

# **GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

## **elaboração de um plano de exploração de água de nascente**

**Susana BARBOSA**

*Mestre em Ordenamento e Valorização de Recursos Geológicos, Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, 4710-057 Braga, Portugal, susanabarbosa.um@gmail.com*

**Alberto da Silva LIMA**

*Doutor em Hidrogeologia, Centro de Investigação Geológica, Ordenamento e Valorização de Recursos, Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, 4710-057 Braga, Portugal, aslima@dct.uminho.pt*

### **Resumo**

De acordo com dados oficiais do INE e da DGEG relativos ao ano de 2008, o sector das Águas Minerais Naturais e das Águas de Nascente representa cerca de 3% do conjunto da indústria portuguesa alimentar, assegurando, direta ou indiretamente, mais de 10 000 postos de trabalho. O desenvolvimento desta atividade económica baseia-se na exploração de recursos hídricos subterrâneos, muitas vezes realizada de uma forma não controlada, tendo como consequência o aumento dos custos de produção e colocando em causa a sustentabilidade das explorações. Em Portugal, o Decreto-Lei nº 84/90 de 16 de Março desenvolve os princípios orientadores do exercício das atividades de prospecção, pesquisa e exploração de águas de nascente, com vista ao seu racional aproveitamento técnico-económico e valorização. No âmbito daquele diploma, faz-se, no presente estudo, a avaliação das características hidráulicas de uma captação de água de nascente, com monitorização da qualidade da água durante as fases de extração, visando estabelecer um plano de exploração sustentado e fornecer indicações sobre medidas a tomar em caso de necessidade de modificação pontual do regime de exploração. Com este propósito, realizaram-se ensaios de caudal, tendo sido monitorizada a qualidade da água, através da caracterização da carga em suspensão. Da interpretação dos dados obtidos, determinou-se um valor de transmissividade de  $0,22 \text{ m}^2/\text{dia}$ , tendo sido também identificadas correlações entre o regime de exploração e a qualidade da água. Em função destes resultados, definem-se as condições específicas de exploração da captação, de forma a garantir a sustentabilidade da exploração, quer ao nível quantitativo, quer no que respeita à qualidade da água, principalmente em termos da carga em suspensão.

**Palavras-chave:** águas de nascente; exploração; qualidade da água.

## 1. Introdução

O Decreto-Lei nº 84/90 de 16 de Março desenvolve os princípios orientadores do exercício das atividades de prospecção, pesquisa e exploração de águas de nascente, com vista ao seu racional aproveitamento técnico-económico e valorização. De acordo com este diploma legal, o licenciamento das explorações de nascente implica, entre outros elementos, a realização de um estudo hidrogeológico da área da ocorrência e circulação da água, que deverá incluir a descrição das captações, a indicação, para cada captação, dos respectivos caudal e temperatura, bem como a apreciação da vulnerabilidade da zona envolvente à poluição e proposta de criação de uma área de proteção.

O regime de exploração das captações de águas de nascente é normalmente contínuo, mas os caudais de exploração são geralmente definidos a partir de ensaios de caudal, um método de análise das captações de águas subterrâneas e dos aquíferos onde estão implantadas, permitindo obter-se informação sobre as características hidráulicas das captações e dos respectivos aquíferos (Martinez e Lopez, 1984; Rubio *et al.*, 1998). Nestes ensaios, não são normalmente controladas as características físico-químicas das águas em função dos caudais de extração e dos rebaixamentos piezométricos. Por outro lado, o controlo analítico previsto no diploma já mencionado é feito, usualmente, em condições de equilíbrio hidrodinâmico, obtido a partir de bombagem de longa duração a caudal constante, atingindo-se um nível hidrodinâmico praticamente estabilizado. Estas condições, todavia, raramente são verificadas em situações reais de exploração industrial de captações. Com efeito, constrangimentos de diversa ordem conduzem, frequentemente, a alterações do regime normal de exploração das captações, com repercussões diretas sobre o equilíbrio piezométrico e, indiretamente, sobre a qualidade da água, não só ao nível das substâncias dissolvidas mas, também, sobretudo, ao nível da matéria em suspensão. De facto, as fases transitórias dos regimes de exploração em equilíbrio podem conduzir a fluxos turbulentos que, função das características intrínsecas dos aquíferos, aumentam a carga em suspensão na água. Estes fenómenos, para além de alterarem as características das captações e diminuírem o seu tempo de vida útil, podem ter repercussões industriais graves nas unidades de engarrafamento.

Assim sendo, para garantir a qualidade da água captada e a adequada gestão da exploração do aquífero, deverá investir-se no conhecimento hidrogeológico do sistema aquífero em questão, sendo fundamental que estes estudos estabeleçam, desde o início da atividade de exploração, um modelo de funcionamento do sistema aquífero, que permita fundamentar uma adequada gestão da exploração, evitando situações de sobreexploração e de risco de contaminação das águas subterrâneas, face ao grau de vulnerabilidade do aquífero e a potenciais focos de contaminação. O modelo hidrogeológico, então definido, deverá ser ajustado e melhorado durante a fase de exploração regular da captação e do aquífero (Graça, 2002).

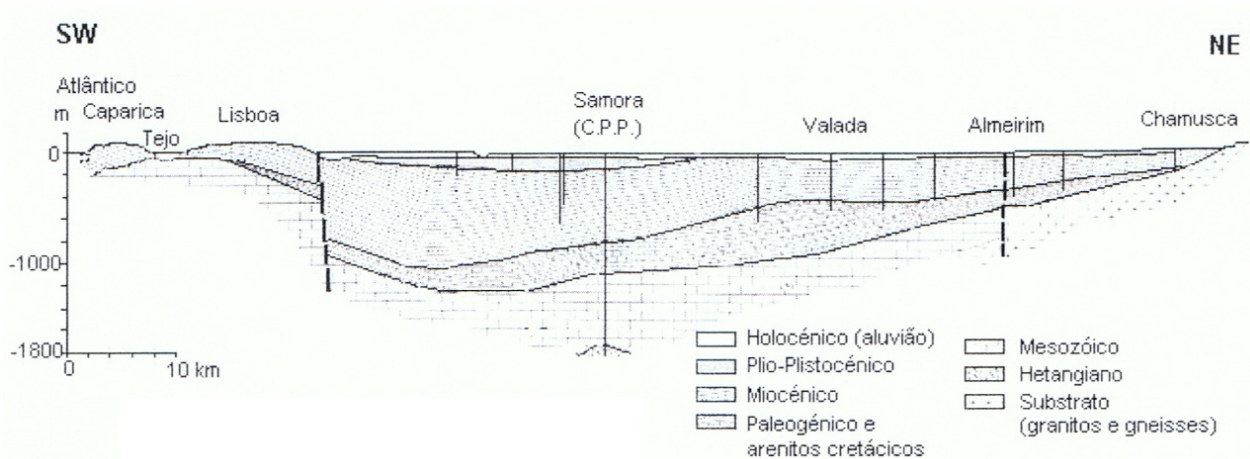
O presente trabalho tem como objecto de estudo a captação PS1, situada no concelho da Chamusca, distrito de Santarém. Tratando-se de uma captação para a exploração de água de nascente destinada à indústria do engarrafamento, é fundamental o estabelecimento de um modelo de funcionamento do sistema aquífero que permita, como referido anteriormente, uma adequada gestão da exploração. Neste sentido, o presente trabalho tem como objectivo primordial a elaboração de um plano de exploração da captação PS1, tendo em consideração os aspectos quantitativos e qualitativos da água captada, de tal forma que a extração de água não altere o regime de funcionamento do aquífero, nem mesmo as suas propriedades, prolongando-se, assim, o tempo de vida da captação e a sustentabilidade do recurso.

## 2. Hidrogeologia regional

A área de estudo integra-se na Bacia Terciária do Tejo-Sado, abreviadamente designada por Bacia do Tejo-Sado, uma das grandes divisões geotectónicas do território continental português. Esta Unidade Hidrogeológica compreende o maior sistema aquífero do território nacional, tendo os seus recursos hídricos subterrâneos constituído um importantíssimo factor de desenvolvimento, pois tem assegurado numerosos abastecimentos urbanos, industriais e agrícolas (Almeida *et al.*, 2000a).

Como se pode observar pelo corte geológico longitudinal da Bacia do Tejo-Sado (Figura 1), esta constitui uma depressão alongada na direcção NE-SW, sendo marginada a W e N pelas formações Mesozóicas da Orla Ocidental, a NE e E pelo substrato Hercínico e a S comunica com o Oceano Atlântico, na Península de Setúbal. O enchimento desta grande bacia sedimentar compreende sedimentos Cenozóicos, nomeadamente, depósitos Paleogénicos e Neogénicos, recobertos em grande parte por depósitos Quaternários. A espessura total dos depósitos Cenozóicos da bacia pode atingir os 1400 m, entre Benavente e Coruche, podendo o Neogénico alcançar os 1200 m (Figura 1) (Almeida *et al.*, 2000a; Almeida *et al.*, 2000b).

A estrutura da bacia é relativamente simples, apresentando-se as formações que a preenchem sempre sub-horizontais, coincidindo os bordos com falhas normais, ativas durante a subsidência da bacia. Segundo Ribeiro *et al.* (1979), somente no bordo NW, os terrenos Mesozóicos cavalgam o Terciário.



**Figura 1** – Corte geológico longitudinal da Bacia do Tejo-Sado. Adaptado de Almeida *et al.* (2000b).

De acordo com Almeida *et al.* (2000a), na Bacia do Tejo-Sado podem ser considerados quatro sistemas aquíferos: Sistema Aluvionar do Tejo, Bacia de Alvalade, Margem Direita e Margem Esquerda. Esta divisão da Bacia nos seus quatro sistemas aquíferos encerra algo de artificial (à exceção da Bacia de Alvalade), dado não existirem fronteiras bem definidas entre eles. Contudo, existem diferenças evidentes nas séries sedimentares, resultantes de diferenças nos ambientes de deposição, traduzidas, sob o ponto de vista hidrogeológico, em diferenças na produtividade e no quimismo das águas (Almeida *et al.*, 2000a). Segundo Almeida *et al.* (2000b), as Aluviões do Tejo deverão ser as áreas de descarga dos sistemas aquíferos subjacentes, sendo o Rio Tejo o eixo drenante principal da bacia, constituindo-se, assim, como uma divisória hidráulica que justifica a separação entre sistemas aquíferos da Margem Direita e Margem Esquerda.

O sistema aquífero da Margem Esquerda, onde se insere a área em estudo, é formado por várias camadas porosas, geralmente confinadas ou semiconfinadas, sendo frequentes as variações laterais e verticais nas fácies litológicas, que provocam mudanças significativas nas condições hidrogeológicas. Dada esta complexidade, ocorrem camadas aquíferas alternadas com outras de baixa ou muito baixa permeabilidade, existindo locais com predomínio de uma ou outra classe de formações hidrogeológicas. As características do sistema variam em função da importância das camadas Pliocénicas e da constituição e espessura das formações Miocénicas (Almeida *et al.*, 2000b).

Para a caracterização dos principais aspectos da produtividade e qualidade das águas do sistema aquífero da Margem Esquerda do Rio Tejo, serão considerados, separadamente, os aquíferos que têm como suportes principais: o Pliocénico, o Miocénico com características marcadamente continentais (Arenitos de Ota) e o Miocénico francamente marinho (Série calco-gresosa marinha).

De um modo geral, estas formações aquíferas dominantes são constituídas por: areias, com intercalações lenticulares de argilas, no caso do Pliocénico; arenitos com algumas intercalações de argilas, no Miocénico com características marcadamente continentais; e arenitos calcários e margas, com espessuras superiores a 450 m, no Miocénico francamente marinho (Almeida *et al.*, 2000b).

A produtividade mediana das captações implantadas no Pliocénico é de 15,5 L/s, enquanto que nas formações Miocénicas com características marcadamente continentais o valor mediano de produtividade desce para 9,7 L/s, o valor mais baixo encontrado no sistema aquífero da Margem Esquerda. Por sua vez, nas formações Miocénicas francamente marinhas, a produtividade encontrada é a mais elevada deste sistema aquífero, atingindo um valor mediano de 35,0 L/s (Almeida *et al.*, 2000b).

Os valores de transmissividade mais frequentes do sistema aquífero da Margem Esquerda situam-se entre os 100 m<sup>2</sup>/dia e os 700 m<sup>2</sup>/dia, sendo que as três formações apresentam diferenças significativas entre si. As formações Miocénicas com características marcadamente continentais exibem os menores valores de transmissividade. Contrariamente, são as formações Miocénicas francamente marinhas que apresentam os valores médios mais elevados.

Em termos hidrogeoquímicos, os dados analíticos utilizados por Almeida *et al.* (2000b) datam da década de noventa, tendo sido obtidos, na maior parte, em captações de abastecimento público, correspondendo a colheitas realizadas em diferentes anos, mas para o mesmo ponto de água.

Para captações instaladas no Pliocénico, as fácies das águas encontradas são cloretadas sódicas e cálcicas, com algumas fácies bicarbonatada calco-magnésiana. Este tipo de fácies bicarbonatada, também se encontra nas águas provenientes das formações do Miocénico francamente marinho. Já no caso das formações Miocénicas com características marcadamente continentais, as fácies encontradas são



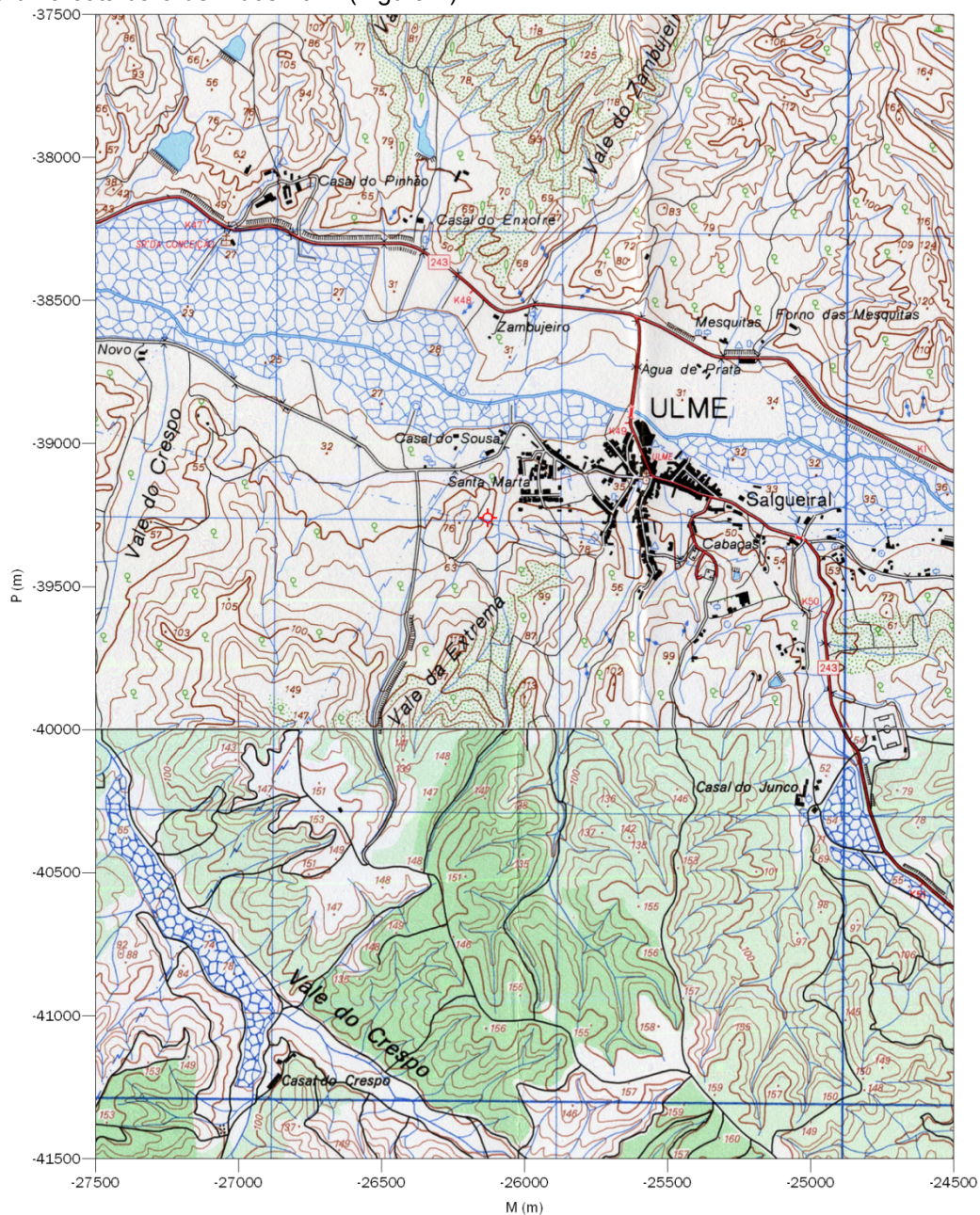
bicarbonatada sódica e cálcica, o que demonstra bem o carácter predominantemente carbonatado destas formações (Almeida *et al.*, 2000b).

Relativamente à qualidade da água para consumo humano, as águas não apresentam, de um modo geral, teores incompatíveis com este uso. Contudo, os valores de cloretos, sódio e condutividade excedem os valores legalmente estabelecidos, em vários casos (Almeida *et al.*, 2000a).

### 3. Hidrogeologia local

#### 3.1. Localização

A área onde se insere a captação PS1 situa-se na freguesia de Ulme, concelho da Chamusca, distrito de Santarém, estando coberta pela folha nº 342 da Carta Militar de Portugal à escala 1/25 000. Esta área situa-se nas proximidades da Ribeira de Alpiarça, comumente designada por Ribeira de Ulme, curso de água que nasce na localidade de Aranhas de Cima, concelho de Abrantes, à altitude de cerca de 200 m, e prolonga-se por cerca de 65 km, até à sua confluência com o Rio Tejo, na localidade de Benfica do Ribatejo, a uma cota da ordem dos 10 m (Figura 2).



**Figura 2** – Localização da captação PS1 numa base topográfica à escala 1/25 000. Mapa elaborado com base nas folhas 342 e 354 da Carta Militar de Portugal à escala 1/25 000, do Instituto Geográfico do Exército. O símbolo a vermelho representa a captação PS1. Referenciação Hayford-Gauss, ponto central.

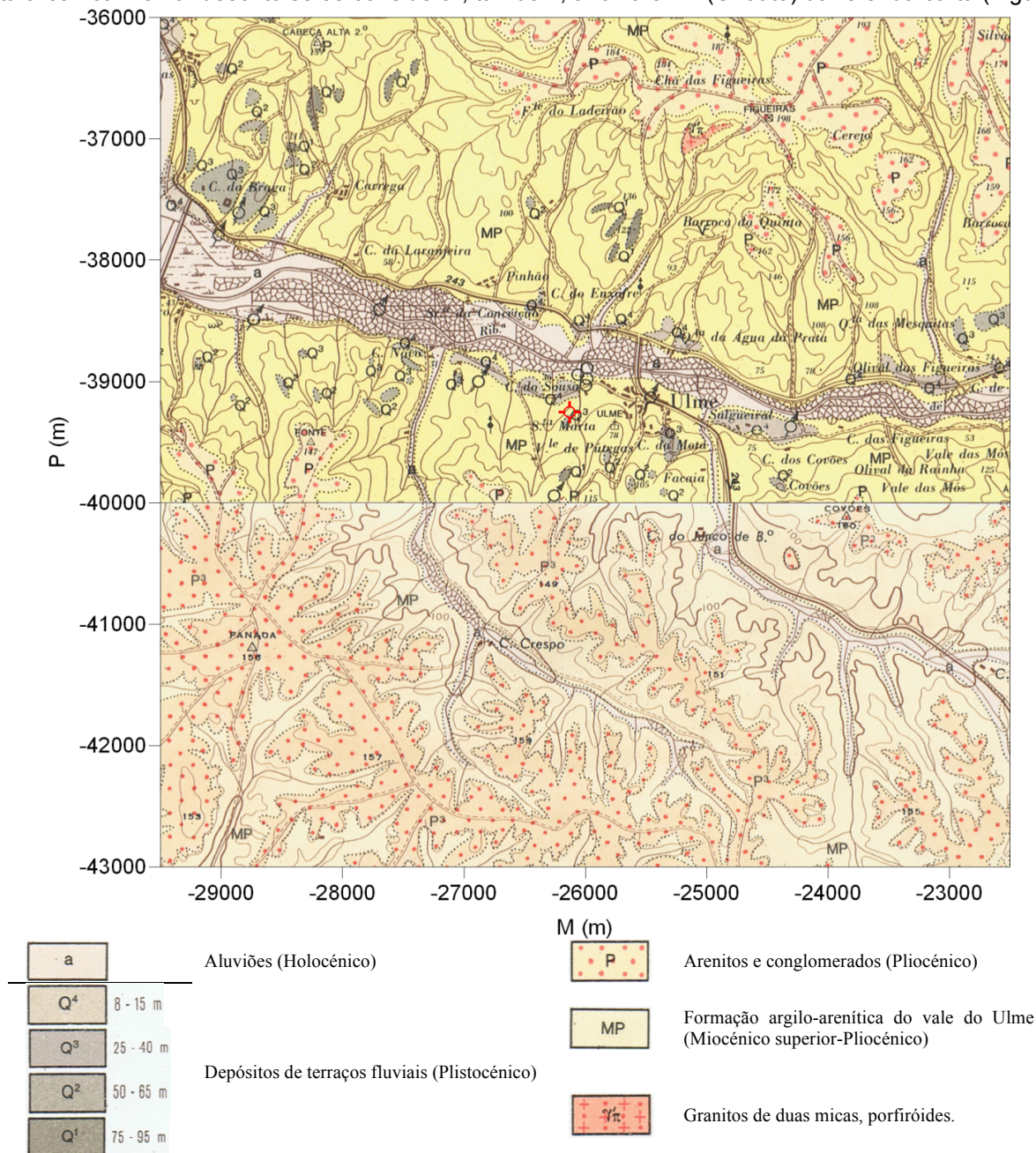


Desde a nascente até à Chamusca, a Ribeira de Ulme corre, sensivelmente, segundo a orientação geral E-W, assumindo posteriormente um traçado NE-SW a NNE-SSW, subparalelo ao Rio Tejo. Esta ribeira apresenta numerosos tributários que se encontram tanto na margem direita, como na margem esquerda, sendo que é junto de um destes afluentes da margem esquerda que se situa a captação PS1 (Figura 2).

Apesar de não se encontrar muito distante do centro demográfico da freguesia de Ulme, a captação em estudo localiza-se fora do aglomerado populacional, a uma cota aproximada de 50 m. Para sul, os terrenos encontram-se despovoados, existindo apenas um complexo desportivo, a poucos metros da captação, e uma unidade industrial de cerâmica e outra de engarrafamento de água, ambas um pouco mais distantes.

### 3.2. Geologia

A área de implantação da captação PS1 encontra-se coberta pela folha 27-D (Abrantes) da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000. Porém, situando-se no limite SW desta folha, o contexto geológico desta área fica melhor descrito se se considerar, também, a folha 31-B (Chouto) da referida carta (Figura 3).



**Figura 3** - Enquadramento geológico da captação PS1. Mapa elaborado com base nas folhas 27-D (Abrantes) e 31-B (Chouto) da Carta Geológica de Portugal à Escala 1/50 000. O símbolo a vermelho representa a captação PS1. Referenciação Hayford-Gauss, ponto central.

Como se pode constatar na Figura 3, a área em estudo é essencialmente constituída por terrenos do Cenozóico, cuja idade se estende desde o Miocénico até à atualidade. Além destas formações cenozóicas, pode identificar-se, ainda, um pequeno retalho de rochas hercínicas, que correspondem a granitos alcalinos e calco-alcalinos de duas micas, porfiróides, representados na parte mais a Norte da Figura 3.

As rochas mais recentes, do Holocénico, observam-se ao longo dos principais cursos de água da região e correspondem a aluviões que se encontram mais desenvolvidos no troço inferior do vale do Tejo, entre Vila Nova da Barquinha e Chamusca, onde o vale alarga. Estas aluviões são constituídas, maioritariamente, por areias e cascalheiras com algumas intercalações argilosas e com espessura de apenas alguns metros (Gonçalves *et al.*, 1979).

O Plistocénico encontra-se representado por depósitos de terraços fluviais, cuja maior extensão se observa ao longo do vale do Tejo, encontrando-se outros depósitos mais reduzidos, nos vales afluentes, sobretudo nos do Rio Torto e da Ribeira de Ulme. Estes depósitos de antigos terraços fluviais encontram-se escalonados, em degraus, ao longo dos principais vales da região e são constituídos, essencialmente, por areias acastanhadas, saibros mais ou menos grosseiros e cascalheiras, podendo conter algumas intercalações argilosas (Gonçalves *et al.*, 1979; Zbyszewski *et al.*, 1979).

Os terrenos do Pliocénico ocupam os pontos altos da topografia da região, formando uma série de relevos residuais mais ou menos desenvolvidos, particularmente na margem esquerda da Ribeira de Ulme. Trata-se de depósitos do antigo estuário (pré-Tejo), um conjunto Pliocénico Superior e, provavelmente, Vilafranquiano, de origem continental, constituído por cascalheiras de planalto, arenitos argilosos avermelhados e acastanhados, areias e conglomerados com algumas intercalações argilosas acinzentadas. Em diversos locais da região, a cobertura Pliocénica assenta sobre os terrenos Miocénicos subjacentes, ravinando-os (Gonçalves *et al.*, 1979; Zbyszewski *et al.*, 1979).

A formação argilo-arenítica do Vale de Ulme e de quase todos os vales da região constitui um complexo Miocénico continental sujeito a variações laterais de fácies. Em determinados casos, a parte superior, greso-arenosa com seixos, carrega-se de níveis de conglomerados, os quais ravinam as camadas subjacentes e dão passagem às cascalheiras Pliocénicas dos planaltos, tornando difícil a separação das duas formações. Esta formação argilo-arenítica do Miocénico é a dominante na área de implantação da captação PS1 e em toda a região de Ulme (Figura 3) (Gonçalves *et al.*, 1979; Zbyszewski *et al.*, 1979).

As rochas mais antigas aflorantes na área em estudo correspondem a granitos alcalinos de duas micas, porfiróides e ocorrem, apenas, no sector Norte da área em estudo (Figura 3) tratando-se de uma mancha isolada, de dimensão hectométrica, localizada próximo do vértice geodésico de Figueiras. Para Norte da área representada na Figura 3, estes afloramentos ígneos tornam-se mais expressivos, principalmente nas margens do Rio Tejo, revelando a presença do soco Hercínico a pequena profundidade.

### 3.3. Hidrogeoquímica

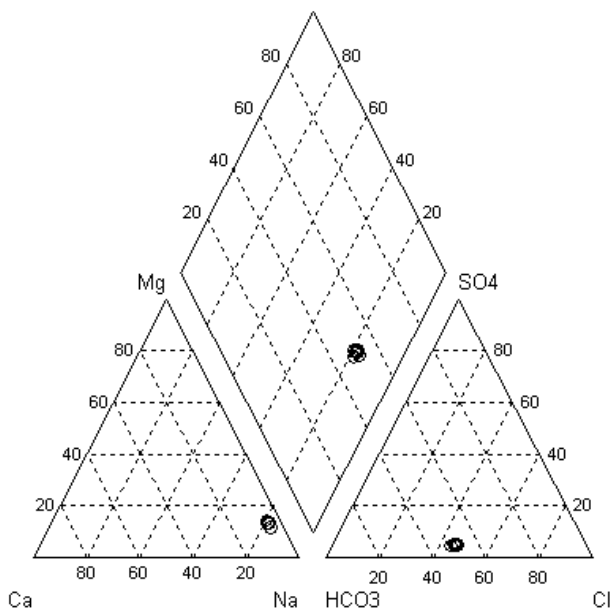
A caracterização físico-química da água da captação PS1 apresentada neste trabalho baseou-se em oito relatórios de análises físico-químicas relativas a amostras colhidas regularmente durante o ano de 2008. Na Tabela 1 apresenta-se uma síntese da composição maioritária da água da captação PS1, através dos valores de alguns parâmetros estatísticos.

**Tabela 1** – Dados estatísticos da composição química (componente maioritária) da água da captação PS1. Concentração dos aniões, dos catiões e da sílica em mg/L; condutividade em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a  $25^\circ\text{C}$ ; dureza em mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; resíduo seco em mg/L. Dados obtidos em Lima (2008).

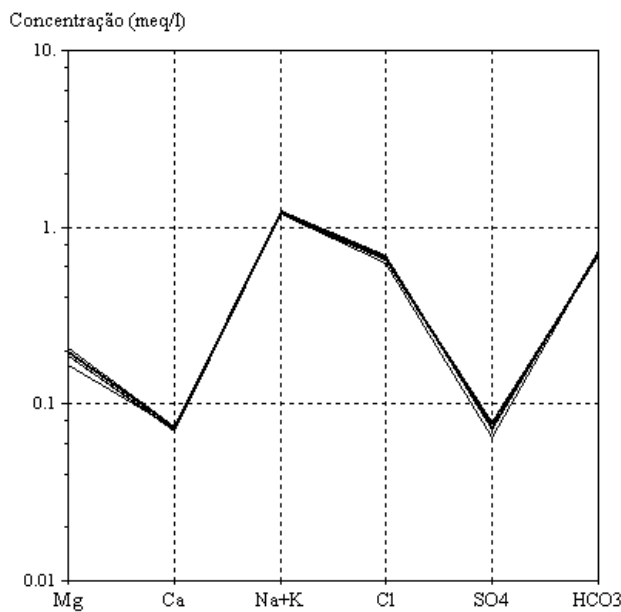
N = 8	Mediana	Desvio padrão	Coef. Var.
pH	6,30	0,10	0,020
Condutividade	144	2,28	0,015
Dureza	14,0	2,21	0,154
$\text{SiO}_2$	61,8	2,71	0,044
Resíduo seco	145	3,06	0,021
$\text{F}^-$	0,18	0,071	0,357
$\text{Cl}^-$	23,8	0,81	0,034
$\text{HCO}_3^-$	43,3	0,53	0,012
$\text{SO}_4^{2-}$	3,6	0,21	0,060
$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	1,20	0,062	0,053
$\text{NO}_3^-$	0,52	0,059	0,117
$\text{Na}^+$	26,5	0,35	0,013
$\text{K}^+$	2,2	0,083	0,038
$\text{Mg}^{2+}$	2,3	0,142	0,062
$\text{Ca}^{2+}$	1,4	0,044	0,031

Como se pode constatar, relativamente à sua componente maioritária, a água da captação PS1 é dominada pelo bicarbonato e pelo cloreto, no que respeita aos aniões, e pelo sódio, no caso dos catiões. Globalmente, a generalidade dos parâmetros demonstra uma elevada estabilidade composicional da água, sendo que as maiores dispersões ocorrem nos parâmetros que surgem em menores concentrações.

Na projeção da composição química das amostras de água da captação PS1 no diagrama de Piper, não é possível a individualização dos oito pontos projetados, devido à quase total sobreposição dos mesmos (Figura 4). Tal facto ilustra claramente a estabilidade composicional da água ao longo do período de monitorização, aspecto que é enfatizado quando se projetam os dados no diagrama de Schoeller. Neste, constata-se somente uma tênue dispersão nos teores de magnésio e de sulfato, favorecida pela escala mais discriminante (Figura 5).



**Figura 4** – Projeção da composição química das amostras da captação PS1 no diagrama de Piper.



**Figura 5** – Projeção da composição química das amostras da captação PS1 no diagrama de Schoeller.

Os diagramas apresentados mostram que a água da captação PS1 pode ser classificada como bicarbonatada-cloretada sódica, dada a predominância destes íões. Os elevados teores em sílica conferem singularidade a esta água, de tal forma que a água da captação PS1 fica melhor classificada como sendo uma água bicarbonatada-cloretada sódica, siliciosa.

Além da componente química principal, nas amostras de água foram pesquisados, por ICP-MS, trinta e três elementos vestigiais, sendo somente dez os elementos que em todas as amostras de água surgiram com concentrações acima dos limites de quantificação (Tabela 2).

**Tabela 2** – Dados estatísticos da composição química (componente vestigiária) da água da captação PS1. Concentrações em µg/L. Dados obtidos em Lima (2008).

N = 8	Mediana	Desvio padrão	Coef. Var.
Li	23,5	1,98	0,09
B	8,0	0,35	0,05
Al	2,4	1,57	0,57
V	0,71	0,12	0,16
Zn	1,3	96,6	2,54
As	4,20	0,23	0,05
Rb	0,70	0,13	0,17
Sr	22,4	0,52	0,02
Ba	7,1	0,82	0,12
U	0,10	0,01	0,06

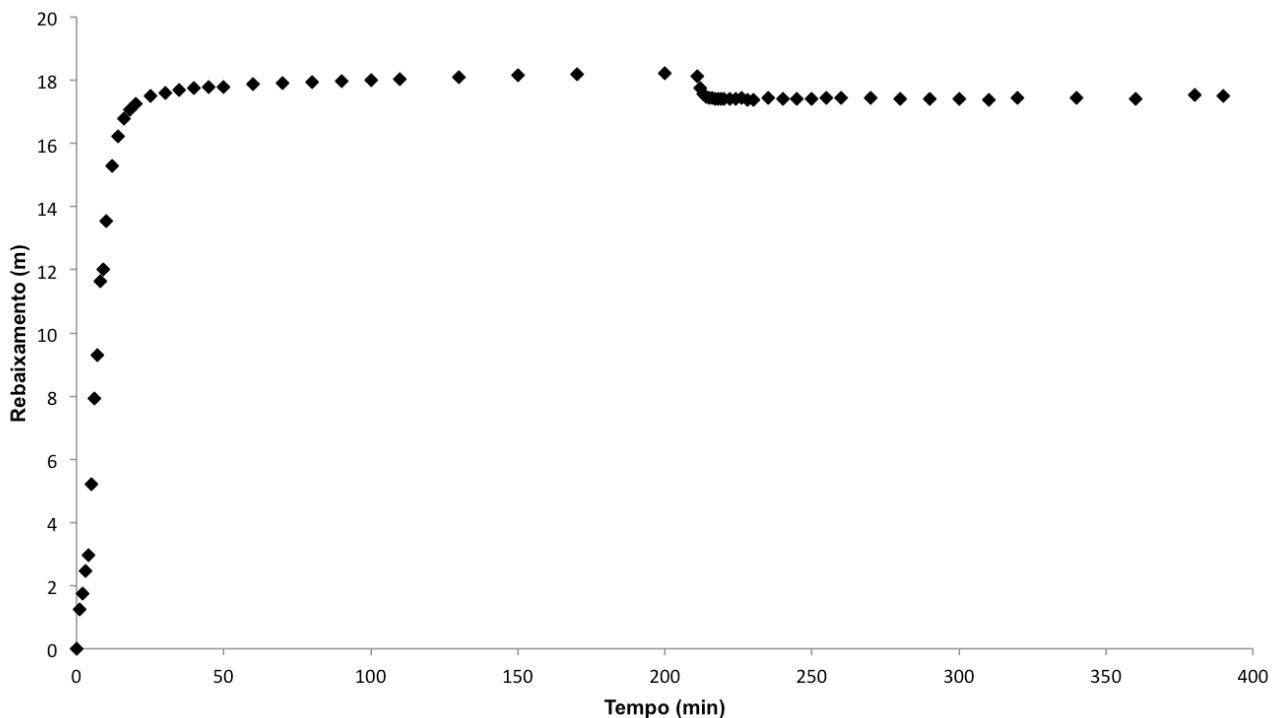


Da análise dos resultados obtidos pode-se concluir que, relativamente à componente vestigiária, a água da captação PS1 não tem qualquer limitação de ordem composicional para a sua utilização como água de consumo humano. Da mesma forma, também a sua estrutura química principal é favorável a esta utilização.

### 3.4. Parâmetros hidráulicos

Com o intuito de se determinarem os parâmetros hidráulicos do aquífero foi realizado um ensaio de caudal, a 22 de Março de 2010, com a duração de 6h30 (390 min), sendo que a captação esteve em repouso por um período de aproximadamente dois dias e meio. Após este período de repouso, a profundidade do nível hidrostático do aquífero era de 6,25 m. No decorrer do ensaio foram medidos os rebaixamentos provocados pela bombagem de água, recorrendo a uma sonda de nível portátil (marca SEBA, modelo KLL) e foram controlados os caudais de extração, com auxílio de um bidão de 130 L.

Os dados obtidos encontram-se representados no gráfico da Figura 6. Como se pode constatar, após iniciado o ensaio de caudal, ocorre uma rápida e acentuada descida da profundidade do nível piezométrico, atingindo-se um rebaixamento de 17,25 m aos 20 min de ensaio. Posteriormente, o nível piezométrico continua a descer, mais lentamente, atingindo-se o valor máximo de rebaixamento de 18,22 m aos 210 min, revelando-se uma tendência de pseudoestabilização. Aos 211 min, a água extraída passou a ser encaminhada para o enchimento de depósitos, originando uma diminuição dos valores de rebaixamento. Porém, após esta quebra inicial, constata-se uma nova pseudoestabilização do nível piezométrico, a que corresponde um rebaixamento de 17,43 m.



**Figura 6** – Evolução do rebaixamento no decurso do ensaio de caudal realizado a 22 de Março de 2010.

A interpretação dos resultados obtidos neste ensaio de caudal foi efectuada de acordo com o método de Theis (1935), segundo o qual o rebaixamento é dado pela fórmula:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$$

onde:

$s$  – rebaixamento (m)

$Q$  – caudal (m<sup>3</sup>/dia)

$T$  – transmissividade (m<sup>2</sup>/dia)

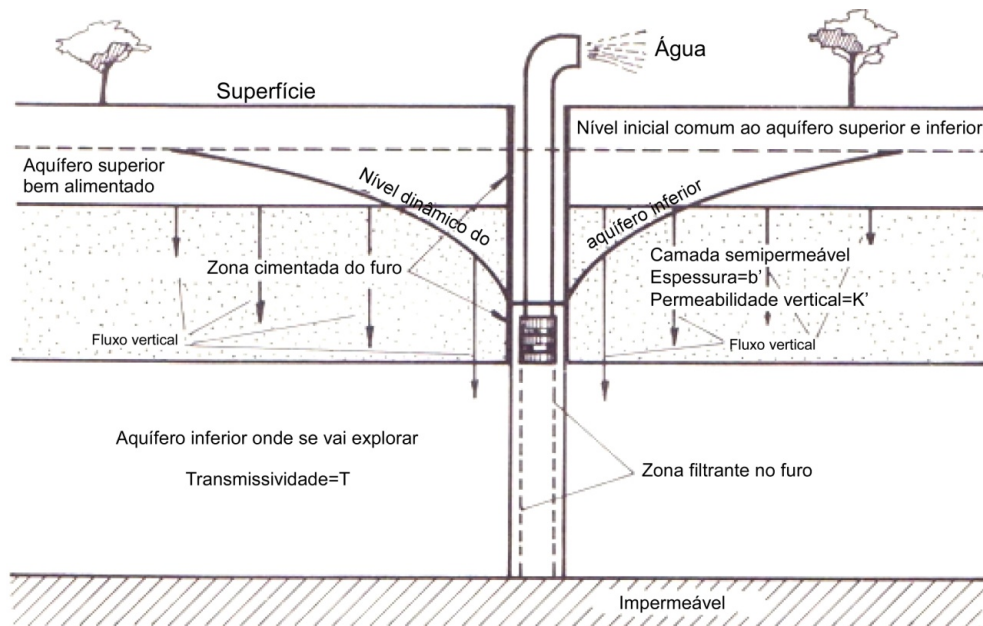
$u$  – função auxiliar cujo valor é:  $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$

$r$  – distância do poço ao piezómetro de observação (m)

$S$  – coeficiente de armazenamento

$t$  – tempo (dias)

Contudo, considerando um aquífero semi-confinado, os dados obtidos em campo foram interpretados pelo método de Hantush (1956). Este pressupõe que existe um aquífero superior bem alimentado, separado do aquífero inferior semi-confinado por uma formação semi-permeável, através da qual ocorrem fenômenos de drenância vertical (Figura 7).



**Figura 7** – Representação esquemática da drenância vertical num aquífero semi-confinado. (Imagem adaptada de Martinez e Lopez, 1984).

De acordo com o modelo de Hantush, o rebaixamento é dado por:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u, r/B)$$

onde:

$s$  – rebaixamento de um ponto situado à distância  $r$  do poço de bombagem

$Q$  – caudal de bombagem constante

$W(u, r/B)$  – função de poço para um aquífero semi-confinado

$B$  – factor de drenância =  $\sqrt{\frac{Tb'}{K'}}$

sendo que:

$b'/K'$  – resistividade hidráulica, cuja dimensão é de tempo (em dias)

$K'/b'$  – coeficiente de drenância, cuja dimensão é a inversa do tempo (1/dia)

$b'$  – espessura da formação semi-permeável

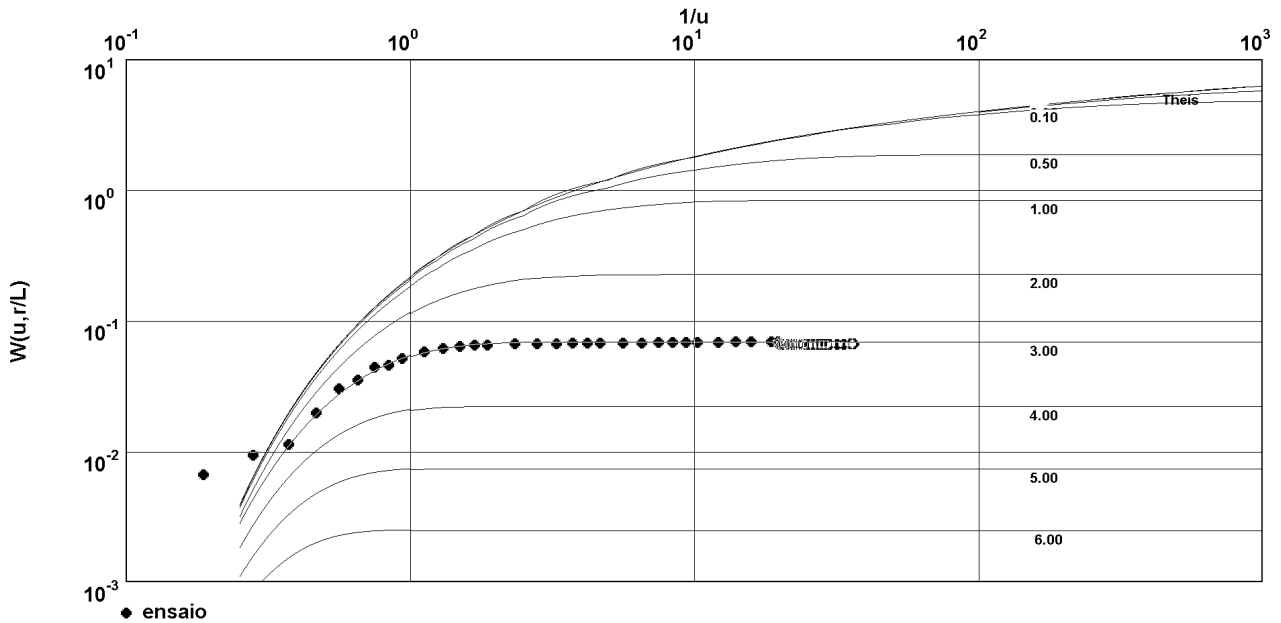
$K'$  – permeabilidade vertical da formação semi-permeável

O modo operativo é similar ao de Theis: constrói-se a curva de campo  $\log s - \log t$  e sobrepõe-se à curva padrão de Hantush que melhor se ajuste. Toma-se um ponto da curva padrão e o seu coincidente na curva de campo obtendo-se, assim, cinco valores:  $W(u, r/B)$ ,  $1/u$ ,  $s$ ,  $t$ ,  $r/B$  (Martinez e Lopez, 1984; Rubio e Magán, 1998). Uma vez encontrados estes valores, é possível obter-se os valores de  $T$  e  $S$ , do seguinte modo:

$$T = \frac{Q \cdot W(u, r/B)}{4\pi s}$$

$$S = \frac{4Tt}{r^2 \cdot 1/u}$$

A interpretação do ensaio foi efectuada recorrendo ao software AquiferTest, versão 2.55. O melhor ajuste ao método de Hantush está representado na Figura 8.



**Figura 8** – Sobreposição da curva de campo à curva padrão de Hantush.

O melhor ajuste da curva de campo a este modelo produz um valor de transmissividade de  $1,51 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/min, ou seja, 0,22 m<sup>2</sup>/dia. Este valor é muito inferior aos encontrados noutros locais das mesmas formações geológicas (Almeida *et al.*, 2000b).

#### 4. Plano de exploração

##### 4.1. Eficiência da captação

De forma a poder-se avaliar a eficiência da captação PS1, realizou-se um ensaio escalonado. A metodologia deste tipo de ensaios é usual para o cálculo dos coeficientes da fórmula geral dos rebaixamentos:

$$s = AQ + BQ^n$$

sendo que a sua aplicação não necessita de piezómetros de observação (Martinez e Lopez, 1984). Uma vez introduzidos os valores obtidos no ensaio de caudal ( $Q$  e  $s$ ), esta fórmula passa a ter somente três incógnitas:  $A$ ,  $B$  e  $n$ , sendo necessário, pelo menos, a realização de três escalões, a diferentes caudais e, se possível, com a mesma duração, para resolver o sistema:

$$s_1 = AQ_1 + BQ_1^n$$

$$s_2 = AQ_2 + BQ_2^n$$

$$s_3 = AQ_3 + BQ_3^n$$

sendo que  $AQ$  representa o rebaixamento teórico e  $BQ^n$  representa as perdas de carga. O coeficiente  $A$  obtém-se da fórmula de Jacob:

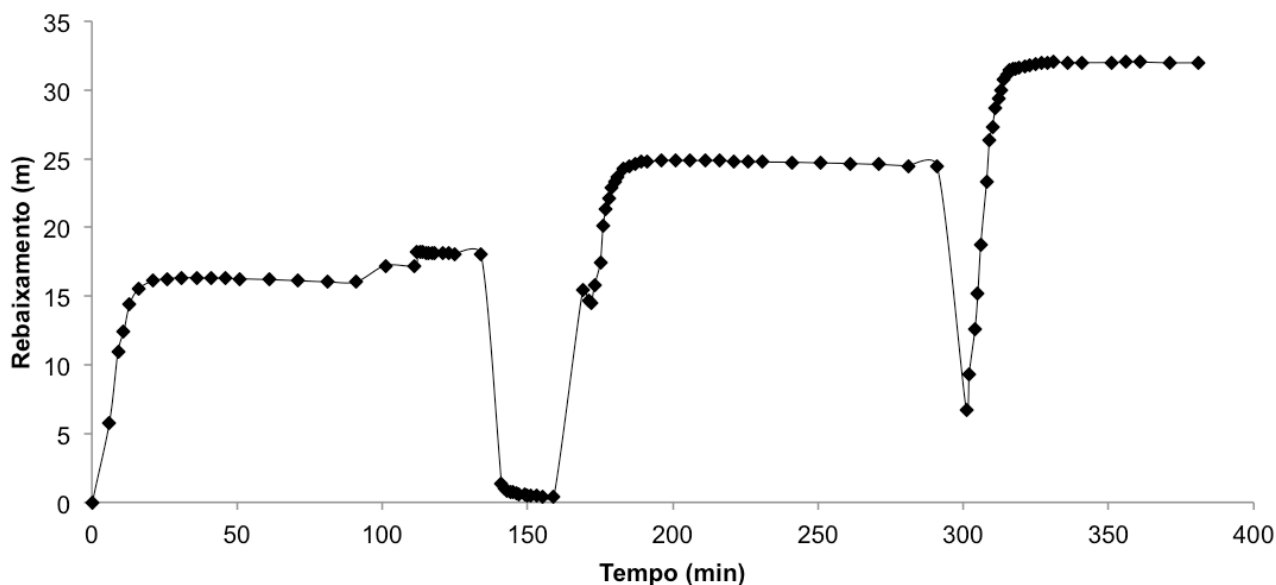
$$A = 0,183 \frac{1}{T} \log \frac{2,25 T t}{r^2 S}$$

Conhecidos os caudais e os respectivos rebaixamentos produzidos, é possível a resolução do sistema de equações anterior por vários procedimentos, sendo que o adoptado neste trabalho será o método de tentativa de valores de  $n$ . Aqui, divide-se todo o sistema de equações por  $Q$  e dando a  $n$  o valor de 2 e representando  $s/Q$  em ordenadas e  $Q^{n-1}$  em abcissas, num sistema de eixos métricos, podem obter-se duas situações:

- 1) uma linha recta com os pares de valores ( $s/Q$ ,  $Q^{n-1}$ ), o que significa que  $n$  é realmente 2. Pode, então, medir-se sobre o gráfico o valor de  $A$  (ordenada na origem) e o de  $B$  (declive da recta).
- 2) não se obtém uma linha recta (logo  $n \neq 2$ ) e terá de se proceder à tentativa de um novo valor de  $n$  (que oscila entre 1 e 3,5).



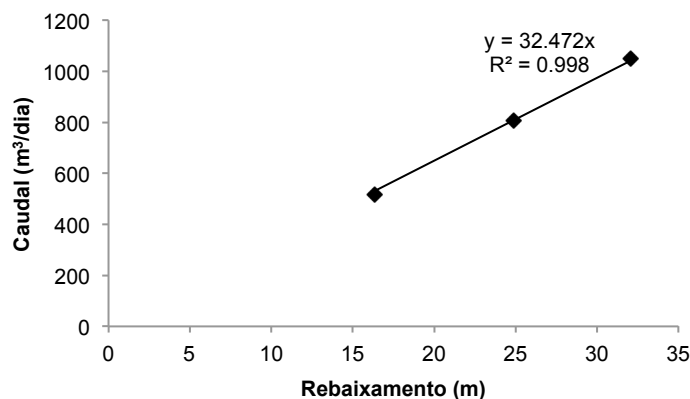
Os patamares do ensaio escalonado realizado na captação PS1, a 26 de Abril de 2010, tiveram a duração de aproximadamente 2h cada, à exceção do último escalão, que somente se realizou por um período de tempo de 1h30. No total, foram executados três escalões. A profundidade do nível hidrostático no momento anterior ao início deste ensaio de caudal era de 6,05 m. Convém salientar que os ensaios se realizaram com recuperação parcial dos níveis (uma vez que houve a necessidade de reiniciar a bomba de extração, na mudança de escalão) e que a água extraída esteve sempre a ser utilizada para enchimento dos depósitos na unidade de engarrafamento de água. Os dados referentes a este ensaio estão representados no gráfico da Figura 9.



**Figura 9** - Evolução do rebaixamento no decurso do ensaio de caudal escalonado realizado a 26 de Abril de 2010.

Pela observação deste gráfico pode constatar-se que os perfis de rebaixamento dos três escalões do ensaio de caudal realizado apresentam a mesma tendência: numa fase inicial, uma rápida descida do nível piezométrico, seguida de uma pseudoestabilização do nível. Esta tendência dos perfis de rebaixamento é semelhante ao ocorrido no ensaio a caudal constante. Observa-se, ainda, que alterações nos depósitos de enchimento, nomeadamente aos 91 min, provocaram quebras nos perfis de rebaixamento.

No gráfico da Figura 10 estão representados os valores de caudais médios em função dos valores máximos de rebaixamento obtidos em cada escalão do ensaio de caudal realizado.



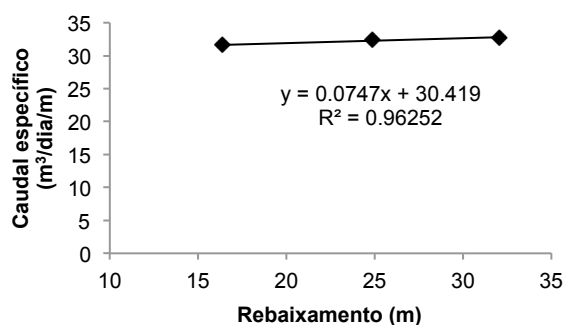
**Figura 10** – Caudais médios em função dos rebaixamentos máximos dos três escalões do ensaio de caudal realizado a 26 de Abril de 2010.

Como se pode verificar na Figura 10, a curva característica Q-s é uma recta que passa na origem ( $R^2=0,998$ ), sendo Q diretamente proporcional a s. Como referem Martinez e Lopez (1984), a obtenção desta curva característica (uma recta que passa na origem) significa que estamos perante um aquífero

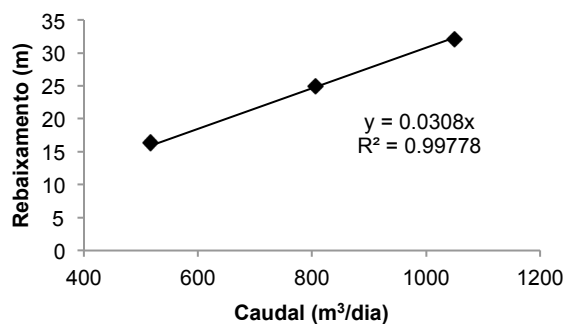
cativo, sem perdas de carga no poço, facto reforçado pelo gráfico da Figura 11, em que se expressam os caudais específicos em função de  $s$ . Aqui, a curva característica  $Q/s-s$  é uma recta subparalela ao eixo dos rebaixamentos.

Os mesmos autores referem ainda que, quando se admite que  $n=1$ , depreende-se da equação geral dos rebaixamentos que o rebaixamento é proporcional ao caudal, não sendo possível separar cada um dos coeficientes  $A$  e  $B$ . Nesses casos, o regime é laminar e as perdas de carga, embora possam existir, têm efeitos práticos desprezíveis, tendo em conta que  $A$  é muito maior que  $B$ .

Assim, tratando-se de um aquífero cativo sem perdas de carga a funcionar em regime laminar ( $n=1$ ), o termo  $BQ^n$  anula-se e o rebaixamento fica a depender unicamente do caudal de extração. Ao expressarmos graficamente  $s-Q$  (Figura 12), obtém-se uma recta de equação  $s=0,0308.Q$ , sendo que o declive dela corresponde ao valor do coeficiente  $A$ .



**Figura 11** – Caudais específicos em função dos rebaixamentos para cada escalão do ensaio de caudal realizado a 26 de Abril de 2010.



**Figura 12** – Variação dos rebaixamentos em função dos caudais de extração, considerando que não existem perdas de carga.

A captação PS1 é, neste sentido, uma captação de água eficiente, sem perdas de carga lineares e não lineares significativas.

Comparando os valores de caudais específicos obtidos em ambos os ensaios de caudal realizados, constata-se que a média dos caudais específicos obtidos no ensaio escalonado ( $Q/s=32,24 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{m}$ ) é ligeiramente inferior ao caudal específico obtido no ensaio a caudal constante ( $Q/s=36,63 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{m}$ ). Esta diferença poderá estar relacionada com o facto de no ensaio escalonado os valores de caudais serem obtidos através da leitura dos depósitos, nomeadamente, através das variações de volume de água nos depósitos. Já no caso do ensaio a caudal constante, as condições de realização do ensaio (bombagem de água sem aproveitamento para enchimento de depósitos) permitiram a obtenção de dados mais fidedignos.

## 4.2. Qualidade da água

### 4.2.1. Concentração dos sólidos em suspensão

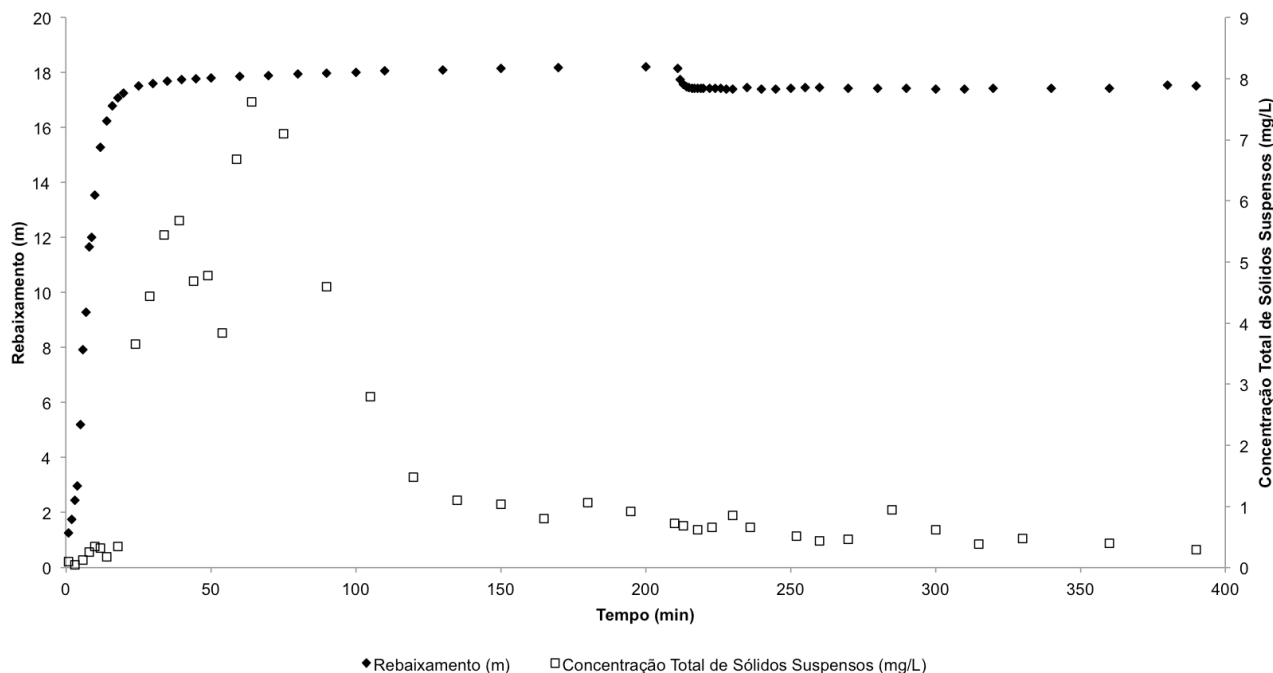
A determinação da concentração dos sólidos suspensos nas amostras de água recolhidas nos ensaios realizados teve como principal objectivo a avaliação da evolução da concentração dos sólidos suspensos no decurso dos ensaios de caudal, assim como, a sua relação com a piezometria.

Para tal, foram recolhidas amostras de água (para garrações de 5 L) em todos os ensaios de caudal realizados. Posteriormente, procedeu-se à filtração destas amostras usando-se membranas filtrantes de  $0,10 \mu\text{m}$ ,  $0,22 \mu\text{m}$  e  $0,45 \mu\text{m}$ , previamente pesadas, numa balança de precisão (sensibilidade –  $0,0001 \text{ g}$ ) e colocadas em caixas de Petri.

As filtrações não se procederam de igual modo para todas as amostras, devido a diversos factores, entre eles, as condições laboratoriais distintas. De facto, as amostras de água referentes ao ensaio a caudal constante foram filtradas no laboratório da unidade industrial. Este possuía uma rampa de filtração com capacidade para três filtrações em simultâneo, mas sem possibilidade de recuperação da amostra filtrada para posterior filtração em membranas filtrantes de menor diâmetro. Assim sendo, optou-se por dividir a amostra de água (5 L) em partes iguais de modo a que uma das partes passasse nos filtros de  $0,22 \mu\text{m}$  e a outra nos de  $0,45 \mu\text{m}$ . Uma vez filtradas todas as amostras, as membranas filtrantes foram colocadas numa estufa à temperatura de  $25^\circ\text{C}$  durante, aproximadamente, dois dias. Posteriormente, pesaram-se as

membranas filtrantes, de forma a determinar-se a quantidade de sólidos suspensos. Estas membranas foram, ainda, colocadas num exsiccador durante uma semana e voltadas a pesar.

No gráfico da Figura 13 pode-se observar a evolução da concentração total de sólidos suspensos e dos rebaixamentos no decurso do ensaio de caudal. Numa primeira análise, verifica-se que os picos de concentração total de sólidos suspensos apresentam um atraso relativamente à fase transitória do perfil de rebaixamento, que termina por volta dos 20 min. Os picos máximos de concentração de sólidos suspensos ocorrem aos 39 min e aos 64 min de ensaio, quando o perfil de rebaixamento já se encontra pseudo-estabilizado. A partir dos 120 min de ensaio, deixam-se de evidenciar picos de concentração, verificando-se uma diminuição progressiva dos teores de sólidos suspensos na água.



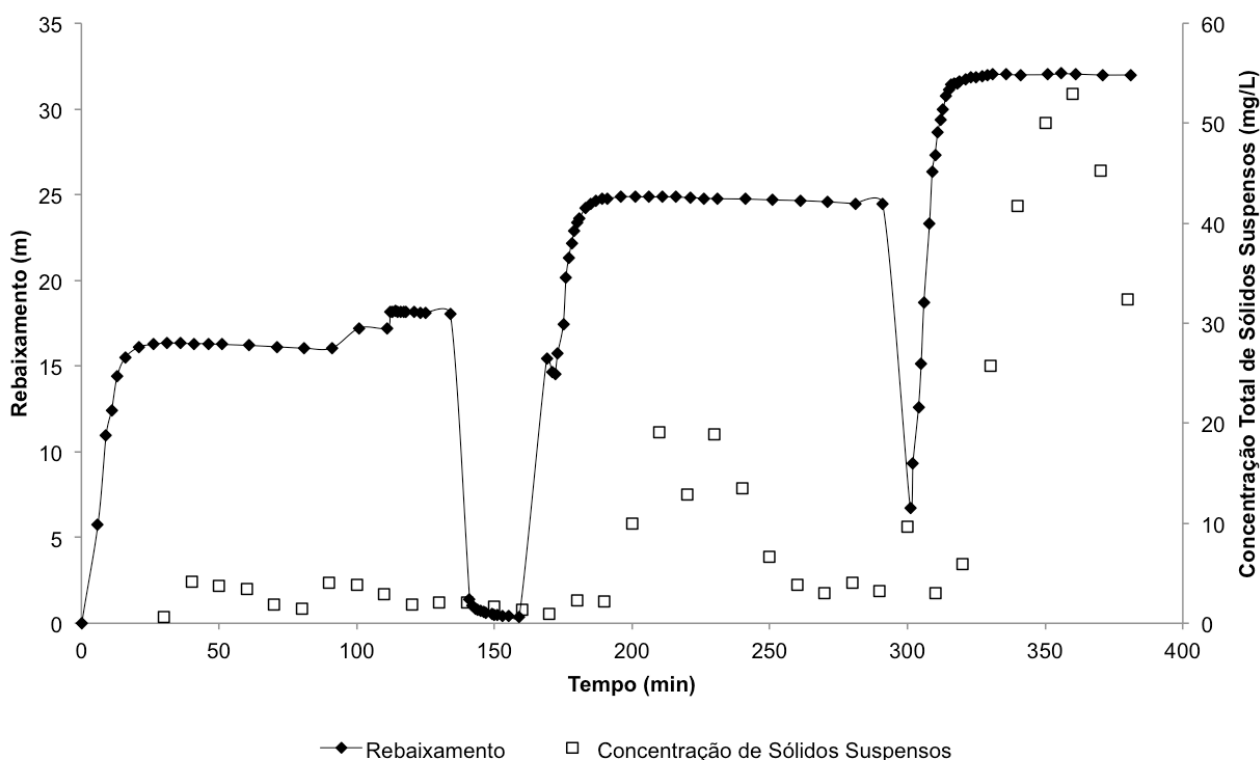
**Figura 13** - Evolução do rebaixamento e da concentração total de sólidos suspensos, ao longo do ensaio de caudal realizado a 22 de Março de 2010.

O desfasamento entre os dois perfis (rebaixamentos e concentração total de sólidos suspensos) dever-se-á ao facto da bomba arrancar em modo progressivo e a água demorar alguns minutos até chegar à unidade de engarrafamento de água, onde as amostras de água foram recolhidas. Assim, o aumento da concentração total de sólidos suspensos na água, provocado pelo aumento progressivo do caudal, só vai ser evidenciado após alguns minutos de ensaio. Além disso, o aquífero apresenta uma determinada elasticidade que lhe permite, nos primeiros minutos de ensaio, ajustar-se às alterações provocadas pela bombagem de água, não havendo arrastamento de materiais do aquífero. Contudo, com o aumento progressivo do caudal, observa-se um aumento acentuado de sólidos suspensos na água.

No caso das amostras de água recolhidas durante o ensaio escalonado, as filtrações foram realizadas no Laboratório de Águas do Departamento de Ciências da Terra, da Universidade do Minho. Aqui, o sistema de filtração permitia a recuperação da água filtrada, tendo-se optado por filtrar, primeiramente, a amostra numa membrana filtrante de  $0,45 \mu\text{m}$  e depois numa de  $0,22 \mu\text{m}$ . Devido à elevada quantidade de sólidos suspensos em algumas amostras de água, houve a necessidade de se usarem várias membranas filtrantes de  $0,45 \mu\text{m}$  e, por vezes, de  $0,22 \mu\text{m}$  para a mesma amostra (até seis membranas filtrantes de  $0,45 \mu\text{m}$ /amostra). A secagem destas membranas filtrantes foi mais morosa que as do ensaio anterior, uma vez que, na ausência de estufas a  $25^\circ\text{C}$ , a sua secagem foi efectuada no exsiccador por um período de 3 semanas.

Na Figura 14 pode-se observar a evolução da concentração total de sólidos suspensos na água com os rebaixamentos obtidos ao longo do ensaio escalonado. Observa-se uma primeira fase mais ou menos estável relativamente à concentração de sólidos suspensos, com valores médios de  $2,38 \text{ mg/L}$ , correspondente ao primeiro escalão e a parte do segundo escalão. Neste último, o pico de concentração total de sólidos suspensos ocorre com um atraso, comparativamente com a fase transitória do perfil de rebaixamento, como já tinha ocorrido no ensaio a caudal constante. Após este pico, dos 200 aos 240 min de ensaio, a concentração de sólidos suspensos reduz-se para valores da ordem dos  $7,49 \text{ mg/L}$ . No terceiro escalão, como há aumento do caudal de extração, verifica-se um novo pico de concentração, atingindo os valores mais altos registados em todos os ensaios.





**Figura 14** – Evolução do rebaixamento e da concentração total de sólidos suspensos ao longo do ensaio de caudal escalonado realizado a 26 de Abril de 2010.

Assim sendo, pode-se dizer que variações de caudais de extração, até pela simples mudança de depósito de enchimento, afectam o nível piezométrico e consequentemente a quantidade de sólidos suspensos.

#### 4.2.2. Mineralogia dos sólidos em suspensão

A caracterização mineralógica dos materiais retidos nos filtros consistiu em análises por difração de raios X dos sólidos suspensos das amostras de água recolhidas no decurso dos ensaios de caudal realizados. A porção analisada foi obtida por filtração em membranas de  $0,45 \mu\text{m}$  e  $0,22 \mu\text{m}$ . Dada a elevada quantidade de membranas filtrantes usadas nos ensaios de caudal realizados, foram seleccionadas apenas algumas, consideradas representativas das diversas fases do ensaio.

As análises por DRX realizaram-se diretamente sobre o papel das membranas filtrantes, usando-se um equipamento Philips X'PERT PRO-MPD, com gerador PW3040 de radiação  $K\alpha\text{-Cu}$  a 50 kV e a 40 mA. O passo foi de  $0,02^\circ 2\theta$  e o tempo de contagem foi de 1,25 s. Foi utilizado o software analítico *X'Pert Graphics and Identify*, desenvolvido pela Philips.

A estimativa da composição mineralógica por DRX dos sólidos suspensos retidos nas membranas filtrantes foi efectuada a partir de picos diagnósticos para as diferentes fases mineralógicas identificadas (Brindley e Brown, 1980; Gomes, 1988; Moore e Reynolds, 1997; Velho *et al.*, 1998). Na Tabela 3 estão apresentados os respectivos resultados.

De um modo geral, as fases mineralógicas identificadas por DRX dos sólidos suspensos retidos nas membranas filtrantes englobam quartzo, feldspato potássico, plagioclase, moscovite e, em menor quantidade, minerais argilosos 2:1 (por ex: vermiculite, esmectite, interestratificados vermiculíticos) e 1:1 (caulinite), assim como, alguma goethite, entre os óxidos de ferro (Tabela 3).

De entre as amostras de sólidos suspensos e depositados nas membranas filtrantes, foram escolhidas apenas algumas (das representativas de cada ensaio de caudal) em que a quantidade de sólidos era minimamente suficiente para uma análise por DRX (Tabela 3) tendo em consideração que a análise foi realizada diretamente sobre o papel das membranas filtrantes. No entanto, a quantidade de amostra era demasiado pequena para a identificação dos minerais argilosos cuja metodologia é referida em tratados como Brindley e Brown (1980) e Moore e Reynolds (1997). Por essa razão, na Tabela 3 surgem minerais argilosos 2:1 cujo padrão de difração indica a presença de fases entre  $15 \text{ \AA}$  e  $14 \text{ \AA}$  e, também, fases vestigiais a cerca de  $12 \text{ \AA}$ . Estes minerais 2:1 poderão corresponder a vermiculites, interestratificados mica-

vermiculite e/ou esmectites. Os minerais 1:1 correspondem, sem qualquer dúvida, aos minerais do grupo da caulinite.

**Tabela 3** – Estimativa (em %) da composição mineralógica por DRX dos sólidos suspensos retidos nas membranas filtrantes. Qz - quartzo; FK - feldspato potássico; Pl - plagioclase; Mo - moscovite; 2:1 - minerais argilosos 2:1; 1:1 - minerais argilosos 1:1; Goe - goethite; tr - vestigial; - não detectado. A – amostra do ensaio a caudal constante; E – amostra do ensaio escalonado (o nº junto do “E” indica o escalão).

Minerais	Qz	FK	Pl	Mo	2:1	1:1	Goe	
<b>Picos diagnósticos (Å)</b>	4,25	3,24	3,18-3,20	10	15-14	12	7	4,18
<b>Amostras</b>								
A-9	9	10	7	61	3	tr	11	-
A-11	27	38	27	5	-	-	2	-
A-26	12	-	-	64	2	tr	22	-
A-27	-	-	12	71	tr	-	17	-
E1-18	13	6	-	54	11	tr	16	tr
E1-23	11	11	-	56	9	tr	14	-
E1-25	-	26	-	54	7	tr	14	-
E2-30	6	10	-	59	10	tr	15	-
E2-35	27	18	40	12	tr	0	2	tr
E2-41	15	8	46	22	2	tr	7	-
E3-43	6	82	-	6	2	tr	4	-
E3-44	29	13	19	27	4	tr	8	-
E3-48	43	11	41	4	-	-	1	-

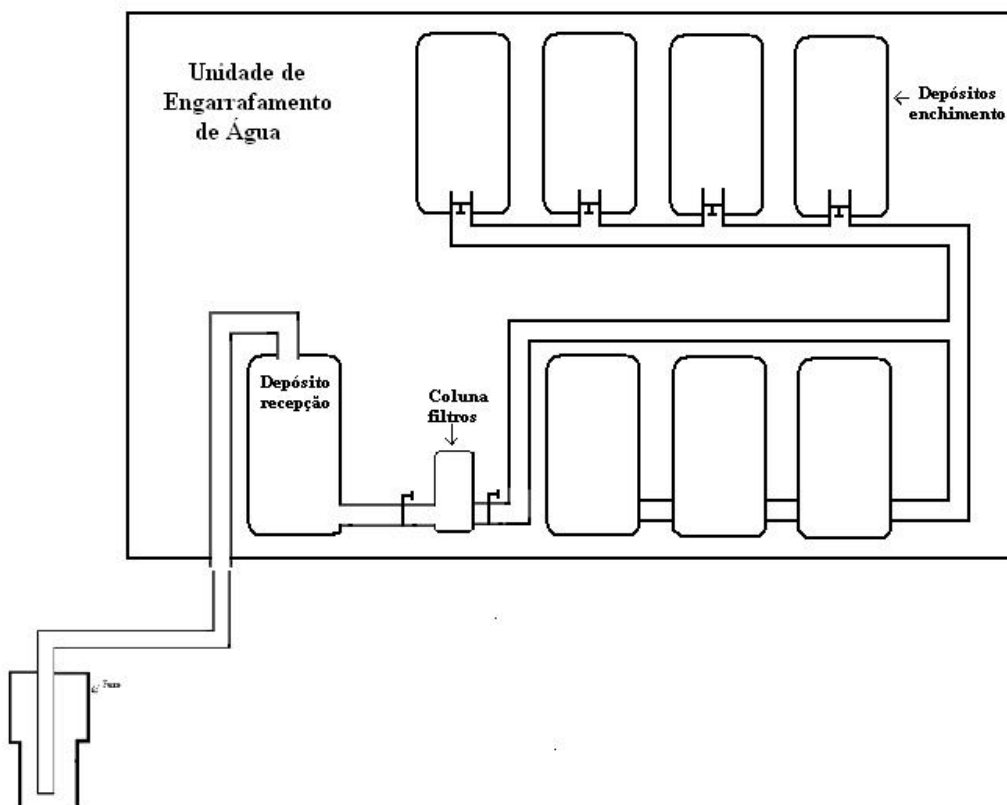
#### 4.3. Proposta de plano de exploração

Tratando-se de uma captação em exploração para engarrafamento de água, é fundamental existir um plano de exploração sustentado que tenha em consideração os aspectos quantitativos e qualitativos da água captada, de tal forma que a contínua extração de água não altere o regime de funcionamento do aquífero, nem mesmo as suas propriedades, prolongando-se, assim, o tempo de vida da captação e a sustentabilidade do recurso.

De acordo com o que foi referido anteriormente, os principais problemas com que nos deparamos na exploração da captação PS1 são: variações dos caudais de extração devido a efeitos de pressão causados pela coluna de água dentro dos depósitos; oscilações do nível piezométrico e, conseqüentemente, movimentação de consideráveis quantidades de sólidos suspensos na água, resultantes das variações nos caudais de extração.

Assim, de forma a eliminar os efeitos de pressão sobre a coluna de água bombeada e que afectam o caudal de extração, propõe-se a colocação de um depósito de recepção de água, na unidade de engarrafamento de água. Este será colocado antes da coluna de filtros, ou seja, receberá a água da tubagem logo que esta chegue à unidade de engarrafamento de água, sendo que a entrada de água deverá ser por cima do depósito, como representado esquematicamente na Figura 15. Desta forma, os efeitos de pressão provocados pela carga de água nos depósitos de enchimento, que atualmente afectam os caudais de extração, serão eliminados. A partir do depósito de recepção sairá água para a coluna de filtros e daqui para o enchimento dos depósitos de armazenamento de água.

Em suma, a única alteração estrutural será a da colocação de um depósito de recepção, com entrada da água pela parte superior. Daqui, a água segue o seu percurso normal, ou seja, passa da coluna de filtros para os depósitos de armazenamento de água.



**Figura 15** – Esquema representativo da colocação do depósito de recepção de água e seu encaminhamento para coluna de filtros e, posteriormente, para os depósitos de armazenamento.

Uma vez eliminados os efeitos de pressão, resta-nos o problema das oscilações do nível piezométrico e da quantidade de sólidos suspensos na água com elas relacionadas. Como já foi referido, os rebaixamentos do nível piezométrico são proporcionais aos caudais de extração de tal forma que pequenas variações dos caudais de extração provocam oscilações do nível piezométrico. Consequentemente, ocorrem movimentações de consideráveis quantidades de sólidos suspensos na água.

Deste modo, para a extração de água sem grandes perdas de qualidade da mesma, ou seja, sem arrastamento de consideráveis quantidades de sólidos suspensos, aconselha-se um caudal de extração na ordem dos 25 m<sup>3</sup>/h. No caso das necessidades da unidade de engarrafamento obrigarem a um incremento do caudal de extração, este não deverá exceder os 35 m<sup>3</sup>/h, uma vez que a água bombeada será de menor qualidade.

Em todas as situações, recomenda-se que, uma vez iniciada a bombagem de água, devido a paragens propositadas ou não da bomba de extração, se aguarde entre 70 e 120 min sem aproveitamento de água para o enchimento dos depósitos, dado que já se ultrapassou, certamente, o pico de concentração de sólidos suspensos (que como vimos, ocorre desfasado da fase transitória do perfil de rebaixamento).

Por último, aconselha-se a realização de um novo ensaio de caudal após a aplicação das recomendações anteriores, de forma a avaliar-se as melhorias na exploração da captação PS1.

## 5. Conclusões

O presente trabalho de investigação teve como objectivo fundamental a elaboração de um plano de exploração, para a captação PS1, tendo em consideração os aspectos quantitativos e qualitativos da água captada, de tal forma que a extração de água não altere o regime de funcionamento do aquífero, nem mesmo as suas propriedades, prolongando-se, assim, o tempo de vida da captação e a sustentabilidade do recurso.

Neste sentido, foram definidos alguns objectivos operacionais que levaram à aplicação de procedimentos distintos, entre eles, a realização de ensaios de caudal (a caudal constante e ensaio escalonado) e análises de difração de raios X.



A caracterização mineralógica dos materiais retidos nos filtros consistiu em análises por DRX dos sólidos suspensos retidos nas membranas filtrantes, sendo que as estimativas da composição mineralógica foram efectuadas a partir de picos diagnósticos para as diferentes fases mineralógicas identificadas. De um modo geral, as fases mineralógicas identificadas por DRX dos sólidos suspensos retidos nas membranas filtrantes englobam quartzo, feldspato potássico, plagioclase, moscovite e, em menor quantidade, minerais argilosos 2:1 (por ex: vermiculite, esmectite, interestratificados vermiculíticos) e 1:1 (caulinite), assim como, alguma goethite, entre os óxidos de ferro.

Da interpretação dos dados obtidos nos ensaios de caudal, constatou-se que a captação PS1 é uma captação eficiente, implantada num aquífero semi-confinado, sem perdas de carga significativas, a funcionar em regime laminar ( $n=1$ ). Da aplicação do método de Hantush aos dados de campo, no programa AquiferTest, o melhor ajuste da curva de campo obtido, produziu um valor de transmissividade de  $1,51 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/min, ou seja, 0,22 m<sup>2</sup>/dia, um valor muito inferior aos encontrados noutros locais das mesmas formações geológicas.

Investigaram-se os efeitos que pequenas alterações no regime de extração de água têm sobre os caudais de extração, conseqüentemente, sobre os rebaixamentos provocados e, em última análise, sobre a quantidade de sólidos suspensos transportados desde a captação até aos depósitos.

Da comparação dos perfis de rebaixamento com os perfis da evolução da concentração de sólidos suspensos, verifica-se que existe um desfasamento, de aproximadamente duas horas, entre ambos. Este, dever-se-á ao facto da bomba arrancar em modo progressivo e da água demorar alguns minutos até chegar à unidade de engarrafamento de água, local onde foram recolhidas as amostras de água. Além disso, a transmissão da perturbação induzida pela bombagem a zonas mais afastadas da captação não é imediata, o que faz com que alterações provocadas pela bombagem não provoquem arrastamento de materiais do aquífero nos momentos iniciais.

Apresentando os caudais de extração relações bem definidas, quer com os rebaixamentos do nível piezométrico, quer com as concentrações de sólidos suspensos arrastados na água bombeada, é de enorme importância o controlo das suas variações. Uma vez que estas variações nos caudais de extração se devem a efeitos de pressão causados pela coluna de água dentro dos depósitos, propõe-se a colocação de um depósito de recepção de água, na unidade de engarrafamento de água, com entrada da água pela parte superior.

Para a extração de água sem grandes perdas de qualidade da mesma, isto é, sem arrastamento de consideráveis quantidades de sólidos suspensos, aconselha-se que os caudais de extração sejam por volta dos 25 m<sup>3</sup>/h, para que a quantidade diária de sólidos suspensos seja baixa, isto é, a água bombeada seja de maior qualidade. No caso das necessidades da unidade de engarrafamento obrigarem a um incremento do caudal de extração, este não deverá exceder os 35 m<sup>3</sup>/h, uma vez que a concentração diária de sólidos suspensos aumenta consideravelmente, havendo perda da qualidade da água bombeada.

Em todas as situações, recomenda-se que, uma vez iniciada a bombagem de água, devido a paragens propositadas ou não da bomba de extração, se aguarde entre 70 minutos e 120 minutos sem aproveitamento de água para enchimento dos depósitos.

Por último, aconselha-se a realização de um novo ensaio de caudal após a aplicação das medidas anteriores, de forma a avaliar a eficiência dessas medidas.

## Referências Bibliográficas

- Almeida, C.; Mendonça, J. J. L.; Jesus, M. R. e Gomes, A. G. (2000a) – *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. Bacia do Tejo-Sado (T)*. Centro de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Instituto da Água, Lisboa. 600-601 p.
- Almeida, C.; Mendonça, J. J. L.; Jesus, M. R. e Gomes, A. G. (2000b) – *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. Sistema Aquífero Margem Esquerda (T3)*. Centro de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Instituto da Água, Lisboa. 615-640 p.

- Brindley, G. W. e Brown, G. (1980) – *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification*.  
Monograph no. 5, Mineralogical Society, London. 495 p.
- Decreto-Lei nº 84/90 de 16 de Março. *Diário da República nº 63/90 – I Série*. Ministério da Indústria e Energia.
- Gomes, C. F. (1988) – *Argilas. O que são e para que servem*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 457 p.
- Gonçalves, F.; Zbyszewski, G.; Caravahosa, A. e Coelho, A. P. (1979) – *Carta Geológica de Portugal, Escala 1/50 000. Notícia Explicativa da Folha 27-D*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. 75 p.
- Graça, H. (2002) - *Controlo de Qualidade e Monitorização de Captações de Água Mineral ou de Nascente*.  
Prospecção, Pesquisa e Captação de Águas Minerais Naturais, Recursos Geotérmicos e Águas de Nascente. IGM.
- Lima, A. (2008) – *Estudo Hidrogeológico da Área de Implantação da Captação PS1 (Ulme-Chamusca)*.  
Braga. 36 p.
- Martinez, M. V. e Lopez, A. I. (1984) – *Pozos y Acuíferos. Técnicas de Evaluacion Mediante Ensayos de Bombeo*. Instituto Geologico y Minero de Espanã. Talleres Gráficos IBERGESA, Madrid. 426 p.
- Moore, D. M. e Reynolds, R. C. (1997) – *X-Ray Diffraction and The Identification and Analysis of Clay Minerals*. Second Edition, Oxford University Press, New York. 378 p.
- Ribeiro, A.; Antunes, M. T.; Ferreira, M. P.; Rocha, R. B.; Soares, A. F.; Zbyszewski, G.; Almeida, F.; Carvalho, D. e Monteiro, J. H. (1979) – *Introduction à la Géologie du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. 113 p.
- Rubio, J. M. e Magán, P. R. (1998) – *Aguas Subterráneas. Captación y Aprovechamiento*. PROGENSA, Sevilla. 404 p.
- Velho, J.; Gomes, C. e Romariz, C. (1998) – *Minerais Industriais. Geologia, Propriedades, Tratamento, Aplicações, Especificações, Produções e Mercados*. 591 p.
- Zbyszewski, G. e Ferreira, O. V. (1979) - *Carta Geológica de Portugal, Escala 1/50 000. Notícia Explicativa da Folha 31-B*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. 27 p.