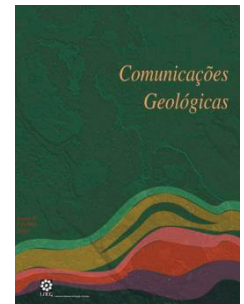


Caracterização de taludes localizados na área de Coimbra

Slope characterization in Coimbra's area

D. Costa¹, P. S. Andrade^{2*}



Recebido em 05/03/2018 / Aceite em 16/12/2019

Publicado em agosto de 2020

© 2020 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP

Artigo original
Original article

Resumo: Neste trabalho efetua-se a caracterização geomecânica e de estabilidade de cinco taludes localizados na área urbana de Coimbra e nas suas imediações. Em dois dos taludes são ocorrentes rochas sedimentares, enquanto os restantes são constituídos por rochas metamórficas, designadamente filádios e metagrauwaques. Procedeu-se a um levantamento de campo e à realização de ensaios de caracterização de resistência, massa volúmica, porosidade aberta e de durabilidade, recorrendo-se à utilização de várias classificações como a *Basic Geotechnical Description* (BGD), *Rock Mass Rating* (RMR) e *Slope Mass Rating* (SMR), bem como de programas informáticos. Os taludes são parcialmente estáveis, de acordo com os resultados do SMR, com exceção do Talude 2, que foi classificado como instável. A partir do estudo efetuado procedeu-se a uma avaliação das várias situações de instabilidade existentes nos taludes considerados, das quais se destacam as quedas de blocos e as roturas em cunha.

Palavras chave: Taludes, estabilidade, filádios, metagrauwaques, Coimbra.

Abstract: The authors carry out a geomechanical characterization and stability study of five slopes located in Coimbra's urban area. Slope 1 is composed by marly limestone and marls. Slope 2 is essentially made up of sandstones. Slopes 3, 4 and 5 are constituted by phyllites and metagreywackes. A field survey and characterization tests such as strength, density and porosity, and also durability tests were carried out. Rock mass classifications such as Basic Geotechnical Description (BGD), Rock Mass Rating (RMR) and Slope Mass Rating (SMR) were used. Slope assessment through software programs was performed. Density results of the slope rock material were considered medium, except for sandstones of Slope 2, with results varying between from 2.14 g/cm³ to 2.18 g/cm³ which classifies then as low. Open porosity results were considered medium, except for sandstones of Slope 2 and metagreywackes of Slope 5 which present values, respectively, between 20.1% and 20.5% and between 15.5% and 15.9%, and therefore are considered high. Marly limestone of Slope 1 and phyllites and metagreywackes of Slope 4 present a very high durability. Marls of Slope 1 and sandstones of Slope 2 show, respectively, a medium and very low durability. According to SMR results, slopes are classified as partially stable, except for Slope 2, which is considered as unstable. Slope stability assessment revealed that rock falls and wedge failures were the most common slope movements.

Keywords: Slopes, stability, phyllites, metagreywackes, Coimbra.

¹ Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra, Rua Sílvio Lima – Pólo II, Pólo II, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal.

² Universidade de Coimbra, Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra, Rua Sílvio Lima – Pólo II, Pólo II, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal.

* Autor correspondente/corresponding author: pandrade@dct.uc.pt

1. Enquadramento geográfico e geológico

Estudaram-se cinco taludes na área urbana de Coimbra e nas proximidades (Fig. 1). O Talude 1 localiza-se na parte Norte da área urbana de Coimbra, em Eiras, apresenta uma direção N-S e um pendor de 40°W, e é constituído por uma alternância de estratos de margas e de calcários margosos de grão fino, pertencentes à Formação Vale das Fontes do Carixiano-Domeriano Inferior (Jurássico Inferior). O Talude 2 situa-se a Sudoeste da cidade de Coimbra, tem uma altura máxima de 6 m e um pendor de 80°SW, sendo constituído por arenitos grosseiros de cor branca que se enquadram na Formação Figueira da Foz (Aptiano ao Cenomaniano). O Talude 3 situa-se no Caminho Municipal 1151, tem uma direção de N70°W e um pendor de 72°N. Localiza-se na designada Série Negra de idade do Proterozoico Superior, assinalando-se também a presença de xistos negros do Devónico ou eventualmente do Silúrico. No Talude 3 ocorrem filádios de tonalidades cinzentas-escuras, de grão muito fino, alternando com metagrauwaques. O Talude 4 encontra-se na Estrada Municipal 541, e tem uma direção de N50°E e um pendor de 70°NW. O Talude 5 localiza-se na EN17, em Segade, e possui uma direção de N70°W e um pendor de 59°S. Os Taludes 4 e 5 enquadram-se na Formação de Caneiro do Grupo das Beiras, de idade do Neoproterozóico, e são constituídos na sua maioria por metagrauwaques, ocorrendo também filádios.

2. Metodologia

Definiu-se para cada talude a composição geológica e as características das descontinuidades. Realizaram-se ensaios de caracterização física e mecânica. Para a análise das instabilidades recorreu-se ao programa informático DIPS (Rocscience, 2017). Utilizou-se a *Basic Geotechnical Description* (BGD) e o *Rock Mass Rating* (RMR) na

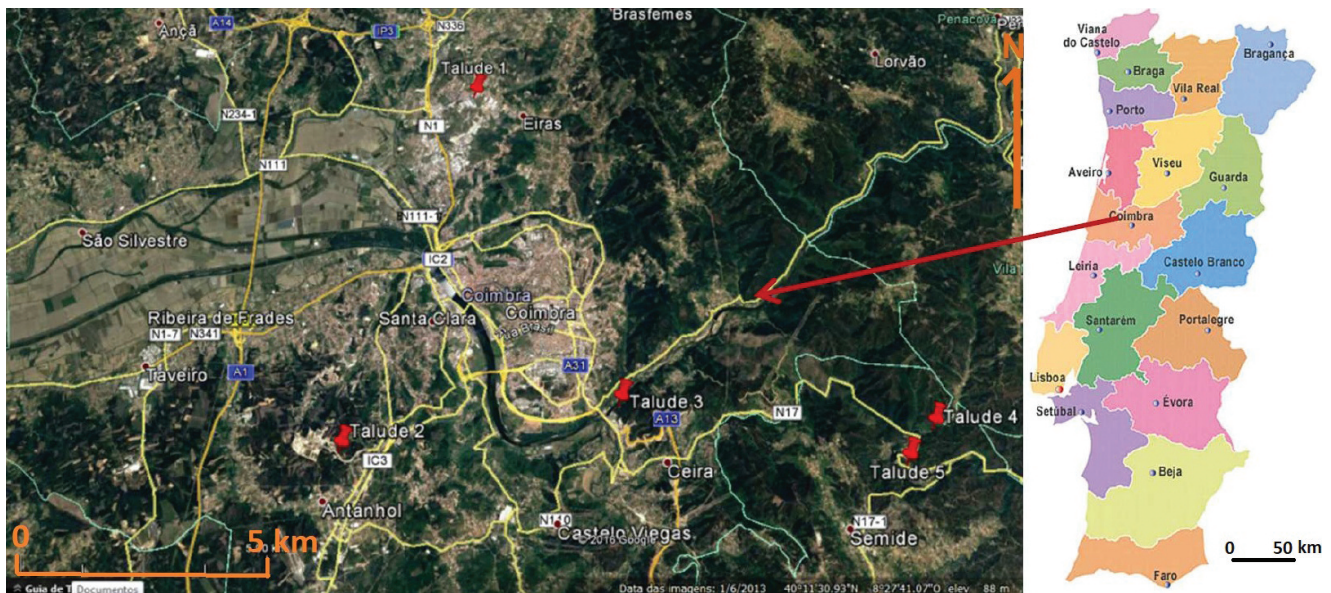


Figura 1. Localização dos vários taludes.

Figure 1. Location of slopes.

caracterização dos maciços rochosos dos taludes. No estudo das instabilidades recorreu-se ao *Slope Mass Rating* (SMR).

3. Resultados e conclusões

Os resultados dos ensaios da massa volúmica aparente (MVA), porosidade aberta (PA), dureza de *Schmidt* (R), resistência à compressão uniaxial (RCU) definida a partir do valor de R e da massa volúmica aparente são apresentados na tabela 1. Os resultados da MVA são considerados intermédios, de acordo com IAEG (1979), com exceção dos arenitos do Talude 2 cujos resultados da MVA variam de 2,14 g/cm³ a 2,18 g/cm³, sendo classificados como baixos. Os resultados da PA, considerando a IAEG (1979), revelaram-se intermédios, menos os relativos aos arenitos do Talude 2 e aos

metagrauvaques do Talude 5 que são considerados elevados. Os calcários margosos do Talude 1 e os filádios e metagrauvaques do Talude 4 apresentam uma durabilidade muito alta, com valores de índice de durabilidade do segundo ciclo (Id₂) iguais ou superiores a 98%. Os arenitos do Talude 2, têm uma durabilidade muito baixa com um Id₂ de 18,3% a 22,3%. Os calcários margosos do Talude 1 têm uma resistência à carga pontual corrigido para um diâmetro de 50 mm (Is₍₅₀₎) com valores entre 3,21 e 3,76 MPa. Os valores da Is₍₅₀₎ para os filádios e metagrauvaques dos Taludes 3, 4 e 5 variaram, respetivamente, entre 1,38 e 3,03 MPa, e entre 0,74 e 3,39 MPa. Cada um dos taludes possui três famílias de descontinuidade, com exceção do Talude 2 que apresenta duas famílias de descontinuidades de maior importância. O Talude 1 é definido de acordo com o BGD como W₃₋₄F₄L₄S₃A₃ (Tab. 2), o que corresponde a um

Tabela 1. Resultados dos ensaios de caracterização, como a massa volúmica aparente, porosidade aberta, dureza de *Schmidt* (R), resistência à compressão uniaxial (RCU) definida através do valor de R e da massa volúmica aparente.

Table 1. Results of density, open porosity, Schmidt hardness rebound (R), uniaxial compressive strength (RCU) obtained from R and density values.

Material	Massa Volúmica Aparente (ton/m ³)	Porosidade Aberta (%)	R	RCU (MPa)
Calcários margosos – Talude 1	2,47 – 2,52	7,3 – 9,2	31,4 – 36,8	50 – 62
Arenitos – Talude 2	2,14 – 2,18	20,1 – 20,5	13,1 – 15,7	21 – 26
Filádios – Talude 3	2,33 – 2,35	14,6 – 15,0	16,5 – 24,3	26,8 – 35,73
Metagrauvaques – Talude 3	2,41 – 2,42	11,9 – 12,3	24,2	36, 9
Filádios – Talude 4	2,53 – 2,54	8,9 – 9,6	22,6 – 33,0	37,7 – 60,0
Metagrauvaques – Talude 4	2,42 – 2,48	11,46 – 12,31	37,2 – 43,0	70,0 – 80,0
Filádios – Talude 5	2,40 – 2,45	12,6 – 13,1	22 – 28	41,0
Metagrauvaques – Talude 5	2,30	15,5 – 15,9	24 – 29	42,4

Tabela 2. Resultados de *Basic Geotechnical Description* (BGD), *Rock Mass Rating* (RMR) e *Slope Mass Rating* (SMR) para os taludes estudados.Table 2. *Basic Geotechnical Description* (BGD), *Rock Mass Rating* (RMR) and *Slope Mass Rating* (SMR) results of studied slopes.

Talude	BGD	RMR	SMR
Talude 1	W ₃₋₄ F ₄ L ₄ S ₃ A ₃	48 – 52	42 – 43
Talude 2	W ₄₋₅ F ₂₋₃ L ₂ S ₅ A ₂	44 – 45	23
Talude 3	W ₃ F ₂ L ₂ S ₃₋₄ A ₃	67 – 72	59
Talude 4	W ₃₋₄ F ₃ L ₃ S ₂₋₃ A ₃	63 – 67	60 – 61
Talude 5	W ₃ F ₃ L ₃ S ₃₋₄ A ₃	52 – 58	48 – 50

estado de alteração intermédio a elevado (W₃₋₄), o espaçamento de fraturação é classificado como próximo (F₄) e a espessura das camadas é delgada (L₄), com valores entre 0,06 e 0,20 m. A resistência do material rochoso (S₃), apresenta valores de I_{S(50)} entre 3,21 e 3,76 MPa e de RCU entre 50 e 62 MPa, e o ângulo de atrito das descontinuidades (A₃) é de cerca de 30°. Os Taludes 2, 3, 4 e 5 correspondem, respetivamente, a W₄₋₅F₂₋₃L₂S₅A₂, W₃F₂L₂S₃₋₄A₃, W₃₋₄F₃L₃S₂₋₃A₃ e W₃F₃L₃S₃₋₄A₃ (Tab. 2). Para a classificação RMR do Talude 1 verificou-se que as condições das descontinuidades são, de modo geral, intermédias e por vezes fracas. O valor do RMR do Talude 1 varia entre 48 e 52 (Tab. 2). Para o Talude 1 registaram-se os valores mais baixos de SMR, de 43, para a rotura planar, e de 42 para situações de toppling (Tab. 2). Para o RMR do Talude 2, o RQD apresenta valores de 60%, observando-se que as descontinuidades são rugosas, variando o valor do RMR entre 44 e 45 (Tab. 2). Os resultados da SMR definiram que o tipo de instabilidade mais provável no Talude 2 é o basculamento. Para a classificação RMR do Talude 3, o RQD foi definido como elevado (80%), as características das descontinuidades são consideradas como intermédias, verificando-se a presença de vestígios de circulação de água. O RMR varia entre 67 e 72 (Tab. 2). No cálculo do valor do SMR do Talude 3, o resultado mais reduzido foi encontrado para as situações de rotura planar, com o valor de 59. Para o Talude 4, as condições das descontinuidades são medianas, definiram-se valores de RMR de 63 a 67. Os valores mais reduzidos de SMR no Talude 4 são 60 e 61, e a probabilidade de ocorrência das situações de rotura planar e por toppling é semelhante. Para o Talude 5, nas condições das descontinuidades regista-se um predomínio de características intermédias. Os valores do RMR variam entre 52 e 58. Os valores

de SMR mais baixos, no Talude 5, estão relacionados com a rotura planar e são de 48 e 50. Segundo o BGD, os taludes 1, 3, 4 e 5 são de qualidade média, enquanto o talude 2 é considerado como médio a fraco. Os taludes 1, 2 e 5 revelaram uma qualidade razoável, em termos de RMR, enquanto os taludes 3, 4 são de boa qualidade. A classificação SMR definiu os taludes 1, 3, 4 e 5 como parcialmente estáveis, o talude 2 foi classificado como de má qualidade e instável. No talude 1 definiram-se situações de queda de blocos, e mais raramente de deslizamento planar. No talude 2, os basculamentos têm uma probabilidade de ocorrência de 17,7%. A maioria das instabilidades nos taludes 3, 4 e 5 corresponde a roturas em cunha, registando-se, respetivamente, probabilidades de rotura em cunha de 26,3%, 18,9% e de 10,9%.

Agradecimentos

Pelo apoio financeiro da FCT-MEC através de fundos nacionais e, quando aplicável cofinanciado pelo FEDER no âmbito da parceria PT2020, através dos projetos de investigação UID/Multi/00073/2013 e OE/CTE/UI0073/2011 e 2014 do Centro de Geociências.

Referências

- IAEG, 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping Part1-rock and soils materials. *Bull. of the Int. Association Engineering Geology*, **19**: 355-371.
- Rocscience, 2017. *DIPS*. Rocscience, Canada, 2017.