

# Caracterização geotécnica do talude norte no Vale da Anta, Cabo Mondego

## Geotechnical characterisation of the Vale da Anta North Slope Cabo Mondego

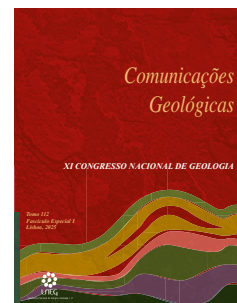
M. Pratas-Silva<sup>1\*</sup>, M. Quinta-Ferreira<sup>1</sup>, P. S. Andrade<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.34637/3d2x-1w59>

Recebido em 01/10/2023 / Aceite em 11/03/2024

Publicado online em abril de 2025

© 2025 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP



Artigo original  
Original article

**Resumo:** A ocorrência de roturas em taludes (por exemplo, taludes de estradas, frentes de pedreiras e de antigas explorações mineiras), pode causar graves prejuízos económicos e/ou colocar vidas em risco. Assim, é necessária uma intervenção rigorosa e integrada para recuperar taludes abandonados ou instáveis e locais de exploração. Foi estudado um talude rodoviário localizado na zona norte do Cabo Mondego (Vale de Anta) de modo a avaliar possíveis situações de instabilidade e apresentar soluções baseadas na engenharia natural e na restauração geomorfológica. Foi realizada a caracterização geotécnica do talude considerado, que envolveu a realização de ensaios laboratoriais e *in situ* de determinação das propriedades índice, das propriedades mecânicas e da durabilidade. Também foram utilizados o sistema classificativo *Rock Mass Rating* (RMR) e o *Geological Strength Index* (GSI). Na avaliação da estabilidade de taludes utilizaram-se as classificações geomecânicas *Slope Mass Rating* (SMR) e *Q-Slope*. A partir da identificação e definição das situações das instabilidades, as quais têm uma maior propensão de ocorrerem na parte do talude mais fragmentado/alterado, apresentaram-se soluções sustentáveis e duradouras.

**Palavras-chave:** geologia, engenharia natural, restauração geomorfológica, maciços rochosos, sustentabilidade.

**Abstract:** The occurrence of slope failures (e.g., roadway slopes, quarry fronts and abandoned old mining operation), can cause severe economic damage and/or put lives at risk. Thus, a conscious intervention is required the recover abandoned or unstable slopes and exploitation sites. A road slope located in the northern area of Cabo Mondego (Vale de Anta) was studied to evaluate possible instabilities and present solutions based on natural engineering and geomorphological restoration. Geotechnical characterization of the slope considered was carried out, which involved carrying out laboratorial and *in situ* tests of the index values, mechanical properties, and durability. The *Rock Mass Rating* (RMR) system classification and *Geological Strength Index* (GSI) were also used. The assessment of slope stability was defined using the *Slope Mass Rating* (SMR) and *Q-Slope* geomechanical classifications. From the identification of instabilities, which are more likely to occur in the most fragmented/weathered part of the studied slope, sustainable and long-last solutions were able to be presented.

**Keywords:** geology, natural engineering, geomorphological restoration, rock masses, sustainability.

### 1. Introdução

Os desastres naturais tendem a ser acentuados pelas alterações climáticas, provocando muitas vezes a redução das condições de estabilidade dos maciços, podendo ter consequências muito graves, provocando grande destruição e eventualmente vítimas mortais.

Para avaliar a estabilidade dos maciços é necessário caracterizar o material geológico constituinte e determinar as suas propriedades geotécnicas, antecipando o seu comportamento futuro, o que permite ponderar as soluções a utilizar em caso de instabilidade.

A instabilidade pode ocorrer em diferentes contextos, sendo importante avaliar os riscos associados e permitir uma melhor integração ambiental destes espaços e diminuir potenciais situações de perigosidade.

No processo de reabilitação de taludes é recomendável a integração de sistemas vivos, através da engenharia natural (Fernandes e Freitas, 2011) e a recuperação, o mais natural possível, proporcionando a melhoria do meio ambiente dos locais a intervir, quer para os seres humanos, quer para a fauna e a flora. A integração paisagística e funcional pode ser conseguida com restauração geomorfológica, desde que assegurado um fator de segurança adequado evitando situações de instabilidade, e tendo sempre como base as características geológicas e geotécnicas locais.

Neste estudo pretendeu-se conhecer e caracterizar o material geológico com base em dados bibliográficos e na cartografia local, na realização de ensaios laboratoriais para determinação das propriedades índice (massa volúmica e porosidade aberta, teor em humidade, absorção rápida), e das propriedades mecânicas (determinação da resistência à carga pontual, dureza pela utilização do martelo de Schmidt) e de durabilidade (ensaio de desgaste em meio húmido) seguindo as recomendações da ISRM (2007).

Utilizou-se o sistema classificativo RMR (Bieniawski, 1989) e o GSI (Hoek *et al.*, 1995), a classificação SMR (Romana *et al.*, 2001) e o *Q-Slope* (Bar e Barton, 2018) no sentido de definir o comportamento geomecânico do talude, bem como a caracterização do talude em termos de estabilidade. Os procedimentos utilizados na adoção das classificações RMR e SMR no presente estudo estão de acordo com Costa e Andrade (2020) e Andrade (2021).

### 2. Enquadramento geográfico e geológico

O talude em estudo localiza-se no Vale da Anta, concelho de Figueira da Foz, no distrito de Coimbra, Portugal, na zona integrante do

<sup>1</sup> Universidade de Coimbra, Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal

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

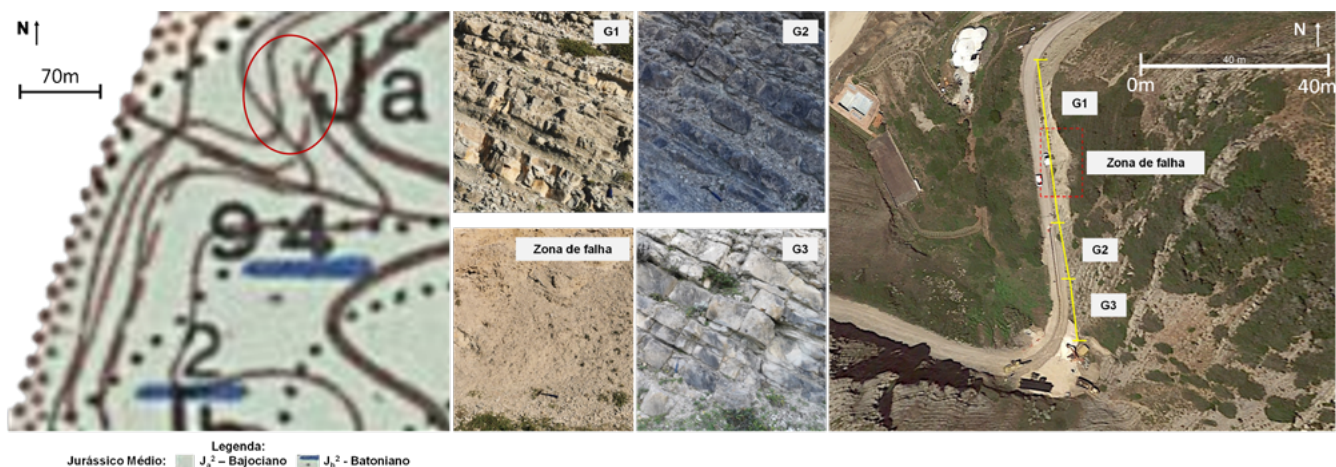


Figura 1. Contexto geológico do talude norte no Vale da Anta, com excerto da carta geológica Figueira da Foz 19-C à escala 1:50 000 (Rocha et al., 1981), onde: G1 – grupo 1, G2 – grupo 2 e G3 – grupo 3, evidenciando os diferentes aspetos geológicos visualizados.

Figure 1. Geological context of the northern slope in Vale da Anta, with an excerpt from the Figueira da Foz 19-C geological map at a scale of 1:50 000 (Rocha et al., 1981), where: G1 - group 1, G2 - group 2 and G3 - group 3, showing the different geological aspects visualised.

monumento natural do Cabo Mondego, “na vertente ocidental da Serra da Boa Viagem, entre Buarcos e Murtinheira” (Goulão, 2016).

O Vale da Anta é um dos geossítios de grande interesse geológico a nível nacional e internacional e, que se pretende como parte integrante do futuro Geoparque do Atlântico. Localiza-se numa vertente costeira virada a poente, próximo de antigos trabalhos de exploração de recursos geológicos. Esta zona, para além do interesse geológico, tem de acordo com Rocha (2010) um grande potencial turístico e educacional. O talude é adjacente a uma via de comunicação, na Rua do Farol Novo, que fazia a ligação à pedreira norte, inativa desde 2013 (Goulão, 2016). Este talude apresenta na parte mais a norte cerca de 2 m de altura, e a sul cerca de 8 m, com uma inclinação média de 45° a 50°.

A nível geológico no talude do Vale da Anta afloram calcários e calcários margosos intercalados com margas do Jurássico Médio (Rocha et al., 1981).

O maciço rochoso do talude estudado enquadra-se no Bajociano, enquanto a sul ocorrem afloramentos do Batoniano (Figura 1). A norte do talude o calcário apresenta diaclases menos espaçadas e maior fragmentação da rocha. No centro do talude há uma zona com material muito alterado e muito fragmentado, que foi considerada zona de falha (Figura 1). Devido à compartimentação e à alternância das camadas, a alteração do material geológico é muito diversificada, o que se traduz em variações nas propriedades e características geomecânicas do maciço.

### 3. Metodologia

A metodologia de estudo do talude e do seu comportamento geomecânico, abarcou estudos de gabinete, levantamento de campo, e a realização de ensaios de caracterização *in situ* e em laboratório. Primeiramente procedeu-se à localização geográfica e à seleção, leitura e interpretação de elementos bibliográficos e cartográficos do local e zona envolvente. Com base na identificação geográfica e geológica do talude, procedeu-se à delimitação no campo das zonas Z1 a Z19 (Figura 2), distribuídas por três grupos (G1, G2 e G3). A divisão consistiu na observação das características *in situ*, como a cor e o grau de alteração, definindo-se: G1 – Z1 a Z12; G2 – Z13 a Z16 e G3 – Z17 a Z19, entre as zonas Z6 e Z10 existe uma falha, com enchimento de material muito alterado e fragmentado, onde o material rochoso é praticamente inexistente.

Procedeu-se à recolha de amostras no terreno, tendo em atenção a predominância das características litológicas e do grau de alteração presentes em cada um dos grupos, para a realização dos ensaios laboratoriais de determinação das propriedades índice: massa volúmica (MV), teor em humidade (TH), porosidade aberta (PA) e absorção rápida (AR). Foram ensaiados 60 provetes, 20 por cada grupo em cada ensaio. Para avaliar a durabilidade do material recolhido face à ação dos agentes de meteorização foram ensaiadas 6 amostras, com o ensaio de desgaste em meio húmido (SD). Para cada uma destas 6 amostras ensaiadas recolheram-se 10 provetes, tal como se discrimina a seguir. Amostra 1: recolhidos em G1 da zona Z3; amostra 2: recolhidos em G1 zona Z11; amostra 3: recolhidos em G2, 3 em Z14, 2 em Z15 e 5 em Z16; amostra 4: recolhidos em G2, onde 3 pertencem a Z13, 5 a Z14 e 2 a Z15; amostra 5: recolhidos em G3, 5 em Z17, 3 em Z18 e 2 em Z19, por fim, amostra 6: recolhidos em G3, 7 em Z18 e 3 em Z19). Para a determinação das propriedades mecânicas foram realizados 112 ensaios de carga pontual. Quanto aos ensaios realizados *in situ* utilizou-se o martelo de Schmidt do tipo L, num total de 1920 medições, tendo sido consideradas válidas 930 medições, 540 referentes a G1, 210 realizadas em G2 e 180 em G3. A partir da dureza de Schmidt e da MV estimaram-se os valores da Resistência à Compressão Simples (RCS), recorrendo-se ao ábaco de correlação de Deere e Miller (1966). Todos os ensaios foram realizados seguindo as recomendações da ISRM (2007).

Com os dados recolhidos em campo e os resultados dos ensaios laboratoriais procedeu-se à avaliação do comportamento geomecânico dos maciços rochosos e para isso utilizou-se o *Rock Mass Rating* (RMR) (Bieniawski, 1989), no qual o parâmetro RQD (*Rock Quality Designation*) foi definido a partir do espaçamento das descontinuidades presentes no maciço, e determinaram-se os valores do *Geological Strength Index* (GSI) (Hoek et al., 1995). Para a caracterização das situações de instabilidade recorreu-se ao *Slope Mass Rating* (SMR) (Romana et al., 2001) e ao *Q-Slope* (Bar e Barton, 2018). Este último permite obter o ângulo máximo do talude ( $\beta$ ) sem que exista necessidade de utilização de medidas de suporte ou de estabilização, tendo em conta as condições geológicas e ambientais do local.

Recolheu-se ainda informação bibliográfica relativa à presença da fauna e flora para a posterior integração na reabilitação e estabilização do talude, considerando técnicas de engenharia natural, e na utilização de conceitos de restauração geomorfológica de modo que

a estabilização do talude seja funcional e evolua de forma autónoma com o decorrer do tempo.

#### 4. Resultados

O talude, com 95 m de extensão, apresenta características geológicas muito distintas a olho nu. Em G1 (Figura 3a) o calcário apresenta diaclases muito próximas. O calcário está fragmentado e há deposição de fragmentos na base do talude. Nas zonas de Z1 a Z5, as camadas de calcário alternam com camadas de margas de 2 cm a 7 cm de espessura. Para sul, nas zonas Z6 a Z10, na zona de falha, o material apresenta-extremamente alterado e fragmentado, com apenas 5% de rocha (Figura 3b).

Em G2, de Z13 a Z16, o calcário apresenta características semelhantes a G1, contudo evidencia cor mais cinzenta, a espessura das camadas de margas é mais reduzida e em menor quantidade que em G1 (Figura 3c). Por fim em G3 os blocos de material rochoso têm dimensões cerca de sete vezes superiores às observadas em G1 e G2, as diaclases são mais espaçadas e a presença de margas é quase nula. Em G3 a percentagem de material rochoso é cerca de 90 a 95% da totalidade do talude entre Z17 a Z19 (Figura 3d).

Os resultados médios obtidos para os materiais litológicos do talude norte do Vale da Anta (Tabela 1), 60 provetes ensaiados, 20 por cada grupo, revelaram que a MV e o TH têm valores muito próximos. No que respeita aos resultados médios da PA foram obtidos os valores de 3,68% para G1, 3,15% para G2 e 4,02% para G3. No ensaio de AR, os resultados médios obtidos e, respetivamente, ao fim de 1h e de 48h, para G1 foram 0,6% e 1,0%, para G2 foram 0,9% e 1,6% e para G3 os valores foram de 0,5% e 1,4%. A diferença de valores pode ser justificada pela quantidade de material margoso presente nos provetes rochosos.

No SD, os valores médios de desgaste obtidos nas 6 amostras, foram todos muito idênticos, verificando-se o aumento de 0,1% nos valores de desgaste de ciclo para ciclo. Procurando entender melhor o comportamento a longo prazo, face aos reduzidos valores de desgaste, realizaram-se cinco ciclos de desgaste.

De acordo com a classificação geomecânica RMR, o maciço classifica-se como de qualidade razoável em G1 e G2 e como de boa qualidade em G3 (Tabela 2). Para a classificação de SMR foram obtidos resultados para S0, F1 e F2, onde S0 representa a estratificação e F1 e F2 correspondem a outras duas famílias de descontinuidades presentes em G1 e G2 e G3. O talude foi classificado como parcialmente estável, com exceção da família F2 com orientação 244°;86° (direção de pendur; pendur) em G1, com orientação 213°;85° em G2, que permitiram a classificação do talude como instável e com probabilidade de ocorrência de rotura por tombamento, associado à família F2. Em G3, os valores da classificação SMR, variam e possibilitam classificar o talude desde estável a instável, destacando-se a mesma família F2 com atitude média 238°;84°, com possibilidade de rotura por tombamento. Verificou-se que S0 e F1 não revelaram orientações que potencialmente provocassem situações de instabilidade nos vários grupos considerados.

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios obtidos para cada classificação. No ensaio de carga pontual obtiveram-se os resultados médios do índice de resistência à carga pontual corrigido ( $I_{s(50)}$ ) de 4,17 MPa para G1, 3,46 MPa para G2 e 3,57 MPa para G3. Para a obtenção de uma estimativa dos valores de Resistência à Compressão Simples (RCS) foram realizados ensaios com o martelo de Schmidt do tipo L, definindo-se os valores médios de 53, 66 e 75 MPa para G1, G2 e G3, respetivamente.

No local são observados blocos caídos na base do talude, na totalidade da sua extensão, o que valida a classificação de SMR do talude, como parcialmente instável.

Tabela1. Resultados médios dos ensaios para os materiais rochosos de G1, G2 e G3 do Talude Norte do Vale da Anta.

Table 1. Average test results for G1, G2 and G3 rock materials on the Vale da Anta North Slope.

| Ensaio                  | Quant.  | G1   | DP    | G2   | DP   | G3   | DP   |
|-------------------------|---------|------|-------|------|------|------|------|
| MV (g/cm <sup>3</sup> ) | 60      | 2,59 | 0,02  | 2,61 | 0,02 | 2,57 | 0,03 |
| TH (%)                  | 60      | 0,4  | 0,13  | 0,5  | 0,18 | 0,4  | 0,12 |
| AR                      | 1h (%)  | 60   | 0,5   | 0,14 | 0,9  | 0,35 | 0,6  |
|                         | 48h (%) | 60   | 1,0   | 0,35 | 1,6  | 0,48 | 1,4  |
| $I_{s(50)}$ (MPa)       | 112     | 4,17 | 1,13  | 3,46 | 0,87 | 3,57 | 1,28 |
| RCS (MPa)               | 930     | 53   | 14,05 | 66   | 7,50 | 75   | 11,9 |

Tabela 2. Resultados médios das classificações geomecânicas RMR (Bieniowski, 1981) e SMR (Romana et al., 2001).

Table 2. Results of the RMR (Bieniowski, 1981) and SMR (Romana et al., 2001) geomechanical classifications,

|     |    | G1 |     | G2   |     | G3   |    |      |
|-----|----|----|-----|------|-----|------|----|------|
| RMR |    | 46 | III | 52   | III | 64   | II |      |
| SMR | S0 | RP | 40  | IV*  | 42  | III* | 56 | III* |
|     |    | RT | 46  | III* | 52  | III* | 64 | II*  |
|     | F1 | RP | 45  | III* | 51  | III* | 64 | II*  |
|     |    | RT | 46  | III* | 46  | III* | 58 | III* |
|     | F2 | RP | 46  | III* | 52  | III* | 64 | II*  |
|     |    | RT | 21  | IV*  | 27  | IV*  | 39 | IV*  |

RMR – Rock Mass Rating, SMR – Slope Mass Rating, S0 – Estratificação, F1 – família de descontinuidade 1, F2 – família de descontinuidade 2, RT – Rotura por Tombamento, RP – Rotura planar; Classes (RMR) – II – Maciço Rochoso Bom, III – Maciço Rochoso Razoável; (Classes SMR) – II\* – Talude estável, III\* – Talude parcialmente estável, IV\* – Talude Instável.

Os resultados de GSI de acordo com o ábaco de Marinov e Hoek (2000) foram para G1, G2 e G3, respetivamente de 45, 49 e 60, enquanto pela equação  $GSI = RMR - 5$  (Hoek et al., 1995), foram para G1, G2 e G3, respetivamente: 41, 47 e 59.

Em relação ao  $Q$ -Slope para G1 obteve-se um valor de  $\beta=34^\circ$  e para G2 e G3 um valor de  $\beta=67^\circ$ .

#### 5. Soluções de Estabilização e Reabilitação

Em Portugal a utilização de técnicas sustentáveis na estabilização e reabilitação de maciços tem apresentado um desenvolvimento crescente, daí a importância de aumentar o uso de soluções com base na engenharia natural e na restauração geomorfológica. No caso da restauração geomorfológica esta é ainda incipiente em Portugal.

As técnicas de restauração geomorfológica e de engenharia natural estão intrinsecamente dependentes da geologia do local, que deverá estar na base das soluções utilizadas, a partir de um bom conhecimento do material geológico, das suas características e comportamento esperado, facilitando a adoção das melhores soluções e técnicas ajustadas às problemáticas encontradas.

Em G1, no intervalo de Z1 a Z5 e Z11 a Z12, inclusive em G2, poderia optar-se por uma estabilização tradicional. Em primeiro lugar poderia efetuar-se a devida limpeza dos materiais fragmentados e, posteriormente, colocar uma rede metálica para

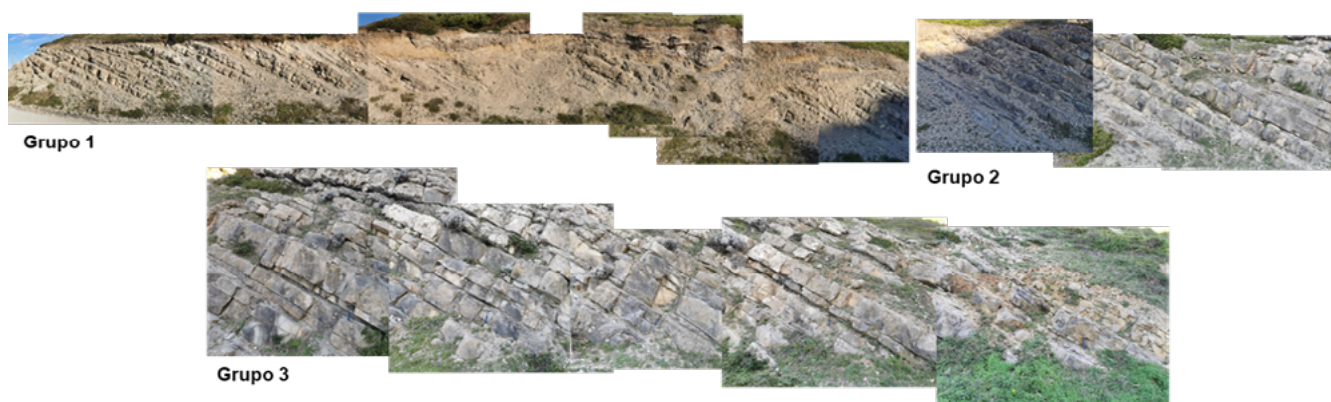


Figura 2. Grupos identificados com base na observação in situ do talude do Vale da Anta.

Figure 2. Groups identified based on in situ observation of the Anta Valley slope.

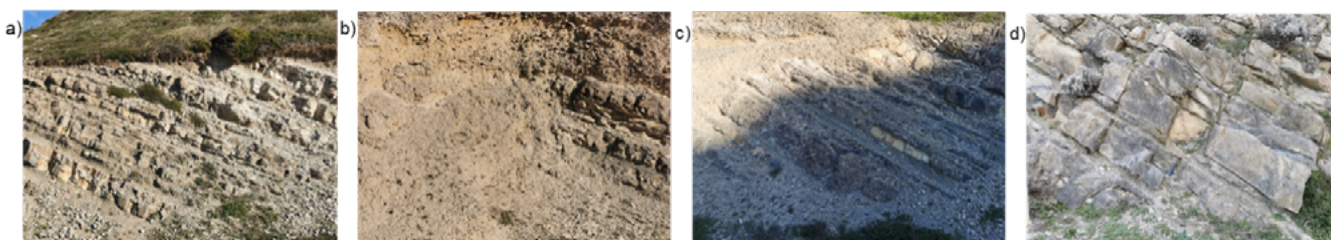


Figura 3. Pormenor das diferentes características geológicas observáveis em (a) G1 na zona inicial do talude, (b) G1 na zona com material mais fragmentado, (c) G2 com nítida alteração da cor do calcário na zona superficial, a mancha amarela nos calcários é a parte interior da rocha que está exposta à superfície mais recentemente e, (d) G3 com os blocos de maiores dimensões e com menos material margoso.

Figure 3. Detail of the different geological characteristics observed in (a) G1 in the initial zone of the slope, (b) G1 in the zone with more fragmented material, (c) G2 with a clear change in the color of the limestone in the superficial zone, the yellow stain in the limestones is the inner part of the rock that has been exposed to the surface more recently and, (d) G3 with the larger blocks and less marly material.

conter os blocos que têm uma probabilidade moderada de queda para a via de comunicação existente. De Z6 a Z10, inclusive, seria importante uma limpeza do material depositado na base do talude, junto à via de comunicação, e o material recolhido ao longo do talude seria reutilizado, incorporando-o no reperfilamento entre Z6 a Z10, que têm uma maior suscetibilidade em termos de instabilidade. Após o correto reperfilamento do talude, aplicar-se-ia fertilizante (*mulch*) que corresponde a uma cobertura de solo orgânico que não inclui plantas vivas, como por exemplo folhas secas, pedaços de madeira ou casca de pinheiro, para promover o desenvolvimento de vegetação rasteira autóctone. De acordo com a SPB (2024), são exemplos, *Calendula suffruticosa* subespécie *lusitânica*, *Centaurea sphaerocephala* subespécie *lusitânica*. Este tipo de vegetação iria permitir a estabilização desta zona do talude, pois as características de germinação assemelham-se às existentes no talude. Antes da introdução das sementes, deveria colocar-se uma rede de fibra de coco, biodegradável que proporcionaria uma maior estabilidade enquanto a vegetação não germina, devido à inclinação do talude ser elevada. Sobre a rede seria colocada uma mistura de solo e sementes que ali se estabeleceriam.

O escoamento da água seria facilitado através do reperfilamento do talude, e no cimo do talude, na zona de cobertura vegetal, manter-se-ia a vegetação rasteira e o *Pinus halepensis* existente atualmente. Dado que estes últimos apresentam raízes mais profundas do que a vegetação rasteira e conseguem acumular uma maior quantidade de água, conferindo uma maior estabilização a partir do topo do talude.

## 6. Discussão e Conclusões

Os resultados dos ensaios e das classificações utilizadas permitem identificar possíveis instabilidades no talude do Vale da Anta, em especial em G1 e G2. Os resultados dos ensaios laboratoriais realizados, em particular os da massa volúmica foram utilizados em conjunto com os da dureza de Schmidt para a estimativa da Resistência à Compressão Uniaxial, foram integrados nas classificações geomecânicas, designadamente no parâmetro resistência da matriz rochosa.

O material rochoso apresenta baixa porosidade e elevada a média massa volúmica, de acordo com a classificação da IAEG (1979). A resistência à compressão simples é elevada, de acordo com Bieniawski (1989). A caracterização *in situ* e laboratorial, e as classificações geomecânicas, permitem concluir que nas zonas do talude com 90% ou mais de material rochoso, como acontece em G3, este se apresenta parcialmente estável a estável, com a exceção da família F2 que pode provocar instabilidade.

De acordo com a classificação *Q-Slope*, para G1 obteve-se um valor de  $\beta$  igual a  $34^\circ$  que se revela inferior ao encontrado para G2 e G3 que apresentaram um valor de  $\beta$  de  $67^\circ$ , o que confirma uma maior propensão para situações de instabilidade em G1 comparativamente a G2 e G3.

Sendo o talude norte do Vale da Anta localizado numa zona de relevância educacional e turística e de importância a nível mundial, segundo Rocha (2010), torna-se imperativa a sua estabilização e reabilitação. A estabilização visa solucionar os problemas de

instabilidade encontrados, enquanto a reabilitação permite a integração do talude no contexto da envolvente paisagística, respeitando as condições geológicas, e também da fauna e flora. No estudo do talude do Vale da Anta associam-se os conhecimentos da geologia de engenharia com os da engenharia natural, bem como os da restauração geomorfológica, numa perspetiva de estudo piloto nesta zona de Portugal, onde se misturam e complementam as técnicas de reabilitação e de estabilização.

A introdução de vegetação autóctone escolhida com base na geologia local é fundamental para que a mesma germine e se estabeleça, conferindo ao talude uma maior coesão na zona de falha, evitando a deposição de material fragmentado na base do talude. Por outro lado, a utilização de espécies com raízes mais profundas, no topo do talude, como o *Pinus halepensis* vai auxiliar o armazenamento de água nas próprias raízes, evitando que esta se infiltre no maciço. Com a escolha adequada dos sistemas vivos a introduzir no talude, por via da engenharia natural, e o complemento da restauração geomorfológica no reperfilamento do mesmo, as zonas suscetíveis de instabilidade vão ser estabilizadas, garantindo a segurança e integração paisagística do talude do Vale da Anta.

No talude estudado podem aplicar-se soluções de estabilização baseadas em engenharia natural e restauração geomorfológica, devendo ter-se em atenção a proximidade da linha de costa. Este seria um bom exemplo, de integração de métodos tradicionais e inovadores, no processo de estabilização.

### Agradecimentos

Os autores expressam a sua gratidão à FCT que financia o projeto através da bolsa UI/BD/150842/2021 e ao Centro de Geociências da Universidade de Coimbra através do projeto UIDB/00073/2020.

### Referências

- Andrade, P. S., 2021. Application of Rock Mass Rating and Slope Mass Rating in slopes of Central Portugal. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*, **21**(1.1): 117 – 128.
- Bar, N., Barton, N., 2018. Rock Slope Design using Q-Slope and Geophysical Survey Data. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. <https://doi.org/10.3311/PPci.1287>.
- Bieniawski, Z., 1989. Engineering Rock Mass Classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. John Wiley & Sons.
- Costa, D., Andrade, P.S., 2020. Slope characterization in Coimbra's area. *Comunicações Geológicas*, **107**:149-151.
- Deere, D. U., Miller, R. P., 1966. *Engineering classification and index properties for intact rock*. Technical report AFWL-TR-65-116, New Mexico.
- Fernandes, J., Freitas, A., 2011. Introdução à Engenharia Natural (Volume II). EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A.
- Goulão, J. S. A., 2016. *O Caso Cabo Mondego: o dever da arquitetura sobre o território abandonado*- Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra.
- Hoek, E., Kaiser, P. K., Bawden. W. F., 1995. *Support of underground excavations in hard rock*. Rotterdam: Balkema.
- IAEG, 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. *Bulletin of the International Association Engineering Geology*, **19**: 364-371.
- ISRM, 2007. *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization Testing and Monitoring: 1974-2006*. Ulusay & J. A. Hudson
- Marinos, P., Hoek, E., 2000. GSI: A Geologically Friendly Tool for Rock Mass Strength Estimation.
- Rocha, J., 2010. O Monumento Natural do Cabo Mondego: proposta estratégica de geoconservação e de um plano de ordenamento. Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra.
- Rocha, R., Manuppella, G., Mouterde, R., Ruget, C., Zvyszewski, G., 1981. *Carta Geológica de Portugal – Notícia Explicativa da Folha 19-C: Figueira da Foz*. Direção Geral de Geologia e Minas Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Romana M., Serón J. B., Montalar E., 2001. La clasificación geomecánica SMR. Aplicación experiencias y validación. *V Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables*. Madrid, 393-404.
- SPB, Sociedade Portuguesa de Botânica., 2024. Flora-On | Flora de Portugal. Flora-On Portugal Continental | Flora de Portugal interactiva. <https://flora-on.pt/>.