



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
Núcleo de Geologia de Engenharia e Geotecnia
Ambiental

Proc. 0607/14/17372
Proc. Int. 504/533/17372

ÁGUA, ECOSISTEMAS AQUÁTICOS E ATIVIDADE HUMANA

**Projeto Prowaterman
(PTDC/AAC-AMB/105061/2008)**

**Relatório referente à aplicação do método geofísico da resistividade
elétrica na área de estudo do Algarve**

Fundação para a Ciência e Tecnologia

Lisboa • janeiro de 2013

I&D GEOTECNIA

RELATÓRIO 43/2013 – DG/NGEA

ÁGUA, ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS E ATIVIDADE HUMANA

Projeto PROWATERMAN

(PTDC/AAC-AMB/105061/2008)

Relatório da aplicação do método geofísico da resistividade elétrica na área de estudo do
Algarve

Resumo - Apresentam-se, no presente relatório, os resultados obtidos na prospeção geofísica, realizada em maio de 2012, nas imediações de Algoz, concelho de Silves, com recurso ao método de resistividade elétrica, no âmbito do projeto PROWATERMAN.

WATER, AQUATIC ECOSYSTEMS AND HUMAN ACTIVITY

Project PROWATERMAN

Report on the use of the geophysical method of electrical resistivity at the Algarve study area

Abstract – Results from the geophysical survey performed in May 2012, near Algoz, Silves, are presented in the present report. This survey was conducted with the resistivity method and is a contribution to PROWATERMAN project.

EAU, ECOSSYSTEMES AQUATIQUES ET ACTIVITE HUMAINE

Projet PROWATERMAN

Rapport thématique sur la prospection géophysique soutenue dans la région d'étude de
l'Algarve

Sommaire – Dans ce rapport ont présente les résultats de la prospection géophysique soutenue en mai 2012, à la proximité de Algoz, Silves, avec la méthode de résistivité électrique pour le projet scientifique PROWATERMAN.

Índice de texto

1	<i>Introdução</i>	1
2	<i>Considerações iniciais</i>	2
3	<i>Trabalhos realizados e resultados obtidos</i>	2
4	<i>Conclusões</i>	10
	<i>Referências</i>	10

Índice de figuras

Figura 1 – Sistemas aquíferos da Orla Meridional ou Algarvia (Fonte: http://snirh.pt).	1
Figura 2 - Enquadramento dos trabalhos realizados.	4
Figura 3 - Enquadramento dos perfis Algoz 1 e Algoz 2 (o círculo a cor azul destaca o poço).	5
Figura 4 – Modelos de resistividade elétrica obtidos para os perfis Algoz 1 (cima) e Algoz 2 (baixo).	5
Figura 5 – O ribeiro Meirinho no local onde é atravessado pelo perfil Algoz 1 (vista de NW para SE).	5
Figura 6 – Esquerda - enquadramento dos perfis Algoz 3 e Algoz 4 (o círculo a cor azul destaca o furo de captação de água). Direita - O ribeiro Meirinho junto ao perfil Algoz 4.	6
Figura 7 – Modelos de resistividade elétrica obtidos para os perfis Algoz 3 (cima) e Algoz 4 (baixo) (a seta a cor azul indica o ponto onde os perfis se encontram mais próximo). (Nota: z.s. - zona saturada).	6
Figura 8 – Visão conjunta dos modelos Algoz 3 e Algoz 4 e suas posições relativas face ao ribeiro Meirinho.	6
Figura 9 – Esquerda - enquadramento dos perfis Algoz 5 e Algoz 6 (o círculo a cor azul destaca o poço). Direita – vista de E para W a montante do açude (coordenada 210) do perfil Algoz 6.	7
Figura 10 – Modelos de resistividade elétrica obtidos para os perfis Algoz 5 (esquerda) e Algoz 6 (direita). (Nota: n.h. – nível hidrostático).	7
Figura 11 - Resultados da medição da condutividade elétrica de amostras de água nas campanhas de 2011 e 2012 (Leitão, T. e Mota, R., 2012).....	9

Índice de tabelas

Tabela 1 - Perfis realizados.....	3
-----------------------------------	---

ÁGUA, ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS E ATIVIDADE HUMANA

Projeto PROWATERMAN

(PTDC/AAC-AMB/105061/2008)

Relatório referente à aplicação do método geofísico da resistividade elétrica na área de estudo do Algarve

1 Introdução

O projeto de investigação PROWATERMAN, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, desenvolve-se num conjunto de bacias hidrográficas em duas áreas de estudo localizadas no sul de Portugal continental: Alentejo litoral e Algarve. Neste relatório são apresentados os resultados obtidos na área de estudo do Algarve.

Na bacia do aquífero Querença-Silves (Figura 1), foram identificados, a partir de um trabalho de campo, realizado em 2011, que envolveu o levantamento de poços, furos e nascentes e recolha de amostras de água superficiais – em cursos de água – e subterrânea – em poços e furos de captação de água -, alguns locais onde haveria interesse em aprofundar os conhecimentos sobre entrada e saída de água do aquífero com o objetivo duplo de proteção do aquífero e eventual recarga do mesmo. Para o efeito realizou-se na vizinhança de Algoz, Silves, uma campanha de prospeção geofísica, com base no método da resistividade elétrica no mês de maio de 2012, complementada com nova recolha de amostras de água.

Os perfis de resistividade elétrica realizados visavam dois objetivos principais: 1) identificar estruturas geológicas permeáveis - que facilitem o percurso de águas contaminadas para o aquífero e, simultaneamente, permitam a sua recarga natural ou artificial - e impermeáveis – que constituam uma barreira ao escoamento subterrâneo e 2) verificar, em complemento de medições em poços de parâmetros físico-químicos, a origem da contaminação das águas subterrâneas do sistema aquífero Querença-Silves.

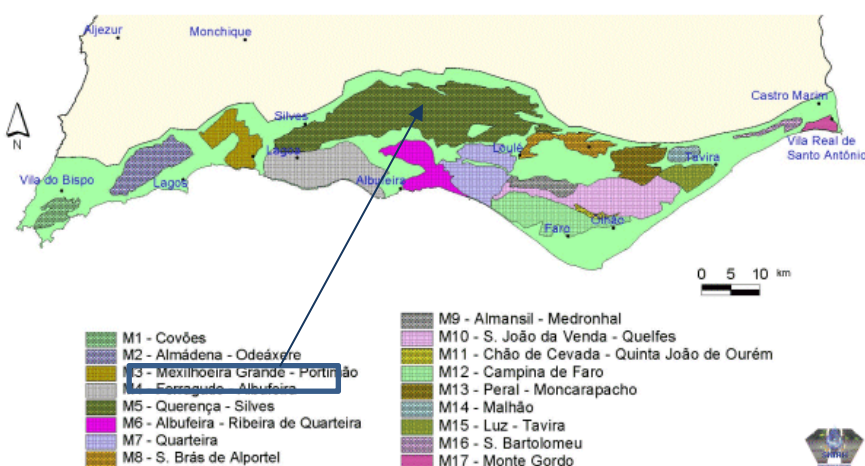


Figura 1 – Sistemas aquíferos da Orla Meridional ou Algarvia (Fonte: <http://snirh.pt>).

Para atingir estes objetivos foram executados 6 perfis de resistividade elétrica, em três locais, com recurso ao dispositivo de dipolo-dipolo.

Os dados dos perfis de resistividade elétrica foram interpretados sob a forma de tomografias bidimensionais de resistividade elétrica.

Nos trabalhos de campo de prospeção geofísica, realizados pelo Núcleo de Geologia de Engenharia e Geotecnia Ambiental (NGEA), do Departamento de Geotecnia (DG), do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), participaram o Bolseiro de Experimentação Válder Nascimento e o Bolseiro de Investigação Luís Oliveira.

2 Considerações iniciais

A prospeção por métodos elétricos baseia-se na geração de um campo elétrico, através da injeção de corrente elétrica no terreno, por meio de dois eletrodos metálicos, e medição da diferença de potencial elétrico entre dois outros pontos.

As variações mais significativas do campo elétrico podem corresponder a heterogeneidades litológicas ou a anomalias de resistividade dos materiais. O grau de variação da distribuição de potenciais depende do contraste de resistividade entre as estruturas subsuperficiais anómalas e o meio envolvente, dependendo ainda, a deteção das anomalias, da sua posição relativa face ao dispositivo utilizado. Tendo em conta que a corrente elétrica se propaga no terreno principalmente através do eletrólito composto pela água existente nos vazios do solo e pelos sais nela dissolvidos, a resistividade depende não só da porosidade do material que compõe o terreno, como também do seu teor em água e do nível de iões nela dissolvidos. Outro elemento que influi igualmente na transmissão da corrente elétrica é a presença de argila.

Em ambiente cársico, como é aquele presente no local de estudo (LNEC, 2010), é comum a existência de *terra-rossa*, um sedimento argiloso vermelho que preenche as cavidades cársicas, e que é resultante da meteorização química da rocha calcária. Deste processo de dissolução da rocha mãe resulta ainda o alargamento das diaclases, o que cria caminhos preferenciais para circulação da água. Tal como foi mencionado anteriormente estes dois fatores (presença de água e de argila) são importantes na circulação da corrente elétrica, embora criem maior heterogeneidade no meio, potenciando erros de leitura e erros nos modelos de inversão dos dados de campo em prospeção com métodos eletromagnéticos, para além de dificultarem a interpretação dos modelos obtidos, devido à não unicidade dos valores da resistividade elétrica.

3 Trabalhos realizados e resultados obtidos

Os locais onde foram realizados os trabalhos (Figura 2) foram selecionados tendo em conta os resultados obtidos, em 2011, no decurso de uma campanha de recolha de águas superficiais e subterrâneas; o enquadramento geológico e, por fim, a disponibilidade de espaço para estender o dispositivo de campo.

Os perfis foram executados em 6 alinhamentos, com recurso ao dispositivo de dipolo-dipolo, utilizando-se diferentes distâncias dipolares, para aumentar a profundidade de investigação ou para adequar o dispositivo físico ao espaço disponível no local (Tabela 1).

Os trabalhos foram realizados com o equipamento LUND IMAGING SYSTEM da ABEM, constituído pelo módulo LUND ES 464 e pelo resistímetro ABEM Terrameter SAS 4000.

A inversão dos dados obtidos, ou seja, a obtenção dos modelos de resistividade elétrica do terreno (tomografias de resistividade elétrica ou tomografias geoeletricas), foi efetuada com recurso ao programa de computador Res2DInv, versão 3.56.12. Estes modelos foram obtidos por inversão dos dados de campo, com inclusão do efeito da topografia, utilizando, no programa Res2DInv, o método dos elementos finitos, para a necessária resolução do problema direto (obtenção da pseudo-secção de resistividade aparente calculada).

Nas figuras 3, 5, 6 e 9 apresenta-se um enquadramento de pormenor de cada um dos perfis, por meio de fotografias e de imagens obtidas pelo GoogleEarth de maior pormenor do que na Figura 2. Os modelos obtidos são apresentados nas figuras 4, 7, 8 e 10.

As coordenadas presentes no eixo horizontal dos modelos de resistividade elétrica correspondem à distância ao início do perfil, considerando sempre a visão do observador no sentido sul-norte, salvo indicação em contrário em situações em que seja necessária outra orientação para facilitar a sua análise. A gama de resistividades é crescente das cores azuis para os encarnados, utilizando-se sempre a gama 35-6336 ohm.m, para permitir ter uma ideia da variação da resistividade em toda a área estudada.

Na Tabela 1 apresenta-se um resumo das condições de execução dos perfis, designadamente a sua identificação, localização, distância dipolar utilizada e comprimento total de cada perfil.

Tabela 1 - Perfis realizados

Identificação		Distância dipolar (m)	Extensão total (m)
Zona A	Algoz 1	6	240
	Algoz 2	6	240
Zona B	Algoz 3	10	390
	Algoz 4	10	390
Zona C	Algoz 5	8	312
	Algoz 6	10	390

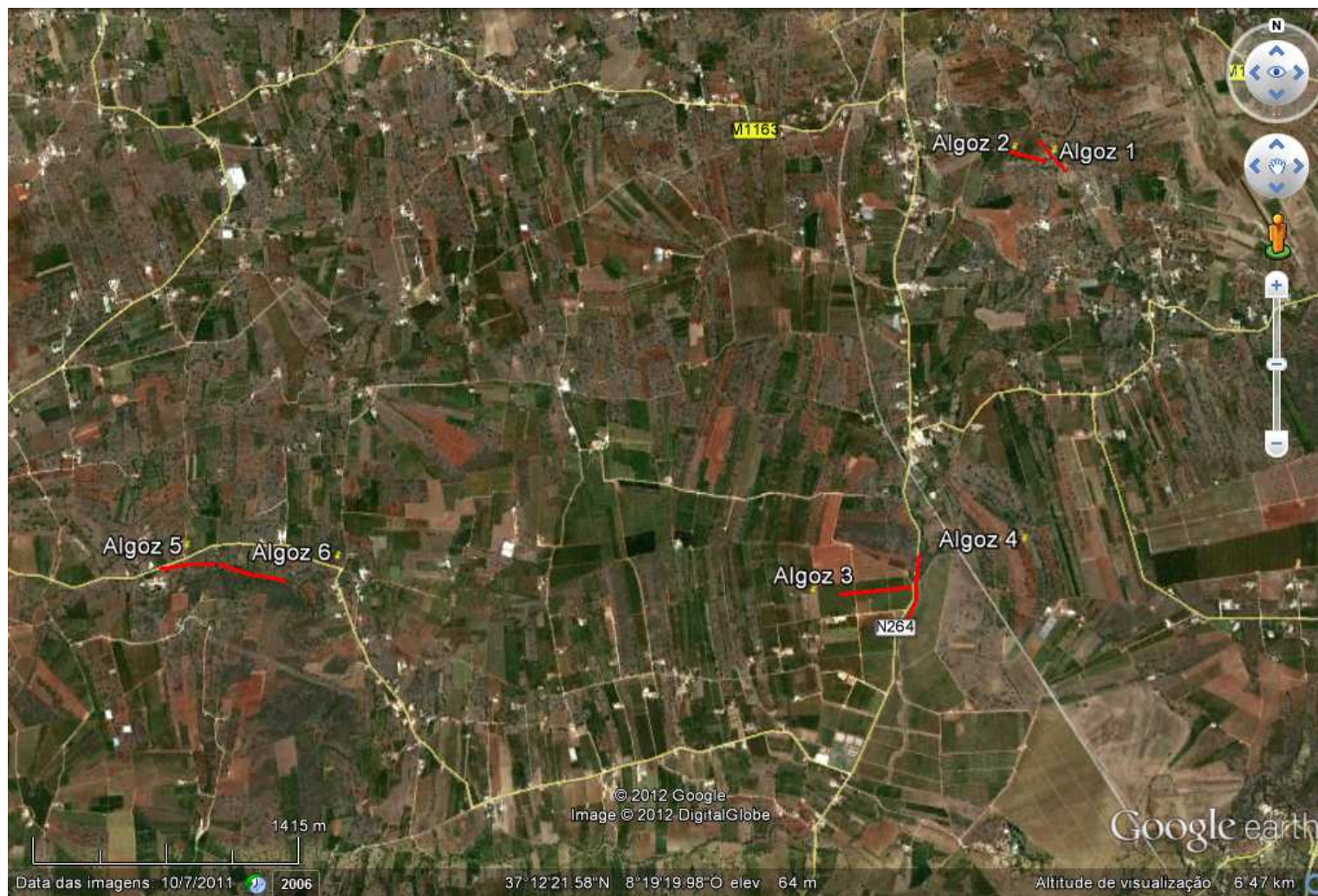


Figura 2 - Enquadramento dos trabalhos realizados.

Local A

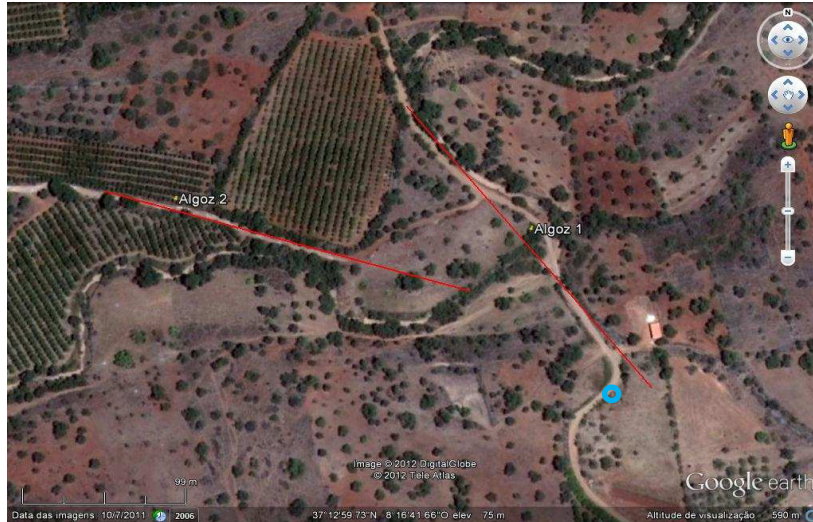


Figura 3 - Enquadramento dos perfis Algoz 1 e Algoz 2 (o círculo a cor azul destaca o poço).

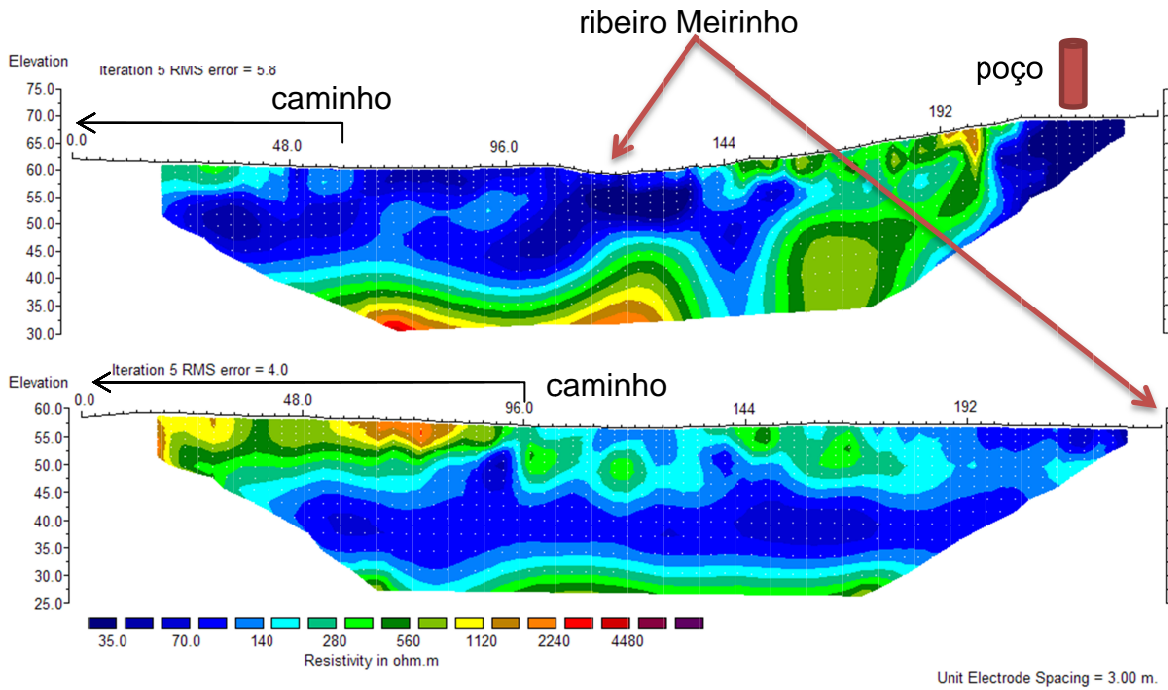


Figura 4 – Modelos de resistividade elétrica obtidos para os perfis Algoz 1 (cima) e Algoz 2 (baixo).



Figura 5 – O ribeiro Meirinho no local onde é atravessado pelo perfil Algoz 1 (vista de NW para SE).

Local B

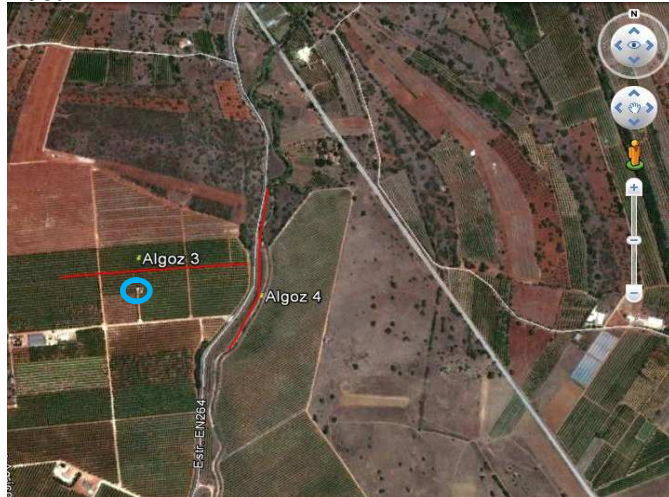


Figura 6 – Esquerda - enquadramento dos perfis Algoz 3 e Algoz 4 (o círculo a cor azul destaca o furo de captação de água). Direita - o ribeiro Meirinho junto ao perfil Algoz 4.

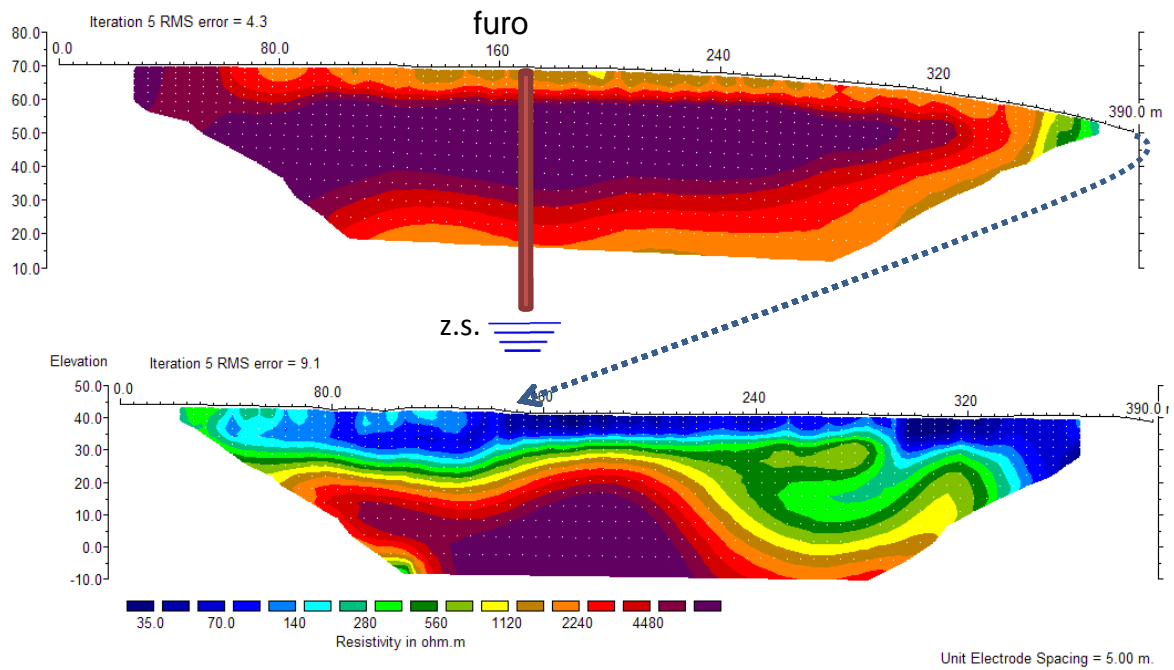


Figura 7 – Modelos de resistividade elétrica obtidos para os perfis Algoz 3 (cima) e Algoz 4 (baixo) (a seta a cor azul indica o ponto onde os perfis se encontram mais próximos). (Nota: z.s. - zona saturada).

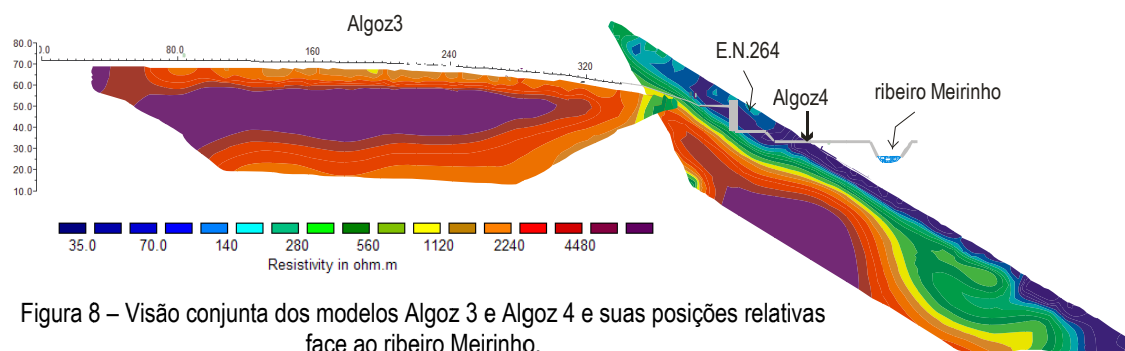


Figura 8 – Visão conjunta dos modelos Algoz 3 e Algoz 4 e suas posições relativas face ao ribeiro Meirinho.

Local C

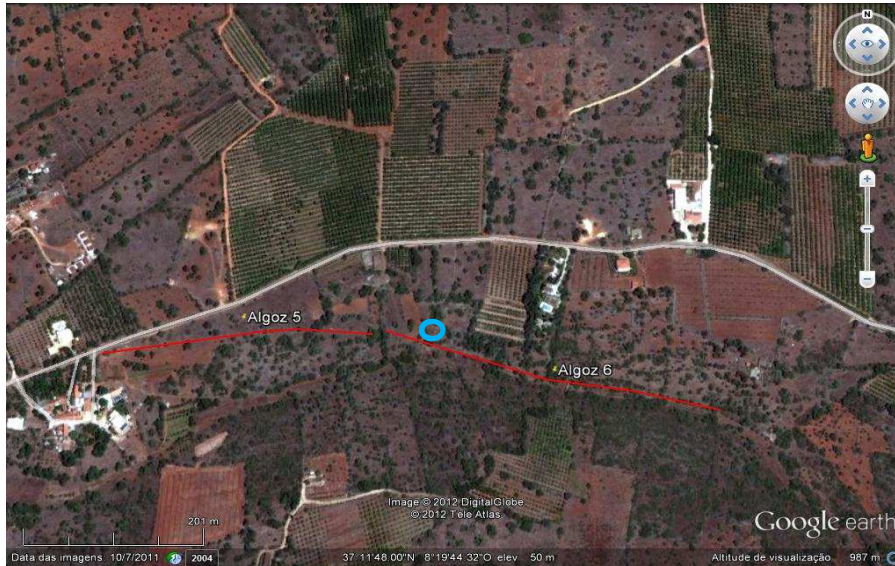


Figura 9 – Esquerda - enquadramento dos perfis Algoz 5 e Algoz 6 (o círculo a cor azul destaca o poço). Direita – vista de E para W a montante do açude (coordenada 210) do perfil Algoz 6.

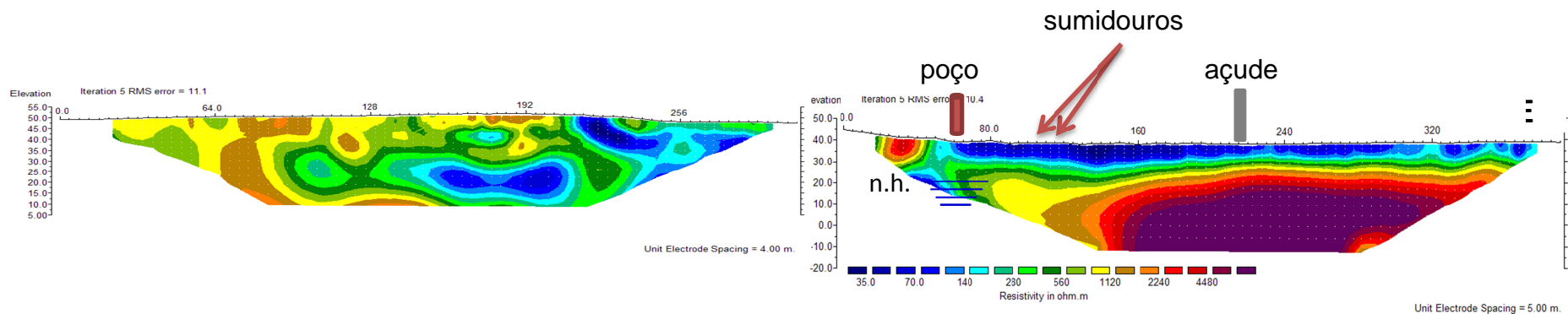


Figura 10 – Modelos de resistividade elétrica obtidos para os perfis Algoz 5 (esquerda) e Algoz 6 (direita). (Nota: n.h. – nível hidrostático).

Local A – neste local os perfis foram realizados num meandro do ribeiro Meirinho, sendo claramente identificável a influência do ribeiro em profundidade até cerca da coordenada 160 do perfil Algoz 1 e a partir da coordenada 100 do perfil Algoz 2. Este facto aponta para que este seja um local a requerer alguma atenção em termos de proteção do aquífero, pois existe uma clara capacidade de circulação de água da superfície para o aquífero. Os baixos valores da resistividade elétrica presentes à superfície no modelo do perfil Algoz 1, entre as coordenadas 60 e 108 m, são devidos à natureza muito argilosa da superfície do terreno que, no momento da execução do perfil, apresentava um elevado grau de saturação. A resistividade elétrica muito baixa (<15 ohm.m) no local onde o perfil atravessa o ribeiro Meirinho e próximo do poço é indicativa da presença de água com elevado teor em sais (a título indicativo a resistividade elétrica de um lixiviado de aterro sanitário é da ordem de 3 ohm.m). A zona de resistividade mais elevada presente no perfil Algoz 1, situada entre o ribeiro Meirinho e o poço, coincide com a transição entre os dois níveis topográficos presentes no local: aquele em torno da cota 60 m - onde circula o ribeiro, e aquele acima da cota 70 m – onde se situa o poço - e constituirá uma barreira à circulação de água subterrânea, o que potencia a recuperação do nível hidrostático do poço após a extração de água, tal como foi relatado pelo proprietário da casa vizinha. Os resultados obtidos indiciam que este local apresenta elevada capacidade de circulação de água da superfície para o aquífero e, como tal, maior vulnerabilidade do mesmo.

Local B (Quinta Nova) - no perfil Algoz 3 identifica-se uma camada superficial de menor resistividade (< 2240 ohm.m) que se correlaciona com a presença conjunta de *terra-rossa*, da água proveniente da rega do laranjal e dos nitratos resultantes da sua fertilização artificial. Segundo o proprietário da quinta onde foi realizado este perfil, quando da execução do furo de captação situado na vizinhança do perfil, o material proveniente da perfuração apresentava-se muito heterogéneo (“rocha podre” na sua descrição), não tendo detetado o nível da água. Ainda de acordo com a mesma fonte, ao atingir os 70 m de profundidade, o nível da água subiu até aos 50 m de profundidade. Esta descrição ajusta-se bem à região de resistividade elétrica superior a 4500 ohm.m, situada entre aproximadamente 7 e 47 m de profundidade, pelo que esta resistividade corresponderá a uma rocha calcária muito carsificada. O local onde foi executado este perfil será assim um local favorável à recarga do aquífero. Sensivelmente à mesma cota em que foi atingido o nível saturado no furo (cerca de 0 m), verifica-se no perfil Algoz 3 uma diminuição do valor da resistividade elétrica, pelo que o substrato rochoso saturado apresenta, neste local, uma resistividade na ordem de 2000 ohm.m. No perfil Algoz 4, a região com resistividade superior a 4480 ohm.m, a profundidades superiores a cerca de 25 m, corresponderá a um maciço rochoso mais compacto (menos carsificado) até cerca da coordenada 220 m. A partir deste ponto a resistividade diminui significativamente em profundidade, o que indicará uma maior carsificação do maciço. A extremidade S do perfil Algoz 4 poderá assim ser um local propício para a recarga do aquífero.

Local C (Cerro do Bardo) - é identificável a cotas superiores ao poço aí existente uma zona de resistividade mais elevada, que permite inferir que, nesse ponto, o terreno terá uma permeabilidade mais elevada do que o terreno circundante, uma vez que a água está a ser drenada para o poço, onde o nível hidrostático está a cerca de 25 m de profundidade. Assim, este poderá ser um bom local de recarga do aquífero e, simultaneamente, mais vulnerável,

requerendo, por isso, medidas de proteção. O açude foi construído para retenção das águas do ribeiro, dada a grande quantidade de água que se escoava por diversos sumidouros existentes ao longo das suas margens e leito, dos quais foram identificados, no decurso desta campanha, dois na margem direita, entre o poço e o açude. Apesar da elevada pluviosidade que ocorreu na semana anterior aos trabalhos de campo, neste local já não circulava água pelo leito do ribeiro, nem havia qualquer encharcamento do solo acumulado a montante do açude, o que evidencia uma elevada capacidade de infiltração local. Da análise ao perfil Algoz 6 destaca-se ainda a maior espessura de baixas resistividades a montante do açude, que evidencia a maior capacidade de infiltração da zona a montante, ao que também não será alheia a presença do açude, que retém a água que eventualmente tenha circulado no ribeiro no decurso da semana anterior.

Por fim é de destacar o aumento geral da resistividade dos terrenos mais superficiais de montante para jusante, o que pode ser devido ao facto de o ribeiro Meirinho deixar de correr entre os locais A e B. Contudo, este comportamento da resistividade dos terrenos tem correspondência na diminuição do valor de condutividade elétrica (grandeza inversa da resistividade elétrica) das amostras de águas superficiais e subterrâneas colhidas nas campanhas de 2011 (Figura 11) e de 2012.

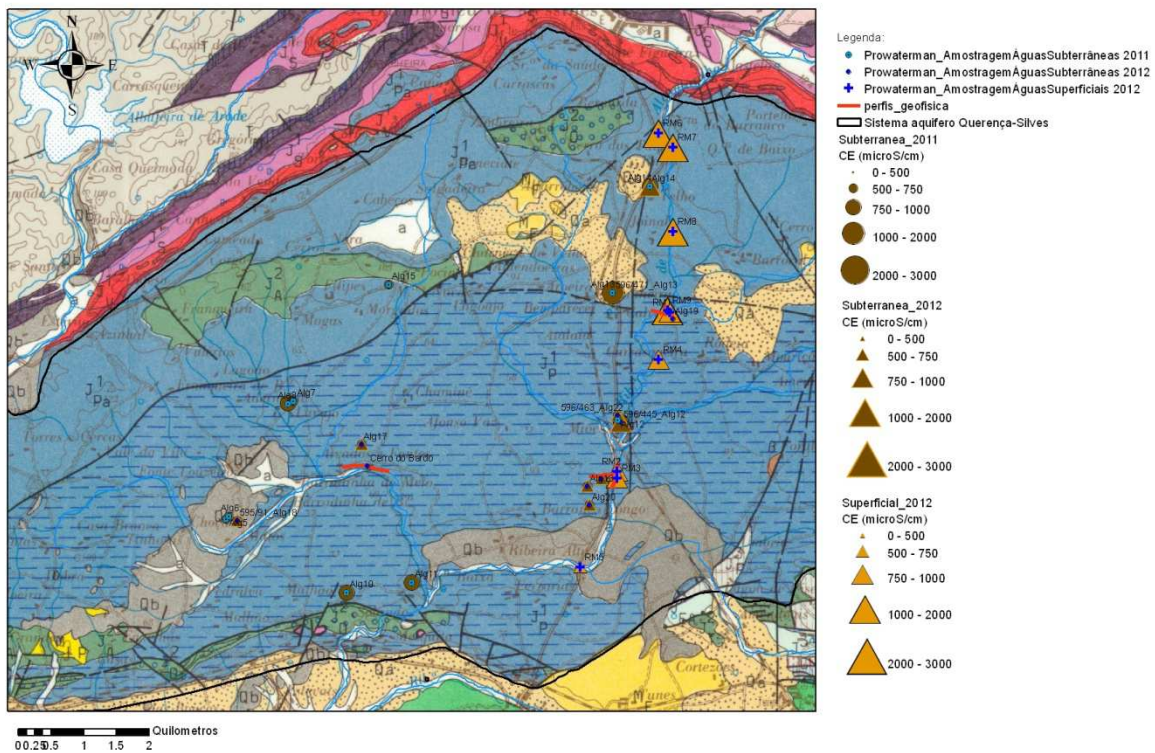


Figura 11 - Resultados da medição da condutividade elétrica de amostras de água nas campanhas de 2011 e de 2012 (Leitão e Mota, 2012)

4 Conclusões

Com os perfis realizados foi possível identificar vários locais favoráveis à recarga do aquífero Querença-Silves e, simultaneamente, passíveis de facilitarem a propagação de contaminantes para o aquífero.

Considerando que o ambiente geológico é idêntico nos locais A e B e que a resistividade aumenta de A para B, os modelos obtidos para a resistividade elétrica do terreno apontam para uma melhoria da qualidade da água subterrânea de norte (local A) para sul (local B).

Referências

Leitão, T. e Mota, R., 2012. *Análise dos efeitos das atividades humanas na qualidade da água subterrânea do aquífero Querença-Silves, nomeadamente através do uso de métodos geofísicos*. Workshops de divulgação dos resultados do projeto Prowaterman, Évora e Faro, 29 e 30 de novembro.

LNEC (2010) - "Prowaterman. Primeiro relatório temático: Caracterização geológica e hidrogeológica das áreas de estudo do Alentejo e Algarve". Relatório 285/2010-NAS, 90 pp.

VISTOS

O Chefe do Núcleo de Geologia de
Engenharia



Filipe Telmo Jeremias

AUTORIA

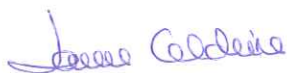


Rogério Mota

Geofísico

Investigador Auxiliar

A Diretora do Departamento de Geotecnia



Laura Caldeira

