

# PROJECTO DE CAMPO DE CAPTAÇÃO SUSTENTÁVEL NUM AQUÍFERO COSTEIRO ARENOSO E DELGADO – OSSO DA BALEIA, MUNICÍPIO DE POMBAL, PORTUGAL

Manuel João Abrunhosa<sup>1</sup>

**Resumo** - O armazenamento estratégico de gás natural em Portugal será feito em reservatórios subterrâneos profundos abertos por lixiviação em diapiros de sal-gema no litoral centro do país. Será necessário um caudal permanente e garantido de 600m<sup>3</sup>/h durante dez anos. Após a impossibilidade técnica de cumprir um projecto-base inicialmente considerado para a origem de água, foi desenvolvido um projecto alternativo que consiste num campo de captação com vinte poços tubulares idênticos, adequadamente dispostos num alinhamento paralelo à costa. Exploram parte do fluxo natural do aquífero que descarregaria ao mar, na praia, sem aproveitamento, centenas de metros a juzante. Fortes exigências ambientais obrigam à minimização do abaixamento artificial da piezometria, nos poços e neste aquífero livre costeiro, de matriz arenosa fina ( $d_{10}<0.2\text{mm}$ ), com reduzida espessura saturada (média $<15\text{m}$ ), extensão limitada ( $L<5\text{km}$ ) e recarga local. Os poços foram construídos por meio de técnica não convencional usando meios da geotecnia de fundações. Dispõem de duas camadas concêntricas de areão silicioso calibrado e uma coluna de captação com filtros de fenda contínua. O ritmo de construção foi de três dias por poço. A extracção de água faz-se com bombagem permanente a caudal variável, controlado por sistema electrónico. O sistema tem potencialidades a explorar em regiões costeiras similares, sensíveis.

**Abstract** – The strategic natural gas storage in Portugal will be accomplished in deep underground reservoirs leached in rock-salt diapirs in the north central coast of the country. The system expects a permanent water supply of 600m<sup>3</sup>/h. Following the technical impossibility of a previous basic design, an alternative was developed consisting in a well field with twenty identical tubular water wells properly placed along a line parallel to the coast. Abstracted ground water is a predetermined fraction of the natural base flow. Aquifer management strictly limit piezometry lowering at each well and aquifer, that is unconfined, shallow, thin ( $<15\text{m}$ ), with fine homogeneous sands ( $d_{10}<0.2\text{mm}$ ), limited length ( $<5\text{km}$ ). Wells were built with pile foundations equipment and (ca.21m average)

---

<sup>1</sup> Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. CGUP/FCT; Praça Gomes Teixeira 4099-002 Porto – Portugal; +351-223401400; +351-222056456  
CGN - Consultores de Geologia Limitada ; Direcção Técnica ; Rua Machado dos Santos 378 R/C Traseiras Dto; 4400-209 Vila Nova de Gaia; ; Portugal ; 00351223799674; 00351223799674; cgnconsult@tvtel.pt

completed in three days each. Water intake a double layer filter pack and continuous slot wire wrapped stainless steel filter. Water is continuously abstracted with stainless steel submersible pumps running at variable rate, controlled by local sensors and programmed units communicating to a computer master. Level is the main conditioning factor. The aquifer has been used with the minimum stress, and is continuously monitored to retrofit optimum exploitation scenarios.

This system is well adapted to aquifers that may suffer from changing conditions or are in environmental sensible areas, as this coastal aquifer.

**Palavras-Chave** –Captação; campo de captação; aquífero costeiro; poços tubulares; filtro; bombeamento a caudal variável; exploração sustentada; gestão de aquíferos.

O armazenamento estratégico de gás natural em Portugal será feito em reservatórios subterrâneos profundos abertos por lixiviação em diapiros de sal-gema no litoral centro do país (paralelo 40°N). Será necessário um caudal permanente e garantido de 600m<sup>3</sup>/h durante dez anos.

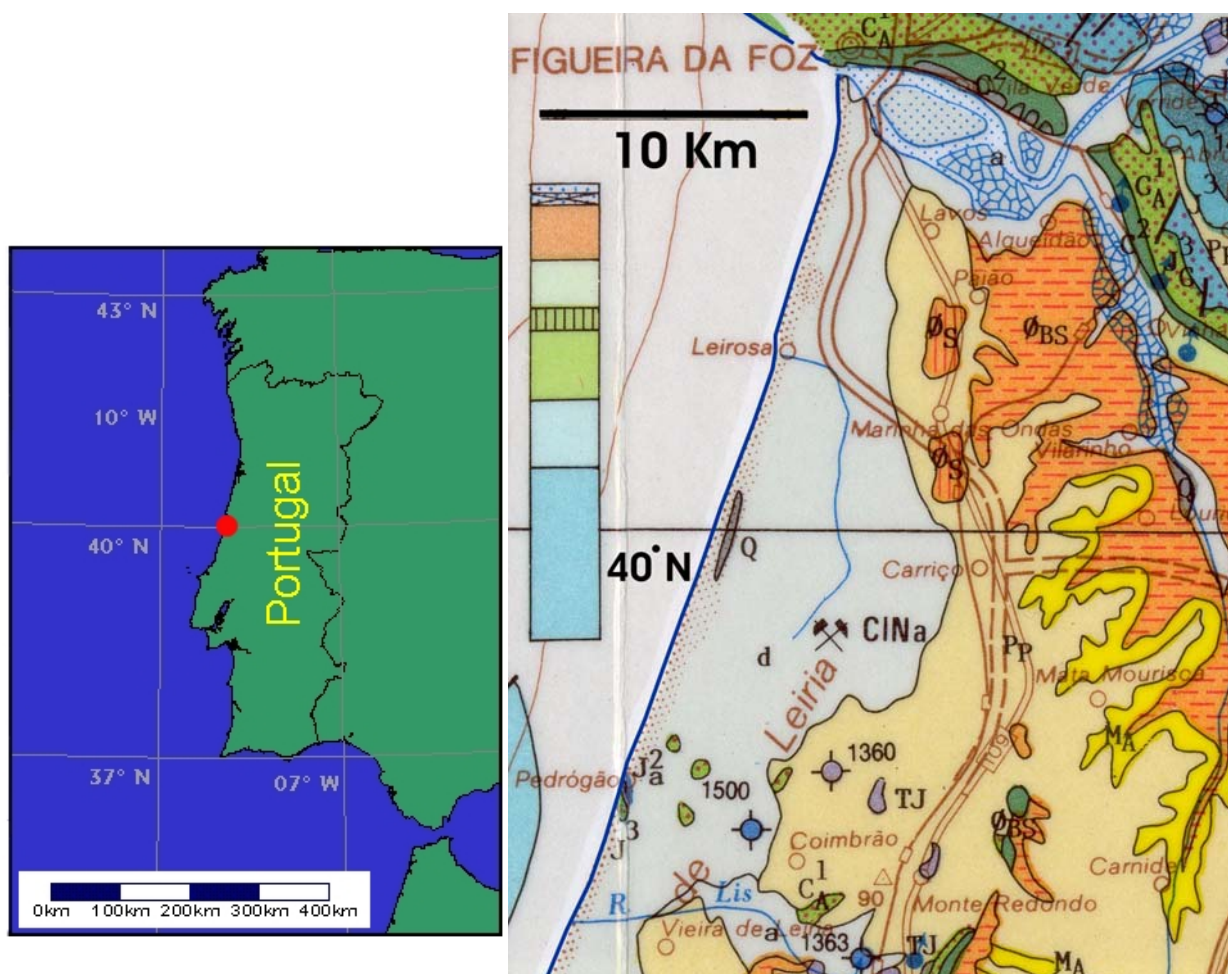


Figura 1 - Localização da área do projecto em mapa geral de Portugal e na Carta Geológica de Portugal (IGM) de escala 1:500.000, no paralelo 40

A origem de água que foi inicialmente considerada baseava-se num poço de drenos radiais de tecnologia Fehlman. Este poço seria construído a escassa distância da linha de costa, extraindo água do aquífero continental e, principalmente, água captada por infiltração induzida do reservatório oceânico em contacto directo, dada a proximidade. A natureza da água captada não afectaria significativamente o processo de lixiviação.

Algumas sondagens próximas destinadas a otimizar a localização do previsto poço de drenos radiais detectaram nessa zona, e posteriormente outras confirmaram o mesmo numa área em redor com cerca de 2 km de raio, que o aquífero livre (areias do Quaternário recente) era, de facto, bastante homogéneo, composto por areias siliciosas finas, com diâmetro médio de partículas de cerca de 0.5mm e diâmetro eficaz ( $d_{10}$ ) inferior a 0.2mm. A espessura saturada média é de 13m, por vezes inferior a 10m. A recarga é exclusivamente pluvial local (precipitação média 1100mm), maximizada pelo baixo declive regional, ausência de descargas superficiais (nascentes, rios) e cobertura extensiva de areias dunares fixadas por coberto de pinheiral e mato. Os gradientes de escoamento subterrâneo natural são regionalmente regulares, dirigidos à costa, e moderados (cerca de 0.015). Estes dados inviabilizaram a solução inicialmente preconizada, tanto mais que não foi autorizada a construção de captações a uma curta distância da costa, em processo acelerado de erosão da estrutura dunar.



Figura 2 – Vista aérea oblíqua da costa marítima, cerca de 10km a sul da área central do projecto, mostrando a foz do Rio Liz. Entre este ponto e Leirosa, a cerca de 7km a norte do local central do projecto, não existe qualquer outra descarga de rio ou ribeira ao mar.

Na procura de soluções alternativas foi tido em conta a impossibilidade de tomadas directas no mar e o aproveitamento de águas superficiais em rios, nomeadamente o Mondego, a dezenas de quilómetros do local de consumo. Foi manifestado o interesse governamental em aproveitar aquele aquífero, já que era a única origem de água subterrânea disponibilizada para o empreendimento. Os restantes aquíferos regionais, ou são muito pobres, ou estão sendo explorados no limite sustentável. No enquadramento de restrições ambientais muito fortes, nomeadamente acerca das inevitáveis alterações da piezometria, foi estudada uma solução alternativa de captação que se provou ser viável e sustentável. Dada a urgência, recorreu-se a uma campanha restrita de sondagens complementares e geofísica terrestre, a reconhecimentos de campo e ao estudo de inventários. Foram propostos modelos conceptuais e desenvolvido um modelo numérico (MODFLOW) em regime de escassez de informação. Em três meses foi proposta uma nova solução base.

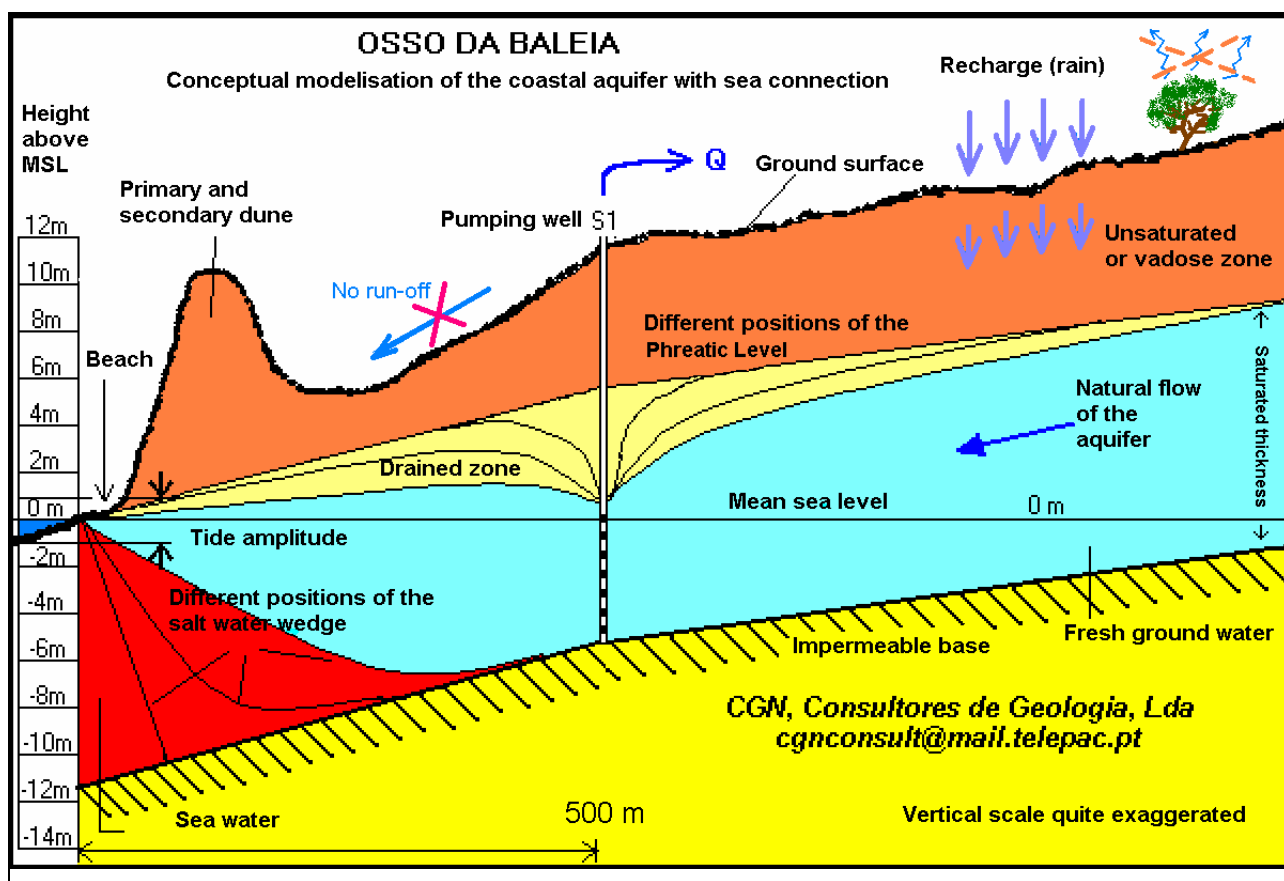


Figura 3 – Modelo conceptual esquemático do aquífero litoral. Vista ao longo das linhas de fluxo (perpendicular à costa).

Consistia na intersecção e captação da água subterrânea que fluía naturalmente do continente em direcção ao oceano através daquele aquífero tabular limitado. A captação seria feita por uma série de poços dispostos num alinhamento paralelo à linha de costa, o qual teve que ser deslocado em dada altura, por imposições ambientais, do litoral imediato para algumas centenas de metros para montante, o que minorava o factor vantajoso (em termos quantitativos) de significativa indução de

água marinha. Os poços foram quantificados e distanciados entre si por forma a compatibilizar numerosos factores com a implicação económica, a maximização da produção individual, a minimização do número de poços, a minimização das interferências mútuas a longo prazo, a minimização da extensão máxima do alinhamento de poços e respectivas condutas de água, linhas eléctricas e de comando electrónico, a minimização da profundidade de poços individuais, a limitação do máximo rebaixamento da superfície freática em cada poço durante o bombeamento em cerca de 5 metros e a minimização dos rebaixamentos induzidos na zona de influência do campo de poços. Era condição a intercepção de somente uma fracção limitada e controlada do escoamento natural por forma a causar o mínimo de distúrbios ambientais à flora e à descarga do aquífero ao mar. A distância média entre poços no alinhamento projectado resultou em cerca de 200m.

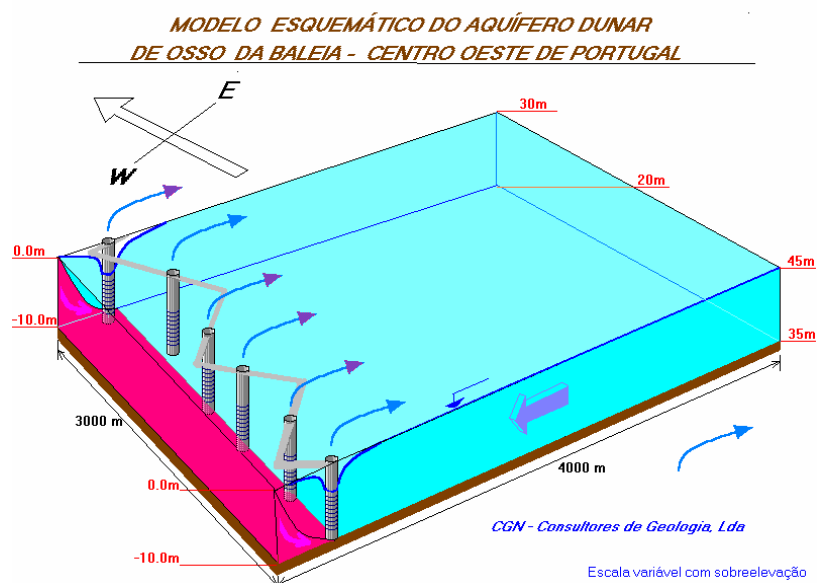


Figura 4 – Modelo esquemático do dispositivo de captação. A estrutura em zig-zag representa o acesso permitido através da mata, em caminhos de padrão reticulado, o que implicou uma certa distorção da geometria do campo de captação, que foi tida em conta.

Nestas condições, o dispositivo de captação teria que ter o máximo rendimento hidráulico a nível de poço, minimizando perdas e rebaixamentos e ter, ainda assim, uma economia construtiva compatível. O prazo de construção e colocação em funcionamento foi muito apertado, dando cerca de uma semana por poço.

O aquífero não deveria ser sujeito a oscilações freáticas alternadas durante a bombagem de exploração e, ainda assim, poder dar resposta às oscilações que haveria no consumo de água. Não foi admitido em projecto um reservatório de água com função regularizadora entre a produção, nos vinte poços, e o consumo, na lixiviação de uma a duas cavernas em simultâneo. No entanto, foi projectado um reservatório no centro do alinhamento geral de poços, o qual recebe duas condutas

independentes, cada uma recolhendo sucessivamente as contribuições de 10 poços. O reservatório tem uma capacidade máxima de uma hora à taxa máxima de produção do campo de poços. Os poços estão conectados a uma conduta enterrada, de secção variável e crescente das pontas para o reservatório central. Na câmara de bombas elevatórias, anexa ao reservatório, bombeiam-se 300 ou 600 m<sup>3</sup>/hora para o consumo, através de uma outra conduta com cerca de 8km de extensão e 50m de elevação, a qual alimenta directamente as instalações lixiviação.

Dadas as suas características peculiares, o projecto foi apelidado de "invertido", pois havia vinte poços para um a dois pontos de consumo.

Em termos construtivos, os vinte poços foram projectados com igual tipologia. A sua originalidade reside na solução adoptada para maximizar o raio eficaz e minimizar as perdas de carga na transferência da água do aquífero ao poço, sem criar poços de grande diâmetro, e muito elevado custo. A formação aquífera, dadas as características granulométricas, não admitia desenvolvimento natural, nem se pretendeu um sistema em que fosse necessário proceder a desenvolvimento suplementar no filtro granular, por falta de tempo.



Figura 5 – A areia fina e uniforme do aquífero de Osso da Baleia (sobre papel milimétrico)

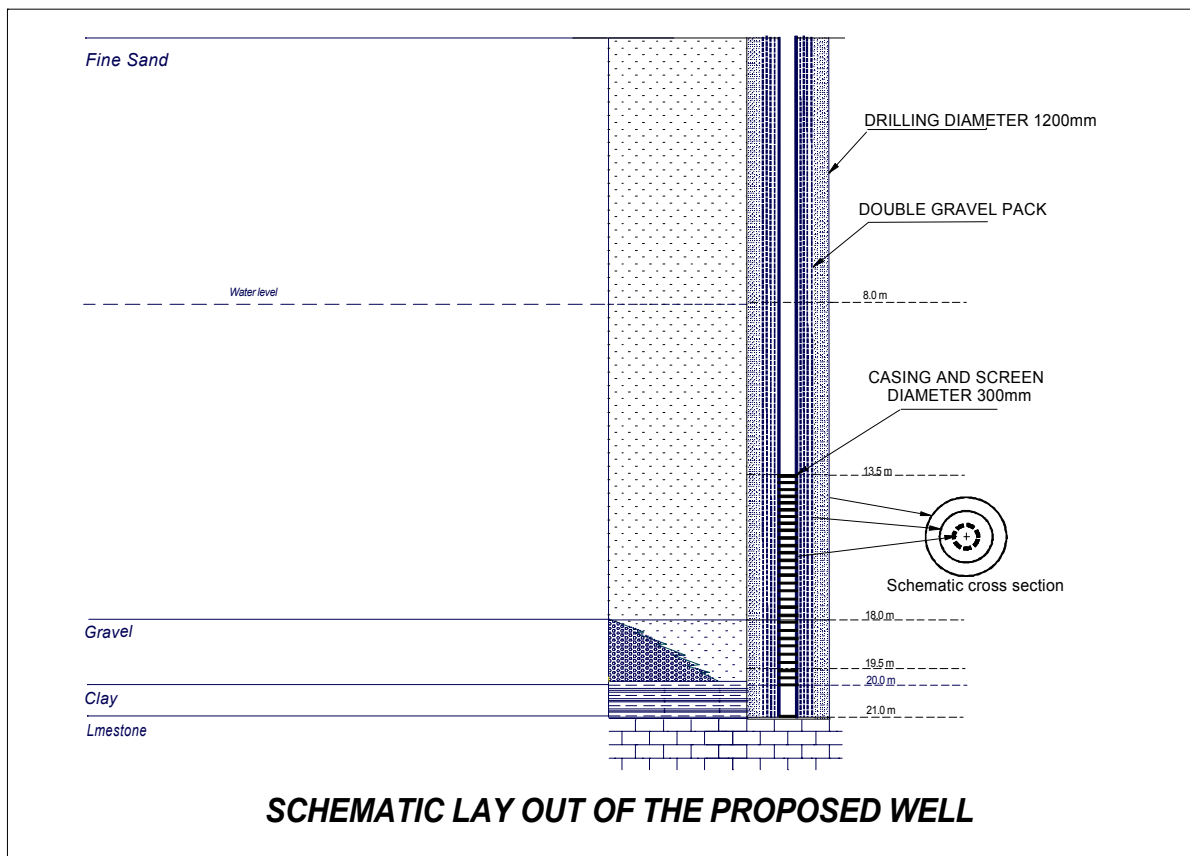


Figura 6 – Concepção base do poço tipoadoptada no projecto.

Cada poço dispõe de duas camadas cilíndricas concêntricas, com cerca de 0.20m de espessura, de areão silicioso rolado, lavado e perfeitamente calibrado, cada uma com a sua classe granulométrica, ficando a mais grosseira face ao filtro da captação tubular. O areão foi importado de França. A captação é construída em aço inoxidável. Veio pré-montada de fábrica. O diâmetro interno é de 0.30m. A composição da coluna de captação é igual para todos os poços: dois metros de tubagem cega e obturada na base, a que se seguem seis metros de filtro de ranhura contínua e idêntica, em arame trapezoidal enrolado e soldado por pontos em varetas longitudinais, também em aço inoxidável.

Daí segue tubagem cega até à superfície. A base da tubagem de captação foi apoiada na base impermeável do aquífero, sempre que possível, numa caixa de areia grosseira (sapata). Em nenhum caso se verificaram assentamentos.



Figura 7 – (ao lado) Armazenagem local das colunas de captação pré montadas (diâmetro 0.30m) e “big bags” de areia siliciosa calibrada usada para as camadas de filtro.

Figura 8 – (ao lado) Filtro em aço inoxidável de tipo ranhura contínua e abertura (“slot”) 1mm.



A furação foi efectuada com recurso a equipamento de construção geotécnica de estacaria escavada, capaz de furação até 1.2m (ou algo mais) de diâmetro a 30m de profundidade.



Figura 9 – (ao lado) Equipamento em operação de furação num acesso renovado na mata próxima à praia de Osso da Baleia.

Figura 10 (ao lado) Aplicação de revestimento provisório de 1.20m até à máxima profundidade de furação.





No presente caso foram utilizados dois revestimentos tubulares concêntricos, de carácter provisório, destinados ao sustimento das paredes do furo no terreno natural, e também a moldar a aplicação das camadas concêntricas de areão calibrado e a guiar a coluna de captação. A profundidade média dos poços é de cerca de 21m. A larga maioria atinge uma camada impermeável de base, argilosa, que está no topo de um complexo de margas, argilas e calcários compactos, supostos do Jurássico inferior, que não afloram nas imediações, mas somente muito a sul.

A programação detalhada dos trabalhos construtivos foi efectuada previamente, sem que tivesse havido a oportunidade de ensaiar métodos num furo piloto. O prazo de construção previsto de um poço, incluindo deslocação de equipamentos, um a cada três dias, com simultâneo e apertado controlo de qualidade, foi cumprido na grande maioria dos casos.

A não utilização de aditivos de furação foi uma exigência conjunta do projectista e das autoridades ambientais, o que fez com que a fase de limpeza e desenvolvimento dos poços, até à obtenção de água clara, não demorasse mais que seis horas de bombagem “air-lift”.



Figura 11 – (ao lado) Poço terminado, já dentro de caixa de protecção, durante a construção desta.

Figura 12 (ao lado) Exterior da caixa de protecção de um dos furos, antes do arrumo dos solos à superfície, e outros pequenos trabalhos: colocação de respiros e sinalização.



Os poços estão encerrados em amplas caixas de betão, em geral, semi-enterradas, contendo no seu interior, para além do equipamento da linha hidráulica, e em armários técnicos, todos os equipamentos eléctricos e electrónicos.

As captações foram ensaiadas após a construção por meio bombagem contínua de 48 h de duração. Utilizaram-se electrobombas submersíveis, controlo de caudais com caudalímetros digitais e registo de níveis com sensores electrónicos de altura de carga de água com “data logger” incorporado. A produção média esperada no projecto, 30m<sup>3</sup>/hora por poço, em regime permanente, e para as condições de rebaixamento impostas foi maioritariamente comprovada. Ocorreram alguns desvios negativos que foram atribuídos à intersecção inesperada de uma camada de turfa limosa e à muito pequena espessura saturada sobre altos fundos. Os desvios positivos foram explicados pela ocorrência de zonas com transmissividade acima da média (maior espessura saturada ou camadas mais grosseiras).

A extração de água, em produção, faz-se com bombas eléctricas submersíveis em aço inoxidável resistente a águas salinizadas. Cada bomba trabalha em regime de caudal variável imposto pela alimentação eléctrica proveniente de um variador electrónico de velocidade do motor da bomba. O arranque é programado em rampa extra-lenta (vários minutos até ser atingido o valor de caudal pré-determinado máximo). O caudal é continuamente controlado por um caudalímetro electrónico que comunica com o variador e um computador central através de uma unidade lógica local. O comando do sistema é feito pela piezometria no poço e pelo caudal máximo programado para cada poço, o qual pode ser alterado remotamente, caso haja necessidade. O nível de água no furo é continuamente monitorado por sonda electrónica de altura de carga de água. Por programação do sistema, a produção global adapta-se em tempo real às necessidades do consumo, recebidas no reservatório central já referido, como variações do seu nível de armazenamento medida continuamente com sonda electrónica de nível. Numa central de comando existente num compartimento local dedicado, e numa central de comando remoto, junto do consumo, o sistema de comunicação permite acompanhar graficamente a produção de água, o estado de todos os componentes hidráulicos, eléctricos e electrónicos, monitorar níveis nos poços e caudais, gerar relatórios e aceder a ordens manuais aos poços e seus equipamentos, se necessário.

O sistema está em função satisfatória, embora se registre a necessidade de reforço de uma supervisão técnica e hidrogeológica profissional, que aliás foi considerada na fase de projecto.

Todo o sistema construído contempla a possibilidade de extensão futura do campo de poços, com consequente aumento da produção ou da segurança da produção, mantendo os requisitos ambientais.

Por todo o mundo existem numerosas zonas, nomeadamente costeiras, muito similares a esta, caracterizadas por grande demanda de água potável, a qual ocorre naturalmente em aquíferos livres delgados e de pequena produtividade individual, compostos por areias muito finas e pouco permeáveis, e que são também zonas muito sensíveis na perspectiva ambiental e na gestão

quantitativa e qualitativa de recursos. Este sistema de captação e controlo está a provar ser uma boa solução para a gestão destes aquíferos, permitindo extracções quantitativamente importantes.

O monitoramento ambiental é efectuado pelo projecto e por entidades independentes e não tem detectado alterações inesperadas ao fluxo subterrâneo. Até à data, não há incremento da intrusão salina e a composição da água do aquífero mantêm-se como antes, ou seja, com excelente qualidade compatível, de acordo com o normativo, com a produção de água para consumo humano sem tratamento físico-químico significativo.

Como nota final, a protecção ambiental desta zona, integrada no chamado “Pinhal de Leiria”, é uma exigência que tem a ver também com o Brasil (e outros territórios da Lusofonia) e os deveres desta terra-mãe Portugal. Foi aqui que se criaram as árvores com as terão sido construídas as caravelas dos Descobrimentos.