



## Tomografia sísmica de alta resolução com gerador de ondas elásticas *High resolution seismic tomography using an elastic wave generator*

Manuela Mendes <sup>(1)</sup>, Teresa Teixidó <sup>(2)</sup>

(1) Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Instituto da Construção, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, manuela.mendes@ist.utl.pt

(2) Universidade de Granada, t.teixido@iag.ugr.es

### SUMMARY

*Several seismic surveys were carried out in the urban Palmela region (Azeitão), using 48 channel seismograph and single geophone per channel. The scope was mainly to test the efficiency and reliability of seismic source, an elastic wave generator using an accelerated hammer drop, to produce shallow velocity models with high resolution.*

*A 300 m profile was acquired and the position based on constant topography and neighbouring the wells location previously drilled for aquifers delineation. Despite the presence of significant urban and coherent noise, the seismic source revealed effective to sum several shots and enhancing the ratio signal/noise.*

*First arrivals processing illustrate clearly the geological structures until 60 m depth. A preliminary stack section did not support the findings in the first arrivals study. To resolve the difference, the field reflection data are being reprocessed to provide more details about the layering and lateral structures already observed in the refraction data.*

### 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os métodos sísmicos, aplicados em regiões urbanas ao estudo das estruturas geológicas superficiais, forneceram imagens com definição espacial pobre (e.g. Jeng, 1995, Liberty, 1998, Inazaki, 2004). Estes trabalhos foram condicionados principalmente por dois factores: a fraca energia libertada pelas fontes sísmicas autorizadas e os métodos aplicados no tratamento dos dados. A dificuldade em separar o sinal do ruído na fase de pré-tratamento de dados sugere a soma de vários tiros em cada posição de tiro durante a aquisição do perfil sísmico no terreno. Isso só é possível, se a fonte sísmica permitir a repetição fiável do processo, no mesmo local. A pancada com martelo, frequentemente utilizada como fonte sísmica, liberta pouca energia e a repetição é altamente deficiente. O recurso a explosivos, fonte abundante de energia, não é permitido em zonas urbanas e a repetição também se torna impraticável no mesmo local.

O tratamento separado dos dados de refração e reflexão é frequente. A análise dos dados de refração concentra-se principalmente na utilização da informação contida nas primeiras chegadas, que corresponde à energia propagada ao longo da interface entre camadas. Este tipo de modelo considera variações laterais da velocidade, mas supõe que não há variação vertical dentro de cada camada e fornece pouco detalhe sobre a estrutura geológica. Por outro lado, a análise de dados de reflexão, seleccionando as reflexões próximo da vertical, produz imagens pormenorizadas do subsolo. A análise conjunta dos dados de refração e reflexão pode conduzir a resultados mais precisos sobre o posicionamento de profundidades e estimativas da litologia das estruturas registadas nos dados sísmicos

Neste trabalho, usou-se a queda acelerada de um peso para gerar ondas sísmicas. e em cada ponto de tiro repetiu-se, com fiabilidade, 10 vezes a queda revelando-se o processo útil para melhorar a razão sinal/ruído. Usámos os dados de um dos perfis de reflexão, para mostrar como a integração da análise do campo refractado pode fornecer um bom modelo de velocidade do subsolo, validado pelos dados geológicos das sondagens existentes.

### 2. DADOS SÍSMICOS

A aquisição sísmica foi realizada empregando dois sismógrafos Terraloc, de 24 canais cada, e geofones de 10 Hz, distribuídos individualmente, à distância de 5 m. A fonte usada, a EWG III da Bison, colocou-se a meio da distância do geofone 1 e 2 e no extremo do cabo dos 48 geofones. Os dados foram registados durante 512 ms com um intervalo de amostragem de 0,500 ms. A fonte foi deslocada de 5 m de cada vez até atingir a posição entre os geofones 16/17, mas só depois de 10 repetições em cada local.

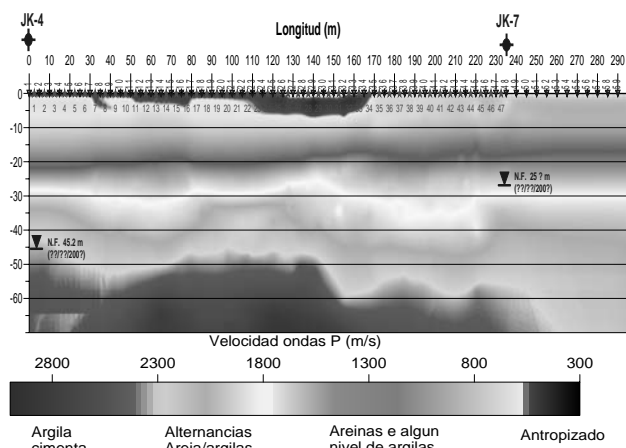
A seguir todo o dispositivo dos geofones foi avançado de 50 m e recomeçou-se a aquisição seguindo o mesmo processo até um total de 47 tiros. Esta geometria gera uma cobertura irregular, com valor máximo de 24. A fonte sísmica tem um motor a 2 tempos e um circuito hidráulico, que pode elevar até 3 m de altura, um pilão de 250 Kg, envolvido por um elástico. Quando o peso é largado, bate numa placa metálica de 0,60 m x 0,60 m, previamente bem acoplada ao solo para uma maior transmissão de energia sísmica.

Um exemplo de registo de tiro não filtrado (Figura 3) mostra poucas chegadas de ondas reflectidas nos offsets maiores e ainda menos na zona central. A frequência dominante dos dados é aproximadamente 55 Hz e revelam pouca energia coerente acima de 80 Hz. Verifica-se nos offsets maiores, as hipérbolas de reflexão mascaradas pelas fortes chegadas de ondas guiadas e “ground-roll” e nos pequenos offsets pelo ruído ambiente. Estas condições de ruído são vulgares nos perfis de reflexão de pequena superfície.

### 3. TOMOGRAFIA SÍSMICA

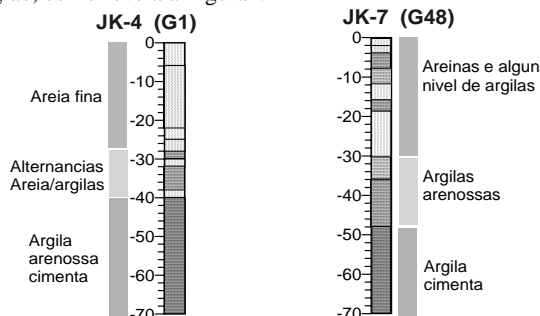
Embora os dados sísmicos tenham sido adquiridos com características geométricas de perfil de reflexão, realizou-se a leitura de 2002 tempos de chegada das primeiras ondas, como no tratamento clássico dum perfil de refração.

Os métodos para derivar modelos de velocidade a partir das primeiras chegadas abundam na literatura e todos apresentam algumas vantagens e também inconvenientes. Escolhemos um método baseado na tomografia dos raios retornantes (turning-waves) pela sua capacidade de tratar modelos de velocidade com gradientes fortes e zonas de baixa velocidade. Neste estudo, usámos o programa comercial Rayfract, (V3.03, 2007). O programa calcula os tempos de propagação dos raios resolvendo a equação de eikonal por diferenças finitas (Lecomte & Podvin., 2000) e os trajectos dos raios são traçados pela determinação da primeira zona de Fresnel (Watanabe, 1999). Em cada iteração, os resíduos dos tempos são usados para ajustar o modelo de velocidade corrente, minimizando as diferenças entre os tempos calculados e os lidos nos dados de campo. Um total de 2002 leituras de primeiras chegadas foi usado para construir o melhor modelo de velocidade, definido por uma grelha. e mostrado na Figura 1.



**Figura 1 – Modelo de velocidade de intervalo. O modelo foi gerado usando 2002 leituras e apresenta um desvio padrão de 3.07 ms (RMS). (Interval velocity model. The model was generated with 2002 traces and the RMS error of 3.07 ms was achieved.)**

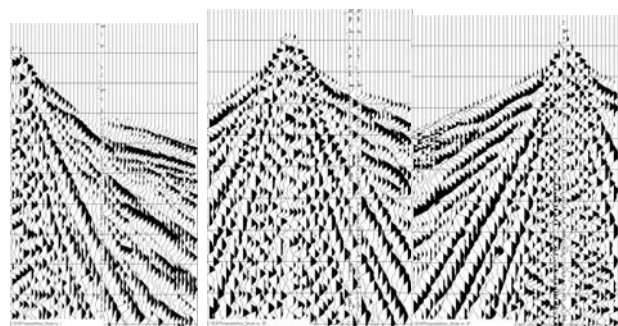
A interpretação do campo de velocidades concorda com a informação litológica das sondagens de controlo realizadas na região, como revela a Figura 2.



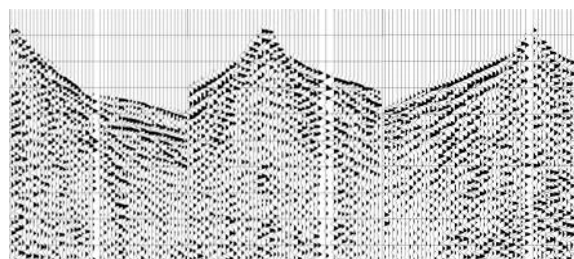
**Figura 2 – Coluna litológica fornecida pelas sondagens mecânicas localizadas próximo dos extremos do perfil sísmico. (Lithologic information extracted of the wells sited near the sides of the seismic line.)**

**4. SECÇÃO SÍSMICA**

A análise do campo de reflexão foi realizada usando os programas da SU (Sexismos Unis). A maior dificuldade no pré-tratamento revelou estar associada à eliminação do forte ground-roll e ondas guiadas presentes nos dados de campo. (Figura 3).



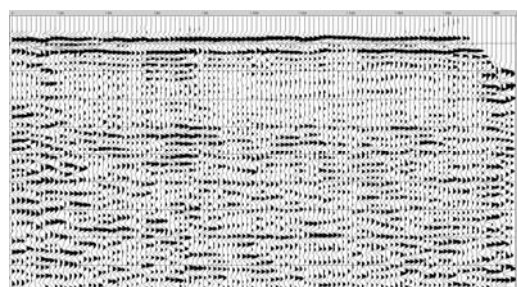
Tiros de campo (field records)



Tiros processados (processed records)

**Figura 3 – Exemplo de três tiros brutos e com pré-tratamento. (Sample three raw shot gathers and after pre-processing.)**

Depois de várias análises de velocidade, o melhor modelo obtido foi com uma velocidade de “stack” constante igual a 2100 m/s (Figura 4).



**Figura 4 – Secção sísmica “post-stack”. No eixo horizontal representa-se o número de CDP (espaçamento de 2.5 m) e no eixo vertical tempo duplo em ms. The post-stack seismic section. In the horizontal axis, the CDP numbers (spaced 2.5 m) and in the vertical axis the two-way-time in ms .**

**4. CONCLUSÃO**

Os dados das primeiras chegadas fornecem informação sobre a sub-superfície onde, em geral, é difícil obter reflexões devido ao nível de ruído. Aproveitando a multiplicidade dos tiros dos perfis de reflexão, a abordagem pela tomografia das ondas retornantes forneceu uma imagem mais detalhada do que o perfil de refração, que é constituído por apenas alguns tiros. O modelo é confirmado pela litologia das sondagens locais.

**5. AGRADECIMENTOS**

Na aquisição de dados utilizou-se equipamento do Instituto da Água, em colaboração com o Eng. Sérgio Lopes.

**6. REFERÊNCIAS**

Inazaki, T., (2004). High-resolution seismic reflection surveying at paved areas using an S-wave type land streamer, *Exploration Geophysics*, **35**, 1-6.  
 Jeng Y., (1995). Shallow seismic investigation of a site with poor reflection quality. *Geophysics*, **60**, 1725-1726.  
 Lecomte I. and Podvin P. (2000). “First-order eikonal solver Delta-t-V. Finite difference computation of traveltimes in very contrasted velocity models: a massively parallel approach and its associated tools”. *Geophysical Journal International*, **105**, 271-284.  
 Liberty, L. (1998): “Seismic reflection imaging of a geothermal aquifer in an urban setting”, *Geophysics*, **63**, 4, 1285-1294.  
 Rayfract V.3.03, Intelligent Resources Inc. (2001) <http://www.rayfract.com>  
 SU; Seismic Unix code. <http://www.cwp.mines.edu/>  
 Watanabe T.; (1999). “Seismic traveltome tomography using Fresnel volume approach”. SEG Houston 1999 Meeting, Expanded Abstracts.