

CARACTERIZAÇÃO GEOSTATÍSTICA DA CONTAMINAÇÃO SALINA POR DISSOLUÇÃO DE EVAPORITOS - UM CASO NA ZONA DA MARAGOTA

Luís RIBEIRO¹; Ana C. SANTOS²; Jorge DIAS DA SILVA³

RESUMO

Os depósitos de sal-gema associados a estruturas diapíricas podem ser fontes potenciais de poluição de águas subterrâneas, por causa dos altos valores de concentração em cloretos provenientes da dissolução dessas massas evaporíticas. No Algarve existe contaminação salina cuja causa não pode ser imputada aos típicos mecanismos de intrusão da água do mar originada pela exploração intensiva dos aquíferos costeiros.

Com o objectivo de avaliar a extensão desta poluição e a identificação das fontes de poluição na área de Maragota no Algarve foi aplicada uma metodologia geostatística não paramétrica (segundo o formalismo da indicatriz) sobre dados de cloretos observados no campo e anomalias geofísicas detectadas por intermédio de um magnetómetro de precessão de prótons.

Os mapas de risco que resultam da aplicação dessas metodologias, isto é as cartas de probabilidades que a concentração de certo parâmetro exceda um certo valor limite, mostram claramente que a área com grandes anomalias magnéticas coincide com a zona de maiores anomalias salinas

Estas cartas são indiscutivelmente, documentos importantes para as tomadas de decisão ao nível do Planeamento e Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos, tornando-se ferramentas fundamentais na optimização de redes de monitorização.

Palavras-chave: Águas subterrâneas, Poluição, Salinização Diapiro, Geofísica, Geoestatística

¹ Prof. Auxiliar, CVRM / Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1096 Lisboa

² Geóloga, CVRM / Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1096 Lisboa

³ Prof. Adjunto, Instituto Politécnico do Algarve, Faro

1 - INTRODUÇÃO

Os depósitos de sal-gema associados a estruturas diapíricas ocorrem em Portugal, com maior frequência na região Algarvia.

Para além do valor económico que resulta da exploração deste recurso não mineral, estes depósitos podem ser fontes potenciais de poluição de águas subterrâneas, por causa dos altos valores de concentração em cloretos provenientes da dissolução dessas massas evaporíticas.

No Algarve existe contaminação salina cuja causa não pode ser imputada aos típicos mecanismos de intrusão da água do mar originada pela exploração intensiva dos aquíferos costeiros.

Alguns estudos geofísicos realizados no local já detectaram importantes anomalias gravimétricas, que justificam a existência de massas salíferas relevantes. Alguns desses depósitos foram já identificados e cartografados na base de modelos geométricos. Por outro lado estudos de outra natureza, utilizando tecnologia de isótopos naturais, confirmaram igualmente que em certos sectores do Algarve a salinização é originada por acção de mecanismos de dissolução de evaporitos (CARREIRA, 1989).

Porque a incerteza associada à caracterização destes processos é grande (quais são as trajectórias preferenciais de circulação da água subterrânea?), existe cada vez mais a necessidade de utilizar métodos geomatemáticos robustos que permitam analisar a informação originada de várias fontes, de um modo integrado, por forma a avaliar com todo o rigor não só o risco dessa contaminação como identificar os locais onde se localizam os focos de poluição.

As técnicas geostatísticas não paramétricas aqui utilizadas estão particularmente vocacionadas para a análise de riscos ambientais. Os mapas de risco que resultam da aplicação dessas metodologias são cartas de probabilidades que a concentração de certo poluente exceda um valor limite, por exemplo o correspondente ao Valor Máximo Admissível.

Estas cartas tornam-se assim, indiscutivelmente, documentos importantes para as tomadas de decisão ao nível do Planeamento e Gestão dos Recursos Hídricos.

2 - HIDROGEOLOGIA DA ZONA DE MARAGOTA

A área da Maragota está situada na região Algarvia (ver Fig. 1). Ela foi escolhida porque existe clara evidência de ocorrência de valores de cloretos cuja concentração elevada não pode ser explicada por uma simples contaminação salina causada por um mecanismo de intrusão marinha. De facto, a análise dos gradientes de cloretos calculados perpendicularmente à costa mostram uma tendência de decréscimo que invalida aquela hipótese.

A área tem dimensões 3.5 km por 2 km e localiza-se no sistema aquífero de Luz de Tavira. Este é uma unidade multi-aquifera e consiste num aquífero poroso sobrepondo-se a uma unidade cársica. Ambos os sistemas podem ter comportamentos alternadamente confinado e livre com a possibilidade de drenância entre eles (ALMEIDA *et al.* 1997).

A espessura dos calcários pode atingir valores maiores que 200m. A mediana das produtividades dos furos e poços é da ordem dos 5.6 l/s . As transmissividades variam entre 25 e 1938 m²/dia. A fácies química dominante é a bicarbonatada cálcica.



Extraído de: Carta Hidrogeológica da Orla Algarvia, SGP 1985

Figura 1 - Localização da área de Maragota

3 - ESTUDOS GEOFÍSICOS

Nas vizinhanças da região em estudo têm sido realizados diversos estudos geofísicos, os quais permitiram identificar a ocorrência de importantes massas de evaporitos.

Na área vizinha de Moncarapacho foi executada por MENDES-VICTOR e MARTINS (1978) uma prospecção geofísica utilizando um gravímetro Worden 255. As anomalias de Bouguer detectadas foram claramente associadas por aqueles autores à presença de formações importantes de sal-gema.

PETERS e KAMPHUIS executaram perfis e sondagens geoelectricas na área de Fuzeta e Luz de Tavira com o objectivo de definir a geologia e estimar resistividades médias para as diversas formações geológicas.

Por outro lado, LOS (1987), utilizando perfis Wenner, detectou uma anomalia significativa, a Leste de Maragota, que se julga estar associada à presença de evaporitos.

Mais recentemente DIAS DA SILVA (1996), testou um método de prospecção expedito na identificação de depósitos salinos. O instrumento usado foi um magnetómetro de precessão de protões. O objectivo do trabalho foi medir as perturbações locais do vector do campo magnético total numa determinada estação de leitura causadas pela presença de um corpo não mineral. A unidade de medida é o nanoTesla (nT).

Para tal efeito foram efectuadas 2 campanhas na área em estudo de que resultaram a execução de 7 perfis com direcção E-W, com comprimentos entre um mínimo de 2125m até um máximo de 3125m (ver figura 2). A distância média entre estações é de 20m. Foram recolhidas um total de 717 variações magnéticas. Estes valores foram utilizados no presente estudo.

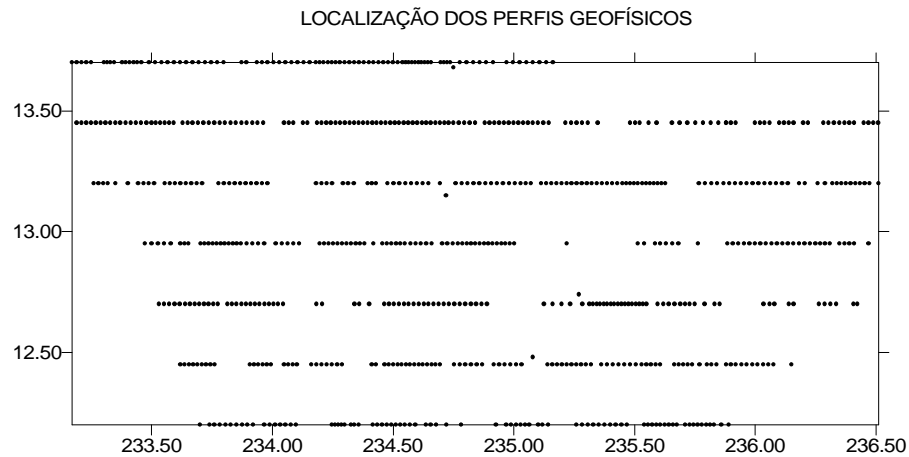


Figura 2 - Localização dos perfis geofísicos na área da Maragota

4 - A ABORDAGEM NÃO-PARAMÉTRICA EM GEOSTATÍSTICA

A *praxis* em Geoestatística articula-se em 2 fases distintas: a análise estrutural e a estimação ou simulação.

Numa primeira fase a estrutura da variável é descrita pelo variograma, definido como a diferença quadrática média entre pares de valores da variável separados por um passo de distância. A função assim calculada caracteriza muito bem o grau de regularidade da variável, a distância a partir da qual os valores da variáveis se tornam não correlacionados (a amplitude), a magnitude dos erros de medições e das microregionalizações (o efeito de pepita), a avaliação da magnitude dos efeitos actuando a diversas escalas (estruturas imbricadas), as periodicidades, as derivas e o tipo de anisotropias.

Para a fase seguinte de estimação, as funções experimentais são modeladas por esquemas teóricos que cumprem condições de positividade, e validados com a informação experimental.

Uma vez a variabilidade espacial modelada o método de Krigagem Ordinária estima os valores em localizações desconhecidas com base numa combinação linear dos valores conhecidos, onde as distâncias entre elas já não são do tipo euclideano mas sim do tipo estrutural sendo a transformação realizada via modelo variográfico. O algoritmo funciona exclusivamente como interpolador possuindo a propriedade de exactidão, ou seja, os valores estimados nos pontos onde existem medições de valores reais, são exactamente iguais a estes. Ademais o método permite ainda o cálculo da variância do erro de estimação.

Contudo a incerteza do valor da variável pode ser melhor caracterizada pela sua função de distribuição de probabilidade calculada em qualquer local desconhecido, condicionada à informação disponível.

A aplicação desta metodologia, dita não paramétrica, não está restrita a qualquer tipo de distribuição estatística da variável, como é o caso da distribuição normal na abordagem paramétrica, justificando-se plenamente em problemas de poluição, onde o normal é a ocorrência de valores anormais (JOURNAL, 1987).

Na prática os dados podem ser codificados por diversas maneiras, por exemplo maiores e menores ou iguais a valores limite especificados (por exemplo em problemas ambientais podem ser os VMRs ou os VMAs, resultantes do normativo existente). É pois criada uma nova variável dita de indicatriz que toma unicamente valores 0 ou 1.

Assim numa codificação binária, os resultados da interpolação realizada por uma técnica de krigagem são valores necessariamente entre 0 e 1 e representam as probabilidades da variável ser maior (ou menor ou igual) ao valor limite seleccionado.

A função de distribuição da probabilidade será estimada com base nos percentis calculados com base na função de distribuição de probabilidade experimental.

5 - APLICAÇÃO DA GEOSTATÍSTICA A CLORETOS E A DADOS GEOFÍSICOS

5.1 - Os cloretos

O estudo da contaminação salina baseou-se em 163 amostras de cloretos, recolhidas durante o inventário de 1980-81 em captações com profundidades médias de 60 m. Os pontos estão regularmente distribuídas por uma zona de extensão 7 km por 10 km, cobrindo a área em estudo e as suas vizinhanças (ver figura 3).

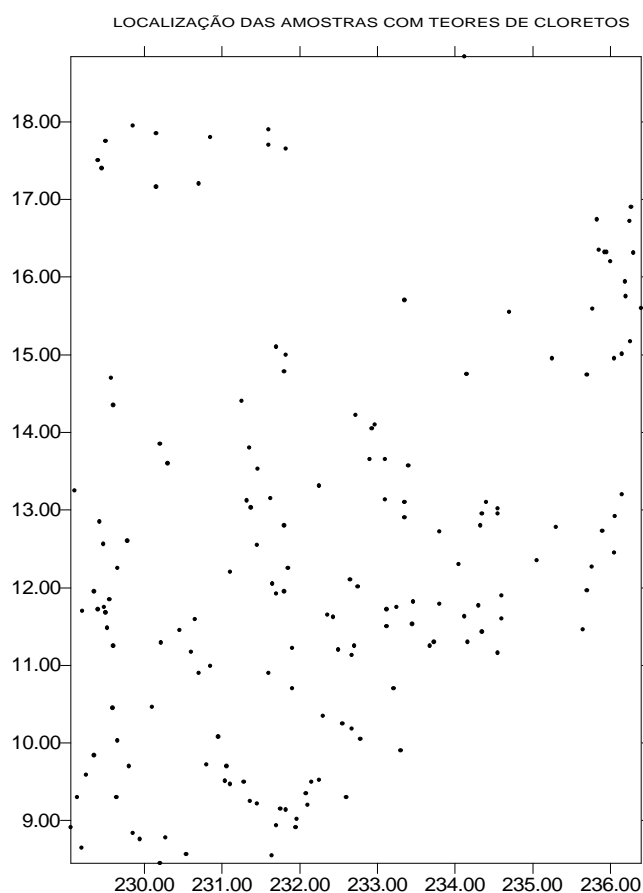


Figura 3 - Localização das amostras de cloretos

O histograma dos valores de cloretos representado na figura 4 mostra que a distribuição estatística dos valores de cloretos é fortemente assimétrica (coeficiente de assimetria igual a 6.85 mg/l) . A mediana é 184.6 mg/l e o coeficiente de variação é 164.4 % . com valores que se estendem de um mínimo de 21.3 mg/l a a um máximo de 6784 mg/l. Cerca de 45% das amostras excede o valor máximo admissível estabelecido pelo D/L 74/90 como 200 mg/l.

Para construção do mapa de risco, foi utilizada uma variável indicatriz com base no percentil 0.6 a que corresponde uma concentração de 249 mg/l. Assim as amostras foram codificadas a 1 quando eram maiores do que aquele limite e 0 no caso contrário.

A análise dos variogramas calculados revela uma maior estrutura espacial segundo a direcção NW-SE, sintoma de uma maior continuidade da variável.

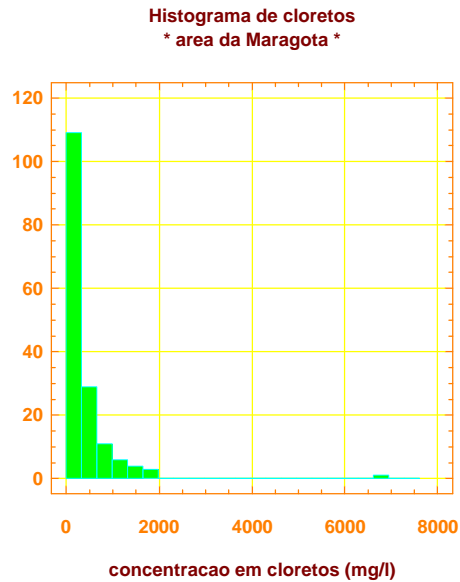


Figura 4 - Histograma dos cloretos

Foi também detectada uma anisotropia do tipo geométrico entre as direcções N-S e E-W com uma razão de amplitudes aproximadamente de 1.59.

Para efeitos de krigagem foi utilizado um modelo estrutural constituído por um esquema esférico com amplitude 3.5km e patamar 0.182 e um termo pepítico de 0.06.(ver figura 5).

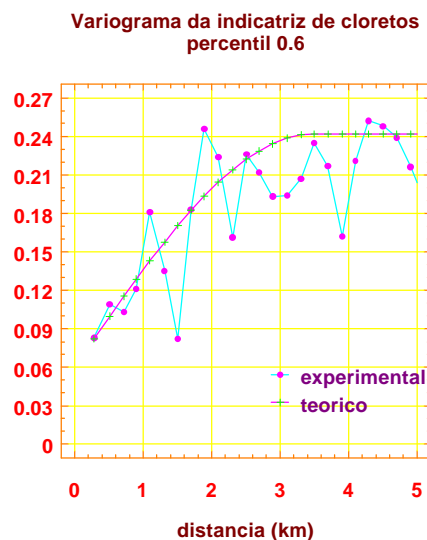


Figura 5 . Variograma da indicatriz de cloretos e modelo esférico ajustado

As operações de krigagem da indicatriz foram realizadas utilizando-se uma malha quadrada de 100 m de lado sobreposta à área em estudo.

A Figura 6 representa o mapa de isolinhas da probabilidades que a concentração de cloretos exceda o valor crítico de 249 mg/l.

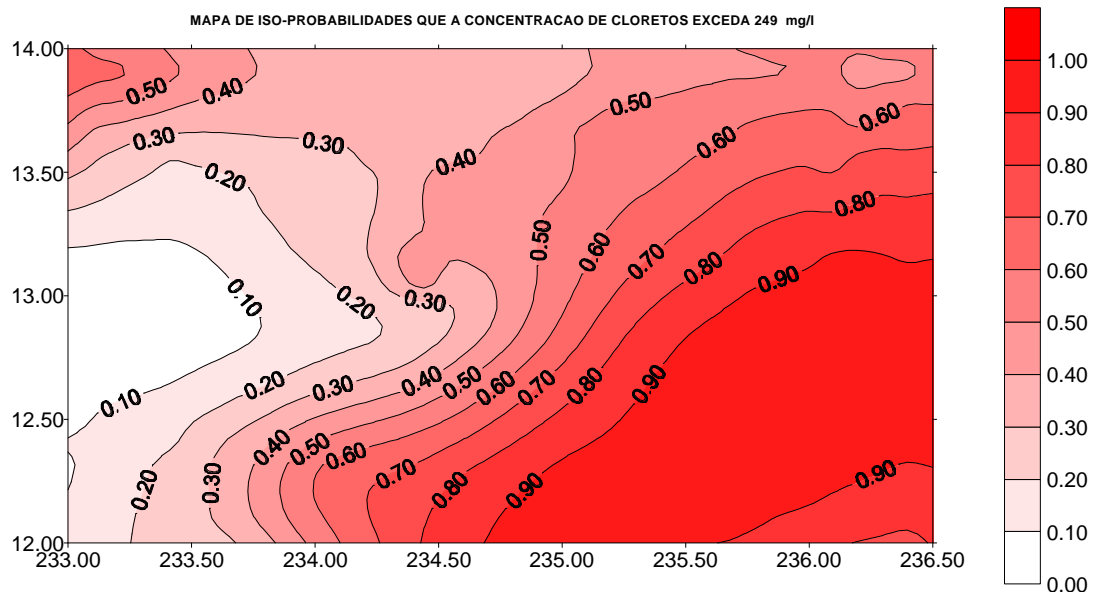


Figura 6 - Mapa de iso-probabilidades que a concentração de cloretos exceda o valor crítico de 249 mg/l.

5.2 - Os dados geofísicos

As 717 variações magnéticas foram de igual modo tratadas geoestatisticamente. Para este caso foi seleccionado o percentil 0.9 correspondente uma anomalia de 881 nT, para construção da variável indicatriz.

A análise variográfica efectuada permitiu escolher um modelo estrutural constituído por um esquema esférico com amplitude 0.7km e patamar 0.049 e um termo pepítico de 0.04 (ver figura 7). A mesma malha quadrada foi utilizada para estimar a variável indicatriz.

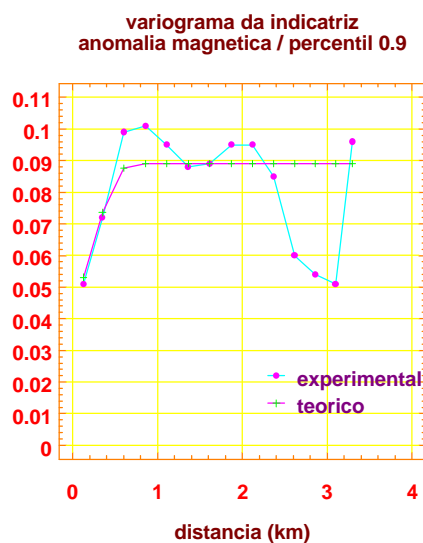


Figura 7 - Variograma da indicatriz de anomalia magnética e modelo esférico ajustado

Na Figura 8 está representado o mapa de isolinhas de probabilidades que a variação magnética exceda a anomalia seleccionada de 881 nT. Para melhor visualização só as isolinhas de valores maiores que 50% estão representadas.

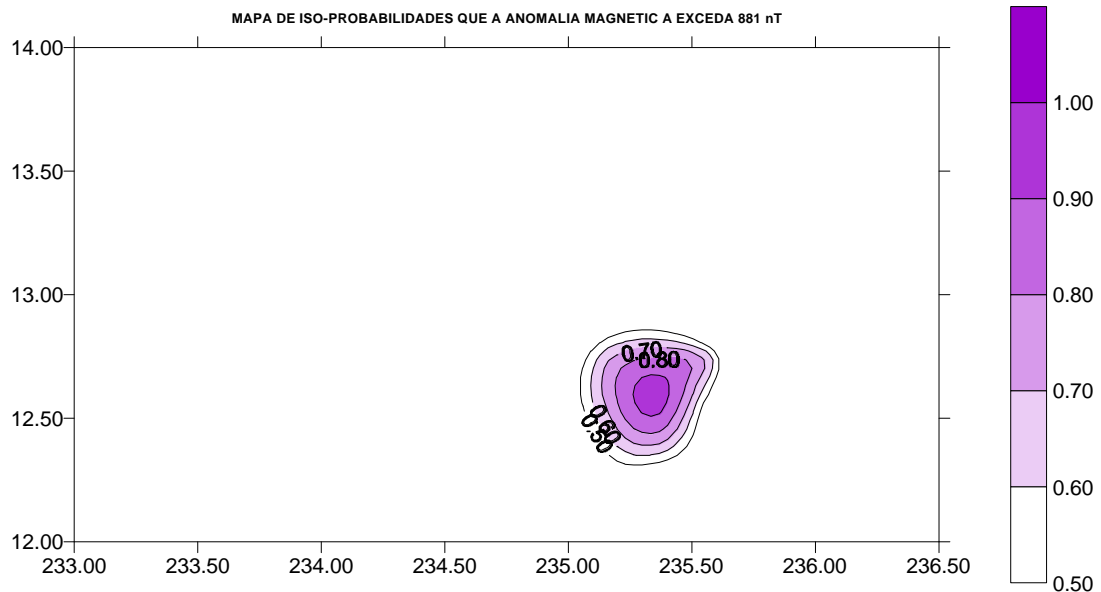


Figura 8 - Mapa de iso-probabilidades que a variação magnética exceda o valor limite de 881 nT

5.3 - Análise dos resultados

O mapa representado na figura 6 mostra claramente um aumento muito regular da anomalia salina de NW para SE, alcançando aí valores de probabilidades maiores que 90%.

Esta estrutura, já detectada nos variogramas direccionais (ver fig.5), sugere que esta direcção pode ser eventualmente uma trajectória preferencial da pluma salina.

Comparando as figuras 8 e 6, verifica-se que a anomalia magnética está localizada na área das mais altas probabilidades de ocorrência da contaminação salina. A média dessa probabilidades é da ordem dos 90%.

Estes resultados preliminares mostram que as massa evaporíticas são fontes potenciais de poluição das águas subterrâneas.

6 - CONCLUSÕES

No Algarve alguma contaminação salina pode ocorrer devido a fenómenos de dissolução de massas de evaporitos. Este problema de poluição pode no entanto ser erradamente avaliado em aquíferos costeiros onde esses fenómenos podem ser causados por mecanismos de intrusão marinha.

Com o objectivo de avaliar a extensão desta poluição e a identificação das fontes de poluição na área de Maragota foi aplicada uma metodologia geostatística não paramétrica sobre dados de cloretos observados no campo e anomalias geofísicas detectadas por intermédio de um magnetómetro de precessão de protões.

Os resultados obtidos sobre a forma de mapas de risco à poluição são de grande utilidade na gestão dos recursos hídricos subterrâneos, inclusivamente no estabelecimento de redes de monitorização adequadas.

A análise conjunta das anomalias magnéticas detectadas e das anomalias salinas estimadas apontam os depósitos de sal-gema como uma mais que provável fonte de poluição das águas subterrâneas.

AGRADECIMENTO

Este trabalho integra-se no projecto nº PEAM/P/GAG/223/93 intitulado Modelação Geoestatística-Determinística da Poluição das Águas Subterrâneas, financiado pela Direcção-Geral do Ambiente.

BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA,C.; FERNANDES, J. ;JESUS R. - *Definição, Caracterização e Cartografia dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. INAG, 1997, 236p.

CARREIRA P. - *Mecanismos de Salinização dos Aquíferos Costeiros do Algarve*. Tese apresentada para as Provas de Acesso a Assistente de Investigação, Lisboa, INETI, 1991, 143p.

DIAS DA SILVA J.L. - *Cartografia Expedita de Massas de Evaporitos com Recurso ao Magnetómetro de Precessão de Protões. Um Caso a Norte da Fuzeta*. Tese de Dissertação de Provas Públicas para Prof. Adjunto, Faro, Instituto Politécnico do Algarve, 1996, 81p.

JOURNAL, A. - *Geostatistics for the Environmental Sciences*, EPA Project nº CR 811893, Technical Report, US EPA,EMS Lab, Las Vegas, NV,1987.

LOS, S.O. - *Hydrogeology of the Fuzeta-Moncarapacho region (South of Portugal)*. Amsterdam, Vrije Universiteit, 1987.

MENDES-VICTOR L.; MARTINS I. - *Estudo das Anomalias Gravimétricas nas Regiões de Moncarapacho e Campina de Faro*, Publ. 15, Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa, 1978, 27p.

PETERS, S.; KAMPHUIS, H. - *Fieldwork Report Fuzeta-Luz de Tavira, Algarve*. Vrije Universiteit, Amsterdam.