

ANEXO II. Metodologia para aplicação do Índice de Suscetibilidade de Instabilidade de Taludes em Terrenos Vulcânicos (ISTV)

II.1. Introdução

O Índice de Suscetibilidade de Instabilidade de Taludes em Terrenos Vulcânicos (ISTV) permite avaliar o grau de instabilidade geomorfológica em função de uma série de fatores predominantes observados em numerosos casos relacionados com problemas de queda de rochas ou desprendimentos.

Os principais objetivos específicos são os seguintes:

- fornecer um procedimento de aplicação fácil e rápida, sem recurso a meios especializados, para identificar taludes com maior possibilidade de sofrerem queda de blocos rochosos;
- fornecer critérios para a adoção de medidas preventivas; e
- seleccionar as zonas que requeiram maior atenção para a realização de estudos pormenorizados para a estabilização e controlo dos taludes.

Quanto ao âmbito, o ISTV tem um carácter de avaliação preliminar, e deve ser complementado com estudos adicionais nos taludes que requeiram a adoção de medidas de estabilização ou controlo. Este índice é aplicável a rochas vulcânicas com as seguintes exceções:

- materiais muito meteorizados ou alterados; e
- aterros, depósitos de vertente ou coluvionares.

II.2. Fluxograma

Na figura seguinte é apresentado um fluxograma onde se indicam os passos a seguir para o cálculo do ISTV (Figura II.1):

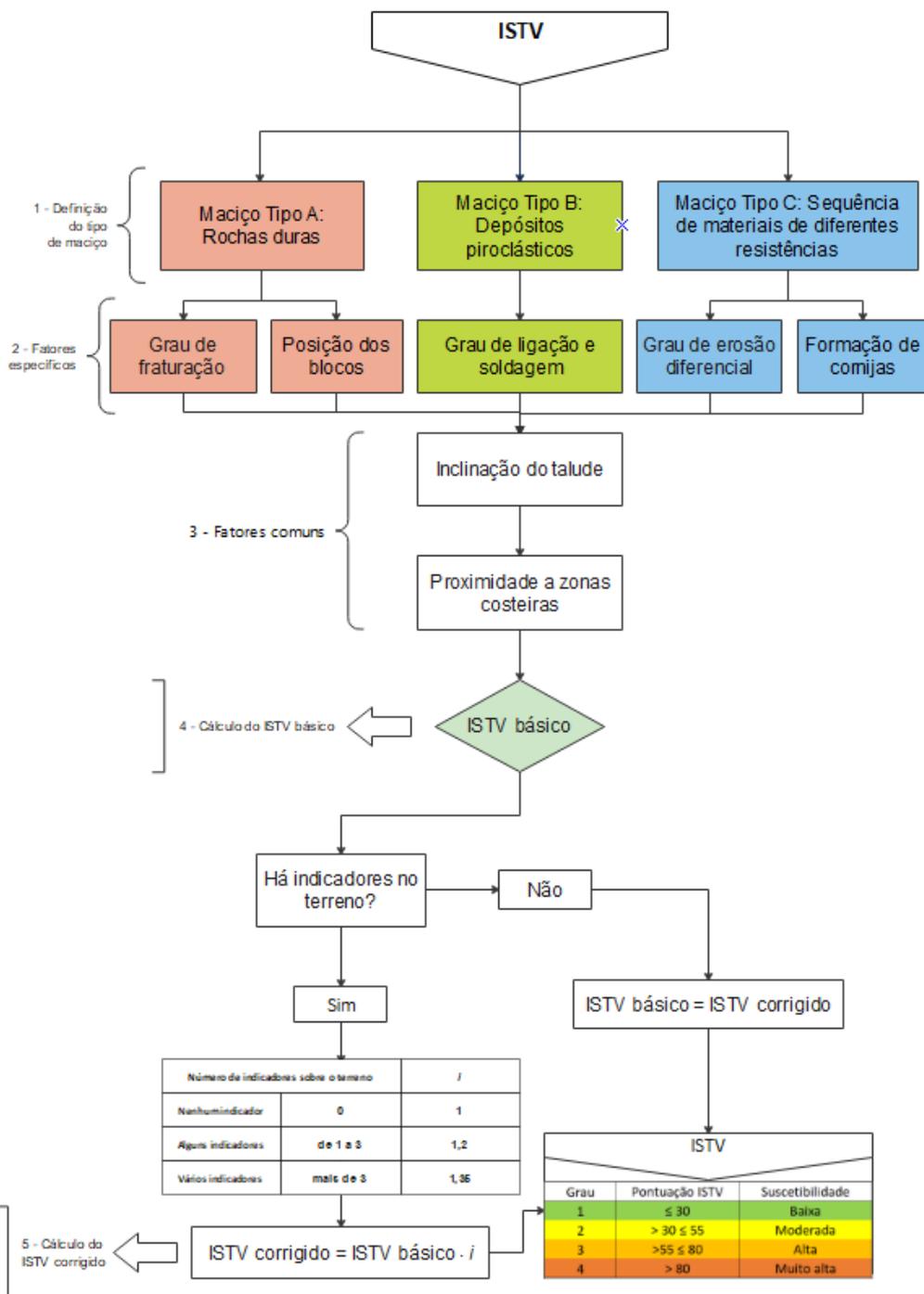


Figura II. 1. Fluxograma para cálculo do ISTV.

II.3. Definição de parâmetros

Neste ponto define-se cada um dos parâmetros e descreve-se a metodologia recomendada para a recolha de dados. Esta foi adaptada às necessidades e capacidades deste índice, permitindo que seja realizada a análise de forma rápida, simples e precisa, sem a necessidade de utilização de instrumentos específicos.

Os fatores estão classificados em três grupos: em primeiro lugar, os específicos para cada tipo de maciço, posteriormente os fatores comuns, que são aplicáveis aos três tipos, e por último os indicadores no terreno e nas infraestruturas.

A cada parâmetro é atribuído um valor que é indicado na última coluna dos quadros que são apresentados mais adiante. O índice ISTV básico é obtido mediante a soma da ponderação dos parâmetros específicos e comuns. O ISTV corrigido é obtido através do produto do ISTV básico pelo fator correspondente ao número de indicadores de instabilidade geomorfológica que se observam no terreno e nas infraestruturas.

II.3.1. Fatores específicos do tipo de maciço

Tendo por base as unidades geotécnicas e as suas características, bem como os tipos de problemas que possam apresentar (Anexo I), foi efetuada uma classificação dos taludes em três tipos: A, B ou C. Cada tipo de maciço tem características específicas e alguns parâmetros a observar, próprios do material ou materiais constituintes e, para cada caso, uma forma de desencadeamento de instabilidades. Em seguida, descrevem-se cada um dos tipos de taludes, bem como os fatores associados a cada um deles:

TALUDES DO TIPO A

São aqueles em que predominam as rochas duras: escoadas basálticas e sálicas (traquitos, fonólitos e riólitos) ou piroclastos compactos como podem ser os tufos ou ignimbritos soldados. Na Figura II.2 apresentam-se dois exemplos de taludes do tipo A. Neste tipo de taludes, as quedas de blocos, onde se incluem “fragmentos” (material rochoso de pequenas dimensões na ordem dos centímetros a milímetros) e o basculamento/tombamento, são as instabilidades geomorfológicas mais frequentes, sendo o seu principal problema, ou causas da instabilidade, a fraturação e o diaclasamento.



Figura II. 2. Exemplos de maciços do tipo A: à esquerda um maciço basáltico e à direita um talude de piroclastos soldados (ignimbrito soldado).

Fraturação do maciço: a fraturação do maciço rochoso está ligada ao número e condições das fraturas que afetam os materiais geológicos que formam o maciço. Muitas destas descontinuidades, a que, incorretamente, chamamos de fraturas, nada mais são do que diaclases de retração, característica comum à maioria das rochas vulcânicas que se formam a partir do arrefecimento de um material fundido (lava). A fim de simplificar, adota-se nesta classificação o termo fraturação para todas as descontinuidades planares que afetam o maciço rochoso.

Para o ISTV, a descrição da fraturação do talude efetua-se seguindo o procedimento do parâmetro J_v , que contabiliza o número de descontinuidades por metro cúbico (Equação II.1). Dado que um metro cúbico implica estimar tridimensionalmente as descontinuidades ou fraturas, quando não é possível, pode determinar-se o J_v pelo número de descontinuidades numa unidade de comprimento. Em geral, toma-se um metro linear como unidade de comprimento para o ISTV:

$$J_v = \frac{n^{\circ} \text{ de descontinuidades}}{\text{comprimento medido}} \quad (II. 1)$$

Assim, segundo o valor de J_v (Quadro II.1), o maciço define-se como: muito pouco faturado, pouco fraturado, moderadamente fraturado ou muito fraturado.

Quadro II. 1. Classificação do maciço segundo a sua fraturação e pontuação a aplicar.

Nível de fraturação	J_v (N.º discont./ metro linear)	Pontuação ISTV
Muito pouco fraturado	< 1	0
Pouco fraturado	1 a 3	5
Moderadamente fraturado	3 a 10	20
Muito fraturado	> 10	30

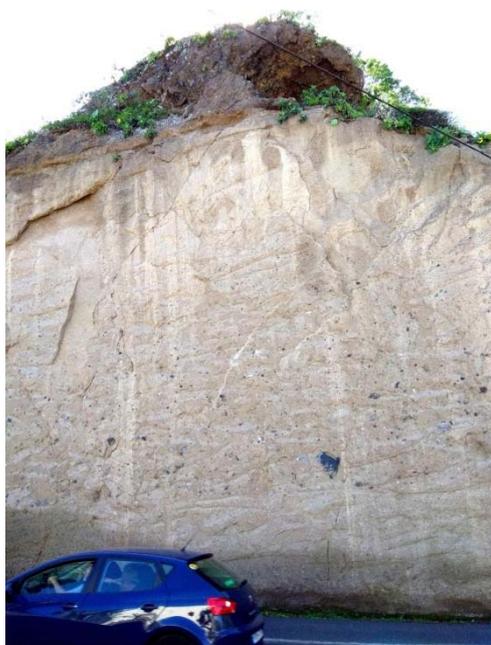


Figura II. 3. Exemplos de graus de fraturação: à esquerda um maciço muito pouco fraturado e à direita um maciço pouco fraturado.

Na Figura II.4 apresentam-se duas fotografias de taludes com graus de fraturação elevados. Na imagem da esquerda observa-se um talude moderadamente fraturado, correspondente a um maciço traquítico, com mais de três discontinuidades por metro linear, enquanto na imagem da direita observa-se um filão basáltico com um elevado grau de fraturação, onde existem discontinuidades em todos os sentidos e sem separação entre elas.



Figura II. 4. Exemplos de graus de fraturação: à esquerda um maciço moderadamente fraturado e à direita um filão basáltico muito fraturado.

Posição dos blocos: é o segundo fator a ter em conta para os maciços do tipo A e refere-se ao pendor e orientação dos blocos que formam os planos principais de descontinuidade em relação à inclinação do talude.

Para a recolha de dados, observam-se as orientações e inclinações da estrutura principal do talude e dos planos que formam as descontinuidades ou fraturas mais importantes. Verifica-se se existem planos a inclinar a favor do declive do talude, o que favorece a instabilidade, ou se, pelo contrário, a posição dos mesmos dificulta um eventual movimento de blocos rochosos.

Para a quantificação deste parâmetro, atribui-se zero pontos à posição favorável à estabilidade e dez pontos à posição desfavorável. As Figuras II.5 e II.6 apresentam exemplos de blocos cuja posição é desfavorável à estabilidade.



Figura II. 5. Exemplo de um talude em que os planos de descontinuidades e a inclinação da estrutura principal originam blocos cuja orientação favorece o desprendimento por basculamento.



Figura II. 6. Escoda traquítica com declive muito elevado onde os blocos têm uma orientação que favorece o desprendimento por descalçamento.

TALUDES DO TIPO B

São maciços compostos por depósitos de material piroclástico tanto basáltico como sálico, soltos ou levemente soldados (conhecidos como “areões”, “bagacinas” ou pedrapomes) (Figura II.7). Os desprendimentos característicos deste tipo de taludes são a queda de blocos e “fragmentos”, além dos movimentos de vertente típicos em materiais granulares (deslizamentos translacionais e rotacionais).



Figura II. 7. Exemplos de maciços do tipo B com graus de imbricamento e soldagem distintos: à esquerda piroclastos com um certo grau de soldagem e, à direita, piroclastos soltos.

Ligação/ soldagem: refere-se à coesão entre as partículas piroclásticas que constituem os maciços do tipo B. O facto de que um talude, formado por materiais piroclásticos de queda, seja constituído por materiais mais ou menos ligados ou soldados, influencia de maneira relevante a sua estabilidade sendo mais instável à medida que diminui o seu grau de ligação ou soldagem.

O grau de ligação ou soldagem é obtido, de uma forma expedita, com a ajuda de um martelo de geólogo, ou pela ação das mãos, (Figura II.8), quanto se tenta extrair o material do talude. Conforme a dificuldade de remoção do material constituente do talude, o grau de ligação/soldagem classifica-se de acordo com o Quadro II.2.

Quadro II. 2. Classificação do maciço segundo o seu grau de ligação e respetiva pontuação a aplicar.

Grau de ligação/soldagem	Descrição	Pontuação ISTV
Muito baixo	Extrai-se facilmente com a mão	35
Baixo	Extrai-se facilmente com o martelo	25
Médio	Extrai-se com dificuldade com o martelo	5
Alto	Não se consegue extrair	0



Figura II. 8. Martelo de geólogo.

TALUDES DO TIPO C

São maciços formados por sequências de materiais de diferentes competências, como por exemplo, alternância entre níveis de lavas e níveis de escórias, ou de piroclastos com diferentes ritmos temporais de erosão diferencial. Na Figura II.9 apresentam-se dois exemplos deste tipo de taludes. A erosão diferencial provoca a queda de blocos por descalçamento.



Figura II. 9. Exemplos de maciços do tipo C: à esquerda observa-se a alternância entre materiais distintos, e à direita a formação de cornijas.

Erosão diferencial: os diferentes materiais que constituem os maciços do tipo C têm características geológicas e resistências diferentes, o que confere às camadas ritmos

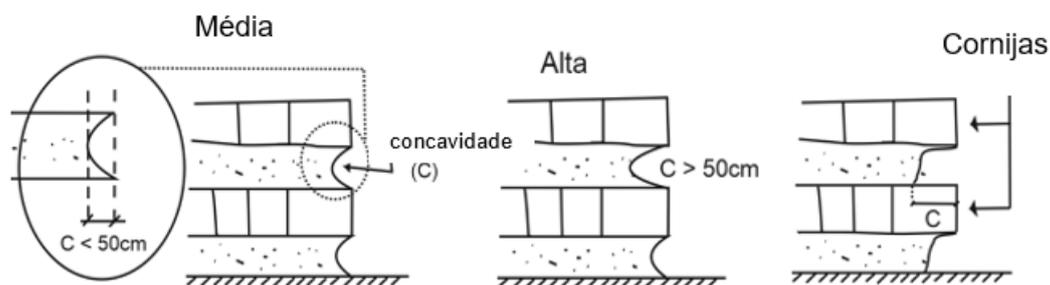
temporais de erosão distintos em função da sua resistência aos agentes erosivos. Esta erosão diferencial dá lugar à formação de cavidades ou cornijas que favorecem as instabilidades. No caso em que não seja detetada erosão diferencial, observa-se o material predominante ou o que seja mais desfavorável para tratar o maciço como sendo do tipo A ou B conforme apropriado.

O grau de erosão diferencial é classificado como baixo, médio, alto ou com formação de cornijas (Quadro II.3), em função da dimensão máxima da concavidade presente na zona mais erodida do talude ou da formação de cornijas. Na Figura II.10 apresentam-se três esquemas que explicam as diferenças entre os níveis de erosão diferencial.

A medição da profundidade da zona erodida (C), ou do tamanho do bloco (Φ), faz-se da forma mais aproximada possível, pelo que os valores apresentados no Quadro II.3 são indicativos.

Quadro II. 3. Classificação do maciço segundo o seu grau de erosão diferencial e pontuação a aplicar.

Grau de erosão diferencial	Descrição	Pontuação ISTV
Baixo	Menos de 15 cm de erosão	0
Médio	Pequenas concavidades no material erodido ($C < 50$ cm)	15
Alto	Concavidades grandes ($C > 50$ cm)	30
Formação de cornijas	Blocos muito pequenos ($\Phi \leq 0,2$ m)	0
	Blocos pequenos ($0,2$ m $< \Phi \leq 0,6$ m)	10
	Blocos médios ($0,6$ m $< \Phi \leq 0,9$ m)	30
	Blocos grandes ($0,9$ m $< \Phi \leq 1,2$ m)	40



C= dimensão máxima da concauidade na zona mais erodida, em cm.

Figura II. 10. Esquemas dos níveis de erosão diferencial.



Figura II. 11. Exemplos de talude com erosão diferencial e formação de cornijas. É possível observar que a erosão do material mais brando deixou alguns blocos de rocha em consola.

II.3.2. Fatores comuns

Os fatores comuns afetam qualquer um dos tipos de maciço definidos anteriormente e são a inclinação do talude e a proximidade ao mar, parâmetro este que será apenas avaliado no caso de um talude se encontrar a menos de 50 metros do mar.

Inclinação do talude: A inclinação de um talude condiciona a estabilidade geral. Para avaliar este fator, verifica-se se a inclinação do talude está dentro dos seguintes

intervalos: $45^\circ - 75^\circ$ ou mais de 75° , que seria o caso de um talude com inclinação subvertical tal como é apresentado no Quadro II.4:

Quadro II. 4. Classificação do maciço segundo a sua inclinação e pontuação a aplicar.

Inclinação do talude	Descrição	Pontuação ISTV
$45^\circ - 75^\circ$	Muito alta	10
$> 75^\circ$	Subvertical	20

Proximidade costeira: Deve ter-se em conta este parâmetro caso se trate de um talude em arriba costeira ou encostas ou taludes sujeitos à ação erosiva do mar, penalizando com 10 pontos a estabilidade do maciço.



Figura II. 12. Talude alcantilado afetado pela erosão marítima.

II.3.3. Indicadores no terreno e nas infraestruturas

Em muitas ocasiões o desencadeamento de uma instabilidade é precedido por uma série de fenómenos precursores, que se refletem no terreno ou nas infraestruturas, e que podem indicar um processo de instabilidade ativo. Os indicadores de instabilidade mais frequentemente observados em encostas e taludes são:

- fendas de tração e rejeitos;
- abaulamentos e deformações;
- queda de blocos ou presença de cicatrizes;
- desvio de canais hidráulicos;
- acumulação de depósitos no pé do talude ou deslizamento de terras;
- encharcamentos;
- alterações em nascentes e exurgências de água; e
- inclinação das árvores.

Quando as deformações do terreno afetam edificações e infraestruturas pode observar-se a presença das seguintes patologias:

- fendas em muros, fundações e elementos estruturais;
- inclinação e colapso de muros; e
- roturas em condutas.

A presença destes indicadores deve penalizar o valor de ISTV básico obtido e, para tal, utiliza-se um fator correção que multiplica o valor de ISTV básico por um índice (*i*) em função do número de indicadores que se encontrem no talude (Quadro II.5) conforme se apresenta na Equação II.2:

$$ISTV_{\text{corrigido}} = ISTV_{\text{básico}} \cdot i \quad (II. 2)$$

Quadro II. 5. Valores do índice *i* para a correção do valor obtido no ISTV.

Números de indicadores		<i>i</i>
Nenhum indicador	0	1,00
Algum indicador	1 a 3	1,20
Vários indicadores	> 3	1,35

O resultado do ISTV, seja básico ou corrigido, pode variar num intervalo compreendido entre os 0 e 100 pontos, o que permite classificar os taludes segundo o grau de suscetibilidade às instabilidades em baixo, moderado, alto ou muito alto, de acordo com o Quadro II.6.

Quadro II. 6. Valores do índice i para a correção do valor obtido no ISTV.

Grau	Pontuação ISTV	Suscetibilidade
1	< 35	Baixa
2	[35; 60[Moderada
3	[60; 80[Alta
4	≥ 80	Muito alta

II.4. Ficha de recolha de dados

Na Figura II.13 apresenta-se a ficha proposta para a recolha de dados de modo a compilar as informações no campo.

TIPO DE MACIÇO					
TIPO A: ROCHAS DURAS		TIPO B: DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS		TIPO C: SEQUÊNCIA DE MATERIAIS DE DIFERENTES RESISTÊNCIAS	
A.1. Grau de fracturação	Ptos	B.1. Grau de ligação/soldagem	Ptos	C.1. Grau de erosão diferencial	Ptos
Muito pouco fraturado: <1 desc./m ³	0	Alto	0	Baixo	0
Pouco fraturado: 1-3/m ³	5	Médio	5	Médio	15
Moderadamente fraturado: 3-10/m ³	20	Baixo	25	Alto	30
Muito fraturado: > 10 descontinuidades/m ³	30	Muito baixo	35		
A.2. Posição dos blocos em relação à inclinação do talude	Ptos			C.2. Formação de cornijas	Ptos
Favorável à estabilidade	0			Blocos muito pequenos	0
Desfavorável à estabilidade	10			Blocos pequenos	10
				Blocos médios	30
				Blocos grandes	40
P. INCLINAÇÃO DO TALUDE		Z. ZONAS COSTEIRAS		i. INDICADORES DE INSTABILIDADE	
Inclinação predominante	Ptos		Ptos		Núm. i
< 45°	0	Taludes alcantilados a menos de 50 m	10	Nenhum indicador	0 1
45° - 75°	Muito alto 10			Alguns indicadores	1 a 3 1,2
> 75°	Subvertical 20			Vários indicadores	> 3 1,35
INDICADORES NO TERRENO E INFRASTRUTURAS			CÁLCULO DO ISTV		
Fendas de tração e rejeitos Abaulamentos e deformações Queda de blocos ou sinais recentes de superfícies de rotura Desvio de canais hidráulicos Acumulação de depósitos no pé do talude ou deslizamento de terras Encharcamentos Alterações em nascentes e exurgências de água Inclinação das árvores Fendas em muros, fundações e elementos estruturais Inclinação e colapso de muros Roturas em condutas			$ISTV_{básico} = [(A1 + A2) \text{ ou } B1 \text{ ou } (C1 + C2)] + P + Z$ $ISTV_{corrigido} = ISTV_{básico} \cdot i$		
			VALORES DO ISTV		
			Pontuação	Suscetibilidade	
			<35	Baixa	
			35-59	Moderada	
			60-79	Alta	
			>80	Muito alta	
Notas: 1 - Valor máximo do índice ISTV: 100; 2 - Não é aplicável a solos, depósitos de vertente ou rochas muito alteradas ou meteorizadas; 3 - A suscetibilidade indica a possibilidade de ocorrência; 4 - Na escolha do tipo de maciço seleccionar apenas uma das opções A, B ou C; 5 - No caso dos maciços do tipo C, sem erosão diferencial, optar entre o tipo A ou B. 6 - Escolher apenas uma opção em cada parâmetro na atribuição das pontuações.					

Figura II. 13. Ficha de recolha de dados no campo.

II.5. Considerações finais

A suscetibilidade indica a possibilidade, e não a probabilidade, de que ocorra uma instabilidade sob a influência de determinadas condições não consideradas na análise. Isto é, apesar de um determinado talude poder apresentar menor suscetibilidade que outro, pode ter maior probabilidade de sofrer uma instabilidade caso as condições fronteiras sejam mais propícias a tal desencadeamento.

O resultado obtido através do cálculo do índice de suscetibilidade de um talude permite uma avaliação prévia do seu estado e recolher informação sobre a necessidade de realizar estudos adicionais mais aprofundados. Este resultado também permite estabelecer uma relação ordenada de um conjunto de taludes em avaliação, no âmbito de uma atuação administrativa ou geográfica, que ajude a priorizar a realização, numa fase posterior, de estudos mais detalhados aos taludes que se considerem mais necessários.

Portanto, um resultado de suscetibilidade muito alto não implica, necessariamente, que o talude venha a sofrer uma instabilidade de forma iminente e sim, que deve ser urgentemente realizado um estudo mais detalhado, por parte de técnicos especializados que avaliem a sua importância e abrangência para, caso necessário, tomar as medidas de estabilização e controlo adequadas.

Por outro lado, deve considerar-se que o resultado obtido para um talude ou encosta não é permanente. Os taludes são elementos dinâmicos e em constante mudança pelo que a classificação que se obtém deve ser atualizada num determinado intervalo temporal.