

ESTUDOS DE RETROANÁLISE DO DESLIZAMENTO DE TALUDES OCORRIDO NUMA PEDREIRA DE CALCÁRIO

BACKANALYSIS STUDIES OF SLOPES SLIDINGS OCCURRED IN A LIMESTONE QUARRY

Dinis da Gama, Carlos, *IST, Lisboa, Portugal*, dgama@ist.utl.pt
Sousa, Ascencion, *Bucelbritas, Bucelas, Portugal*, ascencionsousa@yahoo.com.br

RESUMO

É apresentada uma retroanálise sobre o deslizamento de taludes ocorrido na pedreira de calcário de Calhariz, que envolveu mais de 100.000 m³ de rocha.

As tarefas de formulação da base de dados sobre o sucedido envolveram a definição da respectiva tipologia, graus de perigosidade, elaboração de fichas de riscos e tratamento de informações sobre deslocamentos de massa.

Descrevem-se as análises de estabilidade que permitiram avaliar as propriedades geotécnicas de resistência ao corte das feições geológicas que ocasionaram o deslizamento e utilizaram-se essas parâmetros para o dimensionamento de futuros taludes da pedreira.

ABSTRACT

A backanalysis performed on the slope sliding that happened at the Calhariz limestone quarry, which involved the failure of 100,000 m³ of rock, is presented

The data base formulation tasks on the event are described, involving the definition of the corresponding typologies, liability degrees, risk log completion and information processing on mass wasting.

Stability analyses are described and allowed the determination of geotechnical properties on the shear strength of the geological features that caused the sliding, and those were used for the design of future slopes in the quarry.

1.INTRODUÇÃO

Os deslizamentos que ocorrem nas frentes de desmonte das pedreiras são consequências da natureza geotécnica dos maciços rochosos que as formam e das condições operacionais de exploração, designadamente o impulso da água subterrânea e os efeitos das vibrações provenientes das frequentes detonações.

Como qualquer maciço rochoso constitui um meio descontínuo que essencialmente se compõe de blocos sólidos separados por descontinuidades, é sabido que estas últimas predominam no comportamento tenso-deformacional dos maciços rochosos. Tal comportamento depende das características das descontinuidades (estratificação, diaclases, falhas, xistosidades, superfícies de fraqueza, etc.), assim como a litologia da rocha matriz e a sua história evolutiva. Nas descontinuidades há a considerar o seu tipo, origem, distribuição espacial, tamanho, persistência, espaçamento, rugosidade, natureza do preenchimento, presença de água, etc. Roberts ⁽¹⁾ sugere correlações entre a rugosidade dessas descontinuidades e os seus ângulos de atrito, como mostra a Tabela 1.

Hoek & Bray ⁽²⁾ vão mais longe, classificando 24 grupos de valores das duas propriedades de resistência ao corte dos maciços terrosos e rochosos (coesão e ângulo de atrito) descrevendo a respectiva composição e estrutura, de forma compatível com os dados de observação de taludes,

tal como refere a Tabela 2. Estes autores assinalam que a ordem de grandeza dessas duas propriedades foram obtidas por meio de estudos de retroanálise, atribuindo-lhes assim maior credibilidade que aos resultados de ensaios laboratoriais.

Tabela 1 - Classificação de juntas, com rugosidades e ângulos de atrito, segundo Roberts [1].

Classes de juntas	Rugosidade	ϕ para baixas pressões normais	ϕ para altas pressões normais ($> 20\text{kg/cm}^2$)
1	Preenchimento argiloso	Controlado pelo preenchimento	Controlado pelo preenchimento
2	Junta lisa	31 a 40°	29,5°
3	Junta pouco rugosa	38 a 47°	32,5°
4	Junta rugosa com degraus	40 a 50°	36°
5	Junta muito rugosa	$> 50^\circ$	42°

Tabela 2 - Relação entre a coesão e ângulo de atrito mobilizados na rotura de taludes rochosos, segundo Hoek e Bray [2].

	ϕ_1 (Resistência residual de superfícies cisalhadas)	ϕ_2 (Material remoldado com partículas arredondadas e frágeis e apreciável conteúdo de argilas)	ϕ_3 (Solo não remoldado e maciços rochosos com pequeno conteúdo de material argiloso)	ϕ_4 (Maciços rochosos ou enrocamentos com blocos limpos de rocha dura)	
	C_6, ϕ_1	C_6, ϕ_2	C_6, ϕ_3	C_6, ϕ_4	C_6 (Maciços rochosos duros e não perturbados, sem descontinuidades importantes mergulhando dentro do talude)
400	C_5, ϕ_1	C_5, ϕ_2	C_5, ϕ_3	C_5, ϕ_4	C_5 (Maciços rochosos duros e não perturbados, sem juntas mergulhando para dentro do talude)
300	C_4, ϕ_1	C_4, ϕ_2	C_4, ϕ_3	C_4, ϕ_4	C_4 (Maciços rochosos não perturbados, com poucas juntas mergulhando para dentro do talude)
200	C_3, ϕ_1	C_3, ϕ_2	C_3, ϕ_3	C_3, ϕ_4	C_3 (Maciços rochosos brandos ou rochas duras compartimentadas por detonações ou excesso de carregamento)
100	C_2, ϕ_1	C_2, ϕ_2	C_2, ϕ_3	C_2, ϕ_4	C_2 (Rocha branda alterada ou descontinuidades em rocha dura)
40	C_1, ϕ_1	C_1, ϕ_2	C_1, ϕ_3	C_1, ϕ_4	C_1 (Solos argilosos e arenosos)
0					
	15°	25°	35°	50°	
	Ângulo de Atrito (graus)				

Estes duas tabelas permitem comparar e validar os valores de c e f obtidos para taludes em solo e em rocha e servem para estimar os parâmetros de resistência de maciços pouco conhecidos, ou para a realização de análises de estabilidade expeditas.

Da rocha matriz há que conhecer sua natureza, características resistentes, meteorização, alterabilidade, etc. Geralmente os diferentes tipos de rotura que se produzem nos meios rochosos seguem superfícies preexistentes, mesmo quando os maciços estão fortemente fracturados podem desenvolver-se novas superfícies de corte, similares às produzidas nos solos.

O conhecimento deste conjunto de características constitui o primeiro passo na análise de estabilidade de taludes naturais e no projecto de desmontes a escavar em meios rochosos, salientando-se:

- Factores condicionantes e desencadeantes
- Factores naturais
- Água
- Escavações
- Detonações

A instabilidade dos taludes traduz-se numa série de movimentos, que podem ser classificados segundo diversos critérios. A fase de reconhecimento e classificação do tipo de movimento é de grande importância, já que pode condicionar a análise e como prever o controle e a estabilidade do mesmo. Os tipos mais conhecidos de deslocamentos são os seguintes: queda de blocos, “toppling” ou tombamento, deslizamentos rotacionais e translacionais e movimentos complexos envolvendo alguns dos anteriores.

2 TIPOLOGIA E PERIGOSIDADE

Existe uma relação de dependência entre os distintos tipos de movimentos e suas consequências, e essa dependência permite a definição dos conceitos de risco e perigosidade.

Nos movimentos dos taludes há uma série de factores que influenciam as consequências que as roturas podem originar. Estes factores são:

- A velocidade com que se desenvolve o fenómeno;
- O volume de material envolvido;
- A frequência com que se produzem os movimentos.

A velocidade com que se produz o movimento depende da:

- Inclinação do talude;
- Forma da superfície de rotura;
- Propriedades físicas dos materiais;

Neste caso é possível identificar o intervalo de velocidades associado ao deslizamento ocorrido, que varia entre muito rápido (10 m/seg. – 1 m/min) e muito lento (1 m/dia – 1 m/ano).

O risco envolvido nos escorregamentos depende da sua maior ou menor probabilidade de ocorrência e da importância dos danos resultantes.

A perigosidade consiste em avaliar as consequências dessa instabilidade devido a determinadas circunstâncias, a nível humano assim como material. O nível de risco associado a cada tipo de escorregamento há de vir ligar a avaliação de parâmetros determinantes da sua estabilidade: topografia, hidrologia, descontinuidades, etc.. Também há que envolver a possibilidade do movimento ocorrer, a sua trajectória mais provável e os antecedentes da zona. Os níveis de risco podem dividir-se em quatro categorias: risco mínimo, risco médio, risco elevado e risco muito elevado.

A perigosidade depende da zona em que pode originar-se o movimento. Também depende da velocidade com que se produz o movimento e o volume envolvido neste. Geralmente estes três parâmetros são correlacionáveis entre eles e determinantes para atribuir uma perigosidade ao maciço.

As causas dos deslizamentos podem ser estabelecidas por observações “*a posteriori*” ou “*retro-análise*” em casos de deslizamentos recentes e, sempre que se possam monitorizar “*in situ*”, os deslocamentos e outros parâmetros necessários à sua caracterização..

3 ELABORAÇÃO DE UM MODELO GEOMECÂNICO

Quando se inicia o estudo de estabilidade de taludes torna-se necessário estabelecer um plano detalhado que englobe as principais fases do trabalho, dispostas numa sequência racional, que conduz ao controlo de estabilidade das várias frentes de desmonte. Para tal é normalmente utilizado um modelo geomecânico (Fig. 1) que ordena e facilita o estudo.

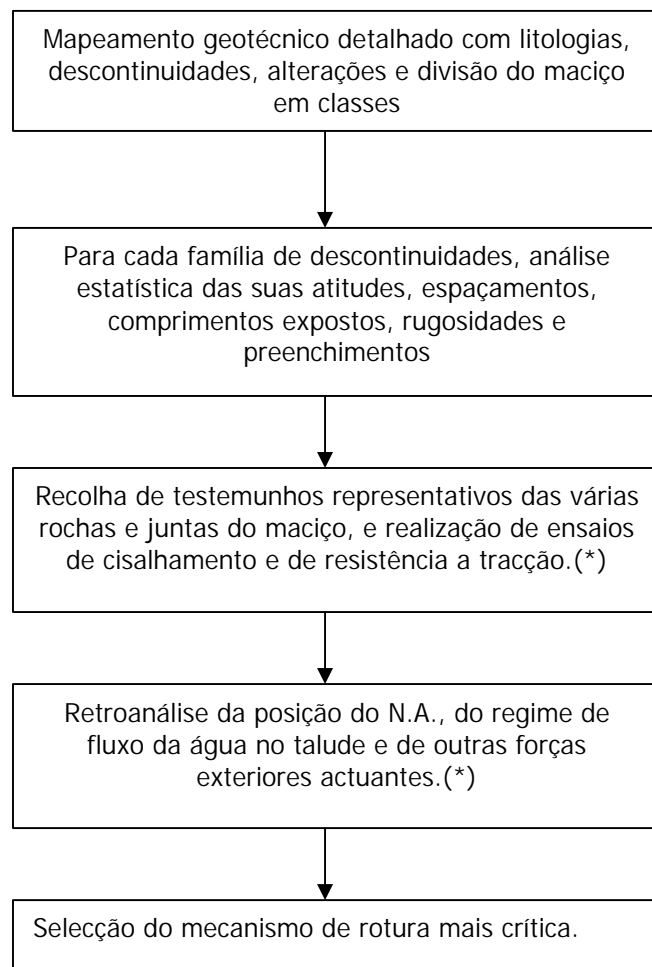


Fig. 1 - Modelo geomecânico aplicado ao estudo de estabilidade de taludes (Gama⁽³⁾)

(*): Estes pontos podem ser realizados em simultâneo com as três primeiras etapas, pois se o deslizamento ocorreu após algum estudo, é possível identificar o mecanismo e estudar as características do maciço no momento do deslizamento.

Relativamente às famílias de descontinuidades e juntas é necessário caracterizar os seguintes parâmetros: continuidade, atitude e posição no espaço, espaçamento, materiais de preenchimento e rugosidade.

4 CARACTERIZAÇÃO DOS DESLIZAMENTOS

Os deslizamentos de taludes na pedreira de Calhariz ocorreram há cerca de dois anos, o que impediu o estudo de alguns itens. Após os eventos, estudou-se a litologia dos materiais, realizaram-se diversos ensaios geotécnicos de resistência à compressão e ao corte, principalmente ao longo de diaclases, deduziu-se o mecanismo de rotura e efectuou-se a correspondente retroanálise.

O material rochoso que constitui o maciço apresenta uma alternância de camadas de calcários de várias cores, datado do Jurássico inferior e médio, intercalando com estratos de argilas. Nos níveis superiores da segunda bancada que deslizou é possível observar terras de cobertura com uma espessura que varia entre os vinte centímetros e um metro.

As camadas ou estratos são aproximadamente planos e inclinação quase paralela à frente de trabalho e com um mergulho médio de 22º (segundo os dados geológicos apresentados na adaptação do 270/2001). O deslizamento ocorreu na zona poente (W) da pedreira e ocupa uma área de cerca 14 000 m², envolvendo um volume aproximado de 100 000 m³ (empolado).

No terreno, detectou-se uma sucessão de camadas que se resumem no esquema da Fig. 2, tendo permitido atribuir a essência do mecanismo de deslizamento planar a um escorregamento ao longo de uma estreita camada argilosa, após um período intenso de chuva. O volume que deslizou foi limitado por uma fenda de tracção originada devido aos rebenfamentos anteriormente ocorridos nos desmontes e, também, pelo facto de o maciço ser bastante fracturado.

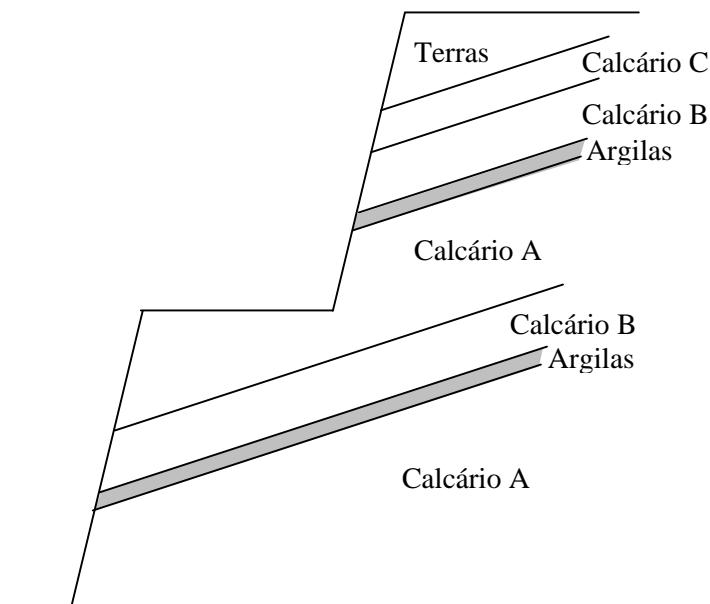


Fig. 2 - Corte vertical do talude antes do deslizamento



Fig. 3 – Aspectos dos deslizamentos ocorridos, observados na sua base e no seu topo

Postulando que os taludes se encontravam em situação de equilíbrio limite quando ocorreram os deslizamentos, calculam-se as condições em que se encontrava o maciço no momento da rotura, ou seja, quando o factor de segurança era igual a 1. Para tal aplicou-se às equações próprias dos deslizamentos planares, respectivamente sobre o primeiro deslizamento (Fig. 4) e o segundo (Fig. 5).

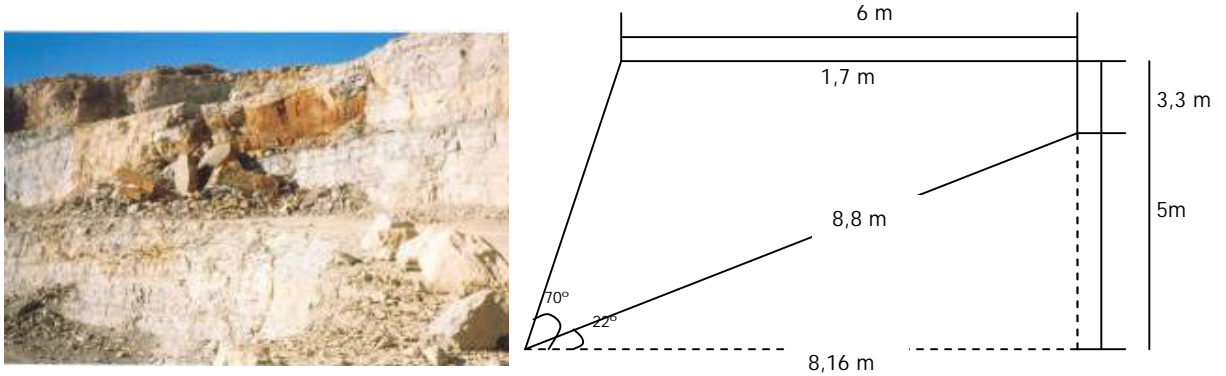


Fig. 4 – Aspecto geral e dimensões do primeiro deslizamento

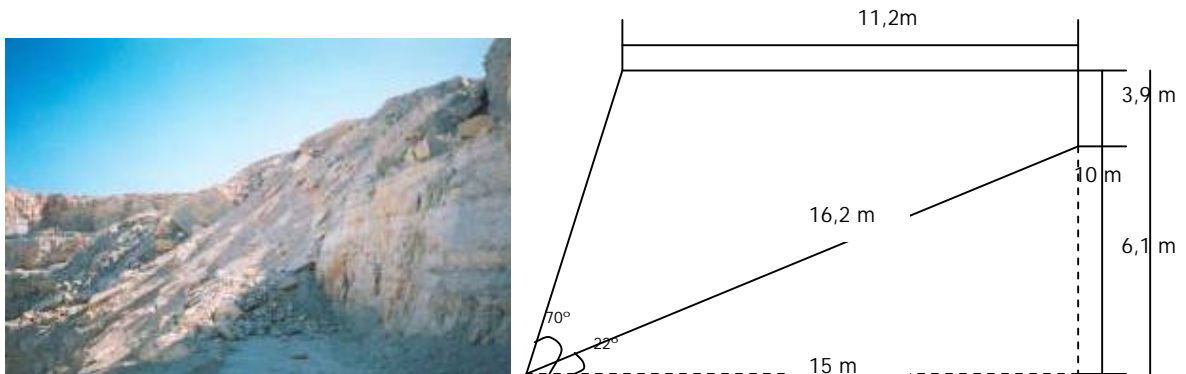


Fig. 5 – Aspecto geral e dimensões do segundo deslizamento

A expressão do factor de segurança dos deslizamentos planares é a seguinte:

$$F_s = \frac{(P \cdot \cos \alpha - U - V \cdot \sin \alpha) \cdot \operatorname{tg} \phi + c \cdot A}{P \cdot \operatorname{sen} \alpha + V \cdot \operatorname{sen} \alpha}$$

onde P é o peso do volume de maciço instabilizado, α o ângulo de inclinação da superfície de escorregamento, U e V são os impulsos da água respectivamente sobre o plano basal e na fenda de tracção vertical, A é a área desse plano, c e f são a coesão e o ângulo de atrito da camada argilosa da base do volume de rocha que deslizou.

Face aos dados topográficos pré-existentes e aos da geometria pós evento, determinaram-se as variáveis da equação, respectivamente no primeiro deslizamento:

$$g = 26 \text{ KN/m}^2 \text{ (rocha calcária)}$$

$$A = \text{Área da cunha} = \frac{6 + 3,3/\text{tg } 22}{2} * 5 - \frac{3,3/\text{tg } 22 \cdot 3,3}{2} = 21,96 \text{ m}^2$$

$$P = \text{Peso da cunha} = \text{Área da cunha} \cdot g_{\text{material}} \Rightarrow 21,96 \cdot 26 = 570,96 \text{ KN / m}$$

$$F_s = \frac{(570,96 \cdot \cos 22 - 3,3 \cdot 8,8 \cdot 10 \cdot 0,5 - 0,5 \cdot 1,7^2 \cdot 10 \cdot \sin 22) \cdot \text{tg } f + 8,8 \cdot c}{570,96 \cdot \sin 22 + 0,5 \cdot 1,7^2 \cdot 10 \cdot \cos 22}$$

$$F_s = \frac{378,77 \cdot \text{tg } a + 8,8 \cdot c}{213,89 + 13,394} \Rightarrow 227,28 = 378,77 \cdot \text{tg } a + 8,8 \cdot c \quad (1)$$

e no segundo:

$g_{\text{material}} = 25 \text{ KN/m}^2$ (neste caso existe o peso e massa dos terrenos sobrejacentes o que diminui o g pois a areia tem um peso inferior a rocha.)

$$\text{Área da cunha} = \frac{11,2 + 6,1/\text{tg } 22}{2} * 10 - \frac{6,1/\text{tg } 22 \cdot 6,1}{2} = 85,44 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso da cunha} = \text{Área da cunha} \cdot g_{\text{material}} \Rightarrow 85,44 \cdot 25 = 2135 \text{ KN / m}$$

Quando a cunha deslizou-se sobre o estrato de argila o facto de segurança modificou-se, entrando num sistema de equilíbrio, ou seja, $FS = 1$. Como tal obteve-se a seguinte equação:

$$F_s = \frac{(2136 \cdot \cos 22 - 6,1 \cdot 16,2 \cdot 10 \cdot 0,5 - 0,5 \cdot 3,9^2 \cdot 10 \cdot \sin 22) \cdot \text{tg } f + 16,2 \cdot c}{2136 \cdot \sin 22 + 0,5 \cdot 3,9^2 \cdot 10 \cdot \cos 22}$$

$$F_s = \frac{1457,88 \cdot \text{tg } a + 16,2 \cdot c}{800,16 + 70,51} \Rightarrow 870,67 = 1457,88 \cdot \text{tg } a + 16,2 \cdot c \quad (2)$$

Resolvendo o sistema de duas equações, obtêm-se as incógnitas:

$$c = 220 \text{ kPa} \quad f = 31,7^\circ$$

A aplicação destes valores na Tabela 2, permite-nos concluir que se trata de um maciço caracterizado por (c_4, f_3) , ou seja, trata-se de um maciço rochoso não perturbado com poucas juntas mergulhando para dentro do talude e com um conteúdo de material argiloso baixo. Tais

asserções puderam ser confirmadas na observação do maciço, pois existem várias camadas de argila (cinzenta nas zonas do calcário cinzento e amarelo na zona do calcário amarelo), com um mergulho das camadas para o interior da pedraira naquela zona e para o interior do maciço nas zonas laterais.

5 MONITORIZAÇÃO DO DESLIZAMENTO EXISTENTE

Tornou-se necessário detectar novos movimentos do talude, quer na zona afectada quer na sua vizinhança. Assim procedeu-se à sua monitorização, através da medição da abertura de sete fendas que se encontram localizadas em diversas zonas que poderiam vir a deslizar. Caso existisse algum movimento este seria identificado e poderia evitar algum acidente com consequências graves.



A monitorização foi realizada ao longo de 3 meses e dela resultaram numerosos dados que conduziram à conclusão que as fendas se encontravam estabilizadas. Assim, foi possível elaborar as fichas técnicas do nível de risco e do seguimento dos movimentos de deslizamento, as quais se apresentam seguidamente.

Tabela 3 - Ficha de avaliação do nível de risco

Zona: Talude de uma pedraira a céu aberto					
Localização: Pedreira do Calhariz – Fornecedor de Britas do Carregado, S.A.					
Observador: Eng. ^a Ascension de Sousa					
Condições da zona				Influência sobre a	
Equilíbrio actual				trajectória	
Estável (0)	Estrito (1)	Crítico (2)		0	Topografia
Evolução					Vegetação
Nula (0)	Progressão (1)			0	Protecção
Topografia					
Suave <10 (0)	Media 10-30 (1)	Forte >30 (2)		1	
Volume (m ³)					
<10 (0)	10-100 (1)	100-1000 (2)	>1000 (3)	3	
Danos possíveis					
Humanos		Materiais			
Não (0)	Sim (3)	Ligeiros (1)	Médios (2)	Catastróficos (3)	0
				2	
0-4: Risco baixo		(R ₀)			
4-8: Risco médio		(R ₁)			
8-12: Risco elevado		(R ₂)			
12-16: Risco muito elevado		(R ₃)			

A soma dos índices é igual a 6, logo está-se perante um risco médio.

Tabela 4 - Ficha de seguimento dos movimentos do deslizamento

Zona de instabilidade: Talude de uma pedreira a céu aberto	
Localização: Pedreira do Calhariz	Observador: Eng. ^a Ascension Sousa
Fotografia: 	Localização: 
Tipologia: Deslizamento translacional com rotura plana	
Volume (m³): 108 368	
Natureza do material: material rochoso e terras de coberturas (1ª bancada e 2ª bancada)	
Altura (m):	Talude (°): 70°
	Zona instável: 32 metros (sem contar com os taludes ocupados)
Circunstâncias: chuvas constantes e presença de uma camada de argila	
Danos:	Humanos: Não
	Materiais: Danificação de algumas frentes de trabalho
Antecedentes:	Não existem
Descrições:	O deslizamento observado corresponde à soma de dois deslizamentos em dois taludes diferentes. Neste momento já é possível identificar alguma vegetação, o que nos indica uma certa estabilidade do maciço.

Como se pode verificar, a área afectada é extensa, sendo necessário precauções adicionais ao retomar a exploração na zona dos deslizamentos.

6. CONCLUSÕES

Descreeveram-se os trabalhos de acompanhamento de uma rotura de taludes no interior da pedreira do Calhariz, com a explicação do seu provável mecanismo de deslizamento, incluindo a determinação dos parâmetros geotécnicos da feição que teria desencadeado o fenómeno. Tais informações são de utilidade para a retoma dos trabalhos na zona afectada e para se evitarem repetições desse evento que possam afectar outros taludes da mesma pedreira.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradem à empresa Fornecedora de Britas do Carregado, S.A., na pessoa do seu director, Eng.^o Bento Gonçalves, a autorização para divulgar os dados técnicos da pedreira do Calhariz.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Roberts, A., Geotechnology. Pergamon Press, London, 1977
- [2] Hoek, E. and Bray, J., Rock Slope Engineering. Institution of Mining and Metallurgy, London, 1977
- [3] Gama, C. D., Reprojecto de dois taludes com abordagem probabilística da estabilidade. 5º Congresso Nacional de Geotecnia, Coimbra, 1995