

PROTÓTIPO LABORATORIAL PARA DETECÇÃO DE ORIFÍCIOS EM GEOMEMBRANAS: ENSAIOS NA INSTALAÇÃO PILOTO DO ISEL

Lopes, Maria da Graça, *ISEL, Lisboa, Portugal, glopes@dec.isel.ipl.pt*
Barroso, Madalena, *LNEC, Lisboa, Portugal, mbarroso@lnec.pt*
Mota, Rogério, *LNEC, Lisboa, Portugal, rmota@lnec.pt*
Matutino, Pedro, *ISEL, Lisboa, Portugal, pmiguens@deetc.isel.pt*
Soarez, Igor, *ISEL, Lisboa, Portugal, isoarez@cc.isel.ipl.pt*
Dores, Rui, *EGF, Lisboa, Portugal, r.dores@adp.pt*
Silva, Francisco, *APA, Lisboa, Portugal, francisco.silva@apambiente.pt*

RESUMO

Considerando que (i) os aterros de resíduos serão sempre necessários, que (ii) a eficácia do seu sistema de confinamento depende, sobretudo, do desempenho da geomembrana e que (iii) a ocorrência de orifícios na geomembrana parece inevitável, designadamente, durante a colocação da camada de drenagem, é indispensável a existência de métodos para verificação da sua integridade, após a colocação daquela camada.

Embora já existam métodos para detecção de orifícios em geomembranas, para além da morosidade e custo que envolvem, têm limitações de utilização em sistemas de confinamento que incluem, para além da geomembrana, barreiras geossintéticas argilosas ou em sistemas de confinamento com dupla geomembrana.

Assim, está em curso um projecto de desenvolvimento de um "Sistema móvel semi-automático de detecção de orifícios na impermeabilização de aterros sanitários", que tem como objectivo ser mais expedito e económico que os métodos já existentes e que possa ser utilizado em aterros de resíduos com diferentes tipos de sistemas de impermeabilização. Nesta fase já foi desenvolvido o protótipo laboratorial, dotado de meios que permitem a aquisição semi-automática de localização dos orifícios e seu processamento em tempo real, e está a ser testada a sua funcionalidade em laboratório, numa instalação piloto no ISEL, em escala reduzida. Em seguida será testada a sua operacionalidade, em grande escala, numa instalação no campus do LNEC. Por fim será testado num aterro de resíduos, em construção pela EGF.

No presente artigo descreve-se a instalação piloto realizada no laboratório do ISEL e apresentam-se os resultados dos ensaios realizados até à data e as respectivas conclusões.

1. INTRODUÇÃO

Os aterros de resíduos são obras de engenharia geotécnica concebidas para minimizar o efeito poluente dos resíduos no meio ambiente, mediante a utilização de sistemas de impermeabilização (basal e cobertura).

Com vista a assegurar a protecção do ambiente, os aterros de resíduos incluem duas barreiras de protecção e impermeabilização designadas, em função da acção desenvolvida, barreira passiva e barreira activa. A barreira passiva é, geralmente, constituída por uma camada de argila compactada (CCL), reforçada superiormente com uma barreira geossintética argilosa (GCL). A barreira activa é constituída por uma geomembrana (GM) protegida superiormente por um geotêxtil.

A eficácia do sistema de impermeabilização depende, sobretudo, do desempenho da GM, podendo este ser comprometido pela presença de orifícios, que resultam, em geral, de actividades construtivas inadequadas, em particular, da colocação da camada de drenagem de lixiviados sobre as barreiras do sistema de impermeabilização. Efectivamente, de acordo com dados recolhidos em mais de 300 obras, 71 % dos orifícios são causados pelos materiais da camada de drenagem.

Embora já existam métodos para detecção de orifícios em GMs, tais como o método da sonda móvel ou o sistema permanente, estes apresentam várias desvantagens, das quais se destacam a morosidade e os elevados custos. De referir, também, que foram métodos desenvolvidos, sobretudo, para casos em que a GM é colocada sobre a CCL, o que não é o caso dos aterros portugueses (CCL+GCL+GM), nem o preconizado para os aterros de resíduos perigosos, os quais incorporam, geralmente, sistemas duplos. As limitações dos métodos existentes têm inviabilizado a sua aplicação em Portugal, com os prejuízos daí decorrentes para o ambiente.

Assim, está em curso o Projecto FCT: PTC/AAC-AMB/102846/2008 "Sistema móvel semi-automático de detecção de orifícios na impermeabilização de aterros sanitários", cujo objectivo é o desenvolvimento de um método expedito e pouco oneroso, que possa suprimir as desvantagens dos métodos existentes e possa ser utilizado em aterros de resíduos com diferentes tipos de sistemas de impermeabilização. A metodologia adoptada consiste, primeiro, no desenvolvimento de um protótipo laboratorial, dotado de meios que permitam a aquisição semi-automática de dados (localização dos orifícios) e seu processamento em tempo real. A funcionalidade do protótipo é testada, primeiro em laboratório, em escala reduzida (numa instalação piloto no ISEL) e, depois, em grande escala (numa instalação no campus do LNEC), onde serão instalados diferentes tipos de sistemas de impermeabilização. Por fim será verificada a sua operacionalidade, *in situ*, num aterro de resíduos da empresa EGF.

No presente artigo descreve-se a instalação piloto realizada no laboratório do ISEL e apresentam-se os resultados dos ensaios, ainda em curso. São apresentadas as conclusões sobre a capacidade do protótipo para detectar orifícios de diferentes dimensões e distâncias, bem como a influência do teor em água dos materiais localizados sobre a GM.

2. O TRABALHO EXPERIMENTAL

2.1. Método de Ensaio

O método de ensaio que se vai implementar pretende "combinar" o método geofísico da resistividade eléctrica com o método da sonda eléctrica móvel (*the water and soil covered geomembrane method*).

O método de resistividade eléctrica requer um dispositivo de medida formado por quatro eléctrodos (Figura 1), destinando-se dois deles (A e B) à injeção da corrente eléctrica contínua no terreno, e os outros dois (M e N) à recepção ou medida das diferenças de potencial criadas pela injeção da corrente eléctrica.

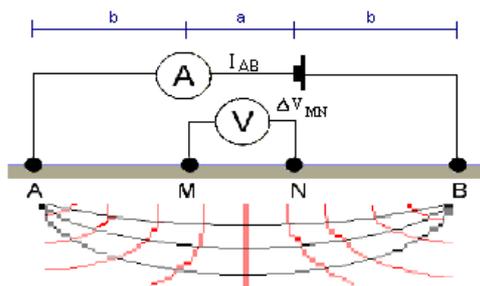


Figura 1 – Esquema do ensaio da resistividade eléctrica

Os dispositivos geométricos de medição mais correntemente empregues são os dispositivos de Wenner e de dipolo-dipolo (em que se mantém a igualdade de espaçamento entre os quatro eléctrodos) e de Schlumberger (em que se tem a relação $AB > 5MN$). Com os dispositivos de Wenner e de Schlumberger pode-se realizar uma prospecção vertical (sondagens geoelectricas), interessando diferentes profundidades, ou uma prospecção horizontal (rectângulo de resistividades aparentes), realizada a profundidade constante. Com os dois primeiros é ainda possível realizar perfis cujo resultado é um corte vertical do terreno ao longo do alinhamento prospectado.

No método de ensaio da sonda eléctrica móvel utilizam-se dois eléctrodos fixos, um colocado no solo de suporte e, outro, colocado no material que cobre a superfície superior da GM, de modo a estabelecer-se uma diferença de potencial entre o solo exterior e o meio interno. Os dois eléctrodos são ligados a um gerador de corrente contínua (Figura 2). Com a ajuda de uma sonda eléctrica móvel efectuam-se medidas de diferença de potencial eléctrico. Como o campo de potencial diminui à medida que a sonda se afasta do eléctrodo, se tal não acontecer e, se pelo contrário, se verificar um aumento do potencial, significa que a sonda está na proximidade de um orifício. Uma mudança de sinal nos valores medidos indica a existência de um orifício.

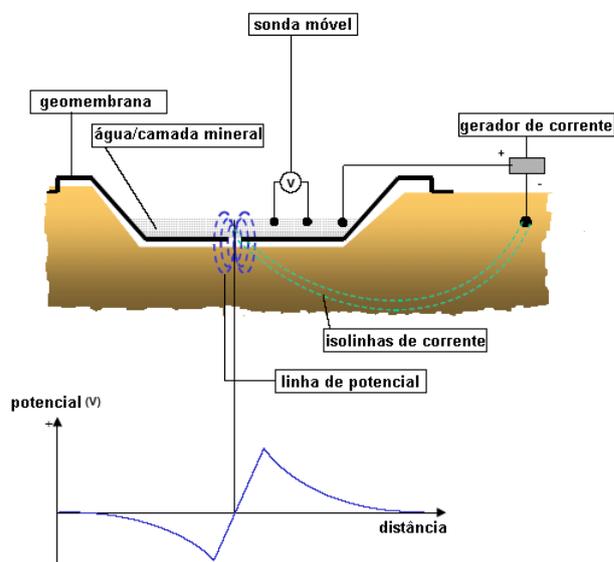


Figura 2 – Esquema do ensaio da sonda eléctrica móvel (CFGG (2003), citado por Lopes (2006))

Um dos objectivos do trabalho de investigação em curso é o desenvolvimento de um protótipo baseado no dispositivo usado no ensaio da resistividade eléctrica, para realização de ensaios baseados no princípio do método da sonda móvel.

2.2. Protótipo Laboratorial e Dispositivos de Alimentação, Medida e Aquisição de Dados

O primeiro protótipo desenvolvido foi um aparelho constituído por uma barra, onde foram montados os vários eléctrodos (Figura 3a). Mota *et al.* (2011) referem mais pormenores sobre este dispositivo.

Após alguns testes e com o objectivo de, por um lado, facilitar e acelerar a realização dos ensaios e, por outro lado, aumentar a precisão dos resultados, este primeiro protótipo foi melhorado, ficando com a configuração que se mostra na Figura 3b). Na barra foram montados 21 eléctrodos ligados por cabos ao dispositivo que permite efectuar as leituras de diferença de potencial entre os diferentes eléctrodos, com a ajuda de um multímetro (Figura 4a). A alimentação é uma fonte de tensão independente de 60 V CC, com dois terminais (eléctrodos de injeção de corrente), a colocar nos solos subjacente e sobrejacente à GM, de modo a estabelecer-se a diferença de potencial entre o solo exterior e o meio interno (Figura 4b).

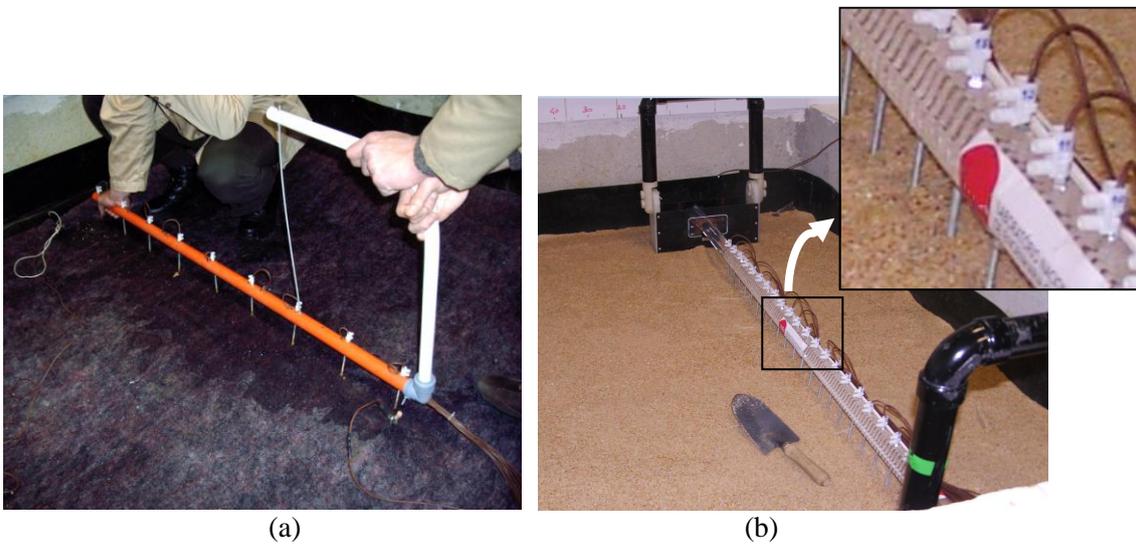


Figura 3 – Protótipo laboratorial: (a) 1º protótipo (b) 2º protótipo

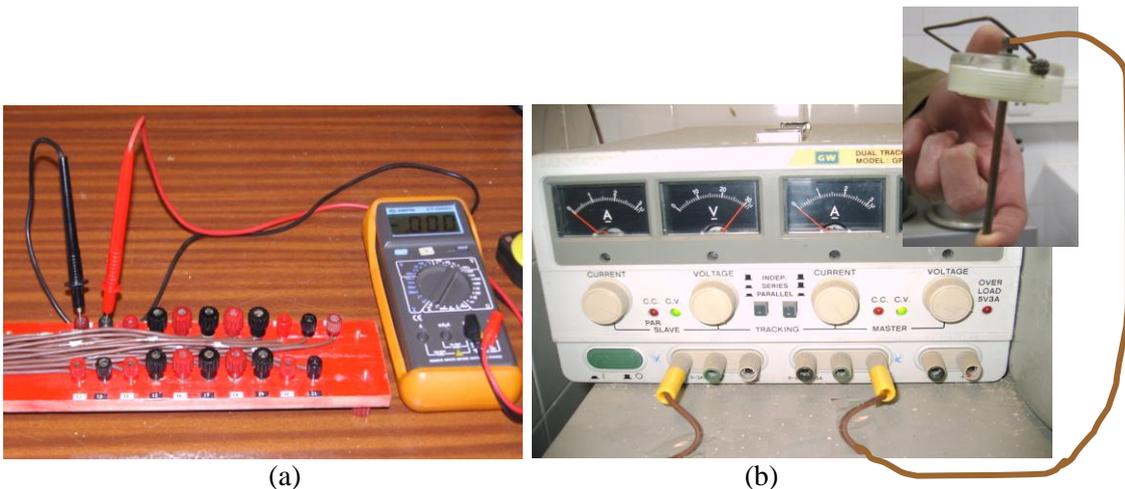


Figura 4 – (a) Dispositivo de leitura das diferenças de potencial e (b) fonte de alimentação e eléctrodo

Através de uma interface gráfica desenvolvida para o efeito, é possível a visualização da variação da diferença de potencial num gráfico em 3D ou em 2D (Figura 5a e b).

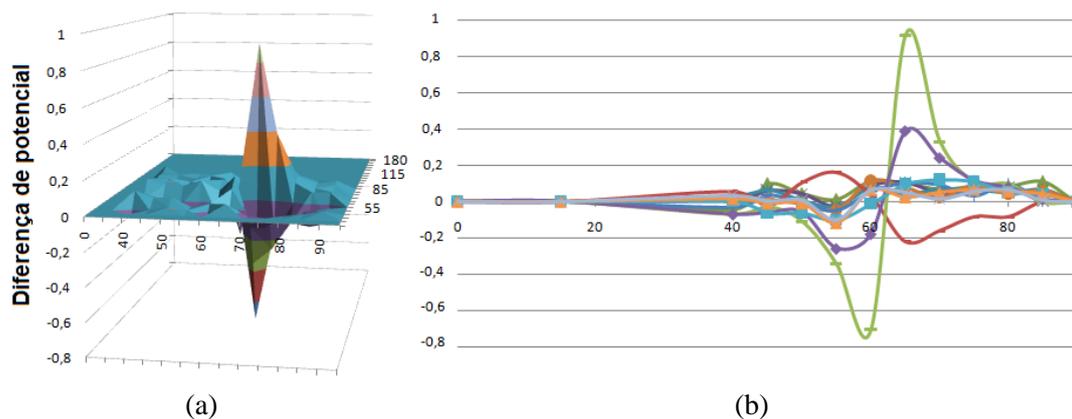


Figura 5 – Tratamento dos resultados: visualização da localização de um orifício em gráfico 3D (a) e 2D (b)

2.3. Instalação Piloto e Materiais Utilizados

A instalação piloto consiste num tanque com $1,8 \times 1,8 \times 0,8 \text{ m}^3$ no qual foi efectuada a regularização do fundo com uma betonilha com uma inclinação de cerca de 2% para simular o fundo de um aterro (Figura 6a). Em seguida foi compactada ($\gamma_{dmax} = 17,1 \text{ kN/m}^3$ e $w_{opt} = 17\%$) uma camada de 0,3 m de um solo fino (Figura 6b e c), cuja curva granulométrica é apresentada na Figura 7.



Figura 6 – Tanque: (a) Regularização do fundo com betonilha e (b) compactação da camada de solo fino

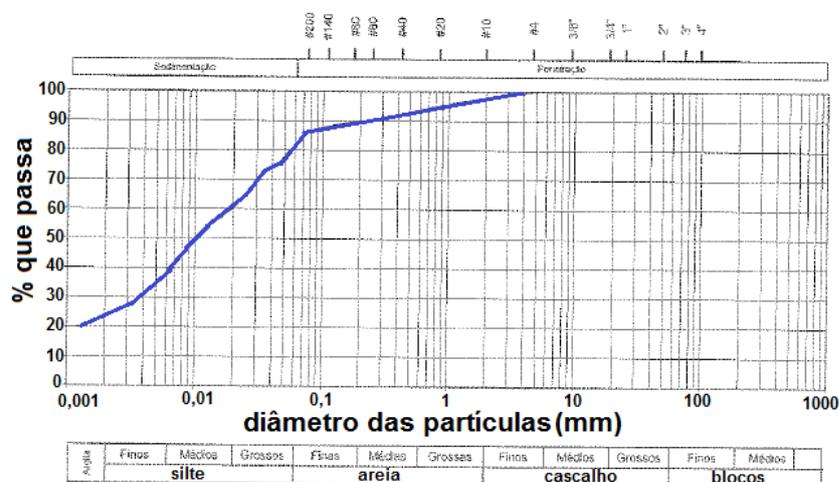


Figura 7 – Curva granulométrica do solo fino

Após introdução de um dos eléctrodos de injeção de corrente no solo, seguiu-se a colocação da GCL com uma massa por unidade de superfície de 5000 g/m^2 , e um teor em água natural de 11,4%. A GCL é constituída por um geotêxtil superior não tecido agulhado e um geotêxtil inferior tecido, que confinam uma camada de bentonite sódica. Foi de seguida colocada uma GM de polietileno de alta densidade com 2 mm de espessura. Para garantir o total isolamento do solo inferior à GM, foram realizadas nos cantos da GM soldaduras por extrusão. Sobre a GM foi colocado um geotêxtil não tecido agulhado com uma massa por unidade de superfície de 300 g/m^2 e uma camada de areia monogranular com um diâmetro médio de $950 \mu\text{m}$ (Figura 8). Foi nesta camada que se introduziu o outro eléctrodo de injeção de corrente.

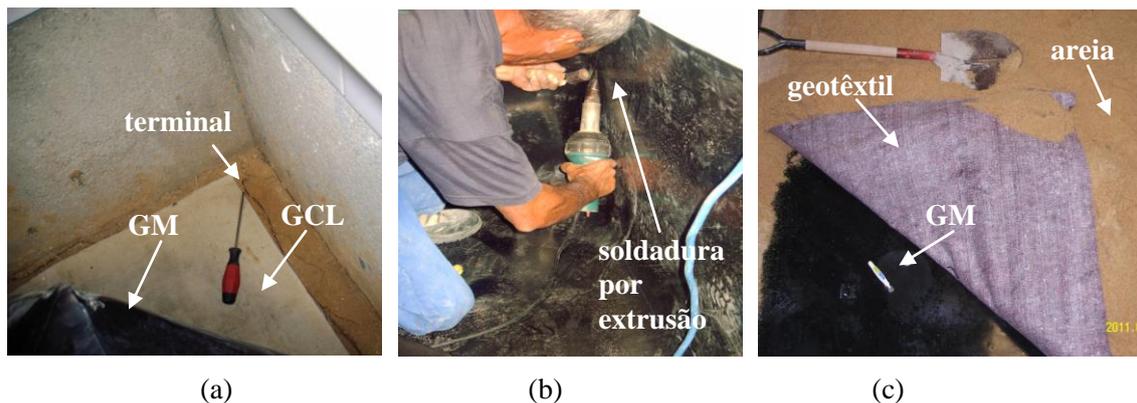


Figura 8 – Colocação: de um eléctrodo de injeção de corrente e GCL (a), da GM (b), do geotêxtil e da areia (c)

2.4. Programa de Ensaios

O objectivo desta instalação piloto é avaliar a precisão do protótipo para detectar diferentes dimensões e distâncias de orifícios na GM, bem como a operacionalidade do equipamento em diferentes condições de saturação dos diversos materiais de contacto com a parte superior da GM. Para o efeito foram planeados os ensaios indicados no quadro 1.

Quadro 1- Programa de ensaios

Ensaio tipo	Sequência de materiais utilizados	Objectivo
A	Solo+GM+GTX (molhado)	verificar a dimensão mínima dos orifícios que o protótipo consegue detectar
B	Solo+GCL(w_{natural})+GM+GTX (w_{natural} /molhado)	verificar se o protótipo consegue detectar os orifícios na presença da GCL e GTX
C	Solo+ GM+GTX (w_{natural})+areia (w_{natural})	verificar se o protótipo consegue detectar os orifícios no caso dos materiais sobre a GM estarem com w_{natural}
D	Solo+ GM+GTX (molhado)+areia ($w_{\text{crecentes}}$)	verificar o teor em água mínimo da camada drenante para o protótipo detectar os orifícios
E	Solo+GCL(w_{natural})+ GM+GTX (molhado) +areia (w_{natural})	verificar se o protótipo consegue detectar os orifícios no caso dos materiais sobre a GM estarem com w_{natural} , na presença da GCL
F	Solo+ GCL(w_{natural})+GM+GTX (molhado)+areia ($w_{\text{crecentes}}$)	verificar o teor em água mínimo da camada drenante para o protótipo detectar os orifícios, na presença da GCL

Nota: GM – geomembrana; GCL – barreira geossintética argilosa; GTX – geotêxtil; w – teor em água

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados dos ensaios do tipo A, C e D não foram considerados por nem sempre serem coerentes, dada a dificuldade em se conseguir, em toda a superfície de ensaio, o contacto entre o solo fino e a GM (dificultando por isso a passagem da corrente eléctrica), dada a rigidez da GM e as reduzidas dimensões do tanque.

Relativamente aos resultados dos ensaios de tipo B verificou-se que só passava corrente se o geotêxtil estivesse molhado (24h). Foram realizados ensaios em que se efectuou um orifício com 2 mm de diâmetro e dois orifícios com 2 mm de diâmetro (distanciados cerca de 50 cm), parecendo em qualquer dos casos detectar-se o(s) orifício(s) (Figura 9).

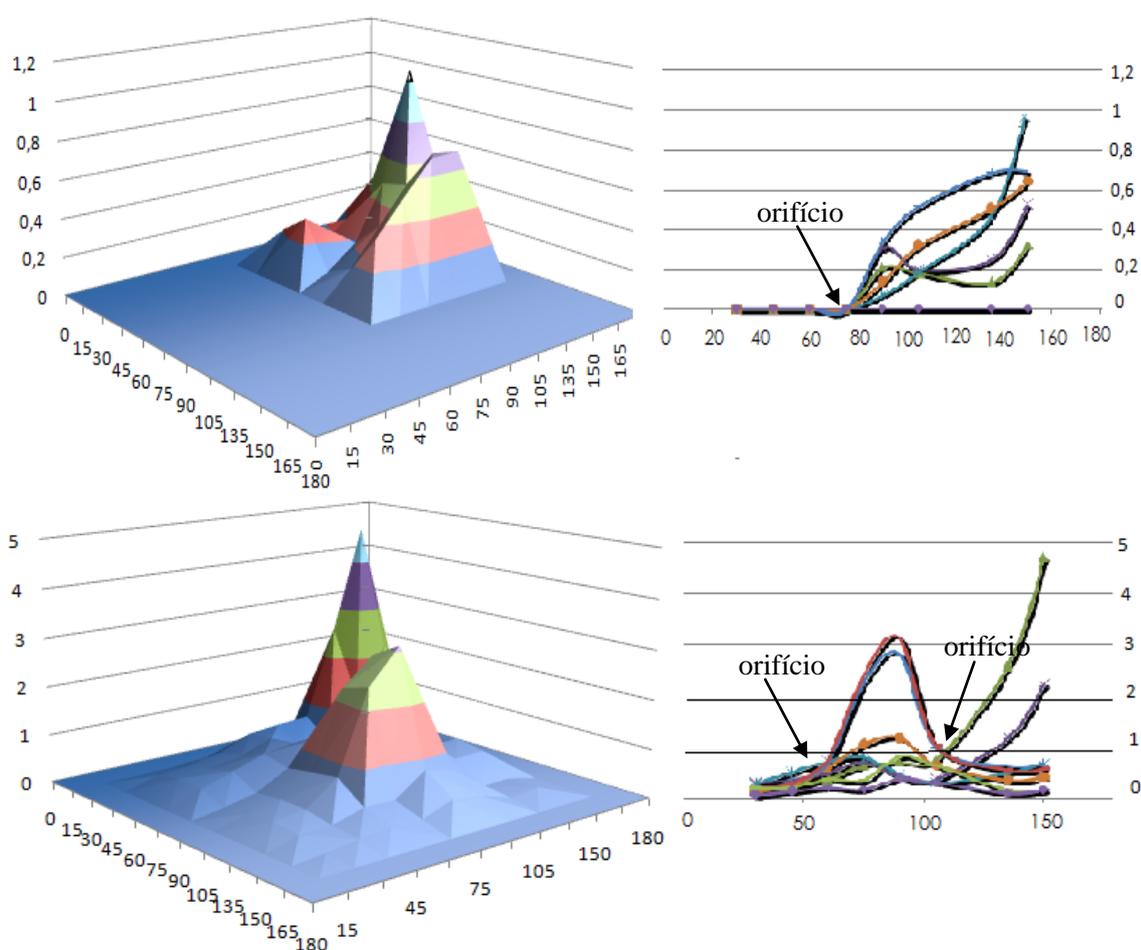


Figura 9 – Exemplo de visualização da localização de um e dois orifícios na GM (ensaio tipo B)

No que respeita aos resultados dos ensaios de tipo E, verificou-se que não se detectava o orifício na GM, quando a areia (camada com 8 cm de espessura) apresentava o teor em água natural ($w_{\text{natural}} = 0,15\%$). Assim, passou-se à realização de ensaios de tipo F, começando por molhar a areia de modo a aumentar o teor em água médio para 3,3%, mas o orifício não foi detectado. Aumentou-se depois para 3,5% e foi detectado o orifício (Figura 10). Efectuaram-se depois 2 furos de 2mm distanciados cerca de 50 cm, mas o segundo furo não foi detectado. Fizeram-se então vários ensaios em que se aumentou a tensão da fonte, o teor em água, a espessura da camada de areia e se alargou o diâmetro dos furos, mas os resultados foram sempre inconclusivos como se exemplifica na Figura 11 para o caso de 3 orifícios.

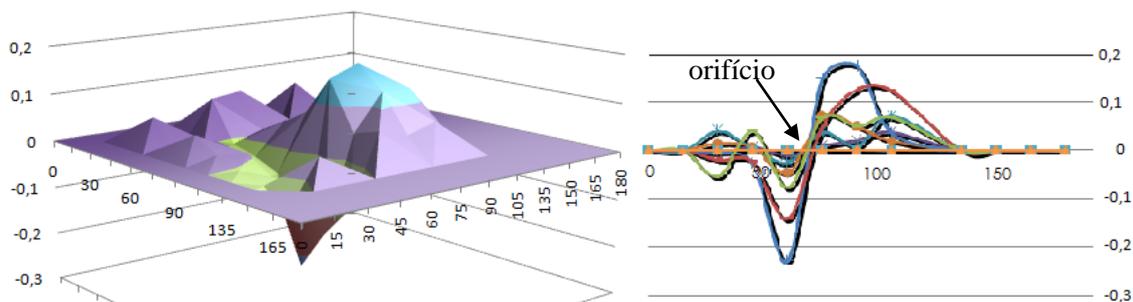


Figura 10 – Exemplo da visualização da localização de um orifício na GM (ensaio tipo F)

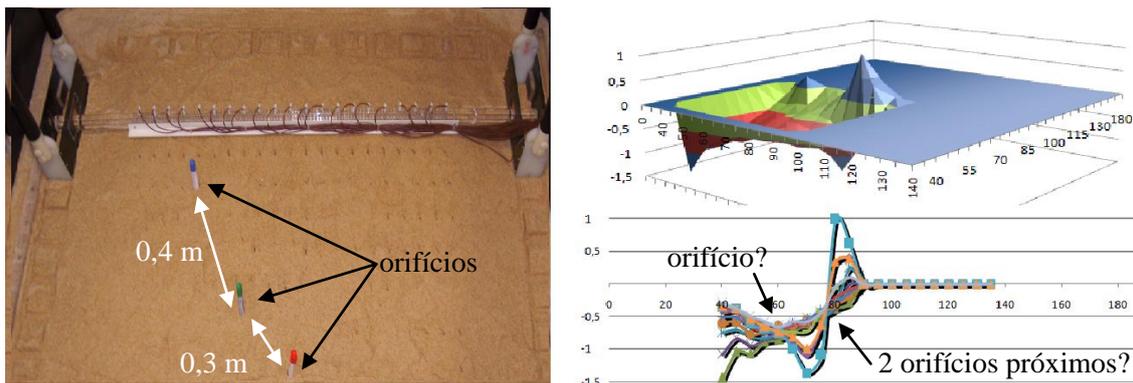


Figura 11 – Exemplo da visualização da localização de três orifícios na GM (ensaio tipo F)

4. CONCLUSÕES

Os ensaios realizados permitiram concluir que o protótipo consegue detectar orifícios a partir de 2 mm de diâmetro, bastando aparentemente que a GCL tenha o teor em água natural, o GTX seja molhado e a areia um teor em água superior a 3,5%. A partir de uma distância de 0,5 m entre dois orifícios de 2 mm de diâmetro os resultados sugerem que o protótipo consegue detectar esses orifícios, mas dadas as reduzidas dimensões da instalação, não foi possível realizar três orifícios a essa distância e a distâncias inferiores os resultados são inconclusivos. Espera-se poder confirmar estes resultados na instalação de maiores dimensões a realizar no campus do LNEC, onde também serão realizados orifícios com outras formas, para além da circular.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) o financiamento concedido no âmbito do Projecto PTDC/AAC-AMB/102846/2008.

Agradece-se ainda à empresa BBF pela disponibilização e colocação dos geossintéticos.

REFERÊNCIAS

- CFG (2003). *Présentation de méthodes de détection et de localisation de défauts dans les dispositifs d'étanchéité par géomembranes*. Comité Français Géosynthétiques, France.
- Lopes, M.G. (2006). *Análise dos métodos de controlo de integridade de geomembranas de PEAD usadas em aterros de RSU*. Revista Geotecnia n° 106, Março.
- Mota, R., Matutino, P., Barroso, M., Lopes, M.G., Dores, R. & Silva, F. (2011). Laboratorial Prototype for Detection of Defects on Geomembranes - The Geophysical Approach. *Near Surface 2011 – 17th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*, Leicester, UK, 12-14 September.