

ANÁLISE DE SITUAÇÕES DE INSTABILIDADE EM TALUDES ROCHOSOS DE ESCAVAÇÃO EM MEIO RODOVIÁRIO. APLICAÇÃO AO TRECHO DA EN 222 ENTRE A RÉGUA E A PONTE DAS BATEIRAS

ARMINDO NUNES

GEÓLOGO, INSTITUTO DAS ESTRADAS DE PORTUGAL

PEDRO GUEDES

ENGENHEIRO GEÓLOGO, INSTITUTO DAS ESTRADAS DE PORTUGAL

ANA CARDOSO

ENGENHEIRA CIVIL, INSTITUTO DAS ESTRADAS DE PORTUGAL

RESUMO

Face à necessidade de conservação e manutenção da rede rodoviária nacional, com mais de 15.000 km, e aos elevados custos inerentes a tal tarefa, urge sistematizar adequados métodos de análise de situações de instabilidade de taludes para proceder à inventariação dos casos e definir a prioridade de intervenção, tendo como objectivo final a minimização de riscos para a segurança rodoviária em termos técnicos e económicos. Apresentam-se os casos estudados no trecho da EN 222, entre a Régua e a Ponte das Bateiras, com cerca de 20 km de extensão, em que foi utilizado um procedimento similar ao adoptado há já algumas dezenas de anos em diversos países. Com este trabalho os autores pretendem sensibilizar os responsáveis pela implementação de sistemas de gestão de conservação da rede para a importância da observação e análise de instabilidades potenciais em taludes em meio rodoviário.

1. ENQUADRAMENTO

O trecho da EN 222 entre a Régua e a Ponte das Bateiras, com cerca de 20 km de extensão, tem um perfil misto, com taludes de aterro marginais ao rio Douro e taludes de escavação com inclinações superiores a 60°, talhados em encostas extensas inseridas na Região Demarcada do Douro e Património Mundial da Humanidade atribuído pela UNESCO.

As condições existentes de natureza geológica, geomorfológica, orográfica e hidrológica são causadoras e potenciadoras de instabilizações nos taludes de escavação e das encostas em que se inserem e de que resultam desprendimentos e queda de material na estrada, com riscos para a segurança de pessoas e bens e prejuízos resultantes do encerramento da via.

Existem relatos de ocorrências de instabilizações nos taludes de escavação desde há dezenas de anos nos períodos de Inverno. Em Maio de 2002 julgou-se ser conveniente proceder a um levantamento geral das situações reais ou potenciais de instabilização, tarefa que veio definitivamente a ficar concluída no início de Dezembro de 2002, e que deu origem a um relatório que aborda o problema segundo um desenvolvimento sequencial de 4 fases [1]:

1. Inventariação dos locais de instabilização declarada ou potencial;
2. Classificação de cada local em função do grau de instabilidade e do grau de risco e atribuição de prioridades de intervenção;
3. Propostas técnicas de medidas minimizadoras do risco;
4. Propostas de procedimentos para resolução das situações de instabilidade.

2. GEOLOGIA

O trecho em estudo interessa 5 Formações de idade Câmbria pertencentes ao Super-Grupo Dúrico-Beirão – Desejosa, Pinhão, Rio Pinhão, Ervedosa e Bateiras - (Complexo Xisto-Grauváquico) de litologia idêntica e patenteando a actuação das fases de deformação Sarda e Hercínica, sendo a última responsável por dobras anticlinais e sinclinais de orientação geral N60°W. Ocorrem dois grupos principais de fracturas, o primeiro com orientação NE-SW e o segundo, com orientação NW-SE e ligado por vezes a cavalgamentos e desligamentos [2]. Estes dois principais grupos de fracturas, associados ao diaclasamento em regra subvertical, ao grau de alteração e à erosão diferencial, são condicionantes da estabilidade das vertentes e dos taludes de escavação da estrada.

Litologicamente estas Formações são constituídas por filitos listrados (Desejosa, Rio Pinhão e Bateiras), filitos cloríticos (Pinhão e Ervedosa), metagrauvaques (Desejosa e Rio Pinhão) e metaquartzovaques (Pinhão, Ervedosa e Bateiras).

3. INVENTARIAÇÃO

Nos primeiros 17.800 m de extensão foram inventariadas 34 situações com necessidade de intervenção. Para cada situação foram feitas observações e colhidos dados relativos à geometria dos taludes, à geologia, à litologia, à drenagem, às atitudes das principais famílias de descontinuidades e ao volume e natureza do material escorregado.

As situações de instabilidade distribuem-se pelas 5 Formações geológicas, referidas anteriormente, do seguinte modo:

- Formação da Desejosa – 4.950 m de extensão – 6 situações;
- Formação do Pinhão – 7.900 m de extensão – 15 situações;
- Formação R. Pinhão – 2.000 m de extensão – 5 situações;
- Formação da Ervedosa – 900 m de extensão – 5 situações;

- Formação das Bateiras – 2.050 m de extensão – 3 situações.

Com excepção da Formação da Desejosa, em que 5 das 6 situações correspondem a pequenas instabilizações de muros em pedra, nas restantes Formações a frequência de situações de instabilidade é idêntica, manifestando-se a sua ocorrência sobretudo em função da frequência e atitudes das descontinuidades, altura do talude e sua orientação relativamente à directriz da estrada.

Na Figura 1 apresentam-se 3 fotografias que mostram aspectos considerados mais representativos de alguns dos locais inventariados.



Figura 1

4. AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DOS TALUDES

Em 19 das 34 situações procedeu-se a um levantamento das principais famílias de descontinuidades (estratificação, xistosidade e diaclasamento), procurando reduzir ao mínimo o número de determinações compensando isso com uma muito cuidadosa e criteriosa observação das principais atitudes aparentemente causadoras de instabilidade. Para cada situação fez-se uma ficha descritiva contendo dados gerais relativos à localização, tipo de material, Formação geológica, geometria do talude, atitudes das descontinuidades e a respectiva projecção estereográfica e avaliação da estabilidade recorrendo ao Teste de Markland.

No Quadro 1 é apresentada, para cada caso, uma análise com base na projecção estereográfica das principais famílias de descontinuidades e uma avaliação da estabilidade com recurso ao teste de Markland para detectar a probabilidade de ocorrência de roturas planares, roturas por cunha e roturas por basculamento ou “toppling”.

Quadro 1 – Avaliação da Estabilidade (Teste de Markland).

Situações	Rotura Planar		Rotura por Cunha		Rotura por “Toppling”	
	Planos de Descontinuidades		Planos de Descontinuidades		Planos de Descontinuidades	
	Potencialmente Instáveis	Instáveis	Potencialmente Instáveis	Instáveis	Potencialmente Instáveis	Instáveis
7	N84°E;31° N66°E;45°		N88°E;31°	N72°W;60° N80°W;39° N66°W;33	N84°E;31°	
8			N64°E;34° S54°E;50° N47°W;35°		N60°W;50°	
9	N57°E;36° N30°E;67° N60°W;50°					N60°W;50°
14			N71°E;50° S9°E;69°			
19			N12°W;35°			N75°E;85°
20		N69°W;54°	N36°W;54°			
21	N69°W;54°		N55°W;52°			
22	N69°W;54°		N32°W;48°			
25	N69°W;72°		N87°W;71°			
31	N45°E;50°		N7°E;53° S32°W;50° S13°W;46°			

5. SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO E PRIORIDADES DE INTERVENÇÃO

Após o levantamento de campo e a identificação das situações mais desfavoráveis ao longo de todo o trecho impôs-se um tratamento dos dados obtidos com vista à comparação das diferentes situações em termos do risco e, portanto, de prioridade de intervenção.

Adoptou-se um sistema de classificação, adaptado aos dados colhidos no campo, ao contexto e à nossa realidade, proposto pelo Departamento de Transportes de Oregon nos EUA [3].

Este método consiste em pontuar cada situação em cada uma das 10 categorias consideradas. A pontuação parcial foi atribuída exponencialmente, numa escala de 3, 9 e 27 pontos, de forma a obter uma diferença considerável na soma das pontuações entre situações que apresentam graus de risco distintos, traduzindo-se assim numa maior sensibilidade na avaliação do valor final atribuído a um dado talude. Uma situação que apresente uma pontuação final mais elevada terá um maior grau de risco e necessariamente deverá ter uma intervenção prioritária.

No Quadro 2 apresenta-se a definição dos critérios de classificação e respectiva pontuação:

Quadro 2 – Sistema de classificação adaptado de [3].

Sistema de classificação para avaliação do grau de instabilidade potencial e do grau de risco dos taludes de escavação				
Categoria		Critério de classificação e pontuação		
		3 pontos	9 pontos	27 pontos
Altura do talude		7 metros	7 a 15 metros	15 a 30 metros
Capacidade de retenção entre a valeta e a base do talude		Boa	Moderada	Reduzida a nula
Probabilidade do material em queda atingir um veículo em função da extensão do talude		0 a 30%	30 a 60%	60 a 100%
Distância de visibilidade de decisão		Adequada	Moderada	Reduzida
Largura da plataforma		13 metros	10 metros	6 metros
Caracterização geológica	Condições estruturais (descontinuidades)	Orientação tendencialmente favorável	Orientação aleatória	Orientação tendencialmente desfavorável
	Características das descontinuidades em função do atrito	Rugosa/irregular	Planar	Lisa ou preenchida com material argiloso
Volume de material caído por evento		2 metros cúbicos	4 metros cúbicos	6 metros cúbicos
Presença de água no talude		Nenhuma	Em períodos intermitentes	Em períodos contínuos
História das ocorrências de queda		Poucas	Ocasionais	Frequentes

As 10 categorias consideradas foram pontuadas, revestindo-se por vezes de alguma subjectividade, pelo que se expõe de seguida a fundamentação da sua consideração neste sistema de classificação:

- **Altura do talude (medida na vertical)**

Esta dimensão está relacionada com a energia potencial de uma massa de rocha e portanto quanto maior for a altura do talude maior será o risco envolvido na queda de blocos ou cunhas.

- **Capacidade de retenção entre a valeta e a base do talude**

Uma boa capacidade de retenção na base do talude diminui a probabilidade das massas de rocha instáveis atingirem a plataforma da estrada diminuindo assim o grau de risco. Na inspecção efectuada aos locais em estudo detectaram-se situações em que se observaram blocos retidos junto à base do talude, enquanto que, noutros locais se observaram danos no pavimento resultantes da queda de blocos, o que demonstra uma fraca capacidade de retenção.

- **Probabilidade do material em queda atingir um veículo em função da extensão do talude**

A probabilidade de um veículo ser atingido por blocos rochosos em queda está associada à extensão do talude. Quanto mais extenso for o talude mais tempo permanecerá o veículo nessa zona e portanto maior será o grau de risco associado. A velocidade máxima e o tráfego médio diário seriam parâmetros também a considerar

nesta categoria de classificação, no entanto, não foram considerados visto que os taludes em causa se inserem na mesma EN, logo os referidos parâmetros permaneceriam constantes em todas as situações, não servindo de factores de comparação entre elas.

- **Distância de visibilidade de decisão**

A pontuação foi atribuída consoante o talude se inseria numa zona de recta ou curva para o condutor que viaja na via da direita (junto ao talude de escavação). Este parâmetro está associado ao risco de ocorrência de um acidente logo após a queda de material na plataforma da estrada. Este risco será tanto menor quanto maior for a distância a que o condutor se aperceba do obstáculo e, travando ou desviando-se, consiga evitar o acidente. Considera-se constante a velocidade de circulação ao longo do trecho assim como para um condutor de comportamento padrão.

- **Largura da plataforma**

Esta dimensão é praticamente constante ao longo do trecho em estudo pelo que foi atribuída a mesma pontuação a todas as situações. Representa a possibilidade do condutor se desviar do material em queda ou caído na plataforma. Considerou-se portanto que o grau de risco aplicado a esta categoria seria máximo, não tendo o condutor espaço de manobra. Não é, no entanto, relevante já que atribuindo-se-lhe uma pontuação constante para todas as situações não permite a comparação do grau de risco entre elas.

- **Condições estruturais**

O comportamento dos maciços rochosos é condicionado pelas famílias de descontinuidades pelo que este parâmetro é essencial na avaliação do risco de instabilidade de massas rochosas. A pontuação deste parâmetro fez-se com base na observação e nas medições das orientações. Quando os planos das descontinuidades inclinam para a estrada, está-se perante uma potencial instabilidade ou instabilidade, pelo que o grau de risco associado será elevado.

- **Características das descontinuidades**

Este parâmetro está afecto à facilidade com que os blocos se podem destacar e mover entre eles. As características de rugosidade e o enchimento das descontinuidades podem facilitar ou não as instabilidades de massas rochosas compartimentadas por estas. Esta característica foi observada no campo e posteriormente classificada para cada situação.

- **Volume de material caído por evento**

O volume de material a cair por evento relaciona-se com as condições estruturais do maciço e resulta num grau de risco tanto maior quanto maior for o volume em queda.

- **Presença de água no talude**

A água é um elemento desfavorável à estabilidade. A percolação interna e a sua acumulação em fissuras no topo do talude geram pressões que muitas vezes são a principal causa das instabilidades ocorridas, como se constata pelo número de

deslizamentos ocorridos em períodos de elevada precipitação. Além disso os ciclos de gelo/degelo da água no interior do maciço assim como a sua circulação ao longo das discontinuidades provocam a degradação das características resistentes do maciço e do sistema de fracturação.

- **História das ocorrências de queda**

O número de quedas ao longo do tempo representa directamente um custo de manutenção associado e é uma referência para a previsão de futuras instabilidades a ocorrerem na zona. Assim considerou-se que uma situação com ocorrências de queda de blocos mais frequentes corresponderia a um grau de risco maior.

Criaram-se então 3 categorias de grau de risco (baixo, moderado e elevado) e respectivas prioridades de intervenção (a médio prazo, a curto prazo e imediata), consoante o somatório da pontuação de uma situação se inserir num dado intervalo de valores, como se mostra no Quadro 3, onde é apresentado um resumo das classificações obtidas para cada situação em cada um dos critérios considerados e o valor total obtido, assim como a sua tradução em termos de grau de risco e actuação.

Quadro 3 – Análise das situações.

Análise das situações com base no sistema de classificação adoptado																																	
Categoria	Situação																																
	1	6	7	8	9	10	12	14	16	17	18	19	20	21	22	25	26	27	28	31	33	34											
Altura do talude	9	9	27	9	3	3	9	9	9	9	3	9	9	9	9	27	27	9	9	9	9	9											
Capacidade de retenção entre a valeta e a base do talude	3	27	27	27	27	9	9	9	27	9	9	27	9	27	3	27	27	9	9	27	27	27											
Probabilidade do material em queda atingir um veículo em função da extensão do talude	(*)	9	9	3	3	3	27	3	9	3	9	3	9	9	27	9	9	3	9	3	(**)	3											
Distância de visibilidade de decisão	27	27	27	3	3	3	3	3	3	9	9	9	3	3	3	9	3	3	3	3	3	9	3										
Largura da plataforma	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27											
Caracterização geológica	Condições estruturais (descont.)	27	3	27	9	27	3	9	27	9	9	3	27	27	27	27	27	27	27	27	9	9	9										
	Características das discontinuidades (função do atrito)	27	3	27	3	9	9	3	27	27	27	9	9	27	9	3	9	27	27	9	9	27	27										
Volume de material caído por evento	9	9	27	9	9	3	9	9	9	3	9	27	27	9	9	27	27	27	27	27	27	9	9										
Presença de água no talude	3	9	27	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9										
História das ocorrências de queda	27	9	27	9	3	3	9	9	9	9	9	9	9	3	3	9	27	9	3	9	9	3											
Total de pontos	186	132	252	102	120	72	114	132	138	114	96	156	156	132	120	180	210	150	132	132	162	126											
Grau de Risco / Actuação																																	
(*) - Houve uma penalização desta situação devido à existência de uma casa do outro lado da plataforma																																	
(**) - Houve uma penalização desta situação devido à existência de um cais de embarque e parque de estacionamento																																	

Legenda	Pontuação	Grau de Risco	Actuação
	30-90	Baixo	Médio Prazo
	90-180	Moderado	Curto Prazo
	180-270	Elevado	Imediata

Nem todas as situações detectadas no levantamento de campo foram sujeitas a este sistema de classificação, umas por não se inserirem neste contexto (caso dos muros de pedra arrumada), outras por não apresentarem dados suficientes para efectuar esse tipo de análise e por serem muito semelhantes a outro tipo de situações que foram devidamente caracterizadas no campo, e ainda, a situação 11 que entretanto sofreu uma rotura generalizada pelo que deixou de ser pertinente a sua classificação.

6. PROPOSTAS TÉCNICAS DE MEDIDAS MINIMIZADORAS DO RISCO

6.1 Condicionalismos locais inerentes à selecção das soluções

As soluções de minimização do risco de ocorrência de instabilidades foram seleccionadas tendo em conta os seguintes condicionalismos:

- Largura reduzida da plataforma da estrada;
- Berma inexistente;
- Talude de escavação com inclinações superiores a 60°;
- Utilização da encosta sobrejacente aos taludes para plantio de vinha inserido na Região Demarcada do Douro e Património Mundial da Humanidade atribuído pela UNESCO, o que tem como consequência um elevado valor intrínseco do terreno;
- Encostas com acentuado pendor e sem vegetação arbórea;
- Condições litológicas, tectónicas e estruturais muito desfavoráveis.

Pelo exposto compreende-se que soluções de estabilização como a alteração da geometria do talude, ou estruturas de suporte em betão tenham sido colocadas em segundo plano, consideradas apenas como soluções alternativas. Além disso as soluções aplicadas aos locais focados na inventariação foram idealizadas ponderando a garantia de segurança de circulação (ou o controlo do risco) com o controlo de custos, dada a extensão em que se desenvolve todo o trecho de estrada em causa.

6.2 Soluções consideradas

As soluções apresentadas inserem-se em duas filosofias distintas: estabilização dos taludes e protecção da estrada.

Como soluções de estabilização consideraram-se a pregagem sistemática ou pontual e as redes de arame de aço pré-tensionadas pregadas contra o talude, destinando-se a evitar deslizamentos e desprendimentos das massas rochosas.

As soluções de protecção adoptadas têm como objectivo impedir que o material em queda atinja a zona de circulação da estrada e são as seguintes: muros de gabiões, rede de vedação

com prumos metálicos, barreiras dinâmicas para retenção dos blocos ou massas em queda, redes metálicas colocadas na superfície dos taludes.

Nas situações que apresentam um grau de risco mais elevado considerou-se necessária a implementação de um plano de observação e inspeção periódica após a execução dos trabalhos de estabilização. Desta forma será possível avaliar a eficiência das medidas de estabilização adoptadas e permitir o acompanhamento da evolução das situações e respectiva manutenção. Campanhas periódicas de observação visual nos restantes locais, intervencionados ou não, deverão ser implementadas para garantir a durabilidade das soluções e para prever problemas associados a fenómenos de meteorização e degradação das características resistentes do maciço rochoso.

Após efectuada a inventariação dos taludes de escavação que evidenciam maior instabilidade e posterior classificação em termos de grau de risco e prioridade de actuação, apresentam-se de seguida as soluções julgadas adequadas para cada caso e resumidas no Quadro 4:

Quadro 4 – Propostas técnicas de medidas minimizadoras do risco.

Medidas propostas		Situações																																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34		
Soluções de protecção da estrada	Rede metálica ao longo da superfície do talude																																				
	Barreira dinâmica																																				
	Gabiões																																				
	Rede metálica com prumos junto ao pé do talude																																				
	Impermeabilização das fissuras na crista do talude																																				
Soluções de estabilização	Malha pré-tensionada																																				
	Pregagens																																				
	Alteração da geometria																																				
	Esporão/Máscara drenante																																				
Remoção de grandes blocos																																					
Limpeza de material solto																																					
Muros de pedra arrumada																																					
Observação/inspeção periódica																																					

Legenda	
Solução proposta	
Alternativa á solução proposta	

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do caso específico abordado no artigo julgam os autores que por razões de segurança e de natureza económica se torna urgente fazer uma reflexão profunda sobre as medidas a tomar para minorar os riscos associados às instabilidades potenciais ou verificadas nos taludes de escavação e encostas de estradas em serviço, pertencentes à rede rodoviária nacional.

Para isso e à semelhança dos procedimentos adoptados há dezenas de anos na maior parte dos países europeus, bem como nos Estados Unidos e Canadá, poderiam ser levadas a cabo campanhas sistemáticas de inventariação de situações de instabilidade que conduzam à obtenção de sistemas de classificação associados aos riscos, à definição de prioridades de intervenção e elaboração de projectos de medidas minimizadoras adequadas.

No âmbito da conservação das estradas da rede nacional há já exemplos de levantamentos sistemáticos que se referem ao estado de conservação dos pavimentos, das obras de arte e da sinalização.

Assim, no caso das instabilizações de taludes e vertentes julga-se que poderia ser útil a criação de um grupo de trabalho com a participação de várias entidades ou instituições para, conjuntamente com o IEP, reflectir sobre tão importante tema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] – Nunes, A., Guedes, P. e Cardoso, A. – “EN 222 – Trecho entre a Régua e Ponte das Bateiras (kms 131+500 – 152+000). Inventário de situações de instabilidade dos taludes de escavação, prioridade de intervenção e propostas minimizadoras de medidas de riscos.” Relatório IEP. Coimbra, 2003.

[2] –Sousa, M. e Sequeira, A.- “Carta Geológica de Portugal, Folha 10-D, Alijó”. Direcção Geral de Geologia e Minas, Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa, 1989.

[3] – Pierson, L. – “The Rockfall Hazard Rating System”. National Symposium on Highway and Railroad Slope Maintenance. Association of Engineering Geologists. Chicago, 1991.