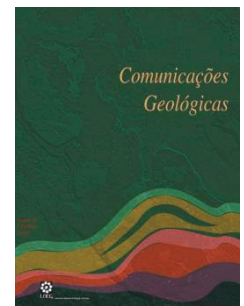


O ravinamento profundo de São Pedro de Moel de 10 de dezembro de 2017

The deep gully of São Pedro de Moel of December 10, 2017

M. Quinta-Ferreira^{1*}, E. Marques², J. Carvalho³, J. P. Henriques³



Artigo original
Original article

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

Publicado em agosto de 2020

© 2020 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP

Resumo: A rotura de uma conduta sob pressão em São Pedro de Moel (Marinha Grande, Portugal) gerou, a cerca de 275 m de distância, um ravinamento profundo em areias eólicas, que cortou a Rua Aníbal Bettencourt e destruiu todas as infraestruturas aí existentes, descalçou muros e fez perigar edificações nas proximidades. A erosão foi causada pelo elevado caudal de água libertada pela rotura, requerendo a intervenção da proteção civil e a reabilitação do local. Como as areias eólicas são facilmente erodíveis e esta ocorrência se verificou nas proximidades de outras duas roturas anteriores, mas de menores dimensões, foi efetuado o estudo pormenorizado das condições que levaram ao ravinamento profundo. Concluiu-se que a principal causa das instabilizações é a fácil erosão hídrica superficial das areias eólicas ao longo do talude, o que é grandemente agravado com o aumento do caudal que provoca a erosão.

Palavras chave: Ravinamento, areias eólicas, rotura de conduta, São Pedro de Moel.

Abstract: The rupture of a pressurized water pipe in São Pedro de Moel (Marinha Grande, Portugal) generated a deep gully erosion in aeolian sands, at a distance of 275 m, which cut the Aníbal Bettencourt Street and destroyed all the existing infrastructures, removed walls support and endangered nearby buildings. The erosion was caused by the high water flow released by the rupture, requiring the intervention of the civil protection and the rehabilitation of the site. Because the aeolian sands are easily erodible and this occurrence was verified in the vicinity of two previous smaller failures, a detailed study on the conditions that led to deep gully erosion was carried out. It was concluded that surface water erosion is the main cause of instability, as it runs down the slope on easily erodible aeolian sands, aggravated by the increase in the flow that causes the erosion.

Keywords: Gulling, aeolian sands, water pipe rupture, São Pedro de Moel.

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

² Proteção Civil. Município da Marinha Grande, Praça Guilherme Stephens, 2430-522 Marinha Grande, Portugal.

³ Instituto Pedro Nunes. IPN labgeo. Rua Pedro Nunes, 3030-199 Coimbra, Portugal.

* Autor correspondente/corresponding author: mqf@det.uc.pt

1. Introdução

Em São Pedro de Moel, o dia 10 de dezembro de 2017 teve início com um acontecimento invulgar em resultado de um ravinamento

profundo ocorrida na Rua Aníbal Bettencourt (Fig. 1). Esta erosão foi consequência da rotura de uma conduta adutora de água sob pressão, ocorrida na Avenida das Piscinas, a cerca de 275 m do local, e que provocou um enorme derrame de água.

Face a esta ocorrência a Proteção Civil Municipal da Marinha Grande desenvolveu todos os esforços no sentido de evitar acidentes e o agravar dos danos, para além dos ocorridos antes de ter sido identificado o problema e de ter sido possível intervir. Foi também de imediato promovida a realização de um estudo, tendo como principal objetivo avaliar e caracterizar as condições que terão estado na origem do ravinamento ocorrido em 10 de dezembro de 2017, mas analisando também as instabilizações anteriores da Rua Aníbal Bettencourt, no talude virado a oeste, ocorridas em 2002 e em 2016. Procurou-se avaliar os fatores relevantes para o desencadeamento das instabilizações, de modo a ser possível propor medidas de resolução ou mitigação dos problemas, e realizar a reabilitação dos danos ocorridos, procurando soluções duradouras.

2. Enquadramento geológico

A área em análise insere-se na Orla Meso-cenozoica Ocidental e as formações de base constituintes da zona (Fig. 2) são datadas do Jurássico Inferior, sendo constituídas pelos calcários do Toarciano (J¹g), a que se sobrepõe uma cobertura arenosa do Plio-Plistocénico indiferenciado (P) e do Moderno constituída por aluviões e dunas (A e d) (Zbyszewski e Assunção, 1965).

No local em estudo foi possível identificar as unidades geológicas mais recentes acima referidas. Foram observadas as areias eólicas desde o topo do talude (cota 29 m) até um pouco acima da cota 20 m. Nas areias eólicas, com base na variação de cor e na granulometria, identificou-se uma camada de cor cinza com vestígios de matéria orgânica (Fig. 3b), o que mostra que esta camada corresponde a uma anterior superfície do terreno. Neste caso, a vertente do talude teria uma inclinação ligeiramente mais suave que a atual (Fig. 3a).

Para cotas inferiores a 20, na base do ravinamento, observam-se os materiais do Plio-Plistocénico indiferenciado numa zona com



Figura 1. Ravinamento profundo provocado na Rua Aníbal Bettencourt.

Figure 1. Deep gully formed at Aníbal Bettencourt Street.

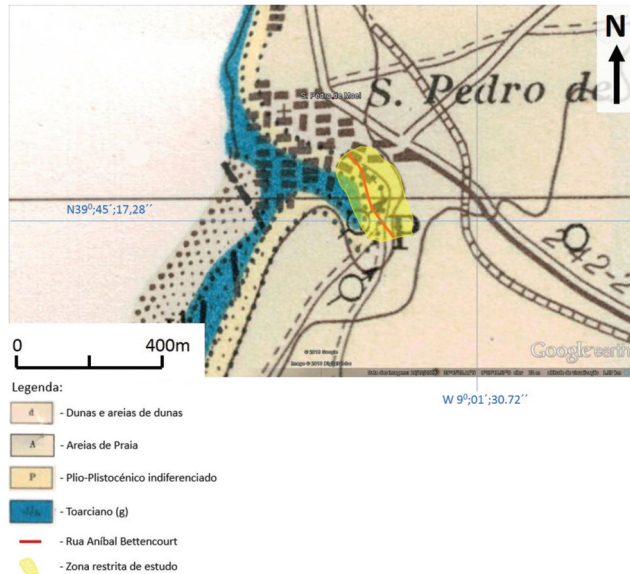


Figura 2. Excerto da Folha 22-D Marinha Grande, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50 000, Serviços Geológicos de Portugal (França, Zbyszewski e Teixeira, 1964).

Figure 2. Extract from the Geological Map of Portugal, 1:50 000 scale, Sheet 22-D Marinha Grande of the Serviços Geológicos de Portugal (França, Zbyszewski e Teixeira, 1964).

menor inclinação, formando como que uma banqueteta, sendo constituídos por areias siltosas, de cor cinza acastanhada, com seixos. Estas areias são facilmente observáveis porque foram expostas pela erosão provocada pelo ravinamento.

O fundo do vale encontra-se coberto por terra vegetal devido à existência de terrenos agrícolas, que ainda apresentam indícios de cultivo, apesar de atualmente estarem sem atividade. Os calcários Jurássicos do Toarciano, apesar de terem sido observados na praia, a algumas centenas de metros, e de estarem representados na carta geológica no fundo do vale junto ao ravinamento, não foram por nós observados, tendo a sua profundidade sido determinada pelos trabalhos de prospeção.

3. Descrição do ravinamento de 10 de dezembro de 2017

A descrição da ocorrência baseia-se na análise e interpretação dos efeitos da erosão e dos danos ocorridos, bem como nos relatos dos técnicos do município da Marinha Grande e de populares.

Na noite de 9 para 10 de dezembro de 2017, a hora que não foi possível confirmar, na Avenida das Piscinas rebentou a conduta adutora de água com diâmetro de 20 cm e 7 bar de pressão. Esta conduta abastece o reservatório de distribuição de água a São Pedro de Moel, localizado cerca de 65 m a sudoeste da rotura (Fig. 4).

O abundante escoamento superficial das águas resultantes do rebentamento da conduta percorreu a Avenida das Piscinas em direção a sudoeste, infletiu para noroeste na rotunda, encaminhando-se essencialmente pela Rua Aníbal Bettencourt que apresentava o trajeto com maior desnível negativo. Uma pequena quantidade de água escoou, para norte da rotunda, através da Rua D. Dinis, mas não causou danos visíveis. Na Rua Aníbal Bettencourt, próximo do entroncamento com a Travessa do Ténis, a acumulação de água numa zona de cota mais baixa, galgou o passeio do lado oeste, continuado o seu percurso pelo talude, em direção à linha de água do Vale de São Pedro (Fig. 4). As areias eólicas que constituem a zona mais elevada do talude, devido ao forte escoamento, sofreram fácil erosão, que se foi agravando durante a noite.

A dificuldade de identificação da rotura prendeu-se com os seguintes factos: (i) ter ocorrido numa noite de sábado para domingo; (ii) poucas pessoas permanecerem em São Pedro de Moel na época baixa; e (iii) não ter sido acionado nenhum aviso automático de alerta no sistema de abastecimento de água. O reservatório de distribuição



Figura 3. (a) inclinação da camada de areias de cor cinza no limite norte do deslizamento; (b) pormenor das areias de cor cinza com matéria orgânica intercalada com as areias eólicas.

Figure 3. (a) slope of the grey sand layer at the northern limit of the slip; (b) detail of grey sands with organic matter interspersed with aeolian sands.



Figura 4. Trajeto do escoamento de águas após a rutura da conduta (GoogleEarth).

Figure 4. Runoff path after the conduit failure (GoogleEarth).

local, apesar de ter deixado de ser abastecido pela conduta rebentada, não teve gastos que acionassem o sistema de alarme de nível baixo, pois o consumo local foi muito reduzido. A conduta que rompeu mantinha-se em carga, apesar de estar a lançar a água para a rua, também não tendo gerado nenhum aviso automático de alerta.

Em resultado do escoamento abundante de água durante um tempo que se desconhece, foi-se agravando a erosão do talude, tendo-se desenvolvido um ravinamento profundo ao longo de uma extensão de aproximadamente 30 m ao longo da Rua Aníbal Bettencourt, com uma largura máxima de cerca de 10 m e com uma geometria em caleira que se foi aprofundando em direção a norte, até um máximo de 9 a 10 m de profundidade, infletindo de seguida, cerca de 90° para oeste, em direção ao Vale de São Pedro (Figs. 1, 4 e 5). O processo erosivo profundo descalçou muros e entradas de lotes e de garagens, criando uma situação de elevado risco quer em

termos de segurança de pessoas, quer em danos potenciais para as edificações adjacentes, para além de ter destruído todas as infraestruturas existentes na Rua Aníbal Bettencourt (redes de saneamento, abastecimento de águas, telecomunicações e eletricidade). Na figura 1 observam-se os restos de diversas infraestruturas danificadas na zona erodida.

O ravinamento profundo removeu cerca de 1 000 m³ de areias eólicas da rua, desde a cota dos 29 m até cerca da cota dos 20 m, tendo-as transportado e acumulado para cotas inferiores a 20 m, cobrindo parcialmente os depósitos Plio-Plistocénico, e abaixo da cota dos 12 m, cobrindo o fundo do Vale de São Pedro até à ribeira (Fig. 5). Ao percorrermos a base do talude, foi possível identificar dois cones de deposição de material proveniente da erosão, mas que não obstruíram a linha de água, conforme se esquematiza na figura 7. Para além da areia encontram-se lancis do passeio, blocos da

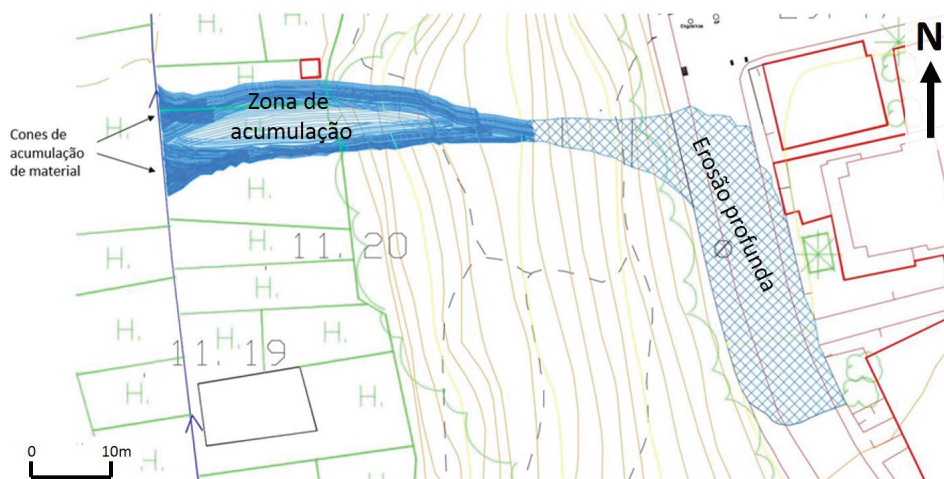


Figura 5. Esquema do ravinamento profundo da rua Aníbal Bettencourt e da zona de acumulação.

Figure 5. Scheme of the deep gully at Aníbal Bettencourt street and of the accumulation zone.



Figura 6. Cones de acumulação de material na base do talude, proveniente da erosão profunda.

Figure 6. Material accumulated at the base of the slope from deep erosion.

calçada e madeira do gradeamento de proteção. A observação da zona do fundo do vale foi difícil, devido à má acessibilidade provocada pela intensa vegetação.

4. Causas das ocorrências dos ravinamentos na Rua Anibal Bettencourt

O trajeto percorrido pela água desde a rotura da conduta até à zona de acumulação, na zona de cota mais baixa da Rua Anibal Bettencourt, foi enormemente condicionado pelas características do terreno e da ocupação existente. As pendentes na zona envolvente tendem a concentrar as águas na zona afetada, pelo que a escorrência se tendem a dirigir para a zona erodida. Este facto é comprovado pela topografia e pela anterior ocorrência de outros dois episódios de erosão das areias eólicas do talude. Todos ocorreram na zona de cotas mais baixas que funciona como bacia de acumulação (Figs. 4 e 5). Ao esgotar a capacidade de acumulação de água na superfície da estrada, o que pode acontecer por caudal excessivo ou por deficiente funcionamento das grelhas de drenagem de águas pluviais existentes neste local, ocorre o galgamento do passeio, continuando a água o seu percurso pela face do talude. É de assinalar que a generalidade da Rua Anibal Bettencourt não possui sistema de drenagem de águas pluviais, à exceção das grelhas pontualmente existentes na Travessa do Ténis e na confluência desta travessa com a Rua Anibal Bettencourt.



Figura 7. Representação esquemática da zona passível de contribuir com águas superficiais em direção ao Vale de São Pedro (Cartas Militares de Portugal N.º 284 e 296, na escala 1:25 000).

Figure 7. Schematic representation of the area likely to contribute with surface water towards the São Pedro Valley (Military sheets of Portugal 284 and 296, 1:25 000 scale).

Nos três acidentes referidos (2002, 2016 e 2017) a erosão causada pela escorrência da água sobre a superfície do talude de areias eólicas, foi a causa comum dos danos mais relevantes. Sendo as areias eólicas desprovidas de coesão, tendencialmente monogranulares, e de dimensão pequena a média, são facilmente arrancadas e transportadas pela água. A água, ao descer o talude com inclinações desde 20° até cerca de 50°, atingindo grande velocidade, bem acima da velocidade mínima de 0,25 m/s necessária para o arranque das areias dunares (dimensões aproximadas entre 0,15 a 0,3 mm) e da velocidade de escoamento de 0,01 m/s (1 cm/s) necessária para o transporte destas areias (Bell, 1998, segundo Hjulstrom, 1935; Fig. 8). A vegetação superficial tenderá a retardar este processo, mas não o consegue impedir na sua totalidade pelo que a continuidade da escorrência tende a ter um efeito muito forte.

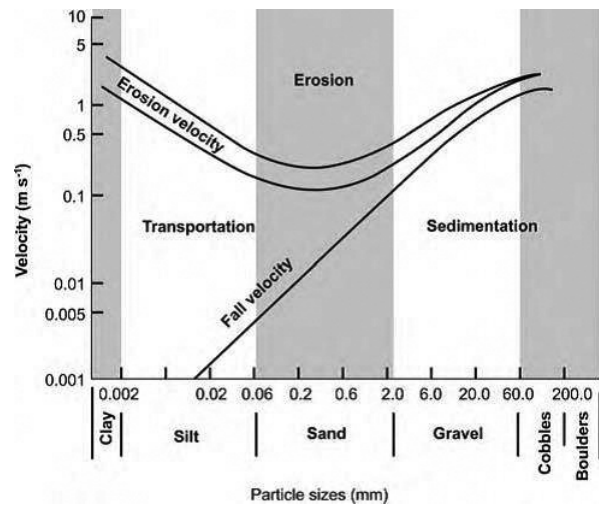


Figura 8. Processos de erosão e de deposição (Bell, 1998, segundo Hjulstrom, 1935).

Figure 8. Erosion and deposition processes (Bell, 1998, according to Hjulstrom, 1935).

A causa comum atribuída às três instabilizações foi o escoamento excessivo de água superficial:

- a) A instabilidade ocorrida em setembro de 2002 (Fig. 9), resultou de um episódio de precipitação intensa, tendo provocado um ravinamento profundo e a rotura de uma conduta pluvial. Ficou por esclarecer se foi o ravinamento que provocou a rotura na conduta ou vice-versa. A reparação consistiu no enchimento do ravinamento e construção de caixas de receção de águas e sumidouros, com descarga para a linha de água do vale;
- b) A instabilidade ocorrida em 2016 (Fig. 9), resultou de um episódio de forte precipitação e originou um ravinamento superficial na face do talude, provocando o deslizamento de uma pequena parte do passeio. A reparação consistiu no enchimento do ravinamento com enrocamento e cravação de estacas de madeira na base do enrocamento;
- c) O ravinamento profundo ocorrido em 2017 resultou do forte caudal de escorrência, durante muitas horas, em resultado da enorme quantidade de água libertadas pelo rebentamento de uma conduta de grande capacidade (20 cm de diâmetro e 7 bars de pressão). Como medida de emergência, para evitar maiores danos nas estruturas adjacentes e permitir o acesso às habitações, foi preenchido grande parte do ravinamento com material granular (rachão na base, areia e tout-venant no topo) de modo a estabilizar os íngremes taludes de erosão nas areias, evitando

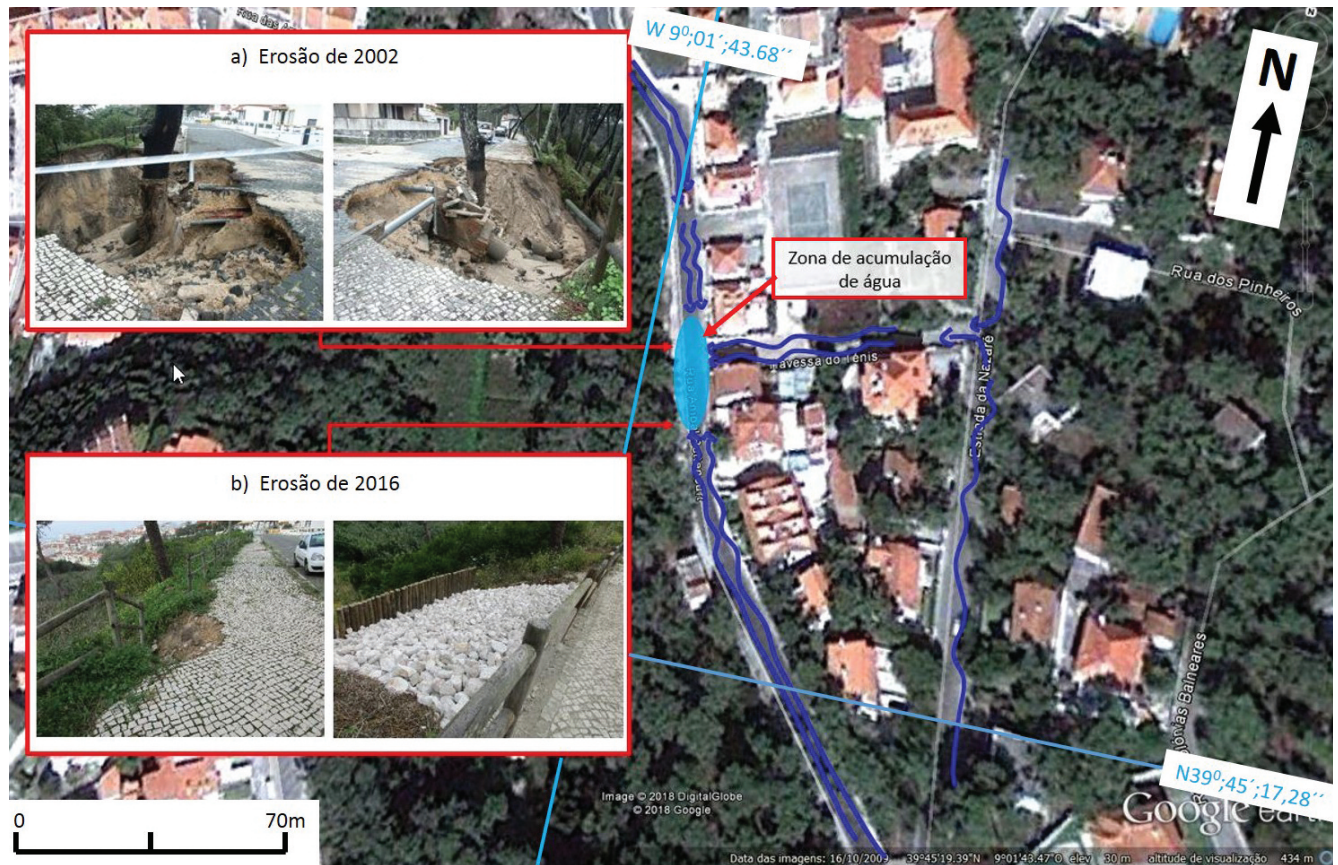


Figura 9. Localização das erosões ocorridas na rua Aníbal Bettencourt em 2002 e em 2016.

Figure 9. Location of the erosion occurred on Aníbal Bettencourt Street in 2002 and 2016.

a descompressão das zonas adjacentes ao ravinamento e impedindo a rotura das fundações. A solução final de estabilização ainda está em projeto pois implica a escolha de soluções definitivas e a reposição de todas as infraestruturas afetadas.

Para além dos problemas de erosão, verifica-se que em diversos pontos do talude há indícios de instabilidade, com deslizamentos de areias, inclinação de vegetação e árvores, o que levantou dúvidas fundamentadas em relação à segurança da generalidade do talude. Para se conseguir um conhecimento integrado e fundamentado das condições locais que estão associadas às instabilizações foram planeados trabalhos de reconhecimento e de prospeção, bem como a análise da estabilidade, que se descrevem noutra trabalho (Quinta-Ferreira *et al.*, 2018).

5. Conclusões

A ocorrência de condições involgares, em resultado da rotura de uma conduta de água de grande caudal e alta pressão, provocou um ravinamento profundo, a cerca de 275 m do local de rotura, que colocou em risco a segurança de pessoas e bens, com uma dimensão que dificilmente seria possível antecipar. A concentração das águas num setor de cota mais baixa originou um escoamento localizado da água sobre o talude de areias eólicas, que não tem condições para resistir à erosão. Superficialmente as areias eólicas erodidas correspondiam a um aterro construído durante a urbanização do local ou na abertura da rua, o que aumentou a inclinação da vertente

e reduziu a resistência à erosão do talude. A resolução definitiva do problema requereu um projeto de estabilização que se encontra em fase construção.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Município da Marinha Grande a autorização para a publicação da informação e a consulta dos arquivos da Proteção Civil. 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*. Blackwell.
- França, J. C., Zbyszewski, G., Teixeira, C., 1964. Folha 22-D Marinha Grande, da Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50 000. *Serviços Geológicos de Portugal*.
- Quinta-Ferreira, M., Carvalho, J., Henriques, J., Marques, E., 2020. Reabilitação do ravinamento de São Pedro de Moel de dezembro de 2017. Caracterização geotécnica e proposta de intervenção. *Comunicações Geológicas*, **107**(1): 141-145.
- Zbyszewski, G., Assunção, C. T., 1965. Notícia Explicativa da Folha 22-D Marinha Grande, da Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50 000. *Serviços Geológicos de Portugal*, 45.