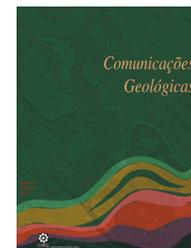


## Estudo do talude de escavação para ampliação do reservatório de Alcabideque, Condeixa-a-Nova

### Study of the excavation slope to enlarge the Alcabideque reservoir, Condeixa-a-Nova

M. Quinta-Ferreira<sup>1</sup>, J. P. Henriques<sup>2</sup>, M. Peres e Sá<sup>2</sup>



Artigo Curto  
Short Article

© 2014 LNEG – Laboratório Nacional de Geologia e Energia IP

**Resumo:** Para aumentar a capacidade de armazenamento do reservatório de Alcabideque, em Condeixa-a-Nova foi necessário executar novos depósitos que tiveram que ser implantados na base de um talude de escavação existente. No local encontram-se calcários e margas, solos superficiais e escombros das escavações anteriores. Analisa-se a implicação das condições geológicas na execução da obra e apresentam-se as soluções geotécnicas consideradas adequadas à realização dos trabalhos de escavação, de construção e operação da infraestrutura. Os resultados confirmam a importância dos estudos de geologia de engenharia para um adequado desempenho da obra.

**Palavras-chave:** Estabilidade de taludes, Escavação, Calcários, Margas.

**Abstract:** To increase the storage capacity of the Alcabideque reservoir in Condeixa-a-Nova, new deposits had to be constructed at the base of an existing excavation slope. The main lithology on site are limestone and marls, but also topsoil and non-engineered fill material from earlier excavations. The implications of the geological conditions on the execution of the work were analysed and the geotechnical solutions considered appropriate to accomplish the excavation, construction and operation of the infrastructure were proposed. The results confirm that the engineering geology studies contribute decisively to a suitable performance of the work.

**Keywords:** Slope stability, Excavation, Limestone, Marls.

<sup>1</sup>Centro de Geociências. Departamento de Ciências da Terra. Universidade de Coimbra, Largo Marquês de Pombal, 3000-272 Coimbra.

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

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

## 1. Introdução

Para a ampliação do reservatório de água de Alcabideque, pertencente ao Sistema Adutor da Boavista - Sector Sul das Águas do Mondego, S.A., pretendeu-se efetuar a fundação de novos depósitos (assinalados como R3 na Fig. 1), cerca de 4 m abaixo da base do talude de escavação a sul dos depósitos R2.

O aumento da altura do talude de escavação fez questionar a sua estabilidade pois que as quedas de blocos e de solos eram já evidentes antes da intervenção pretendida. Para além disso, havia necessidade de garantir a segurança os trabalhos de escavação a realizar na base do talude. Para dar resposta a estas questões foi efetuado um

estudo de geologia de engenharia procurando avaliar as características do talude com influência nas condições de estabilidade face à escavação a realizar.

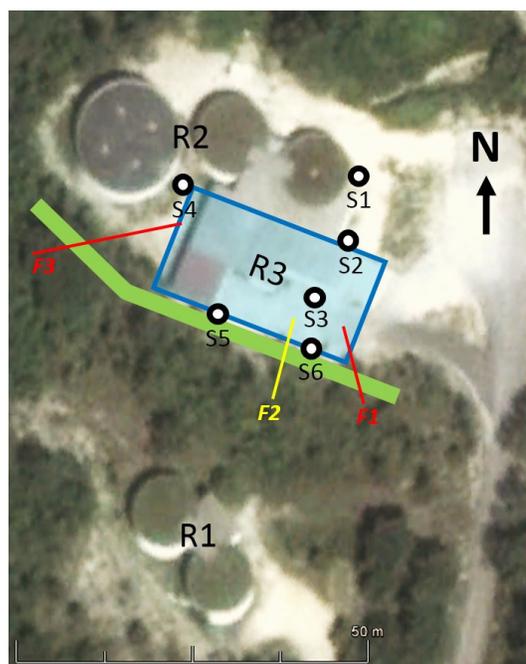


Fig. 1. Localização do talude a escavar (-) numa imagem do Google Earth (2011).

Fig. 1. Location of the slope to excavate (-) using Google Earth (2011).

## 2. Enquadramento geológico

O estudo teve início com a cartografia geológica de superfície do talude e terreno adjacente à zona de ampliação do reservatório que se localiza numa encosta margo-calcária, da Formação de S. Gião, datada do Jurássico Inferior (Soares *et al.*, 2007). Para Este, encontram-se calcários margosos azulados da Formação de Póvoa da Lomba, do Jurássico Médio. Para NE encontra-se uma extensa mancha de aluvião areno-conglomerático. A zona está afetada por falhas regionais com direção

predominante N20°E, influenciando as condições geológicas e geotécnicas do talude.

A envolvente do talude apresenta grande quantidade de materiais instáveis e/ou instabilizados. Observa-se a quedas de pedras, de blocos, de vegetação e de solos argilosos de alteração superficial do cimo do talude para o caminho de acesso aos depósitos R2. O caminho possui uma largura de 4,5 m.

O talude tem orientação genérica NW-SE e altura entre 8 a 12 m, sendo constituído por alternância de camadas centimétrica a decimétricas de calcário e por camadas centimétricas de margas. Na zona mais elevada da encosta encontra-se material de escombreira, proveniente das escavações efetuadas durante a construção dos depósitos superiores designados por R1 (Figs. 1 e 2) e uma camada de terra vegetal. Foram identificadas no talude três falhas (Figs. 1, 2 e 3):

F1 com orientação N15°W;63°W, caixa de falha com 0,9 m, preenchida com material milonitizado de aspecto margoso.

F2 tem orientação N10°E;50°W, caixa de falha com cerca de 0,5 m, preenchida com material brechificado, de aspeto margoso e com recristalizações de calcite. Esta falha é a que apresenta direção mais próxima das falhas regionais que se evidenciam localmente.

F3 apresenta orientação N65°E;60°N, caixa de falha com cerca de 0,1 m, preenchida com materiais de tonalidade avermelhada devido aos óxidos de ferro.

### 3. Prospeção mecânica

Para complementar o estudo geológico de superfície foram realizadas seis sondagens mecânicas à rotação (Fig. 1), com ensaios SPT a cada 1,5 m sempre que as características dos terrenos o permitiam. As sondagens foram efetuadas em duas fases: primeiro foram feitas quatro sondagens na zona de fundação dos depósitos R2 e dos novos depósitos R3 (S1 a S4) e posteriormente duas sondagens na base do talude (S5 e S6) de modo a caracterizar esta zona mais sensível para a estabilidade da escavação.

A partir das sondagens efetuadas ao nível da plataforma de trabalho, verificou-se que existe uma camada de solo argiloso, de cor bege a castanha acinzentada com fragmentos calcários, com espessura entre 1,9 a 2,2 m. A maiores profundidades encontra-se calcário compacto de cor bege a cinzenta (Fig. 2).

### 4. Materiais geotécnicos

Com base nas observações do terreno e nas sondagens, foi possível definir os seguintes materiais:

**Terra Vegetal** – com espessura de 0,1 a 0,2 m constituída por argila siltosa, de cor bege acastanhada, com fragmentos de calcário.

**Aterro / escombrelas** – solos e fragmentos de rocha resultantes de escavação e remobilização anterior. Espessura variável até cerca de 1,5 m no cimo do talude e de vários metros abaixo da atual plataforma

de trabalho. Encontram-se soltos e descomprimidos, apresentando fracas características mecânicas.

**Solo argiloso / marga calcária** – é constituído por solo de alteração das margas e por marga calcária, de cor bege a castanha acinzentada, atingindo profundidades de 2,4 m. Os valores do SPT são entre 10 e 48. Inclui quer zonas de alteração quer de falha, sendo de geometria irregular. É desmontável com meios mecânicos (pás mecânicas e/ou baldes de escavadoras).

**Calcário** - de cor bege a cinzenta, com camadas de espessura entre 0,3 e 0,5 m. Será necessário utilizar martelos hidráulicos de elevada energia para o desmonte abaixo da plataforma atual, uma vez que a proximidade dos depósitos existentes desaconselha o uso de explosivos.

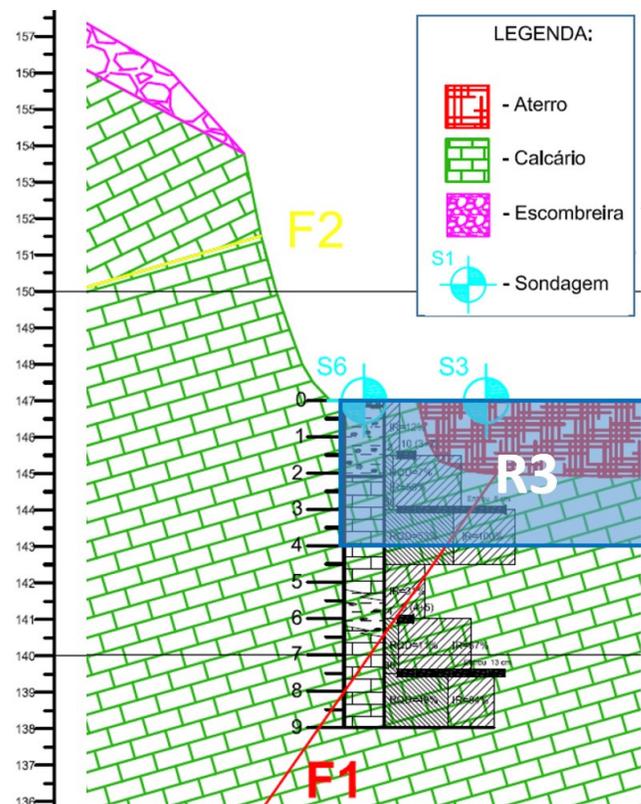


Fig. 2. Perfil interpretativo do talude entre as falhas F1 e F2.

Fig. 2. Slope cross section between faults F1 and F2.

### 5. Zonamento do talude

O principal problema de obra prendia-se com o aumento da altura do talude em resultado da escavação de 4 metros na sua base (Fig. 2). Foi efetuada a caracterização da face do talude de modo a avaliar o seu comportamento, procurando antecipar os problemas durante e após a escavação. Tendo-se verificado que a atitude dos elementos estruturais variava ao longo do talude, e era condicionada pelas falhas, optou-se por efetuar a análise em quatro zonas delimitadas pelas três falhas. Salienta-se

que as falhas F1 e F2 correspondem a materiais com características terrosas, com baixa resistência e muito evolutivos.

À esquerda da falha F1 (Fig. 3) o talude apresenta cerca de 7,5 m de comprimento e 4,5 m de altura, exibindo alternância de camadas decimétricas de calcário pouco fragmentado, com finas camadas de margas calcárias. A atitude média da estratificação é de  $N5^{\circ}W;48^{\circ}W$ . No topo desta secção observam-se solos de alteração superficial e a queda de materiais.

Entre as falhas F1 e F2, o talude tem cerca de 10 m de comprimento, 8 m de altura e inclinação próximo da vertical (Fig. 2). A atitude média da estratificação é  $N10^{\circ}W;52^{\circ}W$ .

O afastamento das falhas F2 e F3 é de aproximadamente 26 m tendo o talude uma altura rondando os 11 m (Fig. 3). Acima da falha F2 foi identificada uma zona com bancadas mais espessas, chegando a cerca de 0,5 m, e com forte queda de blocos, não tendo sido possível efetuar leituras, por não ser esta zona acessível. As escombrelas no cimo do talude permitem a queda de materiais. Nesta área ocorre também queda de blocos, devido à grande compartimentação das bancadas com espessura decimétrica e atitude média de  $N24^{\circ}W;31^{\circ}SW$ .

À direita da falha F3, o talude tem cerca de 15 m de comprimento e 12 m de altura. Apresenta camadas decimétricas orientadas  $N55^{\circ}W;30^{\circ}SW$ . No terreno acima do talude de escavação encontra-se uma linha de água, que tem início num tubo existente a NW dos depósitos R1, e se estende até à base do talude provocando o arraste de solos superficiais.

Foi efetuada a análise geométrica da estabilidade recorrendo à projeção estereográfica (Fig. 3), não se tendo identificado nenhuma situação potencial de instabilização pelas descontinuidades principais identificadas (falhas e planos de estratificação), à exceção da queda de blocos definidos pelas diáclases.

Foi também efetuada a classificação de cada uma das zonas estudadas, recorrendo à Classificação Geomecânica RMR de Bieniawski (1989). As 4 zonas foram todas classificadas na Classe IV, que corresponde a maciços de má qualidade, com coesão de 100 a 200 kPa e um ângulo de atrito entre  $15^{\circ}$  e  $25^{\circ}$ . É no entanto de realçar que estes valores se devem fundamentalmente às margas que se encontram intercaladas nos calcários e cuja inclinação tende a ser para o interior do talude.

Utilizou-se ainda a Classificação Geomecânica de Taludes SMR (Romana *et al.*, 2003), tendo-se obtido a mesma classe em todas as secções estudadas, correspondendo a um maciço de Classe IV (má), que traduz um talude potencialmente instável, apresentando a possibilidade de queda de blocos ou de grandes cunhas. Tal como já referido antes, não se identificou a possibilidade de deslizamentos por cunha.

Apesar das características do maciço no que se refere à litologia serem fracas a más, nomeadamente com a presença de margas intercaladas nos calcários, a orientação relativa das principais descontinuidades (falhas e estratificação) é favorável à estabilidade pois a direção das falhas e das camadas é próximo da perpendicularidade à face do talude. Destoam algumas diáclases delimitando blocos que, com a alteração preferencial das margas, facilitam a ocorrência de quedas de blocos.

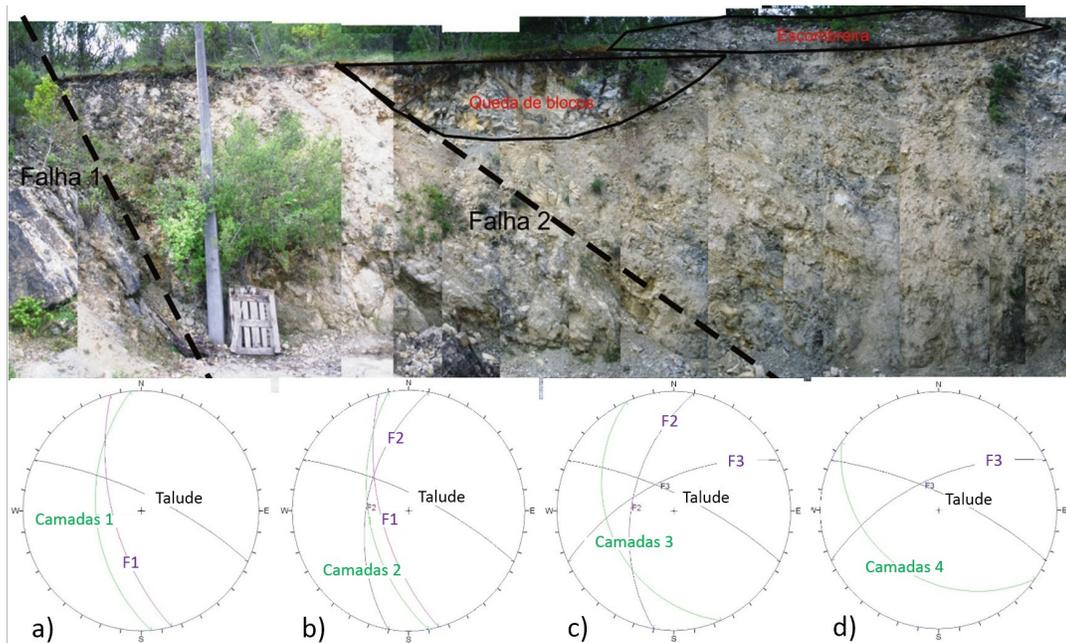


Fig. 1. Fotomontagem da parte Este do talude e projeção estereográfica dos principais elementos estruturais no talude: a) à esquerda da falha F1; b) Entre F1 e F2; c) entre F2 e F3; d) à direita de F3.

Fig. 1. Photomontage of the east slope and stereographic projection of the main structural elements of the slope: a) at left of fault F1; b) between F1 and F2, c) between F2 and F3, d) at right of F3.

## 6. Considerações finais

Tendo em vista o aumento da altura do talude de escavação para a construção dos depósitos R3 em Alcabideque, passam a referir-se os principais aspetos em que as soluções construtivas são grandemente influenciadas pela geologia.

Em alturas de grande pluviosidade, dever-se-á ter especial atenção às escombrelas no cimo do talude, que apresentam estabilidade precária. A existência de uma linha de água na plataforma superior, a NW dos depósitos R1, irá ocasionar a queda de lama, blocos e de materiais soltos. Numa primeira fase, para impedir a queda de materiais superficiais de escombrela, dever-se-á construir uma plataforma com cerca de 3 m de largura no cimo do talude. Esta plataforma deverá ser drenada recorrendo a uma valeta betonada com uma inclinação longitudinal de aproximadamente 2%, para drenagem das águas pluviais. Sobre esta plataforma, a ser impermeabilizada com 10 cm de betão, deverá construir-se um muro de gabião, com 2,5 a 3,0 m de altura, em toda a extensão dos materiais de escombrela, de modo a impedir a sua queda.

Na face do talude deverá ser aplicada uma rede metálica de dupla torção, fixa na parte superior do talude, utilizando varões pregados a cerca de 1m do limite exterior da banqueteta, e esticada com recurso a um varão ou cabo de aço entre os pontos de fixação, de modo a manter a sua funcionalidade em caso de queda de material. Para segurar a rede ao talude e para fixar blocos que possam dar indícios de instabilização, preconiza-se a realização de pregagens por cima da rede, fixando-a ao talude. Os pregos deverão ter cerca de 6 m de comprimento na parte superior do talude, devendo aumentar de comprimento para a base, aumentando para 8 m, ou mesmo 12 m.

No que se refere à escavação dos calcários abaixo da cota do arruamento existente, a sua resistência irá obrigar à utilização de martelos hidráulicos de elevada energia para executar o desmonte da rocha, uma vez que a proximidade das estruturas existentes desaconselha o uso de explosivos. À medida que se for escavando, serão colocadas pregagens para evitar a queda de blocos ou cunhas. A malha das pregagens poderá variar entre 3x3 m a 5x5 m em função da compartimentação do talude. Poderá também ser utilizado betão projetado para a estabilização pontual das zonas mais degradadas, mas consideramos que o custo não justifica a sua utilização na totalidade do talude.

De um modo resumido, a sequência de trabalhos a realizar para se proceder à estabilização do talude deverá ser:

1. - limpeza dos solos no cimo do talude e abertura da banqueteta;
2. - betonagem da banqueteta e da caleira de drenagem
3. - construção do muro de gabiões na banqueteta
4. - fixação da rede de dupla torção no topo do talude
5. - espalhamento da rede na superfície do talude
6. - colocação de um varão na parte inferior da rede
7. - pregagem da rede ao talude
8. - escavação na base do talude para a implantação do depósito
9. - pregagem do talude escavado, quando necessário
10. - execução do muro de betão adjacente ao depósito.

Em particular os trabalhos referidos nos postos 1 a 3 devem ser efetuados em período de estiagem, pois que os materiais de escombrela e os solos de alteração superficial possuem um teor em argilas elevado, criando dificuldades no caso de sofrerem forte molhagem, pois serão facilmente instabilizados, exibindo ângulos de repouso muito baixos, propícios à instabilização.

## Agradecimentos

Às empresas Águas do Mondego, S.A., e CTGA agradece-se as condições para a realização do trabalho.

Este trabalho foi cofinanciado pelo Estado Português através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projecto PEst-OE/CTE/UI0073/2011 do Centro de Geociências.

## Referências

- Bieniawski, Z.T., 1989. *Engineering Rock Mass Classification*. John Wiley, New York, 215 p.
- Google Earth, 2011. Digital Globe.
- Romana, M., Serón, J., Montalar, E., 2003. SMR Geomechanics classification: Application, experience and validation. *ISRM 2003–Technology roadmap for rock mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy*, 4 p.
- Soares, A., Marques, J. e Sequeira, A., 2007. *Folha 19-D, Coimbra-Lousã. Escala 1:50.000*. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação.