

Sondagem de Belverde (Cenozóico, Península de Setúbal, Portugal) Diagrafias

Isabel Ribeiro⁽¹⁾, Elsa Ramalho⁽²⁾, Luís Torres⁽²⁾ & João Pais⁽¹⁾

Projecto "Reconhecimento do Miocénico da parte terminal da Bacia do Baixo Tejo através de uma sondagem com amostragem contínua".
(POCTI/32345/CTA/2000), Fundação para a Ciência e a Tecnologia, Ministério da Ciência e do Ensino Superior.

<http://www.det.fct.unl.pt/Sondagem/index.html>. E-mail do Coordenador do Projecto: jjp@fct.unl.pt

1 – Centro de Estudos Geológicos, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Quinta da Torre, 2829-516 Caparica.

2 – Instituto Geológico e Mineiro, Divisão de Geofísica, Estrada da Portela, Zambujal, Alfragide, Apart. 7586, 2721-866 Amadora.

Resumo

Palavra-chave: Sondagem; Neogénico; Diagrafias; Belverde; Bacia do Baixo Tejo; Portugal.

No âmbito do projecto "Reconhecimento do Miocénico da parte terminal da Bacia do Baixo Tejo através de uma sondagem com amostragem contínua", realizaram-se diagrafias geofísicas de Temperatura, Radiação Gama Natural e Neutrões (em grande parte da sondagem), Sónica, SP e SPR (em duas pequenas secções da parte superior e inferior dos depósitos miocénicos). Da sua interpretação pretendem estabelecer-se comparações com os resultados de análises micropaleontológicas, cronológicas, litostratigráficas e de estudo dos minerais argilosos, de modo a caracterizar sequências deposicionais e a obter reconstruções paleoambientais conducentes a uma melhor compreensão do preenchimento da bacia.

Abstract

Key-words: Borehole; Neogene; Geophysical logs; Belverde; Lower Tagus Basin; Portugal.

In the aim of the project "Recognition of the Miocene of the distal region of the Lower Tagus Basin through a borehole with continuous sampling", Temperature, Natural Gamma Ray, Neutron (almost in all the borehole), Sonic, SP and SPR (in two small sections in upper and lower parts of the Miocene Series) geophysical logs were carried on. Interpretation of those logs and comparison with chronological, lithostratigraphical, micropaleontological and clay minerals data, helped in the definition of depositional sequences and to obtain paleoenvironmental reconstructions that could lead to a better understanding of the evolution of the Setúbal Peninsula and Lisboa regions Miocene gulf.

Log data agree with the lithologic succession observed in the Belverde borehole, essentially silty sandstones/sandy siltstones (with variable clay content) to clays, often with marly intercalations.

Sonic logs (and Neutron logs, in general) reflect the sediments porosity. The higher acoustic velocities are often related to compact/massive layers as claystones and/or limestones and rather fossiliferous marly layers. Lower values are obtained for porous, silty sandstones (fossiliferous and with scarce clay content) and bio-calcareous sandstones. As indicative, we obtained the mean values of 2500-3000m/s for the higher velocities and 1300-1600m/s for the lowest ones.

In Natural Gamma Ray log, the radiation peaks can be correlated to often fossiliferous marly micaceous layers. Radioactive micas are present. It seems that the gamma peaks and the depositional sequences previously defined for the Lower Tagus Basin (see Antunes *et al.*, 1999, 2000; Pais *et al.*, 2002) can be correlated, taking also into account the whole available micropaleontological, palynological and isotopic evidence.

Introdução

A Bacia sedimentar do Baixo Tejo tem enorme importância científica e prática, assumindo posição impar pelo registo geológico que oferece. Permite a caracterização de fenómenos biológicos, geológicos e físicos que ocorreram durante, aproximadamente, os últimos 35 milhões de anos (parte do Paleogénico e, sobretudo, Neogénico). É excelente padrão de comparação estratigráfico, paleontológico, geoquímico, paleoclimático e paleomagnético, à escala europeia. Acresce a situação geográfica peculiar, de interface entre as áreas oeste-atlântica e mediterrânea e, de certo modo, relativamente ao lado americano.

Tem merecido atenção científica desde há muito, já sistematizada na "Recreação Filozofica" do Padre oratoriano, Teodoro de Almeida (1762). Seguiram-se, no séc. XIX, intervenções de geólogos e paleontólogos, estrangeiros (Daniel Sharpe, J. W. Sowerby, W.-L. von Eschwege, etc.) e portugueses, como José Bonifácio de Andrada e Silva, Alexandre Vandelli, F. Pereira da Costa e outros, com realce para Jorge Cândido Berkeley Cotter, nos alvares do séc. XX. Há, também, que destacar P. Choffat, a quem se devem observações minuciosas até pouco antes da sua morte (1919). Ulteriormente, deve ser recordado, em particular, G. Zbyszewski (*in* Antunes *et al.*, 1995, 1999).

Para o efeito, contribuíram Instituições como os Serviços Geológicos de Portugal, a Faculdade de Ciências de Lisboa e a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. O programa essencial deste estudo, enunciado há mais de duas décadas, tem sido promovido e efectuado por uma equipa do Centro de Estudos Geológicos (Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL), coordenada por M.T. Antunes.

Dispõe-se hoje de impressionante conjunto de dados multidisciplinares. Cabe sublinhar o contributo do Projecto Praxis XXI, "Neogénico da margem atlântica da Ibéria e transformações globais", que permitiu enorme progresso na datação fina, na análise paleontológica e isotópica, na datação paleontológica e radiométrica, no estudo das fracções argilosas e da sedimentação do ponto de vista sequencial, enfim, no estabelecimento de correlações marinho-continental em condições excepcionais a nível da Europa ocidental (Antunes *et al.*, 2000).

Porém, a problemática está longe de esgotada. Variações laterais de fácies, lacunas e hiatos no registo sedimentar têm levantado dificuldades. Os depósitos aflorantes correspondem a unidades marginais, em regra pouco espessas, não representativas da totalidade do enchimento da Bacia do Baixo Tejo.

É hoje claro que a parte interna do golfo do Baixo Tejo estava protegida do oceano por uma barreira (alto fundo?) que funcionou, quase em permanência, ao longo de muito do Miocénico. Os melhores afloramentos, ao longo da fachada atlântica da Península de Setúbal, correspondem a esse alto fundo. No interior, subsidência intensa levou à acumulação de muito maior volume de sedimentos. É aí

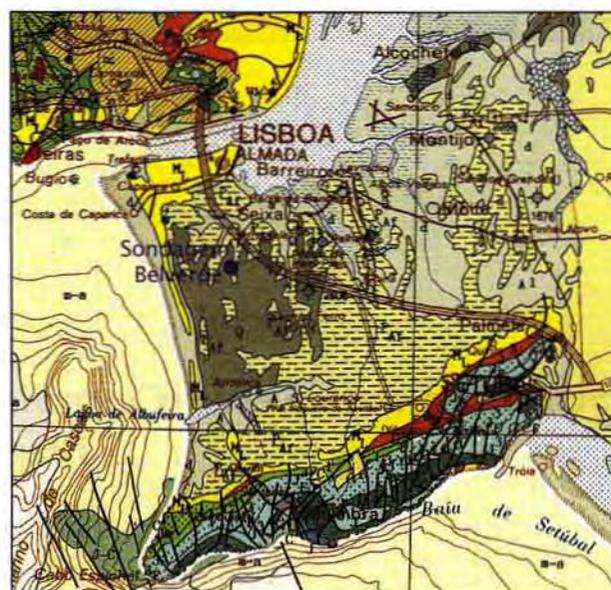


Fig. 1 – Carta geológica da parte distal da Bacia do Baixo Tejo, com a localização da Sondagem Belverde. A SSE, situa-se a cadeia montanhosa da Arrábida (Oliveira *et al.*, 1992).

que devem estar registados todos os acontecimentos ocorridos durante os últimos (cerca de) 23 milhões de anos de evolução da parte distal da bacia do Baixo Tejo, cujo conhecimento tem fortes implicações no que diz respeito à Bacia do Tejo actual.

Assim, foi executada, com financiamento da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (MCES), uma sondagem com amostragem contínua na parte interna do golfo do Baixo Tejo, ainda na área de influência oceânica, possibilitando acesso a um registo sedimentar mais completo.

O local (Belverde, coordenadas: 38°35'34.1"/9°8'24.7", Fig. 1) foi seleccionado com base em perfis sísmicos, de modo a poderem ser extrapolados os resultados para o interior da bacia através do acompanhamento dos principais reflectores.

A sondagem decorreu de Março a Dezembro de 2001. Foi realizado o reconhecimento litostratigráfico e efectuadas diagrfias geofísicas. Estão em curso estudos de biostratigrafia (foraminíferos, ostracodos, dinoflagelados) (Legoinha *et al.*, 2002; Sousa & Pais, 2002), de datações isotópicas ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) (Pais *et al.*, 2002) e de minerais argilosos. Pretendem obter-se reconstituições paleoambientais e definir sequências deposicionais, com vista a compreender, e acompanhar, o enchimento da bacia e a estabelecer relações com episódios tectónicos (como os relacionados com a elevação da cordilheira da Arrábida), bem como caracterizar as correspondentes oscilações eustáticas.

Nesta nota apresentam-se resultados de diagrfias efectuadas (Ramalho *et al.*, 2002; Pais *et al.*, 2002). Da sua interpretação, complementada pela informação estratigráfica, espera-se obter dados adicionais quanto à evolução paleoambiental ocorrida durante o Miocénico, na parte distal da Bacia do Baixo Tejo.

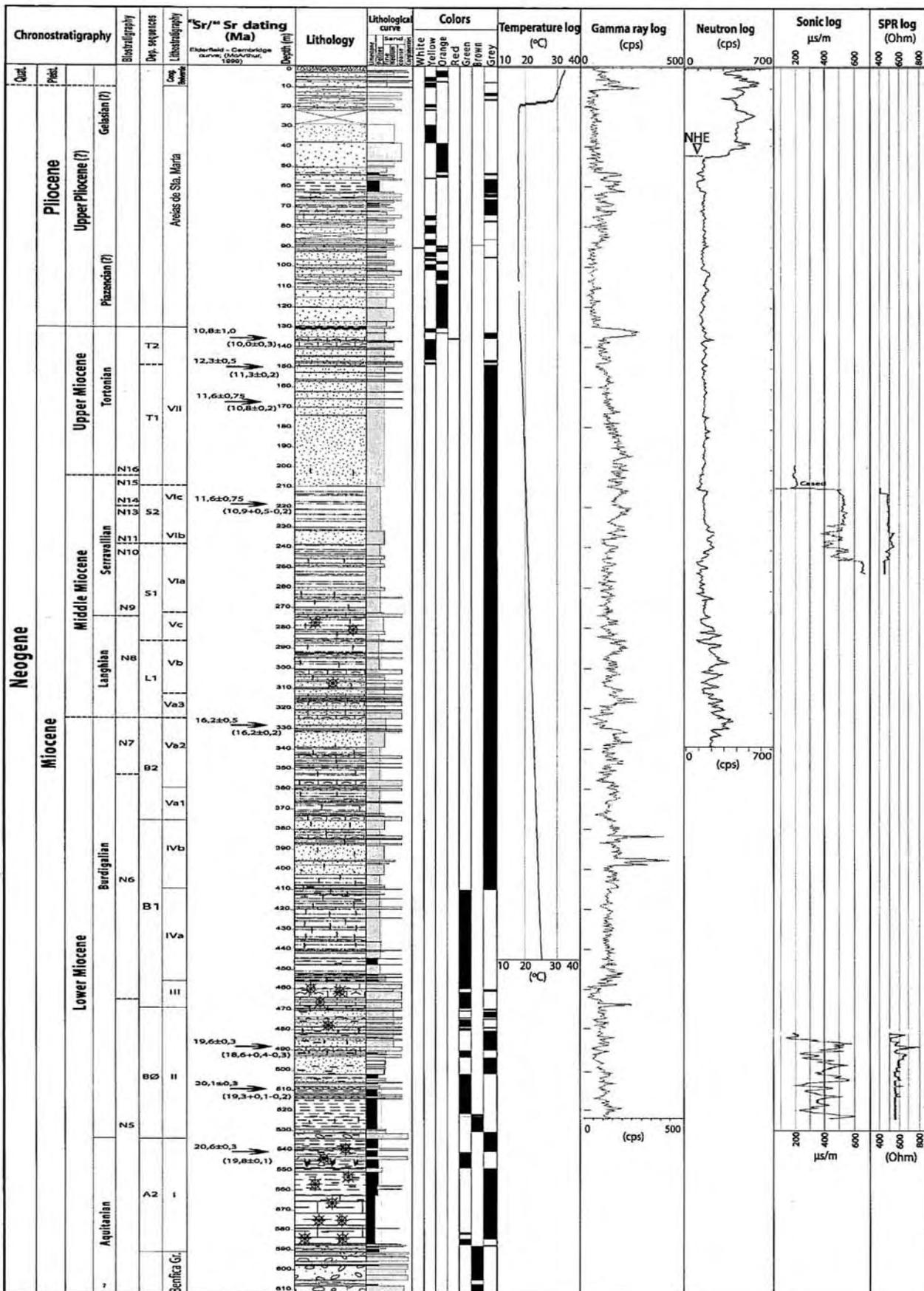


Fig. 2 - Enquadramento cronostratigráfico da sondagem Belverde (619.77m) e treços de diagrfias efectuadas.

Diagrafias

Foram levadas a efeito diagrafias eléctricas [SPR (*Single-point Resistance*) e SP (*Spontaneous Potential*)], nucleares (Radiação Gama Natural – RGN – e Neutrões), Sónica e da coluna de fluido (Temperatura). Destas, referem-se, com algum detalhe, as diagrafias nucleares e sónica. O enquadramento destes troços de diagrafias, na sondagem, é apresentado na Fig. 2.

Diagrafia de Temperatura*

Num furo, o registo das variações de temperatura é útil na interpretação quantitativa das diagrafias eléctricas; permite a identificação das zonas fracturadas e das anomalias causadas por perdas ou entradas de água no furo. A sonda de temperatura (Fig. 3) possui, geralmente, um termistor cuja resistência eléctrica varia com mudanças de temperatura que ocorram no fluido existente no furo. Através de um factor de calibração apropriado, as variações de tensão resultantes são convertidas em temperaturas.

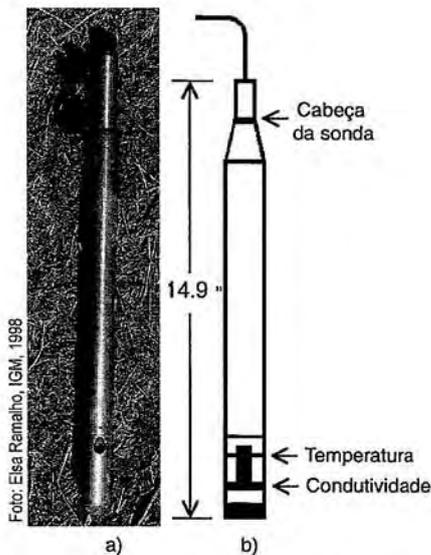


Fig. 3 – a) Sonda 2WQA-1000 que mede temperaturas e condutividades do fluido; b) esquema da sonda.

A velocidade de descida da sonda de temperatura deve ser constante e muito lenta. A diagrafia deve ser efectuada em furos com a coluna de fluido estabilizada. A temperatura registada será a do fluido em redor do sensor e, quando o furo está em equilíbrio térmico, será representativa das formações rochosas adjacentes. Se não existir fluxo no interior ou na zona adjacente a um furo, a temperatura aumentará gradualmente em profundidade em função do gradiente geotérmico local; o aumento depende de factores locais como condições topográficas, tipo de unidades geológicas e a história geológica e climática da região, sendo possível estimar a densidade de fluxo de calor à superfície.

* Adaptado de Marques da Silva, M. A., Ramalho, E. C. & Correia, A. (em preparação) - "Diagrafias aplicadas à hidrogeologia". Livro técnico-didático de apoio a hidrogeólogos.

Diagrafia de Radiação Gama Natural (RGN)*

A diagrafia nuclear mais simples é a de Radiação Gama Natural. Mede a radioactividade natural das rochas. É a diagrafia mais utilizada para o reconhecimento de litologias, especialmente quando relacionadas com a permeabilidade e com o conteúdo de argila e silte (Keys, 1990), e para o estabelecimento de correlações. Pode ser utilizada sob condições diversas e em vários tipos de litologias, revelando claramente unidades carbonosas, evaporíticas e, em especial, níveis argilosos.

Ao contrário das diagrafias SP e SPR, pode ser utilizada tanto em furos entubados, com lamas resistivas, como em furos em "open hole", sem fluido.

Os isótopos radioactivos de certos elementos decaem continuamente para produzir formas mais estáveis (Doveton, 1994). Dos muitos isótopos naturais radioactivos, apenas três (e os seus produtos de decaimento) desempenham papel importante na radioactividade natural de minerais e rochas: Urânio (^{238}U), Tório (^{232}Th) e Potássio (^{40}K). Os outros, ou são muito instáveis ou extremamente raros.

Nos ambientes sedimentares, as emissões gama são devidas, quase exclusivamente, ao ^{40}K , relativamente abundante em unidades argilosas. Arenitos feldspáticos, arenitos micáceos e areias derivadas destas rochas podem apresentar radioactividade considerável (Chappelier, 1992). A radioactividade das argilas pode dever-se a (Chappelier, 1992):

- presença de argilas potássicas, por exemplo contendo ilite;
- presença de argilas não potássicas, contendo minerais acessórios de potássio, urânio e tório;
- presença de argilas que adsorveram urânio e tório, já que os sais destes elementos são altamente solúveis.

A radiação gama natural detectada pela sonda (Fig. 4) tem origem em materiais a pequenas distâncias das paredes da sondagem. Na maior parte dos casos, 90% dos raios

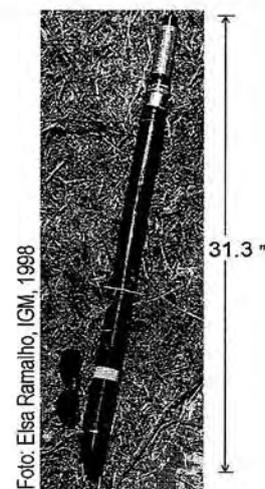


Fig. 4 – Sonda 2PGA-1000 que mede RGN, SP e SPR.

gama detectados durante o registo são devidos a materiais a distâncias entre 15 e 30 cm da parede do furo (Keys, 1990; Doveton, 1994).

Quando o diâmetro do furo aumenta, a radiação gama tem de atravessar maior espessura de materiais antes de atingir o detector; o número de contagens de radisótopos por segundo (cps) será, pois, inferior.

Tanto o fluido (água ou água + lama bentonítica) que enche o furo, como o revestimento (aço, alumínio, PVC, etc.), respectiva densidade e espessura, vão atenuar as radiações detectadas. A sua influência deve ser corrigida, recorrendo a gráficos que levam em conta o diâmetro do furo e a espessura do entubamento (COLOG, 1993).

Diagrafia de Neutrões*

Na diagrafia de neutrões a sonda responde, principalmente, ao conteúdo de hidrogénio (e, portanto, de água) e à porosidade (Keys & McCary, 1971).

Como, nas rochas de sub-superfície, o hidrogénio se encontra fundamentalmente na água e em hidrocarbonetos, a medida do conteúdo de hidrogénio permite estimar, em condições favoráveis, a porosidade e a saturação (Chappelier, 1992).

Esta diagrafia é efectuada utilizando uma sonda (Fig. 5) que consiste numa fonte radioactiva e num detector dispostos de forma a que os dados registados sejam função do conteúdo de hidrogénio no ambiente do furo (Keys & MacCary, 1971). Recorre à radioactividade induzida (Chappelier, 1992) pela introdução artificial de neutrões no sistema rocha-fluido, medindo-se, depois, o seu fluxo, que varia devido à atenuação.

A fonte radioactiva utilizada foi de amerício-berilo (Am-Be), com uma actividade de 1 Curie e meia-vida de 458 anos (Keys, 1990). Neste caso, a correcção a aplicar por atenuação da emissão é muito pequena e desprezível (Chappelier, 1992).

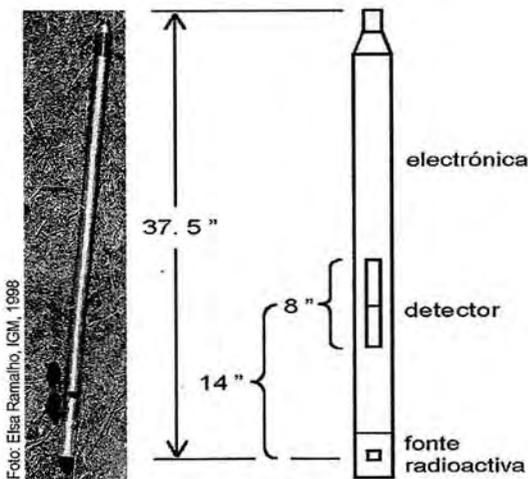


Fig. 5 – a) Sonda de registo de neutrões (LLP-2676); b) esquema da sonda.

No caso da sonda utilizada, o número de neutrões que alcança o detector é inversamente proporcional à concentração de hidrogénio no meio (Chappelier, 1992) (Fig. 6).

Verifica-se que, em rochas porosas e saturadas, o hidrogénio envolvido nas atenuações dos neutrões se

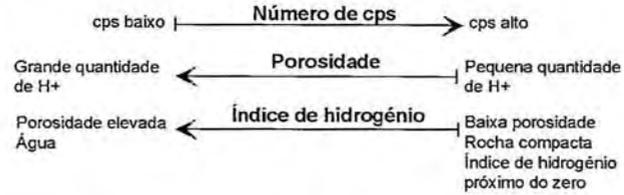


Fig. 6 – Escalas relativas de diagrafias de neutrões (adaptado de Chappelier, 1992).

encontra geralmente na água e, como tal, qualquer aumento no conteúdo de hidrogénio indicará aumento da porosidade (Keys & MacCary, 1971; Keys, 1990; Chappelier, 1992).

A diagrafia de Neutrões tem a vantagem de poder ser utilizada com ou sem fluido condutor e em furos, entubados ou não. O entubamento não causa efeito significativo no valor das medidas registadas (Keys, 1990), não obrigando, portanto, à utilização de factores de correcção.

Diagrafia de SPR*

O dispositivo eléctrico mais simples consiste na sonda mono-electrónica não compensada, utilizada no método do *single-point resistance* (SPR). O sinal é registado, no geral, em simultâneo com as diagrafias de SP e de RGN e é medido com a mesma sonda. Esta diagrafia fornece uma imagem qualitativa das variações da resistividade das rochas ao longo da perfuração, da qual se podem tirar informações litológicas para além de facilitar correlações entre sondagens.

A interpretação deste registo é simples; um aumento da resistividade é indicado por um aumento da resistência na diagrafia. Os valores são apenas qualitativos, não podendo ser utilizados para interpretações quantitativas. Tem boa definição vertical.

Diagrafia Sónica

A sonda sónica (Fig. 7) utiliza a transmissão de ondas acústicas através do fluido da sondagem e das rochas envolventes. A existência de um fluido no furo e o seu desentubamento são requisitos essenciais para se estabelecer a ligação entre o sinal emitido e as rochas envolventes (Keys, 1990). Os registos sónicos (velocidades acústicas) avaliam o tempo de propagação de uma onda acústica (onda compressional ou onda P) desde os transmissores até os receptores da sonda sónica.

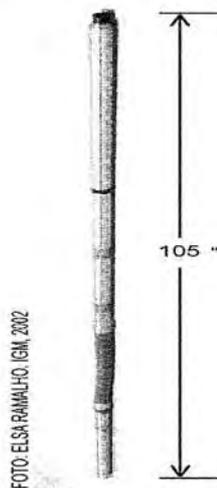


Fig. 7 – Sonda sónica 2SAA-1000 que mede velocidades acústicas.

O(s) transmissor(es) existente(s) na sonda convertem a energia eléctrica emitida à superfície em energia acústica, a qual se vai propagar através do fluido e das rochas envolventes; os receptores, também localizados na sonda, convertem a energia acústica detectada em sinal eléctrico o qual é recebido à superfície.

A energia acústica propaga-se no fluido e nas rochas envolventes a uma velocidade relacionada com a mineralogia e a porosidade das rochas (Keys, 1990); assim, a diagrafia sónica fornece informação sobre litologia e porosidade e, também, sobre o tipo de cimento que agrega as partículas minerais e as características e localização das fracturas (Keys, 1990). As velocidades acústicas aumentam com a profundidade e com a maior compactação e cimentação da rocha.

A sonda sónica utilizada (2SAA-1000), possui um transmissor que emite ondas acústicas (ondas P) e um par de receptores que detectam a sua chegada. Estas propagam-se devido ao movimento de partículas na direcção de propagação, sensivelmente ao dobro da velocidade das ondas S (ou de cisalhamento), caracterizadas por movimento das partículas perpendicular à direcção de propagação. As ondas S não se propagam directamente através do fluido existente no furo, pelo que a sua transmissão tem de ocorrer por conversão de ondas P intermediárias (Keys, 1990). A sonda regista estes dois tipos de ondas. No registo sónico são identificados os tempos de chegada da primeira onda P aos dois receptores.

Condições da sondagem

A sondagem de Belverde atingiu a profundidade de 619.77m. Devido ao tempo de repouso do furo, parte do material em suspensão sedimentou e as diaggrafias apenas atingiram a profundidade de 525m. Devido às condições do furo e às limitações inerentes a cada diagrafia,

realizaram-se as seguintes diaggrafias em distintas campanhas de ensaios:

- 0-446m: temperatura (furo entubado);
- 0-525m: RGN (em quaisquer condições do furo);
- 0-339m: neutrões (furo entubado);
- 209-252m: SPR, SP, sónica (furo desentubado);
- 480-525m: SPR, SP, sónica (furo desentubado).

O furo, vertical, teve as características genéricas relativamente a entubamentos de aço sucessivos mostradas no Quadro I. Entre os sucessivos entubamentos encontrava-se água misturada com lama bentonítica e/ou aditivo GS 550.

Aquisição dos dados

As diaggrafias foram efectuadas com o equipamento de diaggrafias da Mount Sopris Instruments, Inc.,



Fig. 8 – Equipamento digital para a realização de diaggrafias: logger, cabo multicondutor, guincho, PC portátil.

constituído por um logger digital MGX II e um guincho 2500, com cabo monocondutor de 650m (Fig. 8).

A aquisição dos dados foi feita com um computador portátil e o recurso ao software MSLog (© Mt. Sopris Instruments Co., Inc., v.6), que corre em ambiente Windows (© Microsoft).

Os parâmetros registados foram obtidos com diferentes sondas. A diagrafia de temperatura foi obtida com a sonda 2WQA-1000 (Fig. 3); as diaggrafias de SPR, SP e RGN com a sonda 2PGA-1000 (Fig. 4); a diagrafia de neutrões com a sonda LLP-2676 (Fig. 5) e a sónica, com a sonda 2SAA-1000 (Fig. 7), todas elas da Mount Sopris. Os resultados das diaggrafias de temperatura são expressos em graus Celsius (°C), RGN e Neutrões em número de contagens por segundo (cps)**, SP em miliVolt (mV), SPR em Ohm e sónica em micro-segundo por metro (µs/m).

Apenas foi possível realizar estas diaggrafias devido à extrema dificuldade em manter as paredes da sondagem sem entubamento, o que restringiu fortemente o programa de diaggrafias previsto. Na maior parte do furo, apenas se pôde intervir com sondas cujos registos pudessem ser

** A unidade padrão para calibração das sondas de neutrões e gama é a unidade API (American Petroleum Institute), geralmente utilizada em Hidrogeologia; as sondas mais pequenas fornecem as leituras directas em cps.

Quadro I

Refª	Comprimento (m)	Ø Externo (mm)	Ø Interno (mm)	Espessura (mm)
Ø143	0-87.13	143	133.5	4.75
Ø128	0-139.04	128	118.5	4.75
ØHW	0-209.80	114.3	101.6	6.35
ØNW	0-339.11	89.1	76.4	6.35
ØBW	0-486.33	73.2	60.5	6.35

Quadro II

Refª	Comprimento (m)	Troço com a mesma espessura (m)	Espessura total do aço atravessada pelo detector (")	Factor de correcção (FC)
Ø143	0-87.13	0-87.13	0.87	3.4
Ø128	0-139.04	87.13-139.04	0.685	2.7
ØHW	0-209.80	139.04-209.80	0.5	2.2
ØNW	0-339.11	209.80-339.11	0.25	1.55
ØBW	0-486.33	339.11-486.33	0.25	1.55

efectuados com a sondagem entubada (temperatura, neutrões e RGN). As diagrfias eléctricas de SP e SPR e a sónica apenas foram feitas em "open-hole", aquando da remoção do entubamento, nos troços entre os 209-252m e os 480-525m. Os resultados da diagrfia SP não são apresentados neste texto por ter sido considerada menos relevante a informação fornecida.

Os dados dos diversos parâmetros foram adquiridos nos sentidos descendente e/ou ascendente, a velocidades que variaram entre os 2m/min (diagrfia sónica) e 5m/min (diagrfias eléctricas e de RGN).

Em todas as campanhas a cota de referência (zero), foi a superfície do solo.

Processamento dos dados

O processamento em gabinete de todos os parâmetros registados foi efectuado com o *software* Wellcad (© Mt. Sopris Instruments Co., Inc., v.3).

A diagrfia de temperatura realizada no troço entre os 0 e 446m de profundidade é apresentada na Fig. 2, coluna a). Evidencia que o furo parece ter adquirido uma estabilidade térmica bastante aceitável, tendo em conta o tempo máximo de repouso (cerca de 1 mês e meio) quando a diagrfia foi realizada. Estimou-se um gradiente geotérmico médio de cerca de 22°C/Km a partir da profundidade de 120m sem, no entanto, terem sido efectuadas correcções topográficas ou paleoclimáticas.

Na diagrfia de RGN, efectuou-se a correcção para a água, a fim de eliminar o efeito do fluido (água ou água + lama bentonítica) em função do diâmetro do furo, a partir dos correspondentes gráficos de COLOG (1993). De acordo com os cálculos efectuados, o valor do factor de correcção (FC) correspondente à maior atenuação causada pela presença de água, seria de cerca de 1.1. Em face deste valor, considerou-se adequado desprezar a correcção, uma vez que a ela está associada a incerteza do fluido que se encontra no espaço intertubular das

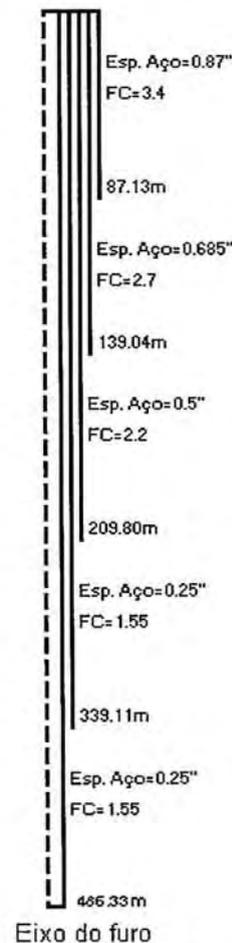


Fig. 9 – Esquema da sondagem Belverde e respectivos FC em cada troço sucessivo até a profundidade máxima de realização de uma diagrfia entubada.

sucessivas tubagens de aço. O processamento efectuado permitiu estabelecer a diagrfia de RGN corrigida, final (mostrada na Fig. 2b, entre 0 e 525m de profundidade; em cada troço, foram levados em conta os diferentes FC obtidos

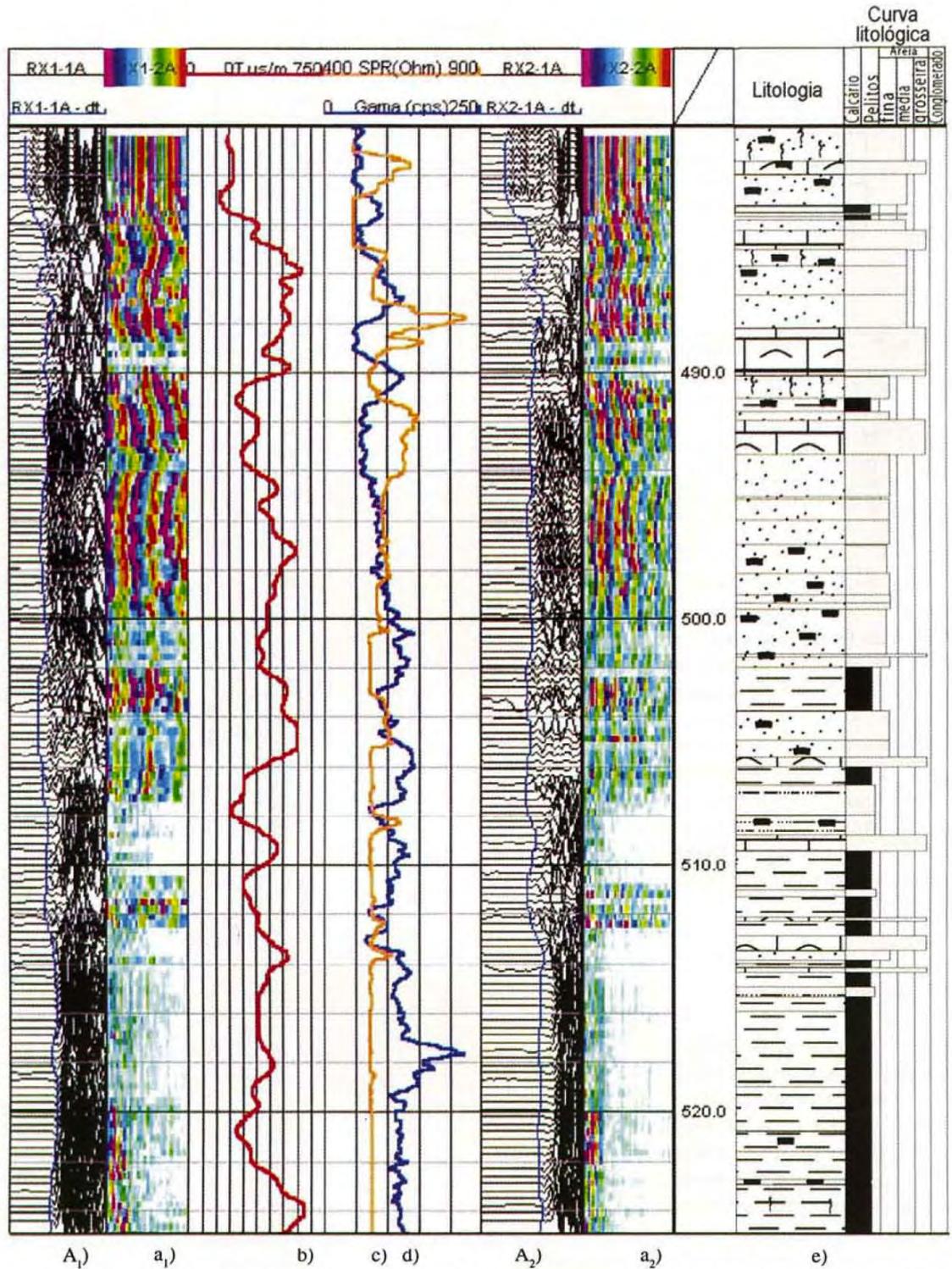


Fig. 10 – Diagramas efectuadas no troço de 480-525m de profundidade (ainda entubado entre os 480 e 486m); (A e a) registo dos dados não-processados da sonda 2SAA-1000, apresentados de dois modos diferentes, referentes à chegada das ondas P nos dois receptores Rx1 (A₁ e a₁) e RX2 (A₂ e a₂). Já processadas com o *software* Wellcad, apresentam-se as diagramas de Sónica (b), SPR (c) e RGN (d). Neste troço, não existe diagrama de Neutrões para correlação; (e) correspondente troço da litologia.



Legenda litológica

para a espessura total de aço, indicados no Quadro II. Na obtenção dos resultados da diagrama de RGN final (0-525m), o procedimento foi o seguinte:

- entre 0 e 486.33m (correspondente a zona entubada da sondagem), os dados foram registados nas sucessivas campanhas e corrigidos para o entubamento de aço;

- a partir dos 486.33m até 525m, a aquisição dos dados foi efectuada após desentubamento, pelo que já não necessitaram de correcção.

Na Fig. 9 apresenta-se o esquema de entubamento da sondagem Belverde até a profundidade de 486.33m, com

o diâmetro BW, bem como os respectivos FC e espessuras de aço em cada troço.

A diagrafia de RGN final (Fig. 2b) resulta, pois, de uma composição das diagrafias de RGN parciais, afectadas pelo correspondente factor de correcção para a espessura do entubamento de aço.

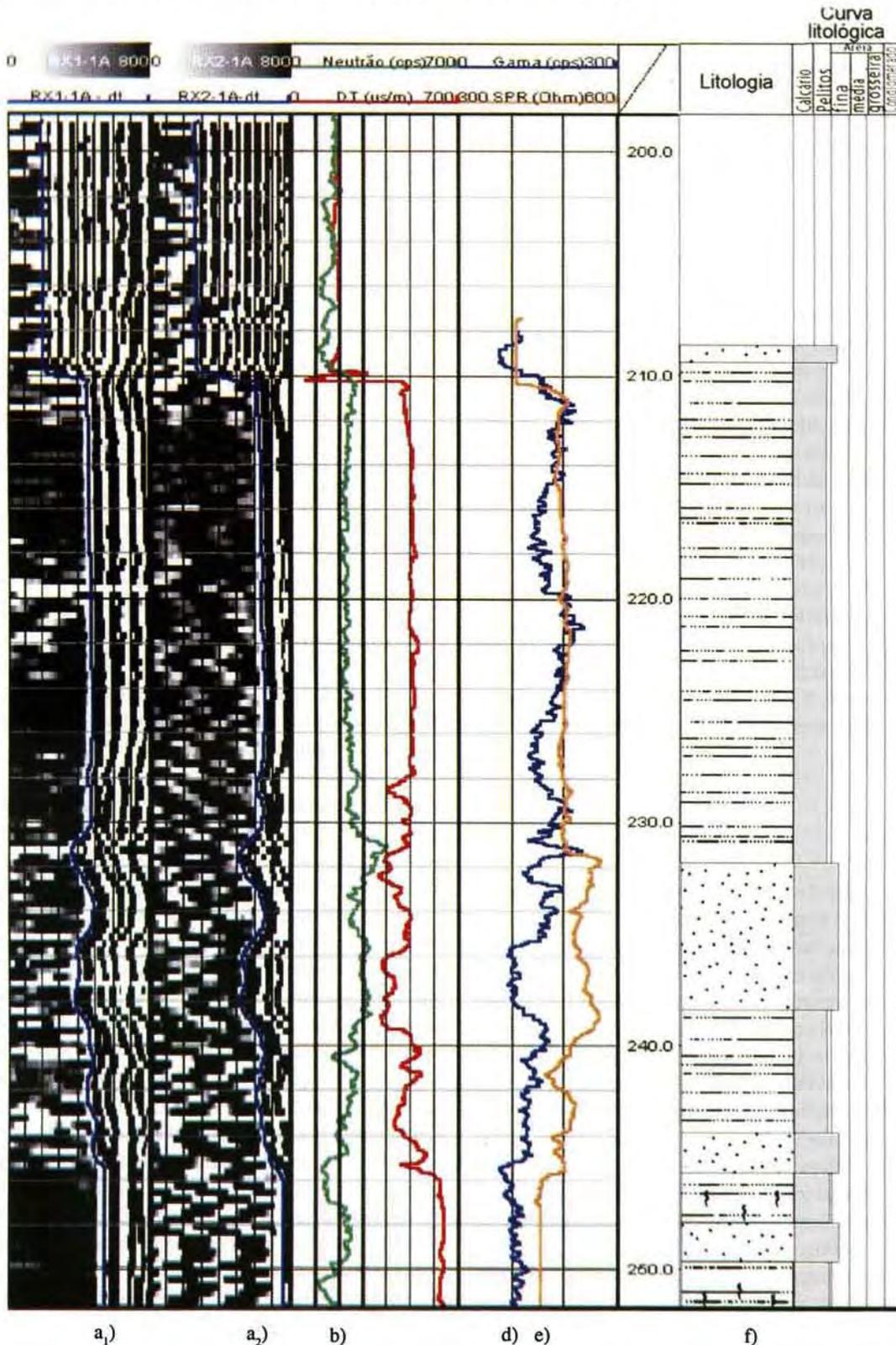


Fig. 11 – Diagrafias efectuadas no troço de 209-252m de profundidade (ainda entubado entre os 199 e 209m); (a₁ e a₂) registo dos dados não-processados da sonda 2SAA-1000. Já processadas com o *software* Wellcad, apresentam-se as diagrafias de neutrões (b), sónica (c), RGN (não corrigida) (d) e SPR (e); (f), correspondente troço da litologia.

Como a diagrafia de neutrões pode ser utilizada com ou sem fluido condutor, em furos entubados ou não, não foi necessário efectuar correcções no seu processamento. Os resultados obtidos entre 0 e 339m, são mostrados na Fig. 2c. Nesta figura vê-se que os elevados valores de cps, indicativos de baixa porosidade, correspondem às medidas efectuadas acima do nível hidrostático (NHE), localizado à profundidade de 44m.

Devido às condições do furo, apenas foram realizados dois troços de diagrafia sónica aquando da etapa de extracção do revestimento de aço. Durante a aquisição dos dados, a não utilização de centralizadores (requisito aconselhável) conduziu a algum ruído, devido à excentricidade da posição da sonda no furo. No entanto, é de crer que este efeito tenha sido minimizado no troço (480-452m), já que o diâmetro da sonda era inferior ao do furo em escassos milímetros.

O registo dos dados não-processados da sonda sónica 2SAA-1000, no primeiro troço realizado de 480-525m de profundidade, é apresentado na Fig. 10Aa e o realizado no segundo troço de 209-252m, na Fig. 11a.

O processamento dos dados de ambos os troços medidos pela sonda sónica, foi feito a partir da análise dos tempos de chegada da primeira onda P a cada receptor. O valor DT (ms/m) em cada ponto é, pois, a diferença entre o tempo de chegada da primeira onda P ao 2º receptor (Rx2) e o 1º receptor (Rx1). O *picking* de chegada da primeira onda P aos 1º e 2º receptores (Rx1-1A-dt e Rx2-1A-dt), foi feito de forma semi-automática.

Na Fig 10, apresentam-se dois modos de representação dos dados da sonda sónica, nos dois receptores (respectivamente, A_1 e A_2 e a_1 e a_2); na Fig. 11, os dados nos dois receptores são apresentados num terceiro modo (a_1 e a_2).

Correlações

A observação da Fig. 2, mostrando as diaggrafias de RGN, neutrões e temperatura levadas a cabo com o furo entubado, permite fazer algumas correlações preliminares com a litologia atravessada. Através da observação directa destaca-se a correspondência com a litologia das curvas de neutrões e RGN nos cerca de 50m iniciais da sondagem (valores médios de 400cps para a de neutrões e cerca de 50cps para a de RGN), compatíveis com arenitos médios a grosseiros. A partir desta profundidade, os valores da curva de neutrões assumem um valor praticamente constante de 150cps durante cerca de 210m. Este facto parece indicar a presença de unidades arenosas, saturadas, cuja porosidade se mantém relativamente constante nesse intervalo (50-210m).

Em relação à diagrafia de RGN, o conteúdo de isótopos radioactivos sofre algumas variações, efeito que será devido à contribuição variável do conteúdo argiloso, nomeadamente de argilitos e/ou intercalações argilosas mais ou menos importantes no seio de unidades arenosas. Nesta diagrafia, verifica-se um pico da ordem dos 300cps (também com expressão na curva de neutrões) que ocorre

aos 130m de profundidade, coincidente com a zona de separação entre Pliocénico e Miocénico (Fig. 2). Este pico de radiação poderá ser causado pela deposição de minerais radioactivos numa superfície de disconformidade.

A variação dos valores de RGN ao longo de quase toda a sondagem tem correspondência directa com a ocorrência de intercalações de biocalcarenitos (formações carbonatadas, possivelmente ricas de minerais potássicos). No entanto, somente a partir de cerca de 210m de profundidade, os biocalcarenitos atingem espessuras significativas para estarem bem expressos à escala da Fig. 2. A partir desta profundidade ocorrem níveis de porosidade variável (reflectida na curva de neutrões), particularmente notória a partir de cerca de 270m de profundidade. Com efeito, desde os 210m até o fim da diagrafia de neutrões, destacam-se dois patamares de variação da porosidade; o primeiro entre 210 e 270m (correspondendo, em termos cronostratigráficos, ao Serravaliano) e outro, com porosidades inferiores, entre 270 e 337m (correspondendo ao Langhiano). Para o Miocénico inferior (Burdigaliano), os valores de porosidade parecem apresentar uma tendência de descida que, contudo, não pôde ser confirmada devido à não continuação da diagrafia de neutrões por motivos operacionais.

A existência de picos de RGN aos 383m (400cps), 395m (450cps) e 397m (330cps) é coincidente com camadas muito carbonatadas (biocalcarenitos), razoavelmente espessas e de arenitos muito finos e muito micáceos (possivelmente ricos de micas radioactivas). A partir dos 460m de profundidade até o final da diagrafia, os valores médios da radiação gama natural decrescem de cerca de 150cps para 100cps. Esta situação está associada ao incremento das unidades carbonatadas (biocalcarenitos e calcários coralígenos), o que faz diminuir a resposta da sonda de RGN.

Em relação aos dois pequenos troços representados nas Figs 10 e 11, destacam-se as diaggrafias sónica, SPR e o zoom das diaggrafias de RGN e, no troço entre 209 e 252m, de neutrões. Nestes troços foi possível uma análise mais aprofundada, já que foi introduzido no estudo um parâmetro eléctrico, apesar de apenas qualitativo. Salienta-se, no entanto, que a diagrafia sónica é muito difícil de obter num furo com as características da sondagem de Belverde. Apenas pequenos troços não entubados ficaram acessíveis para medições. Nestes, foi muito arriscado o uso de centralizadores devido ao pequeno diâmetro do furo, não sendo possível corrigir as medidas, nem reduzir os erros resultantes da falta de centralização em relação às paredes do furo. Todavia, dado o pequeno diâmetro da sondagem, considerou-se mínimo o efeito da excentricidade. A informação obtida é útil desde que apenas sejam tidos em conta os valores médios obtidos.

Da análise das diaggrafias efectuadas no troço entre 480 e 525m de profundidade (entre 480 e 486m, as diaggrafias sónica e SPR não têm significado por a sondagem estar entubada), de que se mostra a correlação com a litologia na Fig. 10, resulta a caracterização de 3 troços, cujas velocidades médias foram calculadas:

- a) 1º troço (486-491m) – 2050m/s. É caracterizado por velocidades pontuais contrastantes; corresponde a uma zona com maior variabilidade da litologia e velocidades de propagação, sendo essencialmente caracterizada por arenitos finos a muito finos e argilitos moscovíticos, de cor esverdeada, com intercalações carbonatadas, às vezes espessas, geralmente com alternâncias areníticas que conferem carácter mais poroso ao nível onde ocorrem e a que podem corresponder velocidades de propagação mais baixas. A velocidade média do troço pode variar entre valores mais baixos para os biocalcarenitos (1700m/s) e mais elevados na parte mais compacta correspondente a argilitos (2400m/s). As variações contrastantes reflectem-se no comportamento das respectivas curvas de RGN (com picos elevados correspondentes aos argilitos moscovíticos, com ^{40}K) e SPR (cuja deflexão negativa indica baixas resistividades);
- b) 2º troço (491-502m) – 2500m/s. Denota variação mais uniforme comparativamente ao troço anterior, em termos de litologia e velocidades; corresponde a arenitos finos, cinzentos, micáceos e glauconíticos, com algum sedimento carbonatado e carvão disseminado. As velocidades acústicas médias variam entre < 1700m/s (quando a porosidade, a presença de fragmentos de fósseis e, eventualmente, o conteúdo carbonatado, são maiores) e velocidades mais elevadas da ordem dos 3350m/s (quando a fracção argilosa é mais importante). A maior uniformidade de comportamento no troço observa-se igualmente bem nas curvas RGN e SPR;
- c) 3º troço (502-525m) – 3000m/s. Voltam a registar-se velocidades mais variáveis, embora não tão contrastantes como no 1º troço; predominam sedimentos ainda mais finos que no 2º troço, essencialmente siltitos e argilitos, marmoreados, de tons ferruginosos e cor esverdeada dominante. As velocidades variam entre valores elevados de cerca de 4000m/s (para os argilitos) e de 1600m/s para os arenitos finos/siltitos, geralmente glauconíticos e fossilíferos, relativamente porosos. Esta alteração do comportamento tem expressão na curva de RGN e, melhor ainda, na curva SPR, cujos valores constantes reflectem a monotonia litológica das formações atravessadas.

A observação das diagrfias efectuadas entre 209 e 252m de profundidade, de que se mostra a correlação com a litologia na Fig. 11 (entre 199 e 209m, as diagrfias sónica e SPR não têm significado porque se encontram na zona entubada) podem, também, considerar-se 3 troços distintos, cujas velocidades médias foram igualmente calculadas:

- d) 1º troço (210-231m) – 1800m/s. Dominam siltitos cinzentos com alguma fracção argilosa, marcada pelos valores relativamente elevados de radiação gama natural (que chegam a atingir valores médios > 200cps). Esta monotonia litológica reflecte-se a nível de

- resistividade (indicada pela curva de SPR) e de porosidades (curva de neutrões);
- e) 2º troço (231-245.5m) – 2050m/s. A monotonia do troço anterior é contrastada pela grande variabilidade deste. As velocidades acústicas, mais variáveis do que em d) e f), oscilam entre 1600 e 2600m/s. Neste troço, é de salientar o comportamento do conjunto de diagrfias efectuadas, cujos parâmetros variam de forma interessante; assim, zonas atravessadas por formações com menor fracção arenosa (SPR mais elevado e RGN mais baixa) exibem valores mais elevados de neutrões e velocidades acústicas. O inverso passa-se em formações com maior conteúdo argiloso;
- f) 3º troço (245.5-252m) – 1300m/s. Dominam siltitos cinzentos com alternâncias de arenitos muito finos acinzentados/esverdeados com intercalações carbonatadas, fracção argilosa reduzida e intensa bioturbação; conseqüentemente, a curva de RGN atinge valores mais baixos. As curvas SPR e de neutrões, embora de modo menos claro, demarcam esta segmentação.

A informação obtida nos parâmetros medidos nas diagrfias efectuadas ao longo da maior parte da sondagem de Belverde (RGN, neutrões e temperatura) associada aos parâmetros obtidos nos dois pequenos troços de furo desentubado (sónica e SPR), está de acordo com o domínio de sedimentos finos, essencialmente arenitos muito finos (com fracção argilosa variável) e argilitos, com frequentes intercalações de níveis carbonatados, especialmente a partir das profundidades de 130-145m e 270m até a base dos depósitos marinhos do Miocénico aos 580-590m.

Este comportamento é coerente com o verificado na curva de RGN (Fig. 2b), onde os picos de radiação estão associados a níveis carbonatados, frequentemente fossilíferos e micáceos (presença de micas radioactivas). As diagrfias de sónica e de neutrões (embora mais genericamente) reflectem a variação da porosidade do sedimento.

As maiores velocidades de propagação estão geralmente associadas a níveis mais compactos (de argilitos e/ou calcários e níveis carbonatados pouco fossilíferos) e as mais baixas com os mais porosos, essencialmente arenitos finos, fossilíferos e com escassa fracção argilosa, e biocalcarenitos, às vezes com carácter lumachélico.

Podem considerar-se valores da ordem dos 1300 a 1600m/s como correspondentes às velocidades mais baixas, e 2500 a 3000m/s, às mais altas, com valores pontuais que podem exceder 4000m/s.

Os conglomerados médios a grosseiros (Conglomerado de Belverde) e as areias médias a grosseiras (Areias de Sta Marta) da parte inicial da sondagem de Belverde (130m iniciais) apresentam porosidade elevada, o que não se traduz de forma muito clara nos primeiros 45m da diagrfia de neutrões na Fig. 2c, devido ao facto de este troço da sondagem se situar acima do NHE. A porosidade sofre diminuição (aumento do grau de compactação das

formações) com a profundidade, sendo esta, contudo, variável de acordo com o carácter argiloso e a presença de fósseis ou de fragmentos de fósseis nos diferentes níveis sedimentares.

O carácter variável, quer do grau de porosidade, quer do conteúdo argiloso, micáceo e fóssilífero dos níveis atravessados reflecte-se, igualmente, nas diagrfias.

Com base na informação fornecida pelas diagrfias efectuadas, aliada à informação micropaleontológica, palinológica e de datações isotópicas, parece verificar-se uma relação entre os picos de radiação gama natural e a definição das sequências deposicionais previamente identificadas para a Bacia do Baixo Tejo (Antunes *et al.*, 1999, 2000; Pais *et al.*, 2002).

Bibliografia

- Antunes, M. T.; Elderfield, H.; Legoinha, P.; Nascimento, A. & J. Pais (1999) – A Stratigraphic framework for the Miocene from the Lower Tagus Basin (Lisbon, Setúbal Peninsula, Portugal). Depositional sequences, biostratigraphy and isotopic ages. *Bol. Soc. Geol. España*, Madrid, 12(1): 3-15.
- Antunes, M. Telles; Legoinha, P.; Cunha, P. & Pais, J. (2000) – High resolution stratigraphy and Miocene facies correlation in Lisbon and Setúbal Peninsula (Lower Tagus Basin, Portugal). *Ciências da Terra (UNL)*, Lisboa, 14: 183-190.
- Antunes, M. T.; Legoinha, P.; Nascimento, A. & Pais, J. (1995) – The evolution of the Lower Tagus Basin (Lisbon and Setúbal Peninsula, Portugal) from lower to earlier middle Miocene. *Géologie de la France*, 6: 59-77.
- Chappelier, D. (1992) – *Well logging in hydrogeology*. A. A. Balkema Publishers, 175 p.
- COLOG (1993) – *Borehole effects on gamma log response*. Technical Notes, v. 4, nº 2, p3.
- Doveton, J. H. (1994) – *Geologic log interpretation*. SEPM Short Course, nº 29, 169 p.
- Keys, W. S. (1990) – *Borehole geophysics applied to groundwater investigations. Techniques of water-resources investigations of the United States Geological Survey*, book 2, chapter E2, 150 p.
- Keys, W. S. & MacCary, L. M. (1971) – *Application of borehole geophysics to water resources investigations. Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geological Survey*. Book 2, Collection of Environmental Data, Chapter E1, 124 p.
- Legoinha, P.; Sousa, L.; Pais, J.; Ferreira, J. & Amado, A. R. (2002) – Miocene lithological, foraminiferal and palynological data from the Belverde borehole (Portugal). *XVIII Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología y II Congreso Ibérico de Paleontología, Interim-Colloquium RCANS. Libro de resúmenes*: 196-197.
- Marques da Silva, M. A., Ramalho, E. C. & Correia, A. (em preparação) – *Diagrfias Aplicadas à Hidrogeologia*. Livro técnico-didático de apoio a hidrogeólogos.
- Oliveira, J. T.; Pereira, E.; Ramalho, M.; Antunes, M. T. & Monteiro, J. H. (Coord.) (1992) – *Carta Geológica de Portugal na escala 1:500 000*. Instituto Geológico e Mineiro.
- Pais, J.; Silva Lopes, C.; Legoinha, P.; Ramalho, E.; Ferreira, J.; Ribeiro, I.; Amado, A. R.; Sousa, L.; Torres, L.; Baptista, R. & Reis, R. P. (2002) – The Belverde Borehole (Lower Tagus Basin, Setúbal Peninsula, Portugal). *XVIII Jornadas Sociedad Española de Paleontología y II Congreso Ibérico Paleontología, Interim-Colloquium RCANS. Libro de resúmenes*: 198-199.
- Ramalho, E.; Ribeiro, I. & Torres, L. (2002) – *Relatório das diagrfias realizadas na Sondagem de Belverde. Projecto "Reconhecimento do Miocénico da parte terminal da Bacia do Baixo Tejo através de uma sondagem com amostragem contínua"*, IGM (Divisão de Geofísica) e FCT-UNL, relatório interno não publicado, 29 p.
- Sousa, L. & Pais, J. (2002) – First data on the palynology of the Belverde Borehole (Lower Tagus Basin, Setúbal Peninsula, Portugal). *XIV Simposio Palinología Asociación Palinólogos Lengua Española (APLE), Libro de resúmenes*: 144-146.