maneira mais segura de fazer essa delimitação é através de operações de traçagem, isto é, da introdução de uma substância (traçador) cuja presença é posteriormente detetada nos locais de descarga da área onde a mesma foi introduzida (Figura 5.12).

Na delimitação da bacia de alimentação da nascente do Alviela, o papel das rochas impermeáveis é evidente a sul de Alvados e ainda em vários setores do limite sul. Os acidentes tectónicos limitam a bacia a oeste (falha da Mendiga), sudoeste (falha de Pé da Pedreira), sudeste (falha do Arrife) e nordeste (falha de Vale de Barreiras). Os critérios geomorfológicos de delimitação foram aplicados na extremidade norte do Planalto de Santo António e no contorno norte da depressão de Minde.

O *polje* de Minde é uma grande depressão cárstica com fundo praticamente plano, com cerca de 4 km de comprimento na direção NW-SE e cerca de 2 km de largura, Figura 5.13a. O bordo sudoeste é definido pela imponente escarpa de falha, designada localmente por Costa de Minde e Costa de Mira, que desnivela os dois blocos cerca de 300 m (Crispim, 2005 in Romariz, 2012).

Nos bordos N e NE, situam-se algumas exurgências periódicas que entram em funcionamento na época das chuvas e cujo caudal verte para o *polje*. Esta depressão que é drenada por vários sumidouros, situados sobretudo junto a Minde, está sujeita a inundações periódicas, ficando transformada em lago.

Deste modo, presume-se que a bacia de alimentação dos Olhos de Água do Alviela seja constituída pela quase

totalidade do Planalto de Santo António que, estrutural e morfologicamente, apresenta declive geral para sul. A rede de fraturas paralelas à Costa de Minde ou que representam o prolongamento para sul da falha da Costa de Alvados e afetam profundamente a metade leste deste planalto, parece também orientar a circulação da água subterrânea no sentido da nascente do Alviela.

A depressão de Minde e as vertentes estruturais a norte e nordeste concorrem também para a alimentação dos Olhos de Água do Alviela, como parece poder deduzir-se das relações entre as direções de carsificação superficial e profunda (Drogue & Almeida, 1984; Crispim, 1995), da organização centrípeta das galerias subterrâneas no contorno do *polje* de Minde (Crispim, 1987) e das traçagens efetuadas (Crispim, 1987, 1995, 2007).

A região do sinclinal de Monsanto apresenta uma compartimentação complexa, mas no essencial, o aquífero do Jurássico médio deverá ser drenado pela nascente do Alviela em virtude da sua proximidade e importância, embora não seja de excluir a existência de difluências nos locais onde o confinamento não for completo.

Crítérios igualmente estruturais e também litológicos (ocorrência de rochas pouco permeáveis do Jurássico inferior) levariam a supor que a falha da Costa de Minde

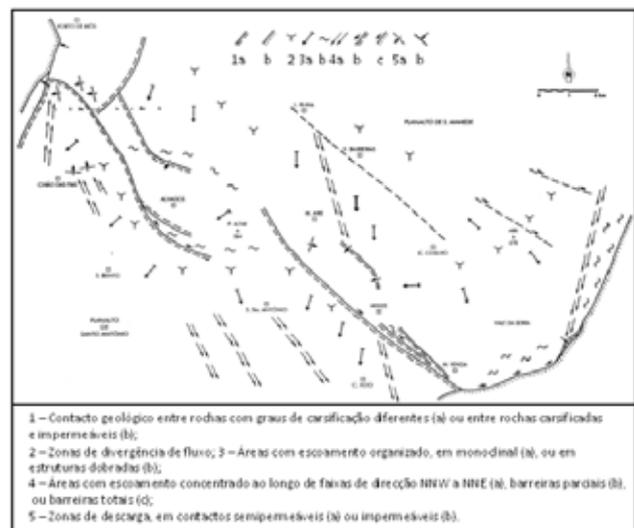
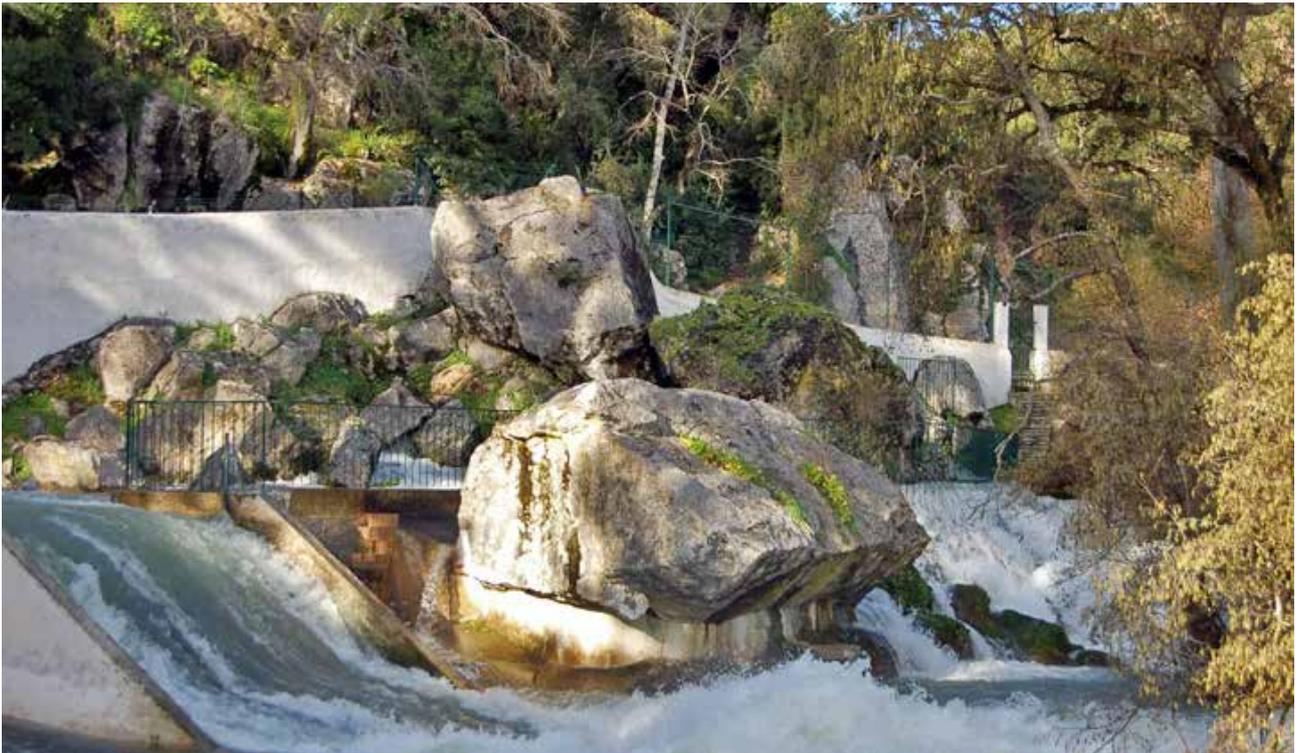


Figura 5.14 Esboço do escoamento subterrâneo nas áreas adjacentes aos *poljes* de Alvados e de Minde (in Crispim, 1995)



146

Figura 5.15a Nascente dos Olhos de Água de Alviela em período de pico de cheia (in <http://www.alviela.cienciaviva.pt/>)

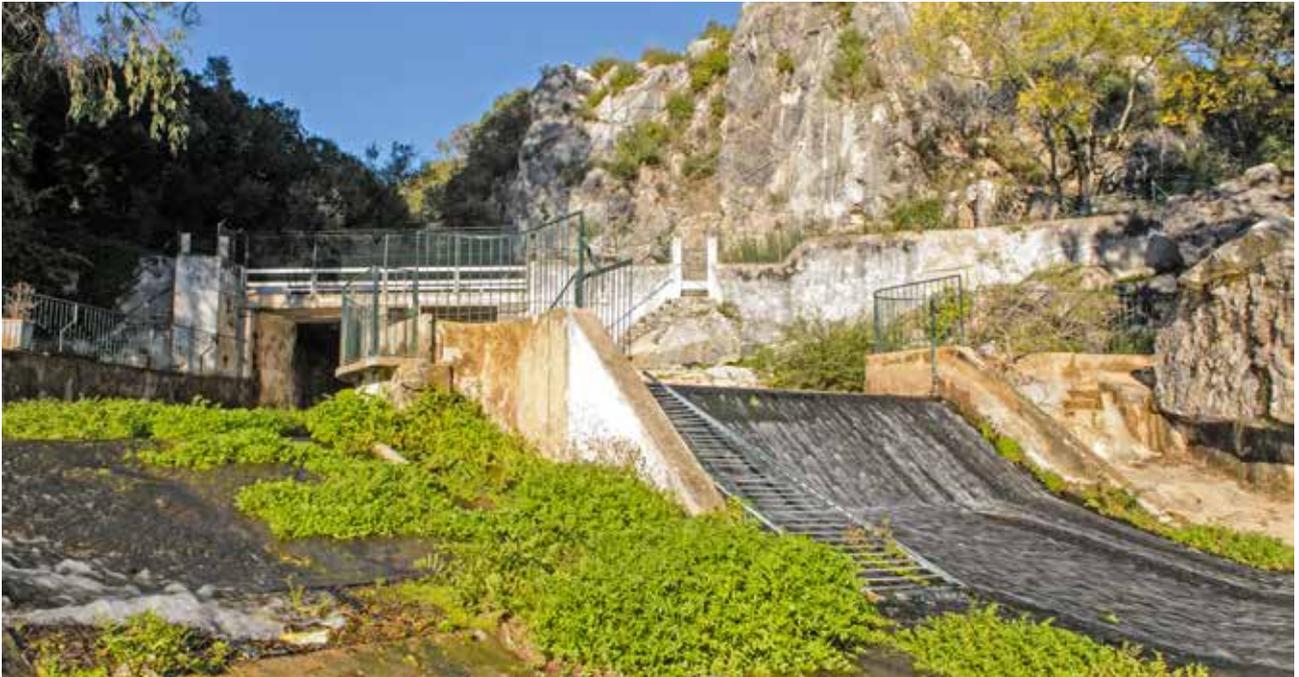


Figura 5.15b Nascente dos Olhos de Água de Alviela em período de seca



147

Figura 5.16a Poço escuro, nascente temporária, em período de pico de cheia, local PE da Figura 5.8 (in <http://www.alviela.ciencia viva.pt/>)

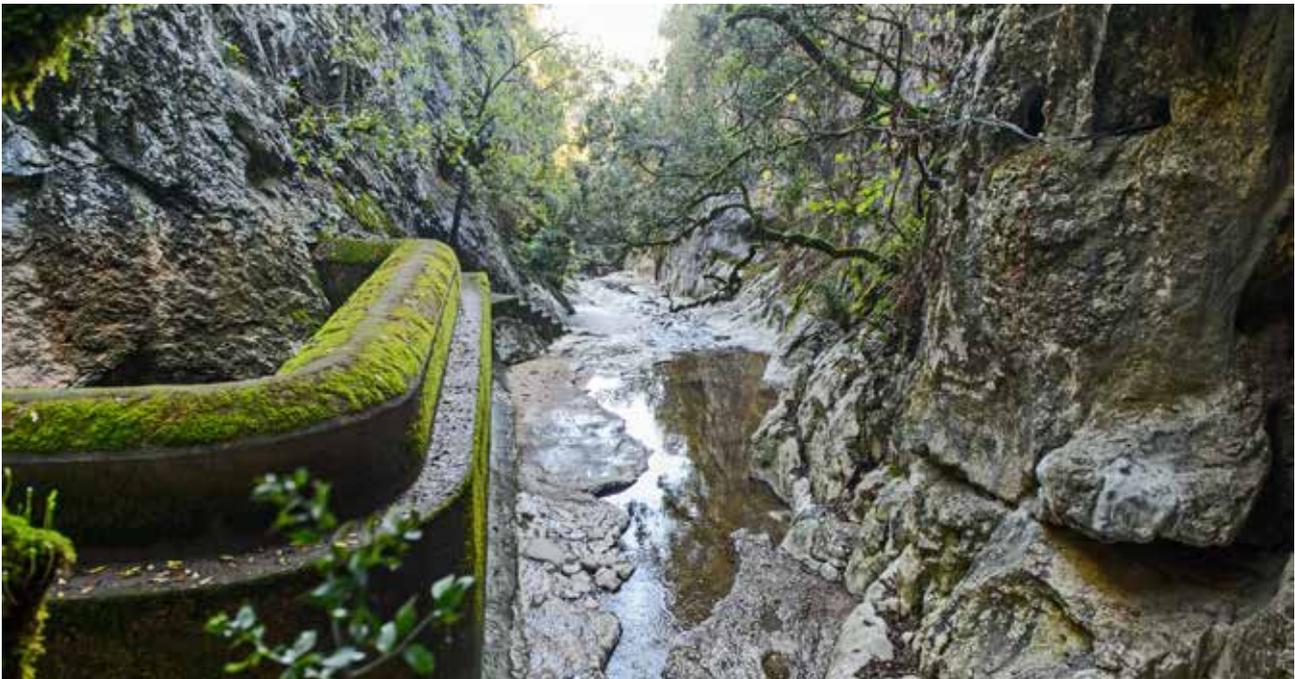


Figura 5.16b Poço escuro, nascente temporária, em período de seca.



Figura 5.17a Saída do canhão da ribeira de Amiais em período de pico de cheia nas nascentes temporárias da vertente esquerda do canhão, local "G" da Figura 5.8 (in <http://www.alviela.cienciaviva.pt/>)



Figura 5.17b Saída do canhão da ribeira de Amiais com as nascentes temporárias em período de seca

constituiria barreira à circulação subterrânea entre o *polje* de Minde e os Olhos de Água do Alviela, mas a investigação espeleológica e a realização de traçagens vieram provar que este *polje*, incluindo as vertentes do Planalto de S. Mamede, drenam para sul em direção às nascentes do Alviela, Vila Moreira e Almonda (Figura 5.14).

O atravessamento do sinclinal de Monsanto pelas águas subterrâneas pode fazer-se através de galerias situadas nas falhas dos Arrifes ou noutras transversais, utilizando ou não, parcialmente, o eixo do sinclinal.

A precipitação média anual da região correspondente ao Maciço Calcário Estremenho é da ordem dos 1.000 a 1.500 mm/ano. Considerando que, da área total do sistema, cerca de 770 km², uma parte é constituída por rochas com menor aptidão aquífera e menor capacidade de infiltração, é provável que os recursos hídricos médios renováveis sejam da ordem dos 300 hm³/ano a 350 hm³/ano (Almeida *et al.*, 2000).

O total escoado através das três nascentes principais, Alviela, Almonda e Fontes (rio Lis), é estimado em cerca de 275 hm³/ano (Almeida *et al.*, 1996), correspondendo ao Lis 60 a 70 hm³/ano. Considerando como válido o valor acima indicado para as entradas, as restantes nascentes debitarão entre 25 e 75 hm³/ano, ou seja, entre 10 e 20 % do total. Alguns autores admitem a possibilidade de existirem saídas, ocultas para os aquíferos da Bacia do Tejo. No entanto, essas saídas, a existirem, seriam difíceis de estimar no estado atual de conhecimentos.

Segundo Almeida *et al.* (2000), a nascente dos Olhos de Água do Alviela apresenta, em período de pico de cheia, descarga superior a 1 hm³/d (Figura 5.15a) e na estação seca registam-se valores bastante mais baixos, inferiores a 30.000 m³/d (Figura 5.15b). A descarga média anual é de 120 hm³/ano.

Além desta nascente permanente, em períodos de maior precipitação, a água emerge através de nascentes temporárias, nomeadamente por extravasamento no Poço Escuro (Figura 5.16a e Figura 5.16b), localizado no leito subaéreo da ribeira dos Amiais, e na vertente esquerda da saída do vale em canhão (Figura 5.17a e Figura 5.17b).

A referida dificuldade de captar água nestes sistemas aquíferos por furos é bem demonstrada no Maciço Calcário Estremenho, onde os dados referentes a sondagens realizadas na sua área, embora escassos, indicam caudais em geral fracos ou nulos: de 28 valores de caudal de exploração, Almeida *et al.* (2000) calcularam a média de 2,3 L/s, o desvio padrão de 4,5 L/s, a mediana de 0,8 L/s e os valores mínimos e máximos de 0 e 20 L/s, respetivamente.

5.3 As captações de Ota e Alenquer e o sistema aquífero Ota-Alenquer

Os furos de captação de Ota e Alenquer localizam-se numa unidade designada por Sistema Aquífero Ota-Alenquer ou O26 na nomenclatura oficial (Almeida *et al.*, 2000), [Figura 5.18](#). Trata-se de um pequeno sistema aquífero cársico com a área de cerca de 9,4 km² que apresentava uma importante vantagem, quando se decidiu o aproveitamento dos seus recursos hídrico para o abastecimento de Lisboa: o aqueduto do Alviela passava relativamente próximo, a oriente ([Figura 5.19](#)).

A formação que constitui o principal suporte litológico do aquífero é conhecida por Formação de Ota e Alenquer (Calcários de Ota, Alenquer e Silveira). Nesta formação, predominam os calcários recifais que, no topo, alternam com grés micáceos com zonas carbonosas (Zbyszewski & Assunção, 1965).

A estrutura regional dominante é o anticlinal da Serra da Ota a que se liga a estrutura sub-horizontal da bacia terciária do Tejo através de falha, possivelmente cavalgante. Na região de Ota-Alenquer, define-se um anticlinal dissimétrico, cortado por diversas falhas, mas que na região sul apresenta inclinações de 20° S, formando uma estrutura quase em doma (Zbyszewski *et al.*, 1966).

A serra Ota-Alenquer (designada também por serra de Ota) é um relevo alongado na direção norte-sul onde se atingem altitudes entre 250 e 300 m e declives acentuados (superiores a 30%). O relevo é cortado nas extremidades pelos entalhes dos rios de Alenquer e de Ota, este forma um impressionante vale em canhão entre as povoações de Atouguia das Cabras e Ota ([Figura 5.20](#)).



Figura 5.18 Delimitação do sistema aquífero Ota-Alenquer com indicação dos campos de captações de Ota e Alenquer

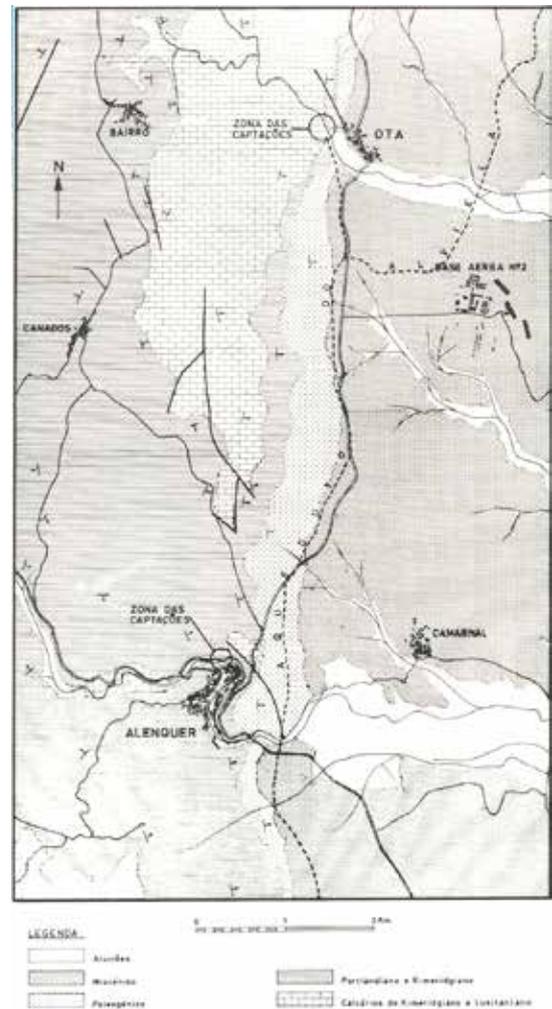


Figura 5.19 As captações de Ota e de Alenquer e o trajeto do aqueduto do Alviela



Figura 5.20 Vale em cânhão do rio de Ota com depósito de cascalheira (in pt.wikiloc.com)

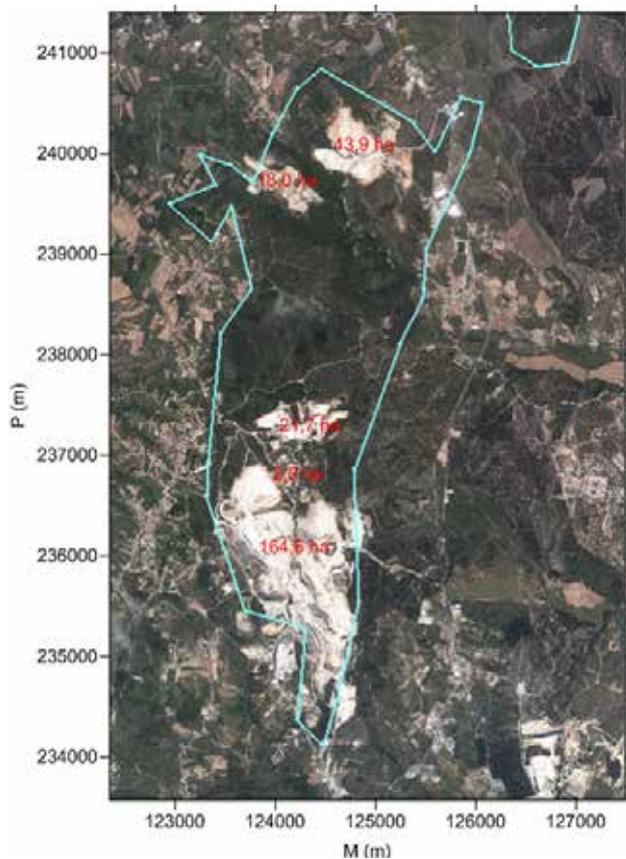


Figura 5.21 Localização e áreas dos núcleos de pedreiras na área do sistema aquífero Ota-Alenquer: a norte, o núcleo de Atouguia e a sul, o núcleo de Alenquer; as linhas poligonais fechadas de cor verde delimitam a zona intermédia do perímetro de proteção das captações de Ota e de Alenquer

A exploração das pedreiras nos núcleos de Alenquer e de Atouguia, principalmente no primeiro, tornou quase irreconhecível a geomorfologia da serra de Ota em largas extensões (Figura 5.21 e Figura 5.22).

A morfologia cársica aparece nos cumes onde a vegetação e a ausência de sedimentos permitem observar lapiás com fraco desenvolvimento vertical. São conhecidas algumas cavidades relacionadas com a zona de exurgência das nascentes de Ota e de Alenquer ou inter-setadas pelas frentes de pedreiras (Figura 5.23).

A serra de Ota-Alenquer é drenada por duas redes de linhas de água de configuração dendrítica. Na parte sul, que inclui o núcleo de pedreiras de Alenquer, a rede hidrográfica com origem em ambas as encostas da serra conflui em direção ao rio de Alenquer (Figura 5.24). A norte, incluindo as pedreiras de Atouguia, o escoamento superficial faz-se através da rede hidrográfica do rio de Ota, que nasce na vertente sul na serra de Montejunto à altitude de cerca de 450 m. A maior parte da área das duas bacias desenvolve-se em formações detríticas do Jurássico superior, a que se acrescentam formações de tipo litológico semelhante do Paleogénico e do Cretácico, no caso da bacia do rio de Ota.

Normalmente, os rios são grandes eixos de drenagem dos sistemas aquíferos adjacentes. É o caso dos rios Alenquer e Ota que drenam o sistema cársico de Ota-Alenquer e, por consequência, recebem escoamentos do maciço calcário através das grandes fraturas e estruturas cársicas e das fissuras e poros de pequenas dimensões. Os vários escoamentos podem estar interligados e/ou serem independentes, com níveis piezométricos distintos.

Em períodos de cheia, quando o nível da água naquelas linhas de água sobe acima do nível piezométrico no sistema aquífero, a água passa dos rios para as margens, dando lugar a um armazenamento de água nos terrenos marginais e nas estruturas cársicas adjacentes (*bank storage*). Logo que o nível da água desce nos rios, o sentido do escoamento inverte-se e o esvaziamento deste armazenamento é responsável pelo aumento da contribuição subterrânea para o escoamento superficial.



Figura 5.22 Alteração da geomorfologia pelas pedreiras



Figura 5.23 Frente de desmorte de uma pedra com uma galeria de pequeno diâmetro perto da superfície, associada a fraturação sub-vertical (foto do autor)

A recarga pelos rios é difícil de quantificar, é complemento da recarga pelas precipitações sobre os afloramentos e influencia a qualidade da água subterrânea e os processos de contaminação dos aquíferos e captações.

O clima, na região de Ota/Alenquer, com influência mediterrânica e atlântica, apresenta verões quentes e secos e invernos frios e chuvosos. De acordo com a classificação climática de Köppen, é um clima do tipo Csa (Grupo C=clima temperado, Tipo s=chuvas de inverno e a=verão quente).

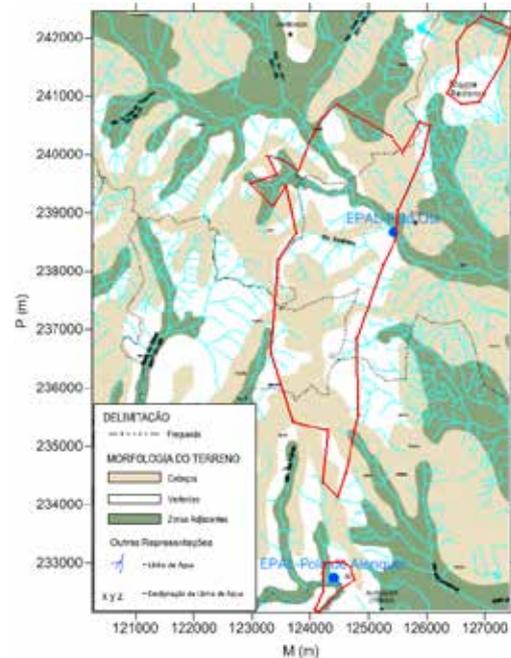


Figura 5.24 Rede hidrográfica na área envolvente da zona de delimitação do sistema aquífero de Ota-Alenquer (adaptado do mapa Morfologia do Terreno do Plano Diretor Municipal de Alenquer)



Figura 5.25 Delimitação da área de recarga do sistema aquífero Ota-Alenquer e das captações de Ota e Alenquer (Grandewater, 2008)

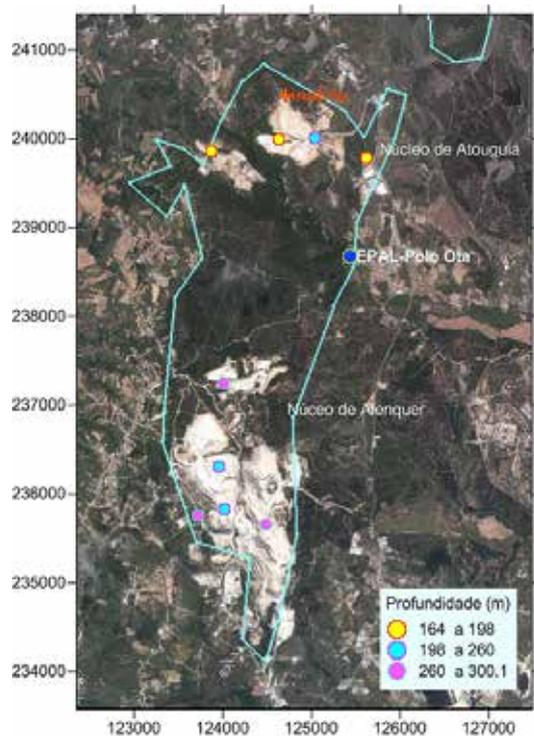


Figura 5.26 Localização dos furos de captação de água na área do sistema aquífero onde se situam as pedreiras dos núcleos de Alenquer e de Atouguia

Existem argumentos fortes para admitir que o pequeno afloramento dos calcários de Ota-Alenquer apenas constitui uma pequena fração visível do sistema aquífero. A conexão hidráulica entre o bloco constituído pelos referidos calcários e um aquífero que teria como suporte os calcários do Jurássico médio e superior da serra de Montejunto (Figura 5.25) parece ser o modelo mais aceitável (Almeida *et al.*, 2000).

Esta possibilidade é alicerçada nalgumas considerações que se podem fazer através do estudo comparativo entre os valores da precipitação e dos caudais extraídos dos poços de Ota e Alenquer. Por exemplo, se o caudal extraído em 1991 (26,37 hm³) tivesse sido infiltrado nos afloramentos do sistema aquífero teria de ter havido a recarga de 2.800 mm, valor que seria mais de 4 vezes a precipitação ocorrida naquele ano (645 mm em Ota, 631 mm em Alenquer e 520 mm em Pragança). Neste balanço não estão considerados os caudais de exurgências temporárias e das extrações de captações privadas bem

como a evapotranspiração que a sê-lo desequilibraria ainda mais aquele balanço.

Almeida *et al.* (2000), considerando como valor mínimo dos recursos renováveis cerca de 25 hm³/ano, conclui que a área total da superfície onde se dá a recarga deverá aproximar-se de 50 km² (recarga de 500 mm/ano): cerca de 10 km² de afloramentos da Serra de Ota-Alenquer e os restantes 40 km² de afloramentos na serra de Montejunto.

Este modelo também é apoiado pelo facto de não serem conhecidas exurgências importantes junto aos limites da serra de Montejunto, apesar de esta possuir características de carsificação, que indiciam uma capacidade de recarga importante.

No Plano de Gestão de Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste de 2016, o estado global quantitativo e qualitativo da massa de água (sistema aquífero) Ota-Alenquer é classificado de bom. A disponibilidade hídrica subterrânea com a eventual contribuição dos calcários do Jurássico da serra de Montejunto é considerada de 24,89 hm³/ano, o consumo de 7,1 hm³/ano, a taxa de exploração de 28,5 % e a disponibilidade hídrica subterrânea por unidade de área perfaz 2,65 hm³/km².ano.

A taxa de exploração é baixa. Considerando que a exploração poderá ir até 90 % da recarga (n.º 3 do artigo 7º da Portaria 1115/2009), os recursos ainda por explorar seriam de 15,3 hm³/ano. Sem a contribuição estimada da serra de Montejunto, os recursos hídricos disponíveis seriam apenas de 3,89 hm³/ano.

A extração de água do sistema aquífero destina-se, em 97 % do volume, ao abastecimento público (campos de captação da EPAL de Ota e Alenquer).

Segundo o Plano de Gestão da Bacia do Tejo de 2012, as pressões qualitativas sobre o sistema aquífero atuavam predominantemente através de fontes tóxicas: 382 kg de CQO (carência química de oxigénio), 191 kg/ano de CBO5 (carência bioquímica de oxigénio após 5 dias de incubação), 15 kg/ano de P_{total} (fósforo total) e 5 kg/ano de N_{total} (Azoto total). Relativamente às origens

difusas, aquele plano apenas indica o valor de 0,2 kg/ano de N_{total} , atribuído à agricultura.

Além dos furos dos campos de captação da EPAL de Alenquer e de OTA, há outros furos, localizados nos núcleos de pedreiras de Alenquer e de Atougua (Figura 5.26). São bastante mais profundos e menos produtivos que os furos de captação da EPAL. A média e o desvio padrão da profundidade (nove valores) são de 218 e 46 m, respetivamente; os valores das mesmas estatísticas do caudal de exploração (seis valores) são 1,50 e 0,43 L/s, respetivamente.

As vulnerabilidades ou constrangimentos principais do sistema aquífero e das captações de Ota e Alenquer derivam das propriedades naturais do sistema aquífero e que são descritas muito simplesmente pelo adjetivo cársico. Inclui a recarga concentrada, o escoamento rápido e turbulento por galerias de dissolução dos calcários e o muito baixo poder depurador e de retenção de contaminações.

Outras vulnerabilidades das captações, relacionadas com as condições naturais, são a sua localização junto às margens dos vales profundos dos rios de Alenquer e de Ota, de que o sistema aquífero é subordinado, e as variações sazonais da precipitação atmosférica, características dos climas temperados mediterrânicos: estação quente e seca e estação fria e húmida. As relações dominantes de causa/efeito entre o rio e as captações são as flutuações do nível freático e a turvação da água das captações.

As vulnerabilidades principais relacionadas com causas artificiais ou antrópicas têm a ver com a qualidade da água nos rios Alenquer e Ota e a exploração de pedreiras.

As vulnerabilidades resultantes de causas naturais não são ultrapassáveis pois fazem parte das características e das condições de fronteira do sistema. A melhor solução de minimização do risco de contaminação do sistema aquífero é a prevenção através da educação ambiental, das boas práticas agrícolas e do cumprimento das normas legais que regem a atividade industrial e agropecuária.

Figura 5.27 Os vales afluentes dos Banhos (à esquerda) e do Pedregal (à direita) na vertente esquerda do vale do rio de Alenquer (Foto: Fleury, 1944 / Imagem cedida por EPAL-CDHT)

5.3.1 As captações de Alenquer

Em 1934, o governo Português autorizou a utilização das emergências de água dos calcários jurássicos da zona de Alenquer, com a finalidade de dominar rapidamente a crise de água que se tinha instalado na zona de Lisboa.

As emergências de Alenquer localizavam-se na confluência de dois pequenos vales (vale dos Banhos e vale do Pedregal) com o vale do rio de Alenquer (Figura 5.27). As nascentes mais abundantes brotavam de fendas nos calcários jurássicos, na margem esquerda do rio. Outras ocorriam no próprio leito e em menor número na margem direita.

A água que brotava das fendas dos calcários no vale do Pedregal era controlada por fraturas de orientação NN-W-SSE e as do vale dos Banhos e da Lapa dos Morcegos (Figura 5.28) por fraturas de orientação NE-SW.

As nascentes do vale dos Banhos forneciam água ao lavadouro público, à indústria e à povoação de Alenquer; as nascentes do vale de Pedregal (Figura 5.29) eram menos produtivas que as anteriores; as nascentes no leito do rio estavam localizadas a cotas cerca de três metros abaixo daquelas.

O volume de água debitado pelas emergências de Alenquer, em 1944, era estimado em 30.000 m³/d. As águas





Figura 5.28 Vista exterior da Lapa dos Morcegos



Figura 5.29 Antiga captação da base do vale de Pedregal, com o seu lavadouro temporário dos períodos pluviosos (Foto: Fleury, 1944 / Imagem cedida por EPAL-CDHT)



Figura 5.30 Extração de água na base do suporte da estrada a alguns metros do açude no rio Alenquer (Foto: Fleury, 1944 / Imagem cedida por EPAL-CDHT)

eram consideradas quimicamente de boa qualidade e bacteriologicamente de má qualidade, devido à sujidade existente nas proximidades das nascentes.

Uma simples derivação por bombeamento, nas correntes particularmente fortes de uma emergência na margem esquerda do rio de Alenquer, permitiu obter um caudal diário de 20.000 a 25.000 m³. As condições higiénicas da derivação (Figura 5.30) justificaram severas críticas e, desde 1939, ou mesmo anteriormente, a Comissão de Fiscalização das Obras de Abastecimento de Água à cidade de Lisboa lutou para melhorar esta situação que devia ser provisória (Fleury, 1944).

Como primeira medida, o senhor engenheiro R. Teixeira Duarte, depois de um reconhecimento do leito do rio por uma série de sondagens pouco profundas, fez uma captação (a "P. Rio" da Figura 5.31), que representou um progresso incontestável, mas que seria insuficiente e teria os defeitos da sua localização na albufeira de um açude (Fleury, 1944).

Numa primeira fase de pesquisa orientada pelo senhor professor E. Fleury, em 1944/45, foram realizadas oito furos na margem esquerda do rio de Alenquer: AL1 a AL8 da Figura 5.31.

Os trabalhos seriam retomados em 1955 e iniciada a segunda fase da pesquisa com uma campanha de prospeção geolétrica realizada pela empresa Site Investigation Company, Ltd, de que resultou a localização de dois novos furos de pesquisa (AL9 e AL10).

Na terceira fase de pesquisa em 1955-56 foram executados dois novos furos: o AL11 e o AL12, o primeiro mais profundo que os anteriores (138 m) para esclarecer dúvidas sobre o comportamento das camadas margosas em profundidade e também para verificar as características dos níveis aquíferos a leste das nascentes.

Os trabalhos de pesquisa terminaram em 1958 com a construção de dois novos furos (AL13 e AL14) para reconhecimento da margem direita do rio de Alenquer.

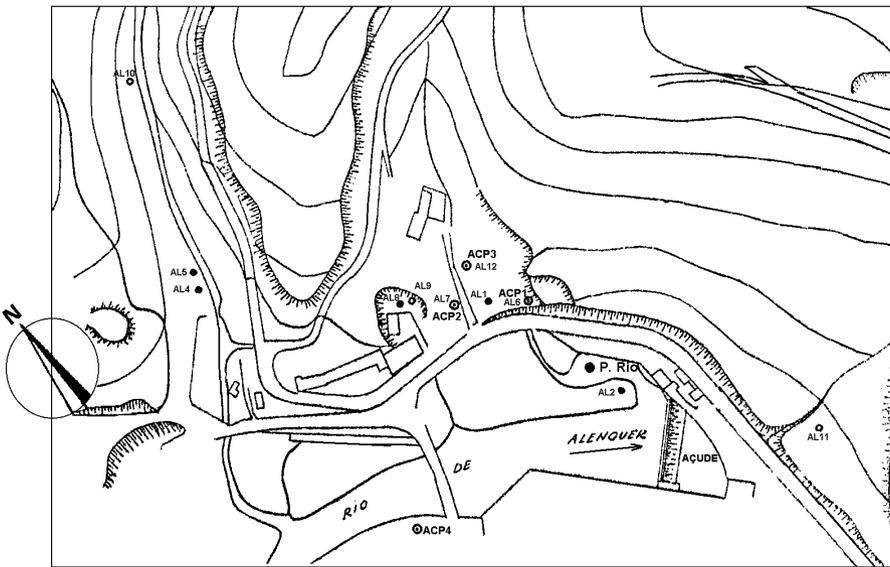
Os furos de captação ACP1, ACP2 e ACP3 foram construídos no Vale do Pedregal, na margem esquerda do rio: em 1959, o ACP1 e em 1960, os ACP2 e ACP3 que substituíram as pesquisas AL6, AL7 e AL12, respetivamente. Na margem direita, em 1962, foi construído o furo de captação ACP4, para substituição do furo de pesquisa AL14 (Figura 5.31).

Das captações existentes, os furos ACP1 a ACP3 localizam-se no recinto da EPAL, na margem esquerda do rio de Alenquer, e o ACP4 junto à margem direita do rio, num largo denominado Sítio das Águas.

A Figura 5.32 ilustra os trabalhos e os equipamentos utilizados na construção dos furos de pesquisa e captação.

No total foram executados 1.182,4 m de furos de pesquisa e 188,5 m de furos de captação. A média e o desvio padrão da profundidade dos furos de pesquisa (14 valores) são 84,5 e 23,6 m, respetivamente; as mesmas estatísticas da profundidade dos furos de captação (4 valores) são menores, 47,1 e 14,4 m, respetivamente.

As características geométricas das captações são apresentadas no Quadro 5.1.



Pesquisas - 1ª FASE (194749): AL1, 2, 4, 5, 6, 7, 8
2ª FASE (1956) (Site investigation) AL9, 10
3ª FASE (19566) (da empreitada) AL11, AL12

CAPTAÇÕES- ACP1, ACP2, ACP3, ACP4

Figura 5.31 Localização de trabalhos de pesquisa e captação na margem esquerda do rio Alenquer

155



Figura 5.32 Trabalhos de construção dos furos de captação em Alenquer (in Oliveira, 1956 / Imagens cedidas por EPAL-CDHT)

Designação	Profundidade da perfuração (m)	Profundidade do tubo fechado (m)	Diâmetro inicial e final da tubagem (mm)	Tipo de tubo fechado	Zona de captação (profundidade, m)	
					Tubo ralo	"Open hole"
ACP1	26,50	22,64	740	Aço	—	22,64-26,50
ACP2	52,00	18,85	740	Aço	—	18,85-52,00
ACP3	60,00	21,00	790	Aço	10,27-21,00	21,00-60,00
ACP4	50,00	22,42	790	Aço	12,00-22,42	22,42-50,00

Quadro 5.1 Profundidade da perfuração e características da coluna de revestimento definitivo das captações ACP1 a ACP4 de Alenquer

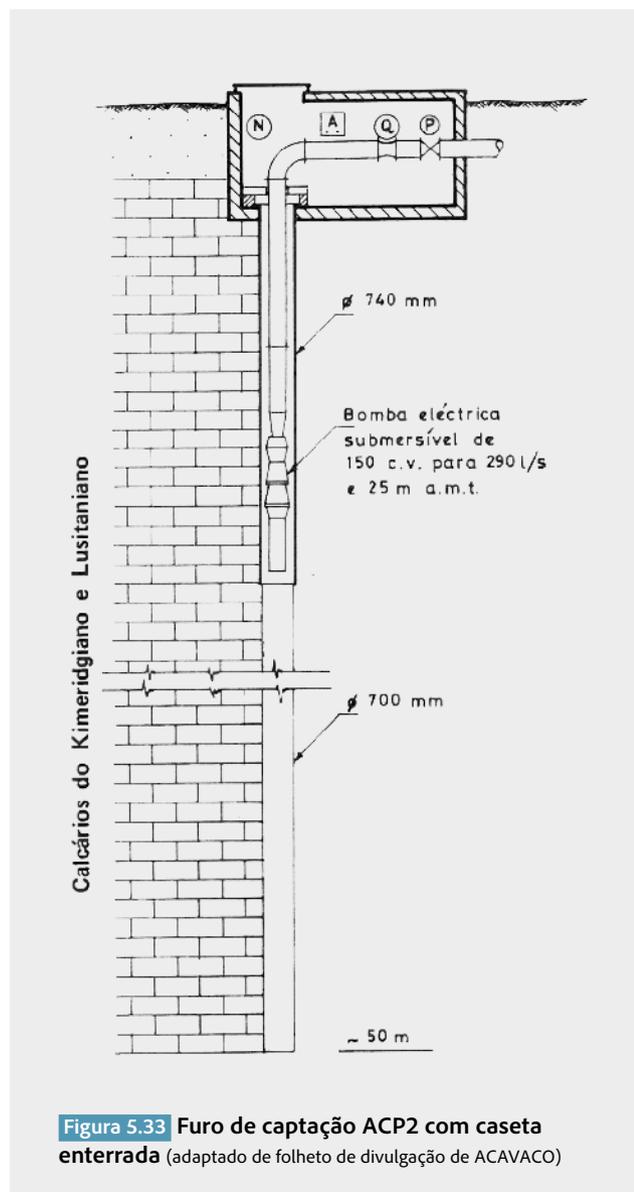


Figura 5.33 Furo de captação ACP2 com caseta enterrada (adaptado de folheto de divulgação de ACAVACO)

O corte ou perfil do furo de captação ACP2, que pode ser considerado como um perfil-tipo, está representado na [Figura 5.33](#).

Na [Figura 5.34](#) (Oliveira, 1956) ilustra-se a técnica construtiva utilizada na transformação de um furo de pesquisa em furo de captação. Nesta figura consideram-se seis tarefas principais: 1) construção do antepoço revestido com uma coluna de diâmetro 1000 mm para proteção da zona descomprimida do maciço e segurança nas fases seguintes; 2) alargamento da perfuração com trépano para diâmetro de 800 mm até 20 m de profundidade; 3) descida e colocação da coluna de revestimento definitivo de diâmetro 740 mm, com tubo ralo de 15,00 a 18,00 m de profundidade; 4) ensaio de produtividade da zona alargada até 20,00 m de profundidade; 5) alargamento do furo de pesquisa até 50 m de profundidade para diâmetro de 700 mm e, no final, 6) retirada do revestimento de 1000 mm do antepoço e cimentação do espaço anelar entre a perfuração e a tubagem de revestimento do furo, para proteção sanitária.

No [Quadro 5.2](#) apresentam-se os resultados de ensaios de produtividade dos furos de captação ACP1 a ACP3 realizados após a sua construção. Trata-se de furos muito produtivos e de elevado caudal específico.

Em 1962 realizou-se o ensaio de produtividade do furo de captação ACP4 ao mesmo tempo que os ACP1, ACP2 e ACP3 se mantinham em bombeamento. Durante o ensaio, o somatório do caudal atingiu o valor de 800 L/s (69.120 m³/d).

Dos ensaios de bombeamento, realizados com os três furos de captação da margem esquerda, isoladamente

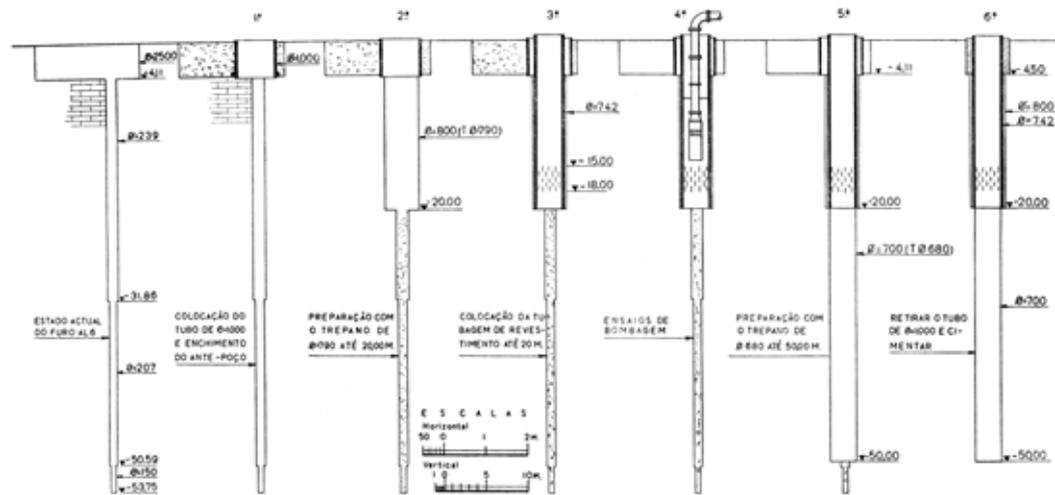


Figura 5.34

Transformação de um furo de pesquisa em furo de captação
(in Oliveira, 1956 / Imagem cedida por EPAL-CDHT Imagem cedida por EPAL-CDHT)

e em conjunto, concluiu-se que os furos ACP1 e ACP2 pouca influência têm um com o outro, mas o ACP3 é fortemente influenciado por ambos.

5.3.2 A exploração recente dos furos de captação de Alenquer

O caudal de exploração nos últimos cinco anos (10/10/2011 a 06/12/2016) foi de 750 m³/h na captação ACP1, a ACP2 praticamente não foi explorada, a ACP3 extraiu cerca 300 m³/h e da ACP4, que é explorada episodicamente pela Câmara Municipal de Alenquer através de protocolo com a EPAL, não se conhecem o caudal e o esquema de exploração. O caudal médio de exploração no campo de captação de Alenquer foi de 535 m³/h com o desvio padrão de 255 m³/h e com picos de exploração até cerca de 1.000 m³/h. O caudal de exploração, depois

de uma subida a partir de 2001, nos últimos cinco anos mostra tendência para descida.

Tanto a trajetória do caudal como a do nível da água apresentam elevado "ruído". Isto é, os níveis de água medidos nas captações são uma simbiose entre níveis hidrostáticos e níveis hidrodinâmicos (caudal nulo e caudal variável) a que se associam erros das leituras automáticas (Figura 5.35). Os níveis da água mostram tendência para a subida e apresentam oscilações regulares provocadas pela sazonalidade no que são acompanhadas por oscilações idênticas do caudal de exploração.

O caudal das três captações exploradas pela EPAL é muito variável (Figura 5.36) e mostra tendência decrescente, que é estatisticamente significativa para o nível de confiança de 95% (teste de Mann-Kendall).

157

Furos de captação	No verão				No inverno			
	Caudal (m ³ /d)	NHE cotado (m)	NHD cotado (m)	Caudal específico (L/s/m)	Caudal (m ³ /d)	NHE cotado (m)	NHD cotado (m)	Caudal específico (L/s/m)
ACP1	20 000 231 L/s	+25,80	+24,35	159,31	30 000 (347 L/s)	+25,80	+23,65	161,40
ACP2	20 000 (231 L/s)	+26,75	+22,70	57,78	20 000 (231 L/s)	+26,75	+22,70	57,04
ACP3	10 000 (116 L/s)	+26,30	+23,00	35,15	10 000 (116 L/s)	+26,30	+23,00	35,15

Quadro 5.2 Resultados de ensaios de produtividade dos furos de captação de Alenquer realizados quando da sua construção (NHE = Nível hidrostático, NHD = Nível hidrodinâmico)

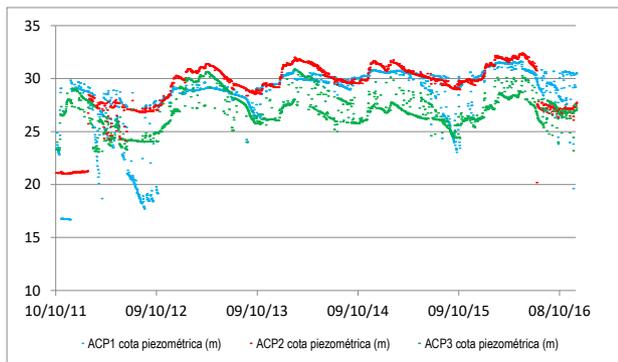


Figura 5.35 Evolução da cota piezométrica da água nas captações de água subterrânea do campo de Alenquer

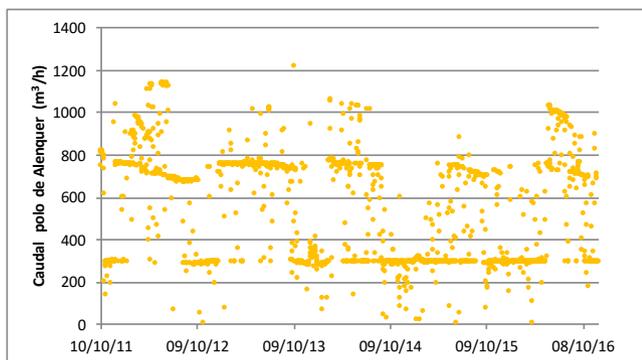


Figura 5.36 Caudal conjunto das captações do campo de captação de Alenquer (m^3/h)

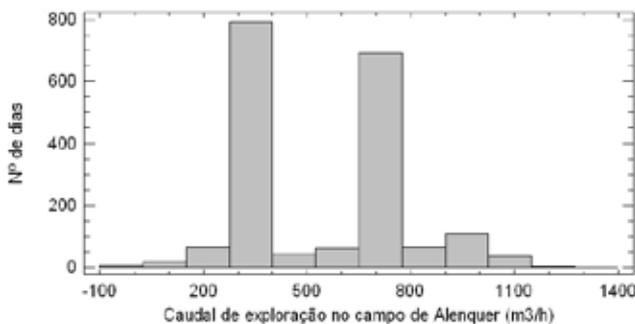


Figura 5.37 Histograma do caudal de exploração do campo de captação de Alenquer

Há duas classes dominantes de valores do caudal bombeado no campo de captação de Alenquer (Figura 5.36 e Figura 5.37): a exploração com caudal entre 275 e 400 m^3/h utilizada em 792 dias e com caudal entre 650 e 775 m^3/h efetivada em 692 dias. Na primeira classe domina a exploração da captação ACP3 e na segunda da captação ACP1.

Compreende-se que, um esquema tão diversificado de bombeamento e uma gama tão extensa do caudal extraído em cada captação e no conjunto de captações do campo provoque perturbação na evolução natural dos níveis da água, como antes se mencionou.

A água das captações de Alenquer é de fácies bicarbonatada cálcica com elevada estabilidade composicional: na Figura 5.38 estão representadas 248 análises da água das captações ACP1 a ACP3. Este facto, juntamente com a sobressaturação em carbonato de cálcio, significa que a água da recarga teve tempo para se equilibrar e se sobressaturar relativamente ao carbonato de cálcio. Esta conclusão vai no sentido de admitir uma recarga longínqua.

A composição relativa da água do rio Alenquer é do mesmo tipo que a dos furos, mas relativamente mais rica em sulfato e cloreto e em magnésio e sódio cujas origens, em parte, podem ser de natureza antropogénica. A condutividade elétrica (CE) da água do rio Alenquer ($796 \mu\text{S}/\text{cm}$) é superior à da média da água das captações ($529 \mu\text{S}/\text{cm}$), Figura 5.39.

A água das três captações de Alenquer está sobressaturada relativamente ao CaCO_3 e por isso é suscetível de provocar incrustações nas canalizações. A da captação ACP3 é a de índice de saturação (IS) mais elevado em média e na mediana e, por conseguinte, a mais instável quanto à precipitação de CaCO_3 (Figura 5.40).

As correlações entre os parâmetros físico-químicos da água das captações são em geral fracas ou não são estatisticamente significativas para o nível de confiança de 95 %. Com efeito, à primeira vista, não seria de esperar que águas bicarbonatadas cálcicas, cuja matriz físico-química deriva da dissolução dos calcários, apresentassem coeficientes de correlação entre a alcalinidade e o cálcio

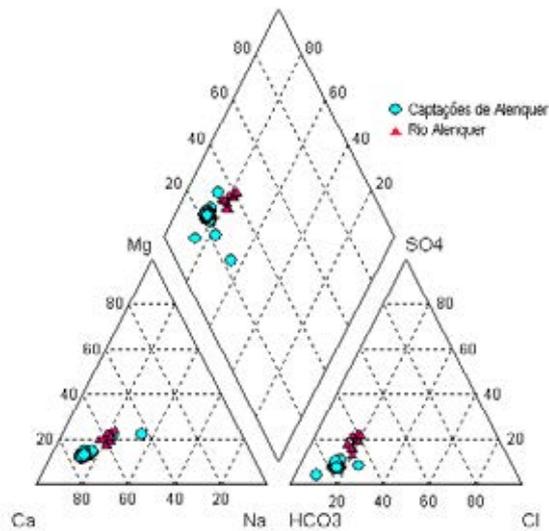


Figura 5.38 Fácies da água das captações e do rio de Alenquer

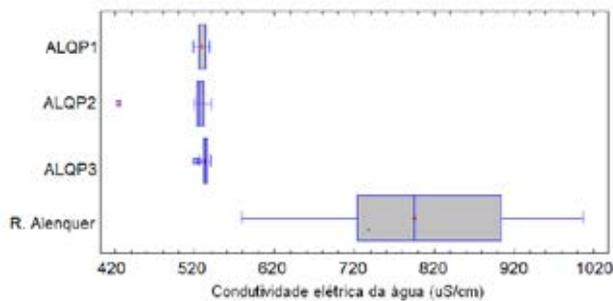


Figura 5.39 Comparação gráfica das amostras da condutividade elétrica da água dos furos de captação e do rio Alenquer

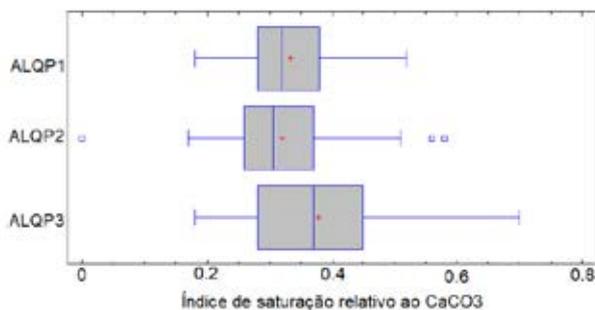


Figura 5.40 Comparação do IS de Langelier da água das captações do campo de Alenquer

tão baixos e alguns negativos como na água dos ACP2 = -0,045 e ACP3 = 0,075. Este facto só é entendível, tendo em conta a sobressaturação da água relativamente ao CaCO_3 , e se as alterações de concentração do cálcio e da alcalinidade forem de natureza aleatória (artificial e/ou natural).

As tendências das séries temporárias são diferentes de captação para captação: a tendência crescente da CE e a tendência decrescente da alcalinidade e do sulfato são comuns às três captações.

5.3.3 As captações de Ota

O campo de captação da Ota fica localizado cerca de 6 km a NNE do campo de Alenquer, na margem direita do rio da Ota, quando este sai do vale em canhão, com escarpas a pique e cones de cascalheiras, que se inicia em Atouguia das Cabras. As atuais captações estão a jusante das antigas nascentes cársicas.

Numa primeira fase de pesquisa orientada pelo Prof. E. Fleury, em 1949, foram realizadas duas sondagens na margem direita do rio (O1 e O2), Figura 5.41. Posteriormente foi construído um terceiro furo na margem esquerda (O3). Nos furos O1 e O2, interetou-se um nível aquífero importante, não encontrado na sondagem O3.

Em 1955/1956, decorreu a 2ª fase de construção de furos de pesquisa: executaram-se os furos O4 e O5, depois de uma campanha de prospeção geolétrica de âmbito local, realizada pela empresa Site Investigation Company, Ltd. Posteriormente, numa terceira fase de pesquisa, foram construídos os furos O6 a O10.

Em 1959, finalmente, construíram-se três furos de captação: ACP1, ACP2 e ACP3 (Figura 5.42).

No total executaram-se 968 m de furos de pesquisa e 189 m de furos de captação. A média e o desvio padrão da profundidade dos furos de pesquisa (10 valores) são 96,8 e 57,9 m, respetivamente; as mesmas estatísticas da profundidade dos furos de captação (3 valores) são menores, 63,0 e 49,4 m, respetivamente. As características geométricas das captações são apresentadas no Quadro 5.3.

Designação	Profundidade da perfuração (m)	Profundidade do tubo fechado (m)	Diâmetro inicial e final da tubagem (mm)	Tipo de tubo fechado	Zona de captação (profundidade, m)	
					Tubo ralo c/ fendas em quincôncio	"Open hole"
ACP1	32,50	21,38	500 mm	Aço	—	21,38-32,50
ACP2	36,60	21,11	500 mm	Aço	—	21,11-36,60
ACP3	120,00	115,00	730 e 570mm	Aço	76,20-115,00	—

Quadro 5.3 Profundidade da perfuração e características da coluna de revestimento definitivo das captações ACP1 a ACP3 de Ota

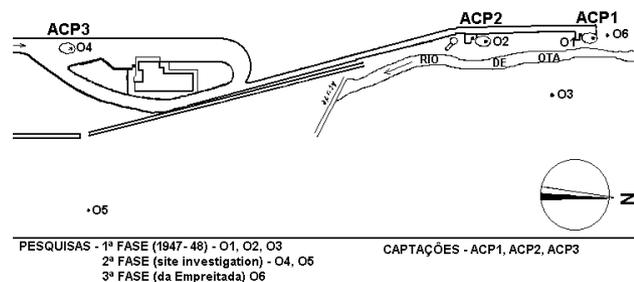


Figura 5.41 Localização de furos de pesquisa e de captação na Ota

No **Quadro 5.4**, apresentam-se os resultados de ensaios de produtividade dos furos de captação ACP1 a ACP3 realizados após a sua construção. Os níveis da água são referidos à superfície do terreno. Trata-se de furos muito produtivos e de elevado caudal específico, embora muito abaixo dos furos de captação de Alenquer. A comparação é feita com valores obtidos a partir de ensaios à data da construção e, por conseguinte, em condições climáticas eventualmente distintas.

Na **Figura 5.43**, ilustram-se o equipamento e as condições de realização dos ensaios de bombeamento nos furos do campo de Ota.

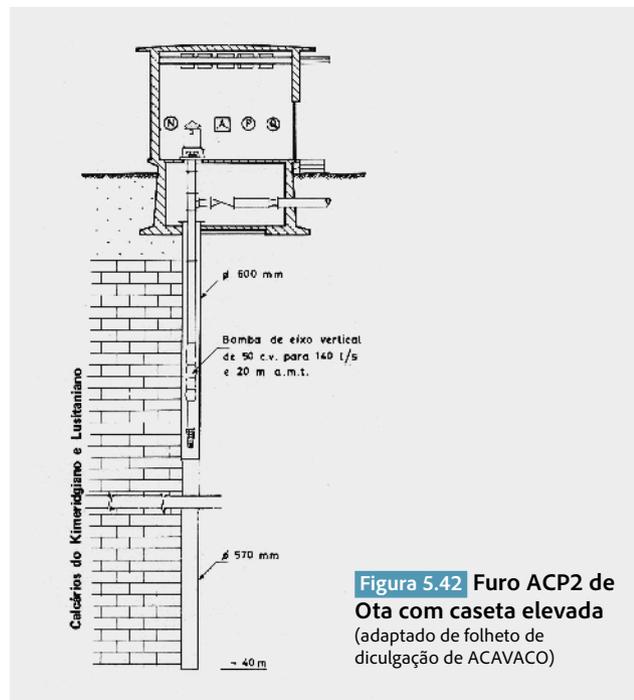


Figura 5.42 Furo ACP2 de Ota com caseta elevada (adaptado de folheto de divulgação de ACAVACO)

Designação	NHE (m)	NHD (m)	Caudal (L/s)	Caudal específico (L/s/m)
ACP1	0,00	-11,00	140	12,7
ACP2	+ 0,50	-15,00	140	9,0
ACP3	+ 2,00	-12,00	140	10,0

Quadro 5.4 Resultados dos ensaios de produtividade dos furos de captação de Ota (os níveis da água são referidos à superfície do terreno)

5.3.4 A exploração recente dos furos de captação de Ota

À semelhança do que se considerou para o campo de captações de Alenquer, também aqui se toma o intervalo de tempo de estudo de cinco anos, que vai de 10/10/2011 a 06/12/2016.



Figura 5.43 Ilustração do equipamento e das condições de realização dos ensaios de produtividade dos furos de captação de Ota (in Oliveira, 1956 / Imagens cedidas por EPAL-CDHT)

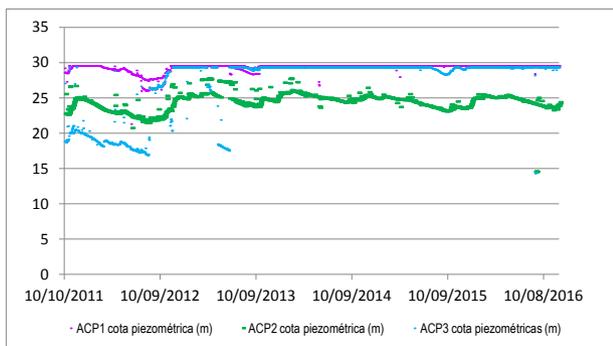


Figura 5.44 Evolução da cota piezométrica da água nas captações do campo de Ota

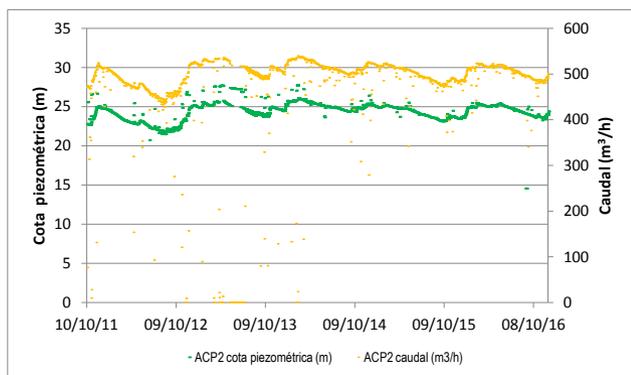


Figura 5.45 Evolução da cota piezométrica da água e do caudal bombeado na captação ACP2 de Ota

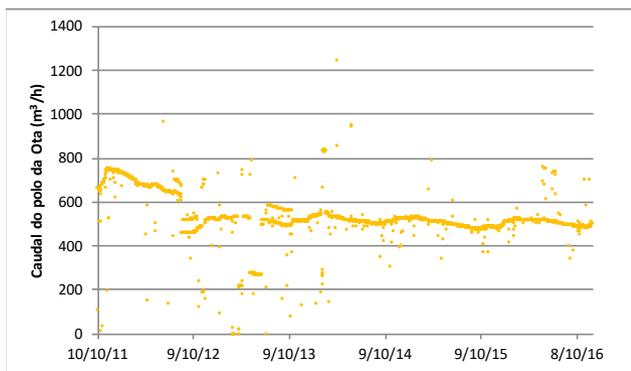


Figura 5.46 Caudal conjunto das captações do campo de captação Ota (m³/h)

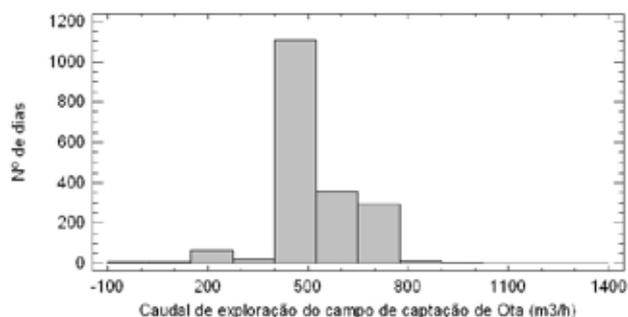


Figura 5.47 Histograma do caudal de exploração do campo de captação de Alenquer

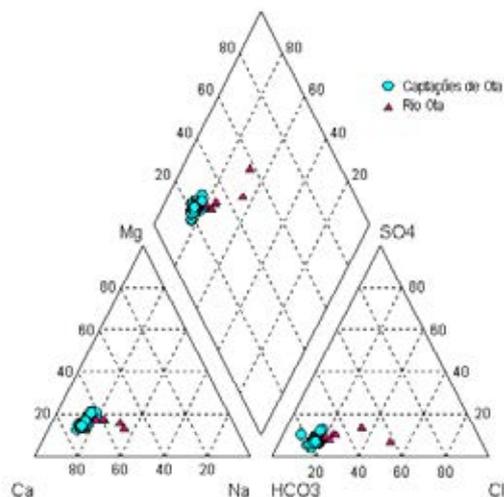


Figura 5.48 Fácies da água das captações e do rio de Ota

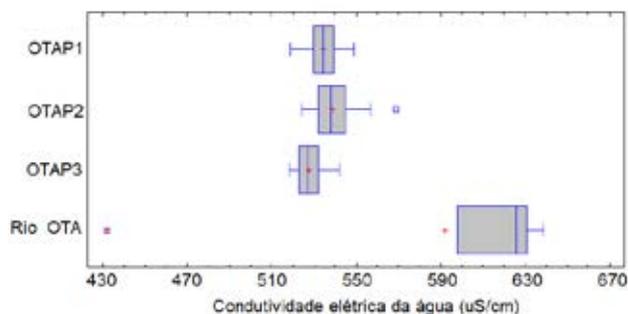


Figura 5.49 Comparação gráfica das amostras da condutividade elétrica da água dos furos de captação e do rio Ota

No campo de captações da Ota existem três captações operacionais ACP1, ACP2 e ACP3. O nível da água nas captações ACP1 e ACP3 referem-se, essencialmente, ao nível hidrostático e na ACP2 ao nível hidrodinâmico. O nível hidrostático medido naquelas duas captações esteve quase sempre suficientemente elevado para igualar ou ultrapassar o limite superior do intervalo de medição das sondas.

A série temporal do nível da água de 2011 a 2016 da captação ACP2, sem qualquer censura de dados, mostra evidência estatística significativa de tendência crescente, com algum ruído provocado pelas paragens, arranques, mudanças do caudal de exploração e erros de leitura (Figura 5.44).

Nos últimos cinco anos, a captação ACP2 manteve-se em exploração quase contínua. O nível da água e do caudal de exploração seguem trajetórias paralelas nas variações sazonais (Figura 5.45). No mesmo período de tempo, o caudal de exploração da captação ACP2 oscilou entre 400 e 525 m³/h com tendência decrescente. O caudal médio de exploração no campo de Ota foi de 530 m³/h e o desvio padrão de 112 m³/h.

À semelhança do caudal de exploração de cada uma das captações, também o caudal de exploração do conjunto das três captações exploradas tem um caudal variável ao longo do tempo (Figura 5.46), com tendência decrescente que é estatisticamente significativa para o nível de confiança de 95%.

Há uma classe dominante do caudal bombeado do campo de captação de Ota (Figura 5.47): a exploração com caudal entre 400 e 525 m³/h utilizada em 1105 dias

e que corresponde ao caudal dominante na exploração da captação ACP2. As classes seguintes incluem os bombeamentos conjuntos durante a seca de 2011/2012.

Os valores de 239 análises dos elementos maiores da água do campo de captação de Ota representam a fácies bicarbonatada cálcica (Figura 5.48), com a maior dispersão catiónica na direção dos catiões Mg e Ca e aniónica na direção HCO₃-SO₄, num e outro caso da ordem de 17%.

A composição catiónica da água do rio Ota é maioritariamente cálcica, enquanto a aniónica é mais variada na direção HCO₃-Cl: a fácies varia entre bicarbonatada e cloretada-bicarbonatada cálcica.

A condutividade elétrica média da água do rio Ota (559 μS/cm) é ligeiramente superior à da média da água das captações (542 μS/cm).

Enquanto a distribuição da amostra da CE da água do rio Ota é muito assimétrica, as distribuições da CE da água das captações são aproximadamente simétricas, com valores idênticos da mediana e da média (Figura 5.49). A CE média no rio Ota (630 μS/cm) é menor 170 μS/cm que a do rio Alenquer (800 μS/cm).

As correlações entre os parâmetros físico-químicos da água das captações da Ota são em geral fracas ou não são estatisticamente significativas para o nível de confiança de 95 %. Este facto e a sobressaturação da água relativamente ao CaCO₃ conduzem à conclusão que as alterações de concentração do cálcio e da alcalinidade são de natureza aleatória (artificial e/ou natural) e que a recarga do sistema aquífero é longínqua, à semelhança da origem da água de Alenquer.



6. Pesquisa de água no sistema aquífero Aluviões do Tejo na margem direita a montante e a jusante de Santarém e na margem esquerda em Mouchão d'Eça

Este capítulo refere os trabalhos de pesquisa de água subterrânea mandados executar pela EPAL no sistema aquífero Aluviões do Tejo e que não foram seguidos da construção de captações.

No caso das áreas pesquisadas na margem direita, a montante e a jusante de Santarém, terá sido a distância elevada ao Canal Tejo e ao Aqueduto do Alviela, a principal razão para o abandono do projeto de captação. Na área do Mouchão d'Eça, na margem esquerda, o motivo dissuasor foi a qualidade química da água.

6.1 Pesquisa nas aluviões a montante e jusante de Santarém e zona de Valada

Os trabalhos de aproveitamento das águas das aluviões do Vale do Tejo, como já foi afirmado, tiveram início no Carregado em 1936, estenderam-se a seguir, para mon-

tante, à Quinta do Campo, Espadanal e Valada, onde ficaram concluídos em 1945 (Mendonça *et al.*, 1982).

Com o objetivo de reforçar o caudal explorado naquelas captações, a prospeção e a pesquisa em novas áreas aluvionares continuaram em 1953. Foram executados furos de pesquisa, a montante e a jusante de Santarém, ao longo de cerca de 27 km na margem direita do Rio Tejo (Figura 6.1).

Este estudo foi mandado executar pela Companhia das Águas de Lisboa, uma das entidades que antecedeu a atual EPAL. O relatório sobre os trabalhos realizados até fevereiro de 1954, "Pesquisas na margem direita do rio Tejo", editado por "Augusto Cavaco Eng.º" (entidade que foi precursora da empresa ACAVACO) será descrito nas suas linhas gerais. Trata-se de um documento muito sólido no que respeita ao conhecimento geológico das formações pesquisadas e de grande pormenor na descrição dos trabalhos realizados e das metodologias utilizadas.

165

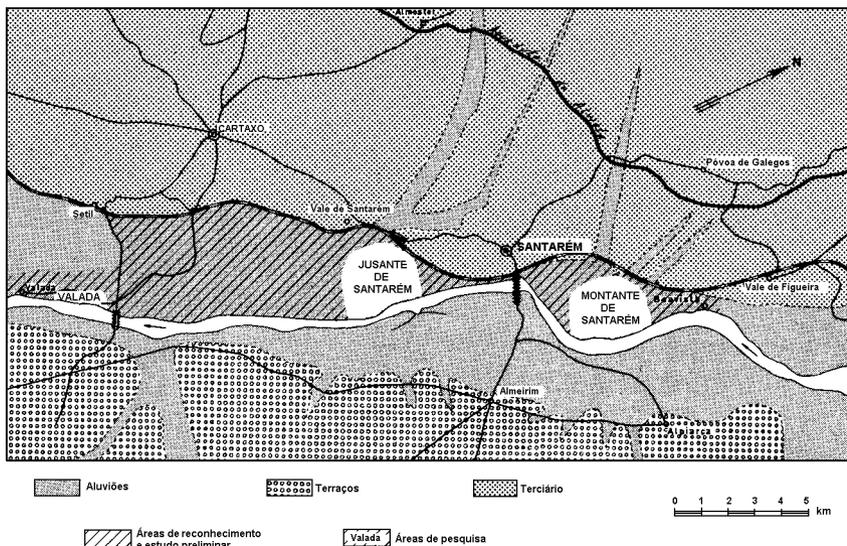
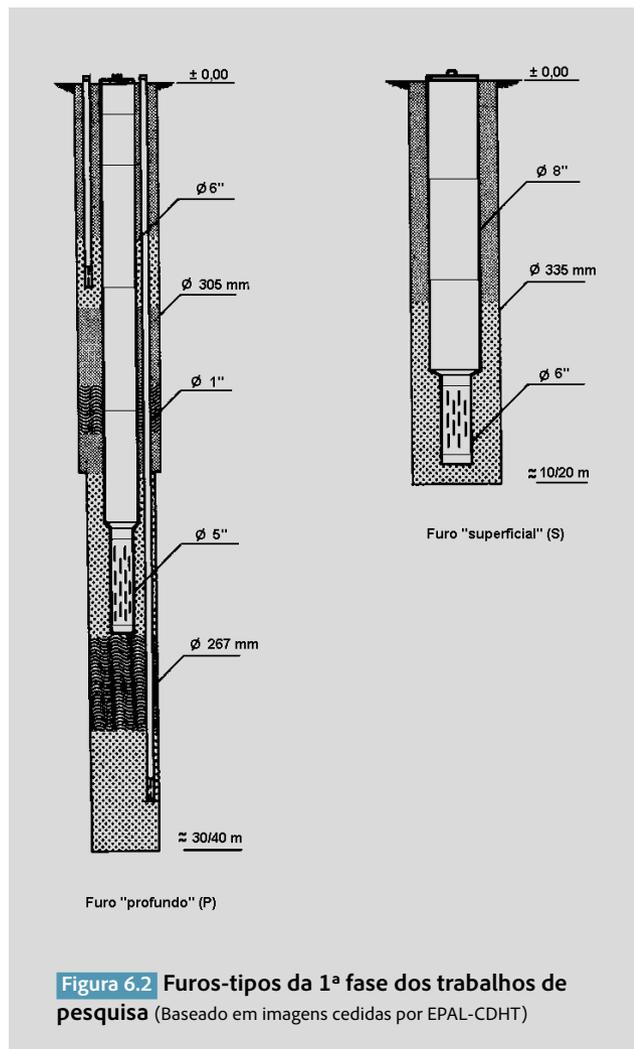


Figura 6.1 Esboço geológico e localização das áreas pesquisadas a montante e jusante de Santarém e em Valada (Baseado em imagem cedida por EPAL-CDHT)



Pretendia-se averiguar a possibilidade de captação de águas subterrâneas do subleito do rio Tejo, ou água "superficial" do próprio leito deste rio, naturalmente filtrada através das areias existentes no seu álveo ou na sua vizinhança, entre Setil e Vale de Figueira.

Posteriormente foi julgado conveniente estender a pesquisa à região entre Valada e a ponte do Setil, que foi designada por zona de pesquisa de Valada.

Após trabalhos de prospeção, abrangendo a cartografia hidrogeológica, foram selecionadas as áreas à partida mais favoráveis (Figura 6.1). Os trabalhos seguintes desenvolveram-se em 3 fases.

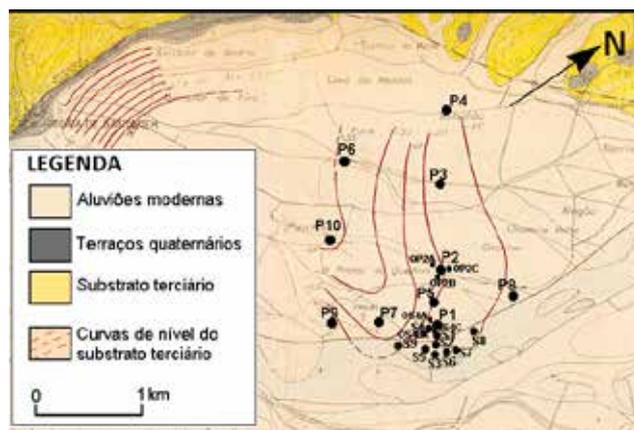
Na 1ª fase, de reconhecimento geral, foram executadas sondagens acompanhadas de ensaios de caudal experimentais (10 L/s), de colheita de amostras dos terrenos atravessados e de água, e de medições de níveis da água, etc. Com os trabalhos desta fase, obtiveram-se elementos sobre a estrutura e a textura das aluviões, a qualidade da água, os níveis piezométricos, a permeabilidade relativa e outros parâmetros hidrogeológicos.

Executaram-se 40 sondagens que foram transformadas em furos, 20 "profundos" e 20 "superficiais" (Figura 6.2), num total de 1034,66 m de perfuração, 10 furos de observação, com o total de 149,00 m, e realizaram-se 68 ensaios de caudal com a duração média de 24 horas.

A partir dos resultados dos trabalhos desta fase, selecionaram-se os furos de maior produtividade para prosseguir com trabalhos de detalhe na fase seguinte.

Na 2ª fase, a primeira tarefa consistiu na execução de furos de observação nas proximidades dos furos a ensaiar. Realizaram-se ensaios de bombeamento com o objectivo de recolha de elementos para o estudo e o projeto de captações. Na zona de montante, foram ensaiados um furo superficial e um furo profundo; na zona de jusante, um furo profundo; na zona de Valada, um furo superficial.

Na 3ª Fase, na zona de Valada, executou-se o furo AC1 (com o diâmetro de um metro) onde se fez um ensaio de bombeamento de longa duração.



Feito o reconhecimento da região a estudar, indicada com sobrecarga indicativa de “áreas de reconhecimento e estudo preliminar” na Figura 6.1, consideraram-se duas zonas: a de montante e a de jusante de Santarém, separadas por afloramentos de formações terciárias.

A extensão das áreas de pesquisa foi condicionada por questões orçamentais e na sua localização teve-se principalmente em vista que coincidissem com maior desenvolvimento da formação geológica a pesquisar.

Na zona de montante (Figura 6.3) e respeitante à captação superficial, verificou-se a predominância de uma camada arenosa superficial muito desenvolvida que formava uma extensa praia que atingia entre 700 e 1.500 m de largura. Esta área, designada por Praia do Quelhas, era a que reunia as melhores condições para o fim em vista.

A localização para a captação profunda desta zona foi selecionada tanto quanto possível para montante e afastada da captação que na época abastecia a cidade de Santarém com o caudal de 6.000 m³/d.

Na localização escolhida para os furos profundos, houve também a oportunidade de estudar a camada superficial que, como se disse, era bem desenvolvida nesta zona e foi realmente encontrada em 8 dos 10 furos aqui executados.

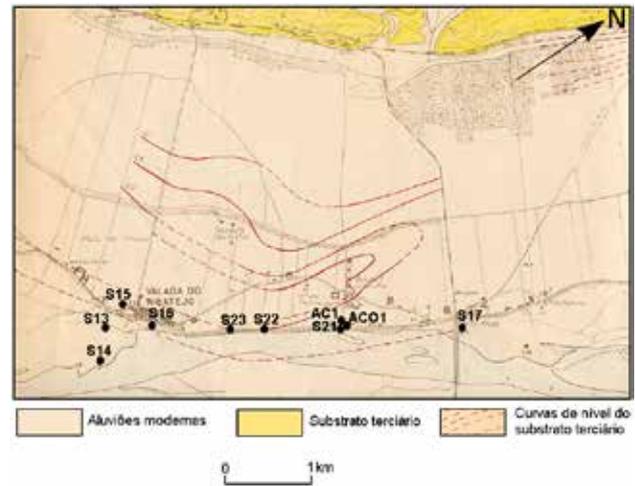


Figura 6.5 Localização dos furos na zona de Valada (Baseado em imagem cedida por EPAL-CDHT)

Na zona a jusante de Santarém, a localização escolhida para a captação superficial foi o setor de areal mais desenvolvido e mais a jusante (Fonte Boa) desta zona (Figura 6.4). Esta localização não foi estudada com detalhe particular, pois só lhe foram dedicados três furos.

A localização da captação profunda desta zona foi escolhida o mais longe possível do campo de captação de Valada I para que não houvesse interferência com as captações aluvionares deste campo, de onde eram extraídos 50.000 m³/d de água. Selecionou-se a localização representada na Figura 6.4, limitada a montante por

167

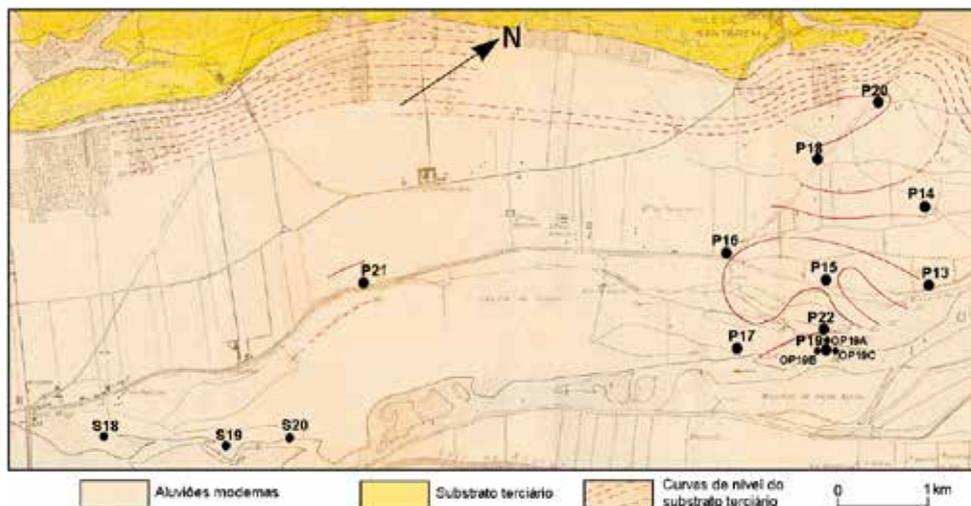


Figura 6.4 Localização dos furos na zona a jusante de Santarém (Baseado em imagem cedida por EPAL-CDHT)

Vale de Santarém, o que permitiria aproveitar a alimentação do vale da Asseca.

Considerações de ordem económica ligadas à sua proximidade a Lisboa levaram a estudar a zona da povoação de Valada (Figura 6.5). Nesta zona pretendia-se estudar apenas a camada superficial e captar tanto quanto possível as águas de infiltração no rio. Para atingir estes objetivos, escolheu-se a zona marginal defendida das cheias pelo dique e o areal bastante desenvolvido que se seguia à povoação de Valada.

6.1.1 Trabalhos realizados na primeira fase

Nesta fase executaram-se: sondagens; recolha de amostras de terreno e determinação da sua granulometria; ensaios de caudal sumários e experimentais; aproveitamento definitivo das sondagens mediante a sua transformação em furos; medições de níveis piezométricos; colheita de amostras de água para análise físico-química.

Dois tipos de furos foram executados (Figura 6.2), os superficiais que se destinaram somente ao estudo da captação superficial e os profundos que atravessaram toda a formação aluvionar e entraram o suficiente no substrato terciário para identificar a sua litologia e recolher amostras da sua água.

Todos os furos construídos foram designados pelas letras P ou S (antecedidas pelas letras AC que, por simplicidade de expressão, aqui não se consideram) conforme se tratava de furos profundos ou superficiais e ainda de um número que correspondia, regra geral, à sua ordem de execução. Por exemplo, P3 e S5.

Os furos de observação, construídos na segunda fase, vão indicados pela letra O, a que se segue a designação do furo com uma letra maiúscula de ordem; assim temos junto do furo S4 os furos de observação OS4A, OS4B e OS4C.

Nos furos profundos (P), que encontraram a formação aquífera superficial, foram deixados tubos de observação com ralo em frente desta camada. Estes furos de observação designaram-se pelas letras PS seguidas do

número do furo P a que se referem, por exemplo PS2. Quando se trata da camada terciária do substrato têm a designação PM, por exemplo PM1.

Nesta fase dos trabalhos, construíram-se: na zona a montante de Santarém, dez furos profundos (P1 a P10) e nove superficiais (S1 a S9); na zona a jusante de Santarém, dez furos profundos (P13 a P22) e três superficiais (S18 a S20); na zona de Valada, oito furos superficiais (S13 a S17 e S21 a S23).

A perfuração foi feita pelo método de percussão mecânica, acompanhando o avanço com tubagem provisória. Este método foi selecionado por ser o mais adequado à recolha de amostras do terreno e da água e à identificação das camadas aquíferas.

Nas camadas com materiais coesivos, o avanço fez-se com colher, trépano e limpadeira e nos materiais sem coesão (areias e burgaus), só com a limpadeira. Quando estas últimas camadas tinham calhaus, como acontecia na camada de base das aluviões, o avanço tornava-se muito difícil e era necessário o emprego do trépano.

Durante a perfuração, foram recolhidas amostras para o estudo pormenorizado da composição das várias camadas atravessadas e seleção das amostras tipo para a coleção guardada em caixas e para a determinação da granulometria.

Igualmente, no decurso da perfuração, foram colhidas amostras de água para determinação do teor de cloretos e o exame do material fino em suspensão, quer se tratasse ou não duma camada aquífera.

Ensaio sumários, realizados com limpadeira com bomba de diafragma, acompanharam o avanço, para darem informação, se bem que pouco precisa, sobre a permeabilidade das camadas aquíferas.

Identificada uma camada aquífera, era perfurada no seu todo e ensaiada duma só vez em toda a sua espessura, se não era muito potente, ou por várias vezes, colocando o tubo ralo em sucessivas posições, se o seu desenvolvimento e a sua heterogeneidade o justificavam.

Nas camadas aquíferas eram colocados ralos metálicos perfurados, regra geral com o comprimento de 5 m, com filtro de seixo.

Depois de terminado o ensaio, que tinha geralmente a duração de 24 horas, eram recuperados o ralo e a tubagem de ensaio e a camada ensaiada era reperfurada.

Uma vez terminada a perfuração e os ensaios experimentais, fez-se a colocação da tubagem de revestimento definitivo com tubo ralo, de acordo com os resultados dos trabalhos anteriores.

Os furos foram entubados conforme se destinavam a serem posteriormente ensaiados -furos de ensaio (E)- ou à simples observação do nível de água e colheita de amostra para análise - furos de observação (O).

Nos furos de observação, quando isolados, empregou-se sempre tubagem de 2", com 1 m de tubo ralo do mesmo diâmetro e maço filtrante de seixo. Quando colocada no espaço anelar exterior à tubagem definitiva dos furos de ensaio, usou-se regra geral diâmetro de 1" com dreno artificial ou não.

Nos furos de ensaio aplicou-se normalmente tubagem de diâmetro de 6", mas algumas vezes, embora poucas, a de 5" e de 4". Os tubos ralos foram geralmente de 4" ou 5".

Os furos destinados aos ensaios finais com maior caudal (P2, P10, P19 e S4) levaram na parte superior um troço de tubagem de 8" e, algumas vezes, maior comprimento de tubo ralo.

As cabeças dos furos ficaram geralmente acima do terreno. Exceto as dos furos implantados nos caminhos, que ficaram abaixo e protegidas por uma placa de betão.

Para facilidade de identificação dos furos, em cada um deles, na tubagem, foi gravado o seu número e uma linha de referência correspondente ao nível do terreno quando da perfuração.

Além dos ensaios realizados no decurso da perfuração,

regra geral, levou-se a efeito um ensaio com a duração de 24 horas depois de concluído cada furo. Mediram-se os níveis da água e os caudais bombeados e recolheram-se amostras de água para análise completa no laboratório da CAL.

No decurso dos trabalhos, mediram-se níveis da água em todos os furos e no rio Tejo, uma ou duas vezes por dia.

No rio, além dos elementos recolhidos em dois limnógrafos dos Serviços de Hidráulica, nas pontes de Santarém e de Muge, foram feitas leituras em tubos graduados, cravados cerca de 6 m no leito do Tejo, para evitar que fossem destruídos pela corrente do rio. Localizou-se um na zona dos furos superficiais de montante, outro a jusante na vizinhança do P19 e o terceiro em Valada, no Cais da Quinta, junto ao furo AC1.

Na execução das sondagens empregaram-se quatro equipamentos de percussão, dos quais três pesados com dois turnos de pessoal, e um ligeiro para trabalhar em areias, com um turno.

Para os ensaios de caudal utilizaram-se grupos moto-bomba transportáveis, medindo-se o caudal com depósito de 200 L e cronómetro e os níveis da água com sonda de apito. As amostras de água foram colhidas em garrações de 5 L de vidro transparente.

Os trabalhos completos desta fase, iniciados em maio de 1953, foram concluídos em setembro de 1953 de forma a iniciar os ensaios finais em cada zona ainda em período de estiagem.

A interpretação geológica das sondagens foi feita pelo senhor doutor Georges Zbyszewski, dos Serviços Geológicos de Portugal, que na região já realizara importantes trabalhos, tais como o levantamento das folhas de Alpiarça e de Santarém da Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50.000.

Os depósitos atravessados pelas sondagens podem ser agrupados em quatro complexos que recobrem o substrato terciário (Figura 6.6 e Figura 6.8).

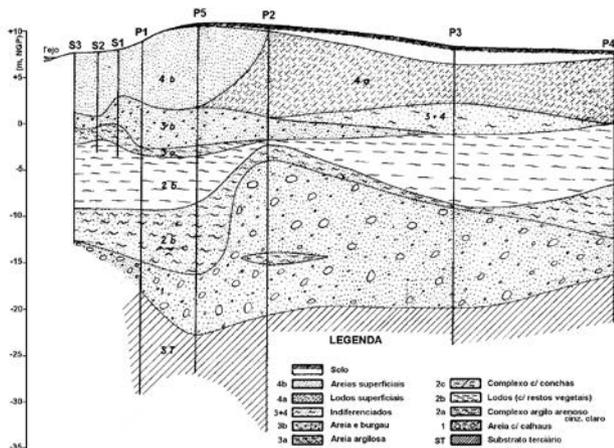


Figura 6.6 Perfil geológico S3, S2, S1, P1, P5, P2, P3, e P4, zona a montante de Santarém (Baseado em imagem cedida por EPAL-CDHT)

O complexo 1 é representado por areias cinzentas ou acastanhadas de grão variável com burgau e calhaus. Corresponde à formação aquífera captada pelos furos das aluviões dos campos de captação de Valada ao do Carregado. A distribuição da espessura deste complexo de base é representada na [Figura 6.7](#).

Na área a jusante de Santarém, encontraram-se formações semelhantes às que foram estudadas na zona situada a montante. O substrato atingiu-se a profundidades que variaram entre 24,60 m (sondagem P15) e 40,70 m (sondagem P20). No intervalo entre as sondagens P18, P15, P22 e P19, o substrato forma uma elevação em dorso alongado de orientação NE-SW ([Figura 6.8](#)). Mais a oeste, entre as sondagens P18 e P20, o substrato apresenta uma importante depressão que prolonga para sul o vale de Asseca e que foi provavelmente escavado pela ribeira de Rio Maior ([Figura 6.9](#)).

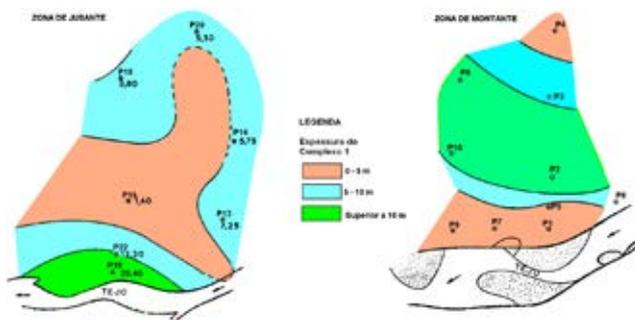


Figura 6.7 Espessura do complexo 1 nas zonas de montante e jusante (Baseado em imagem cedida por EPAL-CDHT)

Os furos superficiais S13 a S17 e S21 a S23 localizados na zona da povoação de Valada atravessaram as formações que se ilustram com o corte geológico da [Figura 6.10](#).

Concluindo, a amostragem dos terrenos atravessados pelos furos mostra a existência de duas unidades com capacidade aquífera: o complexo 1 (representado por areias com calhaus) e a formação 3b (representada por areias com algum burgau), separados por outros depósitos, impermeáveis ou pouco permeáveis, constituídos por lodos, areias lodosas, areias finas, etc.

Os resultados dos ensaios experimentais de caudal da zona de montante estão representados nos gráficos das [Figura 6.11](#) a [Figura 6.13](#), um por furo. No caso dos furos profundos P2, P5, P6 e P10 foram feitos dois ensaios na camada basal das aluviões.

Conforme resultados de testes estatísticos, na zona de montante, os furos na camada aquífera superficial são mais produtivos, com média e mediana do caudal específico de 9,92 e 9,57 L/s/m; nos furos da camada profunda, estas estatísticas tomam os valores de 6,14 e 4,94 L/s/m, respetivamente; os furos nos terrenos terciários são bastante menos produtivos, com valores da média e da mediana de 1,10 e 1,42 L/s/m, [Figura 6.14](#).

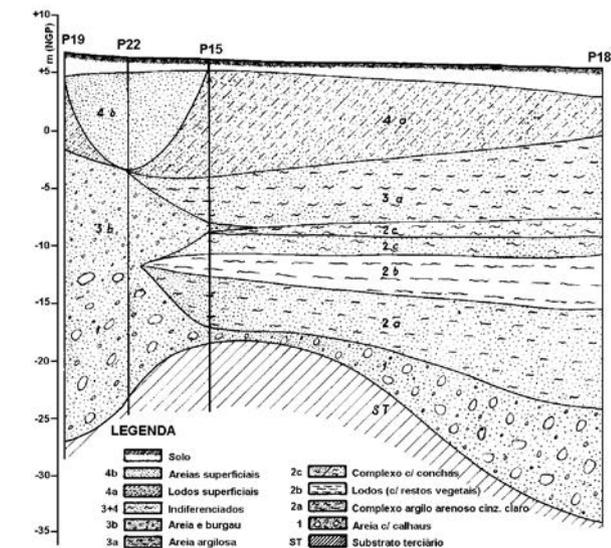


Figura 6.8 Perfil geológico P19, P22, P15 e P18, zona a jusante de Santarém (Baseado em imagem cedida por EPAL-CDHT)

Os resultados dos ensaios experimentais da zona de jusante estão representados nos gráficos das [Figura 6.15](#) a [Figura 6.17](#), um por furo. Nalguns furos, foram feitos mais que um ensaio na camada profunda e na camada superficial. Nesta zona, não houve ensaios de caudal experimentais nos terrenos terciários.

Conforme resultados de testes estatísticos, na zona de jusante, não há diferença estatisticamente significativa entre as médias, as medianas, a variância e as distribuições das amostras do caudal específico da camada superficial e da camada profunda.

Assim, na zona de jusante, [Figura 6.18](#), o caudal específico dos furos da camada aquífera superficial tem a média de 6,53 L/s/m e a mediana de 7,05 L/s/m e nos furos da camada aquífera profunda estas estatísticas tomam os valores de 10,41 e 9,51 L/s/m, respetivamente.

Os resultados dos ensaios experimentais da zona de Valada, exclusivamente na camada superficial, estão representados graficamente na [Figura 6.19](#), um por furo.

A amostra de valores do caudal específico dos furos tem a média de 6,13 L/s/m, a mediana de 5,46 L/s/m e o desvio padrão de 2,30 L/s/m.

As amostras dos valores do caudal específico correspondente aos ensaios na camada superficial nas três zonas do estudo têm as estatísticas principais representadas graficamente na [Figura 6.20](#).

Entre a média e a mediana da amostra da zona de montante e as mesmas estatísticas das zonas de jusante e de Valada há diferença estatisticamente significativa.

A fácies aniónica das águas amostradas durante os ensaios experimentais é predominantemente bicarbonatada e a fácies catiónica é variável entre sódica e calcio-magnésiana ([Figura 6.21](#)).

A média e o desvio padrão dos valores das concentrações dos iões principais considerados na [Figura 6.21](#) são representados graficamente na [Figura 6.22](#).

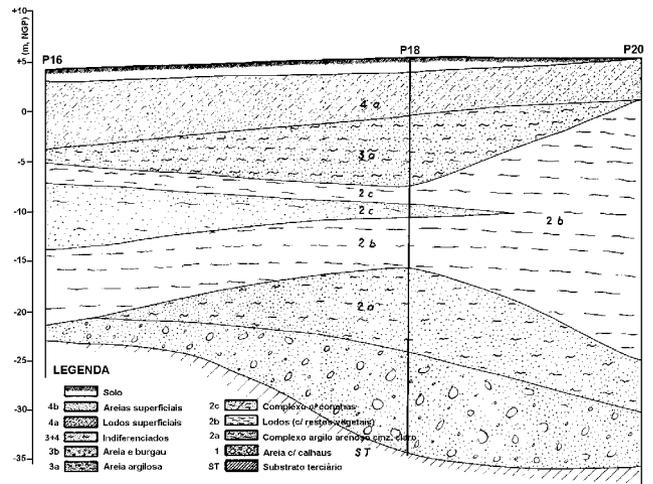


Figura 6.9 Perfil geológico P16, P18 e P20, zona a jusante de Santarém (Baseado em imagem cedida por EPAL-CDHT)

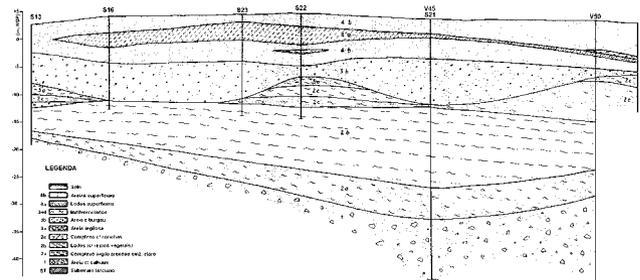


Figura 6.10 Perfil geológico S13, S16, S23, S22, S21 (V45), V50, S17, zona de Valada (Baseado em imagem cedida por EPAL-CDHT)

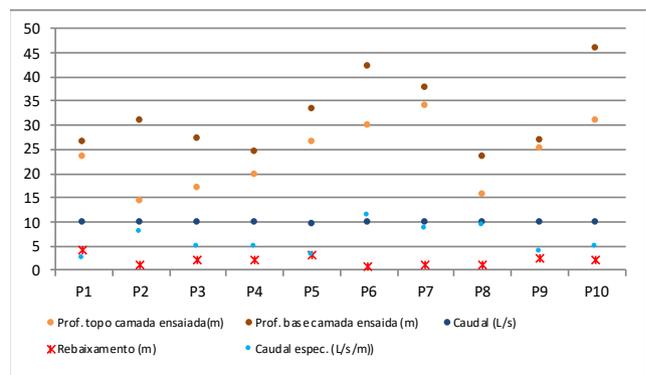


Figura 6.11 Representação gráfica dos ensaios experimentais de caudal da camada basal das aluviões intersetada pelos furos profundos (P), zona de montante

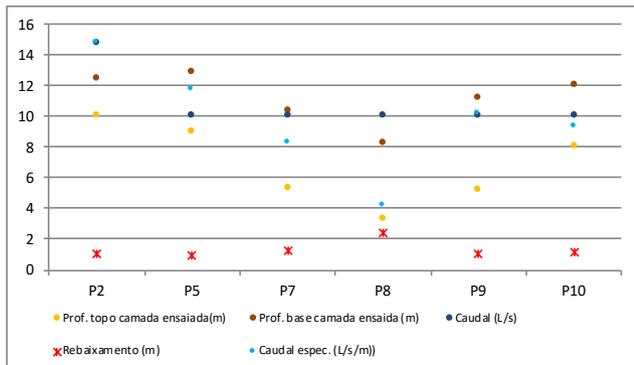


Figura 6.12 Representação gráfica dos ensaios experimentais de caudal da camada aquífera superficial intersetada pelos furos profundos (P), zona de montante

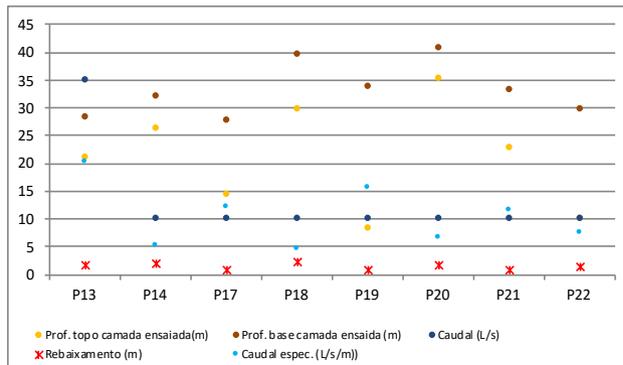


Figura 6.15 Representação gráfica dos ensaios experimentais de caudal da camada basal das aluviões intersetada pelos furos profundos (P), zona de jusante

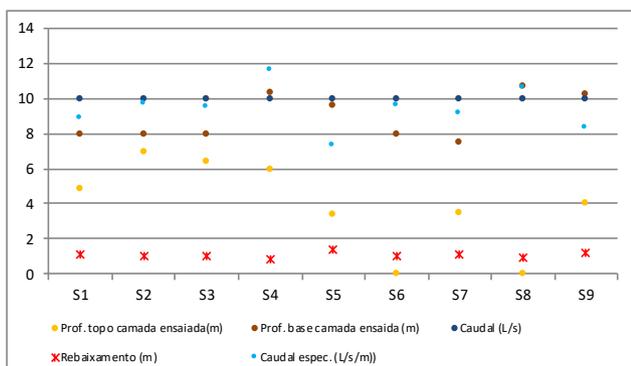


Figura 6.13 Representação gráfica dos ensaios experimentais de caudal da camada aquífera superficial intersetada pelos furos superficiais (S), zona de montante

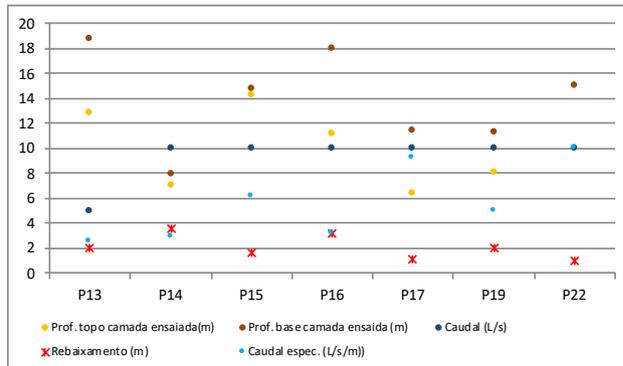


Figura 6.16 Representação gráfica dos ensaios experimentais de caudal da camada aquífera superficial intersetada pelos furos profundos (P), zona de jusante

172

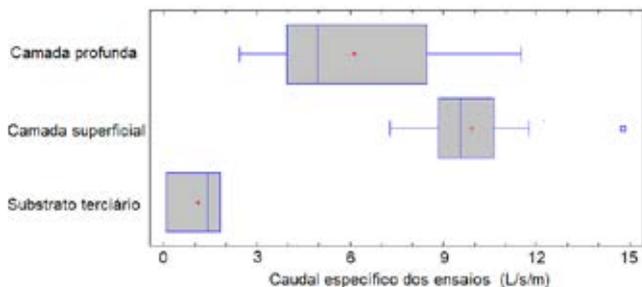


Figura 6.14 Representação gráfica das principais estatísticas das três amostras de valores do caudal específico (L/s/m) na zona de montante

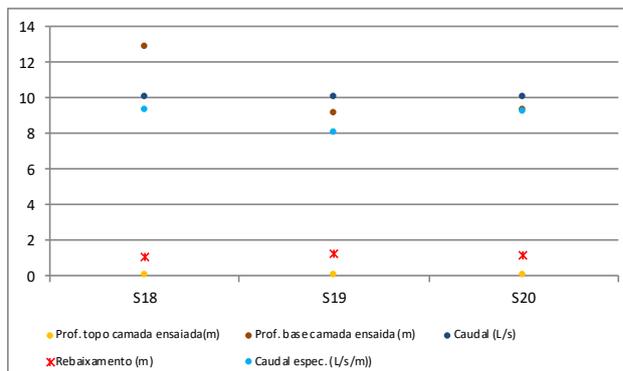


Figura 6.17 Representação gráfica dos ensaios experimentais de caudal da camada aquífera superficial intersetada pelos furos superficiais (S), zona de jusante

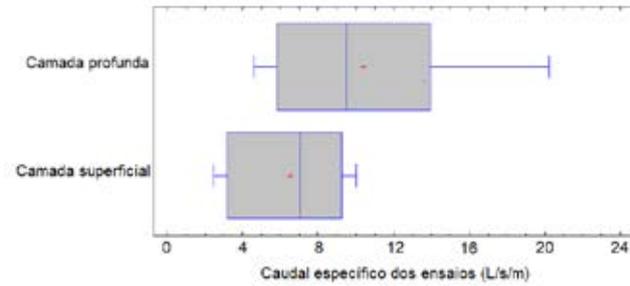


Figura 6.18 Representação gráfica das principais estatísticas das duas amostras de valores do caudal específico (L/s/m) na zona de jusante

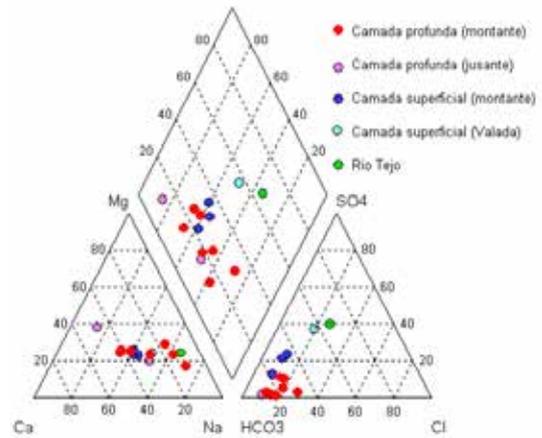


Figura 6.21 Tipos de água que ocorrem nas aluviões do Tejo nas zonas de pesquisa a montante e jusante de Santarém e em Valada

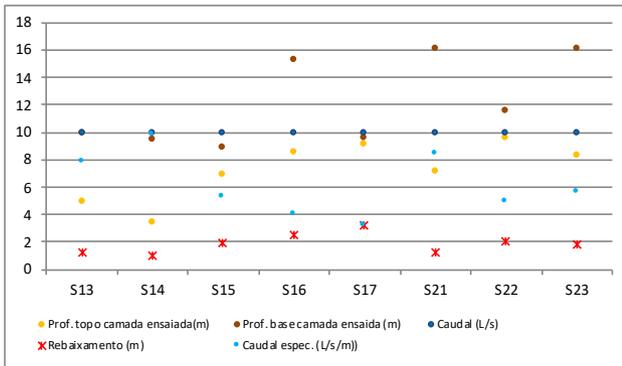


Figura 6.19 Representação gráfica dos ensaios experimentais de caudal da camada superficial intersetada pelos furos superficiais (S), zona de Valada

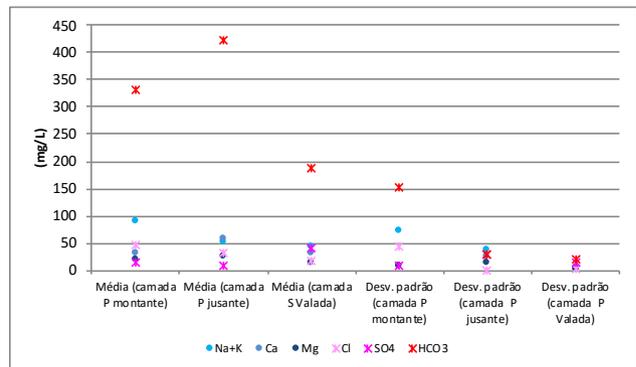


Figura 6.22 Representação gráfica da média e do desvio padrão das concentrações dos iões principais das amostras de água representadas na Figura 6.21

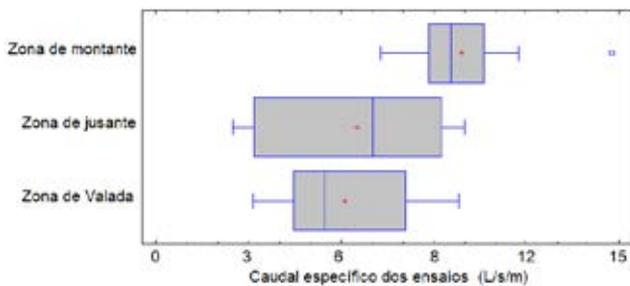


Figura 6.20 Comparação gráfica das estatísticas principais dos valores do caudal específico dos furos da camada superficial das três zonas pesquisadas

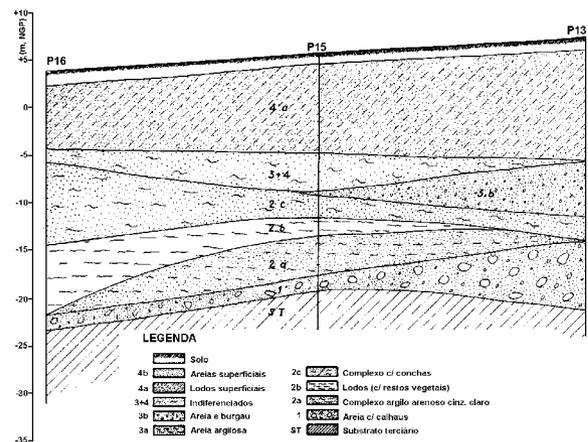


Figura 6.23 Perfil geológico P13, P15 e P16, zona a jusante de Santarém (Baseado em imagem cedida por EPAL-CDHT)

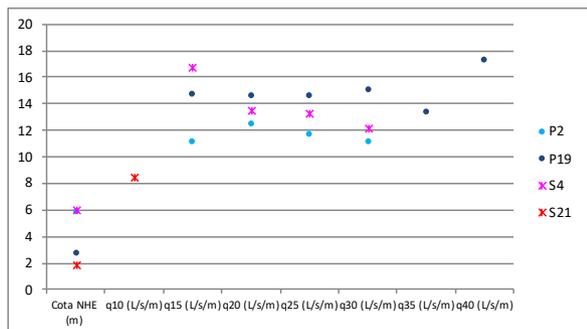


Figura 6.24 Resultados dos ensaios finais de caudal: o caudal específico é representado para os vários caudais de ensaio, por exemplo, q15 refere-se ao caudal específico para o caudal de ensaio de 15 L/s

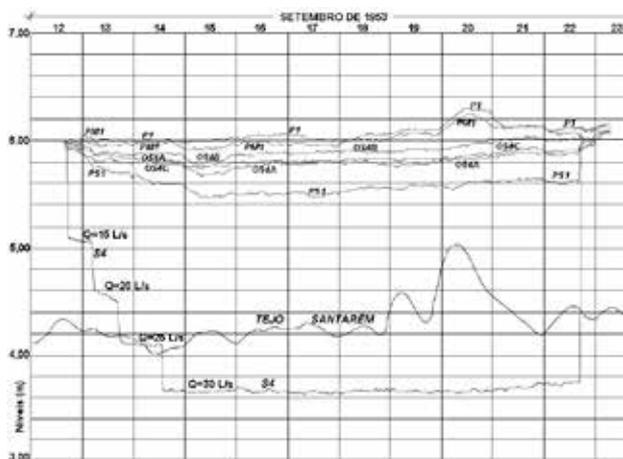


Figura 6.25 Ensaio de caudal final do furo S4 (Baseado em imagem cedida por EPAL-CDHT)

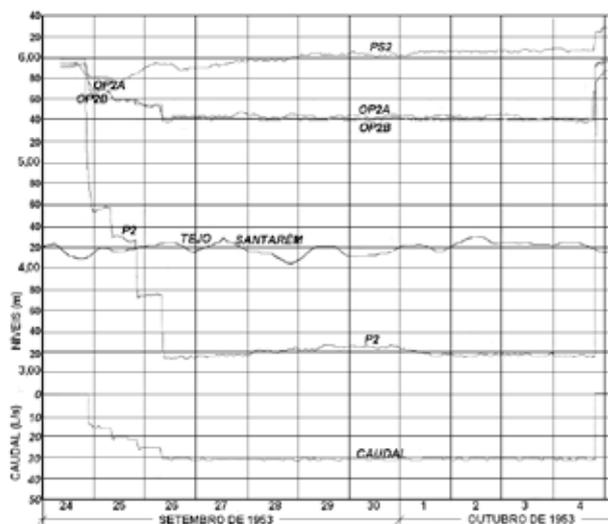


Figura 6.26 Ensaio de caudal final do furo P2 (Baseado em imagem cedida por EPAL-CDHT)

A água dos furos superficiais a montante é a menos mineralizada e, no que respeita aos iões principais, a água dos furos das três localizações cumpre os valores paramétricos do Decreto-Lei 306/2007.

No que diz respeito ao ferro e ao manganês, apesar de não se saber se os valores reportados foram determinados em amostras com colheita específica, com muita frequência, não cumprem os valores paramétricos respetivos e representam a principal limitação da qualidade da água para o abastecimento público.

6.1.2 Trabalhos realizados na segunda fase

Na segunda fase, antes de tudo, junto aos furos a ensaiar, foram executados furos de observação. Na zona de montante, foram ensaiados um furo superficial e um furo profundo; na zona de jusante, um furo profundo; na zona de Valada, um furo superficial.

Na zona de montante, o furo P2 foi escolhido para a segunda fase do estudo da camada profunda, por facilidade de descarga da água do ensaio, embora o melhor resultado fosse o do furo P10.

Na camada superficial, essencialmente a formação 3b com melhor granulometria e a formação 4b constituída pelas areias de deposição atual, os resultados são mais uniformes e tanto melhores quanto mais desenvolvida é a camada 3b. O furo S4 foi o escolhido para o estudo da segunda fase.

Na zona de jusante, existe um dorso no substrato terciário que passa pelos furos P13, P15 e P16 e divide a zona em duas partes (Figura 6.8 e Figura 6.23). Ao longo desse dorso, a camada aquífera profunda é muito pouco desenvolvida, correspondendo precisamente aos piores resultados. Das duas zonas que o dorso divide, a melhor é a do lado do rio, onde se localizava o furo P19 que foi o escolhido para os estudos da segunda fase da camada profunda.

No que respeita à camada superficial, na zona de jusante, é melhor junto do Tejo. No entanto, na segunda fase, não foi estudado qualquer furo.

Na zona de Valada só se ensaiaram furos superficiais. Os melhores valores do caudal específico respeitaram aos furos S13, S14 e S21. Os S13 e S14 localizaram-se na praia, a jusante de Valada, e o S21 ficou a coberto do dique, a montante daquela localidade. Desta zona, foi escolhido o furo S21 para a continuação dos estudos na segunda fase.

Nos furos P2, S4, P19 e S21, foram levados a efeito ensaios finais com a duração de cerca de uma dezena de dias, em regime de bombeamento contínuo e escalonado. O caudal inicial foi de 15 L/s e aumentou de 5 L/s a cada 12 horas, até ao caudal máximo. Atingido este, manteve-se constante até final.

O caudal máximo foi de 30 L/s para os furos S4 e P2 e de 40 L/s para o P19. O furo S21 foi exceção: o caudal máximo foi apenas de 10 L/s. Os resultados dos ensaios são sintetizados no gráfico da [Figura 6.24](#).

Não houve qualquer interrupção de bombeamento durante os períodos de ensaio e continuaram-se a fazer medições dos níveis em todos os furos e no rio Tejo.

Os resultados obtidos nestes ensaios finais confirmaram os dos ensaios experimentais, mostrando que há caudais específicos compreendidos entre 8,47 L/s/m (com $Q=10$ L/s) para o S21 e 17,24 L/s/m (com $Q=40$ L) para o P19. A qualidade da água não variou sensivelmente durante os ensaios.

Os resultados do ensaio do furo superficial S4 são representados no gráfico da [Figura 6.25](#), no qual se encontram registadas as medições horárias de caudal e de níveis, incluindo o do Tejo em Ponte de Santarém.

Uma parte do ensaio foi feita com caudal escalonado, iniciando-se com 15 L/s e aumentando por escalões de 5 L/s até atingir 30 L/s, valor que se manteve até ao final do ensaio.

No período do ensaio com caudal escalonado, os aumentos de caudal de 5 L/s por escalão, produziram acréscimos de rebaixamento variáveis, entre 0,45 e 0,60 m, que levaram ao rebaixamento final de 2,50 m e ao caudal específico de 12,1 L/s para o caudal final de 30 L/s. Nos furos da camada profunda, tal como no P1, e no

PM1 na camada terciária, não se nota qualquer influência do bombeamento. O nível do Tejo influencia tanto a camada superficial como a profunda, notando-se mais nesta a sua influência por não estar a ser bombeada.

No gráfico da [Figura 6.26](#), podem ver-se os resultados do ensaio do furo P2. Verifica-se que havia influência do bombeamento nos níveis da água dos furos de observação da camada profunda ao mesmo tempo que os níveis da água nos furos da camada superficial não eram influenciados, como se vê pela curva do PS2. A subida desta curva atribuiu-se à infiltração de parte da água extraída no decorrer do ensaio apesar de a descarga ter sido lançada em lugar tão afastado quanto possível.

O nível da água no furo P2 encontrava-se praticamente estabilizado para o caudal de 30 L/s, sendo o seu rebaixamento de cerca de 2,70 m (o caudal específico é de 11 l/s/m). No nível da água no Tejo, durante o ensaio, não houve alteração significativa.

No gráfico da [Figura 6.27](#), são representadas as medições de caudal e de níveis efetuadas durante o ensaio do furo P19, a jusante de Santarém. Neste ensaio, o caudal atingiu o valor de 40 L/s, ao qual corresponde o rebaixamento de 2,32 m, pelo que o caudal específico toma o valor de 17,24 L/s/m, o melhor valor dos ensaios finais.

Os resultados dos ensaios do furo S21, na zona de Valada, estão representados no gráfico da [Figura 6.28](#). O caudal foi constante e de 10 L/s, verificando-se a estabilização do nível em +0,60 m na baixa-mar. Aqui obteve-se o rebaixamento 1,18 m, ou seja o caudal específico de 8,47 L/s/m.

A água amostrada no decorrer dos ensaios dos furos S4, P2, P19 e S21, entre os elementos analisados laboratorialmente, considerando a legislação atual, só não cumpriria os valores paramétricos do Decreto-Lei 306/2007 no que respeita ao ferro e ao manganês.

No que respeita à mineralização total, a água do furo S4, tinha características gerais que se podem considerar muito aceitáveis, com valores de resíduo seco de 200 mg/L.

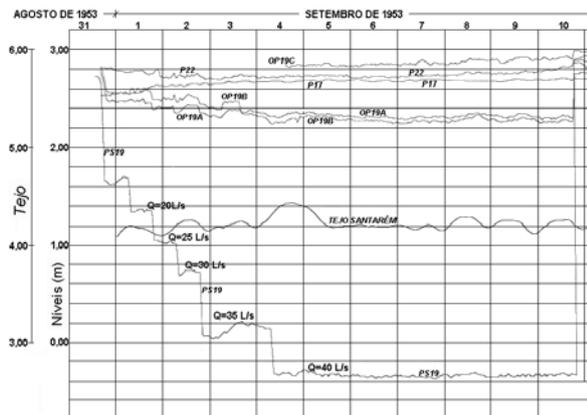


Figura 6.27 Ensaio de caudal final do furo P19 (Baseado em imagem cedida por EPAL-CDHT)

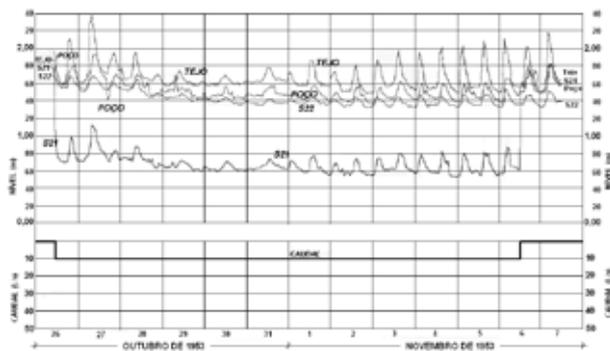


Figura 6.28 Ensaio de caudal final do furo S21 (Baseado em imagem cedida por EPAL-CDHT)

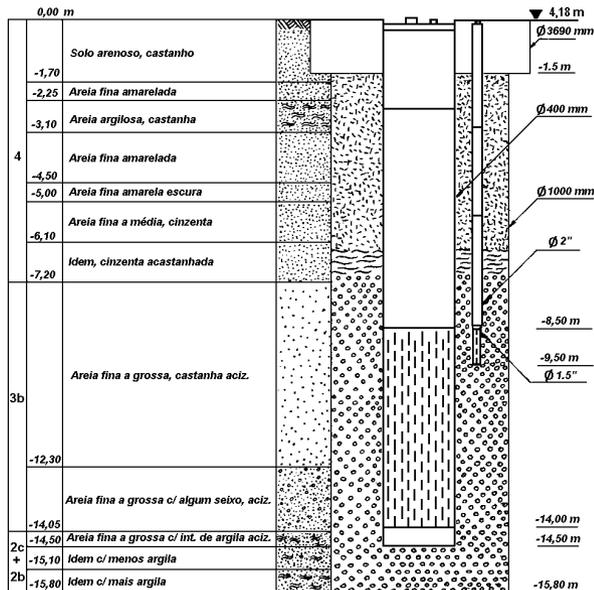


Figura 6.29 Corte do furo AC1 (Baseado em imagem cedida por EPAL-CDHT)

A água amostrada do furo profundo P2, com o resíduo seco de 280 mg/L, era mais mineralizada que a do S4.

Comparando a qualidade da água da camada profunda da zona de montante com a de jusante, a do P2 (montante) tem cerca de 50 % da mineralização da do P19 (jusante) e as concentrações do ferro e do manganês na água do P2 também são menores.

A mineralização total da água do furo S21 (em Valada) comparativamente com a água do furo S4 (a montante de Santarém) era cerca do dobro.

6.1.3 Trabalhos realizados na terceira fase

Nesta fase, foi construído o furo AC1 (também designado por poço) com 1 m de diâmetro, localizado junto do S21 no Cais da Quinta, entre Valada e Porto de Muge. A perfuração fez-se à percussão mecânica, acompanhada da utilização de tubagens de revestimento provisório. Os diâmetros de perfuração, a profundidade, a coluna definitiva colocada e a classificação do material perfurado podem ser visualizados na [Figura 6.29](#).

Depois da fase de limpeza do furo seguiu-se o ensaio final de caudal (ensaio de produtividade) que teve início em 30 de novembro de 1953 com 40 L/s. Seguiu-se o escalão de 50 L/s que se iniciou em 2 de janeiro de 1954 e depois o de 60 L/s em 12 de janeiro.

Durante os três meses de ensaio houve algumas interrupções relacionadas com as festividades do Natal e do Ano Novo, a manutenção do equipamento de bombeamento e a beneficiação das condições de lançamento da água extraída para o ambiente natural.

Na [Figura 6.30](#) são reproduzidos três extratos da representação gráfica original do ensaio.

A elevação da água foi feita com um grupo motobomba montado num antepoço, protegido das intempéries por um arranjo de proteção. A descarga da água extraída fez-se para uma pequena vala que desaguava na vala de Azambuja.

Na medição de caudais utilizou-se um contador Woltmann e os níveis da água foram medidos com sonda de apito.

O nível da água no Tejo em Valada era influenciado pelas marés no estuário, o que, por sua vez, influenciava diretamente o nível da camada superficial. A influência era muito menor no nível da água da camada profunda.

Durante o período que correspondeu ao caudal de 40 L/s, ou seja, desde o início do ensaio em 30 de novembro até à interrupção do Natal, o nível da água no furo sofreu oscilação devido a duas crescidas do caudal no Tejo.

Já no período de bombeamento de 50 L/s, verificou-se regularidade do nível da água, embora se notasse uma descida, paralela à descida do nível da água do rio Tejo.

No mês de fevereiro de 1954, o nível do Tejo manteve-se mais ou menos estabilizado e o do furo AC1 a cerca de 5,0 m de profundidade para o caudal de 60 L/s.

Dado que o nível da água do rio Tejo coincidia praticamente com o nível hidrostático do furo AC1 e que o primeiro não era influenciado pelo bombeamento, para efeitos de determinação dos rebaixamentos, os níveis no furo tiveram por referência o nível da água no Tejo.

Ao iniciar-se o ensaio, o nível da água no Tejo, mais ou menos coincidente com o nível de água no furo, como atrás enunciado, era de de +2,30 m, acima do zero de referência.

Para o caudal inicial da 40 L/s o rebaixamento foi de cerca de 4,5 m e manteve-se mais ou menos constante durante o período correspondente (caudal específico, $q_1 = 8,9$ L/s/m). Com o caudal de 50 L/s, o rebaixamento foi de 6,0 m ($q_2 = 8,3$ L/s/m) e no escalão de 60 L/s atingiu 7,0 m ($q_3 = 8,6$ L/s/m).

O relatório dos trabalhos ainda refere que, para o caudal de 60 L/s, o nível da água no furo desceu abaixo do topo do tubo ralo, sem que se notasse diminuição do caudal específico, e que o rebaixamento nos furos S21 e ACO1, bastante próximos, foi relativamente pequeno.

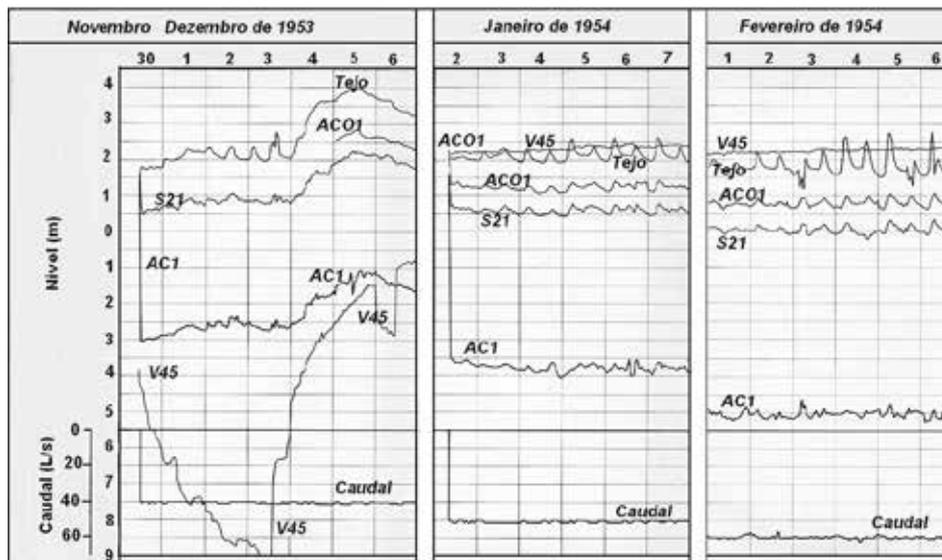


Figura 6.30 Extratos do ensaio de produtividade do furo AC1 da zona de Valada (Baseado em imagem cedida por EPAL-CDHT)

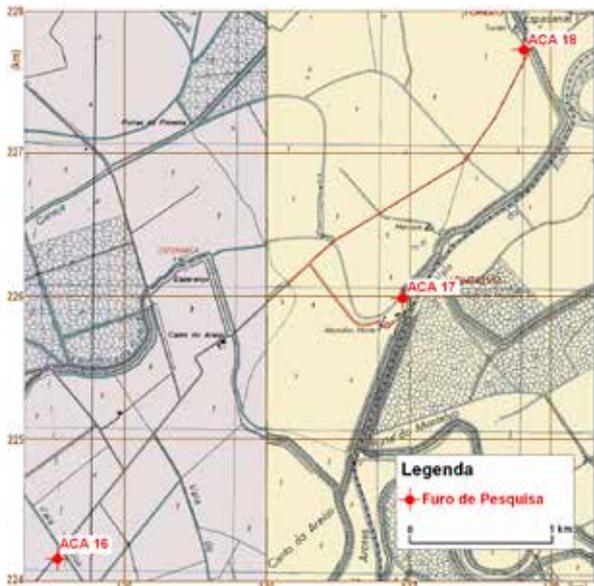


Figura 6.31 Localização dos furos de pesquisa ensaio e observação na zona de Mouchão d'Êça (extrato das cartas n.º 390 e 391 à escala 1/25 000 dos SCE) (Baseado em imagem cedida por EPAL-CDHT)

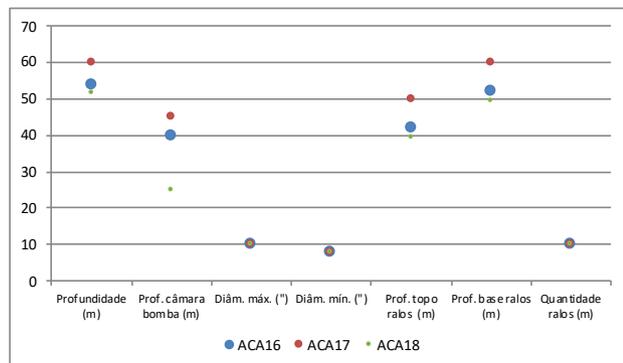


Figura 6.32 Características da tubagem de revestimento definitivo dos furos construídos na zona de Mouchão d'Êça

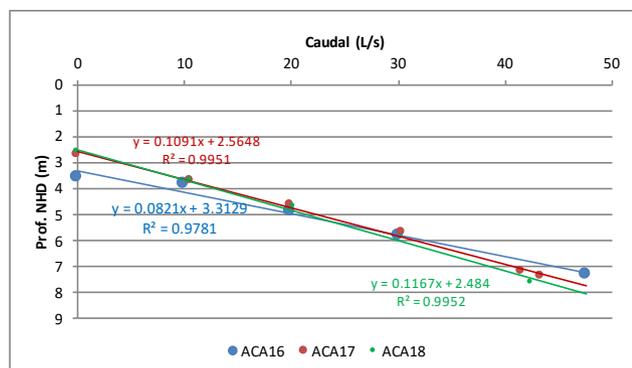


Figura 6.33 Resumo dos resultados dos ensaios de caudal dos furos ACA17 e ACA18

Da água amostrada no decorrer do ensaio, entre os elementos doseados, só o ferro e o manganês não cumpriram os valores paramétricos do Decreto-Lei 306/2007. A mineralização total é bastante mais elevada que a observada na camada superficial da zona a montante de Santarém, cerca do dobro.

6.1.4 Conclusões do estudo

Dos trabalhos realizados, os responsáveis pelo estudo concluíram:

- Os resultados das análises químicas são diferentes para cada origem – profunda, superficial e Tejo; variam conforme os furos e no Tejo com a colheita;
- Considerou-se possível construir uma captação profunda na área de montante (P2-P10) e outra na área de jusante (P19) capazes de obter em cada uma um caudal entre 30.000 e 50.000 m³/d;
- Os trabalhos demonstraram igualmente a possibilidade de construção de captações nas camadas superficiais parecendo que, pelo menos na área de montante, seria aconselhável a utilização de captação do tipo horizontal dada a pequena profundidade (cerca de 10 m) da camada mais favorável (3b);
- As considerações feitas para a zona a montante de Santarém podem estender-se a Valada no que respei-

Furo	Perfuração inicial		Perfuração intermédia		Perfuração final	
	Diam. (mm)	Prof. (m)	Diam. (mm)	Prof. (m)	Diam. (mm)	Prof. (m)
ACA16	470	19,45	419	48,10	368	65,80
ACA17	470	12,25	419	35,00	368	63,25
ACA18	470	12,50	419	50,50	368	61,25
					339	71,00
					339	65,55
					339	66,00

Quadro 6.1 Características da perfuração dos furos construídos na zona do Mouchão d'Êça

ta à captação superficial. Nota-se aqui a vantagem de a camada 3b se desenvolver a maior profundidade – à volta de 15 m – o que aumenta a possibilidade de rebaixamento. O insucesso da captação de Valada IV quanto à qualidade da água, trinta anos depois, não veio confirmar esta conclusão.

6.2 Pesquisa nas aluviões da margem esquerda do Tejo em Mouchão d’Eça

No segundo semestre de dezembro de 1979, a EPAL encarregou a empresa ACAVACO da execução de três furos de pesquisa, ensaio e observação nos depósitos aluvionares do rio Tejo, na zona do Mouchão d’Eça. O objetivo era realizar o reconhecimento dos depósitos aluvionares com sondagens mecânicas e com ensaios de bombeamento para avaliação da produtividade e da qualidade da água destes depósitos. A localização dos três furos (ACA16, ACA17 e ACA18) está representada na [Figura 6.31](#).

As características da perfuração dos furos são apresentadas no [Quadro 6.1](#).

Os furos intersetaram aluviões com espessura que variou entre 50 e 60 m sobre um substrato de areias argilosas e argilas. As aluviões são constituídas por uma cascalheira de base com cerca de 17 m de espessura nos furos ACA16 e ACA17 e cerca de 11 m no ACA18. Uma alternância de areias geralmente lodosas e lodos recobrem a cascalheira de base. O termo lodoso é particularmente espesso no furo ACA17, com cerca de 28 m de possança.

As características da tubagem de revestimento definitivo dos furos são semelhantes e estão representadas no gráfico da [Figura 6.32](#): diâmetro inicial de 10", diâmetro final de 8" e profundidade entre 50 e 60 m.

Os resultados dos ensaios de caudal dos furos ACA16, ACA17 e ACA18 são apresentados na [Figura 6.33](#). Os ensaios foram realizados com bomba elétrica submersível, com escalões de caudal de cerca de 10, 20, 30 e entre 43 e 48 L/s; os primeiros três escalões com a duração de 12 horas e o último durante alguns dias. Os valores são semelhantes, com curvas características lineares de

coeficiente de determinação elevado, o que indica que o escoamento se manteve em regime laminar para todos os escalões de ensaio.

A produtividade do aquífero de base é relativamente elevada, com caudais específicos dos furos da ordem de 9 a 12 L/s/m e transmissividade entre 3×10^{-2} e 5×10^{-2} m²/s.

Os valores médios de alguns dos parâmetros físico-químicos mostram que há diferenças significativas na qualidade da água dos três furos, de que se salientam o resíduo seco, a concentração em cloretos e em sódio; estes valores evidenciam a contaminação da água dos furos ACA16 e ACA17 pela água salobra do estuário do Tejo ([Figura 6.34](#) e [Quadro 6.2](#)). O resíduo seco é bastante elevado, da mesma grandeza do observado no campo aluvionar do Carregado onde os furos têm a água mais mineralizada no conjunto dos campos localizados na margem direita do Tejo. Os valores de cloreto e de sódio ultrapassariam os valores paramétricos do Decreto-Lei 306/2007.

As águas são cloretadas sódicas, de tipologia idêntica às do campo do Carregado, com baixa concentração relativa em sulfato. Na água do furo ACA16, a concentração em bicarbonato é relevante.

Em conclusão, na zona do Mouchão d’Eça, encontraram-se condições geológicas idênticas à da zona de ju-

Parâmetro	ACA16	ACA17	ACA18
Cloreto (mg/L)	526,7	732,76	190,7
Sulfato (mg/L)	3,7	58,6	3,6
Bicarbonato (mg/L)	454,8	248,6	292,2
Ca (mg/L)	52,5	62,4	21,8
Magnésio (mg/L)	33,0	39,2	19,6
Sódio e Potássio (mg/L)	388,8	467,8	173,3
Res. Seco (180°C) (mg/L)	1245,7	1506,5	570,3

Quadro 6.2 Parâmetros físico-químicos da água dos furos da zona do Mouchão d’Eça

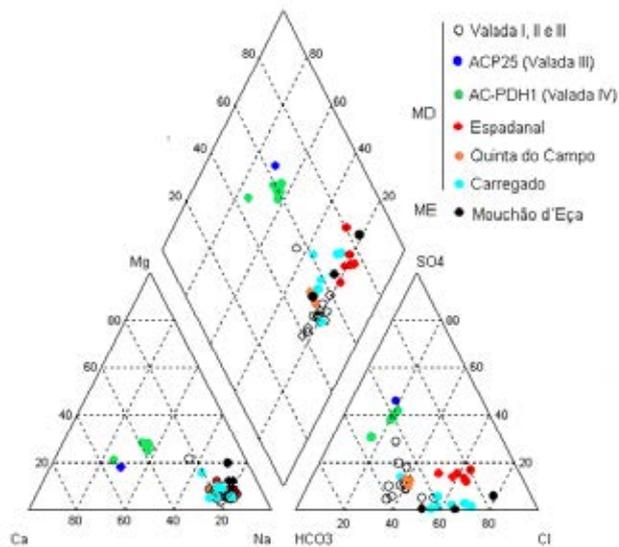


Figura 6.34 Fácies da água dos furos de pesquisa localizados na zona de Mouchão d'Eça (ME–margem esquerda do Tejo) e comparação com a água dos furos dos campos de captações aluvionares da margem direita do Tejo (MD)

180

sante da margem direita, isto é, uma cobertura essencialmente lodosa sobre um depósito basal de areias com seixos e calhaus. A transmissividade e a produtividade da camada basal são idênticas à das zonas onde se localizam os campos de captação na margem direita.

Nos furos ACA16 e ACA17 encontrou-se água muito mais mineralizada que a água do ACA18. Não se conhecem valores da concentração do Fe e Mn na água dos três furos. Mas é muito provável ou mesmo certo que os valores serão elevados e condicionantes do aproveitamento da água para o abastecimento público.

Perante a política atual sobre a qualidade da água para consumo doméstico, que deriva de normativos que, entretanto, entraram em vigor, os resultados sobre a qualidade da água parecem de difícil aceitação. Passam-se a transcrever duas das conclusões e recomendações apresentadas no relatório do estudo:

a) "Dos resultados obtidos ficou demonstrado que existem na área do Mouchão d'Eça formações aluvionares com produtividade permitindo o projeto e construção de captações semelhantes às existentes na margem direita do Tejo".

b) "O problema obstando à imediata implementação daquela ação é o quimismo das águas. Assim, e embora consideremos muito encorajadores os resultados obtidos no ACA18, julgamos que antes de ser eventualmente lançado um plano de captação deverá ser dada continuidade aos trabalhos de pesquisa já realizados de forma a ser encontrada resposta às questões" da qualidade da água.





7. Pesquisa no sistema aquífero Tejo-Sado ao longo do traçado do aqueduto do Alviela

Neste capítulo serão apresentados e comentados os trabalhos da "Execução de furos de pesquisa, de observação e de captação ao longo do adutor Castelo do Bode-Vila Franca de Xira e Canal do Alviela".

O relatório com aquele título, elaborado pela empresa ACAVACO (referência F. 84038 de 3 de outubro de 1984), servirá de fundamento para a exposição da informação hidrogeológica relevante que interessa preservar.

O objetivo deste plano de pesquisa era a localização de eventuais furos de captação próximos do aqueduto ou canal do Alviela, numa extensão de cerca de 27 km. Pretendia-se investigar a possibilidade de obtenção de um reforço da ordem de 25.000 m³/d que seria adicionado à água transportada por aquele canal. A localização dos furos também segue parcialmente o traçado do adutor de Castelo do Bode.

O objetivo do caudal não foi atingido, tendo os resultados ficado a 50 % da meta pretendida e com a previsão de níveis hidrodinâmicos mais profundos que o esperado. Admite-se, por isso, que esta foi a razão para a interrupção do projeto. No entanto, estes furos poderão ser uma alternativa local à política seguida após entrada em funcionamento do subsistema de Castelo de Bode em 1987: poderão ser a origem local para abastecimentos onde a rede de adução da EPAL ainda não tenha chegado e/ou não seja rentável a sua construção e/ou para situações de emergência.

Foram construídos quatro furos de pesquisa designados por AC-MP28, AC-MP29, AC-MP30 e AC-MP31 em formações terciárias da margem direita do Tejo. Nesta margem, a unidade aquífera da bacia terciário do Tejo-Sado é designada por Almeida *et al.* (2000) e pelo INAG como "sistema aquífero Margem Direita (T1)". Os furos, além do objetivo da pesquisa, foram dimensionados para poderem ser utilizados desde logo como captações.

O sistema aquífero Margem Direita, cuja área aproximada é de 1629 km², constitui, juntamente com o da margem esquerda, uma grande unidade hidrogeológica cujo suporte são os sedimentos terciários e quaternários que preenchem a bacia terminal do Tejo-Sado e aqui se designa como sistema aquífero Tejo-Sado.

A localização dos furos de pesquisa encontra-se assinalada na [Figura 7.1](#). Os trabalhos tiveram início a 9 de dezembro de 1982 e foram concluídos em 13 de maio de 1984.

A perfuração foi executada pelo método rotary com circulação direta e atingiu profundidades entre 471,65 m no AC-MP28 e 694,80 m no AC-MP29 ([Figura 7.2](#)). A sequência geológica atravessada nas quatro sondagens foi semelhante: argilas, margas, grés argilosos, grés calcários e calcários.

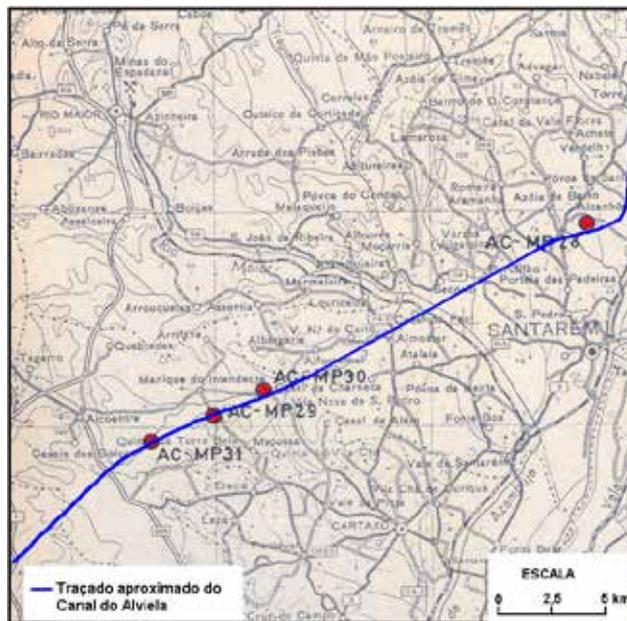


Figura 7.1 Localização dos furos de pesquisa ao longo do traçado do Canal do Alviela

ACAVACO promoveu um estudo geológico complementar que incluiu as componentes sedimentológicas e estratigráficas e para o qual se recolheram amostras, a todas as dezenas de metros de profundidade, e testemunhos "intactos" nos furos AC-MP28 (entre 466,00 m e 466,60 m de profundidade) e AC-MP29 (de 693,00 m a 694,80 m).

Com base neste estudo complementar, ACAVACO definiu a coluna litostratigráfica de cada um dos furos e traçou um corte geológico esquemático que foi adaptado e consta da [Figura 7.2](#).

Dos resultados do estudo paleontológico destacam-se: a ausência total de microfauna na série calco-argilo-arenosa sobrejacente ao nível de calcários com atapulgitite do Paleogénico; a microflora revelada pela presença de caráceas na sondagem AC-MP29 entre 570 e 590 m de profundidade; os vestígios abundantes de madeira incarbonizada na sondagem AC-MP31 entre 420 e 430 m de profundidade.

O nível calcário com atapulgitite, no qual terminaram as sondagens AC-MP29, AC-MP30 e AC-MP31, contém oncólitos com cianófitas e uma pequena microfauna. Aquele mineral argiloso é acompanhado de quantida-

de notável de esmectite e de quantidades pequenas de sepiolite. Esta composição mineralógica das argilas corresponde à que se encontra em afloramento do nível calcário da parte mediana do Paleogénico. Estes minerais são conhecidos por se formarem em bacias fechadas, quase sempre endorreicas, onde está confinada água muito rica em catiões, em particular Ca^{2+} , que permite uma sedimentação em meio muito básico necessário à formação da atapulgitite e sepiolite.

A atapulgitite foi utilizada para marcar a entrada no Paleogénico, representado pelo "Complexo detrítico da Abrigada". A parte superior, friável, deste complexo foi reconhecida nas sondagens AC-MP29, AC-MP30 e AC-MP31 com as espessuras se 110 m, 140 m e 160 m, respetivamente.

Antes de alcançarem o "Complexo detrítico da Abrigada", as sondagens AC-MP29 e AC-MP31 atravessaram, unicamente, o "Complexo detrítico de Ota e Alcoentre", em 420 m na sondagem AC-MP31 e 460 m na AC-MP29.

A sondagem AC-MP30 é mais complexa. Ocorrem formações com *Ostrea crassissima* sobre o "Complexo detrítico de Ota e Alcoentre". A espessura correspondente

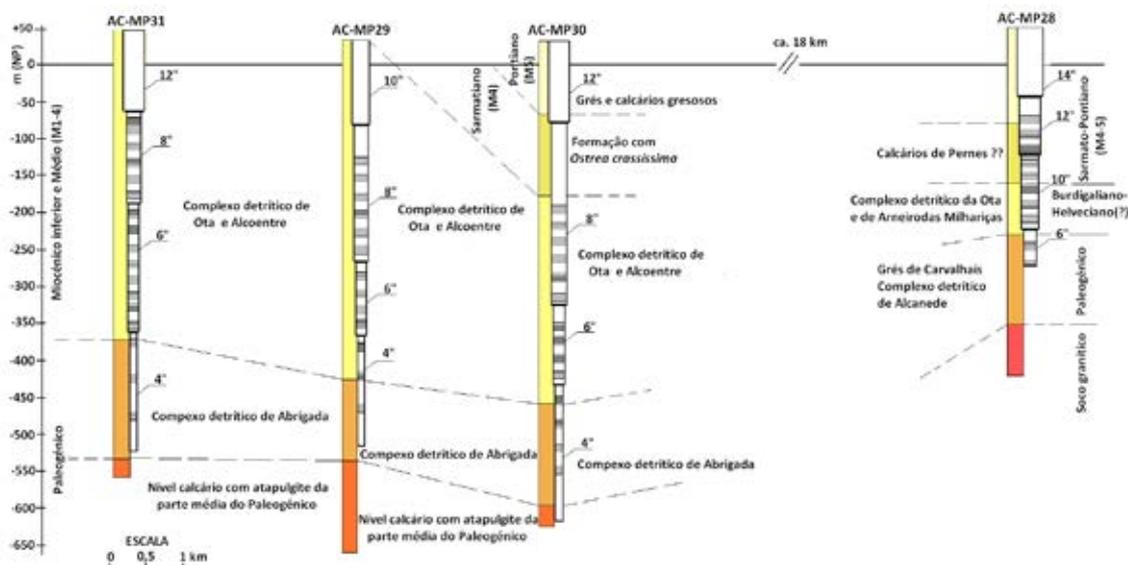


Figura 7.2 Corte geológico esquemático (adaptado de ACAVACO)

a este complexo seria menos espessa nesta sondagem que nas AC-MP29 e AC-MP31.

A correlação entre as sondagens AC-MP29, AC-MP30 e AC-MP31 (Figura 7.2), que terminam na mesma formação, parece relativamente clara já que a presença de atapulgite permite separar o "Complexo detrítico da Abrigada" do "Complexo detrítico de Ota e Alcoentre"

A sondagem AC-MP28 difere das outras três em vários aspetos: os depósitos calco-argilo-arenosos do terciário repousam diretamente sobre o soco granítico, a sequência sedimentar é menos espessa e não tem camadas com atapulgite na base.

São depósitos que se formaram em condições onde nunca houve lagos confinados com sedimentação básica. É provável que ocorra a formação dos "Calcários de Pernes", entre os 130 m e 210 m de profundidade, e que seja equivalente lateral das camadas com *Ostrea crassissima* da sondagem AC-MP30.

As características geométricas da perfuração são representadas na Figura 7.3.

O estudo da amostragem recolhida durante a perfuração, dos testemunhos de amostras "intactas" e das diagrfias elétricas e de radiação gama natural, permitiu definir a coluna de revestimento em cada furo, com colocação dos ralos em frente das camadas mais promissoras.

A coluna de revestimento definitivo dos furos é em aço das normas DIN 2458 e DIN 2440. O diâmetro do revestimento do furo AC-MP29 é de 10"x8"x6"x4", nos AC-MP30 e AC-MP31 de 12"x8"x6"x4" e o furo AC-MP28 tem tubagem com diâmetros maiores (14"x12"x10"x6"). Na Figura 7.4 além da profundidade da tubagem estão representadas as profundidades das reduções de diâmetro.

Com exceção dos furos AC-MP30 e AC-MP31, houve uma percentagem significativa da espessura perfurada que não foi entubada.

Nos furos AC-MP29 e AC-MP30, o pé da coluna de revestimento, em vez do habitual tampão em aço, foi ci-

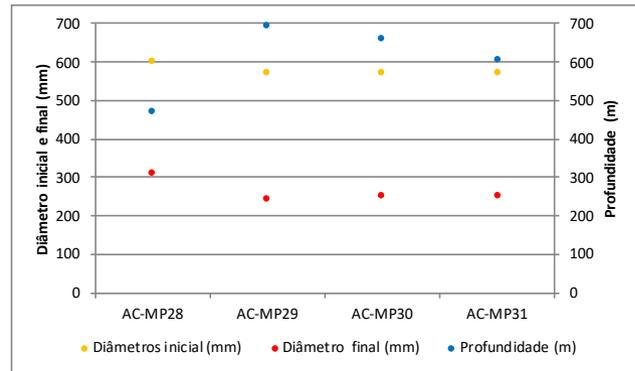


Figura 7.3 Características geométricas da perfuração

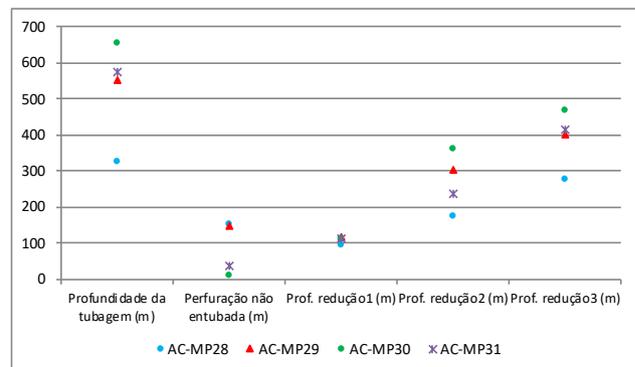


Figura 7.4 Características da profundidade da tubagem de revestimento definitivo dos furos AC-MP28 a AC-MP31

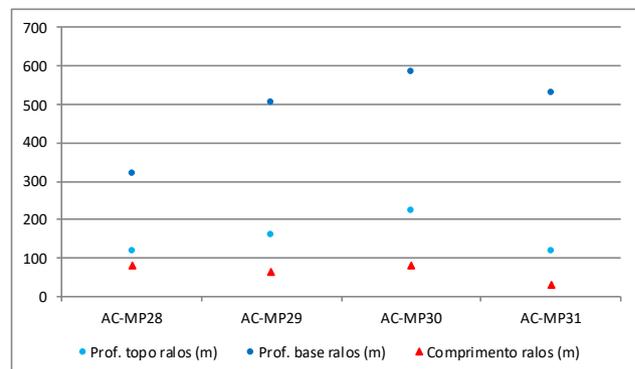


Figura 7.5 Localização e comprimento dos tubos ralos aplicados nos furos AC-MP28 a AC-MP31

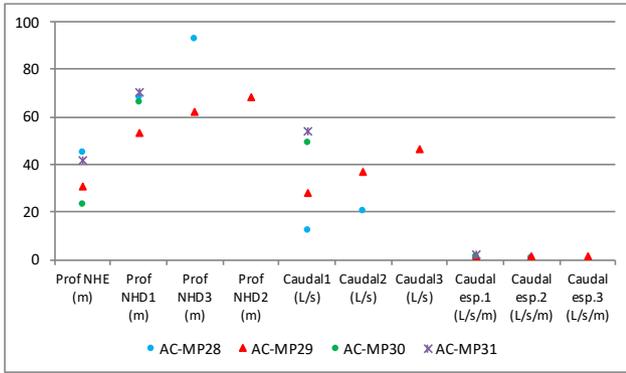


Figura 7.6 Representação gráfica dos resultados dos ensaios de produtividade dos furos AC-MP28 a AC-MP31

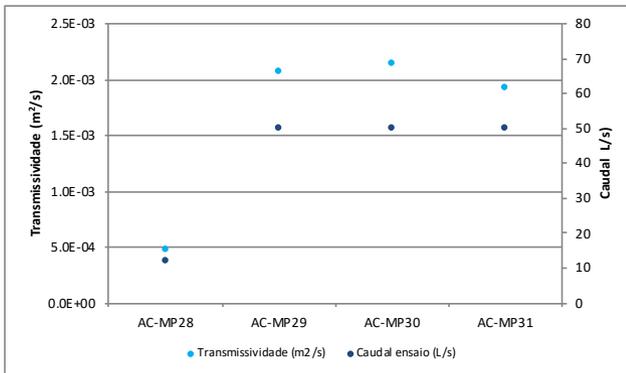


Figura 7.7 Representação gráfica dos resultados da interpretação hidrodinâmica dos ensaios de produtividade

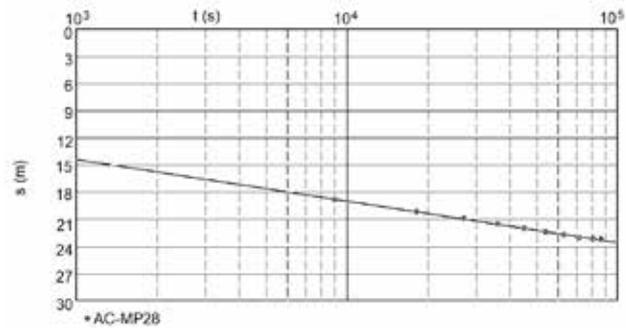


Figura 7.8 Interpretação do ensaio de bombeamento no furo AC-MP28 com medidas de rebaixamentos no mesmo: transmissividade = $4,77 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

mentado o que, segundo ACAVACO, permitiria a eventual retoma da perfuração.

Nos três troços da coluna abaixo da câmara de bombeamento (correspondente ao troço de maior diâmetro) foram aplicados tubos ralos (Figura 7.5) de fenda contínua nos furos AC-MP28 e AC-MP29 e tubos ralos de duas características distintas, com rasgos e enrolamento de arame e de fenda contínua, nos furos AC-MP30 e AC-MP31.

Os resultados dos ensaios e produtividade dos furos são representados graficamente na Figura 7.6. Com exceção do furo AC-MP31, os NHD correspondem a níveis da água não estabilizados. Os caudais específicos dos quatro furos são relativamente modestos: a média é de 1,19 L/s/m, o desvio padrão de 0,55 L/s/m, o valor mínimo de 0,52 L/s/m (AC-PM28) e o valor máximo de 1,87 L/s/m (furo AC-MP31). Isto significa que a transmissividade do sistema aquífero nas áreas dos furos AC-MP29, AC-MP30 e AC-MP31 é mais elevada que na área do AC-MP28.

Estes ensaios foram interpretados de modo a caracterizar a transmissividade das formações captadas: a evolução dos níveis de água respeita ao furo bombeado e o caudal extraído teve variações mensuráveis.

Fez-se a interpretação pelo modelo de Cooper e Jacob (1946), admitindo-se que se verificavam os pressupostos e as condições iniciais e de fronteira do modelo teórico, nomeadamente a isotropia, a homogeneidade e a extensão radial infinita do meio. Os resultados são apresentados na Figura 7.7.

A transmissividade do sistema aquífero no local do furo AC-MP28 representa um outlier (inferior) do conjunto dos valores calculados, cerca de uma ordem de grandeza inferior.

Os gráficos das Figuras 7.8 e Figura 7.9 ilustram as interpretações efetuadas: o primeiro gráfico representa a interpretação com caudal fixo e o outro com caudal variável.

Além dos ensaios finais de produtividade, foram executados ensaios de bombeamento por troços da zona captada, cujos resultados são representados nas Figura

7.10 a Figura 7.13. Nestas figuras, também se comparam os resultados dos ensaios parciais com os dos ensaios de produtividade do furo total.

Nos ensaios dos quatro furos por troços, verificou-se que o último troço (6" no AC-MP28 e 4" nos restantes furos) e o primeiro troço (diâmetro 12" no AC-MP28 e 8" nos outros furos) são os de menor caudal bombeado e do caudal específico mais baixo.

O estudo geológico referido associa as propriedades das argilas ao potencial aquífero. Nomeadamente, a associação das camadas mais transmissivas às zonas de caulinite + ilite ou clorite + caulinite + ilite.

Pelo contrário, a presença de esmectites, que expandem com o contacto com a água, é o fator que faz diminuir a permeabilidade sempre que a granulometria dos sedimentos seja fina e estas argilas sejam abundantes.

Dos resultados dos ensaios de caudal por troços, também se conclui que o "Complexo detrítico da Abrigada" tem transmissividade muito baixa, pouco apta para a captação de água.

O caudal específico aumenta com o caudal extraído dos troços ensaiados de acordo com o modelo de regressão linear representado graficamente na Figura 7.14. O que significa que a produtividade aumenta com a transmissividade do troço ensaiado, mas que também há furos cujo desenvolvimento foi incompleto na fase própria e continuou a fazer-se com o decorrer do ensaio, como nos furos AC-MP28 e AC-MP29.

Na Figura 7.15, representam-se graficamente as estatísticas principais das variáveis relacionadas com o rendimento dos furos, ambas expressas em L/s/m: o caudal específico e o caudal do ensaio dividido pelo comprimento do troço ensaiado.

Os dezoito valores do caudal específico ajustam-se à distribuição normal N (0,709; 0,550) para o nível de confiança de 95 %, Figura 7.16.

Os dezoito valores do índice do caudal por metro de tro-

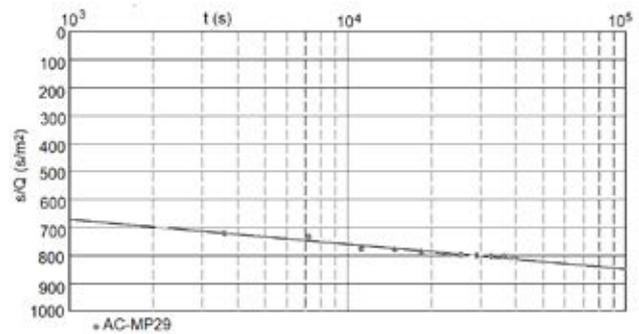


Figura 7.9 Interpretação do ensaio de bombeamento no furo AC-MP29 com medidas de rebaixamentos no mesmo: transmissividade = $2,06 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

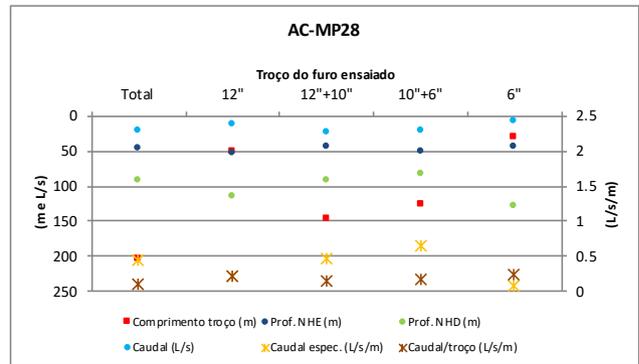


Figura 7.10 Representação gráfica dos resultados dos ensaios de caudal por troços da tubagem do furo AC-MP28

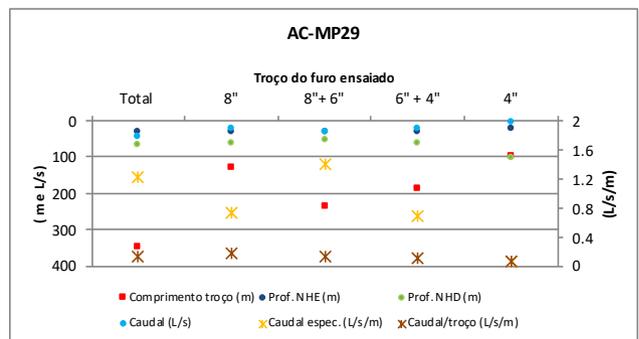


Figura 7.11 Representação gráfica dos resultados dos ensaios de caudal por troços da tubagem do furo AC-MP29

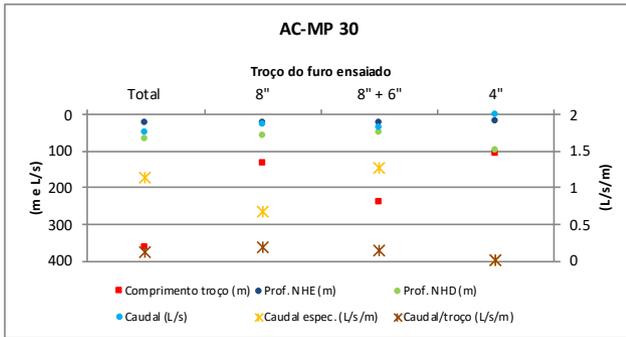


Figura 7.12 Representação gráfica dos resultados dos ensaios de caudal por troços da tubagem do furo AC-MP30

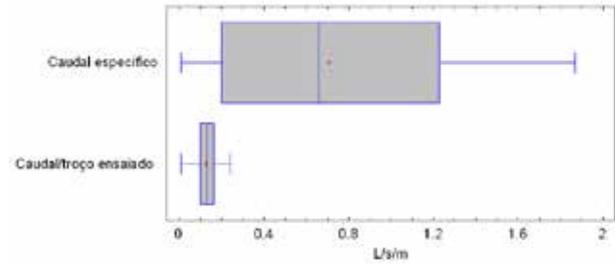


Figura 7.15 Representação gráfica das estatísticas principais do caudal específico e do caudal por metro de troço ensaiado

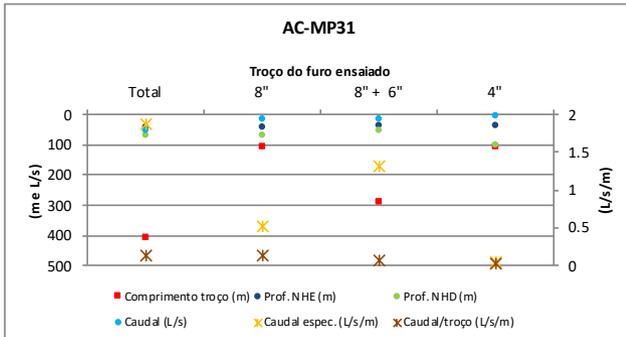


Figura 7.13 Representação gráfica dos resultados dos ensaios de caudal por troços da tubagem do furo AC-MP31

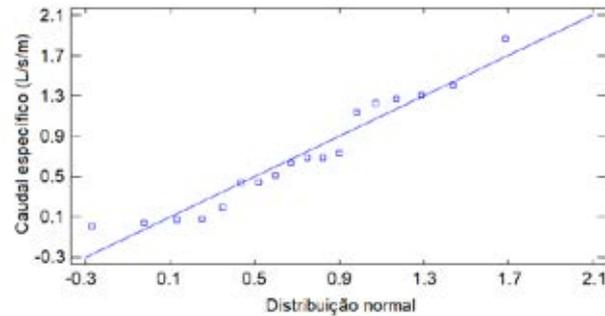


Figura 7.16 Gráfico quantil-quantil do caudal específico (L/s/m)

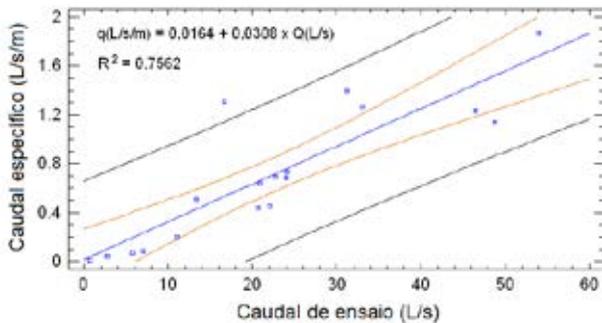


Figura 7.14 Regressão linear do caudal específico sobre o caudal de ensaio. A reta de regressão calculada pelo método dos mínimos quadrados tem cor azul; o limite do intervalo de confiança da reta de regressão é indicado pelas duas linhas de tom amarelado; as linhas de cor preta indicam o intervalo de predição para a variável dependente; os limites estão definidos para o nível de confiança de 95 %

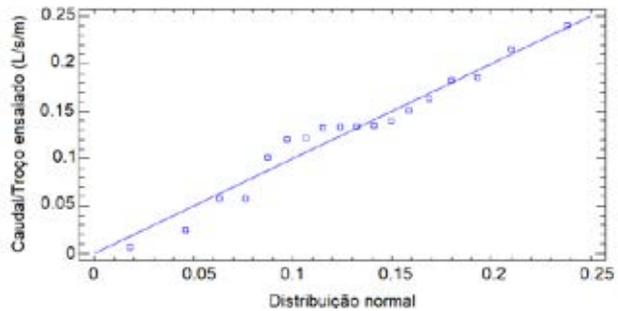


Figura 7.17 Gráfico quantil-quantil do caudal por metro de troço ensaiado (L/s/m)

ço ensaiado ajustam-se à distribuição normal $N(0,128; 0,062)$ para o nível de confiança de 95 %, **Figura 7.17**.

A relação entre a produtividade dos troços ensaiados e a qualidade da água extraída vai ser avaliada através dos conjuntos de valores analíticos da mineralização total e da concentração do ião cloreto de amostras de água recolhidas no decurso destes ensaios. As amostras estatísticas destes parâmetros hidroquímicos são homogéneas, com a ressalva de dois valores da mineralização total que representam dois *outliers* superiores para o nível de confiança de 95 % (**Figura 7.18**).

Os valores *outliers* da mineralização total pertencem a amostras de água recolhidas no decurso dos ensaios dos troços mais profundos (de diâmetro de 4") dos furos AC-MP30 e AC-MP31. A estes troços correspondem valores de caudal específico e de caudal por metro do troço ensaiado muito baixos: 0,009 e 0,007 L/s/m no furo AC-MP30 e 0,04 e 0,25 L/s/m no AC-MP31.

As retas de regressão da mineralização total e da concentração em cloreto sobre o caudal específico, com declive negativo, evidenciam o aumento da mineralização da água com a diminuição do caudal específico (**Figura 7.19**).

O método ANOVA (acrónimo de análise de variância) permite concluir que há uma relação estatisticamente significativa entre as variáveis mineralização total e cloreto e o caudal específico para o nível de confiança de 95%. Aos menores valores do caudal específico correspondem a valores da condutividade hidráulica mais baixa, a escoamentos mais lentos, tempos de interação água/rocha mais longos e ao consequente aumento da mineralização da água.

Comentando os resultados dos trabalhos, isto é, a produtividade dos furos aquém do esperado, os consultores senhores engenheiros Pedro Lopes Paradela e Vasco Fernandes, no "Relatório sobre os trabalhos de pesquisa efetuados pela firma A. Cavaco ao longo da adutora do Alviela", escrevem um capítulo em que justificam alguns dos resultados obtidos como "um problema de tectónica".

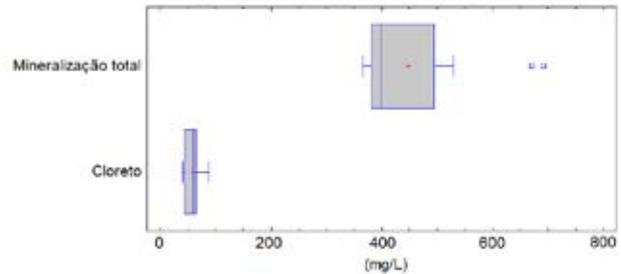


Figura 7.18 Representação gráfica das estatísticas principais da mineralização total e da concentração do ião cloreto da água recolhida no decurso dos ensaios por troços da tubagem de revestimento

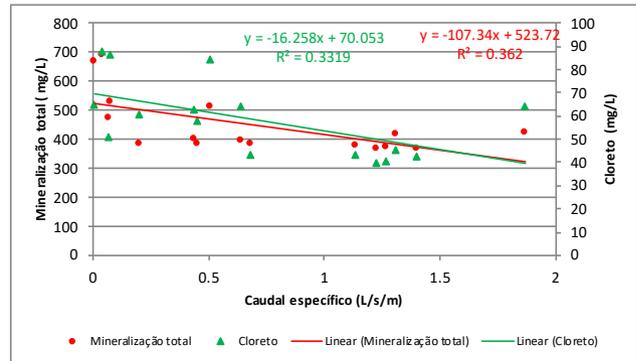


Figura 7.19 Regressões lineares da mineralização total e do cloreto sobre o caudal específico



Figura 7.20 Extrato da Carta Neotectónica de Portugal Continental (Cabral e Ribeiro, 1988) com localização aproximada dos furos de pesquisa executados ao longo do canal do Alviela

A explicação apresentada baseia-se no facto de existirem dois furos, próximo de Alcoentre, destinados ao abastecimento desta povoação, onde o NHE se situaria "grosso modo" pela cota 70 m. Outros dois furos, para o abastecimento da antiga Colónia Penal, teriam o NHE à mesma cota.

Por outro lado, o NHE dos furos AC-MP29 e AC-MP30 anda por cotas de 5 m a 9 m, ou seja, em ordem de grandeza, 60 m mais baixo que o dos furos de Alcoentre.

Segundo os autores, trata-se de um diferença demasiado grande só explicável pela falta de continuidade do sistema aquífero, devido à sua compartimentação. A explicação poderia ser uma falha definida pelo alinhamento Alguber-Pontével que separaria Alcoentre dos furos AC-MP29 e AC-MP30; seria uma falha com direção NW-SE, entre outras reconhecidas na região (Figura 7.20)

O local escolhido para o furo AC-MP31, próximo da Quinta Torre Bela, situado a SW da fratura em causa, portanto do mesmo lado dos furos de Alcoentre, fazia assim esperar que o furo viesse a revelar-se repuxante, o que não sucedeu.

Os autores concluem que fica por explicar a diferença de comportamento do sistema aquífero, aquífero em Alcoentre e nos locais dos furos da EPAL, a menos que no processo esteja envolvida não só a fratura citada mas ainda outra com alinhamento ENE-WSW que passa pouco a sul de Alcoentre e a norte de Santarém.

À semelhança do que acontece com as propriedades associadas à transmissividade do aquífero, as características da água variam nas três dimensões do espaço.

Na altura da execução dos ensaios de bombeamento dos quatro furos, foi efetuada a colheita de amostras de água para posterior análise físico-química em laboratório. As amostras de água dizem respeito à espessura total captada por cada um dos furos e aos troços individualizados dos furos.

Do ponto de vista químico as águas captadas são medianamente mineralizadas e medianamente duras com reação alcalina.

A água amostrada dos furos completos é muito semelhante (bicarbonatada cálcica, sendo a do AC-MP28 a de menor concentração relativa em magnésio). A água captada no conjunto dos terrenos miocénicos (troço 8"+6" ou 12"+10" no AC-MP28) é de qualidade muito homogénea tanto nos aniões como nos catiões (bicarbonatada cálcica).

A tipologia da água pertencente ao Paleogénico é diferente da água das unidades sobrejacentes. Além do aumento da mineralização e do pH, o catião Na^+ passa a ser dominante em substituição do Ca^{2+} e entre os aniões continua a predominar o bicarbonato.

A variação de fácies e de mineralização da água visualiza-se bem através dos diagramas de Stiff da Figura 7.21.

Mendonça *et al.* (2004) para outras ocorrências na Baía do Tejo como as descritas, através de modelação hidrogeoquímica inversa, concluíram que a génese do

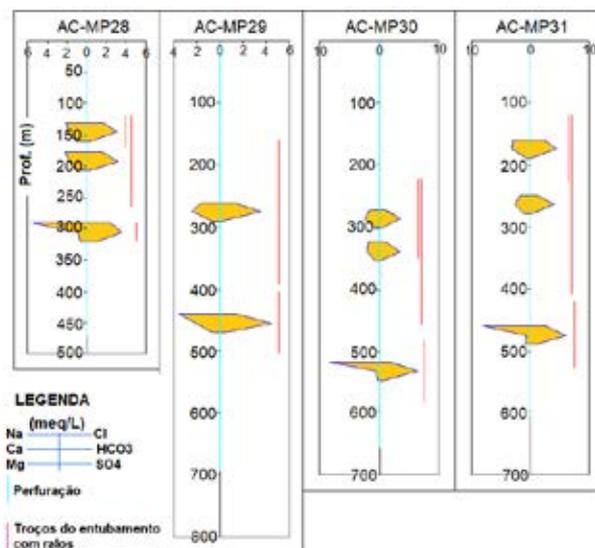


Figura 7.21 Variações de fácies e de mineralização da água (diagramas de Stiff) dos vários troços amostrados (os traços verticais indicam a extensão das zonas captadas de onde foram extraídas as amostras, a representação gráfica localiza-se a meio das zonas e é também representada a profundidade da perfuração de cada furo

aumento da mineralização em profundidade pode ser associada aos mecanismos hidrogeoquímicos seguintes: aumento do TCID, dissolução de calcite, halite e gesso e trocas iónicas que controlam e mantêm a concentração do Ca^{2+} e do Mg^{2+} relativamente baixa e aumentam a concentração do Na^+ .

A qualidade da água para consumo humano, tendo em conta o Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de agosto, cumpre os valores das tabelas dos parâmetros químicos e indicadores e as recomendações das Partes II e III do Anexo I daquele normativo.

No que respeita ao Anexo I, categoria A1 do Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de agosto, "qualidade das águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano", que de acordo com as condições definidas no Artigo 14º também se aplica às águas subterrâneas que apresentem qualidade superior ou igual à da categoria A1, a água dos furos cumpre, em regra, os valores do VMR e não ultrapassa os valores dos VMA definidos neste normativo.

Faz-se notar que as análises realizadas na altura, e como era corrente na época, não incluíram o doseamento de substâncias indesejáveis e tóxicas, tais como os metais pesados, os pesticidas, os hidrocarbonetos e a radioatividade.

ACAVACO apresenta algumas conclusões entre as quais se destaca que os furos poderiam ser equipados imediata e provisoriamente de modo a garantir o reforço do caudal no Canal do Alviela. Propõe a exploração dos furos AC-MP29, AC-MP30 e AC-MP31 com o regime seguinte: o AC-MP29 com caudal de 40 L/s e NHD previsto a 70 m de profundidade, o AC-MP30 com caudal de 45 L/s e NHD a 65 m e o AC-MP31 com caudal de 60 L/s e NHD a 75 m.

ACAVACO também recomenda que seja dado seguimento ao Plano de Pesquisa interrompido, justificando-se, pelo menos, a realização da sondagem prevista para a área de Almoster, em localização já sugerida no relatório ACAVACO, ID84012 de 21 de março de 1984. Na realização desta ou de outras sondagens, atender-se-iam às condições litostratigráficas definidas no relatório, as quais recomendavam a realização de sondagens mais profundas até formações garantidamente cretácicas.

Por sua vez, os consultores também apresentam algumas conclusões e recomendações nomeadamente:

- A zona mais aconselhável para eventual instalação de captações é a de Torre Bela (furo AC-MP31), onde seria de esperar que se captasse, no mínimo, por furo o caudal de 60 L/s, com o nível hidrodinâmico a 70 m de profundidade.
- Os quatro furos executados encontram-se em condições de ser explorados, se bem que o AC-MP28 tenha fornecido caudal muito pequeno em relação ao previsto. As condições de exploração recomendadas são as mesmas que ACAVACO propôs a que acrescentam a recomendação para o furo AC-MP28: caudal de 15 L/s e NHD previsto a 80 m de profundidade.
- A solução de continuação da perfuração dos furos AC-MP29, AC-MP30 e AC-MP31 com vista à prospeção das formações subjacentes-cretácicas ou jurássicas não parece muito viável devido aos constrangimentos seguintes: a) a tubagem final de diâmetro é muito pequeno (4") e parece insuficiente para uma pesquisa adequada aos objetivos; b) os tubos ralos da tubagem superior seriam locais para perdas importantes de fluido de circulação antes da sua colmatação total e inutilização.



8. Pesquisa e prospecção de água no sistema aquífero terciário do Tejo-Sado nas zonas A e B do plano diretor da EPAL

Os estudos realizados no âmbito do Plano Diretor de Desenvolvimento do Sistema de Abastecimento da EPAL de 1996, adiante designado por Plano Diretor, concluíram que a EPAL poderia vir a captar, com caráter permanente, o caudal adicional de 65.700 m³/d (0,76 m³/s), numa faixa situada na margem esquerda do Rio Tejo, entre Almeirim e Muge, designada por zona A (Figura 8.1). O Plano Diretor previa também, numa zona a NE de Alcochete, designada por zona B, a possibilidade de extrair 1 m³/s (86.400 m³/d). A localização, os recursos hídricos

subterrâneos e os impactes da exploração das zonas A e B, à escala do sistema aquífero, foram estudados por intermédio de um modelo de fluxo numérico, em diferenças finitas, elaborado por um consórcio das empresas Procel, Compagnie General des Eaux Portugal e Profabril (GESTÁGUA, 1996).

Ainda de acordo com o Plano Diretor, a concretização e a integração destas novas origens no sistema de abastecimento da EPAL poderiam ser conseguidas através de furos de captação com profundidade da ordem de 500 m (correspondente à camada 3 do modelo matemático).

Nesse sentido, a EPAL decidiu complementar o conhecimento do aquífero nas duas zonas em questão, com a realização de furos de pesquisa na zona A e de um estudo hidrogeológico de pré-viabilidade na zona B.

8.1 Furos de pesquisa na zona A

Este trabalho foi adjudicado ao agrupamento A. Cavaco, ACE, adiante designado por ACAVACO, e teve por objetivo aferir a validade das conclusões do Plano Diretor.

A campanha de trabalhos de campo incluiu dois pares de furos: um de pesquisa que se designou de ACMP e outro de observação a que foi atribuída a sigla ACO. Os pares de furos foram construídos em dois locais: A1 – um pouco a norte de Benfica do Ribatejo e A2 – a jusante de Almeirim, na Quinta Capitão, junto à Ponte Salgueiro Maia (Figura 8.2 e Figura 8.3). A distância entre o furo de pesquisa e o furo de observação é a seguinte: 54 m no local A1 e 36 m no local A2.

Os resultados dos trabalhos de pesquisa foram apresentados no RF01021 de 17-12-2001 e o projeto das captações constou do relatório RF01004 de 22-3-2002, ambos da autoria de ACAVACO.

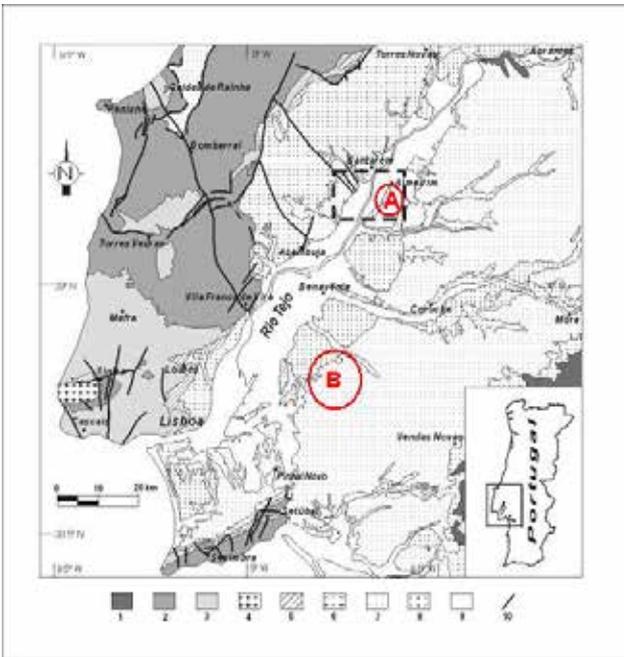


Figura 8.1 Enquadramento geológico regional das zonas A e B (cercadura a vermelho), adaptado da Carta Geológica de Portugal, escala 1: 500.000 (in Mendonça & Cabral, 2003).

1, soco paleozoico; 2 e 3, sedimentos jurássicos e cretácicos da Bacia Lusitânica; 4, maciço intrusivo de Sintra (Cretácico superior); 5, 6 e 7, sedimentos paleogénicos, miocénicos e pliocénicos da bacia do Baixo Tejo; 8 e 9, sedimentos fluviais quaternários do rio Tejo; 10, falha cartografada. O retângulo a tracejado delimita a área do estudo estrutural da zona A

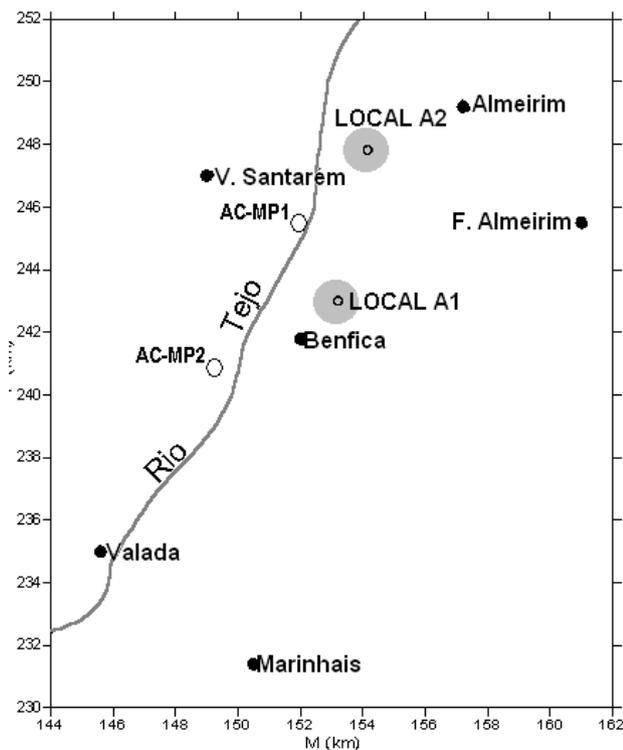


Figura 8.2 Localização da zona A e dos locais de pesquisa A1 e A2

No modelo concetual do modelo de fluxo numérico, considerado no Plano Diretor, a espessa série de sedimentos que constituem o enchimento da bacia terciária é subdividida em três grandes unidades hidrogeológicas sobrepostas denominadas, do topo para a base:

- **Camada 1** – corresponde ao aquífero livre, representado pelas aluviões modernas do vale do Tejo em comunicação direta com o rio;
- **Camada 2** – compreende as aluviões profundas e os níveis permeáveis do Pliocénico subjacente, constituindo uma camada cativa/semicativa que se torna livre na periferia da *camada 1*;
- **Camada 3** – inclui o conjunto do “reservatório Mio-cénico”, fortemente artesiano na zona central da bacia, mas que se torna livre nos bordos, nas zonas em que é diretamente recarregado pelas chuvas.

Intercalados com estes três conjuntos, encontram-se horizontes pouco permeáveis, que desempenham o papel de isolamento parcial entre camadas, e que criaram condições para que, em regime natural, tivesse ocorrido forte artesianismo repuxante na zona central da bacia.



Figura 8.3 Furo de pesquisa ACMP/A1 atualmente com equipamento para extração de água para agricultura

Ainda segundo o modelo conceitual adotado no Plano Diretor, na espessa série do Miocénico da *camada 3* podem distinguir-se dois subdomínios:

- A este de uma linha norte-sul, passando por Alenquer e Setúbal, há depósitos de características essencialmente continentais, representados por alternâncias de calcário e de margas, com intercalações mais ou menos importantes de grés e de conglomerados. A espessura total é variável, sendo os valores máximos atribuídos ao setor de Vila Franca de Xira-Benavente com espessuras da ordem dos 800 a 1.000 m.
- A oeste da mesma linha, há depósitos de características marinhas, representados por alternância de areia, grés calcário e marga. A espessura máxima destes depósitos é de 800 m na zona do Barreiro, sofrendo uma diminuição com a aproximação da cadeia da Arrábida.

Sobre a série miocénica encontram-se os terrenos do Pliocénico, estando a transição representada por formações de natureza argilosa.

No **Quadro 8.1**, resumem-se as características principais de cada uma das camadas hidrogeológicas tal como caracterizadas pelo Plano Diretor da EPAL. Não sendo a espessura das camadas na zona A definida no texto do plano, os valores das espessuras apresentados resultam da interpretação feita por ACAVACO da amostragem colhida nas sondagens realizadas no âmbito dos trabalhos de pesquisa que serão enunciados a seguir.

Considera o Plano Diretor, que a *camada 1* apresenta fortes probabilidades de conter águas de qualidade deficiente, já que em toda a bacia do Tejo existem terrenos com agricultura intensiva, onde são utilizados pesticidas e fertilizantes. Existem também núcleos industriais e águas residuais resultantes da inexistência de saneamento básico em muitas localidades. Todos estes potenciais focos de contaminação poderão tornar-se efetivos nas áreas onde os aquíferos se comportam como livres (*camada 1* e afloramentos das *camada 2* e *camada 3*).

Relativamente à *camada 3*, na zona A, o Plano Diretor considera que se encontra bem protegida das poluições de origem doméstica, agrícola e industrial.

A partir dos resultados favoráveis de diversas simulações do modelo matemático do sistema aquífero, o Plano Diretor da EPAL concluiu que, na zona A, seria possível a exploração de 65.700 m³/d (0,76 m³/s) de forma permanente, sem provocar fortes rebaixamentos. Estes argumentos fundamentaram a decisão de considerar a *camada 3* como alvo da campanha de pesquisa hidrogeológica realizada por ACAVACO.

Os furos foram executados pelos métodos de perfuração *rotary* com circulação inversa e com circulação direta.

As características geométricas da perfuração são representadas na **Figura 8.4**. A sequência geológica atravessada nas quatro sondagens foi semelhante: areias, argilas, grés, margas e calcário.

Camadas	Idade	Tipo de aquífero	Espessura (m)		Caraterísticas hidrodinâmicas	
			Zona A1	Zona A2	T (m ² /s)	S
<i>Camada 1</i>	Quaternário	Livre	46	46	7x10 ⁻²	2x10 ⁻² a 10x10 ⁻²
<i>Camada 2</i>	Plio Quaternário	Cativo/Semicativo	50	60	0,8x10 ⁻² a 2x10 ⁻²	1x10 ⁻³ a 5x10 ⁻³
<i>Camada 3</i>	Miocénico	Cativo	372	250	1x10 ⁻² a 2x10 ⁻²	1x10 ⁻⁴ a 2x10 ⁻⁴

Quadro 8.1 Características das camadas hidrogeológicas na zona A, como caracterizadas no Plano Diretor da EPAL

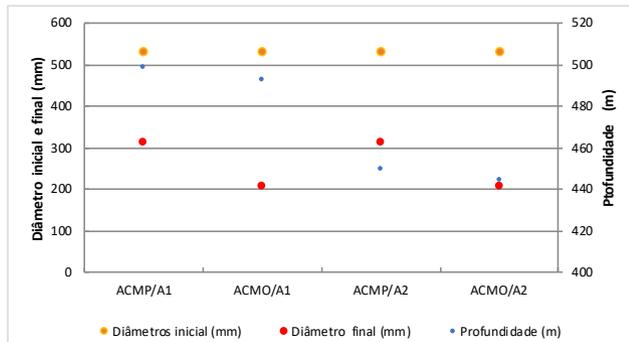


Figura 8.4 Características da perfuração dos furos de pesquisa e de observação

A avaliação da textura e da estrutura do sistema hidrogeológico pesquisado fez-se com o estudo da amostragem dos terrenos atravessados pela perfuração e das diagrfias elétricas e de radiação gama natural.

As condições geológicas encontradas na zona A enquadram-se no modelo geral que descreve a bacia do Baixo Tejo. Os furos atravessaram uma espessa série detrítica e carbonatada terciária, constituída por recorrentes alternâncias de arenitos e argilas, encimada por areias e cascalheiras aluviais quaternárias.

No entanto, as diagrfias de resistividade elétrica dos furos nos locais A1 e A2 têm configurações diferentes (Figura 8.5). No local A1, as alternâncias de arenitos e argilas, materializadas por variações no valor da resistividade, mantêm-se ao longo dos cerca de 500 m de coluna geológica atravessada. No local A2, aquele estilo, embora com maior abundância de termos argilosos, observa-se até cerca de 290 m de profundidade; abaixo, a sequência é encimada por sedimentos carbonatados a que se segue uma série detrítica que se torna mais monótona a partir de 340 m de profundidade, com claro predomínio de termos detríticos com fração argilosa abundante. As diagrfias do potencial espontâneo e da radiação gama natural estão de acordo com esta interpretação da diagrfia da resistividade.

No local A2, ter-se-ão areias e argilas miocénicas até uma profundidade compreendida entre cerca de 290 e 340 m, seguindo-se, em profundidade, a sedimentação paleogénica, detrítica com forte componente argilosa, até ao substrato granitoide, que foi intersectado a 444 m de profundidade.

196

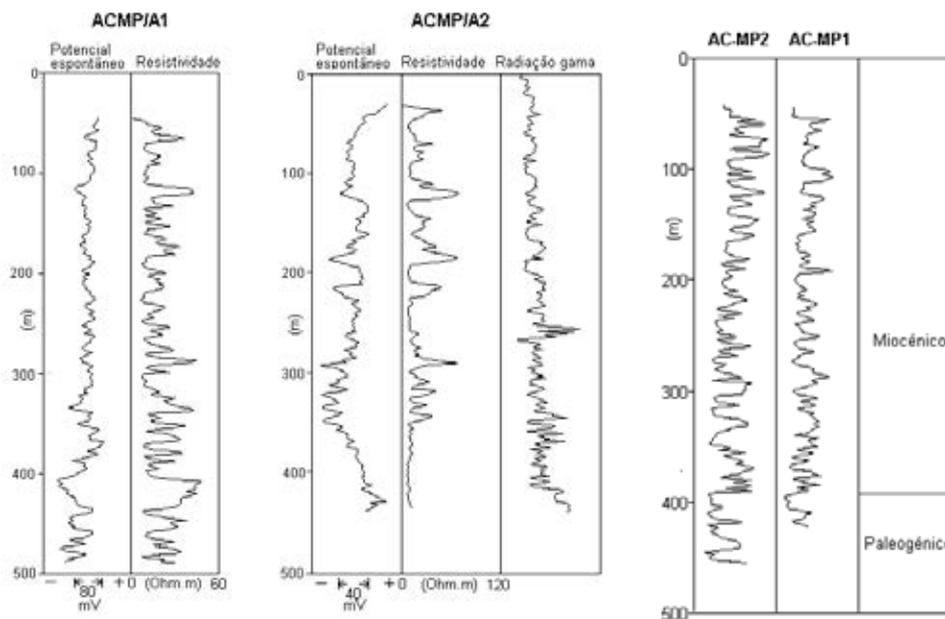


Figura 8.5 (esq.) Diagrfias dos furos ACMP/A1 e ACMP/A2

Figura 8.6 (dir.) Diagrfias da resistividade elétrica dos furos AC-MP1 e AC-MP2 na margem direita do Tejo, ver localização na Figura 8.2

Assim, enquanto na margem direita do leito atual do rio Tejo, a espessura da série sedimentar miocénica se mantém aproximadamente constante (Figura 8.6), no local A1 verifica-se um forte incremento de espessura destes sedimentos relativamente à margem direita e ao local A2. Estas constatações podem ser interpretadas como consequência de dois acidentes tectónicos: uma falha de orientação transversal ao vale do Tejo, localizada entre o local A2 e o local A1, produzindo abatimento relativo do bloco meridional (Figuras 8.7), e outra falha disposta segundo a direção do vale, localizada entre os furos referenciados de uma e outra margem do Tejo, originando abatimento relativo do bloco oriental.

O projeto das colunas de revestimento definitivo dos furos de pesquisa (Figura 8.8), além da localização dos tubos ralos em frente das camadas aquíferas mais promissoras, teve em conta a preocupação de criar condições para bombear isoladamente conjuntos de camadas (zonas) ocorrentes a profundidades diferentes, utilizando empanques (obturadores) para as isolar.

Foram realizados ensaios de produtividade (ou de caudal) de longa duração com o objetivo de avaliação da produtividade e da curva característica dos furos e determinação de parâmetros hidráulicos do sistema aquífero.

No furo de pesquisa ACMP/A1 executaram-se ensaios de caudal em dois conjuntos de camadas aquíferas: entre 114 e 237 m de profundidade (zona superior, com 122 m de espessura), Figura 8.9, e entre 259 e 478 m (zona inferior, com 215 m de espessura), Figura 8.10.

Como primeira conclusão, os valores do NHE medidos confirmam o modelo conceptual de fluxo, exposto no capítulo 4. Isto é, a cota piezométrica na zona inferior da camada 3 era mais elevada, cerca de 6 m, que na zona superior. A cota piezométrica na zona superior, por sua vez, também estava abaixo da cota piezométrica nas aluviões. Isto é, a zona superior tinha condições hidráulicas para receber carga por drenância pelo topo e pela base. Esta depressão dos níveis da água na zona superior entende-se, tendo em conta que a maioria ou grande parte da água extraída para a agricultura era e é explorada por furos com esta gama de profundidades.

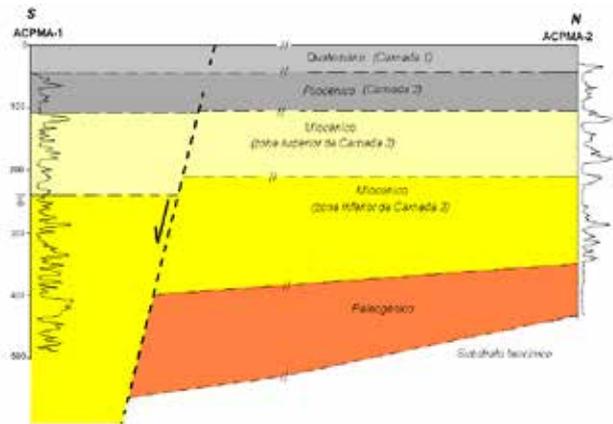


Figura 8.7 Perfil esquemático e interpretativo dos resultados das diagrfias de resistividade (Mendonça e Cabral, 2003)

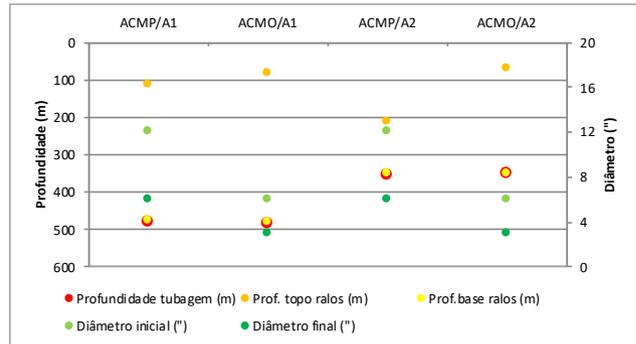


Figura 8.8 Características das colunas de revestimento definitivo dos furos de pesquisa e observação

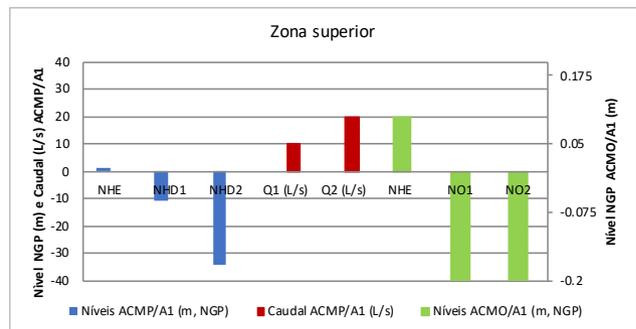


Figura 8.9 Representação gráfica dos resultados do ensaio de produtividade escalonado da zona superior do furo ACMP/A1

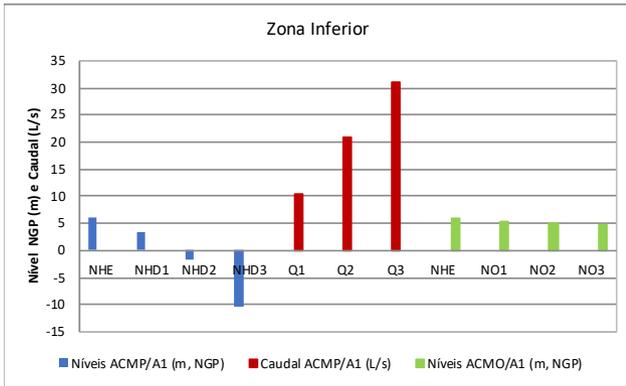


Figura 8.10 Representação gráfica dos resultados do ensaio de produtividade escalonado da zona inferior do furo ACMP/A1

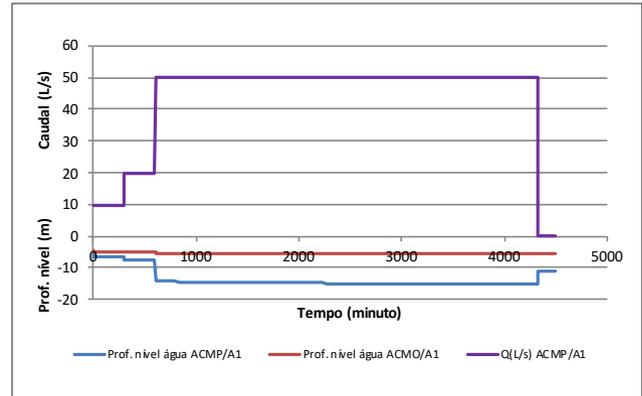


Figura 8.13 Representação gráfica da evolução do ensaio de produtividade escalonado do furo ACMP/A1 (furo total)

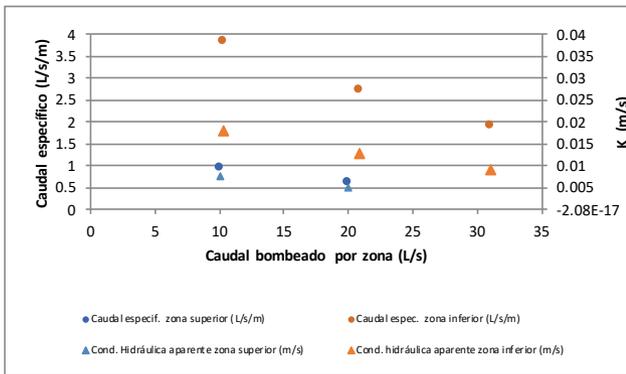


Figura 8.11 Comparação da produtividade das zonas superior e inferior no local A1

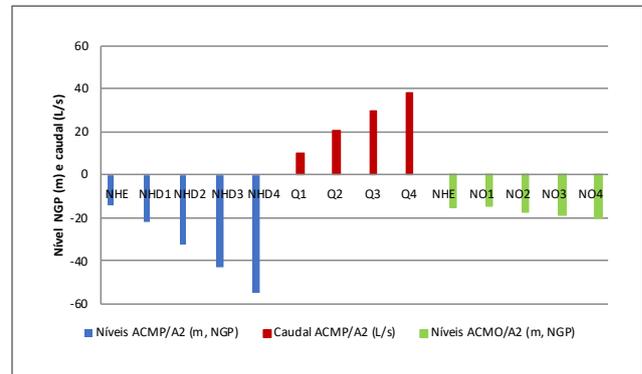


Figura 8.14 Representação gráfica dos resultados do ensaio de produtividade escalonado do furo ACMP/A2

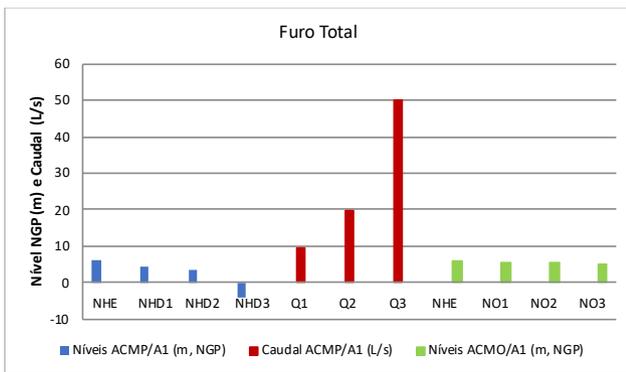


Figura 8.12 Representação gráfica dos resultados do ensaio de produtividade escalonado de toda a espessura produtiva do furo ACMP/A1 (furo total)

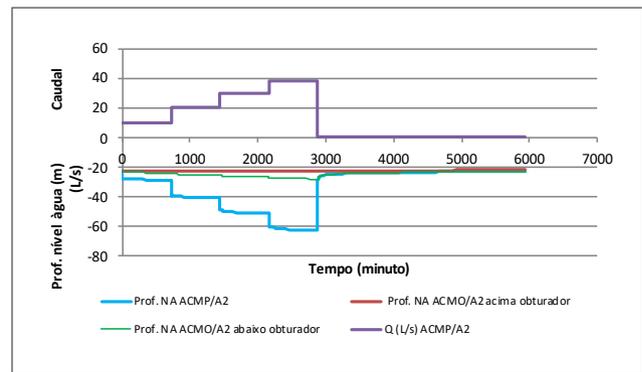


Figura 8.15 Representação gráfica da evolução do ensaio de produtividade escalonado do furo ACMP/A2 (21/11/2001 a 25/11/2001); NA = Nível da água

O caudal específico da zona superior foi bastante mais baixo que o da zona inferior: 0,70 L/s/m e 2,90 L/s/m, respetivamente, para o caudal de 20 L/s. Considerando o caudal específico como um valor aproximado da transmissividade, apesar de a espessura da zona inferior ser quase o dobro da superior, a condutividade hidráulica média aparente também é mais elevada nas camadas da zona inferior (Figura 8.11). Se a análise for feita sem ter em conta o rebaixamento produzido, isto é, tomando para indicador o caudal bombeado repartido pela espessura, o valor do índice da zona superior (0,08 L/s/m com $Q=10$ L/s e 0,16 L/s/m com $Q=20$ L/s) é maior que o da zona inferior (0,05 e 0,10 L/s/m para os caudais de 10,3 e 20,8 L/s, respetivamente).

No mesmo furo ACMP/A1, também foi executado um ensaio de caudal escalonado, envolvendo toda a espessura produtiva da *camada 3* (zona superior + zona inferior), Figura 8.12 e Figura 8.13.

Ressalta da Figura 8.13 que os níveis de água desceram de forma contínua no furo em bombeamento ao longo do tempo dos três escalões do ensaio e que a mesma tendência se regista no furo de observação no decurso do terceiro escalão (níveis não estabilizados ou ensaio em regime transitório). O tempo de observação dos níveis da água na fase de recuperação é manifestamente insuficiente para se tirarem conclusões.

No furo de pesquisa ACMP/A2 (Figura 8.14 e Figura 8.15), foi apenas ensaiado o conjunto de camadas entre 215 e 353 m de profundidade, a espessura produtiva da *camada 3* no local A2. Com efeito, de acordo com a amostragem e as diagrfias, as camadas abaixo de 353 m de profundidade interpretaram-se como pouco produtivas. As medições dos níveis da água no respetivo furo de observação fizeram-se na zona superior e inferior. O isolamento entre as duas zonas foi conseguido com aplicação de um obturador ou empanque a 206 m de profundidade.

Conclui-se da Figura 8.15: que o nível estático no troço superior e inferior do furo ACMP/A2 (acima e abaixo do obturador) é semelhante (difere em 26 cm), mas que os níveis dinâmicos são bem diferentes; que os níveis de água do troço superior sobem ligeiramente no decurso do ensaio,

devido provavelmente à recuperação sazonal dos níveis da água na zona superior da *camada 3*; que os níveis de água no troço inferior do furo, equivalente da zona em bombeamento no furo ACMP/A2, descem permanentemente ao longo do ensaio; que não houve recuperação completa do nível da água após a paragem da bomba, apesar das 50 horas de observação da fase de recuperação.

No furo ACMP/A2, entre 26/11/2001 e 4/12/2001, realizou-se um novo ensaio de caudal de maior duração que o anterior (193 horas), com 168 horas de bombeamento com o caudal quase constante de 36 L/s e 25 horas de observação na fase de recuperação do nível da água (Figura 8.16).

A principal conclusão que se tira do ensaio é que o nível da água no ACMP/A2 não estabilizou ao fim de sete dias de bombeamento contínuo, desenvolvendo-se em regime transitório. A segunda conclusão deriva do registo da observação de níveis no troço superior do furo ACMP/A2, que permitiu visualizar a subida do nível da água com uma taxa média de 5,3 cm/d. Esta subida pode ter duas explicações: (1) recarga com origem nas camadas mais superficiais, acima da centena de metros de profundidade, e/ou (2) como sugerido na interpretação do ensaio anterior, recuperação de níveis como resultado da paragem da exploração estival na zona superior da *camada 3* (principalmente da água destinada ao consumo na agricultura).

A evolução da subida de níveis no período dos ensaios descritos (21/11/2001 a 4/12/2001) é sintetizada no gráfico da figura 8.17. Este gráfico mostra que a subida de níveis na zona superior não foi uniforme. Depende do caudal extraído na zona inferior, ou melhor, do caudal que por drenância passa da zona superior para a zona inferior.

Como é norma, no decorrer dos ensaios, colheram-se amostras de água das zonas ensaiadas para análises *in situ* e em laboratório.

Algumas propriedades físico-químicas da água extraída, controladas no decurso dos ensaios de produtividade, são representadas na Figura 8.18. A água extraída da zona inferior do furo ACMP/A1 é mais mineralizada, em cerca de 20 a 30 %, que a água bombeada das camadas

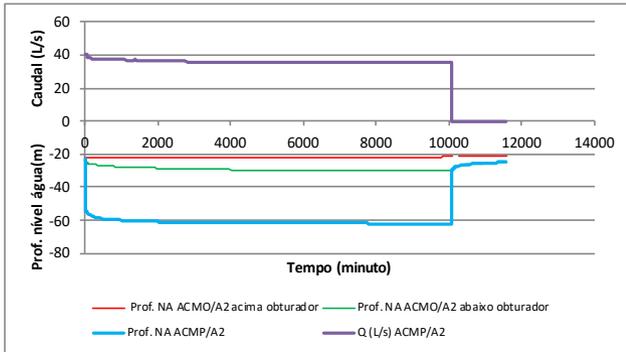


Figura 8.16 Representação gráfica da evolução do ensaio a caudal quase constante do ACMP/A2 (26/11/2001 a 4/12/2001); NA = Nível da água

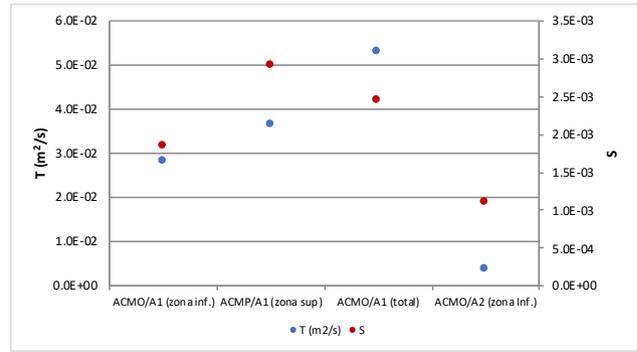


Figura 8.19 Características hidrodinâmicas da camada 3 nos locais A1 e A2

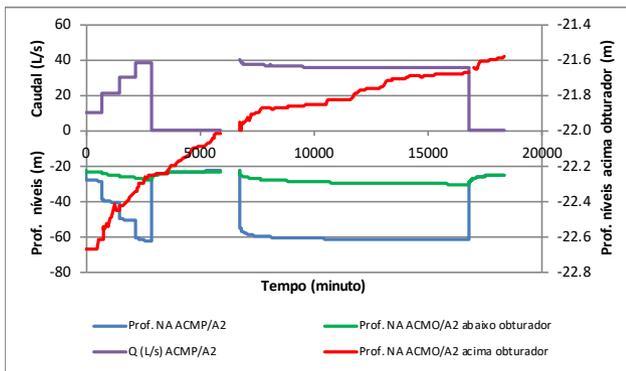


Figura 8.17 Representação gráfica conjunta da evolução dos níveis de água no decurso dos dois ensaios de caudal do furo ACMP/A2 (21/11/2001 a 4/12/2001); NA = Nível da água

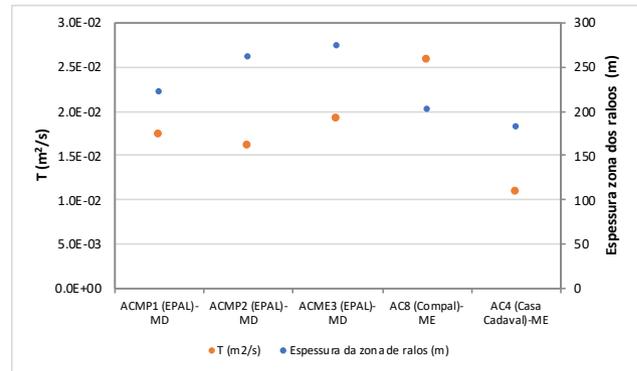


Figura 8.20 Valores da transmissividade da camada 3 em locais incluídos ou adjacentes à zona A

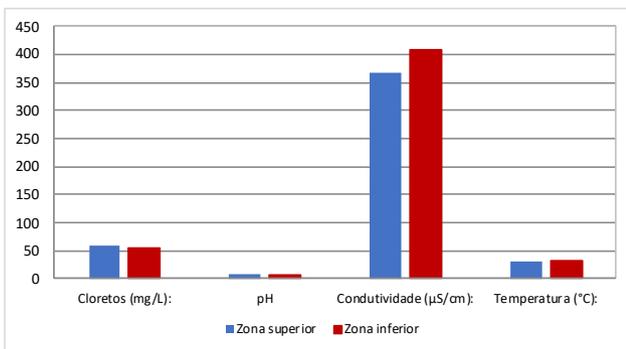


Figura 8.18 Algumas características físico-químicas da água bombeada das zonas superior e inferior do furo ACMP/A1

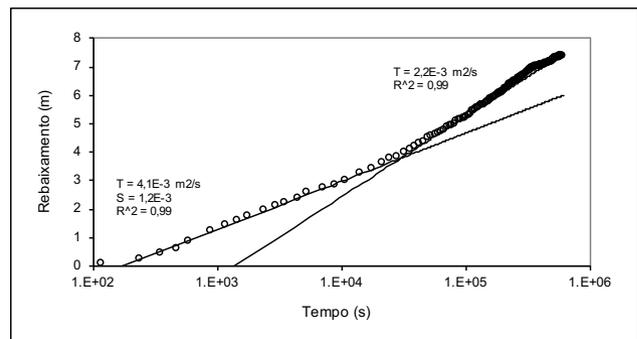


Figura 8.21 Interpretação do ensaio de bombeamento no local A2: rebaixamentos observados no piezômetro à distância $r \approx 50$ m. A transmissividade de comportamento é cerca de metade da transmissividade do aquífero (T inicial)

da zona superior. Os resultados das análises laboratoriais serão comentados mais à frente após a apresentação da interpretação hidrodinâmica e estrutural.

Na interpretação hidrodinâmica dos ensaios de caudal, em regime transitório, realizada por ACAVACO, admitiu-se que o aquífero é confinado, homogéneo, isotrópico e de extensão radial infinita. Utilizou-se a aproximação logarítmica (Cooper e Jacob, 1946) da equação de Theis (1935).

Na [Figura 8.19](#), apresentam-se os valores obtidos de transmissividade (T) e do coeficiente de armazenamento (S) nos locais A1 e A2.

Na [Figura 8.20](#), representam-se valores da transmissividade calculados a partir da interpretação dos ensaios de caudal de furos localizados em outras áreas incluídas ou adjacentes à zona A.

ACAVACO concluiu, a partir dos valores dos parâmetros hidrodinâmicos apresentados nas duas figuras anteriores, que o local A1 é potencialmente mais favorável que o local A2.

Os valores dos parâmetros hidráulicos avaliados no local A1 são idênticos aos calculados na área da Lezíria de Vila Franca de Xira por Mendonça, 1996. Os determinados no local A2 são inferiores (quase uma ordem de grandeza, no que respeita à transmissividade).

Em complemento à interpretação feita por ACAVACO, adianta-se que as representações gráficas da evolução dos níveis dinâmicos nos piezómetros só seguem o modelo de aquífero confinado de extensão radial infinita nas primeiras seis horas de ensaio. Com a continuação do bombeamento, as curvas dos dados de campo afastam-se progressivamente da curva teórica, com inflexões no sentido do maior declive ([Figura 8.21](#)). Estas inflexões podem resultar de limites laterais pouco permeáveis que se associam a falhas que compartimentam o aquífero.

Nestes casos, o escoamento pode ser simulado com o auxílio do método das imagens. De acordo com este método, os limites dos aquíferos, quando são bruscos

e retilíneos, são substituídos por um conjunto de "furos imagens" e considera-se a sobreposição de rebaixamentos num aquífero de extensão infinita.

Apesar de não ser possível localizar e determinar a orientação da(s) falha(s) com apenas um furo de observação em cada local, estima-se que a distância de cada um dos locais à(s) falha(s) seja da ordem da centena de metros.

Além dos parâmetros hidráulicos, é de muito interesse avaliar outros parâmetros relacionados com o rendimento e eficiência dos furos de extração de água, como o caudal específico e as perdas de carga.

Segundo Rorabaugh (1953), o rebaixamento num furo é descrito pela equação:

$$sp = BQ + CQ^n \text{ Eq. 8.1}$$

em que n costuma estar compreendido entre 1 e 3,5.

Antes, Jacob (1947) havia proposto o valor de $n = 2$ para o termo CQ^n que, é com muita frequência, o valor mais ajustado e de mais fácil aplicação, como no caso presente:

$$sp = BQ + CQ^2 \text{ Eq. 8.2}$$

esta expressão é a equação de uma parábola, onde sp representa o rebaixamento no furo em exploração, Q é o caudal extraído, B é o coeficiente das perdas de carga lineares (associadas ao escoamento no aquífero e também no furo) e C é o coeficiente das perdas de carga quadráticas (associadas a aumentos de velocidade do escoamento, isto é, a escoamentos turbulentos, por exemplo, na entrada da água nos ralos).

Da interpretação dos ensaios escalonados nos furos de pesquisa atrás referidos calcularam-se as equações apresentadas no [Quadro 8.2](#).

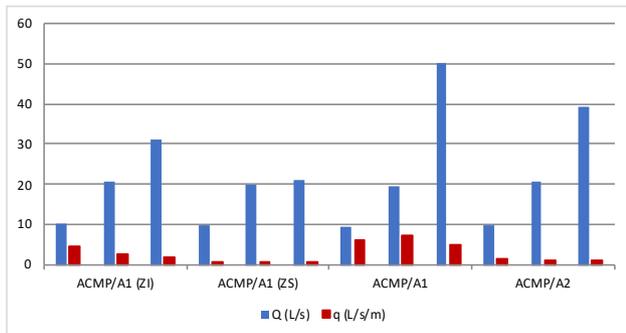


Figura 8.22 Caudal específico (q) para os vários escalões de bombeamento nos furos dos locais A1 e A2; ZI = zona inferior, ZS = zona superior

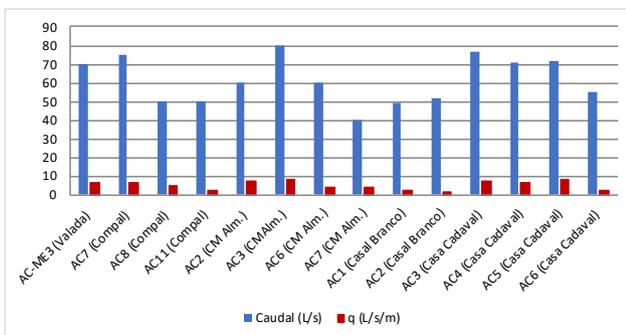


Figura 8.23 Valores do caudal específico com caudais de bombeamento superiores a 30 L/s, em furos localizados na margem esquerda do Tejo e incluídos ou adjacentes à zona A

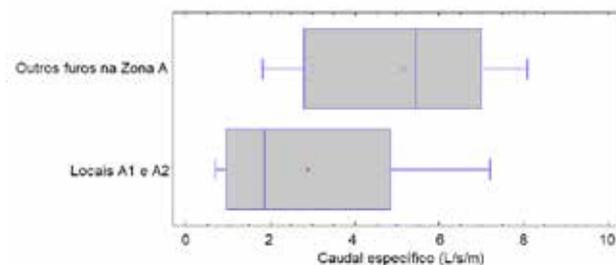


Figura 8.24 Estatísticas principais do caudal específico dos furos de pesquisa construídos nos locais A1 e A2 e dos furos existentes, incluídos ou adjacentes à zona A

Furo	Zona do furo bombeada	Equação (Q em m ³ /s e sp em m)
ACMP/A1	Superior	sp= 600,75 Q + 47640,08 Q ²
	Inferior	sp= 59,92 Q +14095,10 Q ²
ACMP/A ²	Superior + inferior	sp= 133,48 Q +1168,70 Q ²
	Inferior	sp= 463,50 Q + 17259,80 Q ²

Quadro 8.2 Equações dos furos de pesquisa

As Eq. 8.1 e Eq. 8.2 têm um termo que é função de Q² o que significa que o caudal específico (q) não depende exclusivamente do aquífero (BQ) mas também das características do escoamento no furo.

Estas equações refletem a elevada importância das perdas de carga quadráticas que, para os caudais de ensaio mais elevados, ultrapassam 50% do valor dos rebaiamentos medidos.

Os caudais específicos, correspondentes aos caudais ensaiados nos dois furos de pesquisa, são representados graficamente na Figura 8.22. São valores relativamente modestos cuja grandeza é influenciada negativamente pelas perdas de carga quadráticas conforme Eq. 8.2.

As médias e medianas das amostras do caudal específico (calculado com valores de caudal superior a 30 L/s) dos furos de pesquisa construídos nos locais A1 e A2 e dos furos existentes e incluídos ou adjacentes à zona A (Figura 8.23 e Figura 8.24) são diferentes para o nível de confiança de 95 %.

Segundo o relatório de ACAVACO, verificou-se a existência de uma diferença de cerca de 20 m nos níveis piezométricos dos dois locais pesquisados (cota do NHE = +6 m no local A1 e cota do NHE = -13,7 m no local A2). Foi, por isso, considerado oportuno integrar no estudo uma campanha de medição dos níveis piezométricos em diversos furos existentes na zona A e de outros localizados em áreas adjacentes (Figura 8.25).

Aquela data, a distribuição dos níveis piezométricos na área de estudo é esquematizada na Figura 8.26, onde se visualiza uma depressão dos níveis que se estende para NE.

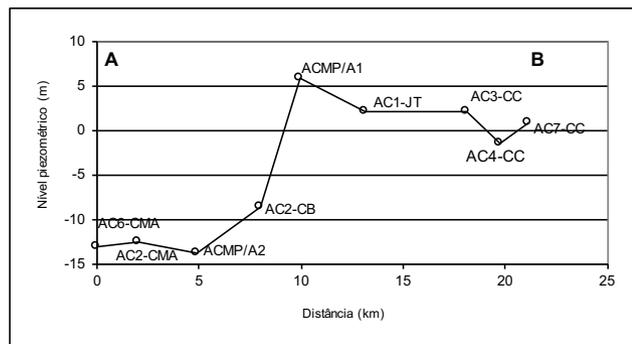


Figura 8.27 Perfil piezométrico com direção geral aproximada NNE-SSW (A-B)

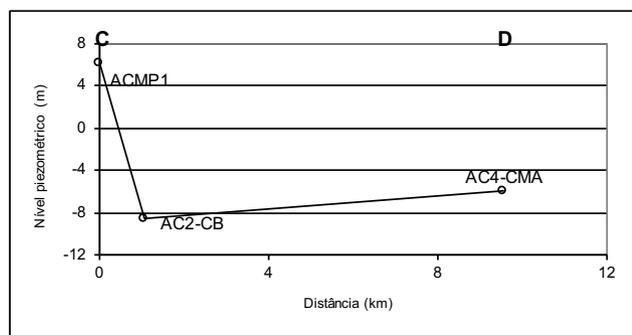


Figura 8.28 Perfil piezométrico com direção aproximada W-E (C-D)

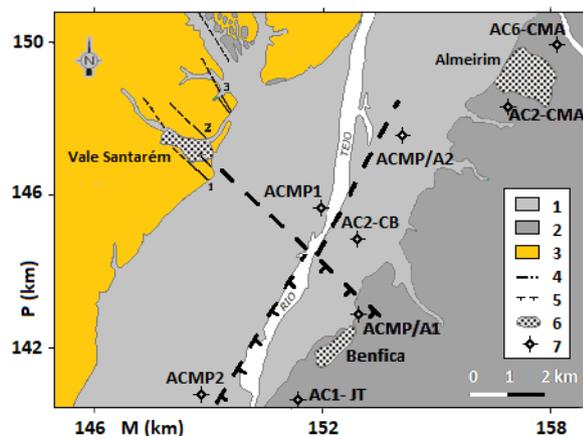


Figura 8.29 Modelo proposto para as falhas inferidas por critérios geofísicos e/ou hidrologicos, a partir dos furos estudados. Cartografia geológica adaptada: 1, aluviões fluviais holocénicos; 2, sedimentos pliocénicos e cobertura arenosa indiferenciada; 3, sedimentos pliocénicos e miocénicos; 4, falha (certa e provável); 5, falha oculta inferida (denteado no bloco deprimido); 6, povoação, 7, furo (in Mendonça & Cabral, 2003)

Este conjunto de fraturas prolonga-se provavelmente para NW, ligando-se ao acidente que limita a NE a bacia tectónica de Rio Maior (falha do Cidral), perfazendo um comprimento total de cerca de 25 km. Para SE, fica oculto pelas aluviões recentes do Tejo, não estando reconhecido na margem oposta do rio.

Com o objetivo de caracterizar melhor a geometria, a cinemática e a idade das estruturas referidas, efetuaram-se alguns reconhecimentos no terreno. Assim, nos taludes da linha do caminho de ferro imediatamente a S de Vale de Santarém (Figura 8.29, loc. 1) observou-se, em afloramento, o acidente tectónico de orientação WN-W-ESE representado na cartografia geológica da Folha 31-A-Santarém (escala 1:50.000) junto ao v.g. Alto do Vale. Corresponde a uma falha com uma zona de deformação intensa com cerca de 10 m de largura, afetando sedimentos carbonatados e areníticos miocénicos. As superfícies de falha medidas inclinam acentuadamente para NNE, e as relações estratigráficas observadas no corte indicam uma rejeição vertical normal importante (indeterminada, provavelmente da ordem da dezena de metros). Estrias identificadas numa das superfícies de deslizamento mostram uma componente de deslizamento esquerdo significativa, evidenciando tratar-se de uma falha com movimentação oblíqua esquerda-normal.

A N de Vale de Santarém, na vertente oposta àquela onde se situa o acidente tectónico anterior, identificou-se também, em afloramento (Figura 8.29, loc. 2), um contacto por falha entre areias quártzicas, finas, esbranquiçadas, muito deformadas, de idade provável pliocénica, e sedimentos margosos e areníticos miocénicos. Trata-se de uma falha de direção WNW-ESE, subvertical, que produz um abatimento relativo do bloco meridional, onde se preservam as areias pliocénicas, definindo, assim, neste local, o bordo setentrional do fosso tectónico de Vale de Santarém.

Num areiro localizado junto ao v.g. Asseca, cerca de 1 km a N de Vale de Santarém (Figura 8.29, loc. 3), observaram-se duas falhas de direção NW-SE cartografadas na Folha 31-A-Santarém (escala 1:50.000). Estas estruturas encontram-se no prolongamento de outras assina-

ladas na cartografia geológica a NW, definindo, no seu conjunto, um acidente por vezes referido como a "falha de Asseca". As falhas observadas nos cortes do areiro consistem em duas fraturas de direção NNW-SSE, muito inclinadas para ENE, que deslocam sedimentos arenosos e argilosos miocénicos. Produzem uma separação vertical normal de dimensão métrica, evidenciando, uma delas, estrias que indicam movimentação oblíqua normal direita.

Alguma das estruturas de direção NW-SE referidas, que afetam os sedimentos miocénicos e pliocénicos na margem direita do Tejo apenas a cerca de 6 km a NW dos furos considerados no presente estudo, poderá corresponder à estrutura "transversal" postulada para explicar, juntamente com outra pertencente ao sistema NNE-SSW de fraturas "longitudinais", os desníveis identificados nas diagrafas e na piezometria analisadas.

Os trabalhos descritos identificaram particularidades hidrológicas e geofísicas que se podem associar a zonas de falha localizadas no vale inferior do Tejo, sob as aluviões fluviais recentes, possibilitando algum constrangimento sobre estas estruturas ocultas.

As diferenças evidenciadas entre as condições geofísicas e hidrológicas do local A1 e do local A2, podem explicar-se pela ocorrência de deslocamentos verticais afetando os sedimentos terciários (e quaternários?) atravessados pelos furos estudados, por ação de duas estruturas que os interseam, nomeadamente:

- Uma importante falha de direção NW-SE, provavelmente com movimentação vertical da ordem da centena de metros, pertencente a um sistema de fraturas com esta orientação aflorante na margem direita do Tejo a sul de Santarém.
- Outra falha orientada NNE-SSW, longitudinalmente em relação ao traçado fluvial, pertencente a um sistema de fraturas representado mais a S pelas zonas de falha de Azambuja e de Vila Franca de Xira; estas duas zonas de falha, conjuntamente com a estrutura postulada, dispõem-se escalonadamente (*en échelon*), com salto direito.

As águas dos furos ACMP/A1 (zonas superior e inferior) e ACMP/A2 (furo total) são bicarbonatadas sódicas (Figura 8.30) com dureza baixa (águas brandas). No furo ACMP/A1, a água da zona inferior é ligeiramente mais mineralizada que a da zona superior; a água do furo ACMP/A2 é de mineralização significativamente mais elevada que as anteriores. Os valores de Ca^{2+} e o Mg^{2+} mantêm-se sempre baixos e o aumento da mineralização faz-se à custa do bicarbonato, sulfato e sódio.

Estas variações da mineralização total da água são associadas aos mecanismos hidrogeoquímicos seguintes: aumento do TCID, dissolução de calcite, halite e gesso e trocas iónicas que controlam e mantêm a concentração do Ca^{2+} e do Mg^{2+} relativamente baixa e aumentam a concentração do Na^+ (Mendonça *et al.*, 2004).

A qualidade da água cumpre os valores paramétricos da Parte II-Parâmetros químicos e da Parte III- Parâmetros indicadores do Anexo I do Decreto-Lei n.º 306/2007 relativo à água para consumo humano.

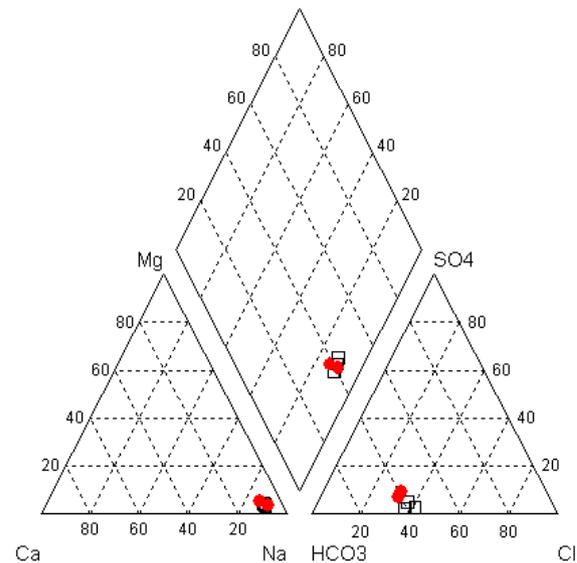


Figura 8.30 Fácies da água dos furos de pesquisa da zona A; símbolos quadrados sem sobrecarga colorida representam a água do furo de pesquisa ACMP/A1 e os círculos de cor vermelha individualizam a água amostrada no furo de pesquisa ACMP/A2.

8.2 Projeto das captações na zona A

A partir do estudo hidrogeológico atrás sintetizado e comentado, ACAVACO apresenta o projeto do novo campo de captações da zona A no relatório Ref^o 02004 de 22/03/2002.

Tendo em conta a natureza do presente texto, só se fará referência às considerações do projeto diretamente relacionadas com a hidrogeologia.

O facto de a espessura total da *camada 3* diminuir no local A2 e de na envolvente deste local existir um conjunto importante de captações ativas e permanentes, ACAVACO concluiu que o novo campo de captações deveria afastar-se do local A2, evitando interferências com interesses estabelecidos e condições menos favoráveis de exploração para a EPAL.

De um modo geral, a área da zona A tem grande ocupação agrícola e urbana, existem furos de captação de água subterrânea e é em grande parte inundável em períodos de cheia, particularmente entre o rio Tejo e a vala de Alpiarça. A densidade da ocupação também faz prever alguma dificuldade ou custos acrescidos para ocupação de terrenos.

A preocupação de rodear estas circunstâncias limitativas da localização do novo campo de captações, exclusivamente no interior da zona A, levou ACAVACO a procurar áreas adjacentes e com menores limitações a que fosse possível estender as conclusões do estudo hidrogeológico.

Considerou-se, em especial, toda a área a sul e a nascente de Benfica do Ribatejo, onde é conhecida informação hidrogeológica resultante da inventariação de furos existentes, em particular, do conjunto de captações da Casa Cadaval, que confirma o bom desenvolvimento da *camada 3* para esta área.

Para além dos limites da zona A, a sul de Muge, foi ainda considerada uma área que, em termos de ocupação atual, se apresenta como área complementar de interesse significativo: é a área designada por Mata do Escarou-

pim. Trata-se de uma faixa ocupada por um pinhal com largura de cerca de 1,5 km e área aproximada de 45 ha, bem servida de acessos em todo o perímetro e no seu interior, que se prestaria à localização de algumas estações do campo de captações.

Esta área encontra-se ao abrigo de cheias do Tejo (cota superior a +13 m) e não se conhecem captações profundas no interior e nas proximidades do seu perímetro.

A parte norte destes terrenos confina com a linha de caminho de ferro, a poucos metros do encontro esquerdo da ponte D. Amélia, por onde se prevê a travessia do Tejo pela condução de adução em direção à ETA de Vale da Pedra.

O dimensionamento proposto para as captações é feito com base no aproveitamento da *camada 3* que se admitiu apresentar as características geológicas/hidrogeológicas verificadas no local A1:

- O teto a profundidade da ordem dos 100 a 120 m;
- Uma zona de captação superior até profundidade da ordem de 250 m;
- Uma zona de captação inferior entre a anterior e cerca de 500 m de profundidade.

O projeto propõe a adoção de dois tipos de furos de captação, à semelhança do que acontece nos campos de Lezíria II e III, com cerca de 250 m (série 250) e com cerca de 500 m (série 500). Os primeiros captariam na zona superior e os da série 500 na zona inferior.

Cada local de implantação de captações, designado por "estação de captação" (EC), seria devidamente vedado e disporia de uma caseta para alojamento dos equipamentos adequados de comando, manobra e monitorização.

Em cada, EC deveriam ser implantados dois furos de captação, um da série 250 e o outro da série 500. Os furos ficariam afastados, no mínimo 30 m no sentido da maior dimensão do recinto. Entre EC, a distância mínima seria da ordem de 1 km o que permitiria que as interfe-

rências mútuas entre furos de captação se mantivessem numa gama de valores aceitável.

Sempre baseado nas conclusões do estudo hidrogeológico/pesquisa, ACAVACO propõe o dimensionamento de captações para o caudal da ordem de 180 m³/h (50 L/s). Admite que o nível piezométrico médio na área está a cerca da cota 0 m (NGP), adota a recomendação do Plano Diretor para que o nível em exploração não deva descer abaixo da cota -35 m (NGP) e chega ao valor de rebaixamento disponível de cerca de 35 m.

Os resultados dos ensaios de produtividade dos furos de pesquisa permitem esperar que captações bem dimensionadas venham a apresentar valores de caudal específico da ordem dos 3 a 5 L/s/m. Nestas condições, a extração de 50 L/s viria a resultar no rebaixamento em cada captação de 10 a 17 m.

Para o caudal total pretendido de 760 L/s, seriam necessários 16 furos de captação que ficariam integrados em 8 recintos de 2 furos cada um.

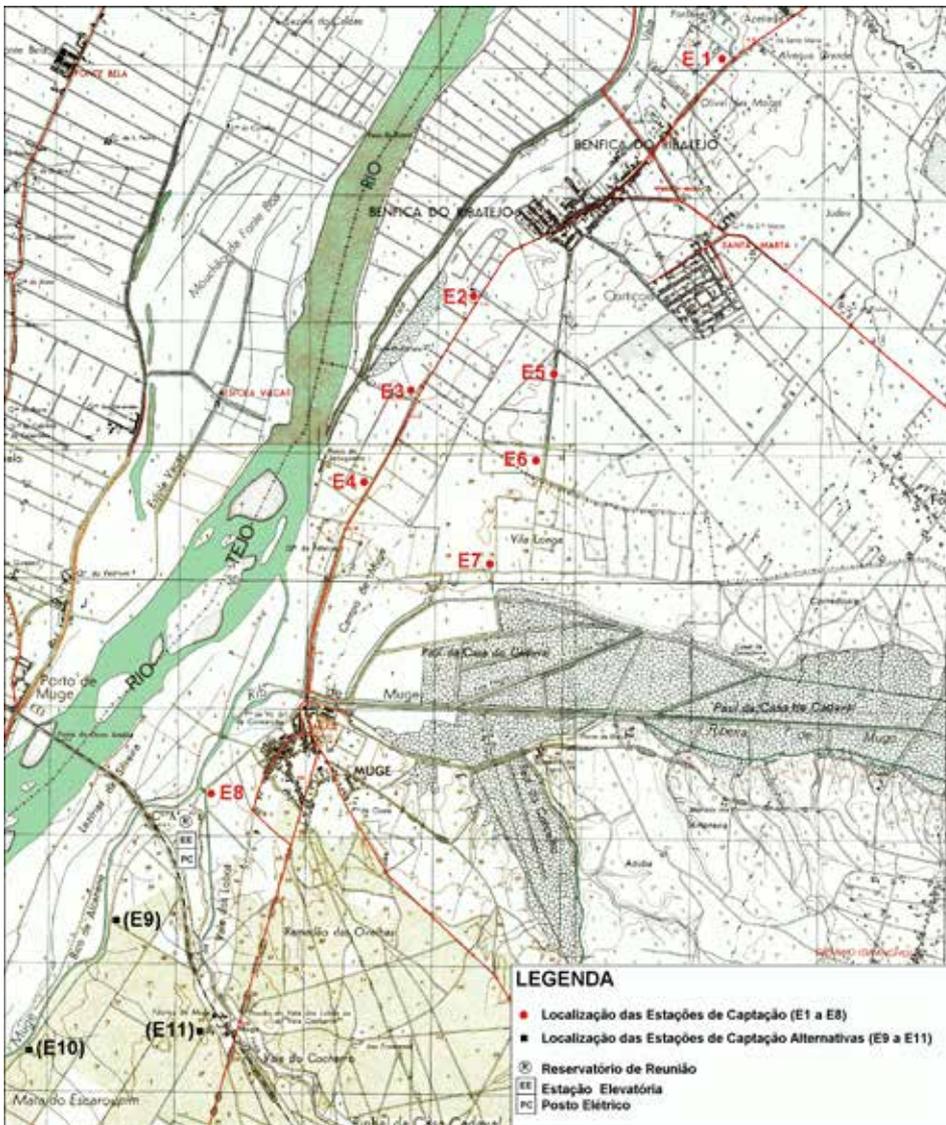


Figura 8.31 Localização das estações de captação do projeto de ACAVACO

Tendo em conta o exposto e após reconhecimentos de campo, ACAVACO propõe a localização das EC (que designa por 1ª opção) ao longo da EN118 (principal eixo viário da região) e a oriente desta, ao longo de uma estrada secundária que liga Benfica do Ribatejo ao local de Vila Longa (Figura 8.31). ACAVACO propõe também três EC alternativas na Mata do Escarpupim para o caso de surgir dificuldade imprevista em alguma das localizações sugeridas em 1ª opção.

A localização das EC iniciar-se-ia a cerca de 1,7 km a norte de Benfica do Ribatejo nas imediações do local que, no estudo hidrogeológico/pesquisa, foi designado por local A1. No extremo oposto do campo de captações, a sudoeste de Muge, localizar-se-ia a EC do extremo sul em cujo recinto seria implantado o reservatório de reunião e a estação elevatória.

As características dos furos-tipos de captação de cada EC são representadas graficamente na Figura 8.32.

ACAVACO propõe tubos fechados em aço-carbono correspondente à classificação API-J55 e tubos ralos do tipo fenda-contínua e em aço inoxidável tipo AISI 304. Recomenda, também, que o dimensionamento da coluna definitiva dos furos seja fundamentado em diagrfias de propriedades geofísicas, considerando-se que o programa mínimo admissível deve incluir as diagrfias de resistividade elétrica, de potencial espontâneo e de radiação gama natural.

8.3 Estudo hidrogeológico de pré-viabilidade da zona B

A informação disponível sobre a zona B diz respeito a um parecer que tinha por objetivo dar informação, a nível do estudo de pré-viabilidade, sobre um campo de captações de água subterrânea a construir alguns quilómetros a NE de Alcochete, na área designada por zona B do Plano Diretor. A capacidade de extração a instalar seria de 1 m³/s (86.400 m³/d).

A localização, os recursos hídricos subterrâneos e os impactes da exploração da zona B, à escala do sistema aquífero, foram estudados por intermédio do modelo numérico em diferenças finitas em que se baseou o Plano Diretor (GESTÁGUA, 1996).

No parecer, analisava-se a viabilidade de concretização do campo, nomeadamente a aptidão das formações hidrogeológicas face aos caudais pretendidos, a metodologia a seguir nos trabalhos de pesquisa que deviam anteceder a concretização das captações e a antevisão do tipo de captação adequado às características hidrogeológicas da zona B.

O parecer foi emitido com base na informação geológica e hidrogeológica disponível, retirada de revistas científicas, atas de congressos e teses e do arquivo hidrogeológico do autor (Mendonça, 2008).

A zona B localiza-se no terço terminal do sistema aquífero Tejo-Sado, na zona intermédia, entre a Lezíria de

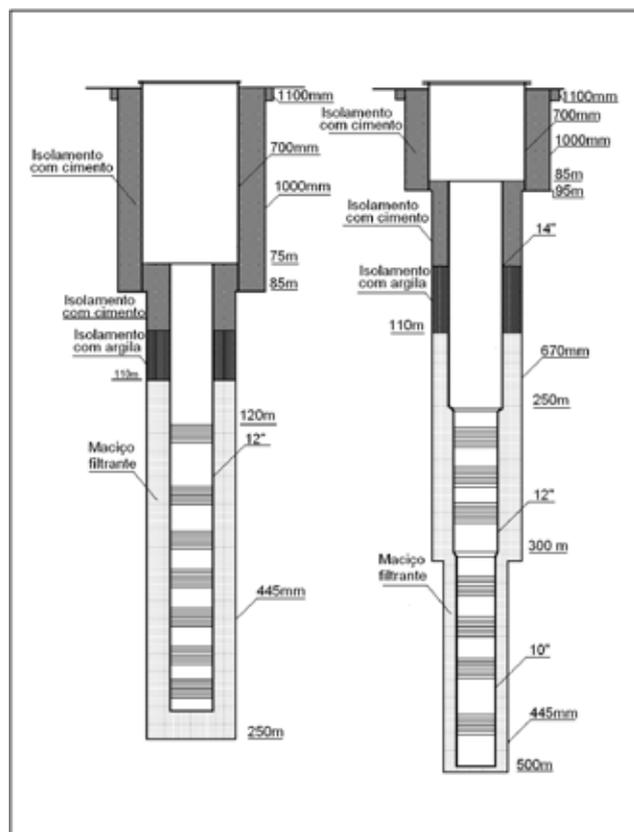


Figura 8.32 Furos-tipos propostos para as séries 250 e 500

Vila de Franca de Xira e a península de Setúbal. Nesta zona, a captação de água subterrânea faz-se, quase sempre, por furos cuja produtividade se pode considerar elevada no contexto dos sistemas aquíferos portugueses.

Os valores da produtividade dos furos existentes refletem não só as características do conjunto captação/aquífero mas também as necessidades do utilizador. Dito de outro modo, o dimensionamento dos furos, tanto em profundidade como em diâmetro, depende do caudal que se pretende obter, ressaltando o limite das potencialidades aquíferas do sistema. Assim, os furos destinados aos abastecimentos públicos de vilas e cidades ou de unidades industriais e agrícolas importantes apresentam valores que são estatisticamente mais elevados. Na perspetiva do autor do parecer, são esses os valores que melhor podem traduzir as potencialidades do sistema aquífero depois de comparados ou testados com as condições geológico-estruturais e hidrogeológicas dominantes na zona do sistema aquífero.

Para fundamentar o parecer, utilizou-se uma base de dados que compreendia cerca de sete dezenas de furos, localizados na área envolvente da zona B, com caudal igual ou superior a 20 L/s.

Na área correspondente à zona B, há um número limitado de furos inventariados, o que tem a ver com a estrutura fundiária: a maior parte dos terrenos pertence à Companhia das Lezírias e ao Campo de Tiro de Alcochete.

Os furos têm profundidades que variam entre 40 e 500 m (Figura 8.34), havendo 51 % com profundidade inferior a 150 m e apenas 10% com profundidade superior a 250 m. Isto é, a quase totalidade dos furos capta nas formações greso-argilosas do Pliocénico.

O número de furos inventariados com caudal igual ou superior a 50 L/s é de 32 % e localizam-se na envolvente da zona B. Destinam-se preferencialmente à agricultura.

A regressão do caudal sobre a profundidade dos furos, Figura 8.35, mostra uma relação estatisticamente significativa para o nível de confiança de 95%. Segundo a ANOVA, o modelo apresentado parece ser adequado

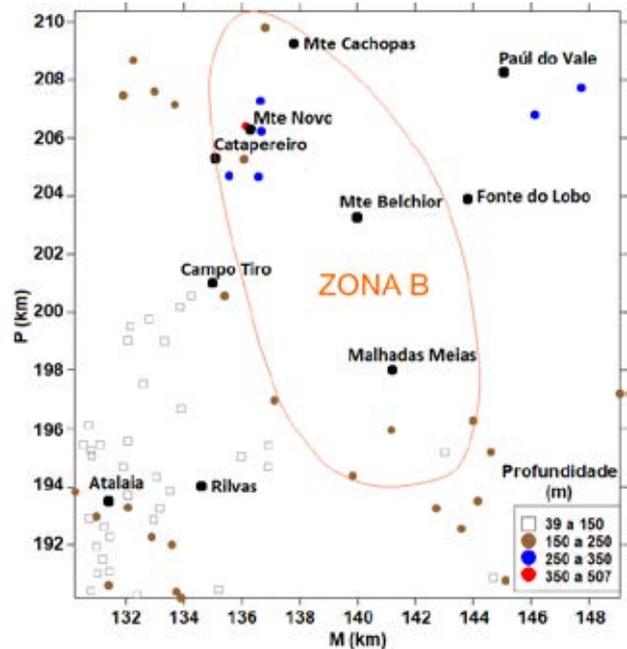


Figura 8.33 Distribuição espacial da profundidade dos furos de captação ($Q \geq 20$ L/s) na área da zona B e envolvente

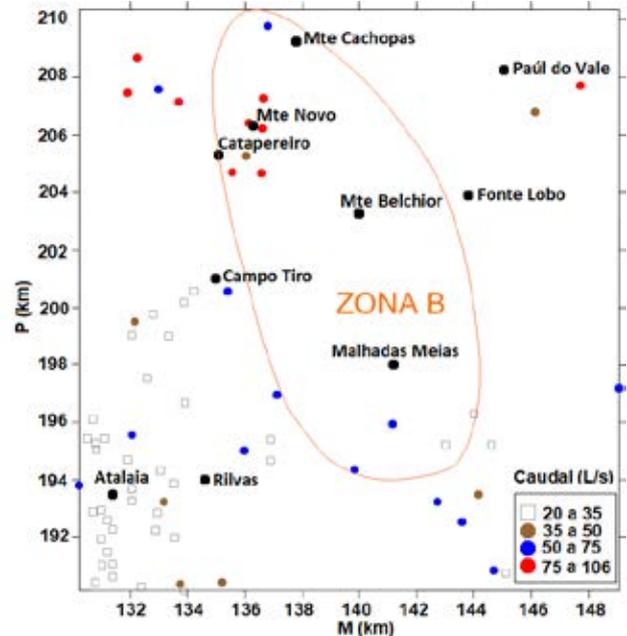


Figura 8.34 Distribuição espacial do caudal dos furos de captação ($Q \geq 20$ L/s) na área da zona B e envolvente

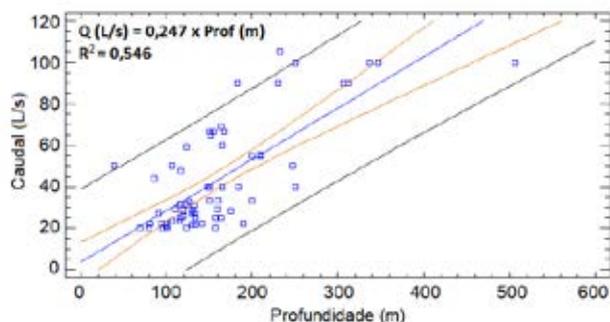


Figura 8.35 Relação entre a produtividade e a profundidade dos furos de captação na área da zona B e envolvente

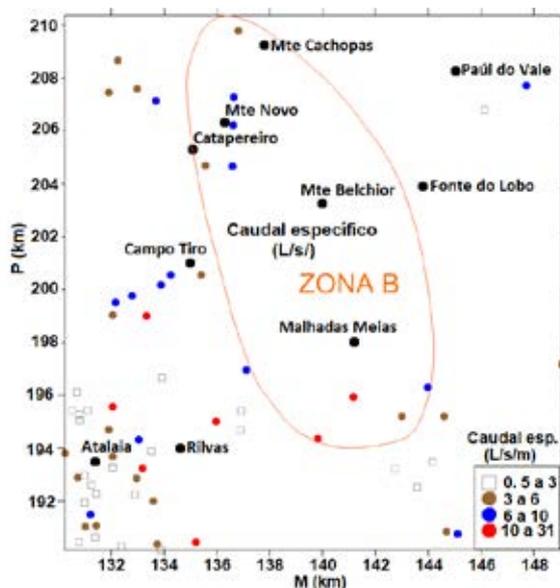


Figura 8.36 Distribuição espacial do caudal específico dos furos de captação ($Q \geq 20$ L/s) na área da zona B e envolvente

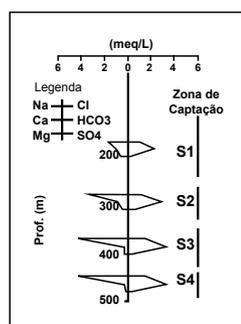


Figura 8.37 Caracterização hidrogeoquímica da água amostrada em furo localizado no setor de Catapereiro (os traços verticais indicam a extensão das zonas captadas de onde foram extraídas as amostras)

aos dados para o mesmo nível de confiança. Por sua vez, o coeficiente de correlação de 0,74 indica uma relação moderada entre as variáveis. Conclui-se também da Figura 8.35 que as captações donde se extrai caudal superior a 80 L/s têm profundidade maior que 200 m.

O rendimento das captações, aqui apreciado através do caudal específico, em regra, também é elevado (Figura 8.36) – significa que o aquífero tem boas características transmissivas.

Nos furos localizados na envolvente da zona B, a maioria dos valores do caudal específico é superior ou igual a 6 L/s/m

Não foi possível reunir informação sobre a qualidade da água dos furos de modo a fazer um estudo da sua variação espacial. No entanto, as amostras colhidas a diferentes profundidades num furo com cerca de 500 m de profundidade, localizado em Catapereiro, poderão ser consideradas como representativas da qualidade da água deste setor do sistema aquífero terciário (Figura 8.37).

As quatro amostras de água são de fácies bicarbonatada sódica. A água da amostra superior tem a concentração total em íões principais idêntica à de amostras das formações pliocénicas em setores localizados mais a montante no sistema aquífero; a amostra de água mais mineralizada é extraída do conjunto de camadas que inclui rochas carbonatadas. O aumento da mineralização em profundidade faz-se através do acréscimo de todos os aniões e de Na^+ , acompanhado da diminuição da concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Estas águas apresentam-se subsaturadas relativamente aos carbonatos (calcite, dolomite e aragonite), ao gesso e à halite e sobressaturadas no que respeita ao quartzo.

No referente à qualidade da água para consumo humano, apreciada através dos valores da concentração dos íões principais das análises representadas na Figura 8.37, pode-se dizer que a concentração de cloreto (Cl^-) ultrapassa o VMR (Decreto-Lei 236/98), como é comum nas águas subterrâneas, os valores de sulfato (SO_4^{2-}) são inferiores ao VMR, os de sódio (Na^+) estão entre o VMR

e o VMA, e os de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) são inferiores ao VMR. Os valores da concentração dos iões principais cumprem os valores paramétricos da parte III do Anexo do Decreto-Lei n.º 306/2007.

Na **Figura 8.38**, apresenta-se a distribuição de valores da cota do nível da água em piezómetros localizados na vizinhança da zona B. Os valores foram extraídos da base de dados do Serviço Nacional de Informação dos Recursos Hídricos (SNIRH) em http://snirh.inag.pt/dados_sintese/. Nessa figura, representa-se o último valor de cada uma das séries disponíveis à data do estudo. As datas das leituras variaram entre 1991 e 2004; os valores mais antigos (década de 1990) respeitam a piezómetros atualmente inativos e os outros referem-se a piezómetros que constam da atual rede de observação. Os piezómetros são furos verticais dos quais, com rara exceção, são desconhecidas as características geométricas, a profundidade das camadas monitorizadas e a localização relativa às captações próximas.

Para uma melhor interpretação dos valores apresentados na **Figura 8.38**, além da cota piezométrica, entre parênteses, indicam-se o mês e o ano em que foi feita a leitura.

Os valores mais modernos com cotas negativas ou próximo de zero localizam-se no setor SW do mapa, onde o número de furos em exploração é elevado. Estes valores traduzem uma pressão significativa da exploração sobre o sistema.

As cotas piezométricas, na envolvente oriental da zona B, estão bem acima da cota zero, significando a existência da componente transversal do escoamento em direção ao Tejo.

A carta de isopiezas da **Figura 8.39** dá uma aproximação à configuração geral do escoamento na área da Península de Setúbal.

Em conclusão, na área correspondente à zona B, as formações aquíferas terciárias aparentam ter características de produtividade compatível com a construção de um campo de captações de água subterrânea para o caudal

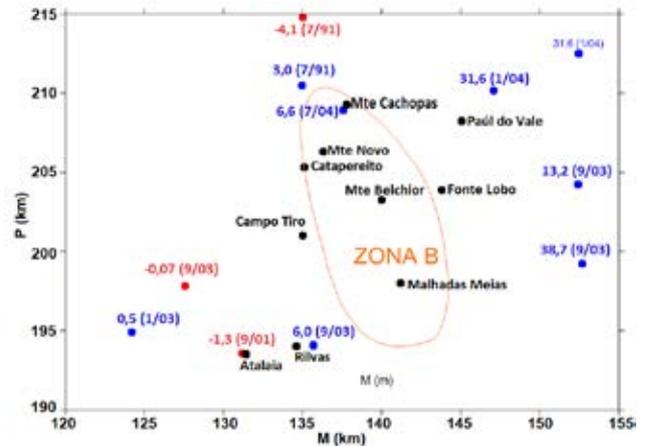


Figura 8.38 Cotas piezométricas retiradas da base de dados do SNIRH: valores positivos a azul e negativos a vermelho (além da cota piezométrica, entre parênteses, são mencionados o mês e o ano em que a leitura foi feita)

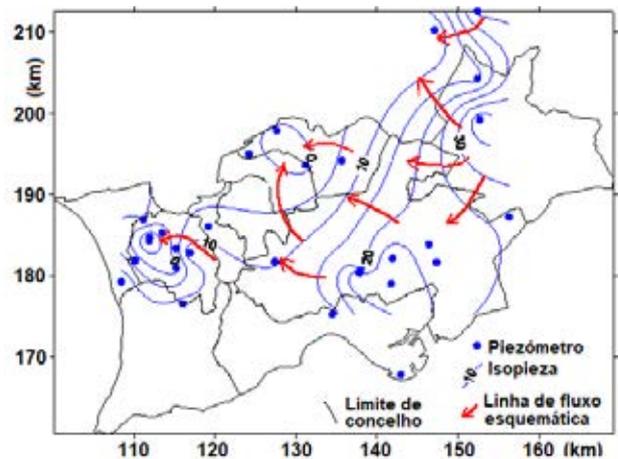


Figura 8.39 Carta de isopiezas na área da península de Setúbal

pretendido de $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Para confirmar ou infirmar o parecer, recomendava-se que, em fase anterior e independente à da construção das captações, fossem executados furos de pesquisa de modo a definir, com a maior clareza possível, as características e o local de implantação das captações.

Recomendava-se a execução de 4 furos de ensaio com profundidades da ordem de 500 m e de 2 piezómetros (um com 500 m e o outro com 250 m de profundidade).

Os furos deveriam ser ensaiados por zonas de modo a confirmar ou infirmar a viabilidade de construir captações em unidades hidrogeológicas diferentes, à semelhança do que a EPAL faz nos campos de captações da Lezíria de Vila Franca de Xira.

Como ideia orientadora, sugeria-se uma disposição das captações o mais dispersa possível para evitar a formação de cones de rebaixamento profundos e diminuir os impactes hidrogeológicos.

O estado do conhecimento do sistema aquífero à data do estudo e as recomendações do modelo numérico que informa o Plano Diretor da EPAL aconselhavam prudência no aumento das extrações. A unidade superior do sistema aquífero, até profundidade de 250 m, é a mais explorada e aí capta a maioria dos furos localizados na zona envolvente da zona B, na Península de Setúbal e, numa escala mais alargada, no sistema aquífero.

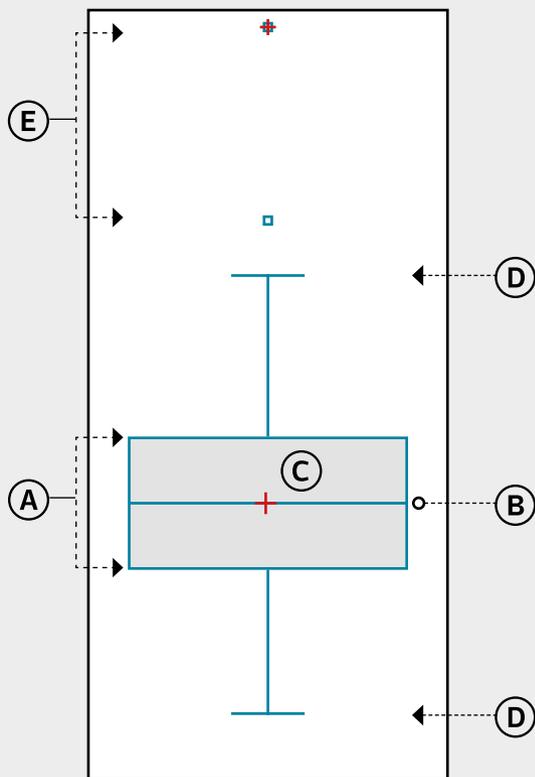
Apêndice I

Componentes de um furo de captação de água subterrânea com tubagem telescópica



Apêndice II

Legenda dos diagramas de caixa e bigodes



Ⓐ O limite inferior e o superior da caixa, com preenchimento a cor cinzenta, representam o primeiro e o terceiro quartis, isto é, os 50 % dos valores do meio da amostra estão representados pela caixa.

Ⓑ A linha horizontal que divide caixa significa a localização da mediana que divide os dados em duas metades. Se os dados derivam de uma distribuição simétrica, a linha da mediana está próximo do centro da caixa.

Ⓒ A cruz a cor vermelha na caixa indica a localização da média. Qualquer diferença significativa entre a média e a mediana indica ou a presença de um *outlier* (um valor que não provém da mesma população que o resto dos dados) ou de uma distribuição assimétrica. No caso de uma distribuição assimétrica, a média está deslocada na direção do bigode mais extenso.

Ⓓ Os extremos das linhas verticais que partem dos *quartis* (os bigodes) estendem-se até ao valor máximo e mínimo das observações de cada amostra, a não ser que os valores sejam suficientemente afastados da caixa para serem classificados como *outside* (pequenos quadrados sem preenchimento) e como *far outside* (pequenos quadrados com cruz de cor vermelha). No caso de haver valores *outside*, os bigodes estendem-se aos pontos extremos que não são classificados de *outside*.

Ⓔ Os pontos *far outside* são usualmente indicadores de verdadeiros *outliers* (ou de uma distribuição não normal). Os pontos *outside* não são necessariamente indicação da presença de verdadeiros *outliers*. Estes pontos devem ser considerados simplesmente como merecedores de investigação posterior.

Apêndice III

Glossário de termos hidrogeológicos e geológicos

- **Água Subterrânea**
Água armazenada nos poros e interstícios das rochas na zona saturada.
- **Algar**
Cavidade natural que se inicia por um poço vertical.
- **Altura piezométrica**
Altura de água acima de um ponto do aquífero. Representa a energia de pressão da unidade de peso de líquido submetido á pressão p.
- **Amostrador**
Dispositivo utilizado para recolha de amostras.
- **Anticlinal**
É uma dobra convexa na direção das camadas mais recentes da sequência estratigráfica dobrada (forma de U invertido).
- **Anticlinório**
É um grande anticlinal composto por dobras menores.
- **Aquicludo (ou aquícluso)**
Formação ou corpo geológico que contém água mas que não permite a sua circulação e não a cede para exploração.
- **Aquífero**
Formação ou corpo geológico que contém água e a pode ceder em condições económica ou socialmente viáveis.
- **Aquífero aluvial (ou aluvionar)**
Aquífero com a matriz em depósitos aluviais, geralmente em ligação hidráulica com um curso de água superficial.
- **Aquífero artesiano**
Ver aquífero confinado e aquífero semiconfinado
- **Aquífero cársico**
Aquífero que contém cavidades originadas por dissolução da rocha que permitem a circulação rápida da água, por vezes em regime turbulento. Os aquíferos cársicos geralmente têm por suporte rochas calcárias ou dolomíticas e menos frequentemente gesso ou outras rochas facilmente solúveis.
- **Aquífero confinado (ou cativo)**
Aquífero cujo teto e muro são constituídos por aquícludos. A superfície piezométrica situa-se acima do teto e a pressão da água é superior à pressão atmosférica.
- **Aquífero fraturado**
Aquífero com porosidade e permeabilidade fundamentalmente por fraturas e fissuras que afetam os materiais rochosos de suporte (rochas duras).
- **Aquífero freático (ou livre)**
O limite superior é constituído por uma superfície de saturação onde a água está à pressão atmosférica.
- **Aquífero heterogéneo**
Aquífero cujas propriedades variam no seu espaço. Pode ter espessura variável, mudança lateral de fácies, camadas de diferente permeabilidade e porosidade ou lenticulas de materiais também variáveis, etc.
- **Aquífero homogéneo**
Aquífero cujas propriedades são as mesmas em qualquer parte do seu espaço.
- **Aquífero multicamada**
Aquífero constituído por mais de uma camada produtiva, separadas total ou parcialmente por aquícludos e/ou aquícardo.
- **Aquífero semiconfinado (ou semicativo)**
Aquífero cujo teto e/ou muro é constituído por material não totalmente impermeável (aquécardo), que permite a circulação vertical da água de forma muito lenta.
- **Aquífero suspenso**
Aquífero livre geralmente de pequena dimensão, isolado na zona não saturada, que tem por base um substrato impermeável que impede a circulação vertical descendente de água da infiltração para o aquífero principal localizado mais abaixo.
- **Aquícardo (meio semipermeável)**
Formação geológica que contém apreciável quantidade de água mas a transmite muito lentamente o que torna a sua exploração direta inviável.
- **Artesianismo**
No sentido lato é o fenómeno que se verifica quando a água de uma camada aquífera se encontra sob pressão, de tal modo que num piezómetro instalado naquela camada, o nível da água sobe acima do teto do aquífero (confinado ou semiconfinado). No sentido restrito é o fenómeno que se verifica quando o nível piezométrico se situa acima da cota do terreno (artesianismo repuxante).
- **Atapulгите**
É uma argila, flossilicato de alumínio e magnésio, formando cristais alongados conhecidos por se formar em bacias fechadas, quase sempre endorreicas.
- **Bacia hidrogeológica**
Área na qual as águas subterrâneas de um aquífero ou vários aquíferos sobrepostos ou adjacentes se dirigem para uma mesma área de descarga
- **Biodegração**
Conjunto de processos reativos que leva à degradação de compostos orgânicos, isto é, à sua transformação em substâncias progressivamente mais simples, terminando eventualmente sob a forma de dióxido de carbono.
- **Bombeamento ou bombagem (termo de uso corrente)**
Ato de extrair a água com bomba. Nos furos de captação é frequente a extração da água com bombas elétricas submersíveis.
- **Câmara de bombeamento (ou da bomba)**
Troço da tubagem definitiva dos furos onde se instala a bomba para a sua exploração. Normalmente, é o troço superior e o de maior diâmetro nos furos com tubagem telescópica.

- **Captação de água subterrânea**

Todo o arranjo ou dispositivo natural ou artificial que permite extrair ou montar sistemas de extração de água contida num sistema aquífero, por gravidade, por bombeamento ou por qualquer outro meio mecânico.

- **Carbónico**

Período da era Paleozóica que se segue ao Devónico e antecede o Pérmico.

- **Carga hidráulica**

Expressão da energia potencial da água, num ponto, expressa em unidades de comprimento (cota piezométrica = cota topográfica do ponto + altura piezométrica). Referido também por nível piezométrico e potencial hidráulico.

- **Carsificação**

Processos de dissolução das rochas que conduzem geralmente ao aumento da sua permeabilidade. A carsificação atua sobretudo em rochas carbonatadas, gesso e outras rochas muito solúveis (evaporitos).

- **Carso (Karst)**

Termo utilizado para descrever regiões, geralmente em rochas calcárias ou dolomíticas, onde são evidentes certas morfologias que resultam da dissolução da rocha por ação da água: existência de depressões fechadas, drenagem superficial fraca ou inexistente, ocorrência de cavidades naturais por vezes com circulação de água ativa, nascentes caudalosas localizadas perto do contacto com terrenos menos permeáveis.

- **Casing**

Tubagem de revestimento fechada, provisória ou definitiva.

- **Caudal**

Volume de água por unidade de tempo.

- **Caudal específico (de furo de captação)**

Razão entre o caudal de água bombeado do furo de captação e o rebaixamento do nível da água no seu interior.

- **Cavalgamento**

É uma falha inversa com pouca inclinação da superfície de deslocamento. Os deslocamentos dos cavalgamentos podem ser muito extensos por vezes de algumas dezenas de quilómetros.

- **Cenozoica (Era)**

Inclui os períodos conhecidos informalmente por Terciário e Quaternário. O Terciário inclui os períodos (formais) Paleogénico e Neogénico e o Quaternário compreende os períodos Plistocénico e Holocénico. A era Cenozoica está compreendida entre aproximadamente 65 milhões de anos atrás e o presente.

- **Coefficiente de armazenamento**

Volume de água libertado por um prisma vertical do aquífero de secção unitária e altura igual à do aquífero saturado sob o efeito de uma descida unitária do nível piezométrico.

- **Coefficiente de permeabilidade**

Ver *condutividade hidráulica*.

- **Colher**

Equipamento utilizado no método da perfuração mecânica para atravessar e retirar os materiais coesivos moles a muito moles como os lodos.

- **Colmatação**

Redução progressiva da permeabilidade devido à deposição de partículas sólidas, geles orgânicos de origem bacteriana ou incrustações químicas.

- **Coluna de perfuração**

Conjunto de equipamentos e/ou ferramentas utilizado para a perfuração dos terrenos. É constituída por um instrumento de corte, varas, uniões e cabos. A composição pormenorizada depende do método de perfuração.

- **Coluna de revestimento ou tubagem de revestimento (de furo)**

Tubagem que reveste um furo. Pode ser provisória (utilizada como instrumento auxiliar na perfuração) ou definitiva, de diâmetro constante ou telescópica e de material metálico ou plástico.

- **Condutividade hidráulica**

Parâmetro que expressa quantitativamente a permeabilidade de um meio (entendendo-se esta num sentido qualitativo). Estabelece a relação entre o escoamento específico (velocidade de Darcy) e o gradiente hidráulico na lei de Darcy. A condutividade hidráulica é função das propriedades do meio e do fluido.

- **Condutividade hidráulica aparente**

Condutividade hidráulica obtida pela divisão da transmissividade calculada pela espessura da zona de captação de furos incompletos, muito frequentes em aquíferos multicamada.

- **Contaminação da água**

Introdução na água de uma substância indesejável ou modificação das suas propriedades devido à ação do homem. Quando a sua utilização se vê restringida para todos ou para alguns usos diz-se poluição.

- **Cretácico**

É o terceiro período geológico da Era Mesozóica, compreendido aproximadamente entre 146 a 66 milhões de anos relativamente ao presente.

- **Curva característica do furo ou poço**

Relação gráfica entre o caudal e o rebaixamento do nível da água no furo obtida através de um ensaio de produtividade escalonado.

- **Descarga natural**

Água saída de um aquífero através das nascentes subaéreas, subfluviais ou submarinas e, também, por evapotranspiração se a zona saturada fica próxima da superfície. É expressa sob a forma de caudal.

- **Desenvolvimento de furos de captação**

Procedimento que tem por objetivo melhorar a eficiência dos furos de captação. Entre outros métodos, podem-se utilizar o sobrebombeamento e as paragens e arranques do bombeamento com ar comprimido ou bomba, a pistoagem, o jato de ar ou de água com pressão elevada, produtos químicos, hidrofraturação e explosivos.

- **Diapiro**

Intrusão ascendente de materiais plásticos pouco densos (sal-gema, por exemplo) que rompem os estratos sobrejacentes de rochas mais densas e competentes.

- **Dogger (Jurássico médio)**

Época do Jurássico que se segue ao Liásico e antecede o Malm ou Jurássico superior.

- **Drenância**

Movimento vertical da água subterrânea entre camadas aquíferas com níveis piezométricos diferentes, através de aquíardos.

- **Dreno**

Captação ou elemento tubular de uma captação com desenvolvimento horizontal e diâmetro relativamente pequeno.

- **Eficiência (rendimento) de furo de captação**

Razão entre o rebaixamento teórico e o rebaixamento real medido no furo.

- **Emergência**

Local onde emerge a água subterrânea ou nascente de água.

- **Endoscopia de furo**

Observação do interior do furo com câmara de televisão e registo em vídeo.

- **Ensaio a caudal variável**

Ensaio de bombeamento em que se produzem mudanças instantâneas do caudal extraído (caudal escalonado) ou descida contínua do caudal provocada por incapacidade produtiva do aquífero ou de extração da bomba.

- **Ensaio de aquífero**

Ensaio de bombeamento com que se pretende avaliar os parâmetros hidráulicos do aquífero. Inclui além do furo de bombeamento um ou vários piezómetros para observação da evolução dos níveis da água no aquífero.

- **Ensaio de produtividade ou de caudal de um furo de captação**

Ensaio de bombeamento num furo a fim de se obterem informações sobre as condições de exploração do furo. Subsidiariamente podem obter-se valores dos parâmetros hidráulicos do aquífero.

- **Ensaio escalonado**

Ensaio de bombeamento em que se impõem mudanças bruscas do caudal extraído, frequentemente a caudal crescente e constante para cada escalão. Pretende-se avaliar as condições de exploração do furo através da curva característica e da equação geral do rebaixamento do furo.

- **Equação geral do rebaixamento do furo (Equação de Rorabaugh)**

O rebaixamento num furo de captação é descrito pela equação: $s_p = BQ + CQ^n$ em que n costuma estar compreendido entre 1 e 3,5. Q é o caudal extraído, B é o coeficiente das perdas de carga lineares (associadas ao escoamento no aquífero e também no furo) e C é o coeficiente das perdas de carga quadráticas (associadas a aumentos de velocidade do escoamento, isto é, a escoamentos turbulentos).

- **Escoamento hipodérmico**

Resultado da água que se infiltra e se escoia a pouca profundidade.

- **Evaporito**

Sedimento depositado de uma solução salina como resultado da evaporação extensiva ou total da água (sal-gema, por exemplo).

- **Evapotranspiração**

Resultado conjunto dos fenómenos de transpiração (biológico) e evaporação (físico).

- **Evapotranspiração potencial**

Limite superior da evapotranspiração para condições de humidade do solo ótimas.

- **Evapotranspiração real**

Evapotranspiração efetivamente verificada num dado período.

- **Exsurgência**

Nascente ou fonte natural. No caso de aquíferos cársicos, chama-se exsurgência à saída de água subterrânea que se infiltrou de forma difusa, reservando-se o termo ressurgência para a água subterrânea proveniente de perda de um curso de água superficial.

- **Fácies hidrogeoquímica**

Expressão da composição química das águas subterrâneas.

- **Falha**

Fratura nos materiais geológicos ao longo da qual os lados opostos têm deslocamento relativo.

- **Falha inversa**

Falha inclinada em que o bloco superior ao plano da falha sobe relativamente ao bloco inferior (falha compressiva ou cavalgante)

- **Falha normal**

Falha inclinada em que o bloco superior ao plano da falha desce relativamente ao bloco inferior (falha distensiva).

- **Fator de drenância**

Parâmetro utilizado em hidráulica de aquíferos semiconfinados e que traduz a dificuldade do aquífero ser alimentado através do aquífero semiconfinante.

- **Fonte**

Termo utilizado por vezes com o mesmo sentido de nascente. Mais vulgarmente designa uma estrutura construída onde corre água (chafariz ou bica)

- **Furo (de captação)**

Captação de forma tubular, enterrada, com desenvolvimento quase sempre vertical, de muito elevada esbelteza, cujo diâmetro depende do caudal a extrair, com tubagem que inclui tubos fechados e tubos com aberturas por onde entra a água que se extrai frequentemente com bomba elétrica submersível (ver desenho no Apêndice I).

- **Furo artesiano**

Furo frequentemente profundo que capta água sob pressão, entre camadas impermeáveis e/ou semipermeáveis, que ascende por si só acima da camada confinante ou semiconfinante superior. Em certas áreas o nível piezométrico pode subir acima da superfície do terreno.

- **Furo de observação**

Furo geralmente de diâmetro mais reduzido que os furos de pesquisa e desempenha a função de piezómetro e local de recolha de amostras de água para análises laboratoriais.

- **Furo de pesquisa**

Furo realizado da fase de pesquisa, destinado ao reconhecimento das formações geológicas, a quantificar os parâmetros hidráulicos dos aquíferos e antecipar as características e a produtividade dos furos de captação. Furo com diâmetro inferior aos de captação mas com diâmetro suficiente para realizar ensaios de bombeamento com caudal da ordem de grandeza do que é previsível captar.

- **Galeria (mina, mina de água)**

Escavação ou instalação horizontal de secção retangular ou circular, de comprimento muito maior que os lados ou o diâmetro e de desenvolvimento sub-horizontal. A boca localiza-se normalmente em flanco de encosta e a água entra ao longo das paredes da galeria. Inclui frequentemente uma zona inicial sem entrada de água que corresponde à zona não saturada do maciço.

- **Hidrogeologia**

Parte da hidrologia que estuda a circulação, escoamento e distribuição das águas terrestres na zona saturada das formações geológicas, tendo em conta as suas propriedades físicas e químicas, interações com o meio físico e biológico e suas reações à ação do homem.

- **Hidrogeoquímica**

Estudo dos aspetos geoquímicos da água e das suas relações com as rochas por onde circula.

- **Hidrograma**

Gráfico que relaciona uma propriedade da água com o tempo (nível, caudal, velocidade, mineralização, etc.)

• **Imagens, Método das**

Modelo analítico que permite simular o escoamento num aquífero limitado por uma ou mais fronteiras lineares. O nome deriva de a simulação ser feita com furos imagens para simular as fronteiras do escoamento.

• **Incrustação**

Deposição de materiais aderentes em diversas partes das captações ou condutas de água. Podem ser duras como um cimento (por exemplo, formação de carbonatos) ou como depósitos pastosos ou gelatinosos (por exemplo, óxidos e hidróxidos de ferro ou colónias de bactérias).

• **Índice de saturação**

Razão entre o produto das atividades iónicas das espécies que resultam da dissolução de um mineral e a respetiva constante de equilíbrio. Também se pode considerar o logaritmo da referida razão.

• **Infiltração**

Processo pelo qual a água derivada da precipitação, fusão da neve e gelo ou irrigação penetra o solo através da superfície do terreno.

• **Isopiezas**

Linhas dos pontos com o mesmo nível piezométrico.

• **Jurássico**

É o segundo período geológico da Era Mesozoica, compreendido aproximadamente entre 200 a 150 milhões relativamente ao presente.

• **Lama de perfuração ou de circulação**

Suspensão coloidal de argila tixotrópica do tipo montmorilonite, conhecida na indústria de sondagens por bentonite (de Fort Benton, Wyoming, USA), com ou sem aditivos, que se faz circular durante a perfuração e operações complementares nas sondagens pelos métodos *rotary*.

• **Liásico (Jurássico inferior)**

Época do Jurássico que se segue ao Triásico e antecede o Dogger ou Jurássico médio

• **Limnígrafo**

Aparelho que regista gráfica e continuamente os níveis de água superficial ou subterrânea.

• **Limpadeira**

Equipamento cilíndrico que na forma mais simples tem uma válvula de pé e que serve para retirar os detritos da perfuração pelo método da percussão mecânica.

• **Maciço filtrante (ou filtro de seixo)**

Dispositivo ou órgão filtrante dos furos de captação, constituído por material granular calibrado de elevado índice de esfericidade e arredondamento, localizado no espaço anelar entre as paredes da perfuração e a tubagem definitiva na zona de captação do furo.

• **Meio não saturado**

Meio poroso ou fraturado onde coexistem ar e água.

• **Meio poroso**

Meio formado por um agregado de grãos entre os quais existem espaços vazios (poros) que podem ser ocupados por um fluido. O meio poroso pode ser consolidado ou não caso exista ou não um cimento que aglomere e ligue as diversas partículas integrantes ou se estabeleça alguma coesão entre as mesmas. O conceito de consolidado não coincide com a definição utilizada em geotecnia que se refere ao grau de adensamento de um solo não coesivo.

• **Meio saturado**

Meio poroso ou fraturado onde todos os interstícios estão preenchidos por água.

• **Mesozoica (Era)**

Inclui os períodos Triásico, Jurássico e Cretácico. Compreendida aproximadamente entre 251 milhões e 66 milhões de anos relativamente ao presente.

• **Miocénico**

Primeira época do período Neogénico a que se segue o Pliocénico.

• **Mineralização da água**

Quantidade de sais dissolvidos na água.

• **Modelo analítico**

Modelo que descreve de forma exata o comportamento de um sistema por meio de funções analíticas, obtidas a partir das equações diferenciais que regem o fenómeno a representar para dadas condições de fronteira. Aplicam-se só em casos relativamente simples.

• **Modelo conceptual**

Conjunto de hipóteses que reduzem um problema real e um domínio real a uma versão simplificada, adequada aos objetivos da modelação. As hipóteses dizem respeito a questões tais como: geometria dos limites do domínio; tipo de material que constitui o aquífero, com referência à sua homogeneidade e isotropia; tipo de escoamento; andamento médio das variáveis de estado; fontes e sumidouros e condições de fronteira que exprimam as relações do sistema com o exterior.

• **Nascente**

Local onde emerge a água subterrânea.

• **Neotectónica**

Em Portugal Continental considera-se como neotectónica a atividade tectónica ocorrida desde o final do Pliocénico. Assim, consideram-se estruturas geológicas ativas todas as que evidenciam deformação no Quaternário.

• **Nível dinâmico (ND) ou hidrodinâmico (NHD)**

Nível piezométrico de um aquífero quando existem captações a funcionar. Também se usa num furo de captação para designar a distância do nível da água no furo em bombeamento em relação a uma dada referência, muita das vezes a superfície do terreno.

• **Nível estático (NE) ou hidrostático (NHE)**

Nível piezométrico de um aquífero quando não existem captações a funcionar. Também se usa num furo de captação para designar a distância do nível da água no furo em repouso prolongado em relação a uma dada referência, muita das vezes a superfície do terreno.

• **Nível freático ou livre**

Limite entre a zona saturada e a não saturada em que a água está à pressão atmosférica (considerando que as forças capilares são desprezáveis). Nível da água num piezómetro aberto abaixo do limite de saturação.

• **Nível piezométrico**

É a cota a que a água de um aquífero se encontra em equilíbrio com a pressão atmosférica. Coincide com a superfície freática de um aquífero livre ou freático. Em aquíferos cativos, o nível piezométrico está acima do teto do aquífero (aquífero artesianos), podendo haver áreas onde o nível piezométrico está acima da superfície do terreno (áreas com artesianismo repuxante).

• **Oligocénico**

Última época do período Paleogénico.

• **Paleozoica (Era) ou Primário**

Inclui os períodos Câmbrico, Ordovícico, Silúrico, Devonico, Carbónico e Pérmico. Inclui o intervalo de tempo entre 570 e 240 milhões de anos relativamente ao presente.

- **Parâmetros hidrogeológicos ou hidráulicos**

Parâmetros que caracterizam um aquífero, como a porosidade, a condutividade hidráulica, a transmissividade e o coeficiente de armazenamento

- **Perda de carga**

Perda de energia da água em circulação e que depende de parâmetros e variáveis tais como: velocidade e viscosidade do fluido, rugosidade, diâmetro e comprimento das tubagens, e condutividade hidráulica do meio.

- **Perfuração à percussão**

Método que realiza a perfuração mediante o movimento alternado ascendente e descendente de uma ferramenta pesada (trépano) que com o impacto na descida vai fraturando e desagregando as rochas. A extração dos detritos da perfuração faz-se com uma limpadeira. Nas camadas de sedimentos modernos com materiais coesivos (lodos e argilas) a perfuração com trépano é substituída pela perfuração com colher; nos materiais sem coesão (tais como areias e seixos) o avanço faz-se apenas com a limpadeira.

- **Perfuração à rotação (rotary)**

Método que realiza a perfuração mediante a rotação de uma ferramenta de corte (trépano) do tipo tricone ou trépano de três roletes cónicos. Esta é impulsionada pela rotação de um trem de varas de secção circular que, em máquinas de sondagem mais antigas, recebe o movimento rotativo a partir duma mesa de rotação por onde passa a vara mestra ou *kelly* de secção quadrada ou hexagonal. Nas máquinas mais recentes, a rotação é impulsionada por uma cabeça de rotação. Os detritos da perfuração (*cuttings*) são retirados para a superfície em suspensão num fluido ou lama bentonítica.

- **Perfuração com martelo-de-fundo-de-furo**

O mesmo que *rotopercussão*.

- **Perfuração rotary com circulação direta**

No sistema de perfuração *rotary* com circulação direta injeta-se a lama pelo interior das varas de sondagem que, depois de atravessar os orifícios do trépano, entre as outras funções, vai transportar os *cuttings* para a superfície pelo espaço anelar entre as varas de sondagem e as paredes do furo.

- **Perfuração rotary com circulação inversa**

Na circulação inversa o sentido de circulação é inverso do processo *rotary* com circulação direta. As lamas são aspiradas pelo interior das varas de sondagem, que são de maior diâmetro que as da circulação direta, e são lançadas diretamente no tanque de decantação. Regressam ao furo pela ação da gravidade, descendo pelo espaço anelar entre as varas de sondagem e as paredes do furo até à zona de corte do trépano onde incorporam os detritos da perfuração. As lamas reentram nas varas de sondagem através de orifícios do trépano de onde são aspiradas.

- **Perímetro de proteção de uma captação**

Perímetro que define uma área em torno de uma captação na qual são proibidas ou restringidas as atividades que possam potencialmente contaminar a água da captação ou do aquífero.

- **Permeabilidade**

No sentido qualitativo expressa a maior ou menor facilidade com que um meio se deixa atravessar pela água. Emprega-se num sentido quantitativo como termo equivalente a condutividade hidráulica mas este uso não é recomendado.

- **Permeabilidade por fissuração ou por fraturação**

Permeabilidade associada às fissuras ou fraturas existentes num corpo rochoso

- **Permeabilidade por poros**

Permeabilidade típica das rochas sedimentares não consolidadas onde a água circula nos poros existentes.

- **Permeabilidade secundária**

Permeabilidade originada como consequência de esforços tectónicos, meteorização, fraturação e dissolução dos corpos rochosos.

- **Pesquisa**

Depois da caracterização das formações hidrogeológicas a partir da prospeção, segue-se, se for o caso, a fase de pesquisa com que se pretende completar a caracterização dos aquíferos por sondagens e furos. Nesta fase reconhece-se a sequência geológica e quantificam-se os parâmetros hidráulicos, os recursos hídricos disponíveis, faz-se a previsão das características das futuras captações, incluindo a produtividade. Na maioria dos casos correntes, a fase de captação segue, sem interregno, a fase de pesquisa. São os chamados furos de pesquisa e eventual captação.

- **Piezómetro**

Furo de pequeno diâmetro com tubo ralo onde se medem os níveis piezométricos através de medições com sonda manual e se instalam sondas piezométricas e limnigrafos que permitem obter informação contínua sobre o nível piezométrico.

- **Pliocénico**

Última época do período Neogénico, antecedido pelo Miocénico

- **Plistocénico**

Primeiro período do Quaternário a que segue o Holocénico.

- **Poço**

Cavidade de forma cilíndrica com diâmetro de alguns metros e profundidade que pode ir em casos excecionais até algumas dezenas de metros, destinada à captação de água subterrânea. A água entra no poço geralmente pelo fundo ou perto do fundo, por galerias horizontais e, mais modernamente, por drenos também horizontais. É frequente entre as empresas que exploram elevada quantidade de água subterrânea que os furos de captação de diâmetro e produtividade muito acima da média sejam designados por poços.

- **Poço com galerias**

Poço construído em regra em rochas compactas e duras pouco permeáveis que no fundo, ou a certa profundidade, dispõe de uma ou mais galerias. As galerias têm por finalidade captar a água que circula nas várias famílias de fraturas e assim aumentar a produtividade do poço. Modernamente as galerias são substituídas por furos horizontais realizados à roto-percussão ou à rotação com coroa e carotagem contínua.

- **Poço de drenos radiais ou horizontais**

Poço coletor dispendo de drenos radiais construídos em várias direções, localizados em um ou mais níveis e comprimento variável conforme a direção. São geralmente construídos por cravação hidráulica em aquíferos aluvionares de transmissividade elevada e com ligação hidráulica a massas de água superficiais. A mesma designação é por vezes atribuída a poços construídos em rochas compactas e duras de baixa permeabilidade com furos horizontais em substituição das galerias.

- **Poço Fehlmann**

Poço com drenos, onde cada um é radial e horizontal. Os drenos são colocados através de uma tubagem fechada (*casing*) cravada previamente e só entram em contato com a formação aquífera após extração do *casing*. O poço Fehlmann é constituído por um poço coletor em betão armado e drenos radiais.

- **Poço Hebard**

É um poço do tipo celular, constituído por corpo cilíndrico com parede dupla em que a exterior é de chapas de aço perfuradas e a interior contínua e estanque de betão. Entre estas duas paredes, a dos ralos e a de betão, há um intervalo que é dividido por anteparas de chapa de aço em espaços ou células independentes umas das outras.

• **Poço Ranney**

Poço de drenos horizontais em que os tubos dos drenos são cravados diretamente na formação aquífera. O poço Ranney é constituído por um poço coletor em betão armado e drenos radiais.

• **Ponto de água subterrânea**

Qualquer local ou circunstância natural ou artificial que permita o acesso direto ou indireto à água subterrânea.

• **Porosidade**

Razão entre o volume de vazios da rocha ocupados por ar ou água e o seu volume total.

• **Porosidade primária**

Porosidade que uma rocha apresenta antes de sofrer qualquer alteração, ou, no caso das rochas sedimentares, após a litificação ou diagénese.

• **Porosidade secundária**

Porosidade originada posteriormente à formação da rocha com consequência de ações tectónicas, diaclasamento, dissolução da água, etc.

• **Prospecção**

Fase dos estudos hidrogeológicos que tem por objetivo identificar e cartografar as formações hidrogeológicas pela observação e por técnicas a partir da superfície do terreno tais como inventário de pontos de águas e prospecção geofísica.

• **Proteção sanitária de um furo**

Conjunto de medidas ou ações que visam proteger/garantir a qualidade da água fornecida por um furo na fase de construção e de exploração.

• **Quaternário**

Termo informal para o segundo período da era Cenozoica, compreendido aproximadamente entre 2,6 milhões de anos atrás e o presente. Compreende os períodos Plistocénico e Holocénico.

• **Ralo (da bomba)**

Dispositivo ou local com orifícios por onde entra a água na bomba.

• **Ralo (tubo)**

ver *tubo ralo*

• **Rebaixamento**

Descida do nível de água num ponto de um aquífero por ação de extrair água do mesmo.

• **Rebaixamento específico**

Razão entre o rebaixamento num furo de captação e o caudal extraído do mesmo (inverso de caudal específico).

• **Rebaixamento num furo de captação**

Descida do nível piezométrico no furo devido à extração de água no mesmo.

• **Rebaixamento teórico do furo de captação**

Descida do nível piezométrico no furo pela extração de água do mesmo, considerando apenas as perdas de carga no aquífero.

• **Recarga do aquífero**

Quantidade de água que se escoia verticalmente até atingir o nível freático, aumentando a quantidade de água armazenada no aquífero. Além desta recarga vertical descendente, um aquífero pode receber recarga lateral e recarga vertical ascendente desde que as formações hidrogeológicas nas suas fronteiras possam transmitir água e o nível piezométrico nestas seja superior ao do aquífero.

• **Recuperação do nível da água num furo**

Subida do nível da água no furo após a paragem da extração de água do mesmo.

• **Recursos hídricos**

Volume de água de que se pode dispor numa dada região num determinado período de tempo.

• **Recursos hídricos subterrâneos**

Fração dos recursos hídricos que passa através da zona saturada. Caudal que pode ser retirado de um aquífero tendo em conta determinados constrangimentos técnicos e económicos.

• **Recursos hídricos subterrâneos renováveis**

Correspondem à captação integral do caudal natural de escoamento subterrâneo de um sistema, ou seja, a longo prazo, à alimentação por recarga do mesmo.

• **Regime laminar**

Diz-se do escoamento da água quando as linhas de corrente são paralelas.

• **Regime permanente**

Diz-se do escoamento da água subterrânea quando não há variação temporal da superfície piezométrica.

• **Regime transitório ou variável**

Diz-se do escoamento da água subterrânea quando há variação temporal da superfície piezométrica.

• **Regime turbulento**

Diz-se do escoamento da água subterrânea em que as linhas de corrente não são paralelas e não seguem a lei de Darcy.

• **Regressão**

Retração do mar, colocando em emersão áreas antes imersas. Comparar com *transgressão*.

• **Ressurgência**

Emergência de água subterrânea proveniente da perda de um curso de água superficial em regiões cársicas.

• **Rotopercussão**

Método de perfuração com um martelo pneumático equipado de trépano (*bit*) de pastilhas. O método inclui um movimento rotativo lento provocado pela cabeça de rotação da máquina simultâneo com um movimento de percussão de elevada frequência e de pequeno curso produzido pelo martelo pneumático no fundo de furo. O ar comprimido desce pelo interior do trem de varas de perfuração, aciona o martelo, atravessa os orifícios do trépano, expande-se e arrasta os detritos da perfuração para a superfície pelo espaço anelar entre a perfuração e as varas de perfuração. Também é conhecido por método de perfuração com martelo-de-fundo-de-furo.

• **Sinclinal**

É uma dobra que é convexa na direção das camadas mais antigas da sequência estratigráfica dobrada (tem a forma de U).

• **Sinclínório**

É um grande sinclinal que inclui dobras menores.

• **Sistema aquífero**

Domínio espacial, limitado em superfície e em profundidade, no qual existe um ou vários aquíferos, relacionados ou não entre si, mas que constitui uma unidade prática para a investigação ou a exploração.

• **Slot**

Abertura das fendas ou orifícios do tubo ralo.

• **Sobrebombeamento**

Bombeamento a caudal significativamente superior ao caudal de exploração previsto ou efetivo de um furo de captação.

• **Sobre-exploração**

Diz-se de um aquífero quando os recursos hídricos subterrâneos são explorados, de forma continuada, acima dos recursos médios renováveis ou quando dessa exploração resultam consequências indesejáveis, sejam económicas, ecológicas, legais ou outras.

• **Sondagem mecânica ou sondagem**

Perfuração que tem por objetivo o reconhecimento em profundidade das formações geológicas e estabelecer uma coluna litológica e estratigráfica, com toma de amostras dos terrenos que atravessa, e realizar ensaios e registos de natureza hidrogeológica.

• **Subsidência (de bacia sedimentar)**

Rebaixamento da litosfera que mantém a permanência das condições de sedimentação. É na maioria das vezes de origem tectónica a que se associam o peso dos sedimentos e os fenómenos de compactação e litificação.

• **Sumidouro**

Local onde se perde por infiltração, total ou parcialmente, um curso de água superficial

• **Superfície freática ou livre**

Lugar geométrico dos pontos em que a água de um aquífero freático ou livre se encontra em equilíbrio com a pressão atmosférica.

• **Superfície piezométrica**

Lugar geométrico dos pontos com o mesmo nível piezométrico

• **Terciário**

Termo informal para o primeiro período da era Cenozoica, compreendido aproximadamente entre 66 milhões e 2,6 milhões de anos atrás. Compreende os períodos Paleogénico e Neogénico. O Paleogénico inclui as épocas do Paleocénico, Eocénico, Oligocénico, Miocénico e Pliocénico.

• **Transgressão**

Incursoão do mar sobre as áreas emersas o que altera as condições de sedimentação em águas superficiais para condições de sedimentação em águas mais profundas. Comparar com *regressão*.

• **Transmissividade**

Produto da condutividade hidráulica horizontal pela espessura do aquífero. Expressão quantitativa do conceito de transmissibilidade.

• **Trépano**

Ferramenta que realiza função de fraturação, desagregação e trituração das rochas durante a perfuração de uma sondagem ou de um furo.

• **Triásico**

Primeiro período da era Mesozoica; segue-se o Jurássico.

• **Tubo ralo (ou ralo)**

Tubo de revestimento com aberturas para a entrada da água nos furo de captação e nos piezómetros.

• **Unidade hidrogeológica**

Designação que pode ser aplicada a aquífero e a sistema ou subsistema aquífero.

• **Vadosa, zona**

O mesmo que zona não saturada.

• **Vale tifónico**

Vale situados no interior de um diapiro extruído à superfície, formados pela erosão diferencial entre os bordos, normalmente constituídos por rochas resistentes à erosão e o seu núcleo, normalmente constituído, por evaporitos.

• **Vulnerabilidade de um aquífero**

Propriedade intrínseca de um aquífero que traduz a suscetibilidade deste a impactos antropogénicos e/ou naturais.

• **Zona de captação de um furo**

Zona do furo onde se localizam os tubos ralos.

• **Zona não saturada**

Zona compreendida entre a superfície do terreno e a zona saturada

• **Zona saturada**

Zona onde todos os interstícios das formações geológicas estão preenchidos por água com pressão igual ou superior à atmosférica.

- Almeida, C. (1985)–*Hidrogeologia do Algarve Central*. Dissertação para a Obtenção do Grau de Doutor em Geologia. Departamento de Geologia da FCUL, Lisboa, 333 pp.
- Almeida, C. (1992) – *Aspetos da exploração e proteção dos recursos hídricos em regiões calcárias*. Indústria da Água, n.º 6, pp 51-52.
- Almeida, C., Silva, M.L. & Crispim, J.A. (1995) – *COST 65 – National report for Portugal. Hydrogeological aspects of groundwater protection in karstic areas, Final report*, EUR16547 EN. pp 211-220.
- Almeida, C., Mendonça, J.J.L., Jesus, M.R. & Gomes, A.J. (2000) – *Sistemas aquíferos de Portugal Continental*. Centro de Geologia da Fac. Ciências Univ. Lisboa/Instituto da Água, Lisboa, 661 pp.
- Andrade, G. (1989)–*Contribuição para o estudo da unidade hidrogeológica Târ-Silves*. Tese de Mestrado, Departamento de Geologia, FCUL, Lisboa, 179 pp.
- Azevedo, T. M., Martins, J. M. B. & Ubaldo, M. L. (1994)–*Interpretação do estudo microfaunístico de dados de sondagem relativos ao limite Oligocénico/Miocénico no sinclinal de Albufeira (a sul de Lisboa)*. Atas II Congr. Gr. Esp. Terciario, Univ. Zaragoza, pp 47-50.
- Barbosa, B. P. (1995)–*Alostratigrafia e litostratigrafia das unidades continentais da Bacia Terciária do Baixo Tejo. Relações com o eustatismo e a tectónica*. Tese Doutorado, Univ. Lisboa, 253 pp.
- Batista, S., Cerejeira, M.J., Trancoso, A., Centeno, M.S., Silva-Fernandes, A. (1998)–*Pesticidas e nitratos em águas suterrâneas na região do Ribatejo e Oeste em 1996*. 4º Congresso da Água, FIL, Lisboa.
- Bruno, B. & Inácio, P., (2014) – *Barbadinhos, do vapor ao museu*. EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A., Lisboa, 119 pp. ISBN 978-989-8620-02-6.
- Cabral, J. & Ribeiro, A. (1988)–*Carta neotectónica de Portugal Continental, Escala 1/1.000.000*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Cabral, J. (1995)–*Neotectónica em Portugal Continental. Memórias do Instituto Geológico e Mineiro, Memória 31*, Lisboa, 265 pp
- Cabral, J., Moniz, C., Terrinha, P., Matias, L., & Ribeiro, P. (2000)–*Analysis of seismic reflection profiles in the neotectonic characterization of the Lower Tagus Valley area*. XXVII General Assembly of the European Seismological Commission, Lisbon University, 10-15 September 2000, Book of Abstracts and Papers, SSC1-07-P, 72.
- Carreira, P.M., Macedo, M.E., Soares, A.M.M., Vieira, M.C., Santos, J.B. (1994) – *Origin of salinization of the aquifer system of the Lower Sado Basin, in the region of Setubal*. Recursos Hídricos 15 (1), pp 41-48.
- Carreira, P.M., Nunes, D., Valério, P., & Araújo, M.F. (2007) – *Variações sazonais na composição isotópica da precipitação em Portugal Continental – 15 anos de registo*. XV Semana e Congresso Ibérico de Geoquímica, UTAD, Vila Real, Portugal.
- Carvalho, S., Midões, C., Duarte, P., Orlando, M., Quina, A.P; Duarte, R.S., Cupeto, C., Almeida, C. & Silva, M. O. (1998) – *Sistemas Aquíferos de Estremoz-Cano e Elvas-Vila Boim – Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo*. 4º Congresso da Água, Lisboa, 16 pp.
- Carvalho, A., Gonçalves, F., Oliveira, V. (1987)–*Carta Geológica de Portugal na Escala 1:50 000 e Notícia Explicativa da Folha 36-D REDONDO*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 63 pp.
- Cerejeira, M.J., Silva-Fernandes, A., Viana P. & Bacci, E. (1995)–*Atrazine and nitrate levels in the ground water of irrigations wells in the agricultural area of Chamusca (Portugal)*. Toxicological and Environmental Chemistry, Vol. 49. pp 123-128.
- Cerejeira, M.J., Batista, S., Silva, E., Viana, P., Centeno, M. S. & Silva-Fernandes, A. (1999)–*Ocorrência e dinâmica de pesticidas na água subterrânea de áreas de milho, hortícolas, vinha e fruteiras do Ribatejo e Oeste*. V Encontro Nacional de Proteção Integrada, Bragança.
- Chapuis, R.P. (1994)–*Assessment of methods and conditions to locate boundaries–I. one or two straight impervious boundaries*. Ground Water, v. 32, n.º 4, pp 576-582.
- Cooper, H.H. & Jacob C.E. (1946)–*A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history*. Am. Geophys. Union Trans., 27, pp 526-534.
- Costa, F.E. (1983)–*Hidrogeologia do Lias/Dogger a oriente do Rio Arade*. Comunic. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 69, 1, pp 107-145.
- Costa, F.E., Brites, J.A., Pedrosa, M.Y., Silva, A.V (1985)–*Carta hidrogeológica da orla algarvia-notícia explicativa*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Craig, H., (1961) – *Isotopic variations in meteoric waters*. Science, 133, pp 1702-1703.
- Crispim, J.A. (1987) – *Circulação subterrânea na zona norte das Serras de Ansião (Maciço de Sicó-Alvaizere, Portugal)*, Geolis, Rev. de Geologia Aplicada e do Ambiente, vol. 1, pp 92-99.
- Crispim, J.A. (1995) – *Dinâmica cársica e implicações ambientais nas depressões de Alvaldes e Minde*. Tese Doutor. Univ. Lisboa. 394 pp.
- Crispim, J.A. (2007) – *Alviela and Almonda karst springs, field trip guide* - M05. XXXV IAH Congress, Groundwater and Ecosystems, mid congress technical visits, Lisbon, 2007.
- Cupeto, C. A. (1991) – *Contribuição para o conhecimento hidrogeológico do Maciço Calcário de Estremoz (Cano-Sousel)*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, 180 pp.
- Drogue, C. & Almeida, C. (1984)–*Déformations cassantes et structure des magasins dans la couverture mesozoïque du centre du Portugal (Est du Plateau de Fátima)*, C. R. Ac. Sc. Paris, 299 (2), 9, pp. 577-579.
- ERHSA (2001)–*Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo. Relatório Técnico, Anexo II.12.A, Sistema Aquífero Estremoz-Cano*, Comissão de Coordenação da Região do Alentejo, Évora, 106 pp.
- Fernandes, P.A. G. (2000) – *Estudo hidrogeológico da Bacia do Sado*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Geologia Económica e Aplicada, FCUL, 175 pp.
- Fleury, E. (1944)–*Condições gerais hidrogeológicas do aproveitamento das águas das ressurgências dos calcários Jurássicos de Alenquer*. Tradução inédita do artigo em francês do Boletim da C.F.A.L., n.º 24, 2º Semestre de 1944, II Série.
- GESTÁGUA (1996)–*Plano diretor de desenvolvimento do sistema de abastecimento da EPAL – avaliação das disponibilidades-origens subterrâneas*. Consórcio PROCESL, Compagnie Generale de Eaux Portugal e Profabril, Lisboa.
- Gleick, P.H. (1993)–*An introduction to global fresh waters issues. In water in crisis – a guide to the world’s fresh water resources*, Peter H. Gleick (Edit.), part I, chapter I. Oxford University Press, pp.473. ISBN 0-19-507627-3.
- Grandewater (2008)–*Delimitação dos perímetros de proteção das captações de água subterrânea da EPAL: Agrupamentos 3 e 4*. Relatório final 2008/07/31/01, relatório técnico não publicado, pp.76 + 2 anexos, Lisboa.
- Hantush, M.S. (1964) – *Hydraulics of wells. In Advances in Hydrosience*, vol 1, ed. V. T. Chow, 281-432. New York: Academic Press.
- IGM – Instituto Geológico e Mineiro (1992)–*Carta geológica de Portugal à escala 1:500.000, Lisboa*.
- Jacob, C.E. (1947) – *Drawdown test to determine effective radius of artesian well. Transactions, American Society of Civil Engineers*, Vol. 112, N.º 1, pp.1047-1064.
- Kaweckí, M.W. (1993)–*Recovery analysis from pumping tests with stepped discharge*. Ground Water, v. 31, n.º 4, pp 585-592.
- Lopes, A. (1995)–*Contribuição da geomatemática para o estudo da dinâmica espaço-temporal do sistema aquífero Lias-Dogger do Algarve Central*. Diss. para obt. do grau de Mestre em Mineralogia e Plan. Mineiro. Inst. Sup. Tec, 113 pp.

- Lopez Palanca, J.J. e Martinez Alfaro, P.E. (1987)–*Interpretacion automatica de ensayos de bombeo*. IV Simposio de Hidrogeologia, Palma de Mallorca, Asociación Espanola de Hidrologia Subterránea.
- Macedo, M. E. P. (1994) – *Sistema de monitorização da qualidade da água subterrânea, um caso prática*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Geologia Económica e Aplicada. FCUL, 104 pp.
- Martins, A.F. (1949) – *Maciço calcário estremenho. Contribuição para um estudo de geografia física*, Coimbra, 248 pp.
- Mendonça, D., Chaves, J.A.B., Carvalho, J.M. & Mendonça, J.J.L. (1982)–*As águas subterrâneas da Bacia Terciária do Tejo e o abastecimento de água a Lisboa: alguns exemplos de trabalhos de pesquisa e captação*. Simpósio "A bacia hidrográfica portuguesa do rio Tejo-Perspetivas para o seu desenvolvimento e para a gestão dos seus recursos hídricos", APRH, Lisboa.
- Mendonça, J.J.L. (1990)–*Sistema aquífero aluvionar do vale do Tejo (V. N. Barquinha a Alverca): características e funcionamento hidráulico*. Tese de doutoramento, Universidade de Coimbra, 343 pp.
- Mendonça, J.J.L. (1996)–*Características hidráulicas do aquífero terciário do Tejo e do Sado na região da Lezíria de Vila Franca de Xira*. Recursos Hídricos, 17, (2 e 3), pp 53-66.
- Mendonça, J.L. & Almeida, C. (2003)–*A Exploração de Recursos Hídricos Subterrâneos – O exemplo do sistema aquífero Querença-Silves*. Rev. Assoc. Port. Rec. Hídricos (APRH). Vol. 24, nº3. Lisboa, pp 53-62.
- Mendonça J.L. & Cabral, J. (2003)–*Identificação de falhas na Bacia Cenozoica do Tejo através de técnicas de investigação hidrogeológica*. Comum. Inst. Geol. e Mineiro, t.90, pp 91-102.
- Mendonça, J.J.L., Medeiros, A.L.C. & Azevedo, J.C.C. (2004) – *Considerações sobre a hidrogeologia do sistema aquífero terciário do Tejo-Sado na região central da Bacia do Baixo Tejo*. 7º Congresso da Água, CD-ROM, A.P.R.H., Lisboa.
- Mendonça, J.L. (2008)–*Parecer sobre a viabilidade de construção de um campo de captações de água subterrânea na zona B do Plano Diretor da EPAL*. EPAL, 11 pp (não publicado).
- Mendonça, J.L. & Almeida, C. (2008)–*Caracterização hidrogeológica e modelação matemática do sistema aquífero Leirosa-Monte Real*. Relatório técnico, não publicado.
- Mendonça, J.J.L. (2016)–*A importância da água subterrânea no concelho de Lisboa em situação de crise extrema*. Technical Report, Research Gate, DOI: 10.13140/RG.2.2.24988.90240.
- Midões, C. (1999)–*Contribuição para o conhecimento hidrogeológico das formações carbonatadas paleozoicas do anticlinal de Estremoz*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, 155 pp.
- Monteiro, J.P. (2001) – *Characterisation of a carbonate aquifer for the application of a regional discret continuum flow model (Castelo de Vide carbonate aquifer-Alentejo, Portugal)*. Thesis presented to the Faculty of Sciences of the Neuchâtel to fulfil the requirements for the title of Docteur ès Sciences, Neuchâtel University, 143 pp.
- Neves, M.C., Costa, L. & Monteiro, J.P. (2015)–*Climatic and geologic controls on the piezometry of the Querença-Silves karst aquifer, Algarve (Portugal)*. Hydrology Journal, Published online: 05 January 2016, DOI 10.1007/s10040-015-1359-6.
- Oliveira, J.C.A. (1956) – *Novas captações de Alenquer e Ota 1956*. Boletim dos Serviços Técnicos da Companhia das Águas de Lisboa.-Lisboa.-Vol. XXII, pp153- 169; PP/004.
- Pais, J., Pais, C., Pereira, V. & Barbosa, B. (1999) – *Áreas de Vale de Santarém. Estratigrafia e polinologia*. Ciências da Terra (UNL), 13, pp 23-34.
- Paradelo, P.L., Zbyszewski, G., 1971 – *Hidrogeologia Geral do Centro e Sul de Portugal*. Lisboa, Direcção Geral de Geologia e Minas e Serviços Geológicos de Portugal, I Congresso Hispano-Luso-Americano de Geologia Económica, 123 pp.
- Pinto, L.L. (1989)– *História do abastecimento de água a Lisboa*. Imprensa Nacional-Casa da Moeda; Lisboa, 316 pp.
- PNUD (1980)–*Étude des eaux souterraines de la péninsule de Setúbal (système aquifère Mio-Pliocène du Tejo et du Sado)*. Rapport final sur les résultats du project, conclusions et recommendations. Programme des Nations Unies pour le Développement, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa.
- Rasmussen, E. S., Lomholt, S., Andersen, C. & Vejbaek, O. V. (1998)–*Aspects of the structural evolution of the Lusitanian Basin in Portugal and the shelf and slope area offshore Portugal*, Tectonophysics, 300, pp 199-225.
- Ribeiro, A., Antunes, M.T., Ferreira, M.P., Rocha, P.B., Soares, A.F., Zbyszewski, G., Almeida, F. Moitinho de, Carvalho, D. & Monteiro, J.H. (1979)–*Introduction à la Géologie Générale du Portugal*. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 114 pp.
- Ribeiro, L. F. T. (1991)–*Caracterização geoestatística de sistemas hidrogeológicos*. Dissertação para obtenção do grau de doutor em Engenharia de Minas, Inst. Superior Técnico, 415 pp.
- Ribeiro, P., Moniz, C. & Cabral, J. (2000)–*Study of active structures in the Lower Tagus Valley through satellite imagery analysis*. XXVII General Assembly of the European Seismological Commission (ESC), Lisbon University, 10-15 september 2000, Book of Abstracts and Papers, SSC1-07-P, 71.
- Romariz, C., Almeida, C. e Crispim, J. C. (1987)–*Sistemas Cárscicos do Litoral Atlântico*. IV Simpósio de Geologia Aplicada e do Ambiente, FCUL, guia de excursões.
- Romariz, C. (2006) – *A água na história de Lisboa*. In Paisagens geológicas de Portugal (DVD-nº2), edição do autor.
- Romariz, C.P. (2012) – *Paisagens geológicas de Portugal*. Edição do autor em CD.
- Rorabaug, M.I. (1953)–*Graphical and theoretical analysis of step drawdown test of artesian well*. Proc. Am. Soc. Civil Eng., vol.79.
- Saldanha, D. (2004) – *Encontro com o espaço do fazer fotográfico no Aqueduto das Águas Livres*. EPAL–Empresa Pública das Águas Livres, Lisboa, 273 pp ISBN 972-9039-94-1
- Simões, M.M.M. (1998)–*Contribuição para o conhecimento hidrogeológico do Cenozoico na Bacia do Baixo Tejo*. Dissertação de doutoramento (Vol. I), Universidade Nova de Lisboa, 270 pp.
- Terrinha, P., Carvalho, J. & Manuppella, G. (2000) – *Tectónica*, in Not. Expl. da Folha 27-A, Carta Geol. de Port. na Esc. 1:50.000, Manuppella, G. (coord.). Inst. Geol. e Mineiro, Lisboa, pp 101-115.
- Theis, C.V. (1935)–*The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage*. Am. Geophys. Union Trans., 16, pp 519-524.
- Zbyszewsky, G. (1953)–*Carta Geológica de Portugal na escala 1:50.000*. Folha 31-A – Santarém. Serviços Geológicos de Portugal.
- Zbyszewsky, G. (1954)–*Étude géologique de la région de Santarém*. Com. Serv. Geol. Portugal, Tomo XXXV, pp193-225.
- Zbyszewski, G.; Torre de Assunção, C. (1965)–*Carta Geológica de Portugal na Escala 1/50.000 e Notícia Explicativa da Folha 30-D* Alenquer. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 104 pp.
- Zbyszewski, G., Veiga Ferreira, O., Manuppella, G. & Torre Assunção, C. (1966)–*Carta Geológica de Portugal na Escala 1/50.000 e Notícia Explicativa da Folha 30-B* Bombarral. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa 90 pp.

Posfácio

Foi com um misto de alguma apreensão e muito entusiasmo que aceitei o convite da EPAL para a elaboração de um livro sobre as captações subterrâneas da EPAL e sua importância no abastecimento de água a Lisboa. Tanto mais que o livro se inclui no conjunto de iniciativas que a EPAL pretende levar a cabo no âmbito das comemorações dos 150 anos da empresa. O desafio, no entanto, era por demais estimulante e irrecusável!

No início da minha vida profissional, tive a oportunidade e o privilégio de trabalhar na empresa ACAVACO onde durante dezoito anos convivi e aprendi, com os melhores profissionais e especialistas, a arte de conceção e construção de obras de captação de água subterrânea.

Nesse período, consultei e estudei os relatórios mais antigos e emblemáticos das obras executadas pela ACAVACO. Entre eles, distinguiram-se os de obras mandadas fazer pela EPAL: eram as relíquias preservadas do tempo do crescimento e do apogeu da ACAVACO. Foi assim que me apercebi da importância das águas subterrâneas no abastecimento da cidade de Lisboa e conheci o elevado rigor e a excelência da EPAL e dos seus técnicos.

Se a aceitação da tarefa de escrever o livro me causou alguma apreensão, a sua execução trouxe-me agradáveis memórias da EPAL, e dos seus colaboradores, e de dois períodos gratificantes da minha vida profissional: como hidrogeólogo da ACAVACO até 1996 e, depois do ano de 2000, como consultor de hidrogeologia independente em vários projetos.

A tarefa foi concluída com a escrita de oito capítulos em que se inclui a totalidade das obras de captação subterrâneas mandadas fazer pela EPAL desde 1935, sete dezenas de anos de furos de captação! Também se considerou a caracterização das nascentes do Alviela, cuja água chegou a Lisboa, através do Aqueduto do Alviela, e forneceu água à cidade desde 1880 até 2015, ano em que o seu aproveitamento foi descontinuado.

Os textos foram moldados na perspetiva de reunir, conservar e disponibilizar a informação, dispersa nos arquivos da EPAL e noutras fontes, para que possa ser útil num futuro em profunda mudança, em que o que parece certo é antes passageiro.

Uma questão bem atual sobre a transitoriedade de soluções existentes, que pareciam definitivas, é a que resulta da vulnerabilidade dos abastecimentos público às alterações climáticas, bem evidente no passado ano de 2017, em grande parte do nosso território continental.

"O posicionamento da EPAL e a sua importância na prestação de um serviço essencial praticamente a um terço da população portuguesa" levou a empresa, através do projeto Adaptaclima-EPAL, a avaliar os impactes das alterações climáticas sobre as origens do seu sistema de abastecimento. Concluiu-se que estas evidenciam atualmente uma elevada resiliência a eventos climáticos.

Posfácio (cont.)

Assim, o modelo atual de abastecimento é "robusto e configura vantagens inequívocas". No entanto, apresenta algumas vulnerabilidades, nomeadamente, na concentração das origens (na prática apenas duas), no transporte e na rede de distribuição (em Lisboa, em particular) no caso de situações de catástrofe grave, como terremotos, ataque terrorista, conflito militar interno e/ou externo, acidente nuclear, etc.

Na opinião do autor, em ambiente de situações extremas, as águas subterrâneas locais poderão ser uma reserva estratégica e de alternativa mínima (de sobrevivência) e/ou complementar, desempenhando o papel de polos onde a população e as autoridades se poderão dirigir para conseguir água.

Por outro lado, a rentabilização desta alternativa de crise pode ser assegurada através do uso corrente da água subterrânea em consumos menos nobres, como a rega de jardins e as lavagens de espaços públicos. Por exemplo, em 2014, a Câmara Municipal de Lisboa consumiu 8,2 milhões de metros cúbicos de água potável que representam 32 % do consumo não doméstico de água em Lisboa. Destes 8,2 milhões de metros cúbicos, 75% (6,1 milhões) foram gastos em jardins e lavagens de ruas.

225

A possibilidade de utilizar furos de captação como reserva estratégica, enquanto não se retoma a normalidade do abastecimento, fundamentar-se-ia em parte nos furos construídos, que foram apresentados e descritos ao longo dos vários capítulos deste livro, e em outros a construir ou a comprar/alugar na área da própria cidade de Lisboa e outros aglomerados urbanos importantes.

A implementação de um sistema de captações na cidade de Lisboa, ou outras áreas urbanas, que possa ir objetivamente ao encontro dos propósitos fundamentais da EPAL, necessita de uma metodologia exequível que inclua um estudo aprofundado das condições hidrogeológicas no âmbito territorial a definir.

Termino, agradecendo ao Conselho de Administração da EPAL, a confiança e a honra com que me distinguiu ao convidar-me para a edição deste livro no âmbito das comemorações dos 150 anos da empresa.

A todos os colaboradores da EPAL, com quem convivi em praticamente toda a minha vida profissional, deixo uma mensagem de agradecimento por todas as manifestações de estima e consideração que me dedicaram.

Agradeço muito penhoradamente à Engenheira Conceição Almeida e ao Engenheiro Francisco Serranito, Diretores de Manutenção e de Operações da EPAL, o entusiasmo com que me contagiaram e a inestimável ajuda que tornou possível a existência deste livro. Agradeço-lhes também a confiança e a amizade com que me vêm distinguindo ao longo de quase duas décadas de colaboração institucional.

João Lopo Mendonça





Fotos (pág.esq.) Medição de caudal no ensaio de produtividade de um furo de captação de água subterrânea (em cima) e recolha de amostra de água na fase de desenvolvimento de um furo de captação de água subterrânea (em baixo) (fotos do autor)

Fotos (pág.dir.) Bombeamento e lançamento da água para o ambiente no ensaio de produtividade de um furo de captação de água subterrânea (esq.) e fase de construção de um furo de captação de água subterrânea (dir.) (fotos do autor)

