

# **A GEOFÍSICA NA PROTECÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. MAPEAMENTO DE ZONAS DE RISCO NO VALE DO TEJO-SADO RECORRENDO A PROSPECÇÃO GEOELÉCTRICA.**

Rui M. D. GONÇALVES <sup>1</sup>, António. R. ANDRADE AFONSO <sup>2</sup>

## **RESUMO**

A definição de zonas mais ou menos permeáveis no vale do Tejo-Sado, não é fácil de obter. Recorrendo aos parâmetros hidrológicos e descrições litológicas dos furos existentes, observamos uma grande dispersão dos valores e uma enorme alternância de camadas litológicas. A interpretação do levantamento geoelectrico efectuado no vale do Tejo-Sado permite-nos uma visão em escala larga da protecção natural que os aquíferos aí existentes têm. É feito o mapeamento recorrendo aos diversos tipos de curvas de campo das sondagens eléctricas verticais e às resistividades obtidas das inversões das mesmas curvas. São usados como comparação, dados da qualidade da água subterrânea em termos de compostos poluidores. Verificam-se certas zonas de menor protecção à infiltração de poluentes através do solo.

**Palavras-chave:** aquífero, poluição, prospecção eléctrica

---

<sup>(1)</sup> Rui Gonçalves, Geofísico, estudante mestrado - Dep. Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (m13406@correio.cc.fc.ul.pt) e Instituto Geológico e Mineiro (rui.goncalves@igm.pt), Portugal

<sup>(2)</sup> Andrade Afonso, Geofísico, professor auxiliar - Dep. Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (np01vb@mail.telepac.pt), Portugal

## 1 - INTRODUÇÃO

O vale do Tejo-Sado é a maior bacia aluvionar de Portugal e engloba igualmente o maior sistema aquífero do País (figura 1). A importância deste sistema é enorme, quer devido ao seu grande volume de armazenamento, LOBO-FERREIRA (1993), quer devido à sua proximidade da região da *grande Lisboa*, podendo funcionar como reserva estratégica em tempo de seca.

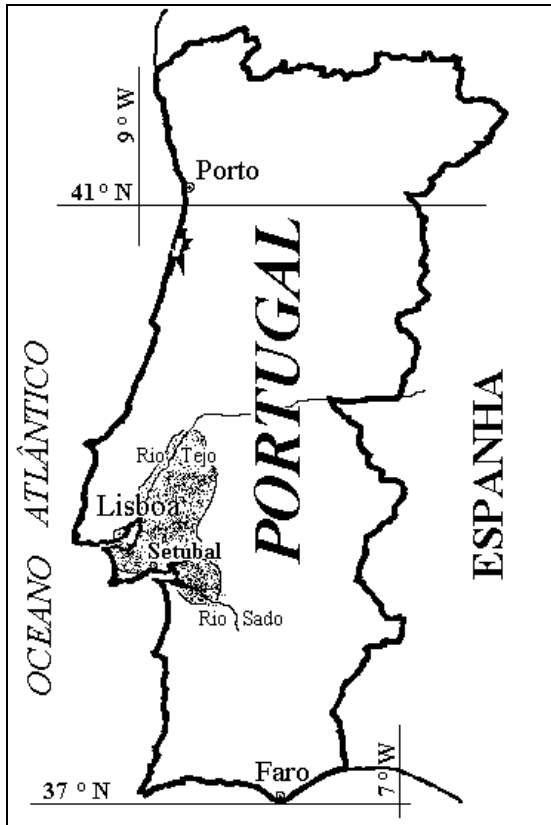


Figura 1 - Mapa de Portugal com a localização da bacia do vale do Tejo-Sado.

O vale do Tejo-Sado é uma região simultaneamente agrícola e industrial. Este facto, no actualmente estado de desenvolvimento, implica um impacto negativo sobre o ecossistema envolvente, nomeadamente nos recursos hídricos subterrâneos.

As práticas agrícolas, com recurso a fertilizantes e venenos químicos, e a indústria (incluindo os veículos automóveis) com a emissão directa para o solo e/ou atmosfera dos seus resíduos, são em escala alargada, as grandes fontes de poluição. A nível local existem muitas mais fontes poluidoras, produto do nosso egoísmo e desrespeito pelo meio ambiente, que contribuem igualmente para a degradação dos recursos hídricos. O solo não tem capacidade natural de “absorver” esta enorme quantidade e diversidade de poluição, e assim é de esperar um aumento crescente de poluentes nas águas subterrâneas.

A delimitação de zonas onde a infiltração ocorre com maior ou menor facilidade, é fundamental para a correcta planificação do uso do solo e sua protecção. Para se conseguir esse mapeamento é necessário o estudo de parâmetros que caracterizam o solo.

A análise da informação litológica dos furos de captação de água (existente na DRA - Lisboa), mostra-nos sucessivas alternâncias entre areias / grés e argilas, com bastantes misturas de litologias. Esta informação litológica não está isenta de erros, visto ter resultado de distintas interpretações por parte das muitas empresas que realizaram as captações. Também os valores de transmissividade (T) e condutividade hidráulica (K) (observados e/ou calculados com base nos dados fornecidos pela DRA - Lisboa) exibem uma grande dispersão de valores, desde T=15 a 2000 m<sup>2</sup>/d e K=1 a 100 m/d, com os valores médios expressos no quadro 1, GONÇALVES e AFONSO (1997). Esta grande gama de valores resulta primordialmente da própria litologia das formações e sua continuidade no espaço, mas também é em parte, devida ao facto das captações

extraírem água das várias formações produtivas atravessadas. Estes valores de transmissividade e condutividade hidráulica, correspondem normalmente a formações cujo topo se encontra a uma profundidade média superior a 40 m.

### Quadro 1

Valores médios dos parâmetros hidrológicos e geofísicos na região da Península de Setúbal.

# Mapa S.C.E.P.	T (m <sup>2</sup> /d)	K (m/d)	H <sub>2</sub> O (Ω.m)	Areia (Ω.m)	F	Por. (%)
432	650	29	34	140	7.0	24
434	420	16	67	140	3.5	38
443	700	39	50	195	6.7	24
444	830	34	72	250	7.0	21
445	320	10	39	170	3.3	25
454	254	17	33	140	10.5	15
455	530	33	65	210	9.0	14

**H<sub>2</sub>O** - resistividade eléctrica da água, **Areia** - resistividade eléctrica da camada produtiva, **F** - factor de formação da camada produtiva, **Por.** - porosidade da formação da camada produtiva.

Uma interpretação qualitativa e quantitativa do solo, pode ser feita recorrendo à prospecção geoelectrica. Desta forma temos uma descrição baseada nas propriedades eléctricas da composição do solo, desde a superfície até centenas de metros de profundidade.

## 2 - REGIÃO DO VALE DO TEJO-SADO

### 2.1 - Caracterização Hidrogeológica

Não contando com o aquífero jurássico, mais profundo, podemos considerar o sistema aquífero produtivo da região do vale do Tejo e Sado, como constituído essencialmente por três camadas. A partir da superfície, temos o aquífero livre do Quaternário, de sedimentos aluvionares com transmissividades elevadas, seguido por aquíferos nas camadas, respectivamente, do Pliocénico e Miocénico, de grandes transmissividades, RODRIGUES *et al.* (1989). A espessura desta última formação é de 200 a 300 m, atingindo mais de 800 m no centro da península de Setúbal (a sudeste de Lisboa) e diminuindo para cerca de 100 m nas regiões fronteira a este. Estas formações Terceiras são o resultado das várias invasões e regressões do mar no ambiente lacustre existente nesta região à época. Em consequência, temos até ao início do Miocénico, as já atrás referida alternância de formações argilosas e arenosas-gresosas, devida à sedimentação ter ocorrido em ambiente marinho ou fluvial-continental. As formações argilosas resultantes não têm assim uma estrutura contínua, formando antes camadas lenticulares até alguns metros de espessura.

Em termos de tectónica, é de salientar a importância das falhas do vale inferior do Tejo e de Setúbal-Pinhal Novo, de orientação aproximada, respectivamente N30E e NS. As espessuras dos

sedimentos de ambos os lados destes acidentes foi por eles condicionada, AZEVEDO M.T. (1983) e (1991) e CABRAL J.M. (1993).

## 2.2 - Zona em estudo

A prospecção geoelectrica existente (de levantamentos do INAG e da FCUL) cobrem grande parte do vale do Tejo-Sado. Os dados existentes dizem respeito a Sondagens Eléctricas Verticais (SEV), que são perfeitamente adequadas ao meio em estudo, isto é, um meio estratificado horizontalmente. As figuras 2 e 3 mostram respectivamente, a zona em estudo e a localização da centena e meia de SEV no vale do Tejo-Sado.

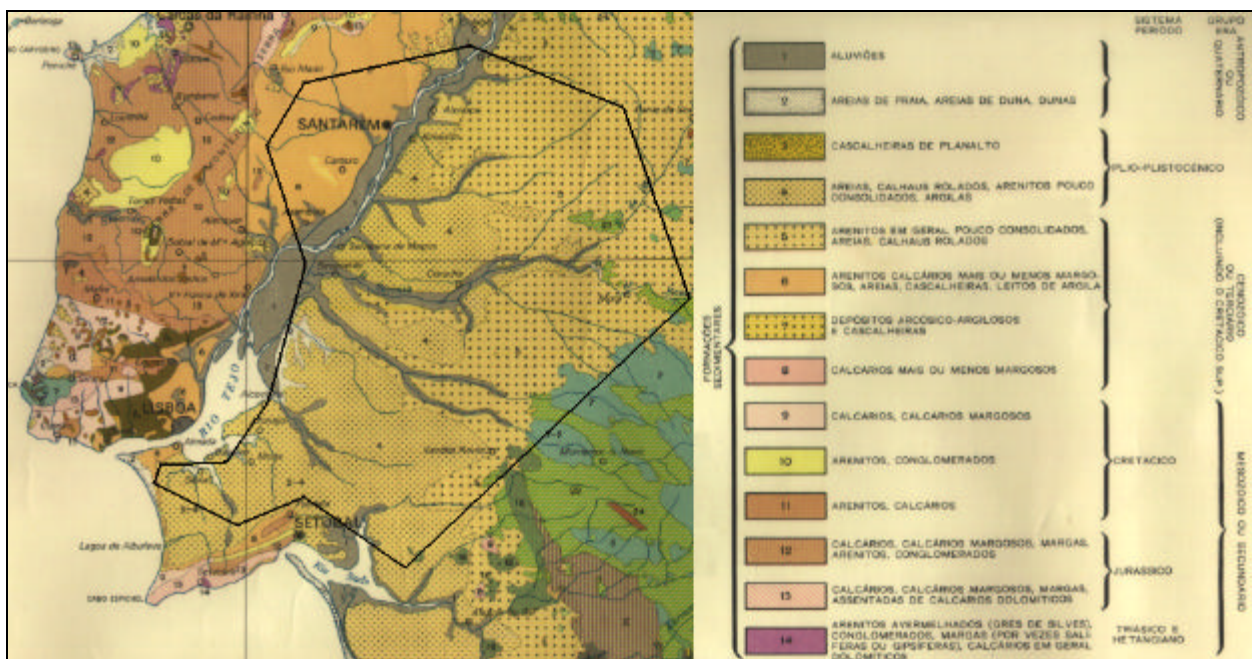


Figura 2 - Geologia da região em estudo, com polígono a assinalar a zona de existência de SEVs. Adaptado do mapa geológico (escala 1:1.000.000) dos Serviços Geológicos de Portugal.

## 3 - INTERPRETAÇÃO DAS SONDAGENS ELÉCTRICAS VERTICAIS

### 3.1 - Modelação das Sondagens Eléctricas Verticais

As Sondagens Eléctricas Verticais (curvas de campo de resistividade aparente) têm comprimentos AB/2 entre 500 e 2000 m, e foram reinterpretadas no caso dos dados do INAG (em virtude destas terem sido fornecidas em registo escrito), e interpretadas (levantamento da FCUL) por processos automáticos de inversão, com introdução de modelo inicial de camadas, resultante da análise preliminar das curvas de campo. Os vários métodos usados na inversão das curvas de resistividade aparente foram os seguintes:

- mínimos quadrados, usando o método do máximo gradiente descendente;



- alta resistividade (  $> 500 - 1000 \text{ Ohm.m}$  ) - areia (superficial) seca;
- média resistividade (  $50 - 100 \text{ a } 500 \text{ Ohm.m}$  ) - areia/grés com água, calcário;
- baixa resistividade (  $< 50 \text{ Ohm.m}$  ) - argila, areia muito argilosa.

Uma baixa resistividade eléctrica é típica de argilas com grande conteúdo em água, e areia muito argilosas. As argilas têm uma baixa transmissividade e condutividade hidráulica, funcionando como aquitardos, dificultando a propagação de fluídos através delas. Se a espessura destas camadas for grande, mais eficaz é a sua função retardadora.

Com base neste critério, foram as curvas de campo separadas em duas classes; as que exibem na parte inicial da curva uma resistividade aparente baixa, aqui nomeadas do tipo I (figura 4), e as que exibem valores médios e/ou altos de resistividade aparente, tipo II (figura 5).

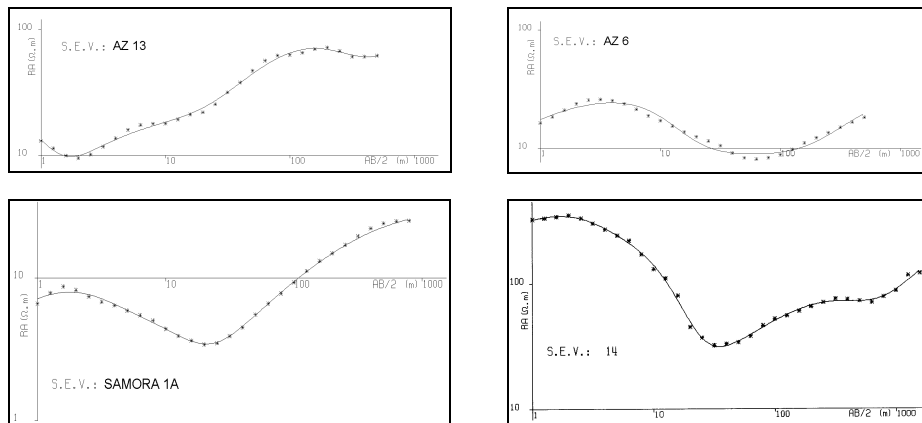


Figura 4 - Curvas de resistividade aparente do tipo I (camadas de baixa resistividade). Os asteriscos representam os pontos de campo e a linha contínua a resposta do modelo.

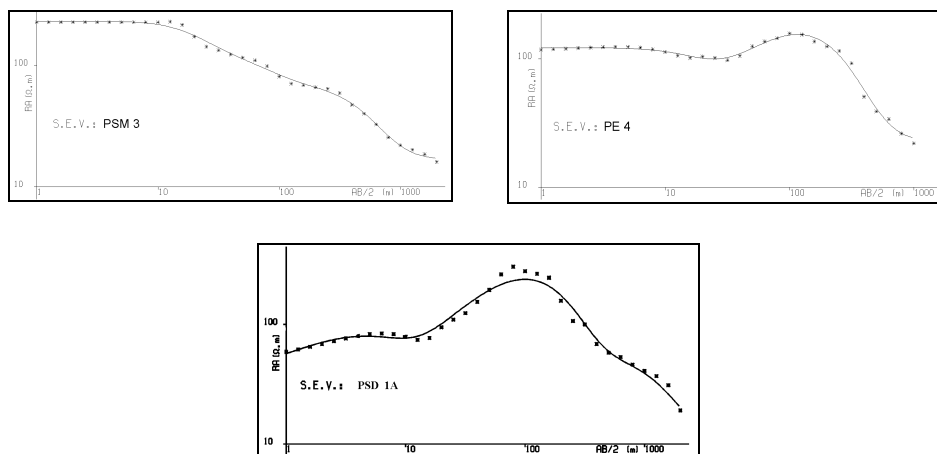


Figura 5 - Curvas de resistividade aparente do tipo II (camadas de média /alta resistividade). Os asteriscos representam os pontos de campo e a linha contínua a resposta do modelo.

Nas figuras 4 e 5 estão representadas SEVs dos levantamentos exemplificadoras das duas classes escolhidas. As curvas do tipo I têm formações argilosas logo abaixo da superfície arenosa, e protegem assim os aquíferos subjacentes. As curvas do tipo II contêm formações superficiais arenosas e gresosas com pouco conteúdo em argila, sendo portanto muito permeáveis à infiltração de poluentes para as camadas inferiores.

### 3.3 - Representação dos resultados obtidos

A figura 6, baseada na discriminação anterior, mostra as zonas de maior e menor protecção. Foi usado o método da “krigagem” para obter a superfície representativa do “parâmetro protecção”. Este parâmetro foi atribuído da seguinte maneira; igual a 0 para as SEVs do tipo I, e igual a 1 para as SEVs do tipo II. Temos distintamente zonas não protegidas (tons claros), e zonas de maior protecção (cinzento escuro). Temos também que ter em consideração a distribuição espacial das SEVs, e apenas analisar em grande escala os resultados.

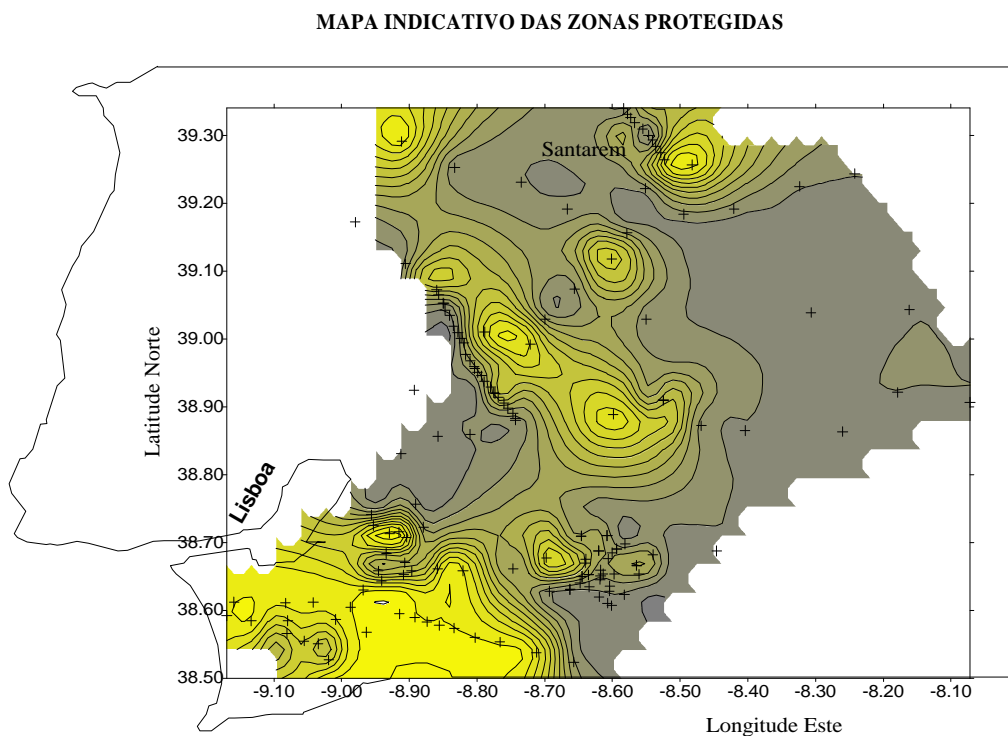


Figura 6 - Representação da protecção existente no vale do Tejo-Sado. A cor cinzenta indica uma grande protecção e os tons claros uma escassa protecção. Superfície obtida pelo método da “krigagem”.

Na figura 7 está expresso um resultado semelhante, mas baseado na resistividade obtida das inversões. A profundidade média escolhida é 20 m. Podemos ver que as duas figuras delimitam praticamente as mesmas zonas, correspondendo a menor protecção a zonas de maior resistividade, como já foi mencionado.

## Mapa de Resistividades Superficiais (Ohm.m)

Profundidade média 20 m

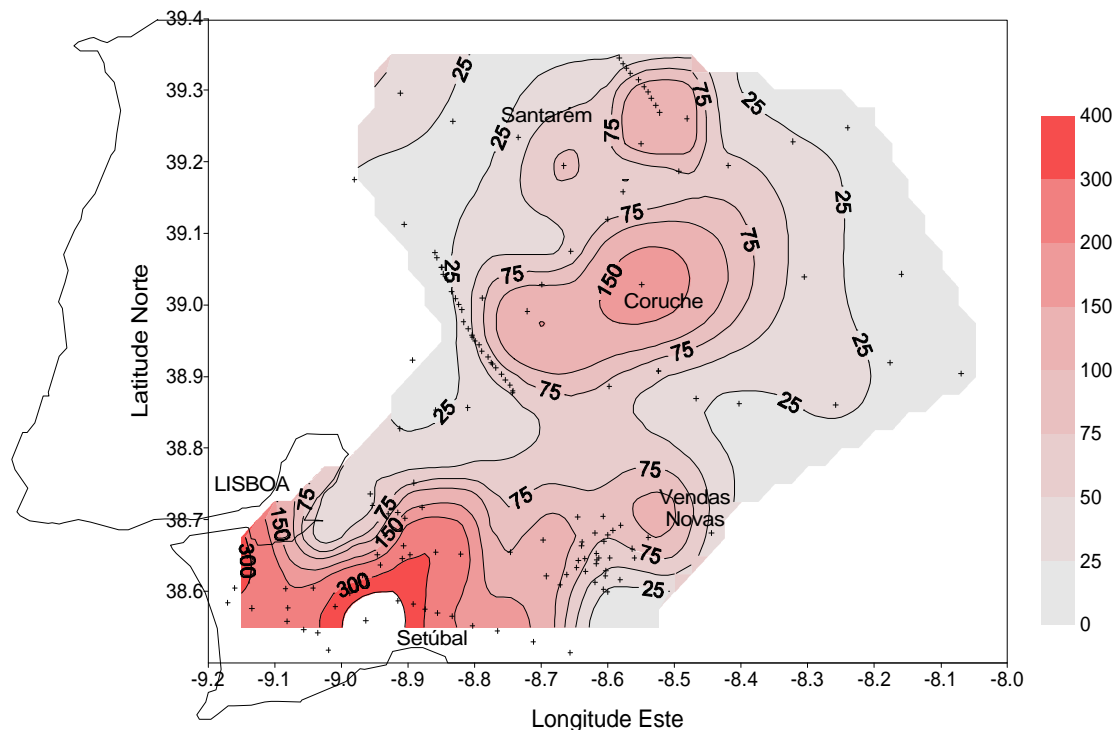


Figura 7 - Representação da resistividade a 20 m de profundidade.

## 4 - COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

### 4.1 - Quantificação de poluentes na água

Podemos comparar os resultados obtidos pelo uso das Sondagens Eléctricas Verticais, com os dados das redes de monitorização da água subterrânea. As figuras seguintes (8, 9 e 10) representam, respectivamente, as concentrações de Cloretos, Sulfatos e Nitratos no sistema Pliocénico em 1988, MACEDO AUGUSTO (1994).

Verificamos que as zonas de maior concentração de todos os três compostos mencionados estão situados aproximadamente na região de Santarém (entre Torres Novas e sul de Santarém) e a na região a Este de Lisboa / Norte de Setúbal. A zona Este da bacia do Tejo carece de pontos de medição, e nada se pode dizer (por este estudo) acerca da qualidade da água nessa região.

Também nas águas do sistema Mio-Pliocénico se verificam contaminações dos três compostos atrás mencionados, principalmente ao longo do eixos Lisboa-Santarém e Lisboa-Setúbal, MACEDO AUGUSTO (1994).

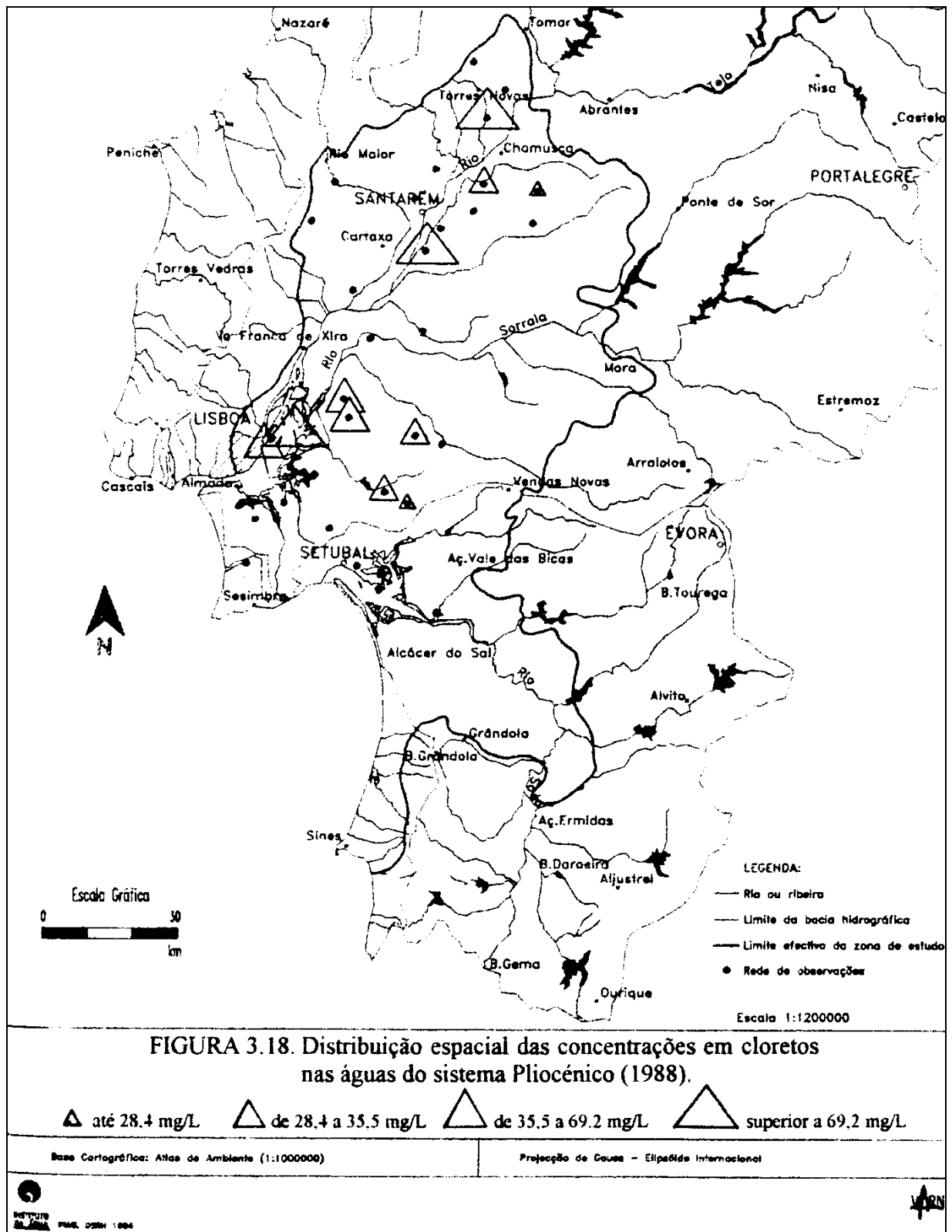


Figura 8 - Concentração de Cloretos no sistema Pliocénico (1988).  
Adaptado de Macedo Augusto (1994).

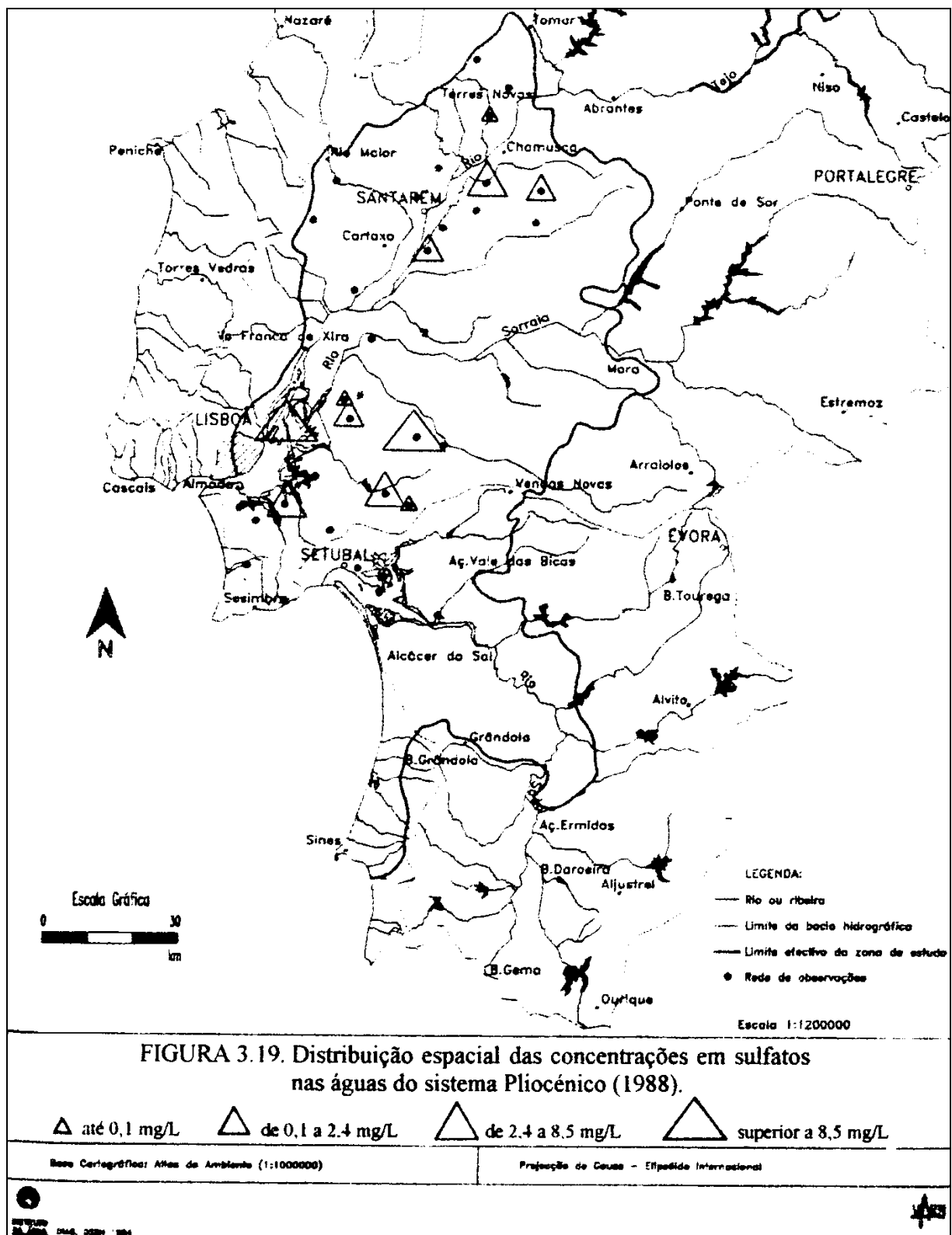


Figura 9 - Concentração de Sulfatos no sistema Pliocénico (1988).  
Adaptado de Macedo Augusto (1994).

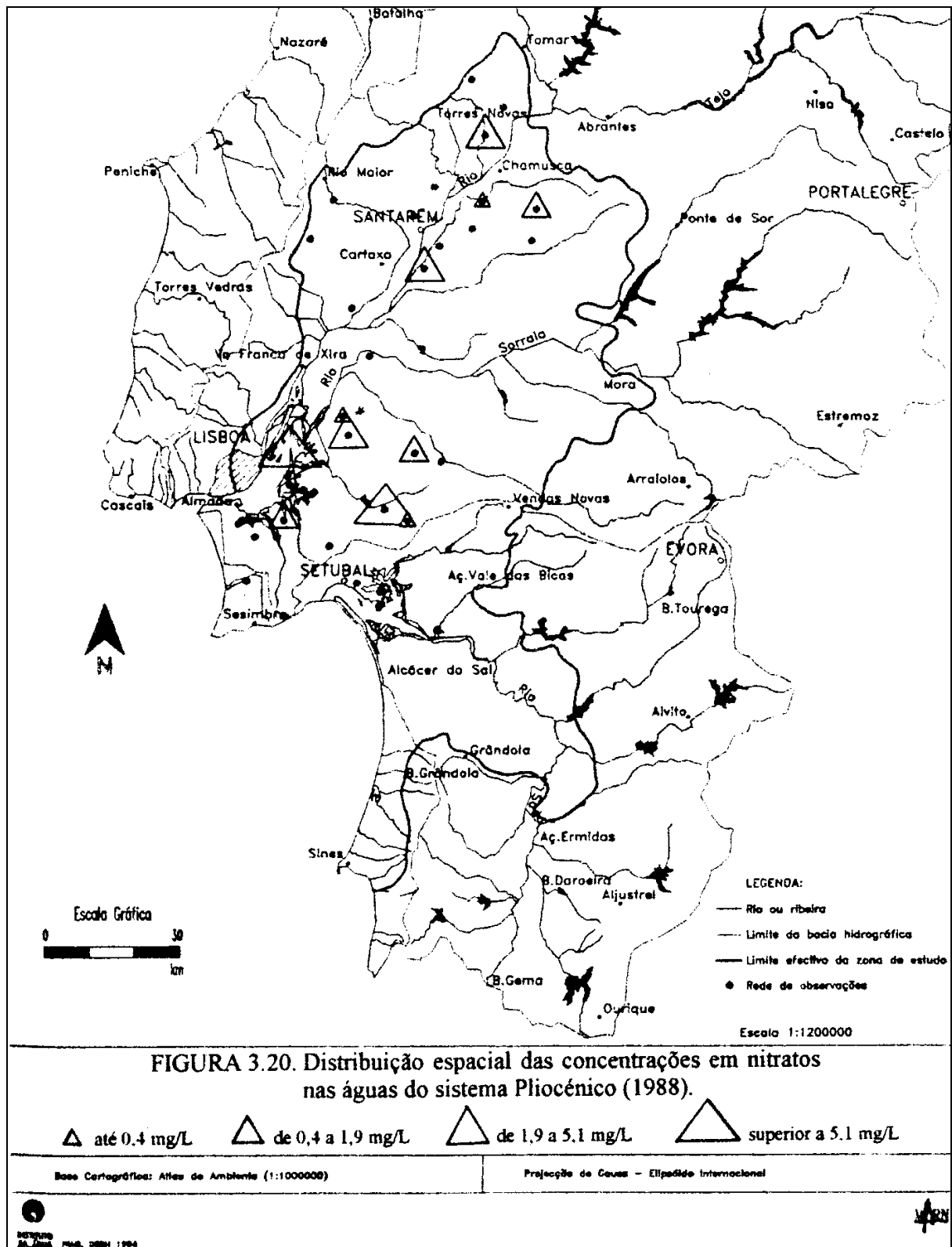


Figura 10 - Concentração de Nitratos no sistema Pliocénico (1988).  
Adaptado de Macedo Augusto (1994).

## 5 - CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos podemos concluir que, em larga escala, a zona sul do vale do Tejo-Sado (península de Setúbal), está menos protegida em relação à infiltração de poluentes, por exibir uma maior resistividade superficial (maior conteúdo em areias) e menor conteúdo em camadas argilosas. Também na região de Santarém e Coruche se verifica uma menor protecção.

O uso de sondagens eléctricas verticais constitui outra ferramenta na abordagem do problema da delimitação de zonas onde a infiltração de poluentes é facilitada. No entanto, a interpretação integrada de toda a informação litológica existente para o vale do Tejo-Sado, permitirá uma melhor visualização do problema, uma vez que a densidade de furos existentes é muito grande.

## AGRADECIMENTOS

Ao Eng.º Sérgio Lopes do INAG (Instituto Nacional da Água) pelo fornecimento de toda a informação respeitante aos levantamentos geoeléctricos (SEVs) no vale do Tejo-Sado, existentes no INAG.

À Direcção Regional do Ambiente de Lisboa (DRA - Lisboa) pelas facilidades concedidas na obtenção de informações respeitantes a furos de extracção de água no vale do Tejo-Sado.

Este trabalho está inserido no projecto “Capacidade de Carga do Ecossistema em Ambientes Costeiros”, do PRAXIS XXI .

## BIBLIOGRAFIA

AZEVEDO, T. M. - “*O Sinclinal de Albufeira. Evolução pós-miocénica e reconstituição paleogeográfica*”, Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 1983.

AZEVEDO, T. M. - “*Essai de Reconstitution Paléogéographique du Bassin de Lisbonne au Paléogène*”, Memórias e Notícias, Publicação do Museu Laboratório Mineralógico e Geológico, Universidade de Coimbra, **112**, 1991, pp. 525-563.

CABRAL, J. M. - “*Neotectónica de Portugal Continental*”, Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 1993.

GONÇALVES, R. M. D. , ANDRADE AFONSO, A. R. - “*Integração de dados geofísicos e hidrogeológicos para a caracterização da zona sul do sistema aquífero do Vale do Tejo e Sado*”, in Seminário sobre Águas Subterrâneas, Lisboa, LNEC, 10 - 12 Dez. 1997.

LOBO-FERREIRA, J. P. - “*Recursos Hídricos Subterrâneos de Portugal, componente fundamental do desenvolvimento*”, Recursos Hídricos, vol. 14, **2 e 3**, 1993.

MACEDO AUGUSTO, M.E. - “*Sistemas de Monitorização da Qualidade da Água Subterrânea. Um Caso Prático*”, Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 1994.

RODRIGUES, J.D; LOBO-FERREIRA, J.P.; SANTOS, J.B.; MIGUÉNS, N. - “*Caracterização Sumária dos Recursos Hídricos Subterrâneos de Portugal*”, LNEC Memória nº 735, Lisboa, 1989