

NOVOS ELEMENTOS SOBRE AS CONDICIONANTES DA ESTABILIDADE DE TALUDES NAS PEDREIRAS DA ZONA DOS MÁRMORES, ESTREMOZ, PORTUGAL. CASO DE ESTUDO
NEW ELEMENTS ON THE CONDITIONING ASPECTS OF SLOPE STABILITY IN THE QUARRIES IN THE MARBLE ZONE, ESTREMOZ, PORTUGAL. CASE STUDY

Lopes, Luís*, *Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de Geociências, ICT, Évora, Portugal*, lopes@uevora.pt

Pinho, António, *Universidade de Évora, ECT, Departamento de Geociências, GeoBioTec, Évora, Portugal*, apinho@uevora.pt

Duarte, Isabel, *Universidade de Évora, ECT, Departamento de Geociências, GeoBioTec, Évora, Portugal*, iduarte@uevora.pt

Martins, Ruben, *Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de Geociências, Évora, Portugal*, rubenvm@uevora.pt

Bonito, Nuno, *Soluções de Engenharia, Lda., Borba, Portugal*, nuno.bonito@solucoesengenharia.pt

Cavaco, Filomena, *Soluções de Engenharia, Lda., Borba, Portugal*, filomena.cavaco@solucoesengenharia.pt

*autor para correspondência

RESUMO

Com registo de exploração milenar, algumas pedreiras de mármore do Anticlinal de Estremoz, Portugal, atingiram profundidades superiores a 100 m. Também por isso, requerem análise cuidada e detalhada das condições de estabilidade dos seus taludes, no sentido de mitigar os riscos inerentes à exploração dos mármore e evitar a perda de vidas e de bens materiais. Os estudos anteriores realizados em pedreiras em situação de risco na Zona dos Mármore revelaram vários casos onde as características geológicas influenciam a estabilidade dos taludes de explorações ativas, que por esse motivo, foram alvo de análise estrutural e geomecânica. Este trabalho refere-se a um caso de estudo onde a pedreira está confinada por limites de propriedade e geológicos, com expressão regional, que condicionam lateralmente o avanço da exploração. Consequentemente, a cavidade desenvolveu-se em profundidade, pelo método de degraus direitos a céu aberto. É evidente o contraste entre o grau de fraturação do maciço rochoso marmóreo com aptidão ornamental e interesse para a indústria e o maciço rochoso encaixante, de comportamento reológico distinto, constituído por metavulcanitos básicos que apresentam características geomecânicas similares aos xistos. Recorrendo a técnicas de análise da geologia estrutural, caracterizaram-se as principais famílias de fraturas que ocorrem na cavidade, assim como a sua distribuição espacial. Com os dados colhidos, foi realizada uma análise do tipo de rotura mais provável, assim como uma análise da estabilidade do talude nordeste.

ABSTRACT

With millenary exploitation records, some marble quarries in the Estremoz Anticline, northeastern Alentejo, Portugal, reached depths over 100 m. Also, for that reason, require careful and detailed analysis of their slope stability conditions in order to

mitigate the risks associated with the exploitation of marble, thus avoiding the loss of lives and material goods. Previous studies carried out in quarries at risk, revealed several cases where the geological characteristics influence the stability of the slopes close to active exploration sites, which for this reason were subject of structural and geomechanical analysis. This work refers to a case study where the quarry is confined by propriety and geological limits, with regional expression, that laterally condition exploitation advancement. Consequently, the cavity was developed in depth, using the straight step open pit mining method. There is a clear contrast between the degree of fracturing of the marble rock mass with ornamental aptitude and interest for industry and the surrounding rock mass, with a distinct rheological behavior, consisting of basic metavolcanics that have geomechanical characteristics similar to schists. Using structural geology analysis techniques, the main families of occurring fractures were characterized, as well as their spatial distribution. With the collected data, an analysis of the most likely type of rupture was performed, also as an analysis of the stability of the Northeast slope.

1. INTRODUÇÃO

As características estéticas, e as excelentes propriedades físicas e mecânicas dos mármore explorados do Anticlinal de Estremoz, no sul de Portugal, são o principal motivo para que este georrecurso tenha sido explorado desde a Antiguidade Clássica até à atualidade, de forma praticamente ininterrupta, tanto como rocha ornamental como elemento estrutural (Moreira e Lopes, 2019). Até à década de setenta do Séc. XX, o impacte desta indústria extrativa na paisagem era residual, porém, nas últimas décadas e devido ao crescimento exponencial da atividade extrativa potenciado pelo desenvolvimento tecnológico e maior capacidade de carga dos equipamentos de transporte, surgiu na região uma paisagem peculiar constituída por centenas de pedreiras a céu aberto e por relevos positivos constituídos pelas escombrelas que contrastam com a paisagem rural. No entanto, os impactes desta transformação significativa da paisagem, não são apenas negativos, tendo sido verificado que nas zonas em que a lavra cessou, e após poucas décadas, ocorreu uma regeneração natural da paisagem, criando condições para o estabelecimento de habitats para a fauna, com registo da existência de um maior numero de espécies e maior número de efetivos por espécie, relativamente ao contexto regional e há mesmo casos de espécies que só ocorrem nas escombrelas e pedreiras abandonadas (Germano, 2013; Germano et al. 2014).

O aumento da atividade extrativa, com centenas de pedreiras a laborarem lado a lado e em simultâneo devido, não só à competição por massas minerais de maior interesse económico, como aos constrangimentos relativos à propriedade privada que caracteriza, de forma geral, as massas minerais em Portugal, originou que as pedreiras contíguas, tivessem um desenvolvimento individual por poço.

Os aspetos relativos aos riscos associados a deslizamentos, ou outros tipos de movimentos de terrenos, foram-se tornando mais relevantes com o aumento da profundidade das pedreiras. Esta situação originou casos de roturas em taludes de pedreiras, alguns de grande dimensão e perigosidade, mas felizmente sem perda de vidas (Pinho et al., 2010). No entanto, a ocorrência do trágico deslizamento de um talude comum a duas pedreiras, de que resultou o colapso de um troço da estrada municipal entre Borba e Vila Viçosa (EM255), provocando 5 mortos, despertou a atenção das entidades públicas para a importância da avaliação do risco associado à instabilidade dos taludes das pedreiras, tendo sido implementado em 2019, o Plano de

Intervenção em Pedreiras em Situação de Risco (PIPs), aprovado na reunião do Conselho de Ministros, de 7 de fevereiro (RCM 50/2019).

No âmbito deste plano de intervenção, a Universidade de Évora realizou 34 estudos geológicos e geotécnicos, analisando a estabilidade dos taludes, em aproximadamente 40 cavidades de exploração de mármore ornamental, sendo feito um resumo das principais situações de risco identificadas e respetivas medidas de mitigação em Lopes et al. (2022a, b).

Na sequência dos estudos referidos, apresenta-se agora um caso de estudo singular em que a pedra em análise está confinada por limites geológicos com expressão regional e por limites de propriedade que condicionam o avanço da exploração, constatando-se um comportamento reológico distinto entre os mármore e o maciço encaixante, constituído por metavulcanitos básicos xistificados, que se repercute na qualidade geotécnica observada nas duas formações geológicas e consequentemente, na estabilidade dos taludes da cavidade.

2. CASO DE ESTUDO

2.1. Enquadramento geológico

A principal região de exploração de mármore ornamental em Portugal situa-se no distrito de Évora, na designada Zona dos Mármore, entre Estremoz – Borba – Vila Viçosa, numa área de 40 km por 7 km, desde Souzel a Noroeste até Alandroal a Sudeste, numa macroestrutura de forma substancialmente elíptica de orientação NNW-SSE, designada por Anticlinal de Estremoz (Figura 1), que se encontra individualizada no Setor Estremoz – Barrancos, da Unidade Tectonoestratigráfica Zona Ossa – Morena, pertencente ao Orógeno Varisco da Península Ibérica.

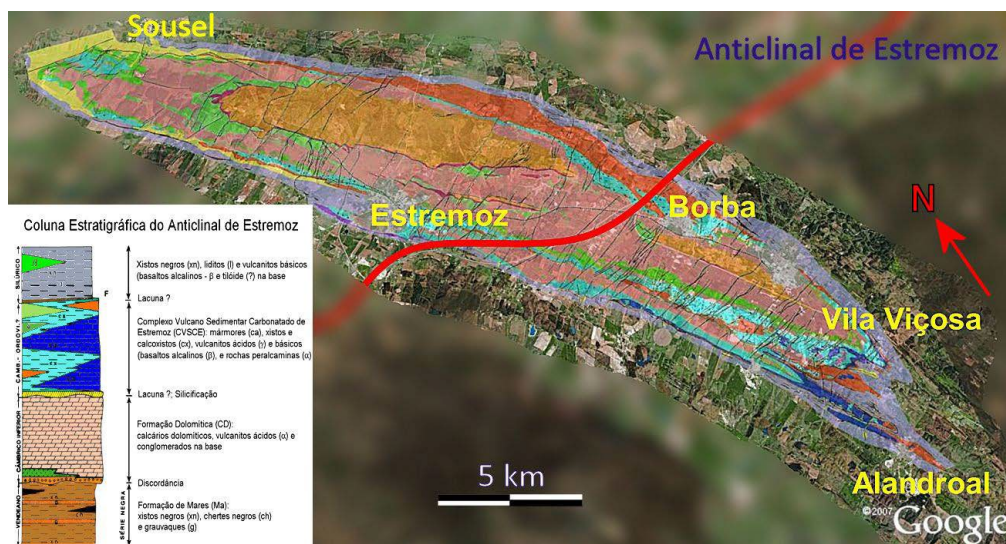


Figura 1 - Esboço Geológico do Anticlinal de Estremoz. A linha a vermelho representa a autoestrada A6 Marateca – Caia (adaptado de Lopes, 2007).

A sequência estratigráfica pré-silúrica do Anticlinal de Estremoz inclui: (1) grauvaques, xistos argilosos e chertes negros (Formação das Mares equivalente à Série Negra descrita em toda a Zona de Ossa-Morena), que afloram em duas manchas alongadas separadas no núcleo do Anticlinal de Estremoz; (2) arenitos arcósicos na base (em

discordância angular com as rochas da Série Negra) e calcários dolomíticos (~400 m) em direção ao topo (Formação Dolomítica, de idade Câmbria); (3) um horizonte silico-ferruginoso com expressão regional (rico em quartzo e óxidos e hidróxidos de Fe, à superfície e sulfuretos de Fe em profundidade); (4) mármore em camadas espessas (70-100 m, atingindo localmente mais de 400 m, por redobramento e/ou espessamento em zonas de charneira de dobras de 1ª ordem), intercalados com (meta) basaltos, riólitos e xistos argilosos (Complexo Vulcano-Sedimentar Carbonatado de Estremoz de idade Câmbria/Ordovícica, onde ocorrem os mármore com interesse como rocha ornamental) (Pereira et al. 2012).

A pedreira em estudo situa-se no flanco SW do anticlinal, na zona da Vigária, com lavra a céu aberto por degraus diretos, estando em exploração o 9º e o 10º piso. A cavidade tem uma geometria retangular (Figura 2).

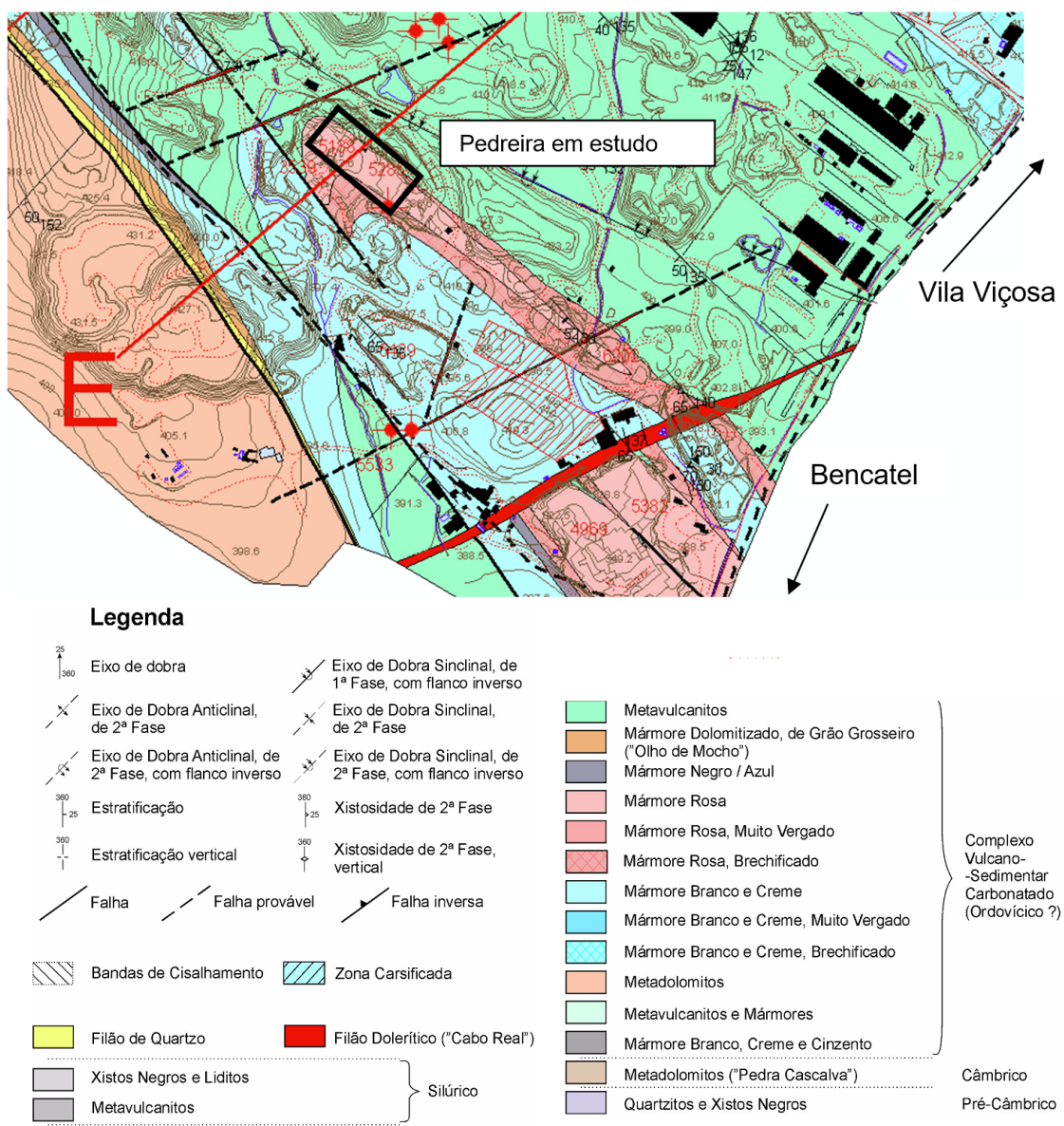


Figura 2 - Excerto da Carta Geológica do Anticlinal de Estremoz. Localização da pedreira onde é notório o confinamento geológico a NE pelos metavulcanitos e a SW por mármore cor-de-rosa brechificados, em pedreira adjacente. Adaptado de CEVALOR e IGM (2003).

2.2. Metodologia

O estudo incidiu na caracterização geológica e geotécnica da pedreira de forma a identificar as potenciais situações de instabilidade e propor medidas, se necessário, em posterior projeto de execução, que venham a resolver as situações identificadas, sem comprometer o futuro da exploração. A elaboração do estudo foi desenvolvida de acordo com a seguinte metodologia:

- Recolha da informação geológica e geotécnica;
- Breve visão geral da história da pedreira;
- Reconhecimento geológico de superfície;
- Análise e tratamento de toda a informação;
- Identificação e avaliação de riscos geotécnicos;
- Proposta de medidas e trabalhos a realizar.

A qualidade dos maciços rochosos ocorrentes na pedreira, foi classificada, quanto ao estado de alteração e ao espaçamento das descontinuidades, de acordo com o sistema de classificação designado por *Basic Geotechnical Description* (BGD) da *International Society of Rock Mechanics* (ISRM, 1980).

No reconhecimento geológico de superfície, foi realizada uma inspeção visual dos taludes da cavidade, fez-se o registo fotográfico de situações críticas, recolha de dados estruturais e hidrogeológicos, características físicas das descontinuidades, caracterização das litologias e do seu estado de alteração.

2.3. Resultados

Na cavidade da exploração, o maciço rochoso constituído, maioritariamente, por mármore, apresenta-se são a pouco alterado (W_1 - W_2) com reduzida espessura de solo residual (*terra rossa*) associado à carsificação, o que determina que a instabilidade potencial dos taludes depende das descontinuidades ocorrentes e da sua conjugação com a geometria da face dos taludes.

Como resultado da maior descompressão e alteração superficial, a abertura das fraturas ocorrentes é maior junto à superfície. Frequentemente estas descontinuidades encontram-se preenchidas por *terra rossa*. Assim, à medida que se percorre em profundidade a vertical do talude, em regra, a fraturação é menos expressiva.

O talude nordeste apresenta orientação $N57^\circ W$ e aproximadamente 126 m de comprimento. Como já se referiu, é constituído por metavulcanitos básicos xistificados. A xistosidade subvertical é penetrativa e bem desenvolvida (Figura 3). Ocorrem ainda outras famílias de descontinuidades com espaçamento entre 2 a 5 cm, portanto F_5 (muito próximas), o que contribui para uma intensa fraturação do maciço rochoso que é a principal causa de evidências de pequenas roturas e desmoronamentos, como se constata pelos blocos rochosos existentes nos patamares entre pisos, ao longo do talude.

Empiricamente e no sentido de mitigar a instabilidade mais evidente, o proprietário procedeu a trabalhos de sustimento com a construção de um muro de betão armado em grande parte do talude NE, minimizando os riscos de deslizamentos e/ou desmoronamentos. No extremo Sudeste do talude, que não se encontra reforçado com o muro de betão, os xistos apresentam fraturas abertas com espaçamento centimétrico, e acentuada instabilidade.



Figura 3 - Aspeto geral do Talude NE.

Na figura 4 apresenta-se a projeção estereográfica do plano do talude NE ($N57^{\circ}W$, $85^{\circ}SW$) e face livre para SW, assim como a xistosidade dos metavulcanitos básicos, com atitude $N55^{\circ}W$, $77^{\circ}SW$ (m1) e das principais famílias de diaclases ocorrentes, referenciadas como m2 ($N3^{\circ}W$, $75^{\circ}W$), m3 ($N60^{\circ}E$, $59^{\circ}NW$), m4 ($N32^{\circ}W$, $73^{\circ}NE$) e m5 ($N64^{\circ}E$, $27^{\circ}SE$).

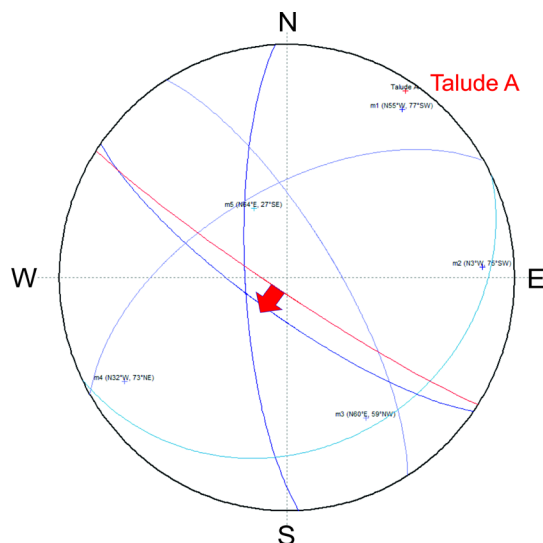


Figura 4 - Estereograma com a face do Talude NE e as descontinuidades ocorrentes.

Foi realizada uma análise das condições de estabilidade dos taludes da pedra, nomeadamente dos tipos de rotura de maior probabilidade de ocorrência. Apresenta-se a análise efectuada ao talude NE, tendo em consideração as suas características litológicas particulares, a sua proximidade à rampa de acesso à cavidade, e ainda a evidência de fenómenos de instabilidade.

O tipo de rotura mais provável é a rotura planar pelos planos da xistosidade (m1), dos metavulcanitos, porque a diferença entre as direções do talude e da xistosidade é inferior a 20° , assim como, embora com menor probabilidade, a rotura por *toppling* pela xistosidade, devido ao paralelismo entre as direções do talude e dos planos de xistosidade dos metavulcanitos e pela verticalidade de ambos. Menos provável será a ocorrência de rotura por cunha formada pela família de fraturas m2 e pela xistosidade,

porque o ângulo formado entre a direção da interseção e a direção de inclinação da face do talude é cerca de 25°.

Da análise dos dados estruturais, realizada com o programa *Dips* verificou-se que as famílias de discontinuidades com maior influência na estabilidade do talude NE, entre as descritas anteriormente, são as famílias de fraturas m2 e a xistosidade (m1), as quais podem ocasionar a ocorrência de diversos tipos de rotura (planar, por cunha e *toppling*), sendo bastante provável a rotura planar pela xistosidade, porque a diferença entre as direções do talude e da xistosidade é inferior a 5°. Na figura 5 apresenta-se o estereograma com a análise cinemática e a probabilidade de rotura planar no talude NE (teste de Markland). A xistosidade (m1) apresenta uma inclinação média de 77° para SW e uma direção média N55°W, subparalela à direção do talude NE (N57°W), o que satisfaz uma das condições fundamentais para que possa ocorrer uma rotura ou deslizamento planar (Hoek & Bray, 1981)

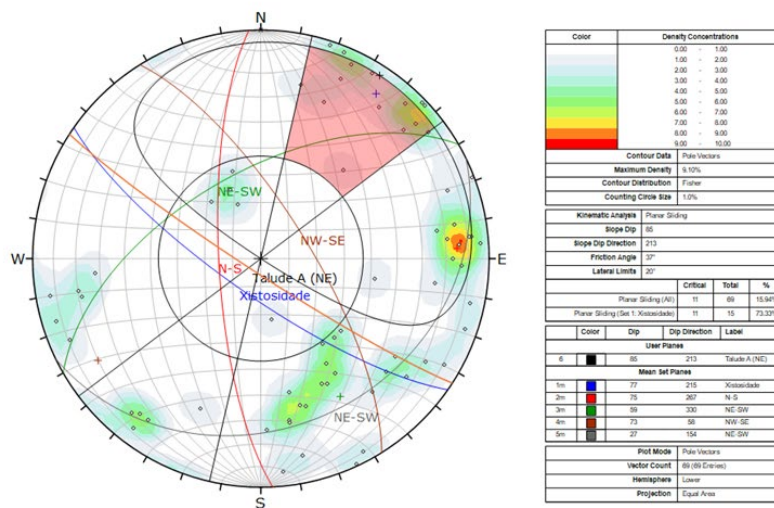


Figura 5 - Estereograma com a análise cinemática da rotura planar no Talude NE, através da xistosidade.

Na análise de estabilidade do talude NE, por não existirem valores sobre os parâmetros de resistência ao deslizamento segundo os planos de xistosidade, foram adotados valores de 0,25 MPa para a coesão e de 37° para o ângulo de atrito (Rocha, 1981). O cálculo do fator de segurança (FS) foi realizado pelo método do equilíbrio limite a duas dimensões, para o tipo de rotura planar (Hoek & Bray, 1981), recorrendo ao programa de cálculo automático *RocPlane* e considerando para efeitos de cálculo, uma altura média de 24 metros para o talude NE. Dado que não foram detetadas fendas de tração paralelas à direção do talude, quer na sua face, quer na parte superior do mesmo, adotou-se a situação da extremidade superior da superfície potencial de deslizamento, materializada pela xistosidade dos metavulcanitos, assim como, as condições mais desfavoráveis para a estabilidade do talude, ou seja, a pressão da água ao longo do plano de rotura, logo após um período de chuva intensa. Foi ainda adotado, um coeficiente sísmico de 0,1.

De acordo com os valores indicados para os diversos parâmetros, verifica-se que a estabilidade do talude é condicionada pela pressão intersticial da água nos planos de xistosidade. De facto, na situação do talude seco ou com preenchimento por água

inferior a 22%, da superfície potencial de deslizamento (ao qual corresponde uma pressão intersticial máxima de 0,052 MPa), o talude apresenta bons indicadores de estabilidade, registando-se um valor do FS superior a 3. Quando a pressão da água aumenta, o FS vai diminuindo até que se obtém um valor nulo, a partir do preenchimento por água da superfície potencial de deslizamento superior a 22% até à saturação completa da superfície de deslizamento (à qual corresponde uma pressão intersticial máxima da água de 0,235 MPa), apontando para uma significativa instabilidade do talude, como se pode observar na figura 6.

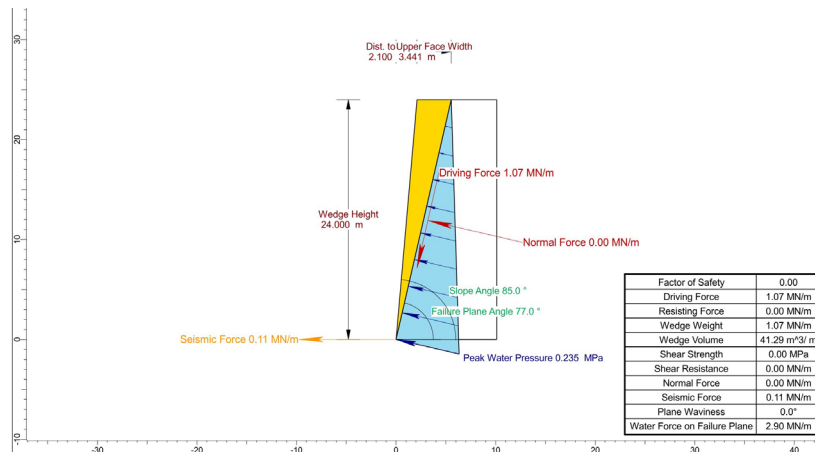


Figura 6 - Análise de estabilidade do Talude NE, com a superfície de rotura preenchida a 100%.

Relativamente à redução do risco de instabilidade do talude NE, para além do saneamento dos blocos que se encontram soltos, deve-se igualmente proceder ao saneamento dos patamares entrepisos, removendo os fragmentos de metavulcanitos que se destacaram do talude. A solução julgada mais adequada para melhorar a estabilidade do talude NE, consiste num reperfilamento do talude, retirando os blocos soltos e suavizando a sua inclinação, ficando com a mesma inclinação da xistosidade dos metavulcanitos, assim como, regularizar a plataforma no topo do talude e proceder à sua impermeabilização, ao longo dos seus 126 metros de comprimento, através do uso de geossintéticos, nomeadamente com a instalação de uma geomembrana de forma a impedir a infiltração de água nos xistos.

Para evitar fenómenos de punçoamento na geomembrana, sugere-se que o sistema de impermeabilização do topo do talude, seja constituído por diversas camadas de solo sobre o terreno natural, devidamente regularizado, aplicando uma camada de solo silto-argiloso, isenta de pedras e outros materiais angulosos, com 0,5 m de espessura, e uma condutividade hidráulica inferior a 10^{-9} m/s, sobre a qual se deve colocar um geotêxtil não tecido (400g/m^2) com uma função de proteção inferior da geomembrana de PEAD com um mínimo de 2 mm de espessura. Sobre a geomembrana, deve-se colocar um geotêxtil não tecido (400g/m^2) com uma função de proteção superior da mesma, e sobre este geotêxtil colocar uma camada solo drenante, com uma espessura mínima de 0,5 m, isenta de material calcário, com a função de drenagem das águas pluviais. Nas zonas inclinadas desta área impermeabilizada, poderá ser instalada uma estrutura de geocélulas para controlo da erosão. Esta camada drenante deverá ser integrada em valetas e caixas de drenagem para garantir o escoamento adequado das águas superficiais.

Para além das sugestões referidas com vista à redução do risco geológico, sugere-se também a desativação da rampa de acesso, junto ao talude NE, evitando assim, custos adicionais com a estabilização do mesmo. A desativação da rampa de acesso, com interdição da circulação de pessoas e máquinas, funcionaria como faixa de segurança.

Embora a metodologia tradicional de movimentação de equipamentos e de extração de blocos através de rampa de acesso seja um método mais rápido, neste caso particular, a utilização da grua seria vantajosa, porque a área de exploração é bastante confinada e sem perspectiva de alargamento. Embora implique uma reativação e reposicionamento para SE da grua, esta solução permitiria a exploração da massa com valor comercial que se encontra por baixo do talude sudeste. Assim, a extração de blocos e escombros seria garantida pela utilização da grua posicionada no topo do talude sudeste da cavidade.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho salienta uma situação singular de uma pedreira cujo avanço da exploração está condicionado pelo contexto geológico regional em que está inserida e pelo limite de propriedade, condicionando a atividade mineira a uns escassos 45 m de largura.

No talude nordeste da cavidade, é evidente essa condicionante geológica da lavra de exploração dos mármore, materializada pela presença de um maciço encaixante, constituído por metavulcanitos básicos xistificados, que para além de não terem aptidão ornamental nem interesse comercial, apresentam características geotécnicas que lhe conferem um comportamento reológico distinto, similar aos xistos. É evidente o contraste entre o grau de fraturação do maciço rochoso marmóreo e o maciço encaixante. Este apresenta um comportamento reológico mais dúctil e anisotrópico devido à xistosidade penetrativa bem desenvolvida. Este aspeto vai ser determinante na estabilidade dos taludes constituídos por estas rochas metamórficas.

Recorrendo a técnicas de análise estrutural, caracterizaram-se as principais famílias de fraturas que ocorrem na cavidade, assim como a sua distribuição espacial. Os dados colhidos foram analisados recorrendo a *software* específico, tanto para a análise cinemática que nos fornece o tipo de rotura mais provável, como para a análise da estabilidade de cada um dos taludes da cavidade.

São propostas medidas consideradas adequadas à solução do problema, entre as quais, a eliminação da atual rampa de acesso ao fundo da cavidade, tendo em consideração a inexistência de espaço suficiente para diminuir a inclinação do talude em estudo, de forma a obter um fator de segurança adequado a um talude permanente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Empresa J. Mendes Nobre Lda, o apoio aos trabalhos desenvolvidos. Trabalho desenvolvido no âmbito da FCT, através do ICT, referência UIDB/04683/2020 e do GeoBioTec, referência UIDB/04035/2020.

REFERÊNCIAS

- CEVALOR e IGM (2003) “Cartografia Temática do Anticlinal como Instrumento de Ordenamento e Apoio à Indústria Extractiva,” Projecto cofinanciado pelo FEDER e Estado Português (POR-Alentejo-AIZM).
- Germano, D., (2013). *Análise da evolução da recuperação ecológica em pedreiras de mármore inativas no anticlinal de Estremoz: Avifauna, Flora e Vegetação*. Tese de Mestrado em Qualidade e Gestão do Ambiente. Universidade de Évora, 169p.
- Germano, D., Lopes, L., Gomes, C. P., Santos, A. P., Martins. R. (2014). *O impacte das pedreiras inativas na fauna, flora e vegetação da zona dos mármore: problema ou benefício? Callipole* – Revista de Cultura, 21, 161-183.
- Hoek, E. e Bray, J. (1981). *Rock Slope Engineering*, 3rd ed, Inst. Mining and Metallurgy, London, UK.
- ISRM (1980. *Basic Geotechnical Description of Rock Masses*. Com. on Classification of Rocks and Rock Masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. (18): pp.85-110.
- Lopes, L. (2007). O triângulo do Mármore – Estudo Geológico, Revista *Monumentos*, 27, 58-167. Lisboa: IPPAR/IRHU. ISSN: 0872-8747.
- Lopes, L., Martins, R., Pinho, A., Duarte, I. e Faria, P. (2022a). Dimension Stone Quarries Risk Assessment Estremoz Marbles. *Proceedings of 3rd International Workshop on Natural Hazards. NatHaz'22 Volcanic risks*. Terceira Island, Azores. 26th and 27th of May 2022. Laboratório Regional de Engenharia Civil.
- Lopes, L., Pinho, A., Cavaco, F., Duarte, I., Bonito, N., Faria, P., Martins, R. (2022b). O plano nacional de intervenção nas pedreiras em situação crítica, estabilidade de taludes e questões de segurança no trabalho nas pedreiras do anticlinal de Estremoz, Portugal. *Livro de atas do 9º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia / VI Congresso de Engenharia de Moçambique, CLME 2022/IV CEM – Desafios da Engenharia na Cooperação para o Desenvolvimento e Combate às Alterações Climáticas*. J.F. Silva Gomes, Carlos C. António Clito F. Afonso e António S. Matos (ed.). Maputo 28 de agosto – 1 de setembro 2022. ISBN 978-989-54756-4-3. pp. 287-288
- Moreira, N. e Lopes, L. (2019). *Caracterização dos Mármore de Estremoz no contexto dos Mármore da Antiguidade Clássica da Zona de Ossa-Morena*. In: Serrão, V.; Soares, C.; Carneiro, A. (Eds.), Mármore: 2000 Anos de História. Da Antiguidade à Idade Moderna, Theya Editores. Lisboa, Vol. I, pp.13-54
- Pereira, M, Solá R, Chichorro, M, Lopes, L, Gerdes, A, Silva. J (2012). *North-Gondwana assembly, break-up and paleogeography: U–Pb isotope evidence from detrital and igneous zircons of Ediacaran and Cambrian rocks of SW Iberia*, ISSN 1342-937X, <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.02.010> Gondwana Research 22 (3–4): pp. 866-881
- Pinho, A., Lopes, L., Duarte, I., Nogueira, P. (2010). Rock slope stability of the quarries of Estremoz marble zone (Portugal) – A case study. *The 11th International Association of Engineering Geology Congress 2010 (IAEG) – Geologically Active*. Auckland, New Zealand, 5-10 September 2010. In: Williams, A.L., Pinches, G.M., Chin, C.Y., McMorran, T.J., Massey, C.I (eds). *Geologically Active. Proceedings 11th IAEG Congress*, CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, London, UK. (Hbk + CD-ROM), ISBN: 978-0-415-60034-7, pp 2657-2664.