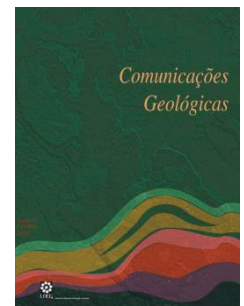


# Reabilitação do ravinamento de São Pedro de Moel de dezembro de 2017. Caracterização geotécnica e proposta de intervenção

## Rehabilitation of the deep gully of São Pedro de Moel of December 2017. Geotechnical characterization and intervention proposal



M. Quinta-Ferreira<sup>1\*</sup>, J. Carvalho<sup>2</sup>, J. P. Henriques<sup>2</sup>, E. Marques<sup>3</sup>

Recebido em 28/02/2018 / Aceite em 16/12/2019

Publicado em agosto de 2020

© 2020 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP

Artigo original  
Original article

**Resumo:** A proposta de resolução dos problemas gerados pelo ravinamento profundo em São Pedro de Moel foi baseada no reconhecimento dos terrenos afetados e na determinação das suas propriedades geotécnicas. Verificou-se que apenas as areias eólicas apresentam problemas de erosão superficial por escorrência de caudais elevados sobre a superfície do talude. As medidas de minimização do problema passam pelo reforço dos sistemas de drenagem pluvial da rua, pela proteção do talude e pela melhoria da qualidade da rede de abastecimento de águas de modo a evitar problemas futuros. Efetuando o reperfilamento do talude para ângulos de 24° e efetuando o seu revestimento com uma máscara de colchão Reno permitem garantir condições de estabilidade a longo prazo. Os solos e materiais arrastados para o fundo do vale deverão ser reutilizados no reperfilamento do talude.

**Palavras chave:** Reabilitação, ravinamento, São Pedro de Moel.

**Abstract:** The proposed resolution of the problems generated by the deep gully in São Pedro de Moel was based on the recognition of the affected ground and the determination of their geotechnical properties. It was verified that only the aeolian sands present superficial erosion problems by strong runoff flows on the slope surface. Measures to minimize the problem include reinforcing storm water drainage systems, protecting the slope and improving the quality of the water supply network in order to avoid future ruptures. Reprofilling the slope to 24° and coating it with a Reno mattress mask, allows for long-term stability conditions. Soils and materials drawn to the bottom of the valley should be reused in the reprofilling of the slope.

**Keywords:** Rehabilitation, deep gully, São Pedro de Moel.

fenómeno, procurando entender as causas da erosão, o que foi apresentada numa outra comunicação (Quinta-Ferreira *et al.*, 2018), tendo-se procedido ao estudo do local de modo a poderem ser definidas as medidas a tomar para reabilitar o local e evitar a repetição da erosão.

As unidades geológicas aflorantes são predominantemente as areias dunares, que se sobrepõem ao Plio-Plistocénico indiferenciado, encontrando-se os calcários jurássicos a maiores profundidades (Zbyszewski e Assunção, 1965), não sendo diretamente observáveis no local. Procurou-se efetuar a caracterização geotécnica e obter os elementos de análise necessários à escolha e dimensionamento das soluções de estabilização adequadas à minimização do problema. Os trabalhos efetuados, os resultados obtidos e as propostas de intervenção são descritas e apresentadas de seguida.

## 2. Caracterização geotécnica

O estudo do local foi realizado com base no reconhecimento geológico de superfície que permitiu identificar as unidades geológicas aflorantes já antes referidas. Para complementar a informação do reconhecimento geológico de superfície foram escolhidas duas técnicas: uma mecânica, o Penetrómetro Dinâmico Super Pesado, e outra geofísica, o Georadar (Fig. 1). Com base nos elementos recolhidos e na sua interpretação foram realizados quatro perfis interpretativos das condições existentes no talude.

### 2.1. Penetrómetro Dinâmico Super Pesado (PDSP)

No ensaio com o Penetrómetro Dinâmico Super Pesado (PDSP) seguiram-se os procedimentos da norma EN ISO 22476-2:2005. O ensaio consiste na cravação dinâmica de uma ponteira por ação da queda de uma massa de 63,5 kg, de uma altura de 0,75 m, contabilizando-se o número de pancadas necessárias para cravar a ponteira 20 cm. Obtiveram-se valores de resistência dinâmica de 0,0 a 5,5 MPa entre os 0 e os 7 m. A partir dos 9 m, entrando na zona das areias do Plio-Plistocénico, a resistência aumenta ligeiramente em

<sup>1</sup> Centro de Geociências. Dep. Ciências da Terra. Universidade de Coimbra, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal.

<sup>2</sup> Instituto Pedro Nunes. IPN labgeo. Rua Pedro Nunes, 3030-199 Coimbra, Portugal.

<sup>3</sup> Proteção Civil. Município da Marinha Grande, Praça Guilherme Stephens, 2430-522 Marinha Grande, Portugal.

\* Autor correspondente/corresponding author: [mqf@det.uc.pt](mailto:mqf@det.uc.pt)

## 1. Introdução

Na sequência do ravinamento profundo ocorrido em São Pedro de Moel em 10 de dezembro de 2017 foi efetuada a caracterização do

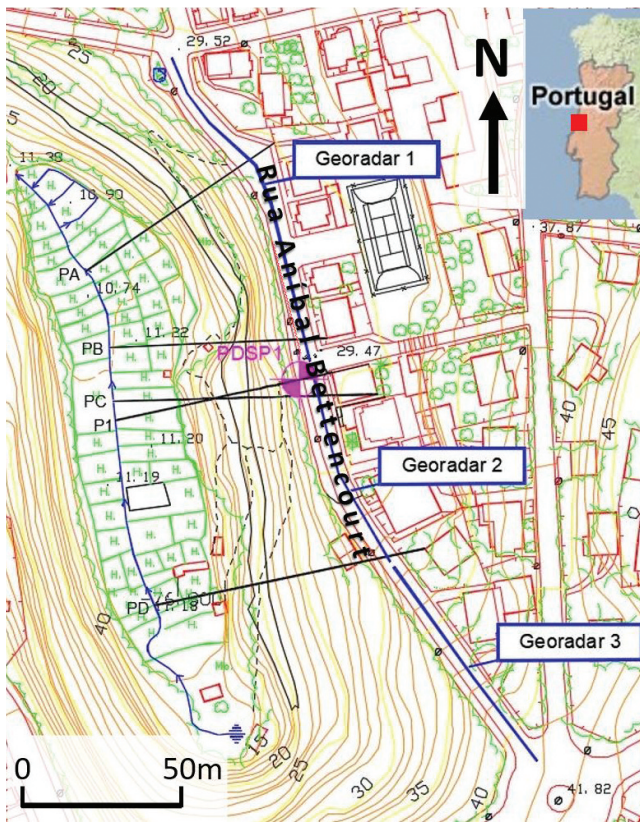


Figura 1. Localização dos trabalhos de prospeção (PDSP e Georadar) e dos perfis interpretativos.

Figure 1. Location of the site investigation works (DPSH and Georadar) and interpretative cross sections.

profundidade até atingir abruptamente a nega aos 31 m, ou seja, foram aplicadas 100 pancadas sem haver a cravação de 20 cm (Cestari, 1991; Coelho, 1996).

**2.2. Georadar**

O Georadar é um sistema eletrônico de aquisição de informação espacial utilizando a reflexão das ondas eletromagnéticas de frequência entre 12,5 a 1 000 MHz. No trabalho foram utilizadas antenas de 500, 250, 100 e 50 MHz. Apenas os resultados com as antenas de 50 MHz serão apresentados. O Georadar é um método de prospeção geofísica que deteta as alterações nas características eletromagnéticas dos materiais do subsolo, permitindo obter “imagens” do subsolo utilizando como fonte transmissora uma antena que emite um sinal a uma frequência fixa que penetra sedimentos, rocha, gelo ou outros tipos de materiais naturais ou artificiais. Na figura 2 apresentam-se dois perfis interpretativos utilizando como base as imagens do Georadar ao longo da rua Aníbal Bettencourt. A interpretação das unidades atravessadas na zona do ravinação profundo com base nos resultados obtidos no PDSP, no Georadar e no reconhecimento geológico de superfície permitiu elaborar o perfil que se mostra na figura 3.

**3. Análise da estabilidade do talude da Rua Aníbal Bettencourt**

Para avaliar as condições de estabilidade do talude da rua Aníbal Bettencourt foram efetuados vários cálculos utilizando o programa de análise de estabilidade Slide (Rocscience, 2017). Escolheram-se quatro perfis considerados representativos (perfis PA, PB, PC e PD na Fig. 1) e definiram-se as características e geometria dos materiais

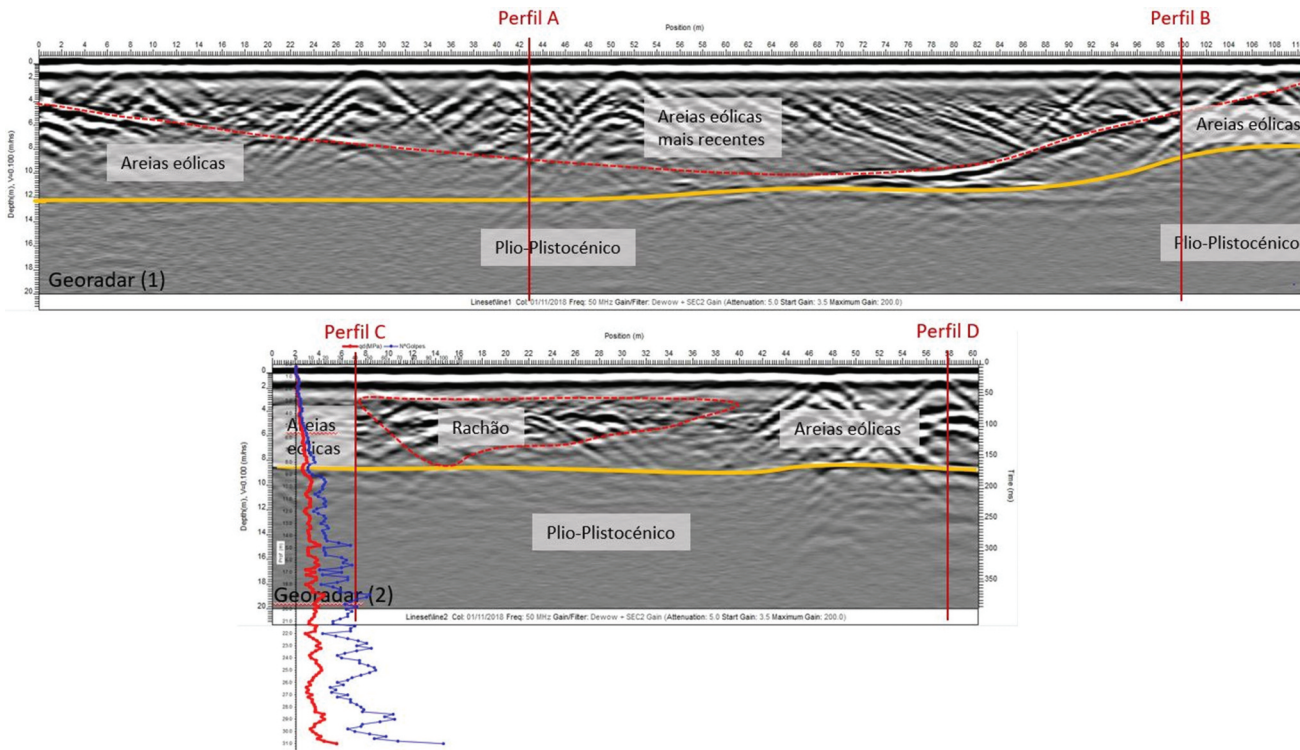


Figura 2. Interpretação geotécnica conjunta dos perfis do Georadar com a antena de 50 MHz, com o PDSP e com o reconhecimento geológico de superfície.

Figure 2. Joint geotechnical interpretation of Georadar profiles with the 50 MHz antenna, with the DPSH and the surface geological mapping.

existentes, não incluindo a contribuição da vegetação para a estabilidade. Procedeu-se à análise de estabilidade considerando os perfis existentes, nas condições de seco, de saturado e na eventualidade de ocorrência de um sismo. Os resultados para o perfil C apresentam-se de um modo gráfico na figura 3 sintetizando-se seguidamente as considerações tidas por mais relevantes:

- Nas areias eólicas, os taludes com inclinação acima de 30° são instáveis (perfis PA, PB, PC), com pequenos deslizamentos superficiais, tendentes a suavizar os declives mais íngremes (Fig. 3a). O perfil PD apresenta risco de instabilidade baixo, devido ao reduzido declive da superfície do terreno;

- As condições de instabilidade agravam-se com a saturação e com os sismos, podendo originar deslizamentos mais profundos que tenderão a afetar o passeio exterior e eventualmente a rua (Fig. 3b);

- A probabilidade de ocorrência simultânea da saturação do talude e de um sismo é muito reduzida, pelo que se considera não ser prioritária a implementação de medidas para evitar as suas consequências, que para além de muito dispendiosas, poderiam não vir a ser justificadas pois não há construções no lado oeste da estrada, ou seja do lado do talude;

- Na zona onde ocorreu a erosão ravinante em 2017, a utilização de uma inclinação de 24° assegura uma situação estável, sem

necessidade de uma movimentação de terras significativa. Esta inclinação é estável, quer com o talude seco quer com o talude saturado (Fig. 3c), considerando que o nível freático será de acordo com o representado na figura, pois sendo as areias eólicas muito permeáveis, serão os solos mais siltosos do Plio-Plistocénico que tenderão a servir de nível de acumulação da água;

- Considerou-se também a análise da estabilidade da zona propensa à erosão, após a aplicação de uma das medidas propostas mais adiante, a aplicação de colchão Reno, o que melhora substancialmente a estabilidade do talude (Fig. 3d);

- A vegetação na superfície do talude é favorável à estabilidade, mas a ausência de coesão nas areias eólicas permite sempre algum grau de mobilidade das areias, sob a ação da gravidade e das águas que atingem a superfície do talude;

- A zona a norte do ravinamento é instável, devido à elevada inclinação do talude. Para sul é tendencialmente estável (Fig. 4).

#### 4. Metodologia de intervenção e proposta de estabilização

Após a erosão profunda da madrugada de 10 de dezembro de 2017, o Município da Marinha Grande iniciou os trabalhos de prevenção e de reparação, na parte da manhã desse mesmo dia. Os trabalhos

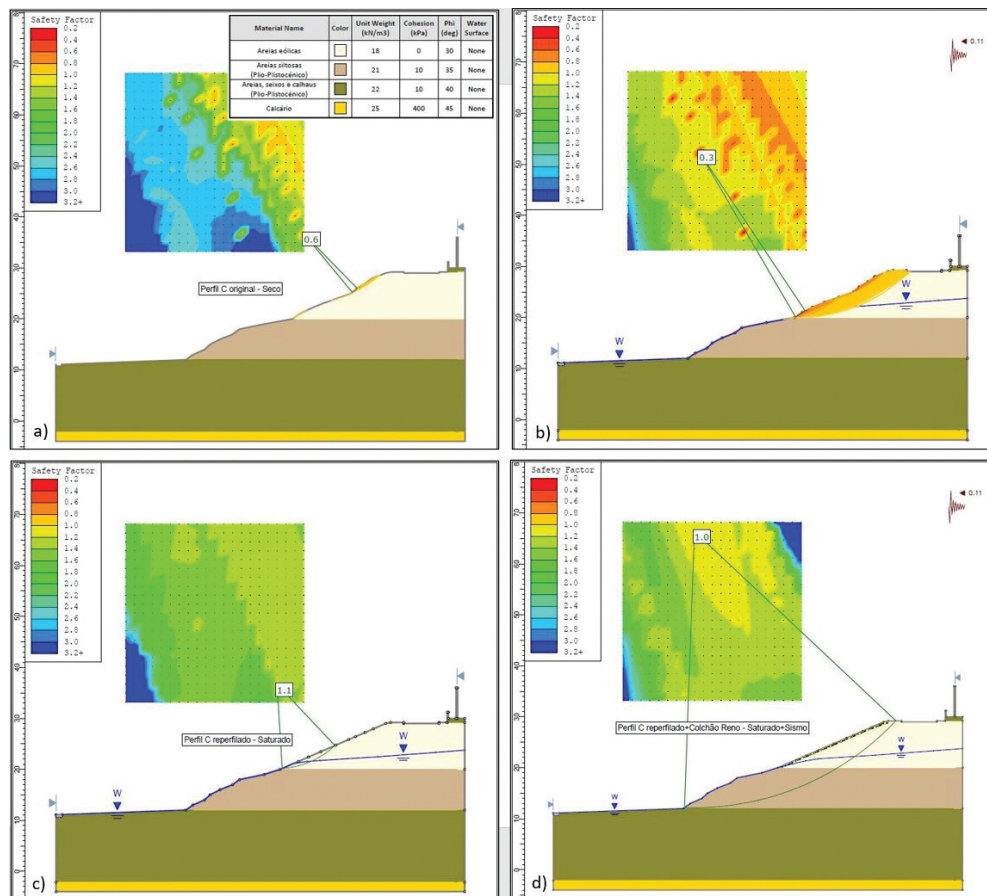


Figura 3. Perfil C para as condições: a) seca; b) saturada e sismo; c) reperfilado para a condição saturada; d) reperfilado e com aplicação do colchão tipo Reno, para as condições saturada e sismo.

Figure 3. Profile C for the conditions: a) dry; b) saturated and earthquake; c) reshaped for the saturated condition; d) reshaped and with the application of the Reno mattress for saturated and earthquake conditions.

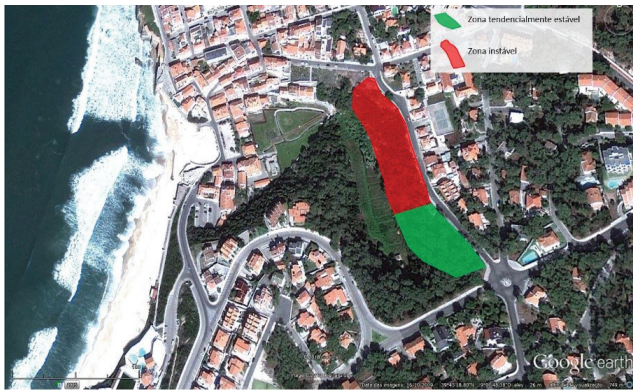


Figura 4. Zonamento da vertente este do Vale de São Pedro, relativamente à estabilidade. Modificado de Google Earth (2013).

Figure 4. Zoning of the eastern slope of the São Pedro Valley, regarding stability. Modified from Google Earth (2013).



Figura 5. a) Enchimento da zona erodida com rachão; b) reabilitação provisória e proteção com vedação de rede.

Figure 5. a) Fill of the eroded zone with rock blocks; b) provisional rehabilitation and protection with net fence.

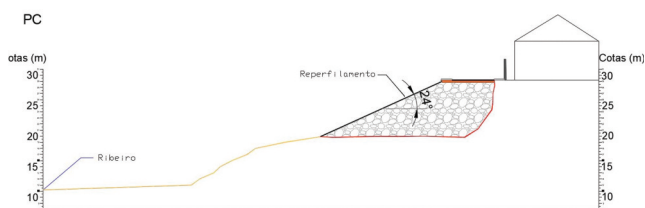


Figura 6. Representação do enchimento com material granular e reperfilamento do talude, no perfil PC.

Figure 6. Representation of the fill with granular material and slope reshaping in the PC cross section.

de reabilitação provisórios iniciaram-se, no dia seguinte e consistiram no enchimento da zona erodida com rachão, nas cotas mais profundas (Figs. 5 e 6), sobreposta por uma camada de areia com cerca de 1,5 m de espessura e finalmente uma camada de *tout-venant* no topo de modo a possibilitar o acesso local. A zona do talude ainda não finalizada foi protegida com rede de modo a evitar acidentes. Também foram restabelecidas provisoriamente algumas ligações que se consideraram essenciais para manter as condições mínimas de habitabilidade das moradias diretamente afetadas pela instabilidade, como o coletor de águas residuais, a conduta de água e o fornecimento de eletricidade.

Tendo em conta o que anteriormente foi descrito e analisado, considera-se que a principal causa da erosão ocorrida é a acumulação de água proveniente da escorrência superficial, e a falta de escoamento e encaminhamento eficiente dessas mesmas águas.

Perante este cenário propõem-se as seguintes medidas, organizadas em três pontos.

### 1) Para a rua Aníbal Bettencourt

- Projetar um sistema eficiente de drenagem das águas pluviais (Bell, 1988) em toda a rua, de grande dimensão e capacidade de vazão, com reforço do número de sarjetas de dimensões superiores às habituais;

- As caixas de recolha de águas pluviais na zona mais baixa da rua, ou seja na zona onde ocorreram os acidentes de 2002, 2016 e de 2017 (MMG, 2017), devem impedir o entupimento ou o mau funcionamento devido a folhas, lixo, etc. Estas caixas devem ser ligadas às existentes e ao sistema de drenagem pluvial a implementar, e ter um escoamento para a linha de água do vale;

- Manter o sistema existente sensivelmente na confluência da travessa do Ténis com a rua Aníbal Bettencourt;

- Enchimento com rachão da parte em falta do talude que foi erodido, de modo a garantir uma boa drenagem interna, a reposição da rua e as condições de segurança, permitindo ainda reperfilagem da face do talude (Fig. 6);

- Restabelecer as infraestruturas afetadas, o pavimento e os passeios.

### 2) Para o talude nas areias eólicas

- Reperfilagem do talude nas areias eólicas, ou seja, entre a cota da rua Aníbal Bettencourt e sensivelmente a cota 20, para um ângulo de 24°, conforme representado na figura 6.

- Aplicar um geotêxtil com função drenante e de separação apenas nas areias eólicas.

- Aplicar sobre o geotêxtil um colchão tipo Reno da Maccaferri, revestindo a face do talude (Figs. 3 e 7). Consideramos que o colchão tipo Reno apenas necessita de ser aplicado na zona em que o perfil longitudinal da rua apresenta cotas mais baixas, conforme se ilustra na figura 7. Este revestimento da face do talude destina-se a evitar a erosão superficial das areias eólicas caso se verifiquem descargas de águas na face do talude, apesar das medidas de drenagem previstas para a rua. No passado, as medidas de drenagem foram consideradas suficientes, mas o acidente de 2017 mostrou que a drenagem só por si não resolve o problema.

- Para melhor enquadramento paisagístico, sobre o colchão Reno deve ser colocada uma camada de terra vegetal misturada com sementes autóctones, com 15 cm de espessura, que parcialmente se

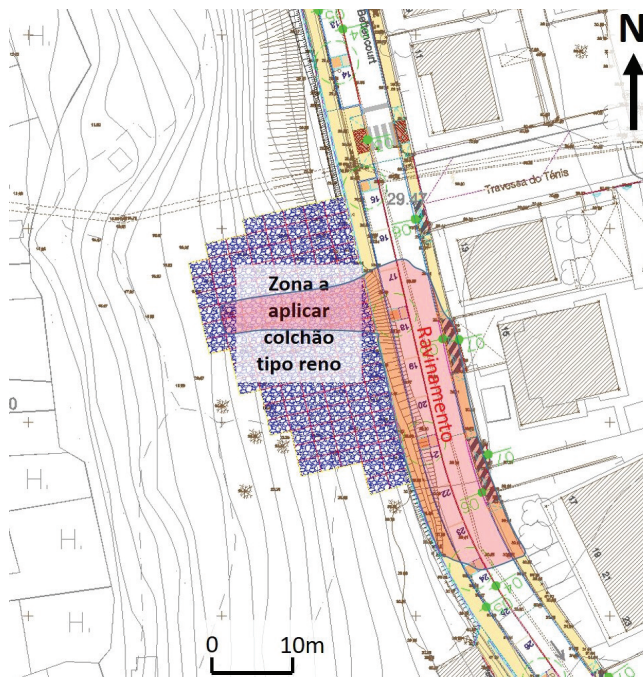


Figura 7. Planta da zona a aplicar o colchão tipo Reno, sobre as areias eólicas.

Figure 7. Plan of the area to apply the Reno mattress over the aeolian sands.

perderá entre os fragmentos rochosos do colchão reno, de modo a que o colchão fique escondido e rapidamente se desenvolva uma cobertura vegetal, evitando um aspeto agressivo do colchão Reno na paisagem urbana de grande qualidade.

- Os pinheiros ou outras árvores existentes na zona a intervir com o colchão Reno devem ser preservados. O colchão pode ter janelas nas zonas das árvores, pois tal não compromete a função para que é aplicado.

- Proceder à limpeza e recuperação do terreno na base do talude. Há blocos de calçada, lancis do passeio e peças de madeira, espalhadas na zona de acumulação das areias eólicas que foram erodidas até junto da linha de água. Considera-se que o material excedente deve ser utilizado no reperfilamento do talude e os resíduos conduzidos a vazadouro, de forma a ser possível restabelecer as condições naturais da zona baixa do vale.

### 3) Para a povoação de São Pedro de Moel

- Refazer o sistema de abastecimento de água de modo a evitar novas roturas de consequências sempre imprevisíveis;

- Estudar outras zonas com problemas de estabilidade de modo a encontrar as soluções adequadas e implementar os procedimentos necessários à minimização dos problemas.

## 5. Considerações finais

A análise da estabilidade permitiu concluir que uma inclinação dos taludes nas areias eólicas acima de 30° é instável. Verificou-se na generalidade dos locais analisados que a utilização de uma inclinação

de 24° assegura uma situação estável. A colocação de um colchão Reno por cima de um geotêxtil na superfície regularizada do talude de areias eólicas irá reduzir a possibilidade de erosão na eventualidade de ocorrência de escoamento concentrado na face do talude. A colocação de uma camada de terra vegetal com sementes autóctones sobre o colchão irá melhorar o enquadramento desta obra na paisagem urbana de grande qualidade.

Considera-se necessário implementar medidas de drenagem eficiente na rua, que evitem a acumulação de água superficial na zona de acumulação e a consequente erosão das areias eólicas.

Dado que há registo de já terem ocorrido outras ruturas de água na rede, considera-se conveniente que sejam substituídas as condutas de abastecimento de água existentes, pois que uma rotura como a que ocorreu em 10 de dezembro de 2017, projeta um elevado caudal, capaz de provocar enormes danos, sendo sempre difícil de prever as condições de ocorrência.

Relativamente ao material que se acumulou no fundo do vale, deve ser removido e reutilizado, e deve ser feita a recuperação da zona, para que sejam repostas as condições naturais do vale sem afetar a linha de água.

Considerando que há registo de movimentos superficiais em outras zonas deste Vale, deve proceder-se também ao estudo dessas zonas com problemas de estabilidade, de modo a encontrar as soluções adequadas e implementar os procedimentos necessários à minimização dos problemas.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Município da Marinha Grande a autorização para a publicação da informação e a consulta dos arquivos da Proteção Civil. O Georadar foi utilizado por acordo entre o IPN e o Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra. Os autores agradecem ao aluno de Mestrado em Geociências, José Carvalho a colaboração na operação do Georadar. Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto de investigação UID/Multi/00073/2013 do Centro de Geociências da Universidade de Coimbra.

## Referências

- Bell, F. G., 1998. *Environmental Geology – Principles and Practice*. Wiley. Nova Iorque, 608.
- Cestari, F., 1991. *Prove Geotecniche in situ*. Ed. Geo-Graph, Segrate. Milano, 415.
- Coelho, S., 1996. *Tecnologia de fundações*. Edições EPGE. Amadora, 996.
- EN ISO 22476-2:2005, 2005. *Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part 2: Dynamic probing*, 30.
- Google Earth, 2013. Tele Atlas.
- MMG, 2017. Município da Marinha Grande. Arquivos da Proteção Civil.
- Quinta-Ferreira, M., Marques, E., Carvalho, J., Henriques J., 2020. O ravinamento profundo de São Pedro de Moel de 10 de dezembro de 2017. *Comunicações Geológicas*, **107**(1):135-139.
- Rocscience, 2017. Slide2. Programa de análise de estabilidade de taludes. Rocscience Inc. <https://www.rocscience.com/software/slide2>
- Zbyszewski, G., Assunção, C. T., 1964. Carta Geológica de Portugal, escala 1:50 000. Folha 22-D Marinha Grande. Serviços Geológicos de Portugal.
- Zbyszewski, G., Torre de Assunção, C., 1965. Carta Geológica de Portugal, escala 1:50 000. Notícia Explicativa da Folha 22-D Marinha Grande. Serviços Geológicos de Portugal.