

Prospecção geofísica aplicada à detecção de falhas activas – a falha de Vila Franca de Xira

João Casacão ^{1 *}, Rui J. Oliveira ², Bento Caldeira ², José F. Borges ², João Carvalho ³

¹ Centro de Geofísica de Évora, Colégio Luís António Verney, Rua Romão Ramalho 59, 7000 Évora

² Departamento de Física, Universidade de Évora, Colégio Luís António Verney, Rua Romão Ramalho 59, 7000 Évora

³ Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Estrada da Portela-Zambujal, Alfragide, Apartado 7686, 2610-999 Amadora

* jcasacao@uevora.pt

13 Resumo

14

15 A falha de Vila Franca de Xira é considerada como a mais provável fonte de sismos
16 destrutivos que afectaram a região de Lisboa. Contudo, devido às altas taxas de
17 erosão/sedimentação no Vale Inferior do Tejo (VIT), as evidências superficiais de
18 deformações cossísmicas nos sedimentos Holocénicos rapidamente são apagadas. Estudos
19 recentes mostram indícios do traçado desta falha sob a cobertura aluvionar e de deformações
20 subsuperficiais a ela associadas. O objectivo deste trabalho é, através de métodos geofísicos,
21 complementar esses estudos e verificar, se possível, se esta falha atingiu os primeiros metros
22 da subsuperfície, para assim contribuir para um modelo de análise de risco sísmico no VIT.
23 Inicialmente, um perfil de sismica de reflexão de ondas P deu a indicação de quatro
24 descontinuidades em profundidade, interpretadas como prováveis falhas. Para confirmar as
25 suspeitas foram realizados, sobre esses locais específicos, perfis de georadar (com antenas de
26 200MHz e 400MHz) e tomografia de resistividade eléctrica. A interpretação dos perfis
27 obtidos revela vários deslocamentos verticais, correspondendo aos traçados de falhas
28 propostos em trabalhos anteriores.

29

30 Palavras-chave: Falhas activas, sismica de reflexão, georadar, tomografia eléctrica, vale inferior do Tejo

31

32 Abstract

33

34 The Vila Franca de Xira fault is considered to be the most probable source of several
35 destructive earthquakes that affected the Lisbon area. Yet, there is no evidence of surface
36 faulting in the Holocene sediments of the Lower Tagus Valley (LTV), due to low tectonic
37 activity and high erosion/sedimentation rates. The goal of this work is, using geophysical
38 methods, to complement recent studies and verify how close the fault approached the
39 subsurface, thus contributing for the model of seismic hazard assessment in the LTV. Firstly,

the P-wave seismic reflection survey indicated four discontinuities, interpreted as possible faults, and for this reason, ground-penetrating radar (200MHz and 400MHz antennas) and electrical tomography surveys were conducted on those specific locations. Several vertical displacements were observed, matching the theoretical fault traces proposed in previous studies.

Key-words: Active faults, seismic reflection, ground-penetrating radar, electrical tomography, lower Tagus valley

1. INTRODUÇÃO

Os registos históricos da região de Lisboa apresentam sucessivas referências a sismos violentos, com elevados danos materiais e perda de vidas humanas. Actualmente sabe-se que o Vale Inferior do Tejo (VIT) alberga as falhas activas onde se produziram alguns desses sismos, nomeadamente os de 1909 (Teves, 1999) e 1531 (Justo, 1998), com magnitudes variando entre 6.0 a 7.0 na escala de Richter. O período de retorno médio estimado para a falha de Vila Franca de Xira, para sismos com ruptura média de 0,7m, é da ordem de 5000 anos, para magnitudes compreendidas entre 6 e 7 (Carvalho *et al.*, 2006). Actualmente, a localização exacta da(s) fonte(s) sismogénica(s) do VIT ainda está em discussão na comunidade académica.

A repetição de um evento semelhante teria efeitos devastadores. Para além da elevada densidade populacional, a região está edificada sobre uma bacia sedimentar com dimensão suficiente para produzir a amplificação das ondas sísmicas e consequentemente dilatar o efeito dos terremotos. A caracterização das fontes sismogénicas, que implica o reconhecimento das falhas activas que geram sismicidade, é uma tarefa essencial para o estudo do modelo de evolução tectónica regional e avaliação do risco sísmico. Este trabalho

de prospecção geofísica é parte integrante do projecto de paleosismicidade ATESTA, que tem como objectivo localizar e caracterizar falhas activas aflorantes do VIT.

A área de estudo localiza-se junto à localidade de Vila Franca de Xira, na bacia Cenozóica do Baixo Tejo, 25km a norte de Lisboa (Fig. 1). Tectonicamente, faz parte da zona de falha Ota-Vila Franca de Xira-Lisboa-Sesimbra (Carvalho *et al.*, 2008). Há evidência que a falha de Vila Franca de Xira esteve activa ao longo do Holocénico (Ghose *et al.*, 2013), sendo a mais provável fonte do sismo catastrófico de 1531. A falha aflora em sedimentos Miocénicos, não existindo registo de falhas nos sedimentos holocénicos na zona do VIT. A baixa taxa de deslizamento (estimada em <1mm/ano) que corresponde a baixo grau de actividade tectónica, e a alta taxa de sedimentação/erosão (com influência local de terrenos agrícolas remobilizados) são responsáveis pela inexistência de afloramentos geológicos na zona.

(Figura 1)

A região foi sujeita a vários estudos geofísicos desde a década de 50, para efeitos de exploração de hidrocarbonetos. Os perfis de sísmica de reflexão adquiridos para a prospecção de hidrocarbonetos indiciam grandes deformações geológicas em profundidade, mas a falta de resolução devido aos parâmetros de aquisição não permite verificar se a falha afecta os sedimentos Holocénicos

Os ensaios geofísicos a baixa profundidade têm a faculdade de quantificar com precisão variações de parâmetros físicos do solo. Por esse facto tem vindo a ser aceites como apropriados para a detecção de estruturas geológicas (Demanet *et al.*, 2001; Meghraoui *et al.*, 2001; Slater & Niemi, 2003; Yalçiner *et al.*, 2013; Nguyen *et al.*, 2005). Segundo estes

91 autores, a resistividade eléctrica, métodos electromagnéticos, sísmica de reflexão e georadar
92 são os métodos mais apropriados para atingir este fim específico.

93 Tomando como base toda a informação disponível sobre a região, materializada nos
94 registos geofísicos disponíveis, na sismicidade histórica e instrumental e no registo geológico,
95 as equipas do CGE e LNEG decidiram utilizar métodos geofísicos de alta resolução, como a
96 sísmica de reflexão, tomografia de resistividade eléctrica e georadar (*ground-penetrating*
97 *radar* – GPR) para a identificação de traços de falha sob a cobertura aluvionar, originados
98 através de actividade tectónica recente.

100 2. ENSAIOS GEOFÍSICOS NO VALE INFERIOR DO TEJO

101 Tem sido demonstrado (Carvalho *et al.*, 2012), que o método da sísmica de reflexão
102 garante uma interpretação fiável da estrutura geológica. Inicialmente, a execução do perfil de
103 sísmica de reflexão e a sua posterior interpretação, deu a indicação de quatro potenciais
104 segmentos de falha que se aproximam da superfície.

106 (Figura 2)

108 Tendo em conta esta informação foram então aplicadas as técnicas de georadar e
109 tomografia eléctrica ao longo de todo o perfil de sísmica, com especial atenção nos quatro
110 locais especificados. Desta forma, foi possível produzir uma interpretação geológica, a baixa
111 profundidade.

113 2.1. GEORADAR (GROUND-PENETRATING RADAR)

114 Esta técnica funciona por emissão de sequências de impulsos electromagnéticos (EM)
115 para o solo, que após reflectidos em cada contraste físico, (ex.: solo/litologia), emergem e são
116 registados. O processamento destes registos redonda em figuras (radargramas) passíveis de

interpretação geológica. Foram realizados ensaios com antenas de 100, 200 e 400 MHz, de forma a garantir resoluções e profundidades diferentes, ao longo dos locais de interesse (A – D) definidos no perfil de sísmica de reflexão. Desde logo, foi possível observar que os perfis 2D resultantes do varrimento (*array*) com a antena de 100MHz não foram claros, tendo sido descartada a utilização desta antena. Após a obtenção dos dados de campo, foi necessário realizar processamento através de *software* RADAN e do *plugin* matGPR para MATLAB, daqui resultando vários radargramas.

2.2. TOMOGRAFIA DE RESISTIVIDADE ELÉCTRICA

Este método consiste na injeção de corrente eléctrica no solo por dois eléctrodos de corrente, e na leitura da diferença de potencial entre outros dois eléctrodos. Através da corrente (I) e diferença de potencial (V), é possível calcular a resistividade aparente. Utilizando o *software* Res2DInv procedeu-se à inversão dos dados, de forma a obter o perfil 2D final. De todos os tipos de varrimento (*array*) disponíveis no equipamento PASI 16G-N foi escolhido o Dipolo-Dipolo, visto ser um bom método para identificar estruturas verticais como cavidades e falhas geológicas, tendo ainda uma boa resolução horizontal. O perfil resultante foi realizado na zona B (Fig. 3), que tem um comprimento de 46,5m e profundidade máxima de 5,0m.

3. RESULTADOS

Após o processamento dos dados de campo de georadar e tomografia eléctrica, são então apresentados os resultados sob a forma de perfis 2D.

(Figura 3)

(Figura 4)

Os radargramas revelam algumas deformações e descontinuidades, que podem relacionar-se com potenciais falhas geológicas, correspondentes a deslocamentos sub-verticais abruptos. Algumas destas deformações têm expressão mais profunda (como sugere a sísmica de reflexão) e terminam junto à superfície. No perfil de tomografia eléctrica surgem valores de resistividade baixa ($<10 \Omega \text{ m}$), típicos de solos areno-argilosos. Embora o perfil apresente diferenças de valores de resistividade, não parece haver disparidades significativas que indiquem com clareza deformações sub-verticais, semelhantes às que foram observadas nos radargramas de GPR. Apesar disto, as poucas variações existentes têm correspondência com os deslocamentos verticais observados no perfil de sísmica de reflexão de ondas P.

Em geral, ficou demonstrado o bom resultado das campanhas de sísmica de reflexão de ondas P, que constituíram a base de trabalho, e que serviram para orientar os restantes métodos geofísicos de forma a investigar detalhadamente as áreas de interesse seleccionadas. Concluiu-se que o georadar ofereceu melhores resultados para este caso específico de detecção de segmentos de falhas activas. É, ao mesmo tempo, o que apresenta melhor resolução, e onde é possível observar a horizontalidade dos reflectores a baixa profundidade, correspondendo a estratificação típicas de deposição sedimentar em regime de baixa energia. Esta disposição horizontal permite também denotar com maior clareza as interrupções verticais entre os reflectores, deslocamentos aqui interpretados como falhas geológicas.

Numa fase posterior serão abertas trincheiras ao longo destes perfis geofísicos. Este processo terá como objectivo confirmar a existência das falhas e caracterizá-las, medindo o rejeito co-sísmico, realizar datações absolutas e comparar os dados geofísicos com o registo dos logs das paredes das trincheiras. Confirmando-se a existência de falhas nestes sectores, a

sua caracterização detalhada irá contribuir significativamente para o estudo da avaliação do risco sísmico na região do VIT.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia, por financiar o projeto ATESTA (PTDC/CTE-GIX/099540/2008). Agradecemos ao colaborador do CGE Samuel Neves o seu contributo, em especial no decurso do trabalho de campo realizado, ao proprietário dos terrenos onde se efetuaram os trabalhos de campo, João Lopes, e à equipa de campo de sísmica: Daniela Alves, Jaime Leote e Fernando Caneiras.

Bibliografia

Carvalho, J., Cabral, J., Gonçalves, R., Torres, L., Mendes-Victor, L., 2006. Geophysical Methods Applied to Fault Characterization and Earthquake Potential Assessment in the Lower Tagus Valley, Portugal. *Tectonophysics* 418, 277-297.

Carvalho, J., Taha, R., Cabral, J., Carrilho, F., Miranda, M., 2008. Geophysical characterization of the Ota-Vila Franca de Xira-Lisbon-Sesimbra fault zone, Portugal. *Geophysical Journal International* 174, 567-584.

Carvalho, J., Ghose, R., Loureiro, A. V., Pinto, C. C., Borges, J. F., 2012. Is the Vila Franca de Xira fault still active? A shallow seismics reflection shear-wave study in an intraplate environment. 74th EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2012. Copenhagen.

193 Demanet, D., Renardy, F., Vanneste, K., Jongmans, D., Camelbeeck, T., Megrahoui, M.,
 194 2001b. The use of geophysical prospecting for imaging active faults In the Roer Graben,
 195 Belgium. *Geophysics* 66 (1), 78–89.
 196
 197 Ghose, R., Carvalho, J., Loureiro, A., 2013. Signature of fault deformation in near-surface
 198 soil visible in shear seismics reflections. *Geophysical Research Letters* 40, 1074-1078.
 199
 200 Meghraoui, M., Camelbeeck, T., Vanneste, K., Brondeel, M., Jongmans, D., 2001. Active
 201 faulting and paleoseismology along the Bree fault, lower Rhine graben, Belgium. *Journal*
 202 *of Geophysical Research* 105 (B6), 13,809–13,841.
 203
 204 Nguyen, F., Garambois, S., Jongmans, D., Pirard, E., Loke, M.H., 2005. Image processing of
 205 2D resistivity data for imaging faults. *Journal of Applied Geophysics* 57, 260-277.
 206
 207 Slater, L. & Niemi, T. M., 2003. Ground-penetrating radar investigations of active faults
 208 along the Dead Sea Transform and implications for seismic hazards within the city of
 209 Aqaba, Jordan. *Tectonophysics* 368, 33-50.
 210
 211 Yalçiner, C. Ç., Altunel, E., Bano, M., Meghraoui, M., Karabacak, V., Akyuz, H. S., 2013.
 212 Application of GPR to normal faults in the Büyük Menderes Graben, western Turkey.
 213 *Journal of Geodynamics* 65, 218-227.

*Figura 1: Enquadramento geológico da bacia Cenozóica do vale inferior do Tejo (adaptado de Carvalho *et al.*, 2006)*

Figura 2: Secção sísmica migrada no tempo (topo) e conversão para profundidades usando uma função de velocidades 1D a partir das velocidades de processamento, com interpretação das principais falhas sobreposta (fundo). Estão definidas quatro zonas de interesse, marcadas de A – D

Figura 3: Radargramas interpretados, obtidos após processamento dos dados de campo. a) Antena 200MHz (modo distância); b) Antena 100 MHz (modo distância); c) Antena 200MHz (modo ponto – wiggle); d) Antena 200Mhz (modo ponto – wiggle). Fp – Falha provável

*Figura 4: Secção interpretada de tomografia de resistividade eléctrica, usando o array Dipolo-Dipolo.
Fp – Falha provável*

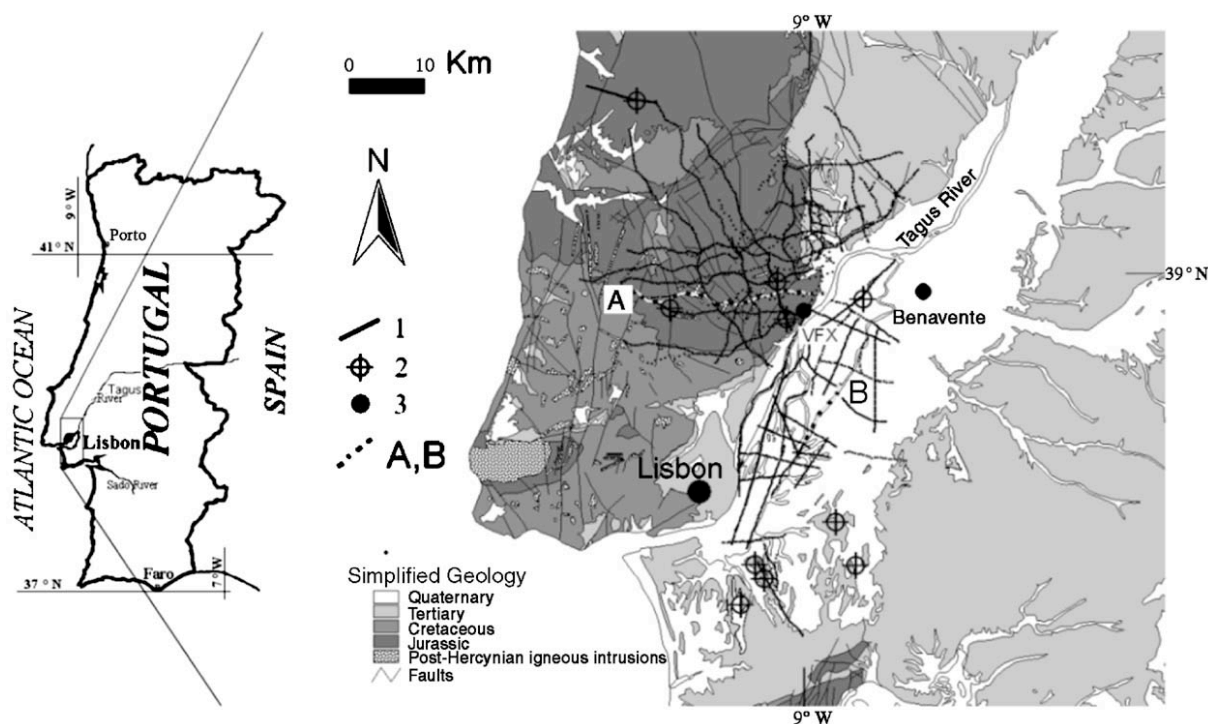


Figura 1

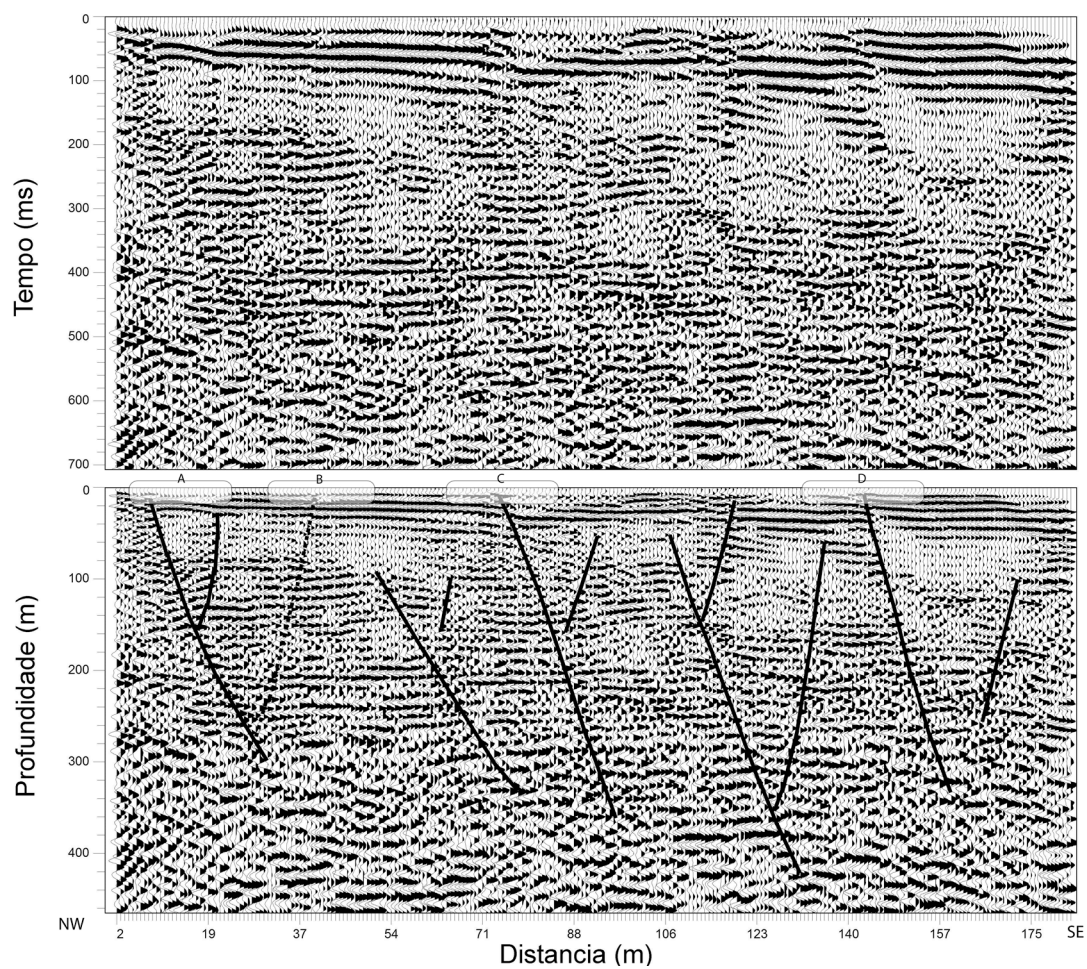


Figura 2

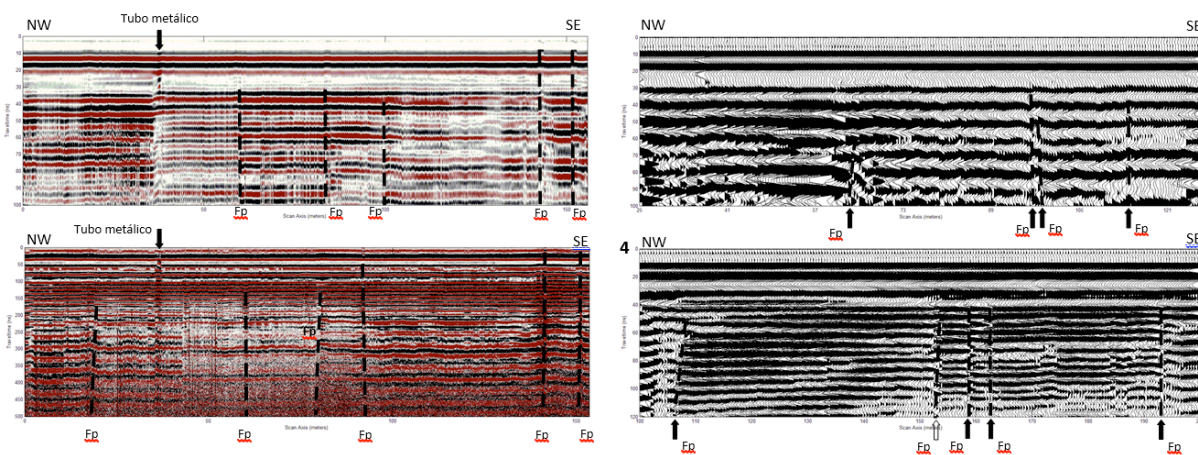


Figura 3

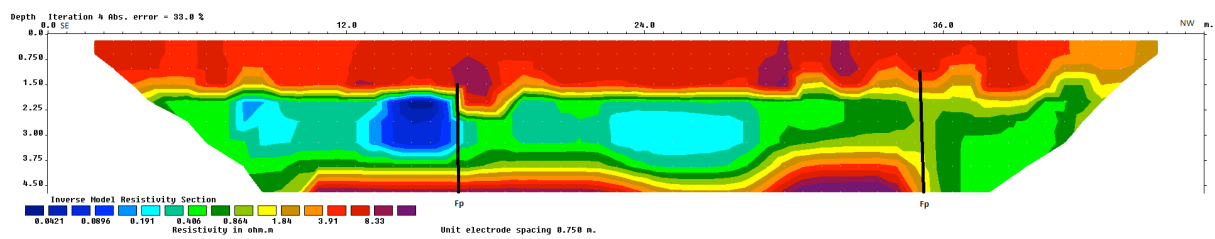


Figura 4