

CAPÍTULO 4

ESTUDOS DE CARACTERIZAÇÃO DO AQUÍFERO SUPERFICIAL MIO-PLIO-QUATERNÁRIO E DO AQUÍFERO MIOCÉNICO

4 ESTUDOS DE CARACTERIZAÇÃO DO AQUÍFERO SUPERFICIAL MIO-PLIO-QUATERNÁRIO E DO AQUÍFERO MIOCÉNICO

4.1 Introdução

No Capítulo 4 são tratados os aspectos relacionados com determinados estudos específicos que foram realizados com a finalidade de completar a caracterização do aquífero superficial da Campina de Faro, constituído pelas areias e cascalheiras do Mio-Plio-Quaternário e do aquífero subjacente do Miocénico. Esta caracterização visou a abordagem da estrutura geológica dos aquíferos, com base na análise de: (1) colunas litológicas de sondagens cuja informação se encontra inserida na base de dados INVENTAR_FARO e (2) sondagens eléctricas verticais. A caracterização do escoamento subterrâneo e a caracterização hidroquímica do aquífero superficial e profundo foram completadas com quatro campanhas de monitorização.

Os estudos de caracterização do aquífero superficial visaram ainda a selecção de locais adequados à implementação de sistemas de recarga artificial de pequena dimensão, destinados à melhoria da qualidade do aquífero superficial da Campina de Faro. No início do desenvolvimento deste estudo foi seleccionado um local, que seria adequado à construção de um sistema de recarga artificial, formado por bacias de infiltração que permitiriam a recarga do aquífero superficial, utilizando como fonte de água para a recarga o escoamento fluvial ocorrido no rio Seco, durante episódios de escoamento mais intensos. Este local situava-se junto à vila de Conceição, na margem esquerda do rio. De forma a caracterizar a estrutura geológica mais superficial neste local, foram aplicadas diferentes técnicas geofísicas cujos resultados se apresentam e comparam neste Capítulo. Este local acabaria por ser excluído, como caso de estudo, por não ter sido detectada uma espessura de areias necessária para a infiltração de água em bacias de recarga artificial.

Posteriormente foram seleccionados outros dois locais, o primeiro situado na zona central da Campina de Faro, numa secção do leito do rio Seco, perto da vila de Carreiros e o segundo situado mais para SW, no Areal Gordo. Nestes locais, a observação das formações atravessadas durante a perfuração de cinco piezómetros e durante a construção de bacias de infiltração permitiu a compreensão dos estratos litológicos presentes no local e a amostragem dos solos, para posterior tratamento laboratorial e a caracterização de alguns parâmetros hidráulicos. Nestes dois locais foram posteriormente desenvolvidos os referidos sistemas de recarga artificial, aos quais se fará referência mais adiante.

4.2 Caracterização geológica/hidrogeológica

4.2.1 Aplicação de métodos geofísicos na área de estudo

4.2.1.1 Introdução

A aplicação de métodos geofísicos na área de estudo, na Campina de Faro, teve como principal objectivo definir a estrutura geológica do aquífero superficial e do aquífero profundo subjacente, tendo como ponto de partida o conhecimento adquirido em alguns locais das formações intersectadas por furos de sondagem.

Os métodos geofísicos aplicados na área de estudo foram os seguintes:

- 1) Sondagens eléctricas verticais (SEVs), realizadas na região da Campina de Faro;
- 2) Método electromagnético (EM31+EM34), aplicado no caso de estudo de Conceição;
- 3) Método de resistividade eléctrica, aplicado no caso de estudo de Conceição e Carreiros;
- 4) Georadar, aplicado no caso de estudo de Conceição.

A utilização de diferentes métodos de geofísica, para o conhecimento do substrato geológico, relacionou-se com a validação de cada um dos métodos para o caso de estudo em concreto, o que foi realizado através da sua antecipada aplicação *in situ*, antes de se seleccionar a metodologia mais apropriada, não só para a caracterização geológica e hidrogeológica, mas também, como metodologia de análise e detecção espacial e temporal de ensaios de recarga artificial e de traçador, realizados numa das áreas de estudo, de que se falará mais adiante.

Em Conceição, foram aplicados os quatro métodos referidos, com o objectivo de comparar diferentes metodologias e resultados obtidos na caracterização geológica/hidrogeológica do meio subterrâneo. Em Carreiros e no Areal Gordo a caracterização foi realizada pela execução de SEVs.

De seguida apresenta-se uma breve descrição dos métodos geofísicos aplicados, os locais onde se desenvolveram estas metodologias e a interpretação dos resultados que se obtiveram. Para uma descrição mais pormenorizado remete-se para as respectivas referências bibliográficas.

De salientar que os perfis geofísicos realizados no caso de estudo de Conceição foram executados exactamente no mesmo local, para os três métodos geofísicos aplicados, de forma a possibilitar uma comparação de resultados mais precisa.

4.2.1.2 Sondagens eléctricas verticais

Na área de estudo foram realizadas sete SEVs. A Figura 4.1 apresenta a sua localização em fotografia aérea da Campina de Faro, as coordenadas geográficas e a direcção do alinhamento da SEV (cf. Medeiros, 2006). A SEV1 foi realizada em Conceição, as SEVs 2, 4 e 5 foram realizadas em Carreiros, sendo as duas últimas realizadas no mesmo local, mas em direcções perpendiculares; as SEVs 3, 6 e 7 foram realizadas no Areal Gordo. De assinalar que as SEVs 4/5 e 3 localizam-se junto a poços incluídos nas campanhas de monitorização (ref. P18 e P19, respectivamente); as SEVs 6 e 7 foram realizadas junto aos piezómetros LNEC4 e LNEC5, respectivamente, e a SEV3 foi executada junto a um furo de captação com cerca de 100 m de profundidade. A interpretação dos resultados das SEVs foi realizada em Medeiros (2006) tendo-se, posteriormente, incorporado os perfis geológicos que se apresentam no Anexo 3 e referidos com maior detalhe na Secção 4.2.2.

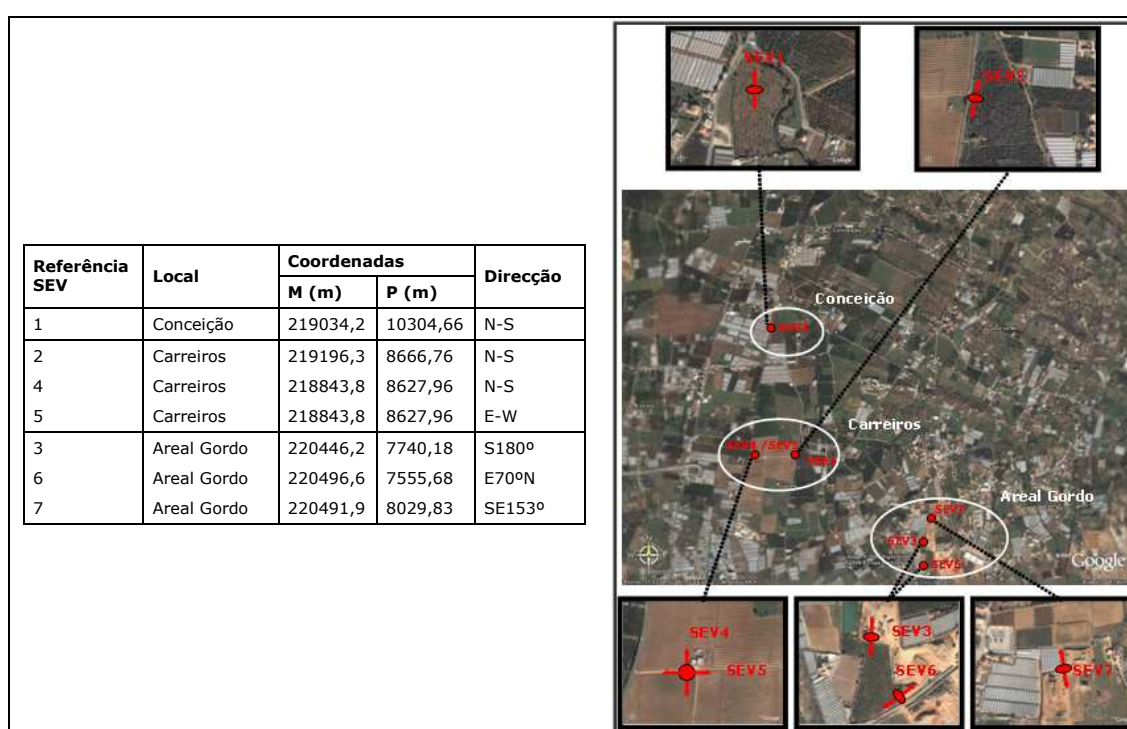


Figura 4.1 – Localização em fotografia aérea das setes SEVs realizadas na Campina de Faro (adaptado de Medeiros, 2006)

4.2.1.3 Métodos electromagnéticos

A aplicação dos métodos electromagnéticos no caso de estudo de Conceição esteve a cargo do Professor Fernando Pedro Figueiredo, do Departamento de Ciências de Terra da Universidade de Coimbra. Estes métodos foram aplicados recorrendo a dois tipos de equipamentos distintos que diferem essencialmente na profundidade de investigação alcançada, designadamente: o EM31 e o EM34, ambos da firma *Geonics*. Na área de estudo de Conceição foram realizados cinco perfis de condutividade eléctrica cuja localização e interpolação dos resultados se apresenta na Figura 4.2 (os primeiros três perfis PI, PII e PIII, sensivelmente paralelos, com orientação N-S, e os perfis IV e V, perpendiculares aos anteriores). A profundidade máxima de investigação foi de 50 m. As conclusões do modelo electromagnético 2,5D referidas em Figueiredo (2006, *in* Medeiros, 2006) apontam para a identificação de um limite entre uma zona preferencialmente de areia e uma outra predominantemente argilosa com, respectivamente, valores de baixa e

alta resistividade. Sugere que esta zona mais argilosa e por isso menos permeável, situada a Norte deveria ser evitada para a colocação das bacias de infiltração.

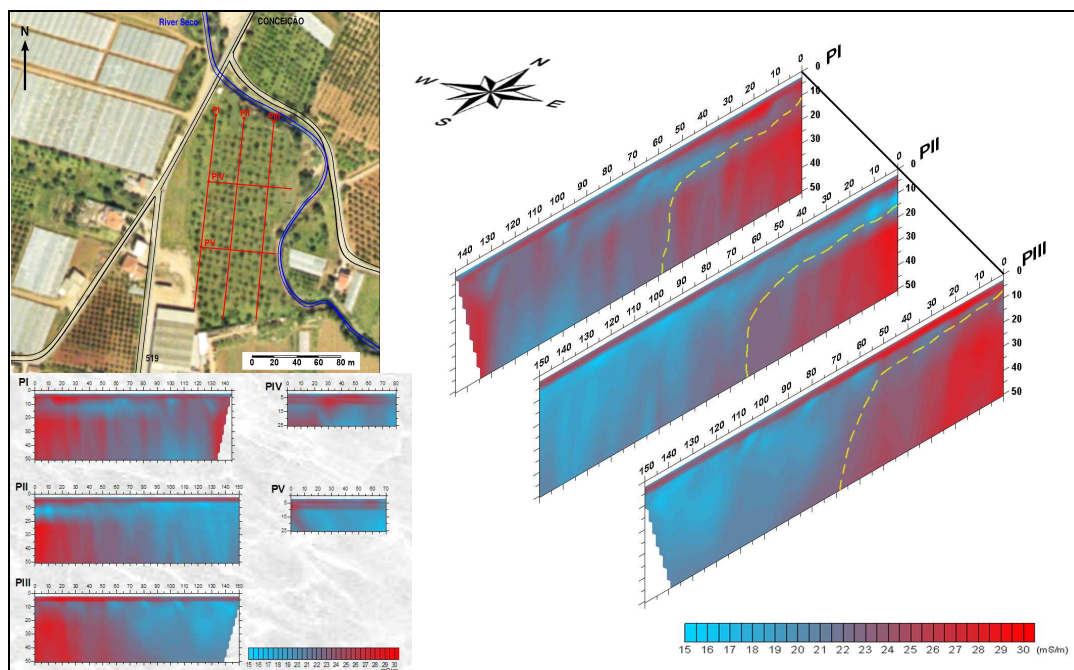


Figura 4.2 – Resultados obtidos nos cinco perfis realizados no caso de estudo de Conceição por métodos electromagnéticos (adaptado de Figueiredo, 2006)

4.2.1.4 Métodos de resistividade eléctrica

A aplicação de métodos de resistividade eléctrica esteve a cargo do Núcleo de Geologia de Engenharia e Geotecnia Ambiental (NGEA), do Departamento de Geotecnia do LNEC. Com o método geofísico de resistividade eléctrica foram realizados cinco perfis, tendo sido alcançada uma profundidade máxima de investigação de 33 metros. A Figura 4.3 apresenta uma fotografia aérea da área de Conceição com a localização dos perfis realizados (W1, W2,... W4) e o modelo geofísico interpretado para um dos perfis. A análise dos modelos de geofísica resultantes indicaram as conclusões que se passam a citar (Mota, 2006): (1) elevada homogeneidade dos valores de resistividade do meio (variação entre 20-190 ohm.m) indicando também alguma homogeneidade geológica em profundidade, relacionada com o elevado teor de humidade do solo; (2) identificação de um nível superficial de resistividade mais baixa, a cerca de dois metros de profundidade, igualmente identificado como o mesmo nível de granulometria mais grosseira pelo método do georadar, (3) nível intermédio com cerca de cinco metros de espessura, identificado na metade Norte dos perfis W2 e W3 (este nível aumenta de espessura para Sul e decresce para Este), (4) substrato de baixa resistividade (<67 ohm.m), que decresce à medida que os perfis se aproximam do rio.

4.2.1.4 Georadar

A aplicação do equipamento geofísico de georadar foi igualmente coordenada pelo NGEA do LNEC. A baixa penetração do equipamento de georadar permite uma caracterização mais detalhada dos primeiros metros na zona não saturada do solo, até cerca de 6 metros de profundidade abaixo da superfície do solo. Inicialmente procedeu-se à realização de um perfil de teste, no início do Perfil P1 para determinar a velocidade das ondas electromagnéticas nos primeiros 50 cm do solo. O valor obtido, de 0,102 m/ns

(metros por nanosegundos), é característico de materiais do tipo argilosos ou argilo-arenosos, comparativamente a valores tabelados na bibliografia da especialidade (Oliveira, 2006) (a confirmação destes resultados foi realizada com a análise granulométrica de amostras de solo recolhidas no mesmo local). A análise dos registos do georadar obtidos para os perfis P2 e P3 permitiu identificar a presença de uma interface entre dois níveis geológicos, a cerca de 2 metros de profundidade. A Figura 4.4 apresenta um extracto de um dos perfis e assinala com uma linha amarela a referida interface (adaptado de Oliveira, 2006).

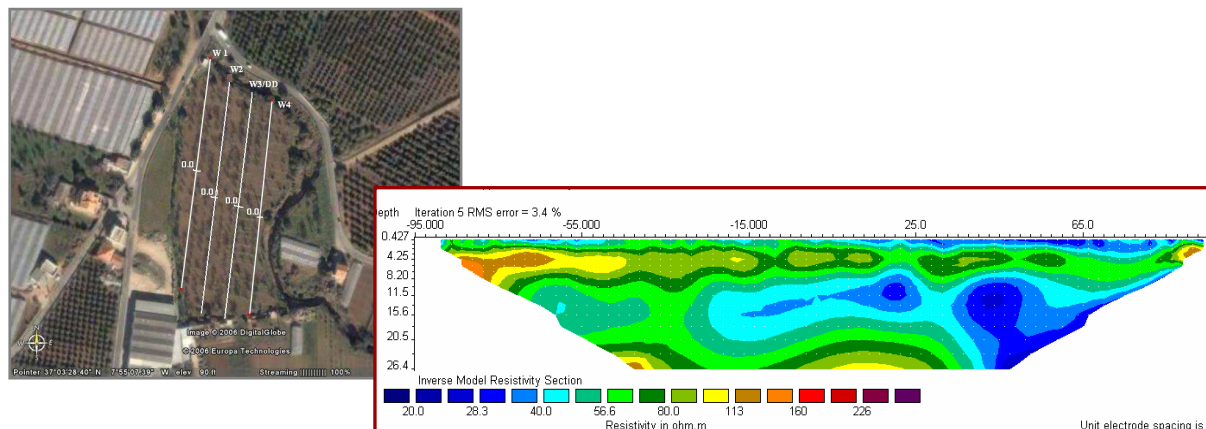


Figura 4.3 – Localização dos perfis e modelo de resistividade eléctrica obtido num dos perfis realizados no caso de estudo de Conceição (extraído de Mota, 2006)

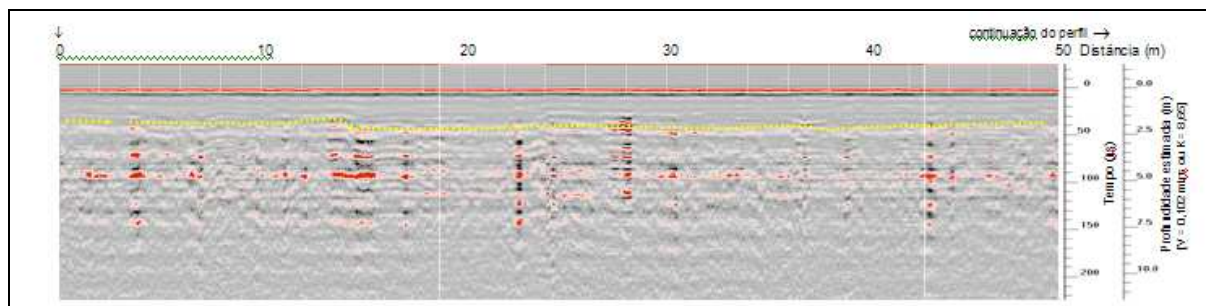


Figura 4.4 – Extracto do resultado do georadar num dos perfis (Perfil 3) realizados no caso de estudo de Conceição (extraído de Oliveira, 2006)

4.2.2 Definição da estrutura geológica

A definição da estrutura geológica aqui proposta, presente na região da Campina de Faro, necessária para o conhecimento do funcionamento hidráulico dos aquíferos e como dado de entrada para o modelo matemático, resultou de uma análise aprofundada de descrições de colunas litológicas (ou *logs*) de sondagens e de piezómetros. Foram também incluídos nesta análise os resultados de algumas SEVs realizadas na área de estudo. Estes dados litológicos abrangeram informação recente, adquirida no âmbito dos estudos para o projecto Gabardine, informação mais antiga publicada nas duas últimas décadas em diversos estudos e ainda, informação dos arquivos da CCDR-Algarve e da empresa A.Cavaco.

Após a análise da informação recolhida, o conjunto de dados reuniu apenas *logs* de doze furos e de cinco piezómetros, e os resultados das SEVS LNEC. A Figura 4.5 mostra a localização destes pontos de água e o Quadro 4.1 apresenta uma listagem dos mesmos e identifica a profundidade de cada camada litológica identificada.

A estrutura geológica foi já proposta por vários autores, nomeadamente:

- 1) Geirnaert *et al.* (1982)
- 2) Silva *et al.* (1986)
- 3) Silva (1988)
- 4) Ooijen *et al.* (1996)

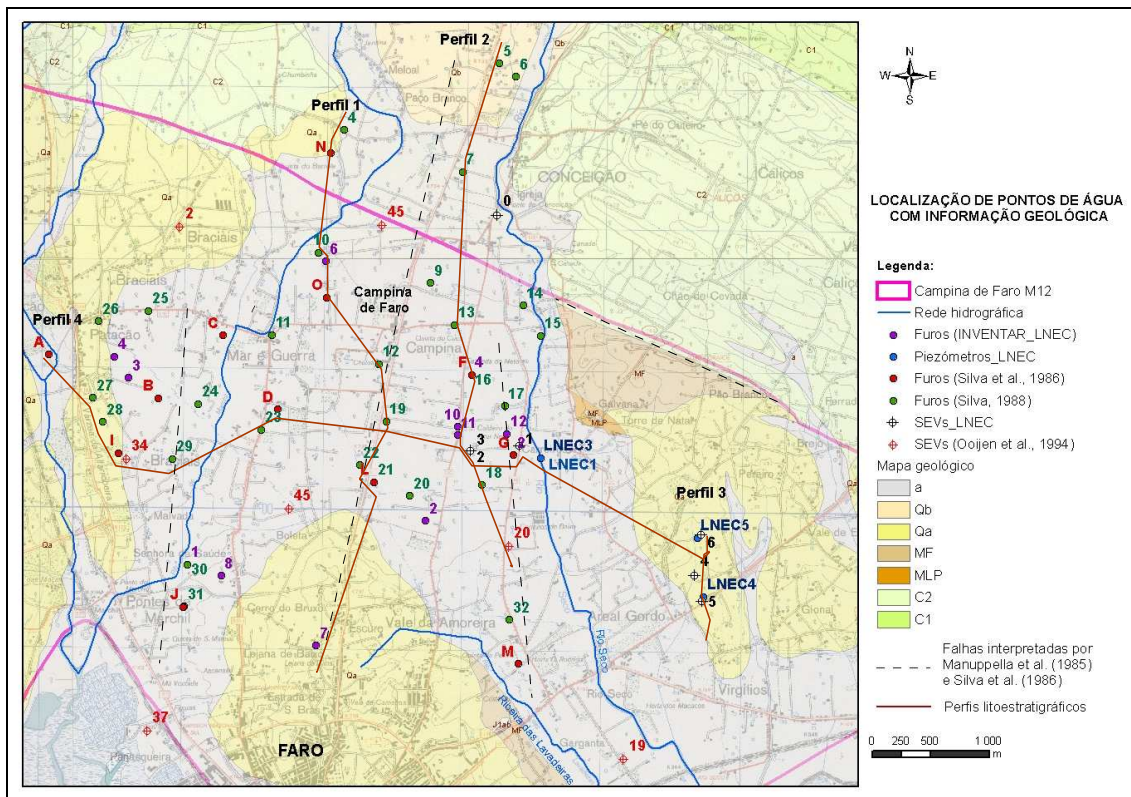


Figura 4.5 – Localização de pontos de água com informação geológica de acordo com as referências referidas no mapa.

Em Silva *et al.* (1986) foi proposta a estrutura geológica que se apresenta nos perfis da Figura 4.6. Estes autores propõem uma descrição bastante pormenorizada dos horizontes atravessados, enquadrando o aquífero livre nas formações detríticas do Quaternário e Miocénico Superior e o aquífero confinado a semi-confinado, Miocénico, nas formações calcárias e calco-arenosas subjacentes. Conseguem também distinguir um horizonte silto-argilo-arenoso, com evidência de continuidade lateral nos perfis analisados, que corresponde ao nível confinante que separa ambos os aquíferos. Assinalam nos perfis as falhas interpretadas, de alinhamento N-S e NW-SW, que afectaram a região desde o final do Miocénico. Os dois perfis W-E assinalam a já referida estrutura em “teclas de piano”, condicionada pelos acidentes estruturais, tendo sido possível intersectar em duas sondagens as formações evaporíticas do Hetangiano, a cerca de 233 m de profundidade em Carreiros, e a cerca de 95 m de profundidade, mais a Sul, muito próximo do local de afloramento destas formações, junto à ribª. das Lavadeiras. A base do aquífero Miocénico carbonatado foi intersectado nos furos assinalados na Figura 4.6, de Oeste para Este aos 175, 142 e 183 m, a Sul aos 95 m e a Norte, aos 29 m, junto ao limite Norte do M12. A depressão mais acentuada demarcou-se numa zona situada a Oeste de Carreiros. Estes pontos de água foram georeferenciados em ArcMap e podem observar-se na Figura 4.5, com a designação de A a M. O Quadro 4.1 apresenta uma listagem dos mesmos e da profundidade das unidades litológicas identificadas por Silva *et al.* (1986), extraída com base nos perfis geológicos da Figura 4.6.

Estes autores referem a sua reserva relativamente ao modelo geológico proposto, apontado a incerteza na espessura do Miocénico uma vez que existem indícios de subverticalização destas camadas em alguns locais (segundo indicação de J. Pais, furos F e G da Figura 4.6), podendo assim as espessuras reais serem inferiores às representadas.

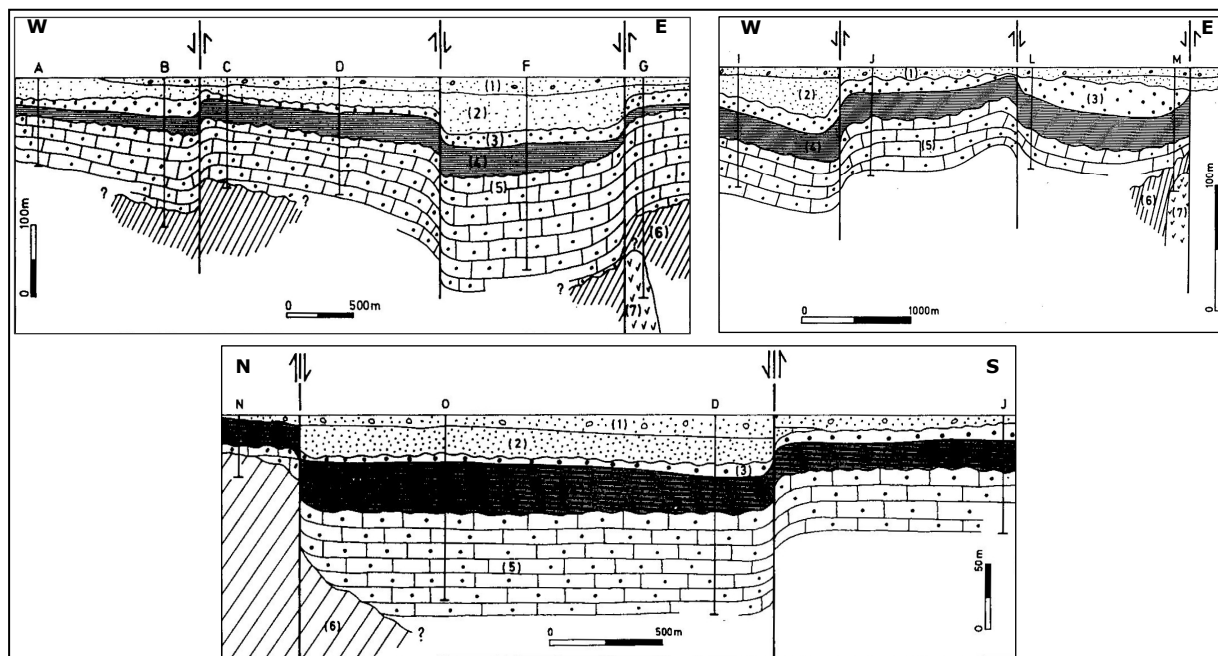


Figura 4.6 – Perfis geológicos propostos por Silva *et al.* (1986) na Campina de Faro. Legenda: (1) Aluvião; (2) Quaternário arenoso; (3) Miocénico arenoso fino; (4) Miocénico argilo-silto-arenoso; (5) Miocénico calcário e calco-arenoso; (6) Cretácico; (7) Rochas evaporíticas; (A, B, ...O) sondagens de captação, † falha interpretada.

A análise de cerca de 30 *logs* de furos de sondagens, realizada por Silva (1988), permitiu concluir que o Miocénico carbonatado se depositou numa depressão tipo *graben* na Campina de Faro, e que o topo desta unidade litológica se distribui de forma muito irregular, individualizando-se uma zona de depressão a SW da povoação de Carreiros, tal como também Silva (1986) havia identificado. A análise desta informação apenas permitiu definir a profundidade do topo do Miocénico carbonatado, que varia entre 0 m, nas zonas de afloramento em Galvanas e a SW da Rib.^a das Lavadeiras, e cerca de 72 m, no furo 18. Estes pontos de água, numerados de 1 a 32, foram georeferenciados em ArcMap e assinalados no mapa da Figura 4.5. O Quadro 4.1 apresenta uma listagem dos mesmos e da profundidade desta unidade litológica, que corresponde à base do aquífero freático, referenciada em Silva (1988).

Em Ooijen *et al.* (1992) o estudo geológico compreendeu a realização e análise de sete SEVs, que se projectaram no mapa da Figura 4.5. As separações litológicas propostas por estes autores também se apresentam no Quadro 4.1.

Geirnaert *et al.* (1982) realizaram um estudo hidrogeológico completado pela análise de informação de SEVs e de *logs* de furos, com o objectivo de delinear a base do aquífero Miocénico na zona costeira entre Quarteira e Olhão, estando assim a área de estudo da Campina de Faro incluída nesta análise. Referem que a base deste aquífero não foi identificada perto da linha de costa devido à ausência de contraste de resistividade com as formações subjacentes.

Estes autores definiram um mapa de isolinhas (cf. Figura 4.7, após georeferenciação em ArcMap) que representam a cota da base do aquífero Miocénico carbonatado, que varia entre <50 m, junto ao limite Norte do sistema aquífero M12 e >300 m, na metade Sul deste sistema aquífero. Esta Figura fornece mais uma vez indicação de que o aquífero Miocénico mergulha para Sul, subjacente aos depósitos de cobertura mais recentes e que a sua espessura aumenta de N para S e de E para W, limitada por falhas de alinhamento N-S, que se reflectem nos alinhamentos dos cursos de água da ribeira do Biogal e do rio Seco. Na Figura 4.7 pode ainda observar-se um perfil geológico N-S que atravessa a parte central da Campina de Faro, elaborado por Geirnaert *et al.* (1982), recorrendo aos resultados de resistividade aparente em SEVs e descrição de *logs* de furos de sondagem. Nesta Figura pode observar-se o aparecimento da camada de areias do Miocénico detrítico coincidente com o limite N do M12, atingindo uma espessura máxima de cerca de 40 m próximo dos afloramentos do Plio-Quaternário. A partir daqui e até ao limite Sul do M12, não existem referências na literatura consultada, sobre a forma como termina esta estrutura geológica.

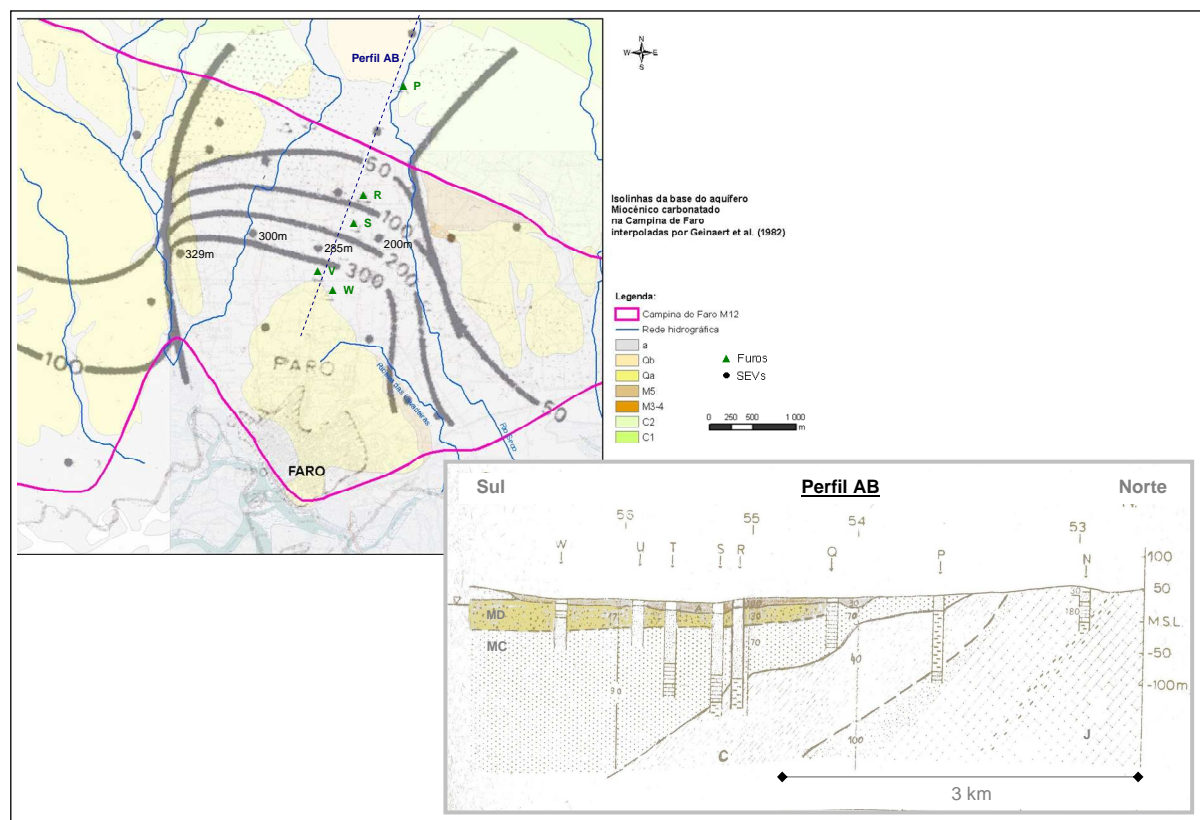


Figura 4.7 - Isolinhas da cota da base do aquífero Miocénico carbonatado na Campina de Faro e perfil N-S contendo informação de *logs* de furos e resistividades aparentes de SEVs, ambos adaptados de Geirnaert *et al.* (1982)

Apesar da complexidade geológica da zona de estudo, na realidade existe um conjunto razoável de informação sobre a sua estrutura com base na interpretação de *logs* de sondagens e de SEVs realizadas em alguns locais. Assim, procurou-se fazer uma análise que condensou toda a informação referida, de diferentes autores e disponível na INVENTAR_Faro, no mapeamento da base dos aquíferos que interessam modelar, designadamente os aquíferos freático do Mio-Plio-Quaternário e confinado do Miocénico. Na Figura 4.5 pode observar-se a localização dos furos e a respectiva fonte de informação utilizada nesta análise. O Quadro 4.1 lista os mesmos furos, fornece

indicação da sua localização e resume as profundidades de cada camada litológica diferenciada por cada autor. A Figura 4.8 e a Figura 4.9 apresentam os resultados da interpolação em ArcView da profundidade à base do aquífero freático e do aquífero confinado, respectivamente. Estão assinalados nas figuras os pontos utilizados na interpolação e a respectiva fonte de informação.

Incorporou-se ainda informação que, apesar de não apontar a separação de unidades geológicas, nos dá uma indicação da unidade presente em determinada profundidade (*i.e.* furos com profundidade superior a um dado valor, no Quadro 4.1 e profundidade da formação captada em alguns furos, Quadro 4.4). Esta indicação foi necessária na zona Este do rio Seco, onde a informação é escassa. Foi o caso de um furo em Vírgilios e outro no rio Seco, para o aquífero superficial, e dois furos situados no Areal, para o aquífero confinado.

Em relação à interpolação da estrutura do aquífero freático identificou-se, além da depressão referida em Silva (1988), a SW de Carreiros, uma outra, localizada mais a S, numa povoação designada de Cerro do Bruxo. Para SW da rib^a. das Lavadeiras a profundidade desta camada diminui acentuadamente, até à zona de afloramento das formações miocénicas, que surgem neste local possivelmente com a ajuda de acidentes estruturais.

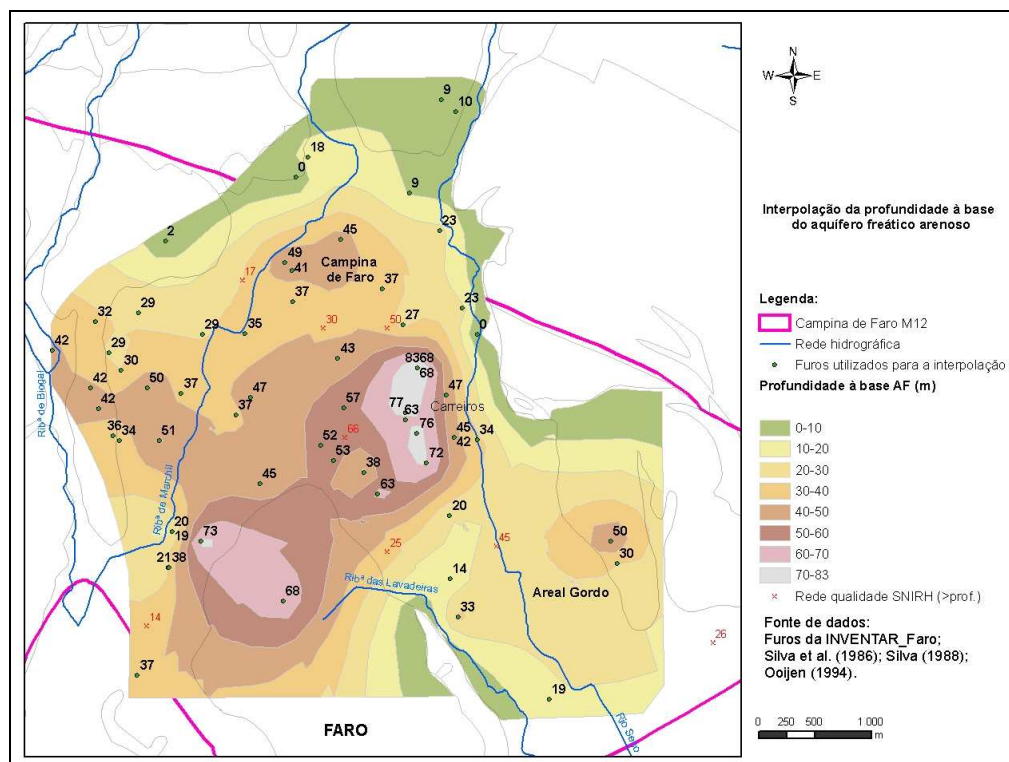


Figura 4.8 - Interpolação da profundidade da base do aquífero freático na Campina de Faro

Apesar da pouca informação que existe no caso do aquífero confinado pode referir-se que, à semelhança do modelo proposto por Geirnaert *et al.* (1982), tem-se uma estrutura inclinada para Sul, que aumenta de profundidade de forma mais ou menos constante, seguindo um alinhamento W-E, atingindo-se as maiores profundidade a Oeste da área de estudo (> 250 m), contudo para Sul da isolinha dos 250 m não existe informação sob a forma como esta estrutura termina.

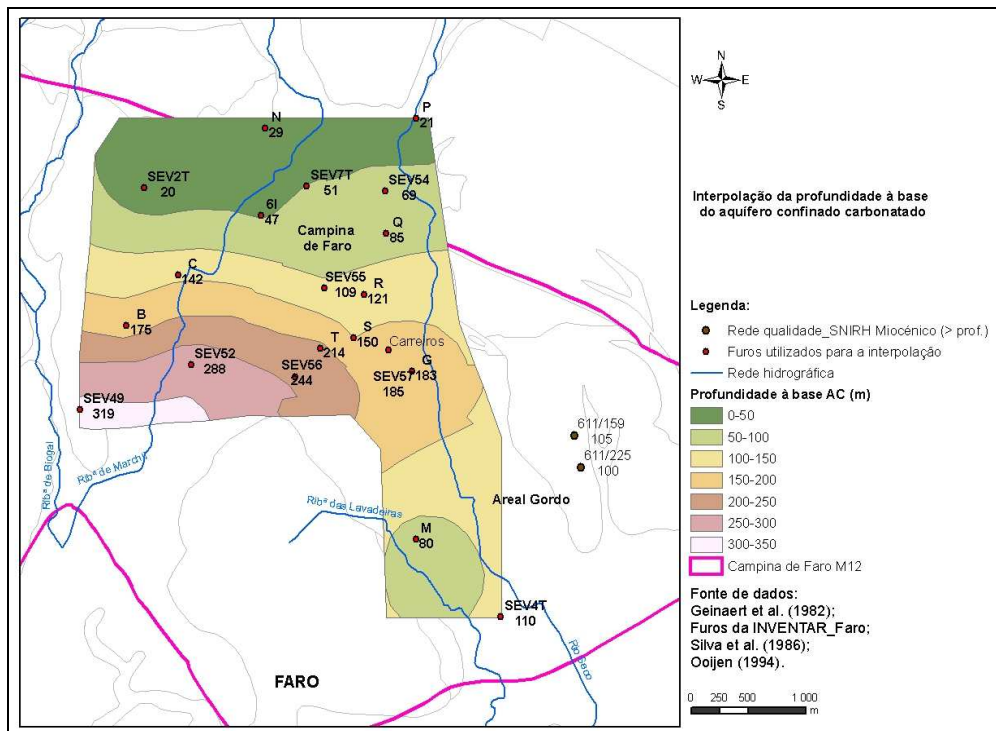


Figura 4.9 – Interpoção da profundidade da base do aquífero confinado (Miocénico carbonatado)

Em termos geomorfológicos, na área de estudo temos duas zonas de altitude mais elevada, a SW e NE onde afloram as areias e cascalheiras do Plio-Quaternário e a NNE os calcários do Miocénico (em Galvanas) e a uma zona envolvente mais aplanada atravessada pelo rio Seco e pela ribeira de Marchil onde se depositaram os depósitos aluvionares. A erosão fluvial e marinha foram importantes e possivelmente terão removido a formação mais superficial de areias e cascalheiras, de origem continental, nas zonas atravessadas pelos cursos de água. A evidência desta afirmação encontra-se na análise das colunas litológicas de furos na zona aluvionar, em que se verifica normalmente a ocorrência de estratos de areias finas e amarelas, subjacentes às formações aluvionares. A presença de minerais de moscovite nestas areias finas e amarelas serviu como indicador de ambiente marinho para estabelecer o seu agrupamento nas formações miocénicas¹.

No Anexo 3 apresentam-se os perfis litoestratigráficos N-S e W-E realizados com base na referida informação de base (ver localização dos perfis e das respectivas falhas prováveis marcadas nos perfis e assinaladas em Manuppella *et al.* (1985) e Silva *et al.* (1986) na Figura 4.5).

No perfil 1 N-S, destaca-se na zona central, de revelo mais baixo, uma espessura importante da camada de areias do Miocénico (>40m). Esta zona é limitada a N por uma falha interpretada NW-SE que elevou o bloco N, tendo aqui a erosão removido uma parte importante dos sedimentos detriticos. É também limitada a S por outra falha que terá também elevado este bloco, onde afloram as areias e cascalheiras do Plio-Quaternário, atingindo neste local uma espessura considerável (≈50m).

No perfil 2 N-S assinala-se a quase ausência de formações detriticas a N da falha NW-SE e a sua espessura variável condicionada por uma falha interpretada N-S. Neste perfil

¹ Informação oral do Professor Manuel Oliveira da Silva, FCL (2007).

inclui-se o log do furo JK15 cuja separação dos horizontes litológicos foi proposta em Silva *et al.* (1986). Neste local, a NW de Carreiros a espessura de areias do Mio-Plio-Quaternário poderá atingir os 60 m.

Na zona a E do rio Seco, no Areal Gordo a informação geológica resume-se à adquirida no âmbito do projecto Gabardine. Neste local o perfil 3 N-S, que insere três SEVs e os logs do LNEC5 e LNEC4, destaca as areias do Plio-Quaternário que são a formação de cobertura, com cerca de 6 m de espessura, que assentam sobre as areias finas amarelas, agrupadas no Miocénico Superior pela detecção da presença de micas, cuja base não foi detectada. Assinala-se o nível piezométrico medido nas campanhas de monitorização do LNEC e calculou-se um gradiente muito baixo entre os dois piezómetros que distam 423 m, <1%.

No perfil 4, W-E destacam-se os seguintes aspectos que se passam a referir: a) as duas zonas de afloramento das areias do Plio-Quaternário a W e a E da bacia sedimentar da Campina de Faro; b) alguns furos não assinalam a camada confinante, o que não significa que esta não esteja presente podendo eventualmente apenas não ter sido distinguida nos furos em questão; c) a espessura das areias do Miocénico detrítico é claramente afectada pelas falhas interpretadas N-S, referidas em Manuppella *et al.* (1985) e Silva *et al.* (1986), assinaladas na Figura 4.5; d) a maior espessura da camada de areias detectou-se no ponto 10 (65 m), também localizado a SW de Carreiros; e) para SE de Carreiros a espessura desta camada diminui, contudo não foi intersectada a base desta camada no piezómetro LNEC5; f) existe apenas uma referência à base do aquífero Miocénico carbonatado, aos 183 m de profundidade em Carreiros. Neste perfil inclui-se o log do furo JK16 cuja separação dos horizontes litológicos foi feita por datação, segundo Silva *et al.* (1986).

Quadro 4.1 – Sumário de informação de diferentes fontes bibliográficas sobre a estrutura geológica presente na Campina de Faro definida com base em logs de furos e de piezómetros e na interpretação de SEVs

Designação do furo/ Fonte de dados	Coordenadas (m)		Profundidade da base (m) ^(a)					
	M	P	A	PQ	MD	MA	MC	C
Furos e SEVs LNEC								
LNEC1	219348	8549	7					
LNEC2	219343	8579	7					
LNEC3	219342	8579	7			34		
LNEC4	220506	7589	0	8	48			
LNEC5	220462	8010	0	9	40			
VES1	219034	10305			23			
VES2	219196	8667			36			
VES4	218844	8628	inconclusiva					
VES5	218844	8628	5		76			
VES3	220446	7740		4,6				
VES6	220497	7556	inconclusiva					
VES7	220492	8030		4,7				
INVENTAR LNEC								
611000004/JK15	218850,00	9170,00	23			68	>260	
611000002/JK2	218520,00	8130,00	12	22		63	>72	
611071008	217060,00	7740,00				73	>160	
611071001	216820,00	7820,00	3	5		19	>49	
611071007	217740,00	7240,00	0	49		68	-	97
611071006	217810,00	9980,00	3	5		41	47	>200
611071004	216300,00	9300,00	2	12		29	>187	
611071003	216400,00	9150,00	1	20		30	>195	
611071002/JK16	219150,00	8600,00	7	21		45	191	
611071010	218750,00	8800,00	12			77	>98	
611071011	218750,00	8740,00	12			63	>72	
611071012	219100,00	8750,00	27					
Furos Silva <i>et al.</i> (1986)								
A	215828,52	9316,81		25	42	50		
B	216613,04	9005,71	8	25	50	75	175	
C	217072,93	9452,08	13	25	29	58	142	

Capítulo 4 – Estudos de caracterização do aquífero superficial Mio-Plio-Quaternário e aquífero Miocénico

Designação do furo/ Fonte de dados	Coordenadas (m)		Profundidade da base (m) ^(a)					
	M	P	A	PQ	MD	MA	MC	C
D	217465,19	8924,56	16	37	47	74		
F	218844,85	9059,82	25	75	92	133		
G	219196,53	8559,35	8	21	42	50	183	233
I	216328,99	8613,45	7	24	36	58		
J	216788,88	7517,83	5		21	42		
L	218209,12	8383,51	7		22	49		
M	219183,01	7112,05	7	18	33	60	80	95
N	217843,92	10750,59	3			24	29	
O	217816,87	9722,60	8	29	37	74		
Furos Silva (1988)								
1	216213,94	10984,36				0		
2	216692,77	10799,78				1		
3	217229,01	10769,40				0		
4	217940,73	10915,83				18		
5	219048,27	11390,54				9		
6	219166,33	11294,55				10		
7	218783,86	10616,78				9		
8	219066,62	10409,30				40		
9	218557,00	9823,95				37		
10	217754,67	10043,04				49		
11	217425,22	9454,82				35		
12	218189,64	9248,53				43		
13	218727,01	9527,43				27		
14	219217,01	9664,19				23		
15	219346,36	9449,60				0		
16	218725,67	9159,82				68		
17	219086,26	8947,99				47		
18	218922,99	8385,53				72		
19	218239,92	8839,92				57		
20	218407,06	8307,58				38		
21	218153,23	8407,07				53		
22	218049,69	8528,80				52		
23	217346,06	8778,81				37		
24	216895,86	8962,19				37		
25	216542,78	9626,13				29		
26	216187,12	9553,86				32		
27	216145,11	9008,64				41		
28	216213,39	8834,94				42		
29	216714,84	8571,94				51		
30	216755,76	7766,41				20		
31	216795,99	7519,05				38		
32	219117,48	7425,90				14		
SEVs Ooijen et al. (1994)								
SEV1T	217546,36	8213,24	6	25		45		
SEV2T	216766,94	10225,29	0	1		2	20	
SEV3T	219115,90	7949,77	2	6		20		
SEV4T	219938,76	6429,33	1,5	10		19	110	
SEV5T	216383,51	8569,52	2	10		34		
SEV6T	216531,66	6630,62	2,5	15		37		
SEV7T	218211,86	10238,06	0	11		45	51	
Geinaert et al. (1982)								
P	219189,14	10840,02					21	107
Q	218919,60	9820,44	7			25	85	
R	218720,37	9281,36	14			43	121	
S	218626,62	8894,62	14			36	150	
T	218333,64	8800,87	14			39	214	
U	218485,99	8496,17	7			43		
W	218286,76	7933,65	7			50		
SEV49	216200,74	8261,78					339	
SEV52	217185,15	8660,24					312	
SEV57	218943,04	8789,15					215	
SEV56	218110,97	8554,77					284	
SEV55	218368,80	9339,96					149	
SEV54	218907,88	10195,46					69	

(a) (A) Aluvião; (PQ) Plio-Quaternário; (MD) Miocénico detrítico; (MA) Miocénico argilo-silto-arenoso; (MC) Miocénico calcário e calco-arenoso; (C) Cretácico.

4.2.3 Determinação de parâmetros hidráulicos em laboratório

Com o objectivo de determinar, por ensaios laboratoriais, os parâmetros hidráulicos característicos das formações arenosas que constituem o aquífero freático da Campina de Faro, foram recolhidas amostras de solos nos dois locais de estudo, em Carreiros e no Areal Gordo.

As amostras de solos foram recolhidas no Areal Gordo, a três profundidades diferentes, que correspondem a formações arenosas de cores diferentes, incluídas no perfil geológico da zona não saturada (Bacia1, Bacia2 e Bacia3). Foram recolhidas no fundo das bacias de infiltração (a referir no Capítulo 5), durante a escavação, para ensaios de granulometria e amostras indeformadas, destinadas a ensaios laboratoriais em coluna. No Areal Gordo e em Carreiros, durante a perfuração de cinco piezómetros (LNEC1, LNEC2 e LNEC3 em Carreiros, e LNEC4 e LNEC5, no Areal Gordo), destinados à monitorização dos ensaios de recarga artificial, foram recolhidas amostras de solo, a cada metro de perfuração, para determinação de granulometria. O método de perfuração utilizado nestes piezómetros foi a precursão mecânica que não permite a recolha de amostras indeformadas, pelo que não foram efectuados ensaios em coluna.

As amostras não perturbadas foram utilizadas na caracterização física e hidrodinâmica dos estratos amostrados, nomeadamente, pela determinação do peso específico aparente (ρ_b), da porosidade (n) e da permeabilidade intrínseca (K_s). As amostras da zona saturada são amostras perturbadas e foram utilizadas para determinar as seguintes propriedades hidráulicas: permeabilidade, peso específico aparente (ρ_b) e porosidade (n). Os ensaios laboratoriais foram desenvolvidos no Laboratório do Núcleo de Águas Subterrâneas (NAS) do LNEC e são apresentados em Henriques (2008).

4.2.3.1 Descrição macroscópica da coluna do solo

Refere-se em seguida os aspectos que pareceram mais pertinentes pela observação macroscópica da coluna de solo perfurada nos piezómetros, em Carreiros:

- Aos 5 m de profundidade verificou-se a transição de um material mais grosseiro e mal calibrado, de natureza aluvionar, para um solo mais arenoso, no qual se detecta a presença de minerais de moscovite. Conforme se referiu atrás, estes minerais funcionam como indicador de ambiente marinho, marcando assim a passagem das formações mais recentes datadas do Holocénico, de origem continental, para as formações arenosas do Miocénico Superior.
- Aos 8 m de profundidade dá-se a transição para a zona saturada, o material amostrado é arenoso fino e de cor amarelada;
- Aos 16-17 m detectou-se a presença de um material arenoso, de textura mais fina e cor mais escura, com presença abundante de minerais ferromagnesianos alterados, que possivelmente marca a transição do ambiente de deposição e a passagem para o aquífero confinado do Miocénico.
- Dos 20 aos 40m (no caso piezómetro mais profundo, LNEC3) continua-se em presença de um material arenoso, de cor amarelada, por vezes com blocos de calcarenitos e presença de fósseis.

No caso dos piezómetros e bacias de infiltração do Areal Gordo, a principal diferença em termos litológicos, relativamente a Carreiros, encontra-se nas formações de cobertura, que neste caso são as areias e cascalheiras, de cor avermelhada e mal calibradas, do Plio-Quaternário. A espessura desta camada litológica não ultrapassa os 6 metros neste local. O piezómetro LNEC4 está localizado junto ao local de abertura das bacias e o LNEC5 a cerca de 800 m para N, junto ao ponto de monitorização P35, que corresponde ao poço seleccionado para o ensaio de injeção.

4.2.3.2 Análise granulométrica

As amostras de solos estão referenciadas da seguinte forma: designação do piezómetro ou bacia onde foi amostrada e profundidade a que se refere a amostra. A selecção de amostras para análise granulométrica coincidiu, nas bacias com o material aflorante no fundo, e nos piezómetros do Areal Gordo, apenas se seleccionou o horizonte mais profundo da coluna de solo, por existir uma certa monotonia no material da coluna de solo amostrada durante a perfuração, designadamente solos arenosos e de cor amarelada. Não se detectou a presença de carbonatos nestas amostras de solos. Em Carreiros, as amostras de solos foram recolhidas nos piezómetros LNEC1, LNEC2 e LNEC3, a cada metro de perfuração. Neste caso, a selecção de amostras foi realizada com base na identificação macroscópica de variações importantes na sequência da coluna de solo amostrada, ou quando tais variações seriam menos perceptíveis, a cada 5 metros de profundidade.

A análise granulométrica realizada em laboratório permite determinar a textura do solo por determinação do tamanho dos grãos. A escala adoptada foi a de Atterberg, que define os seguintes diâmetros de partículas e respectivas classes de textura: 2-60 mm-seixo, 0,6-2 mm-areia, 0,02-0,06 mm-silte e < 0,002 mm-argila. A preparação das amostras para a análise granulométrica foi realizada de acordo com a especificação LNEC E195 (1967) e a realização do ensaio de acordo com a Especificação LNEC E239 (1970). A análise granulométrica consiste na separação dos materiais mais grosseiros, neste caso por peneiração, e na separação dos materiais finos (argilas e siltes), por difratometria de raios laser. As fracções grosseira e fina foram separadas por via húmida com um crivo de 0,063 mm. A análise granulométrica da fracção fina (siltes e argilas) foi determinada com um analisador de partículas por difracção laser *Mastersizer Micro*, instalado na Estação Experimental de Sedimentos Coesivos do Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras do LNEC. A análise da fracção fina apenas foi efectuada para as amostras do Areal Gordo. Em Henriques (2008) descrevem-se detalhadamente os procedimentos laboratoriais utilizados.

Os resultados da classificação textural e análise granulométrica das amostras de solos de Carreiros e do Areal Gordo, são apresentados no Quadro 4.2. O coeficiente de uniformidade (U) dado por D_{60}/D_{10} , é <5 no caso de solos uniformes, compreendido entre 5 e 15 no caso de solos medianamente uniformes e >15 em solos não uniformes. O coeficiente de curvatura (CC) é calculado pela seguinte expressão: $D_{30}^2/(D_{10}/D_{60})$, devendo ficar compreendido entre 1 e 3 no caso de solos bem graduados. Ambos são determinados pela análise da forma da curva granulométrica. Foi feita a projecção gráfica das percentagens dos sedimentos num diagrama triangular para classificação (Figura 4.10). Os valores de permeabilidade foram determinados utilizando as expressões empíricas de Hazen e Burmister, que se descrevem na Secção seguinte (Quadro 4.2). As curvas granulométricas estão representadas na Figura 4.11.

Os solos das formações de cobertura são solos cascalhentos ou arenosos argilo-siltosos, franco-arenosos, mal calibrados. As formações subjacentes apresentam solos arenosos, finos a médios, arenosos-franco e franco-arenosos, normalmente bem calibrados e uniformes. Destaca-se a presença de níveis de areias médias praticamente limpas, em que a percentagem de finos determinada foi < a 1%, em Carreiros (no LNEC3 aos 13 m de profundidade) e no Areal Gordo (no LNEC5 aos 31-34 m de profundidade).

Quadro 4.2 – Classificação textural das amostras de solos de Carreiros e do Areal Gordo e valores de permeabilidade.

Referência da amostra	Classificação textural				Tipo de solo	Permeabilidade k (m/d)	
	% argila (<0,002mm)	% silte (0,002-0,06mm)	% areia (0,06-2mm)	% cascalho (2-60mm)		Hazen (1)	Burmister (2)
Solos de Carreiros							
LNEC1-5m	24,34	24,72	50,94		Seixo médio, com percentagem de areia e argila, mal calibrado	n.d.	n.d.
LNEC1-8m	2,37		97,04	0,59	Areia média, bem calibrada e uniforme	22,1	54,3
LNEC1-13m	39,44		59,99	0,57	Areia fina a média, argilo-siltosa, bem calibrada e uniforme	n.d.	5,4
LNEC1-16m	9,46		90,26	0,28	Areia média, bem calibrada e uniforme	5,5	39,9
LNEC2-5m	30,00		66,01	3,99	Areia fina, argilo-siltosa, bem calibrada e uniforme	n.d.	8,7
LNEC2-8m	14,33		85,08	0,59	Areia fina, bem calibrada e uniforme	n.d.	11,3
LNEC2-13m	1,89		98,03	0,08	Areia média, bem calibrada e uniforme	38,1	54,3
LNEC2-17m	15,67		81,24	3,09	Areia média, bem calibrada e uniforme	n.d.	37,3
LNEC3-5m	30,26		67,49	2,25	Areia fina, argilo-siltosa, bem calibrada e uniforme	n.d.	7,5
LNEC3-8m	31,27		68,54	0,19	Areia fina, argilo-siltosa, bem calibrada e uniforme	n.d.	7,5
LNEC3-13m	1,21		98,53	0,26	Areia média (100%), bem calibrada e uniforme	41,8	54,3
LNEC3-17m	11,07		87,34	1,59	Areia média, bem calibrada e uniforme	4,2	30,0
LNEC3-20m	7,55		84,73	7,72	Areia média, bem calibrada e uniforme	8,6	70,9
LNEC3-25m	10,05		87,22	2,73	Areia média, bem calibrada e uniforme	4,9	48,3
LNEC3-30m	6,65		74,43	18,92	Areia média a grosseira, bem calibrada e medianamente uniforme, com blocos de calcarenito	13,5	159,6
LNEC3-35m	11,81		80,08	8,11	Areia média bem calibrada e uniforme	n.d.	21,5
LNEC3-40m	14,57		74,64	10,79	Areia fina a média, bem calibrada e uniforme, com blocos de calcarenito	n.d.	16,0
Solos do Areal Gordo							
Bacia1-3m	6,35	13,36	56,97	23,32	Areia vermelha grosseira, com seixos e sedimentos finos, não uniforme e mal graduada	n.d.	10,0
Bacia2-6m	11,25	13,13	74,71	0,91	Areia castanha fina, silto-argilosa, não uniforme e mal graduado	n.d.	6,4
Bacia3-7m	4,53	8,34	87,13	0,00	Areia castanha média, medianamente uniforme e mal graduado	n.d.	27,7
Bacia3-8m	3,20	6,53	90,27	0,00	Areia amarela média, bem calibrada e uniforme, com muito pouca percentagem de finos	5,5	25,5
LNEC4 21-24m	3,71	8,17	88,12	0,00	Areia amarela fina a média, bem calibrada e uniforme, com pouca percentagem de finos	1,4	16,0
LNEC5 31-34m	0,17	0,38	99,45	0,00	Areia amarela média (100%), bem calibrada e uniforme	34,6	45,4

(1) $k_H = C \times (D_{10})^2$, $C=1$
 (2) $k_B = C \times (D_{50})^2$, $C=51,3$
 n.d. - não determinado

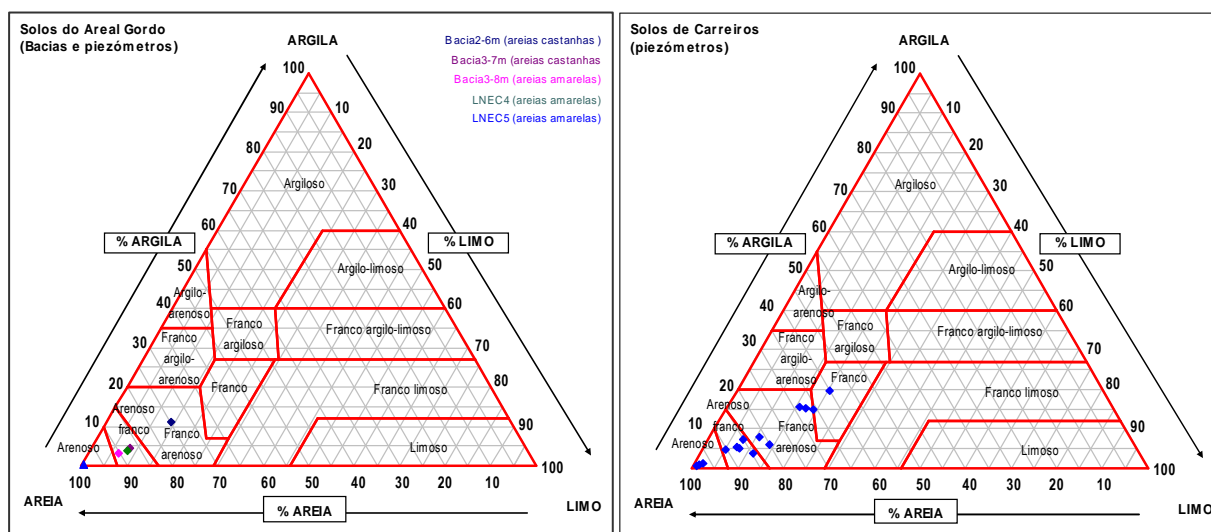


Figura 4.10 – Classificação textural das amostras de solos recolhidas nas bacias de infiltração e piezómetros do Areal Gordo e de Carreiros (nota1: amostras com percentagem importante de cascalho não estão representadas no diagrama; nota2: nas amostras de Carreiros não se efectuou a granulometria de finos pelo que se assumiu igual percentagem de argila e silte para a representação gráfica)

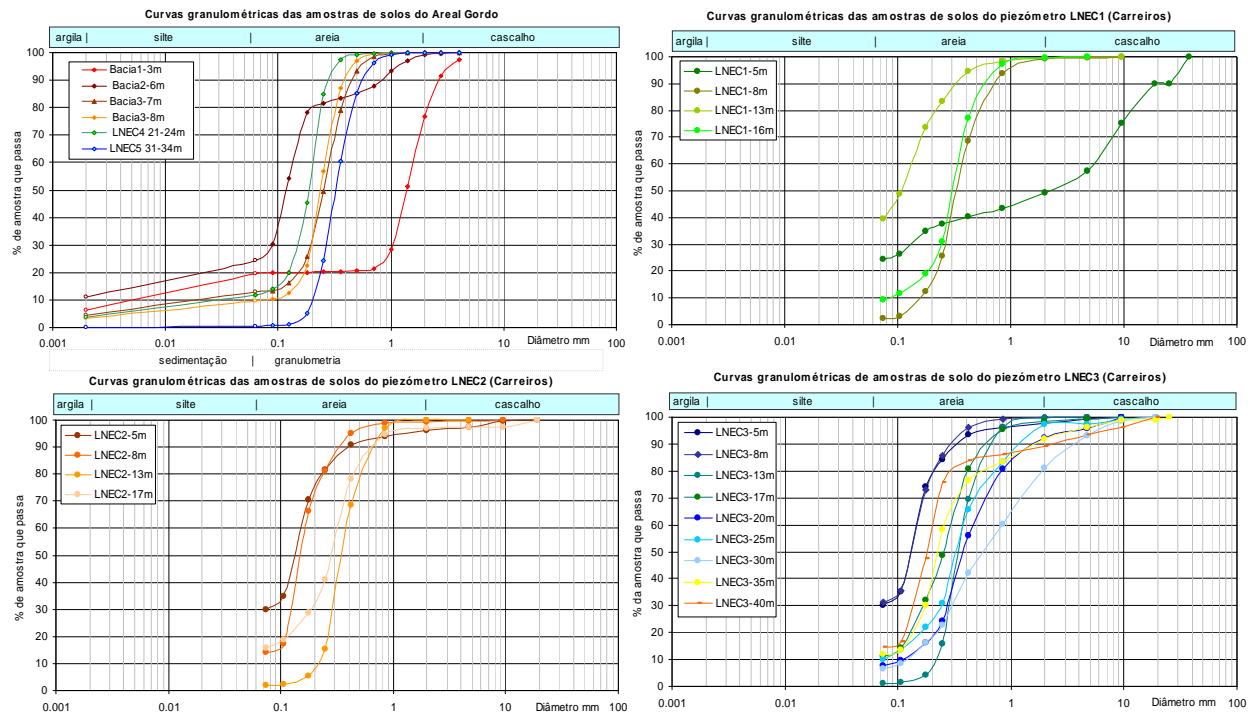


Figura 4.11 – Curvas granulométricas relativas às amostras de solos de Carreiros e do Areal Gordo

4.2.3.3 Determinação da permeabilidade a partir da distribuição granulométrica

A permeabilidade de um solo é afectada não só pelo tipo de solo mas também pelas características do fluido que o atravessa. As principais características do solo que condicionam a sua permeabilidade são o tamanho das partículas, o índice de vazios, o seu grau de saturação e estrutura intergranular. As duas propriedades do fluido que exercem influência significativa são o peso específico e a viscosidade, variando ambas em função da temperatura.

Existem diversas referências na literatura sobre a estimativa de valores de permeabilidade do meio saturado a partir da classificação textural do solo. Por exemplo, Frezze e Cherry (1979) referem valores qualitativos com base no tipo de solo, mas estimativas quantitativas, mais ou menos precisas, podem ser obtidas a partir da distribuição granulométrica de uma amostra de solo. Diversas relações empíricas têm sido referidas. A fórmula empírica mais antiga e frequentemente utilizada, proposta por Hazen (1892), permite estimar a permeabilidade em areias saturadas e é dada por:

$$k_H = C_H D_{10}^2 \text{ (Eq. 4.1)}$$

em que,

k_H = permeabilidade de Hazen (cm/s)

C_H = coeficiente empírico de Hazen;

D_{10} = diâmetro eficaz ou diâmetro das partículas correspondente a 10% em peso total de todas as partículas menores do que ele (cm)

Normalmente assume-se o valor de C_H igual a 100, sendo este um valor médio de um conjunto de valores que varia entre 41 e 146. Carrier (2003) lista a gama de variação proposta por um vasto conjunto de autores em livros da especialidade. Silva (1984) refere valores de 45,8 para areias argilosas e de 142 para areias puras. Se D_{10} estiver em

mm então C_H toma o valor 1 (Freeze e Cherry, 1979). A aplicação desta expressão depende do coeficiente de uniformidade (U) que deve ser inferior a 5, *i.e.*, no caso de solos uniformes e do coeficiente de curvatura (CC), que deve estar compreendido entre 1 e 3, *i.e.*, no caso de solos bem graduados. A expressão de Hazen não considera variações na forma das partículas do solo nem a sua porosidade.

Outra expressão que pode ser utilizada para o cálculo da permeabilidade é a proposta por Burmister (*in* Fraser, 1935) de acordo com Silva (1984), dada por:

$$k_B = C \cdot D_{50}^2 \text{ (Eq. 4.2)}$$

em que,

k_B = permeabilidade de Burmister (cm/s)

$C = 51,3$

D_{50} = diâmetro médio dos grãos (cm)

Segundo Freeze e Cherry (1979), a determinação da permeabilidade será mais precisa se incorporar também uma medição de variação da curva granulométrica. Krumbein e Monk (1942, *in* Boadu, 2000) expressam a permeabilidade em areias não consolidadas, como uma função de distribuição granulométrica log-normal, com aproximadamente 40% de porosidade, através da seguinte equação empírica:

$$k = (760 D_w^2) \cdot \exp(-1,31 \sigma_\psi) \text{ (Eq. 4.3)}$$

em que,

$D_w = D_{50}$ (mm)

σ_ψ = desvio padrão da função de distribuição ψ ($\psi = -\log_2 D$, D em mm)

Existem curvas desenvolvidas experimentalmente em laboratório que permitem estimar a permeabilidade em função do D_{50} (em mm) e em função do valor de σ calculado através da seguinte expressão: $\sigma = [(D_{16}-D_{84})/4] + [(D_5-D_{95})/6,6]$ (Masch e Denn, 1966 *in* Freeze e Cherry, 1979).

Contudo, a densidade (ρ) e viscosidade do fluido (μ) podem ser variáveis incorporadas na expressão da permeabilidade, da seguinte forma: $K = (\sigma g / \mu) \cdot C \cdot D^2$ (Freeze e Cherry, 1979). Outros autores referem a conhecida equação de Kozeny-Carman, que descreve a forma como a porosidade e a distribuição granulométrica controlam a permeabilidade, incorporando um coeficiente que descreve a tortuosidade e a estrutura intergranular. Esta equação define-se da seguinte forma (Bear, 1972 *in* Freeze e Cherry, 1979):

$$K = (\sigma g / \mu) \cdot [n^3 / (1-n)^2] \cdot (D_m^2 / 180) \text{ (Eq. 4.4)}$$

em que,

n - porosidade

D_m = diâmetro das partículas característico (normalmente D_{50})

Os valores de permeabilidade determinados pela aplicação das expressões empíricas de Hazen e Burmister para as amostras de solos arenosos de Carreiros e Areal Gordo está representada no Quadro 4.2. A permeabilidade de Hazen é válida apenas no caso de solos arenosos, uniformes e bem graduados, em que a percentagem da fracção fina tenha valores baixos (<11%). Como seria de esperar, os valores mais baixos referem-se

às areias finas argilo-siltosas e os mais elevados às areias médias, quantificados do seguinte modo para os solos analisados:

- Areias finas, argilo-siltosas: $k_B=5-11$ m/d (% finos 14-40% da amostra) (prof. 5-13 m)
- Areias médias, bem calibradas e uniformes: $k_H=4-42$ m/d e $k_B=22-71$ m/d (prof. 8-35 m)

Para estes valores não contribuíram as amostras do LNEC3 relativas aos 30 e 40 m de profundidade, que incluíam fragmentos de rocha dura (calcarenito), possivelmente devido a uma camada atingida durante a perfuração do piezómetro, modificando assim a sua granulometria.

4.2.3.4 Caracterização de parâmetros físicos do solo em laboratório, com amostras perturbadas

A porosidade total de uma amostra de solo ou rocha é definida como o volume de vazios da amostra, expresso em percentagem do volume total. A densidade aparente define-se como o peso por unidade de volume. Um dos métodos mais expeditos para a determinação da porosidade em laboratório é o método volumétrico; consiste na saturação de três provetes cilíndricos com a amostra de solo previamente seca. Uma vez conhecido o volume ocupado pela amostra e registando-se o peso do solo seco e o peso do solo saturado, calcula-se a densidade aparente e a porosidade com base nas fórmulas seguintes:

$$\rho_b = W_d/V_t \quad (\text{Eq. 4.5})$$

em que,

ρ_b - densidade aparente (g/cm^3)

W_d - peso da amostra de solo seco (g)

V_t - Volume ocupado pela amostra de solo (cm^3)

$$n = V_w/V_t \times 100 \quad (\%) \quad (\text{Eq. 4.6})$$

em que,

n - porosidade

V_w - volume de água na amostra de solo (cm^3)

As determinações efectuadas foram apenas realizadas para as amostras de solos do Areal Gordo e os ensaios foram repetidos três vezes para a mesma amostra. O Quadro 4.3 apresenta os valores médios obtidos para a porosidade e a densidade aparente. Foi ainda efectuada a determinação da porosidade do material de preenchimento das bacias de infiltração de Carreiros, classificado como cascalho médio a grosseiro, pela sua utilidade na interpretação dos ensaios de infiltração e de traçador que se descrevem no Capítulo 5.

4.2.3.5 Caracterização de parâmetros físicos e hidrodinâmicos do solo em laboratório, com amostras indeformadas

A caracterização dos parâmetros hidrodinâmicos nas amostras não perturbadas foi realizado utilizando o método laboratorial de carga hidráulica constante (*cf.* Leitão *et al.*,

2000), que permite determinar os seguintes parâmetros: peso específico aparente, porosidade total e permeabilidade. Os ensaios foram realizados em provetes (na prática equivalentes a um permeâmetro) contendo as amostras não perturbadas, com 30 cm de altura e 5,9 cm de diâmetro interno. Foram efectuados a caudal constante durante 15 horas e a coluna de solo saturada, com uma altura de água de 1,5 cm. O procedimento experimental utilizado no ensaio encontra-se mais detalhado em Henriques (2008). Os cálculos foram efectuados com base na aplicação da equação de Darcy:

$$K = (\text{Vol} \times L) / A \times T \times (h_1 - h_2) \quad (\text{Eq. 4.7})$$

em que,

K = Condutividade hidráulica

Vol = Volume de água drenado durante o tempo T (ml)

L = Altura da coluna de solo (cm)

A = Área da coluna de ensaio (cm²)

T = Tempo de ensaio (min.)

(h₁-h₂) = Carga hidráulica (cm)

O caudal (Q) é volume de água que passa durante o tempo de ensaio (Q=Vol/T), que dividido pela área da coluna de solo, fornece a indicação do caudal de ensaio ou velocidade de fluxo (V_D). A constante de proporcionalidade (K) designa-se de condutividade hidráulica. Uma vez que o escoamento se processa apenas nos poros inter-conectados, a velocidade de Darcy deverá ser dividida pelo valor de porosidade do solo, introduzindo assim a variável velocidade intersticial (V_I), que pode expressar-se por V_I=V_D/n. O Quadro 4.3 incluiu os valores determinados nos ensaios laboratoriais.

Quadro 4.3 – Parâmetros físicos e hidráulicos do solo determinados pelos ensaios laboratoriais em amostras deformadas e ensaios em coluna de solo em amostras indeformadas, do Areal Gordo

Referência da amostra	Amostras deformadas		Amostras indeformadas			
	Porosidade ^(a)	Densidade aparente ^(a) (g/cm ³)	Porosidade ^(b)	Densidade aparente ^(b) (g/cm ³)	Velocidade de Darcy (m/dia)	Velocidade intrínseca (m/dia)
Bacia1-3m	0,34	1,43	0,23	1,44	0,04	0,16
Bacia2-6m	-	-	0,39	1,52	0,07	0,18
Bacia3-7m	0,37	1,35	-	-	-	-
Bacia3-8m	-	-	0,35	1,50	2,71	7,78
LNEC4 21-24m	0,39	1,30	-	-	-	-
LNEC5 31-34m	0,33	1,51	-	-	-	-
Preenchimento das bacias de infiltração de Carreiros (cascalho grosseiro)	0,41	-	-	-	-	-

(a) Ensaio laboratorial em amostra deformada (método expedito)

(b) Ensaio laboratorial em amostras indeformadas (método do ensaio de carga hidráulica constante)

Os valores de porosidade das amostras de solos do Areal Gordo analisadas variam entre 0,23 a 0,34 para a formação das areias e cascalheiras e de 0,33 a 0,39 para a formação das areias amarelas do Miocénico Superior. Realizou-se a mesma determinação por métodos diferentes para a amostra de solo da Bacia1, tendo-se obtido uma diferença (10%), atribuída à heterogeneidade da formação. As velocidades de escoamento determinadas indicaram um valor mais elevado para a formação das areias amarelas do Miocénico, assinaladas como areais médias bem calibradas, com pouca percentagem de sedimentos finos, em oposição às formações de cobertura, mais argilosas e heterogéneas em termos de distribuição textural.

4.3 Caracterização do escoamento subterrâneo

4.3.1 Campanhas de monitorização de níveis piezométricos

A localização dos pontos de água monitorizados está na Figura 4.12. O Quadro 4.4 apresenta uma listagem completa destes pontos de água e os resultados obtidos. De salientar que a monitorização incidiu num conjunto 65 de pontos de água, dos quais 55 são poços, 5 são piezómetros do LNEC e 5 são furos. As quatro campanhas de monitorização foram realizadas sazonalmente, no final de dois semestres húmidos, em Abril de 2007 e de 2008 e no final de dois semestres secos, em Setembro/Outubro de 2006 e Outubro de 2007, completando-se assim a monitorização completa de dois ciclos hidrológicos.

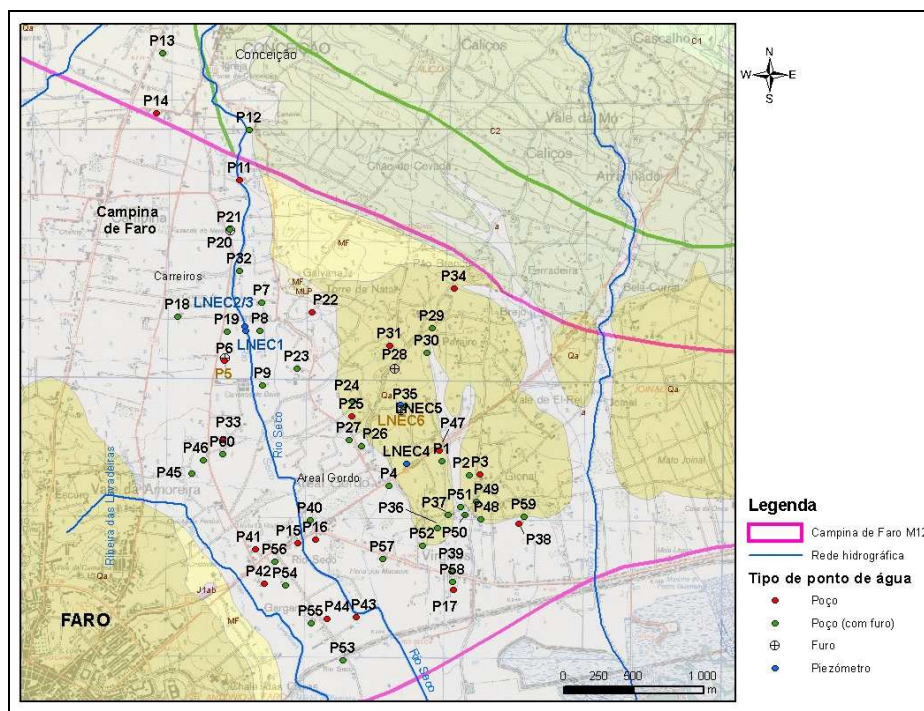


Figura 4.12 – Mapa de localização dos pontos de água inventariados durante as campanhas de monitorização

A análise da piezometria na área de estudo é uma tarefa complexa e influenciada por factores de difícil controlo, designadamente os caudais de extracção dos poços e furos. A forma mais adequada de determinar um mapa de piezometria do aquífero superficial na área de estudo consiste em realizar a monitorização num conjunto vasto de poços, disponíveis em toda a zona. Estes poços, antigos na região, estão abertos no aquífero superficial. Na década de oitenta os seus proprietários tiveram necessidade de realizar furos no seu interior para captarem níveis aquíferos mais produtivos subjacentes. Em cerca de metade dos poços monitorizados existe pelo menos um furo realizado no seu interior. Não se conhecem as profundidades destes furos, no entanto, considerando a espessura do aquífero freático e a profundidade máxima dos poços (30 metros) e dos furos (80 metros), é confirmada a hipótese de estarem a captar o aquífero confinado (com uma ou outra excepção). Este aspecto será retomado e desenvolvido no Capítulo da modelação matemática, em que se procedeu à separação e caracterização da piezometria para cada aquífero.

Nos poços com furo, o que acontece em termos de piezometria é que se está a medir uma mistura de dois níveis, com conseqüências também na qualidade da água dos

aquíferos intersectados. A diferença de cota piezométrica entre os dois aquíferos revelou ser pouco significativa. Outro aspecto que se referiu e que afecta a distribuição da piezometria relaciona-se com a extracção efectuada num número de poços significativo, destinada normalmente à irrigação agrícola e, em alguns casos, ao consumo doméstico. Existem contudo alguns poços que se encontram abandonados e que podem dar uma indicação do nível estático no aquífero.

A monitorização do aquífero confinado subjacente poderia ser completada com furos de captação onde fosse possível a medição dos níveis estático e dinâmico. A captação do aquífero confinado, por intermédio de furos, é ainda uma prática recente na zona agrícola da Campina de Faro, mais precisamente na área de estudo seleccionada para a monitorização contínua. Estes furos estavam geralmente fechados e não dispunham de forma de medir o nível de água. Apenas se efectuou a amostragem para caracterização da qualidade da água. Foram encontrados os seguintes pontos de água nestas condições, referenciados no mapa da Figura 4.12 como P5, P20, P28 e P34.

Os resultados das campanhas de monitorização de piezometria possibilitaram a análise de variações sazonais, nos anos 2007 e 2008. As seguintes considerações foram retiradas desta análise (ver Figura 4.13):

1) No final da estação húmida de 2007 os níveis de água subiram em média 1,98 m, com variação entre 0,35 e 4,47 m; exceptuando o P39, que desceu para um valor negativo (não foi considerado o 1º registo do P11 por corresponder a um valor anómalo, assim como os registos no P34, por não corresponderem ao mesmo aquífero). No final da estação húmida de 2008 os níveis subiram em média 1,24 m, com variação de 0,35 a 2,60 m.

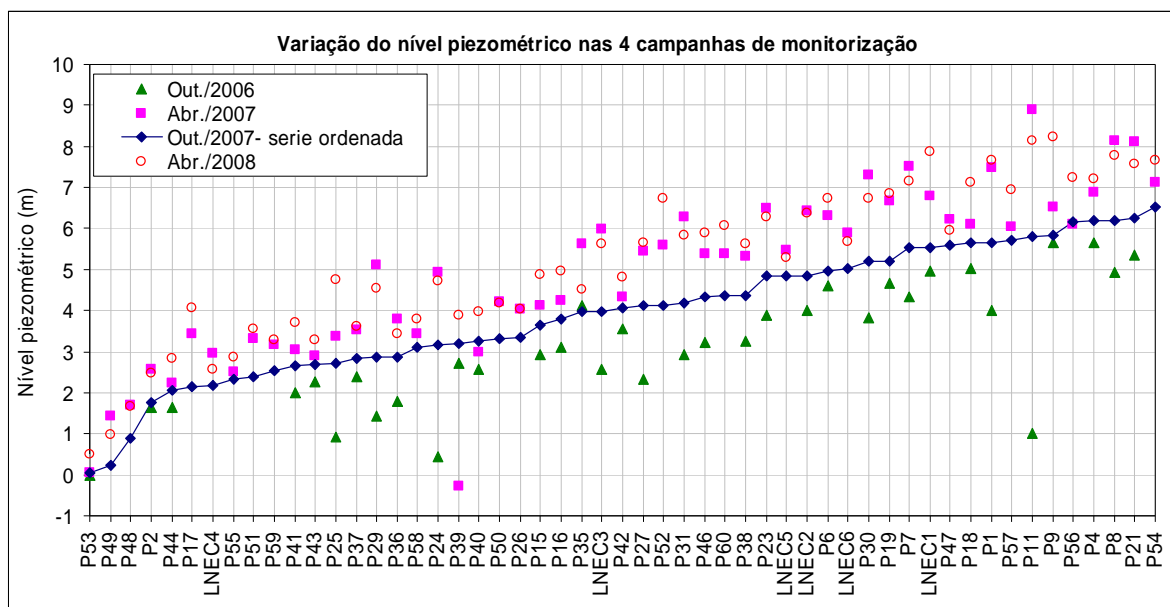


Figura 4.13 – Variação do nível piezométrico nos pontos de água amostrados

2) No final da estação seca de 2008, comparativamente com o ano anterior, os níveis de água subiram média 0,60 m (60% dos pontos), exceptuando o P39 cuja recuperação atingiu os 4,15 m; e desceram nos restantes, em média, 0,33 m. A precipitação

ligeiramente mais elevada no final do ano hidrológico 2007/2008 de 617 mm², comparativamente com o ano anterior, de 568 mm, terá contribuído para esta subida. Os níveis mais baixos correspondem ao início do período de monitorização (Out/2006).

A comparação dos valores de piezometria no LNEC2 e no LNEC3 (Quadro 4.4), localizados a cerca de 1 metro de distância, permitiu concluir que o escoamento neste local se faz do aquífero freático para o confinado, *i.e.*, nas três campanhas a piezometria forneceu valores mais elevados no LNEC2 comparativamente com o LNEC3. No final da estação húmida de 2006 a diferença foi a mais elevada, de 1,46 m, reduzindo para apenas 0,45 m, no final da estação seca seguinte. A recuperação no final da estação húmida seguinte foi de 0,41 m, contudo não se recuperou até ao nível do ano anterior. Sobre o escoamento descendente que se averiguou, chama-se atenção para o facto de neste local a piezometria não estar afectada por extracções.

Os resultados da piezometria referem-se, de um modo geral, ao nível dinâmico, uma vez que em 36% dos poços monitorizados se realiza a extracção de água. Estes resultados foram projectados em mapas individualizados para cada campanha de monitorização (Figura 4.14, Figura 4.15, Figura 4.16 e Figura 4.17) (interpolados por *Inverse Distance Weighted* em SIG/ArcMap). O escoamento subterrâneo na área de estudo é claramente afectado pela extracção realizada nos poços, sendo possível identificar zonas de maior extracção. Nove dos registos correspondem, muito provavelmente, a níveis estáticos, por pertencerem a poços abandonados e/ou inactivos, designadamente: P6, P16, P19, P21, P35, P38, P44, P45 e P47. É nestes locais que se observam os níveis piezométricos mais elevados, indicando um escoamento subterrâneo no aquífero freático de NW-SE. A análise destes mapas também permitiu identificar uma piezometria normalmente mais elevada em poços com furo no seu interior (*i.e.* P1, P4, P30, P47, P54, P56 e P57). No Capítulo 6 realiza-se uma abordagem mais aprofundada das direcções preferenciais de escoamento subterrâneo na área de estudo e sua individualização por aquífero, incorporando também os efeitos sazonais e das extracções na piezometria.

4.4 Caracterização hidrogeoquímica

4.4.1 Campanhas de monitorização da qualidade da água subterrânea

Foram realizadas quatro campanhas de amostragem de águas subterrâneas destinadas à caracterização hidrogeoquímica da água na área de estudo, no final da estação seca de 2006 e de 2007 e no final da estação húmida de 2007 e de 2008. A primeira campanha foi realizada entre a segunda quinzena de Setembro e a primeira de Outubro de 2006, com a recolha de 49 amostras de água. Foram medidos os parâmetros *in situ* (temperatura, pH, condutividade eléctrica e Eh) e analisados em laboratório alguns aniões maiores e menores (NO₃, Cl, SO₄, NO₂, Br e F); apenas dois catiões maiores (Na e K) foram determinados. Não foi possível a análise das espécies restantes por insuficiente quantidade de amostra. Assim, esta primeira campanha destinou-se essencialmente à identificação preliminar das zonas da área de estudo com maior contaminação de origem agrícola, através do mapeamento da concentração de NO₃.

² Precipitação anual estimada na estação udométrica de Estói (ver no Anexo 4).

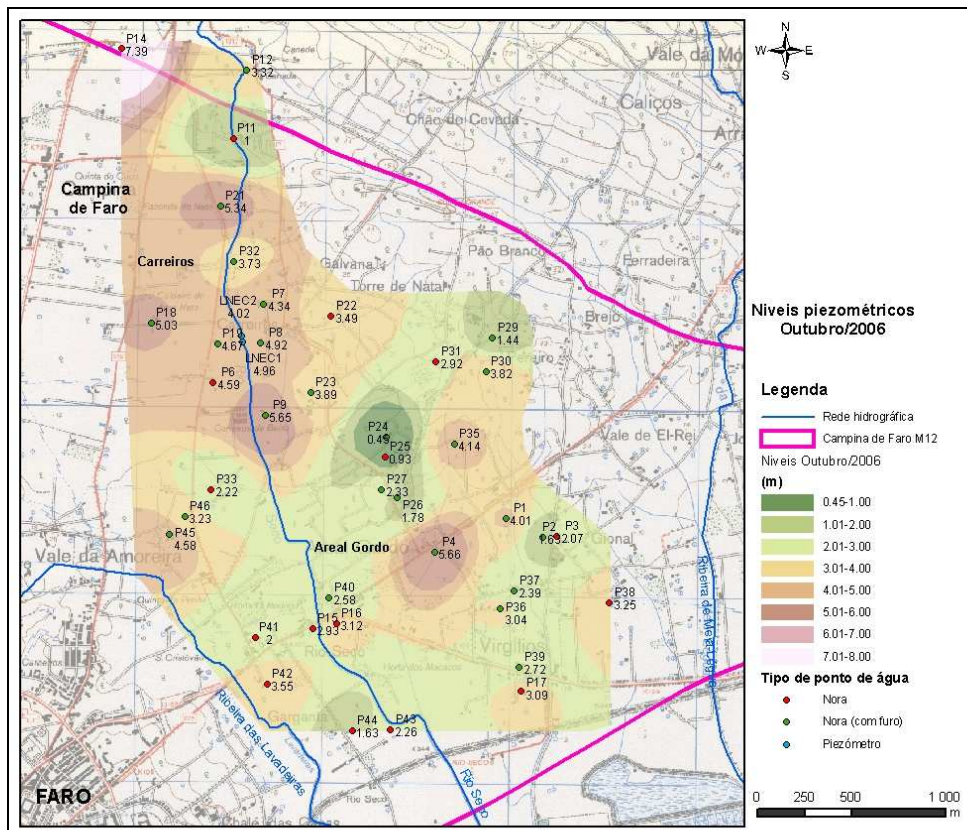


Figura 4.14 – Mapa de piezometria resultante da interpolação com os valores da campanha de monitorização de Setembro/Octubre de 2006

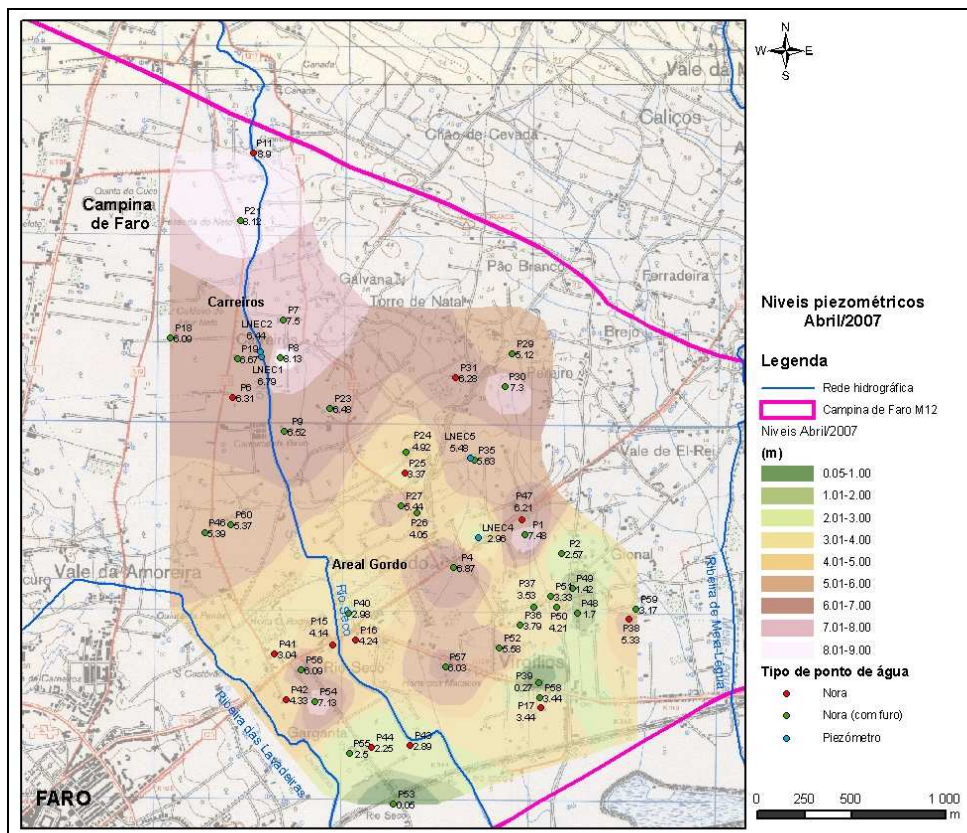


Figura 4.15 – Mapa de piezometria resultante da interpolação com os valores da campanha de monitorização de Abril de 2007

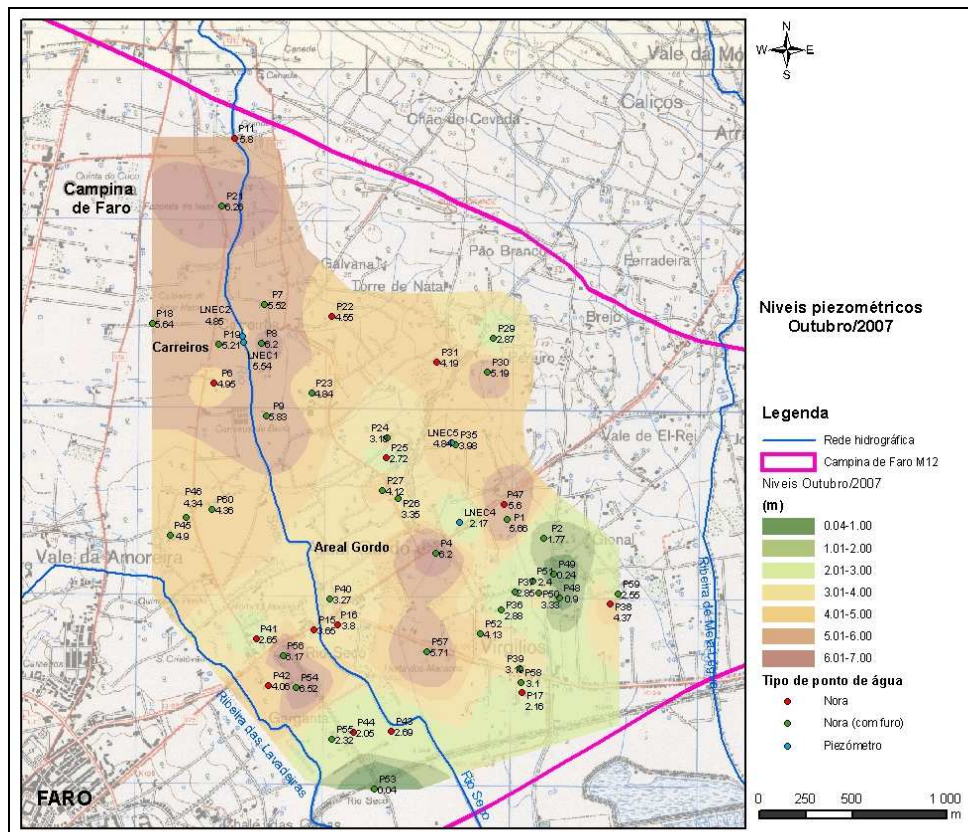


Figura 4.16 - Mapa de piezometria resultante da interpolação com os valores da campanha de monitorização de Outubro de 2007

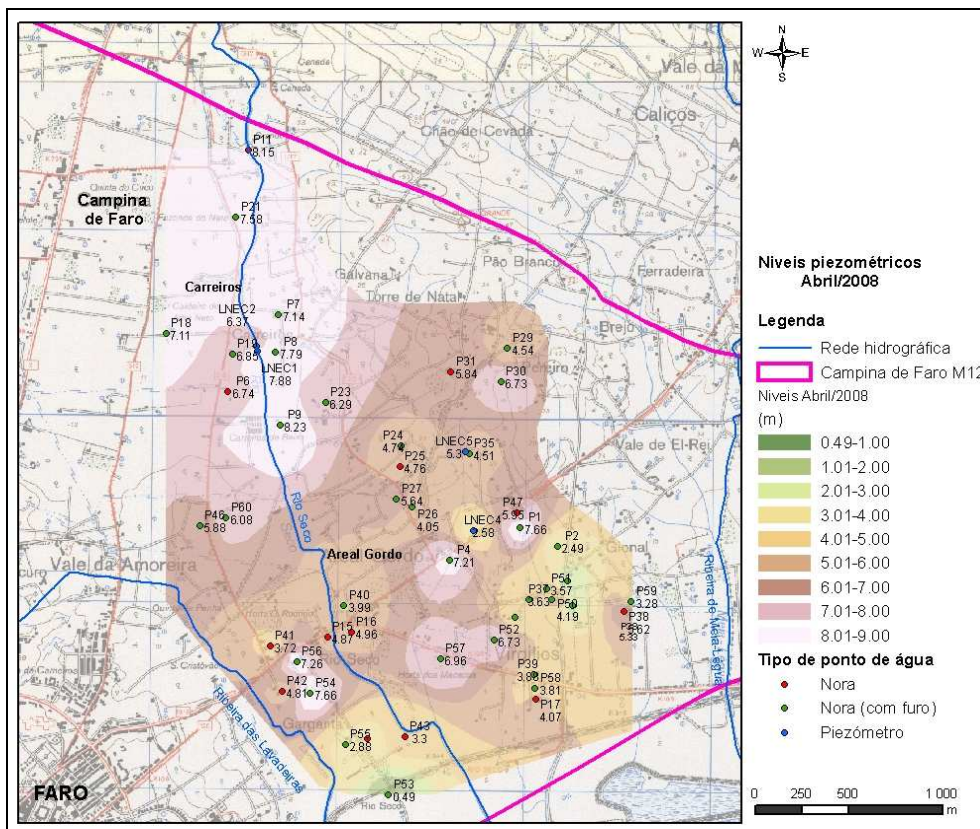


Figura 4.17 - Mapa de piezometria resultante da interpolação com os valores da campanha de monitorização de Abril de 2008

Na segunda campanha de amostragem, realizada em Abril de 2007 (dias 9-11), foram amostradas 52 amostras, das quais 34 foram enviadas para análise química (incluindo os cinco piezómetros LNEC) e nas restantes 18 foram apenas medidos os parâmetros *in situ*. Em laboratório foram analisados os aniões maiores (HCO_3 , NO_3 , Cl , SO_4), menores (NO_2 , Br , PO_4 e F) e catiões maiores (Ca , Na , K e Mg). A projecção destas amostras em diagrama de Piper (*cf.* Figura 4.18), mostra que a maioria das águas são de natureza sulfatada ou cloretada cálcica (62%); uma parte mais pequena das amostras corresponde a água de natureza bicarbonatada cálcica (32%); apenas duas se enquadram nas águas cloretadas ou sulfatadas cálcicas.

Na terceira campanha de amostragem, em Outubro de 2007 (dias 8-11), foram analisadas 54 amostras de água. Os resultados, projectados no diagrama de Piper da Figura 4.19 permitiram verificar a mesma caracterização efectuada na campanha anterior. Na quarta e última campanha, em Abril de 2008 (dias 21-24) foram analisadas 55 amostras de água, incluindo uma amostra de água de superfície proveniente do rio Seco.

O Quadro 4.4 apresenta os resultados de qualidade da água relativamente aos parâmetros *in situ* e o Quadro 4.5 as concentrações de NO_3 e SO_4 , para cada ponto de monitorização. No Quadro 4.6 apresenta-se o tratamento estatístico destes valores, incluindo também os restantes aniões maiores, catiões maiores, alcalinidade e dureza total. Em termos de concentrações médias dos aniões e catiões maiores as variações sazonais foram pouco significativas. O mesmo não sucedeu em termos de valores máximos, em que, por exemplo, no caso do NO_3 se verificou o valor mais baixo na campanha de Outubro de 2007. Nesta campanha, conforme se referiu anteriormente, verificou-se a existência de níveis mais elevados comparativamente com a do ano anterior. Os parâmetros *in situ* também não evidenciam variações sazonais pronunciadas – a condutividade eléctrica das águas tem valores médios da ordem dos 1300 $\mu\text{s}/\text{cm}$, podendo atingir um valor máximo de 2550 $\mu\text{s}/\text{cm}$; o pH tem geralmente valores da ordem de 7 indicando águas neutras. Destaca-se apenas uma situação pontual de pH 4 na água do LNEC4, indicando águas ácidas, eventualmente relacionadas com o local de implantação deste ponto de água, numa zona de extracção de areias no Areal Gordo, onde existem bacias para deposição e infiltração das águas resultantes da lavagem das areias após a sua extracção.

4.4.2 Caracterização da concentração de nitratos (temporal e espacialmente)

A análise da evolução das concentrações de NO_3 entre campanhas e das amplitudes de variação sazonal e anual, permitiu concluir os seguintes aspectos (Figura 4.20):

1) No final do semestre húmido, entre Outubro/2006 e Abril/2007, verificou-se em 60% dos pontos monitorizados comuns, uma subida da concentração de NO_3 , em média de 22 mg/L e máximo de 88 m/L. Nos restantes pontos monitorizados verificou-se a situação oposta, em que a concentração desce, um valor médio estimado em 17 mg/L. O primeiro caso poderá significar que se infiltraram, em média e no período de tempo analisado, 373 toneladas de azoto (N) no aquífero superficial, quantidade esta que não tendo sido assimilada pelas raízes das culturas foi simplesmente arrastada em profundidade durante os episódios de precipitação e infiltração mais intensivos³. No final

³ Considerando área=6.5 km², espessura saturada=38 m e porosidade=0.30.

do semestre húmido do ano seguinte verificou-se uma melhoria da situação porque houve uma descida da concentração de NO₃ em mais 20% dos pontos, comparativamente com o ano anterior.

2) No final do semestre seco, entre Abril/2007 e Outubro/2007, a situação mais natural seria a manutenção da concentração de NO₃ porque o seu arraste em profundidade fica apenas dependente da água de rega. No entanto verificou-se em cerca de 74% dos pontos monitorizados que a concentração de NO₃ desceu em média 27 mg/L; nos restantes pontos (33%) verificou-se uma subida média de 20 mg/L. Esta descida poderá estar associada, por um lado, a fenómenos modificadores de retardação, mas por outro, também poderá ser derivada de uma entrada de água para o sistema, por exemplo pelo retorno de água da própria rega. Assumindo a última hipótese, seria necessário 12,7×10⁶ m³ de água para a redução de 24 mg/L na actual concentração de NO₃.

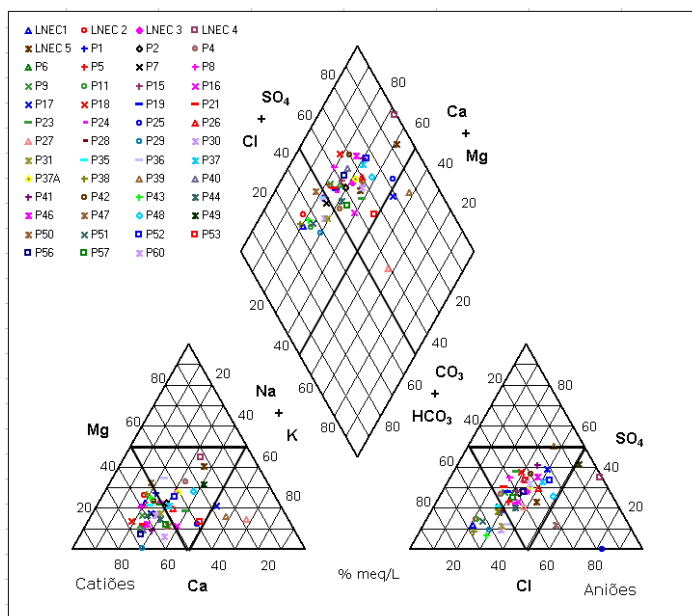


Figura 4.18 – Diagrama de Piper com os resultados das análises químicas das amostras da campanha de Abril/2007

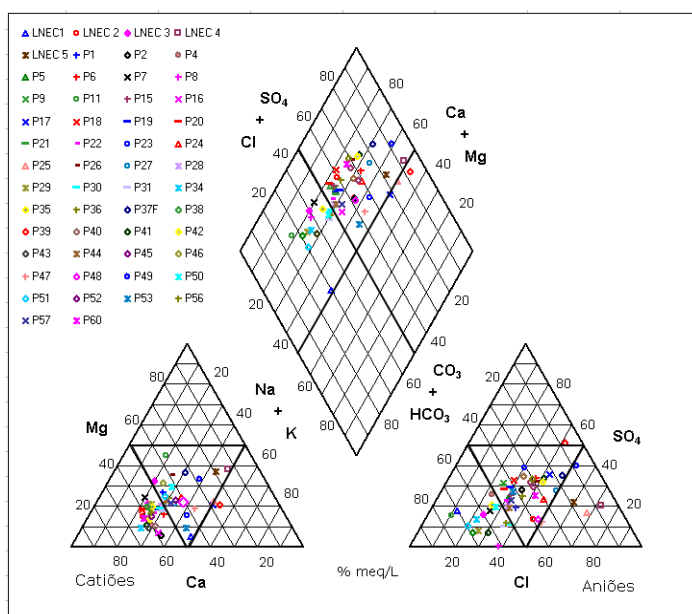


Figura 4.19 - Diagrama de Piper com os resultados das análises químicas das amostras da campanha de Outubro/2007

Quadro 4.4 – Listagem de pontos de água e resultados das campanhas de monitorização da piezometria e amostragem (parâmetros medidos *in situ*)

Referência do PA	Monitorização e amostragem				Cota topog. (m)	Cota do nível piezométrico (m)				Parâmetros <i>in situ</i> Out/06				Parâmetros <i>in situ</i> Abr/07				Parâmetros <i>in situ</i> Out/07				Parâmetros <i>in situ</i> Abr/08				Tipo PA (profundidade)	Formação aflorante
	Out/06	Abr/07	Out/07	Abr/08		Out/06	Abr/07	Out/07	Abr/08	C.E. µs/cm	pH	Eh (mV)	Temp.°C	C.E. µs/cm	pH	Eh (mV)	Temp.°C	C.E. µs/cm	pH	Eh (mV)	Temp.°C	C.E. µs/cm	pH	Eh (mV)	Temp.°C		
	P1	✓	✓	✓		✓	16.78	4.01	7.48	5.66	7.66	1090	6.61	299	21.7	1238	7.19	330	18.9	1171	7.10	362	20.3	1208	7.25		
P2	✓	✓	✓	✓	16.32	1.63	2.57	1.77	2.49	1068	6.38	373	20.2	1012	6.69	333	17.1	1045	6.95	357	21.1	1096	7.52	281	17.5	Poço+Furo	PQ
P3	✓	✓	✓	✓	16.86	2.07	-	-	-	630	4.86	448	22.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Poço (18m)	PQ
P4	✓	✓	✓	✓	10	5.66	6.87	6.20	7.21	1137	7.34	367	21.5	1262	7.2	389	17.7	1233	7.06	302	20.3	1179	7.33	300	18.9	Poço+Furo	A
P5	xx	✓	xx	xx	13.63	-	-	-	-	1295	7.27	310	22.0	1443	7.49	244	17.3	1378	7.23	336	19.6	1296	7.20	296	18.1	Furo	A
P6	✓	✓	✓	✓	13.49	4.59	6.31	4.95	6.74	1262	7.41	338	19.4	1244	7.11	332	19.2	1402	7.46	219	19.1	1397	7.44	277	17.3	Poço	A
P7	✓	✓	✓	✓	17.74	4.34	7.50	5.52	7.14	1089	7.12	379	24.1	1181	7.34	307	19.4	1110	7.35	301	23.1	1120	7.25	336	17.7	Poço+Furo	A
P8	✓	✓	✓	✓	16.69	4.92	8.13	6.20	7.79	1383	7.02	248	19.7	1548	7.35	317	18.5	1530	7.20	179	20.3	1578	7.12	286	19.0	Poço (20m)+2Furos (80m)	A
P9	✓	✓	✓	✓	13.09	5.65	6.52	5.83	8.23	1246	7.32	314	21.2	1253	7.25	254	16.7	1349	7.23	295	19.1	1466	7.30	277	17.3	Poço (12m)	A
P11	✓	✓	✓	✓	20	1.00	8.90	5.8	8.15	692	7.44	359	18.3	758	7.46	298	14.7	549	7.51	291	19.7	561	7.44	301	17.0	Poço (talvez sem furo)	A
P12	✓	✓	✓	✓	25.4	3.32	-	-	-	674	7.62	359	19.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Poço+Furo	A
P13	✓	✓	✓	✓	27.87	8.45	-	-	-	2110	7.91	130	20.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Poço+Furo (70m)	A
P14	✓	✓	✓	✓	24.22	7.39	-	-	-	1277	7.15	277	20.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Poço (talvez sem furo)	A
P15	✓	✓	✓	✓	7.72	2.93	4.14	3.65	4.87	1434	7.53	226	21.2	1445	7.27	344	19.8	1314	7.25	357	20.5	1320	7.33	299	19.9	Poço (talvez sem furo)	A
P16	✓	✓	✓	✓	7	3.12	4.24	3.80	4.96	1416	7.63	344	19.4	1530	7.25	289	20.1	1581	7.33	295	19.5	1508	7.39	256	18.1	Poço (8m)	A
P17	✓	✓	✓	✓	5.58	3.09	3.44	2.16	4.07	1156	6.13	229	20.3	1758	6.57	333	17.5	1849	6.40	320	20.9	2340	7.23	305	17.6	Poço (10m)	A
P18	✓	✓	✓	✓	13.76	5.03	6.09	5.64	7.11	1455	6.81	230	22.4	1612	7.05	307	19.1	1340	7.10	334	20.7	1634	7.10	291	18.6	Poço (20m)+Furo (70 a 80m) SNIRH	A
P19	✓	✓	✓	✓	14.61	4.67	6.67	5.21	6.85	1271	7.45	312	20.7	1281	7.6	288	16.1	1250	7.47	280	19.5	1143	7.60	345	18.8	Poço+Furo	A
P20	xx	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	1233	7.02	305	19.7	-	-	-	-	1304	7.25	309	19.5	1223	7.15	300	18.5	Furo (80m)	A
P21	✓	✓	✓	✓	19.27	5.34	8.12	6.26	7.58	1326	6.93	310	21.7	1319	7.18	281	17.5	1320	7.22	278	19.0	1322	7.21	248	17.8	Poço+Furo (assoreado) (21m)	A
P22	✓	✓	✓	✓	20	3.49	-	4.55	6.18	1332	7.2	368	20	-	-	-	-	1362	7.20	272	22.0	1328	7.62	299	19.3	Poço	A
P23	✓	✓	✓	✓	15.99	3.89	6.48	4.84	6.29	2112	7.39	295	21.1	2310	7.29	315	17.5	1887	7.13	201	20.8	1993	7.26	251	20.0	Poço (16m)+Furo (60m)	A
P24	✓	✓	✓	✓	23.5	0.45	4.92	3.18	4.74	1254	6.93	402	22.5	1275	7.16	240	20.6	1221	6.56	362	20.6	1242	6.80	321	20.1	Poço+Furo	PQ
P25	✓	✓	✓	✓	20	0.93	3.37	2.72	4.76	971	5.83	428	20.8	1021	5.89	364	18.8	991	6.25	364	20.8	1046	6.30	283	18.5	Poço (21 a 22m)+Furo (assoreado)	PQ
P26	✓	✓	✓	✓	13.85	1.78	4.05	3.35	4.05	1132	6.31	391	24.9	1320	7.21	257	21.6	1221	7.07	343	26.0	1185	7.34	259	21.6	Poço (20 a 22m)+Furo (assoreado)	A
P27	✓	✓	✓	✓	10.99	2.33	5.44	4.12	5.64	1205	6.62	350	22.9	1309	6.68	395	20.9	1172	6.46	354	24.2	1964	6.72	293	19.3	Poço+2Furos	A
P28	xx	✓	xx	xx	-	-	-	-	-	1234	7.1	328	21.5	1260	7.03	356	20.1	1232	7.25	251	21.5	1233	7.13	294	20.5	Furo (60m)	PQ
P29	✓	✓	✓	✓	32	1.44	5.12	2.87	4.54	1241	7.23	301	23.3	1230	7.17	272	19.4	1205	7.30	305	21.8	1203	7.31	252	21.1	Poço+Furo	PQ
P30	✓	✓	✓	✓	30	3.82	7.30	5.19	6.73	1158	7.42	267	25.2	1169	7.45	202	18.8	1156	7.45	281	22.6	1178	7.55	258	19.8	Poço+Furo	PQ
P31	✓	✓	✓	✓	31.84	2.92	6.28	4.19	5.84	977	7.45	236	22	1080	7.42	279	18.7	1018	7.41	298	21.6	1020	7.45	309	20.6	Poço (> profundidade da região)	PQ
P32	✓	✓	✓	✓	17.79	3.73	-	-	-	946	7.3	295	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Poço (20m)+Furo (70m)	A
P33	✓	✓	✓	✓	9	2.22	-	-	-	1941	7.23	329	24.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Poço	A
P34	✓	✓	✓	✓	30	19.18	-	18.45	19.75	1601	6.88	413	20	-	-	-	-	1695	7.03	299	21.1	1427	7.12	258	21.3	Poço (36m)	PQ
P34A	xx	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	1080	7.14	348	22.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Furo	PQ
P35	✓	✓	✓	✓	24.48	4.14	5.63	3.98	4.51	1217	7.65	190	19.5	1156	7.55	285	16.1	1103	7.86	346	18.8	1104	7.92	334	16.7	Poço (24m) SNIRH 611/159 RQ	PQ
P36	✓	✓	✓	✓	10	3.04	3.79	2.88	3.44	711	6.83	331	21.3	693	6.95	254	19.5	671	6.95	294	22.1	660	6.91	274	19.8	Poço (15m)+Furo (80m)	PQ
P37	✓	✓	✓	✓	10	2.39	3.53	2.85	3.63	928	5.97	317	21.3	1001	6.53	351	18.5	825	6.04	318	21.2	966	6.71	323	17.5	Poço (15m)+Furo (80m assoreado)	PQ
P37A	xx	✓	xx	xx	-	-	-	-	-	1034	5.97	329	21.7	997	6.51	302	17.8	828	6.10	328	21.9	919	6.59	320	19.3	Poço+Filtros (+12 e +18 m)	PQ
P38	✓	✓	✓	✓	8.65	3.25	5.33	4.37	5.62	896	7.97	350	23.3	940	7.1	334	21.3	872	7.09	352	21.4	911	7.26	318	21.3	Poço (8 a 9 m)	A
P39	✓	✓	✓	✓	6.76	2.72	-0.27	3.19	3.88	2070	6.06	271	20.8	1865	5.75	394	20.4	2040	6.15	280	20.4	2020	6.58	277	18.0	Poço+Furo (8m)	A
P40	✓	✓	✓	✓	7	2.58	2.98	3.27	3.99	1841	7.09	331	21.3	1804	7.13	327	20.8	1810	7.29	298	21.6	1761	7.16	311	19.9	Poço?	A
P41	✓	✓	✓	✓	7	2.00	3.04	2.65	3.72	2550	7.21	363	20.7	2540	7.21	310	18.4	2400	7.39	313	20.4	2408	7.37	312	18.1	Poço	A
P42	✓	✓	✓	✓	4	3.55	4.33	4.06	4.81	2220	7.29	287	29.3	2360	7.15	325	20	2340	7.31	279	24.7	2350	7.27	330	19.5	Poço (12.7m) SNIRH 611/260 RQ	A
P43	✓	✓	✓	✓	4.3	2.26	2.89	2.69	3.30	910	7.2	271	20.4	927	7.05	237	18.9	938	7.48	306	21.2	944	7.16	316	19.4	Poço	A
P44	✓	✓	✓	✓	5.19	1.63	2.25	2.05	2.85	1340	7.5	300	21.8	1420	7.45	339	15.7	1371	7.71	280	21.1	1349	7.74	247	18.2	Poço	A
P45	✓	✓	✓	✓	9	4.58	-	4.9	6.50	1966	7.8	300	22.7	-	-	-	-	1967	7.31	356	22.0	1864	7.75	283	17.5	Poço (12m)+Furo (40m)	A
P46	✓	✓	✓	✓	9	3.23	5.39	4.34																			

Capítulo 4 – Estudos de caracterização do aquífero superficial Mio-Plio-Quaternário e aquífero Miocénico

Quadro 4.5 – Concentrações de NO3 e SO4 medidas nas quatro campanhas de amostragem

Referência do PA	NO3 (mg/L)				SO4 (mg/L)				Prof. de amostragem
	Out/06	Abr/07	Out/07	Abr/08	Out/06	Abr/07	Out/07	Abr/08	
P1	94	114.5	107.5	90	106	91.2	92	123	torneira
P2	24	36.5	30.4	28	156	121.5	139.9	130	17
P3	136	-	-	-	8.9	-	-	-	
P4	102	140.4	101.5	104	111	139.6	138	88.7	7
P5 *	106	102	119	95	118	115	125	140	torneira
P6	107	106	97.6	81	129	158.6	146.9	138	13
P7	87	95	83.6	73	93	103	87.9	96.6	torneira
P8	191	265	227	179	141	200	1.19	142	15
P9	135	116	128	135	184	149	175	134	torneira
P11	24	27.5	0.19	<10	48	48.5	42.3	34	20
P12	24.3	-	-	-	85.3	-	-	-	30
P13	-	-	-	-	-	-	-	-	38
P14	189	-	-	-	155	-	-	-	33
P15	190	167	0	119	156	152	129	136	10
P16	133	138	147	118	128	120	121	149	8
P17	135	172	165	168	118	213	198.5	355	9
P18	191	211	153	173	221	233	185	160	torneira
P19	69	77	69.7	50	161	156	167	102	12
P20 *	11.5	-	99	66	156	-	177	118	-
P21	126	112	101	85	195	174	186	121	18
P22	143	-	146	111	119	-	126	135	22
P23	278	283	232	203	292	313	283	202	14
P24	144	132	156	139	104	108	89.8	162	torneira
P25	76	164	165	143	25	-	48	169	torneira
P26	216	196	147	139	117	120	148	136	torneira
P27	186	134	180	147	108	87	106	144	torneira
P28 *	113	104	109	95	99.5	93	101	126	torneira
P29	112	100	104	90	47	49.9	53	130	30
P30	109	91.2	111	94	43	41	47.4	136	torneira
P31	56	61.5	63	58	42	48.5	43	120	30
P32	55	-	-	-	82	-	-	-	
P33	240	-	-	-	219	-	-	-	
P34	130	-	140	91	138	-	130	153	15
P34A *	32	-	-	-	84	-	-	-	torneira
P35	15.3	53	3.6	<10	15	105	115	120	22
P36	47	43.7	51.8	50	42	32.3	35.2	74.4	torneira
P37	69	73.8	-	82	138	119	-	124	11
P37A	75	74.9	70.6	-	238	111	112	-	torneira
P38	18	21	8.47	21	33	37.7	30.3	81.3	torneira
P39	185	234	223	192	276	-	270	277	8
P40	264	246	237	188	244	-	211	192	6
P41	440	421	330	380	338	-	252	310	torneira
P42	330	361	348	302	277	-	250	302	torneira
P43	15	12.9	14.8	187	33	-	28.3	114	4
P44	88	89	75.7	82	117	-	96	182	8
P45	208	-	171	126	226	-	180	258	7
P46	292	309	231	284	260	-	205	299	11
P47	-	137	127	119	-	-	42	176	18
P48	-	69.7	107	53	-	-	38	158	12
P48A	-	-	-	-	-	-	-	-	torneira
P49	-	124	99	111	-	-	133	208	torneira
P50	-	33	21	30	-	-	93	116	torneira
P51	-	20	9.2	22	-	-	46.2	97.6	12
P52	-	145	123	122	-	-	95	119	torneira
P53	-	75	77.5	84	-	-	182	107	5
P54	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P55	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P56	-	232	203	205	-	-	120	102	11
P57	-	185	154	142	-	-	111	167	10
P58	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P59	-	-	-	-	-	-	-	-	9
P60	-	280	205	336	-	-	160	296	torneira
LNEC1**	36	10.7	14.8	<10	45	36.3	41.6	29.3	10
LNEC2**	23	24.5	53.7	17	38	48	67.9	51.2	18
LNEC3**	16	3.2	4.77	<10	41	114.5	54.6	167	30
LNEC4**	-	90.4	80.8	85	-	87.3	50.6	151	16
LNEC5**	-	38.7	139	33	-	85.2	64.8	143	30
LNEC6*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rio Seco	-	-	-	<10	-	-	-	34.5	-

* Furo

** Piezómetros

Quadro 4.6 – Parâmetros estatísticos calculados para caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas da área de estudo

	Parâmetros <i>in situ</i>				Alc. (mg/L)	D.T. (mg/L)	Catiões maiores				Aniões maiores			
	C.E. (us/cm)	pH	Temp. (°C)	Eh (mV)			Ca (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Campanha de Set./Out 2006 (a)														
Mínimo	630	4,86	18,30	190	-	-	-	6	0	-	-	40	12	9
Média	1317	7,02	21,73	319	-	-	-	89	3	-	-	111	124	130
Máximo	2550	7,97	29,30	448	-	-	-	206	24	-	-	177	440	338
Mediana	1238	7,18	21,30	316	-	-	-	86	2	-	-	111	109	118
Q25	630	4,86	18,30	190	-	-	-	6	0	-	-	40	12	9
Q75	1408	7,41	22,50	350	-	-	-	98	4	-	-	131	186	161
σ	430	0,60	2,06	55	-	-	-	41	5	-	-	30	93	82
Campanha de Abr. 2007 (b)														
Mínimo	670	4,68	14,70	67	2	198	36	31	1	0	2	49	3	29
Média	1315	6,99	18,81	305	202	458	134	91	6	30	246	119	128	129
Máximo	2540	8,05	23,90	395	332	1046	290	245	16	78	405	190	421	313
Mediana	1241	7,16	18,85	314	220	434	124	77	5	28	268	118	106	115
Q25	670	4,68	14,70	67	2	198	36	31	1	0	2	49	3	29
Q75	1471	7,25	20,18	349	254	517	155	106	7	36	309	135	170	158
σ	442	0,60	1,83	62	77	156	58	46	4	13	94	30	95	72
Campanha de Out. 2007 (c)														
Mínimo	433	4,47	18,80	126	19	122	21	24	1	3	23	21	0	1
Média	1316	7,05	21,29	308	212	477	138	94	6	32	259	124	120	118
Máximo	2400	7,86	26,00	408	635	910	306	209	17	91	775	243	348	283
Mediana	1247	7,23	21,00	306	219	470	131	84	4	31	267	123	109	114
Q25	433	4,47	18,80	126	19	122	21	24	1	3	23	21	0	1
Q75	1568	7,38	21,88	354	259	562	171	113	8	38	316	138	156	165
σ	439	0,60	1,66	53	104	165	60	40	4	14	127	40	78	68

(a) Total de amostras 49 (49 para parâmetros *in situ* + 49 para análise química)
 (b) Total de amostras 52 (52 para parâmetros *in situ* + 51 para análise química)
 (c) Total de amostras 54 (54 para parâmetros *in situ* + 54 para análise química)
 C.E. = Condutividade eléctrica
 Alc. = Alcalinidade

Eh = Potencial redox
 D.T. = Dureza total
 Q25 = Quartil 25%
 Q75 = Quartil 75%
 σ = Desvio padrão

3) A análise de Outubro/2006-07 revelou que, em 60% dos pontos monitorizados (num universo de 35 pontos) o NO₃ desceu em média 25 mg/L e subiu nos restantes 40%, em média 21 mg/L. O balanço interanual, estimado com base nos valores médios, resultou numa descida de 6,6 mg/L de NO₃. A esta descida, se não forem considerados fenómenos de retardação, corresponderia uma carga de N que não entrou no sistema de 112 toneladas e/ou a uma maior diluição da água.

4) Também a análise de Abril/2007-08 revelou que, em 79% dos pontos monitorizados (num universo de 47 pontos), o NO₃ desceu em média 27 mg/L e subiu nos restantes, em média 30 mg/L.

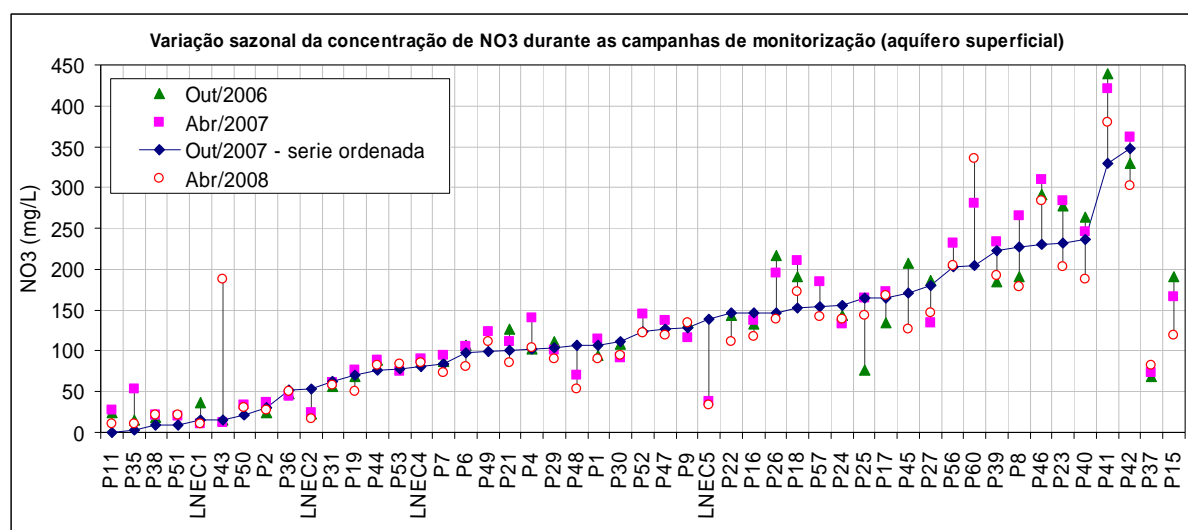


Figura 4.20 – Variação sazonal da concentração de NO₃ nos pontos de água amostrados (aquífero superficial)

Relativamente à distribuição espacial da concentração de NO_3 foram elaborados os mapas da Figura 4.21 à Figura 4.24, respectivamente para os valores obtidos em cada campanha de monitorização. Em termos de localização espacial, a zona mais poluída localiza-se a SW da área de estudo, junto às povoações de Vale da Amoreira, Garganta, Rio Seco e Areal Gordo, com concentrações máximas da ordem dos 400 mg/L de NO_3 . As zonas menos poluídas, com concentrações entre 0-100 mg/L situam-se em três locais específicos da área de estudo, que se passam a referir, fazendo a respectiva correspondência para a ocupação do solo existente, de acordo com o Mapa *Corine Land Cover* (CNIG, 2000):

1) A Norte da área, numa zona envolvente do leito do rio Seco, em Carreiros, que coincide com uma ocupação do solo por pomares de citrinos.

2) Junto ao limite Sul da área, novamente numa zona em torno do rio Seco, próxima da linha ferroviária, que coincide como uma ocupação agrícola por sistemas culturais e parcelares complexos.

3) A Este da área, numa zona que coincide parcialmente com a área de implantação dos estaleiros do Areal Gordo.

A restante área possui uma gama de variação de 100-200 mg/L e coincide com a ocupação do solo designada de “pomares”, “sistemas culturais e parcelares complexos” e “zonas de utilização agrícola fora do perímetro de rega”, de acordo com o Mapa *Corine Land Cover*.

Foi ainda analisada a variação sazonal da concentração de NO_3 medida em furos, representativa do aquífero confinado, sem existir uma mistura de água com o aquífero superficial, que é, neste caso, o que se regista nos poços com furo. Os furos P5 e P20 situam-se próximo de poços (P6 e P21). A proximidade das concentrações de NO_3 medidas parece indicar novamente a possibilidade de mistura de água com o aquífero superior, por deficiente isolamento das camadas aquíferas no furo. Pelo contrário, o furo P28, situa-se próximo dos poços P31, P29 e P30; o 1º aberto no aquífero superficial, com concentrações mais baixas, e os dois seguintes, intersectam o aquífero confinado e possuem concentrações muito próximas das do furo. Neste local, a NE da área de estudo, o aquífero confinado parece estar ligeiramente mais poluído do que o aquífero superior, mas seria necessário um ponto de observação mais próximo do furo P28 para confirmar esta tendência. O que se prevê é que as concentrações em ambos os aquíferos sejam próximas, nos locais onde existe a referida mistura de água, e normalmente, mais elevadas no aquífero superficial.

Por fim, avaliou-se a variação da área poluída em 3 campanhas e para cada classe de NO_3 , nomeadamente: 0-50, 50-100, 100-200, 200-300 e 300-400 mg/L, de acordo com os resultados projectados nos mapas referidos (Figura 4.21, Figura 4.22 e Figura 4.23). Os valores apresentados no Quadro 4.7 mostram que, apesar de serem pequenas as variações estimadas em cada classe, algumas considerações podem ser retiradas. A área com concentração <50 mg/L, que se pode declarar como não poluída, teve o valor mais baixo (2.1%) no fim da estação húmida de 2007. Do mesmo modo, também a área poluída com uma concentração >50 mg/L e >100 mg/L foi mais elevada nesta mesma altura, mostrando mais uma vez a influência da sazonalidade no arraste do azoto existe no solo. Nota-se ainda uma descida ligeira nestas mesmas classes de variação de concentração após a estação seca seguinte. Para esta descida terá contribuído a redução

da área poluída onde se detectaram as concentrações mais elevadas, em cerca de 6% para a classe 200-300 mg/L e 2.6% para a classe 300-400 mg/L.

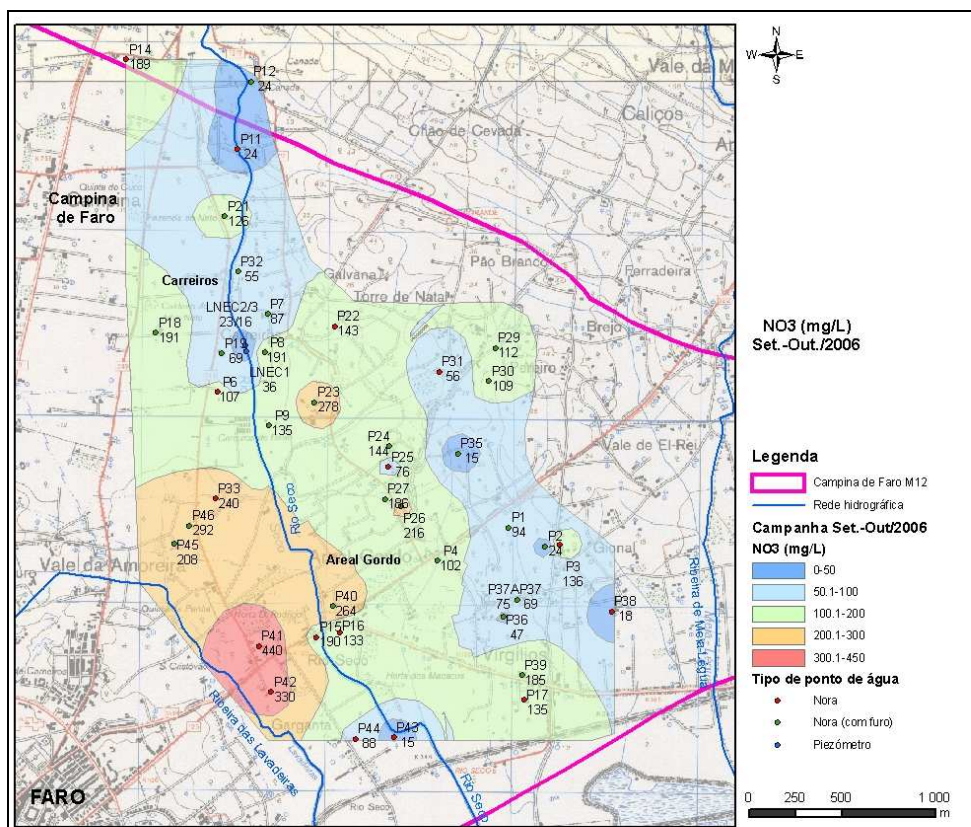


Figura 4.21 – Distribuição espacial da concentração de nitratos de acordo com os valores obtidos durante a campanha de monitorização de Setembro/Outubro de 2006

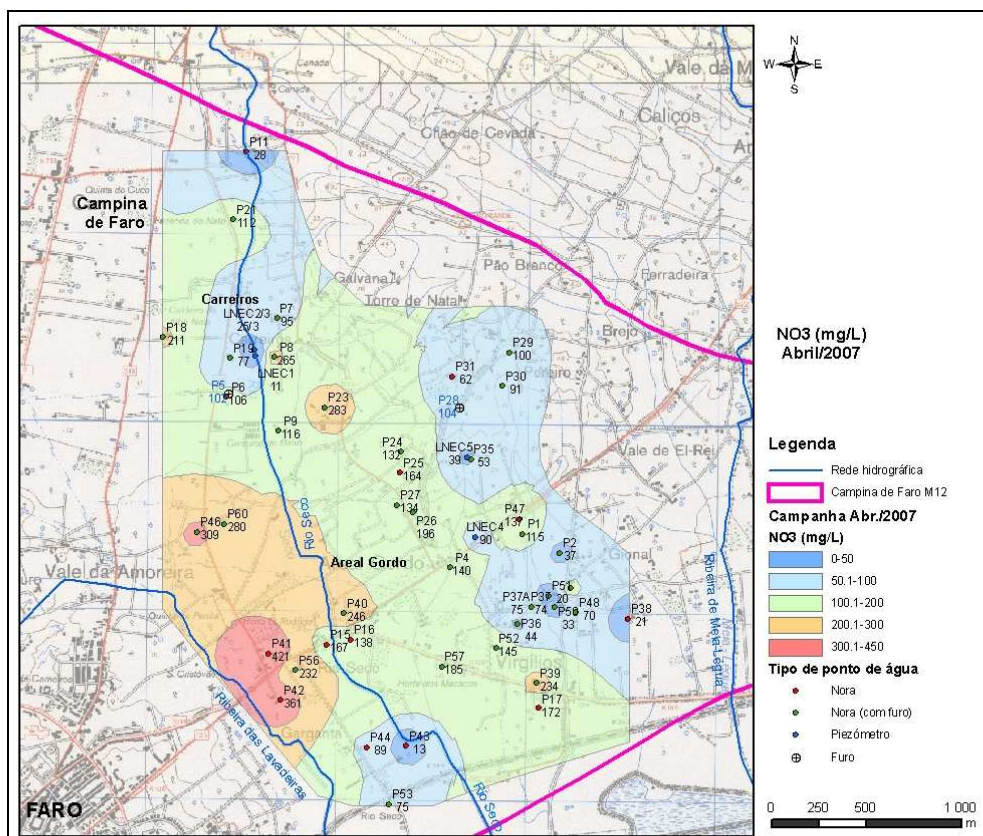


Figura 4.22 – Distribuição espacial da concentração de nitratos de acordo com os valores obtidos durante a campanha de monitorização de Abril de 2007

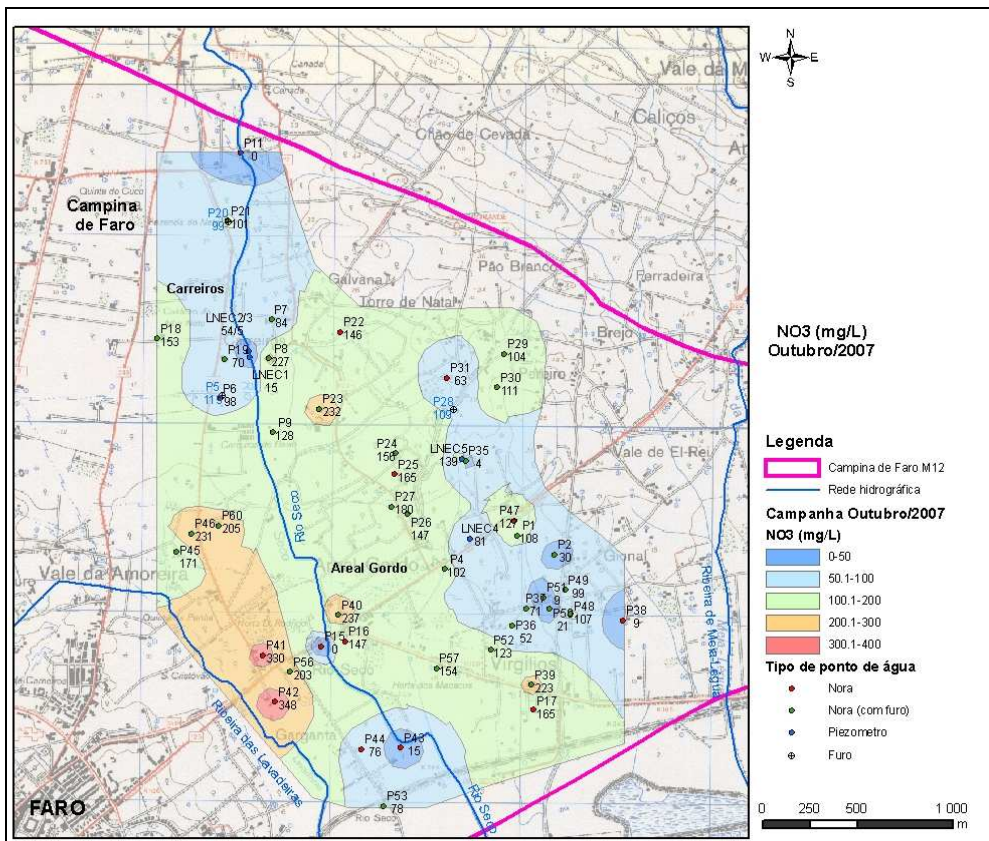


Figura 4.23 – Distribuição espacial da concentração de nitratos de acordo com os valores obtidos durante a campanha de monitorização de Outubro de 2007

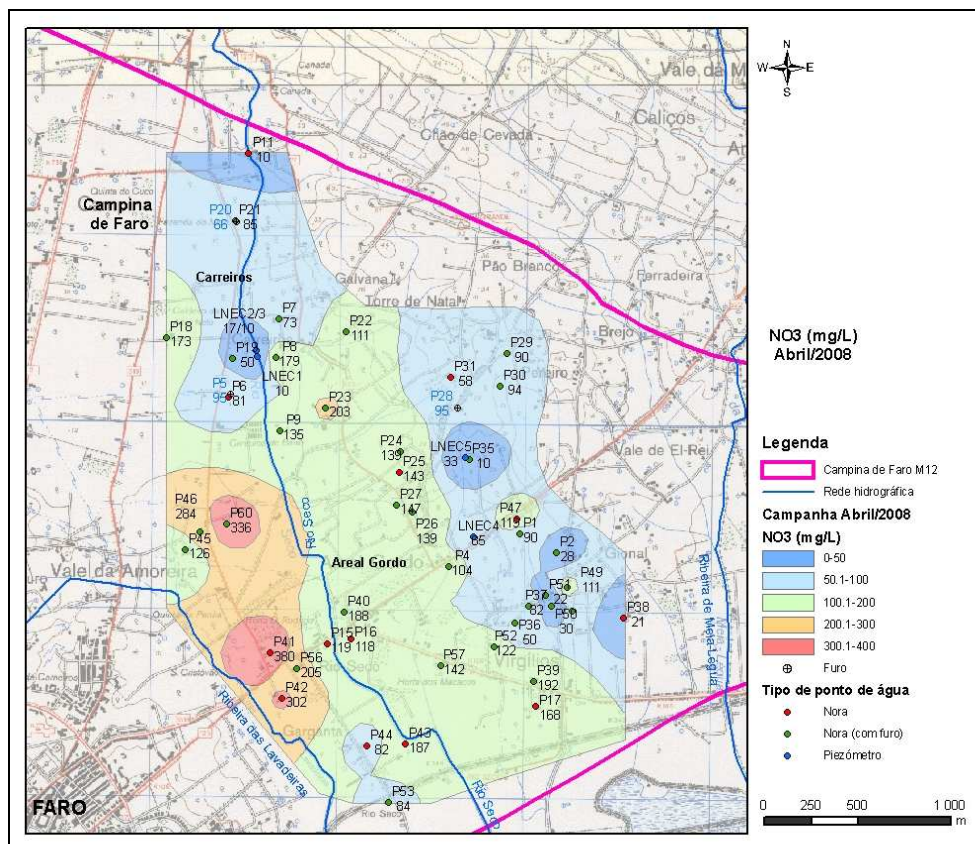


Figura 4.24 - Distribuição espacial da concentração de nitratos de acordo com os valores obtidos durante a campanha de monitorização de Abril de 2008

Quadro 4.7 - Evolução da área poluída na Campina de Faro nas três campanhas de monitorização de qualidade da água

Concentração de NO ₃	% da área calculada		
	Campanha Set./Out 2006 (a)	Campanha Abril/2007	Campanha Outubro/ 2007
<50 mg/L	4,3 (4,03)	2,1	3,2
50-100 mg/L	30,8 (29,15)	29,3	31,9
100-200 mg/L	46,8 (44,32)	50,2	55,1
200-300 mg/L	14,9 (14,09)	15,2	9,2
300-450 mg/L	3,3 (3,10)	3,2	0,6
Área total (km²)	6,36	6,04	6,04
Área >50 mg/L	90,7	97,9	96,8
Área >100 mg/L	61,5	68,5	64,9

(a) As áreas calculadas inicialmente para esta campanha foram reduzidas em 5,3% para poderem ser comparáveis com as duas campanhas seguintes, que têm a mesma área total analisada. Entre parêntesis apresentam-se os valores das áreas corrigidos para a relação entre as áreas entre esta campanha e as seguintes.

4.5 Quantificação das reservas poluídas no aquífero superficial

As reservas poluídas do aquífero superficial foram quantificadas no âmbito da realização de uma das tarefas do Projecto Gabardine, tendo a metodologia utilizada e os resultados fornecidos sido apresentados no *Deliverable* D24 (Lobo-Ferreira *et al.*, 2007a).

A metodologia utilizada por Lobo-Ferreira *et al.* (2007a) considera dois cenários possíveis no que se refere ao volume de água poluído no aquífero superficial da Campina de Faro e estima o volume de água necessário para diluir a concentração de NO₃ estimada. O tratamento da informação foi realizado em ARCMAP, com coberturas convertidas para uma malha com células de 10 por 10 m.

O cenário A corresponde à quantificação do volume de água poluído⁴ por NO₃, com base nos valores registados na campanha de Setembro de 2006 e à estimativa do volume de água necessário injectar no aquífero, para o cumprimento da Directiva-Quadro da Água.

O cenário B, considera os efeitos da implementação do Programa de Acção para a Campina de Faro (Portaria n.º 591/2003, de 18 de Julho, revoga a Portaria n.º 704/2001, de 11 de Julho), que visa a redução da concentração de NO₃ nas águas subterrâneas, implementado como resultado da declaração da Campina de Faro como Zona Vulnerável (ZVF) (Portaria n.º 1100/2004, de 3 de Setembro, revoga a Portaria n.º 258/2003, de 19 de Março), pela aplicação da Directiva dos Nitratos (Directiva do Conselho n.º 91/676/CEE, de 12 de Dezembro de 1991, transposta para a ordem jurídica interna através do Decreto-Lei n.º 235/97, de 3 de Setembro).

A quantificação do volume de água poluída no aquífero superficial consistiu em avaliar, de forma sequencial, cada uma das seguintes variáveis que se listam em seguida:

- 1) Determinar a espessura média saturada do aquífero freático (38 m)

A profundidade da base do aquífero freático foi determinada com base na informação de colunas litológicas; a profundidade do nível da água corresponde aos registos efectuados nos pontos de monitorização na campanha de Setembro/2006. Para a análise foi considerado um valor médio de espessura saturada obtida para a área em estudo.

⁴ Considera-se volume de água poluído se a concentração de NO₃ for superior ao Valor Paramétrico (VP) referido no Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto, que estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano, de 50 mg/L.

- 2) Determinar a área de zona de estudo (6,5 Km²)
- 3) Considerar um valor de porosidade média de 30%
- 4) Quantificar o volume de água em cada célula do ARCMaP ($10 \times 10 \times 38 \times 0,3 = 1140 \text{ m}^3$)
- 5) Estimar a quantidade de NO₃ por cada célula, com base nos registos de concentração da campanha de Setembro/2006; estimado um valor médio de 1,41 Kg/m²; obteve-se 130 mg/L de concentração média.
- 6) Estimar o volume de água poluído ($6,5 \times 10^6 \times 38 \times 0,3 = 75 \times 10^6 \text{ m}^3$), assumindo uma distribuição homogénea da poluição em toda a espessura do aquífero.
- 7) Estimar a quantidade de NO₃ e N para a área analisada ($9,6 \times 10^6 \text{ Kg} = 9692$ toneladas NO₃ = 2188 toneladas N).

Uma vez que a aplicação da Directiva-Quadro da Água refere um valor máximo de 50 mg/L de NO₃ nas águas subterrâneas, o volume de água estimado em $75 \times 10^6 \text{ m}^3$, como tendo uma concentração média de NO₃ de 130 mg/L, deveria ser diluído em $120 \times 10^6 \text{ m}^3$ correspondendo ao volume de água a injectar no aquífero para o cumprimento da Directiva (cenário A) (Lobo-Ferreira *et al.*, 2007a).

No caso do cenário B, assume-se que a actividade agrícola irá continuar na área de estudo, mas sujeita às imposições do Plano de Acção para a Campina de Faro. A análise efectuada estimou o incremento esperado de NO₃ nas águas subterrâneas se se aplicassem as quantidades máximas de azoto (N) admitidas. Segundo esta fonte, as principais ocupações agrícolas na área de estudo são hortícolas e pomares de citrinos. Nas hortícolas, a gama de variação da quantidade máxima de N a aplicar, varia entre 85 kg/ha (melancia) e 200 kg/ha (Melão e Tomate). No caso dos citrinos, a quantidade máxima de N a aplicar varia com a idade do pomar e o número de árvores, com máximo permitido de 200 kg/ha/ano. Este valor máximo correspondente à adição de 130 toneladas/ano de N, supondo uma ocupação agrícola de 100%. Se se considerar que apenas 30% de N se infiltra e atinge a zona saturada do aquífero, então a concentração de NO₃ na água subterrânea seria de 2,2 mg/L, correspondendo este valor apenas ao incremento anual devido às práticas agrícolas (considerando um volume de $75 \times 10^6 \text{ m}^3$, a relação do peso específico NO₃/N=4,43 e válidos os pressupostos referidos). Este valor corresponde apenas a 1,7% da actual concentração média de NO₃ nas águas subterrâneas (130 mg/L). Com este cenário seria necessário recarregar o aquífero com $122 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água, por forma a ser compensado o incremento anual na concentração de NO₃ (Lobo-Ferreira *et al.*, 2007a).

Contudo, a análise deste cenário terá de incluir, também, uma componente natural de entrada de água, a partir da recarga, da infiltração do escoamento superficial no rio Seco e a partir dos afloramentos carbonatados que marcam o limite Norte do sistema. A recarga natural foi referida no Capítulo 3 (Secção 3.12), podendo variar entre $1,0 \times 10^6$ a $2,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. A infiltração proveniente a partir do rio Seco foi estimada em $0,24 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ no Capítulo 3 (Secção 3.17). A quantificação do volume de entrada pelo limite Norte foi calculada através do resultado do balanço hídrico do modelo matemático desenvolvido na área de estudo em $2,82 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ (Lobo-Ferreira *et al.*, 2006). Deste modo, as entradas para o sistema foram quantificadas em $4,0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

A componente de saída de água do sistema é realizada essencialmente pelas extracções do aquífero e pela descarga para o mar. No Capítulo 3 (Secção 3.11) foram feitas

algumas considerações sobre as extracções, no entanto não são conhecidos os volumes extraídos para irrigação em cerca de uma centena de poços que existem na região. A estimativa mais plausível deverá ser superior a 2 hm³/ano. A descarga para o mar foi estimada como resultado da modelação matemática apresentada em Lobo-Ferreira *et al.* (2006) em 1,41×10⁶ m³/ano.

O resultado final do balanço hídrico é positivo que, num cenário mais optimista, deverá ser suficiente para manter as concentrações de NO₃ actuais. No entanto, a recarga artificial deverá ser considerada como uma forma simples e de fácil implementação, destinada a melhorar a qualidade da água subterrânea no aquífero superficial, que apenas com a implementação das medidas referidas no Plano de Acção não deverá sofrer as variações que se pretendem atingir para o cumprimento atempado da Directiva-Quadro. A viabilidade desta metodologia e as suas diferentes formas de implementação na área de estudo, incluindo o estudo e análise das fontes de água destinadas à recarga e sua quantificação, são os trabalhos fundamentais que se pretendem demonstrar nos Capítulos 6 e 7 da Tese.

