

GEOSAFE – EQUIPAMENTO PARA DETEÇÃO DE ORIFÍCIOS EM SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO DE ATERROS DE RESÍDUOS

GEOSAFE – AN EQUIPMENT TO DETECT HOLES IN LANDFILL LINING SYSTEM

Rogério Mota

Departamento de Geotecnia, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Madalena Barroso

Departamento de Geotecnia, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Luís Coimbra

Departamento de Geotecnia, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Válter do Nascimento

Departamento de Geotecnia, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Carlos Martins

Departamento de Geotecnia, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Maria da Graça Lopes

Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa



RESUMO

Os aterros de resíduos possuem sistemas de impermeabilização de fundo que incluem barreiras múltiplas, entre as quais uma geomembrana (GM). O sucesso destes sistemas depende, sobretudo, do desempenho das GMs, que constituem a barreira ativa à migração dos contaminantes. O desempenho das GMs é condicionado pela presença de orifícios, que constituem caminhos preferenciais para a migração de lixiviado. Com o objetivo de colmatar as principais desvantagens dos métodos existentes para deteção de orifícios em GMs, de entre as quais se destacam a morosidade e os custos associados, desenvolveu-se um equipamento de ensaio – GeoSafe - baseado no método geofísico da resistividade elétrica. Apresentam-se o método de deteção de fugas em GM, o equipamento GeoSafe e alguns dos resultados obtidos no campo experimental do LNEC.

Palavras-chave: Aterros de resíduos / Geofísica / Integridade de geomembranas

ABSTRACT

Landfills are engineering facilities designed and constructed with a barrier system (lining system) which includes a geomembrane (GM), protected by a geotextile, and a drainage layer known as primary leachate collection system. The effectiveness of lining systems in service conditions depends, above all, of the GM performance. A critical issue on their performance is the defects, which are unavoidable and preferable pathways for leachate migration. To overcome the main disadvantages of the existing test methods, namely its costs and labor, an equipment – GeoSafe - was developed based on the geophysical resistivity method, for a fast and low-cost test method to check the GMs integrity after the placement of the granular layer. In the present work the detection method, the GeoSafe equipment and some results obtained at LNEC's experimental field are presented.

Keywords: Landfill / Geophysics / Geomembrane integrity

1. INTRODUÇÃO

Os aterros de resíduos são obras de engenharia geotécnica, concebidas para minimizar o efeito poluente dos resíduos no meio ambiente. Para o efeito, contêm sistemas de impermeabilização de fundo e taludes, bem como sistemas de cobertura.

Os sistemas de impermeabilização de fundo incluem barreiras múltiplas, tipicamente constituídas, da base para o topo, por uma camada de solo argiloso compactado (CCL – do inglês *compacted clay liner*), uma barreira geossintética argilosa (GCL), uma geomembrana (GM) - geralmente de polietileno de alta densidade (PEAD), um geotêxtil de proteção da geomembrana (GTX) e uma camada de drenagem dos lixiviados (CDL) (Fig. 1). O sucesso destas barreiras depende, sobretudo, do desempenho das GMs, pois estas constituem a barreira ativa à migração dos contaminantes.

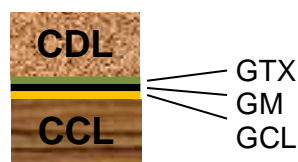


Fig. 1 – Exemplo de um sistema de impermeabilização de fundo dos aterros de resíduos

O desempenho das GMs é condicionado pela presença de orifícios, os quais estão, de um modo geral, relacionados com atividades construtivas inadequadas, em particular com a colocação da camada de drenagem de lixiviados sobre as barreiras do sistema de impermeabilização (Nosko e Touze-Foltz 2000). Os orifícios na GM representam caminhos

preferenciais para a migração de lixiviado para as camadas subjacentes, com potencial contaminação do subsolo e águas subterrâneas. Considerando que a maioria dos orifícios na GM decorre da colocação da camada de drenagem, a verificação da integridade da GM, após a colocação desta camada, afigura-se indispensável.

Procurando colmatar as desvantagens associadas à operação manual dos métodos existentes para deteção de orifícios em GM, desenvolveu-se um equipamento de ensaio baseado no método geofísico da resistividade elétrica (dois elétrodos de injeção e dois elétrodos de medição - Fig. 2) e na técnica de multicabos utilizada nos equipamentos geofísicos mais recentes. O sistema - designado por GeoSafe - é composto por uma malha formada por vários pares de elétrodos instalada numa estrutura móvel, equipada com um sistema de georreferenciação por satélite e uma interface de controlo, seleção e armazenamento de dados.

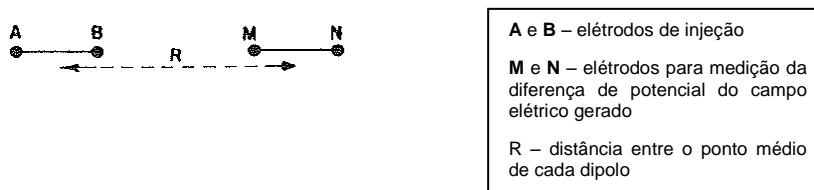


Fig. 2 - Dispositivo tetraeletródico utilizado no método geofísico da resistividade elétrica

O equipamento realiza uma aquisição automática de dados incluindo a georreferenciação de todos os pontos que constituem a malha de ensaio, para produção de um mapa de anomalias elétricas, indicadoras da existência de orifícios.

Nesta comunicação, apresentam-se os resultados dos ensaios realizados com o GeoSafe numa instalação piloto, de grande escala, construída, para o efeito, no campus do LNEC, englobando 3 células constituídas por diferentes tipos de sistemas de impermeabilização, característicos das distintas classes de aterros de resíduos, em particular, dos aterros de resíduos não-perigosos e perigosos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Princípio de funcionamento do método elétrico para deteção de fugas em GMs

O método baseia-se, tal como os métodos geofísicos da resistividade elétrica, em dois pares (dipolos) de elétrodos: um dipolo fixo, para injeção de corrente elétrica, e o segundo dipolo montado numa estrutura móvel, para medição da diferença de potencial do campo elétrico gerado em cada ponto ao longo de toda a base de um aterro de resíduos (Fig. 3).

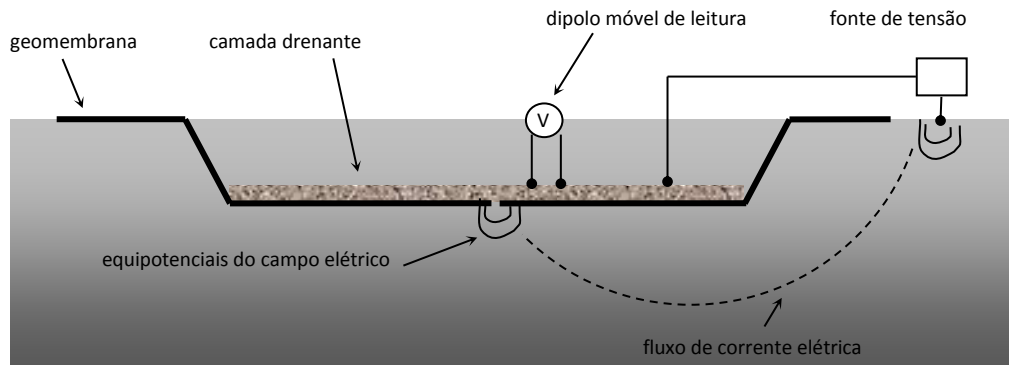


Fig. 3 - Princípio de funcionamento do método elétrico para avaliação da integridade das GMs

Enquanto, no método da resistividade elétrica se procura conhecer como é que a resistividade elétrica do subsolo varia de ponto para ponto, para o que é necessário conhecer os valores dos parâmetros que entram na fórmula de cálculo da resistividade elétrica (1), nomeadamente, a distância entre ambos os dipolos, a dimensão destes, a intensidade da corrente elétrica injetada no terreno e a diferença de potencial do campo elétrico gerado pela circulação da corrente elétrica, no método elétrico para avaliação da integridade das GMs apenas interessa saber como é que varia o campo elétrico ao longo da base do aterro.

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN}\right) - \left(\frac{1}{BM} - \frac{1}{BN}\right)} \quad (1)$$

Onde: ΔV é a diferença de potencial elétrico medido em cada dipolo, I o valor da corrente elétrica injetada no terreno e AM , AN , BM e BN são as distâncias entre os elétrodos; o fator multiplicativo – segunda fração, onde constam as distâncias entre os elétrodos - tem por finalidade compensar o decaimento do campo elétrico com a distância entre a fonte e o recetor.

No método elétrico para avaliação da integridade das GMs um dos elétrodos do dipolo de injeção é instalado no exterior do sistema de confinamento e o segundo está em contacto com a camada drenante colocada no interior do sistema. Este método baseia-se no princípio de que, sendo a GM constituída por material isolante ao fluxo da corrente elétrica entre os dois elétrodos de injeção, então esta apenas poderá fluir de um para o outro se existir um orifício na GM e se ocorrer contacto entre os dois meios – camada drenante e terreno de fundação. Esta última condição é análoga a um interruptor num circuito elétrico – o interruptor apenas deixa passar a corrente elétrica, para ligar algo, quando fecha o circuito.

A detecção da passagem da corrente elétrica pelo orifício da GM é efetuada através da medição, da variação da diferença de potencial entre os dois elétrodos do dipolo de medição (tipicamente com 1 m de distância entre si), quando este percorre, de modo sistemático a camada drenante do aterro de resíduos. Sendo homogéneo o material que constitui a camada drenante e mantendo-se sempre constante a tensão aplicada, a diferença de potencial medida com o dipolo móvel deverá ser sempre reduzida e equivalente ao potencial espontâneo natural dos terrenos; apenas em presença de um orifício é que ocorre uma alteração. Com efeito, à medida que o dipolo de leitura se aproxima de um orifício (rasgo, corte ou perfuração da GM) o potencial elétrico medido aumenta em termos absolutos, ocorrendo uma inversão de polaridade após passagem pelo orifício (Fig. 4). No entanto, há que acautelar o já mencionado efeito do decaimento do campo elétrico com a distância entre a fonte e o recetor, assim como as condições de condução da corrente elétrica na camada drenante, para que a interrupção do circuito elétrico não seja devido a deficiente capacidade condutora deste meio.

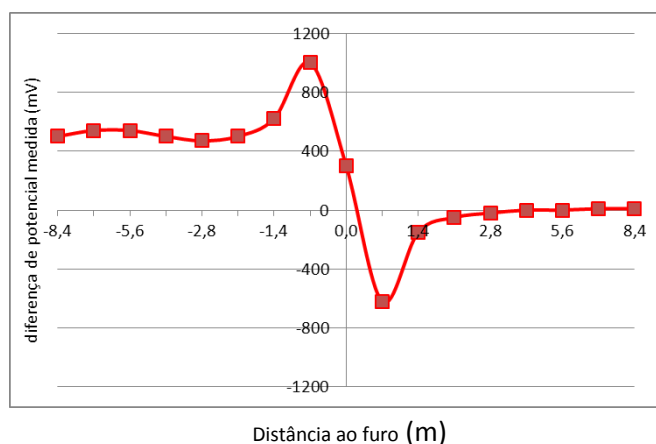


Fig. 4 - Variação do potencial elétrico próximo de um orifício com 0,6 cm de diâmetro (adaptado de Peggs e Beck 2010)

2.2. O equipamento de ensaio GeoSafe

O GeoSafe (Fig. 5) é constituído por uma estrutura móvel, onde se encontra instalada uma malha de elétrodos montados segundo uma quadrícula de 4 x 4 elétrodos, distanciados entre si de 30 cm. Os elétrodos encontram-se instalados de modo a permitirem movimento vertical independente entre si, para se superar os obstáculos que constituem alguns materiais utilizados para a camada drenante – seixos, por exemplo.



Fig. 5 – Vista geral do GeoSafe

O GeoSafe compreende ainda um módulo de acondicionamento e aquisição de sinal, um módulo de controlo, de leitura e de armazenamento de dados e um sistema de georreferenciação por satélite GNSS, com precisão centimétrica, georreferenciado ao referencial PT-TM06/ETRS89 – *European Terrestrial Reference System 1989*, e método de posicionamento relativo com medição da fase e cálculo em tempo real (RTK - *Real Time Kinematic*).

No módulo de acondicionamento e aquisição de sinal (Matutino *et al.* (2011)) procede-se à seleção do par de eléctrodos no qual se realiza a medição da diferença de potencial; ao acondicionamento do sinal de entrada e à conversão do sinal analógico para digital. Os valores da diferença de potencial medida pelos diversos dipolos são transmitidos, em formato digital, para o módulo de controlo e armazenados, juntamente com os dados de georreferenciação dos dipolos, numa base de dados.

Cada eléctrodo é utilizado para efetuar três medições de potencial, nas três direções possíveis: naquela em que se desloca o GeoSafe, na sua perpendicular e na direção diagonal a estas.

A partir dos valores de diferença de potencial medido e das respetivas coordenadas são gerados mapas de isolinhas de igual valor de potencial elétrico. Nestes mapas, os locais onde ocorre um elevado gradiente do potencial, com inversão do sinal (ver Fig. 4)

correspondem à localização dos orifícios. Para melhor identificação esta inversão do sinal traduz-se nos mapas por uma alteração de cor, ou seja, numa passagem de azul (valores positivos) para vermelho (valores negativos). A maior ou menor intensidade do campo elétrico gerado encontra-se relacionada com o nível da tensão injetada no terreno, com o teor de água da camada drenante, e com a dimensão dos orifícios.

2.3. Instalação piloto

A instalação piloto construída no campus do LNEC é constituída por três células, cada uma com aproximadamente 10m×10m×1m (comprimento x largura x profundidade) (Fig. 6).

As células foram concebidas com diferentes sistemas de impermeabilização (Fig. 7), característicos das distintas classes de aterros de resíduos, em particular, nos aterros de resíduos não-perigosos e perigosos construídos em Portugal. Assim, as células 1 e 2 simulam um sistema de impermeabilização semelhante aos utilizados nos aterros de resíduos não perigosos, diferindo entre si na inclusão (célula 1), ou não (célula 2), de um geocomposto bentonítico. Estas duas células diferem ainda entre si pela presença, na camada drenante, de uma camada de brita (célula 1), com 0,3 m de espessura sobre a camada de areia com 0,2 m de espessura.

A célula 3 representa o sistema de impermeabilização típico dos aterros de resíduos perigosos, incluindo duas geomembranas, separadas por uma camada de material drenante. No caso do presente estudo, inclui também um geotêxtil condutor sobre esta camada de drenagem secundária (ver Fig. 7).



Fig. 6 - Aspeto da fase de construção da instalação piloto

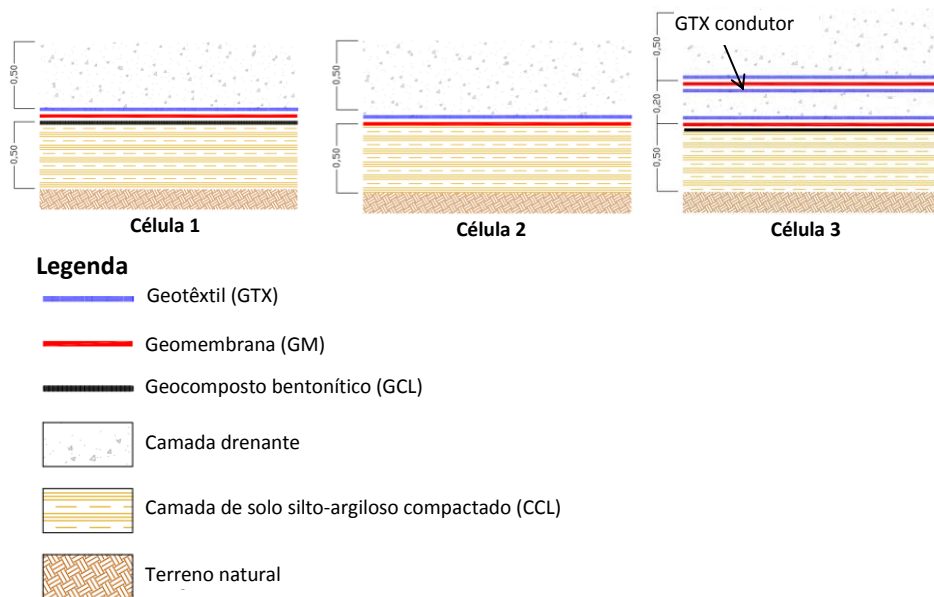


Fig. 7 - Esquema dos tipos de isolamento utilizados nas células 1 a 3 (Dores *et al.* (2012))

Após a instalação das geomembranas, e previamente à sua cobertura, foram propositalmente efetuados orifícios na geomembrana (Fig. 9), em locais devidamente referenciados, e com dimensões conhecidas (dois orifícios com 2 mm, muito próximos e um orifício com 4 mm de diâmetro), com o objetivo de verificar a capacidade de o GeoSafe as detetar. A menor dimensão dos orifícios foi seleccionada tendo em conta os resultados obtidos na fase de ensaios em laboratório, com uma instalação de menores dimensões (Mota *et al.* 2011).

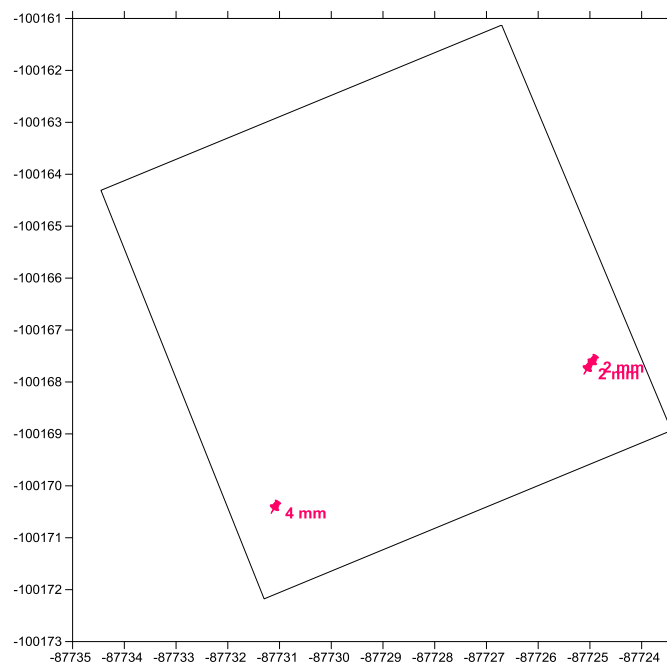


Fig. 8 - Localização dos furos em cada uma das células

No caso da célula 3, os orifícios foram executados apenas na geomembrana superior.

A transmissão da corrente elétrica na camada drenante depende da presença de água, uma vez que tanto a areia, como o cascalho são maus condutores da corrente elétrica, especialmente este último por reter menos a água. Assim, na célula 1, como a camada superior do material drenante é cascalho, foi necessário molhar abundantemente toda a superfície previamente ao ensaio, e continuar a molhá-la à medida que o GeoSafe foi avançando.

Na célula 2, não houve necessidade de molhar a camada drenante, uma vez que esta é constituída apenas por areia, e encontrava-se saturada, devido a chuvas recentes.

Na célula 3, não houve, igualmente, necessidade de se proceder à adição de água na camada drenante, devido a chuvas recentes. Contudo, para aumentar a capacidade de transmissão da corrente elétrica por parte do geotêxtil condutor presente entre as duas geomembranas, procedeu-se à adição de água nos dias anteriores aos ensaios.

Nos ensaios realizados na célula 3 o eléctrodo de injeção de corrente exterior à célula foi colocado entre as duas geomembranas, e em contacto com o geotêxtil condutor.

3. RESULTADOS OBTIDOS E SUA ANÁLISE

Apresentam-se na Fig. 9 exemplos dos resultados obtidos em cada célula. Estes mapas do campo elétrico medido foram obtidos em diferentes períodos temporais, mas sob idênticas condições de água na camada drenante e de tensão elétrica aplicada para geração do campo elétrico - 100 V.

O facto de se efetuarem medições em três direções, permite gerar diferentes mapas, facilitando assim a identificação dos orifícios, uma vez que, embora a propagação da corrente elétrica seja radial, as condições de propagação não são homogêneas em toda a camada drenante, podendo haver caminhos preferenciais. Assim, nos exemplos que se seguem dois dos mapas foram gerados com medições nos dipolos que constituem as linhas diagonais da malha de eléctrodos, enquanto outro foi obtido segundo os dipolos orientados na direção de deslocamento do Geosafe.

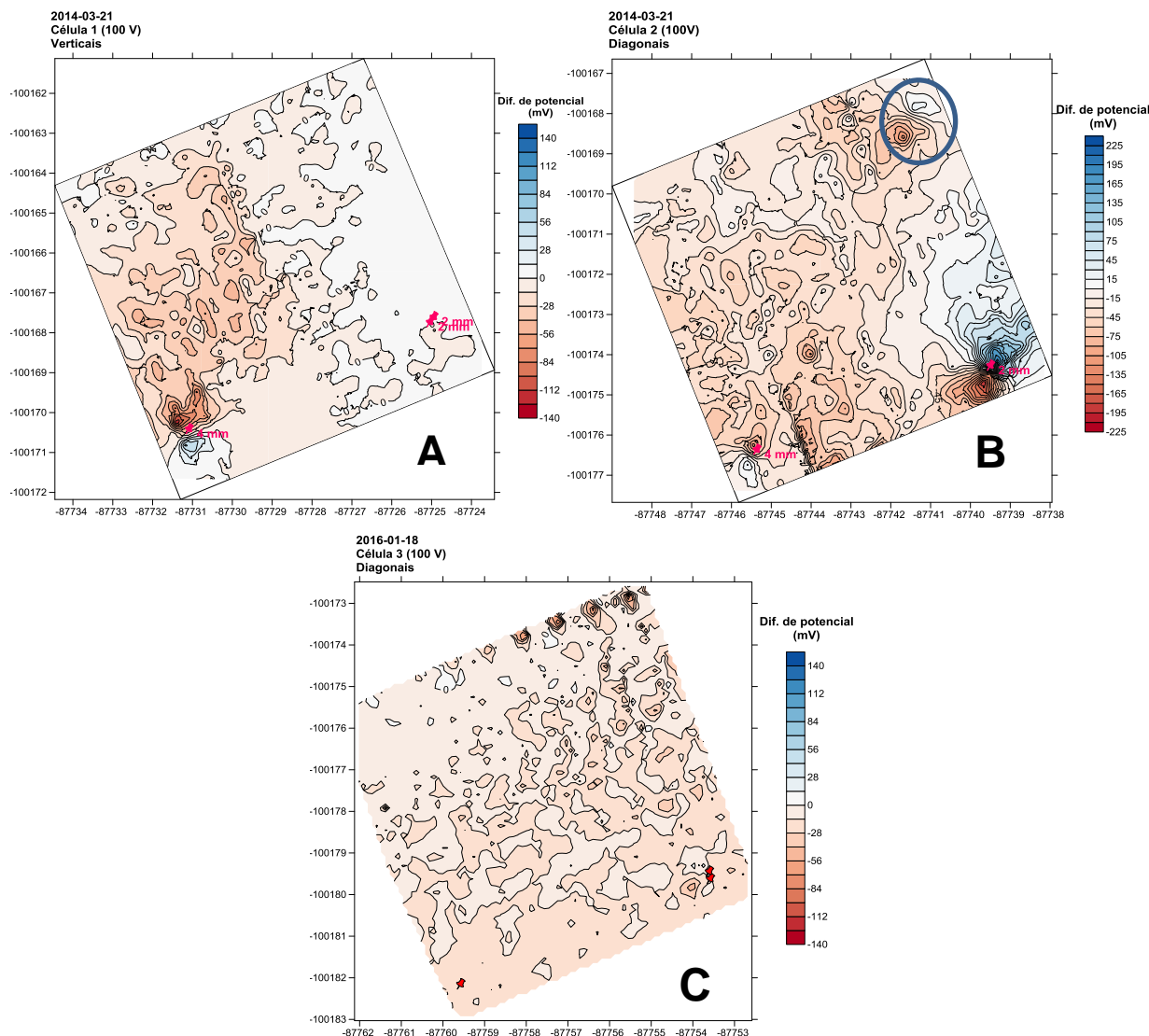


Fig. 9 - Resultados obtidos em cada célula, com um campo elétrico gerado com a mesma tensão elétrica (100 V). A – célula 1, B – célula 2 e C – célula 3. No mapa da célula 2 o círculo de cor azul assinala a anomalia resultante do tubo de escoamento do sistema de drenagem

Da análise ao mapa obtido na célula 1 destaca-se, desde logo, a clara identificação do orifício com 4mm, e a não identificação dos orifícios com 2mm. Os orifícios com 2mm foram identificados em anteriores ensaios (Mota 2013), pelo que, entretanto, poderá ter ocorrido uma colmatação dos mesmos, inviabilizando assim a sua deteção.

Na célula 2 são claramente identificáveis os orifícios, assim como a presença do tubo de escoamento do sistema de drenagem da célula que, possivelmente devido a condensação na caixa, terá originado uma ligação elétrica entre a camada de drenagem e o terreno natural.

Por outro lado, na célula 2 o campo elétrico medido é o mais intenso, o que se deve ao facto de a camada drenante apenas possuir 0,20m de espessura e ser constituída unicamente por areia, o que facilita a transmissão da corrente elétrica, face ao caso da célula 1, que possui uma camada de cascalho sobre a de areia, fazendo com que a corrente elétrica tenha um percurso maior até aos elétrodos de medição e de maior resistência à sua propagação – recorde-se que, ao contrário do método geofísica da resistividade elétrica, aqui não há um fator geométrico para compensação do percurso efetuado.

Na célula 3 (duas geomembranas) foi difícil detetar os orifícios propositadamente produzidos, o que poderá estar relacionado com os seguintes fatores: i) o orifício de 4mm pode ter colmatado; ii) o geotêxtil pode não ser condutor da corrente elétrica; neste caso, a adição de água entre as duas GMs, anteriormente referida, deveria ter assegurado a sua condução, o que também não se terá verificado, provavelmente devido à quantidade de água não ter sido suficiente para assegurar a saturação de todo o geotêxtil, permitindo assim a criação de caminhos preferenciais para a circulação da corrente elétrica. De referir que o campo elétrico gerado nesta célula é o menos intenso, o que poderá estar relacionado com a mencionada deficiente condução da corrente elétrica. Contudo, foi possível detetar os dois orifícios de 2mm.

4. CONCLUSÕES

Nesta comunicação apresentou-se um equipamento (GeoSafe) desenvolvido no âmbito de um projeto de investigação, com base no princípio de funcionamento do método geofísico da resistividade elétrica. Foi igualmente desenvolvida uma metodologia de ensaio, para deteção e localização dos orifícios de forma semiautomática, tirando partido das potencialidades do GeoSafe e tornando os resultados dos ensaios mais fiáveis, na medida em que é independente da perícia e da experiência do operador e, também, porque garante a cobertura integral da área em estudo, contrariamente ao que acontece quando é realizada de forma manual.

Até ao momento, o GeoSafe permitiu realizar, com êxito, ensaios para detetar orifícios em diferentes sistemas de impermeabilização, embora no sistema de dupla GM sejam necessários mais ensaios para avaliar melhor os limites do GeoSafe neste tipo de sistema. Falta ainda testar a exatidão, precisão e robustez do equipamento em condições reais, numa célula de aterro de resíduos, que se prevê realizar em breve.

Espera-se, com o desenvolvimento do GeoSafe, impulsionar a realização de ensaios de deteção e localização de orifícios nos aterros de resíduos portugueses, ensaios que deverão

ser integrados nas atividades de controlo e garantia de qualidade da construção, preferencialmente com carácter obrigatório, à semelhança do que acontece noutros países, e, deste modo, contribuir para a proteção do meio ambiente.

5. REFERÊNCIAS

- Dores, R.; Barroso, M.; Lopes, M. G.; Matutino, P.; Mota, R. e Silva, F. 2012. Sistema móvel semi-automático de deteção de orifícios na impermeabilização de aterros de resíduos: últimos desenvolvimentos, 15º Enc. Nac. de Saneamento Básico, 10-12 outubro 2012, Évora, Portugal.
- Peggs, I.D. e Beck, A. 2010. Liner Integrity Surveys and Assessments - Short Course Notes.
- Matutino, P. M.; Dias, T.; Cigarro, A. C. V; Mota, R.; Lopes, M. G.; Barroso, M.; Dores, R. e Silva, F. 2011. Embedded data acquisition system for effectiveness of lining systems, Proceedings of the Conference on Electronics, Telecommunications and Computers, Lisboa, Portugal, 7 p.
- Mota, R., Matutino, P. M., Barroso, M., Lopes, M. G., Dores, R. e Silva, F. 2011. Laboratorial prototype for detection of defects on geomembranes – the geophysical approach. Proceedings 17th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Leicester, Reino Unido, 4 p.
- Mota, R., Coimbra, L., Barroso, M., Matutino, P., Lopes, M. G.; Dores, R., Silva, F. 2013. Semi-automatic mobile equipment test for detecting holes in geomembranes – the prototypes evolution. Near Surface 2013 – 19th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, ISBN: 978-90-73834-38-5, Bochum, Alemanha, 9-11 setembro 2013, 4 p.
- Nosko, V. e Touze-Foltz, N. 2000. Geomembrane Liner Failure: Modelling of its Influence on Contaminant Transfer, Proceedings of the EuroGeo 2, Vol. 2: 557-560, Bologna, Italy.