

CASO DE ESTUDO SOBRE A TELEGESTÃO DE TRÁFEGO FERROVIÁRIO BASEADA EM MAPAS DE RISCO GEOTÉCNICO

CASE STUDY ON TELE-MANAGEMENT OF RAILWAY TRAFFIC BASED ON GEOTECHNICAL RISK MAPS

Dinis da Gama, C.; *Centro de Geotecnia do IST, Lisboa, Portugal, dgama@ist.utl.pt*
Delgado, João L. C.; *REFER, Lisboa, Portugal, jcdelgado@mail.refer.pt*

RESUMO

Descreve-se abreviadamente um projecto de investigação que incluiu o desenvolvimento de metodologias probabilísticas de avaliação do nível de risco geotécnico relacionadas com a previsão, em tempo real, de instabilizações de taludes adjacentes à via férrea, tendo em vista evitar/minimizar os consequentes danos que poderão ocorrer para a circulação ferroviária, assim como permitir estabelecer prioridades nas acções de manutenção.

De acordo com a estruturação definida pela REFER, o estudo piloto incidiu sobre um troço de via com 10 km de extensão, que o adjudicatário sugeriu fosse a zona entre Santarém – Vale de Santarém, da Linha do Norte, tendo permitido a elaboração de mapas de risco geotécnico em sectores criteriosamente definidos, os quais são permanentemente actualizáveis em função das condições de pluviosidade na região.

ABSTRACT

A brief description is provided on a research project that involved the development of methodologies related with the forecasting, in real time, of failures in slopes located near railway tracks, with the aim of minimizing subsequent damages that may occur to the circulation of trains, as well as establishing priorities for the corresponding maintenance.

According to REFER's planning, the pilot scale study should be conducted on a 10 km extension railway, that the contracted has suggested to be the segment between Santarém and Vale de Santarém in the North line of Portugal, thus allowing the representation of geotechnical risk maps along duly defined sectors, which are permanently updated according to the region's precipitation conditions.

1. INTRODUÇÃO

O estudo iniciou-se com a recolha de informação técnica disponível sobre o região de estudo, incluindo dados topográficos, geológicos, climatológicos e geotécnicos. De realçar que a REFER permitiu a consulta de numerosos relatórios técnicos elaborados no passado sobre eventos de instabilização das encostas anexas à via férrea, assim como de obras de consolidação executadas na zona em referência.

Em termos de dados topográficos, o critério usado para a sua compilação sobre a via férrea na zona de Santarém – Vale de Santarém, foi o de procurar uma cobertura geográfica recente que contivesse, na sua totalidade, o percurso de 10 km sugerido. Deste modo, foram inventariados os principais documentos cartográficos existentes sobre a região, procedendo-se seguidamente à respectiva escolha, em função de critérios de actualidade, de rigor e de adequação aos objectivos da investigação.

Os principais documentos de trabalho utilizados foram as folhas das Carta Militar de Portugal da área em estudo, da Carta Geológica de Portugal (folha nº31-A), fotografias aéreas digitais respectivas, artigos e relatórios técnicos elaborados por diversos autores sobre a problemática das instabilidades de taludes (são apresentados exemplos nas Figuras 1 e 2).



Figura 1 - Aspecto da via férrea intercalada entre os taludes de Santarém e o Rio Tejo



Figura 2 - O pluviómetro digital utilizado na monitorização contínua

Para efeitos de implementação da metodologia, a área em estudo foi dividida em 11 sectores, tendo em conta um conjunto de factores relacionados com a respectiva susceptibilidade aos deslizamentos de taludes, a fim de definir zonas aproximadamente homogéneas onde o risco geotécnico de instabilização seja constante. Tal definição baseou-se em atributos específicos de topografia, de características geológicas e de propriedades geotécnicas dos terrenos, reflectindo as resistências (maiores ou menores) que tais taludes oferecem à erosão e à tendência para se instabilizarem ao longo dos tempos. Por isso, os sectores foram separados e limitados por linhas de águas e estradas/caminhos existentes.

A morfologia dos sectores foi estudada em detalhe, tendo em conta as informações obtidas através das fotografias aéreas, das visitas de campo e da viagem efectuada na composição de serviço da REFER (“dresine”), ao longo dos 10 km da linha.

Uma vez definidos os onze sectores em que se subdividiu o trecho, foram, para cada um, identificados os taludes preponderantes em termos de instabilização. Apesar da complexidade dos vários perfis encontrados, foi possível definir o talude mais crítico de cada sector, o qual passou a ser utilizado nas análises de estabilidade subsequentes.

Estes documentos, aliados aos dados de topografia, geologia, hidrologia e hidrogeologia, assim como aos provenientes das visitas efectuadas ao local e a ensaios laboratoriais efectuados sobre amostras extraídas da região, permitiram uma definição adequada das propriedades geomecânicas dos terrenos da área em estudo.

2. PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS E GEOTÉCNICAS DOS TALUDES

Para o caso em pauta foram consideradas como variáveis aleatórias a coesão e o ângulo de atrito interno dos terrenos que constituem os taludes dos sectores, sendo as outras variáveis intervenientes na determinação da probabilidade de rotura dos taludes, consideradas como tendo valores médios previamente fixados. Foi em seguida elaborada uma tabela que resume as principais propriedades geométricas e geotécnicas dos taludes críticos de cada um dos 11 sectores da área em estudo, a qual possui 15 variáveis, a saber: Altura do talude (m), Inclinação média do talude ($^{\circ}$), Peso volúmico do terreno (kN/m^3), Altura do nível freático (m), Coesão mínima do terreno (kPa), Coesão média do terreno (kPa), Coesão máxima do terreno (kPa), Ângulo de atrito mínimo ($^{\circ}$), Ângulo de atrito médio ($^{\circ}$), Ângulo de atrito máximo ($^{\circ}$), Largura de infiltração no talude (m), Porosidade média, Condutividade hidráulica (m/s), Percentagem de infiltração e Coeficiente de protecção dos muros.

Com os resultados dos ensaios laboratoriais e os estudos de retroanálise efectuados, foi possível classificar os diferentes sectores em três grupos gerais:

- Sectores com solos predominantemente arenosos: nº 5, 6, 7, 8 e 9.
- Sectores com solos predominantemente siltosos: nº 3 e 4.
- Sectores com solos areno-siltosos: nº 1, 2, 10 e 11.

Portanto, atribui-se a cada sector as propriedades geotécnicas respectivas assim obtidas, não sem antes aplicar as necessárias correcções do efeito de escala, mais significativas no que diz respeito ao coeficiente de permeabilidade.

É ainda de assinalar que uma das mais importantes variáveis intervenientes neste processo, a altura do nível freático, foi estabelecida em função das posições do nível freático monitorizadas pelo LNEC na zona das Portas do Sol (sector nº 9), assim como a partir de dados referenciados em relatórios técnicos disponibilizados pela REFER, quase todos relacionados com eventos de deslizamentos de taludes.

Realça-se ainda a interdependência dos níveis freáticos relativamente à estratificação subhorizontal característica da região, que conduz a associá-los às formações mais arenosas e permeáveis, por vezes assinaladas em mais de um nível freático suspenso no interior do mesmo talude.

3. ANÁLISE PROBABILÍSTICA DA ESTABILIDADE DOS TALUDES

A interpretação cuidadosa de deslizamentos de taludes ocorridos no passado, permite desenvolver estudos de retroanálise de grande interesse para a compreensão dos mecanismos de instabilização, ao mesmo tempo que extraem desses estudos os valores reais da coesão e do ângulo de atrito que teriam sido mobilizados no instante da rotura.

Assim, com o objectivo de vir a estabelecer esta relação, foi realizado um levantamento do historial dos eventos na área de Santarém e, através dos estudos de retroanálise foram determinados alguns parâmetros geotécnicos, que alimentam o modelo matemático de análise probabilística da estabilidade dos taludes.

Pode inferir-se desta forma que, para além dos condicionalismos da litologia, são determinantes os efeitos da acção das águas pluviais, quer no que respeita à erosão ravinosa devida ao escoamento superficial nos materiais superficiais dos taludes (designados por escorrimentos ou “debris flows”), quer pela alteração e desagregação dos materiais argilosos; quer pela erosão interna devida à circulação de águas subterrâneas; quer ainda pela saturação dos terrenos e conseqüente subida dos níveis freáticos, provocando diminuição notável da sua resistência ao corte. No último caso, os mecanismos de instabilização podem ocorrer através de deslizamentos planares ou circulares dos taludes.

A importância atribuída à precipitação levou à instalação de um pluviómetro com emissão automática dos dados para o programa de análise de estabilidade, o qual determina os níveis de risco esperados nos diferentes sectores da zona de estudo.

O fluxograma seguinte (Figura 3) reproduz as várias etapas de processamento de dados envolvidas no algoritmo matemático especialmente desenvolvido para o estudo, que se designou por programa SVS.EXE.

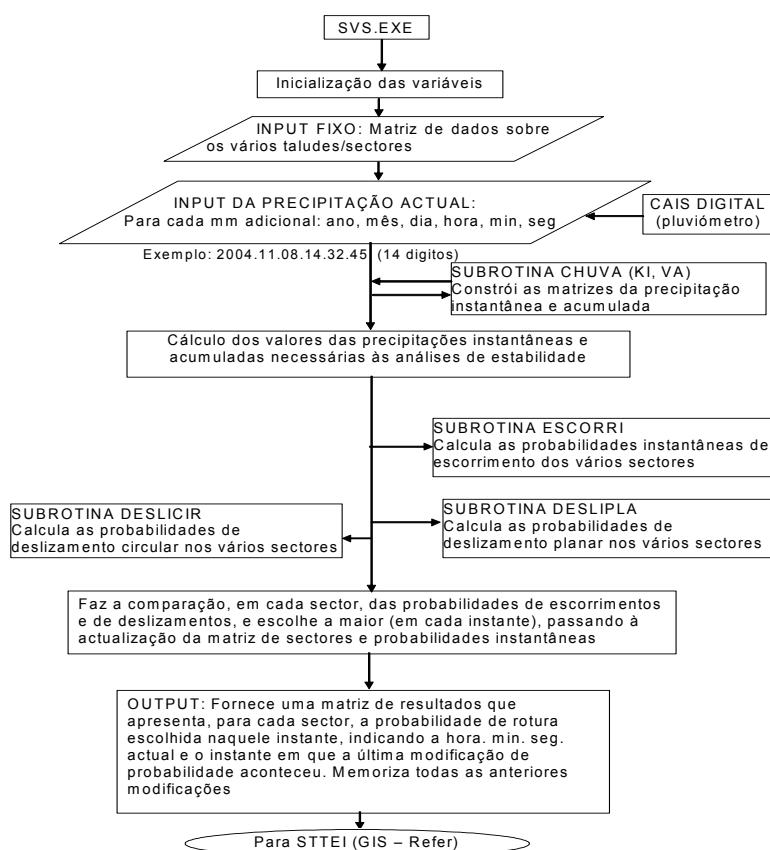


Figura 3 - Fluxograma do algoritmo de cálculo probabilístico da estabilidade de taludes

Procedeu-se à validação do conteúdo do programa através de simulações efectuadas sobre os taludes da região em estudo, incluindo a simulação do seu comportamento sob o efeito de chuvas intensas que no passado ocasionaram deslizamentos importantes.

4. RISCO GEOTÉCNICO E TELEGESTÃO

Tendo em vista o aproveitamento dos resultados do programa SVS.EXE, que traduzem as probabilidades de instabilização dos 11 sectores em função das condições de pluviosidade registadas e transmitidas em contínuo ao "Server" da REFER, foram propostos 4 níveis de risco, com as características indicadas na Figura 4.

As cores assinaladas correspondem às simbologias definidas para os níveis de risco geotécnico e que se relacionam com a segurança da circulação ferroviária, sendo objecto de representação gráfica sobre mapas da linha férrea que assinalam a localização dos sectores. Esta representação é compatível com o Sistema de Informação Geográfica existente no portal informático da REFER, havendo um conjunto de alarmes para assinalar as situações de risco alto e muito alto.

NÍVEL DE RISCO	1	2	3	4
PARÂMETROS	SECTORES COM RISCO DE COLAPSO BAIXO	SECTORES COM RISCO DE COLAPSO MÉDIO	SECTORES COM RISCO DE COLAPSO ALTO	SECTORES COM RISCO DE COLAPSO MUITO ALTO
PROBABILIDADE DE INSTABILIZAÇÃO	0 – 50 %	51 – 80 %	81 – 95 %	96 – 100 %
IMPLICAÇÕES PARA O TRÁFEGO FERROVIÁRIO	NENHUMAS	ATENÇÃO	PRECAUÇÃO	PERIGO

Figura 4 - Quatro níveis de risco geotécnico e suas implicações para o tráfego ferroviário

Face às verificações de "outputs" do programa em função de modificações introduzidas nos dados de entrada, executaram-se numerosas simulações numéricas destinadas a ajustar as respostas do algoritmo de cálculo desenvolvido. Exemplos dessas simulações constam da tabela e figura seguintes.

São as representações deste tipo que constituem os produtos finais da investigação realizada no troço piloto de 10 km de extensão.

A sua evolução no tempo reflectirá as condições de estabilidade experimentadas pelo taludes anexos à linha férrea, por forma a permitir a tomada de medidas operacionais adequadas quando os níveis de risco assim o justificarem.

Este é em essência o conceito de telegestão posto ao serviço da segurança ferroviária, obedecendo ao princípio da prevenção e pretendendo eliminar o recurso à correcção dos efeitos.

Por outro lado, estas representações identificam, com clareza, quais os sectores da via férrea que estão em circunstâncias prioritárias para serem objecto de intervenções de manutenção, neste caso incidentes sobre a volumetria dos taludes adjacentes. O facto de se disponibilizarem os valores das probabilidades de instabilização segundo os três mecanismos principais (escorrimentos, deslizamentos planares e deslizamentos circulares) permite, ainda, ter acesso à informação sobre o mecanismo mais crítico, orientando assim o planeamento detalhado dos trabalhos de manutenção.

```

*****
EVENTO(+1mm chuva) No.= 61 INSTANTE= 2005 1 5 0 10 0
Tempo apos o 1o. evento(s)= 259800; Apos o ultimo evento(s)= 4200
Tempo de chuva continua(s)= 0; mm acumulados= 0
*** SECTOR No.= 1 *** Probabilidades de instabilizacao:
Escorrimento= 0.090; Desl.Planar= 0.342; Desl.Circular=0.14 >>PMAX=0.34
*** SECTOR No.= 2 *** Probabilidades de instabilizacao:
Escorrimento= 0.090; Desl.Planar= 0.927; Desl.Circular=0.40 >>PMAX=0.93
*** SECTOR No.= 3 *** Probabilidades de instabilizacao:
Escorrimento= 0.030; Desl.Planar= 0.223; Desl.Circular=0.31 >>PMAX=0.31
*** SECTOR No.= 4 *** Probabilidades de instabilizacao:
Escorrimento= 0.090; Desl.Planar= 0.280; Desl.Circular=0.29 >>PMAX=0.29
*** SECTOR No.= 5 *** Probabilidades de instabilizacao:
Escorrimento= 0.090; Desl.Planar= 0.955; Desl.Circular=0.61 >>PMAX=0.96
*** SECTOR No.= 6 *** Probabilidades de instabilizacao:
Escorrimento= 0.070; Desl.Planar= 0.359; Desl.Circular=0.06 >>PMAX=0.36
*** SECTOR No.= 7 *** Probabilidades de instabilizacao:
Escorrimento= 0.070; Desl.Planar= 0.541; Desl.Circular=0.39 >>PMAX=0.54
*** SECTOR No.= 8 *** Probabilidades de instabilizacao:
Escorrimento= 0.090; Desl.Planar= 0.118; Desl.Circular=0.00 >>PMAX=0.12
*** SECTOR No.= 9 *** Probabilidades de instabilizacao:
Escorrimento= 0.010; Desl.Planar= 0.283; Desl.Circular=0.10 >>PMAX=0.28
*** SECTOR No.= 10 *** Probabilidades de instabilizacao:
Escorrimento= 0.020; Desl.Planar= 0.171; Desl.Circular=0.07 >>PMAX=0.17
*** SECTOR No.= 11 *** Probabilidades de instabilizacao:
Escorrimento= 0.030; Desl.Planar= 0.281; Desl.Circular=0.11 >>PMAX=0.28
*****

```

Figura 5 - Output do programa SVS.EXE para um evento numa série pluviométrica.

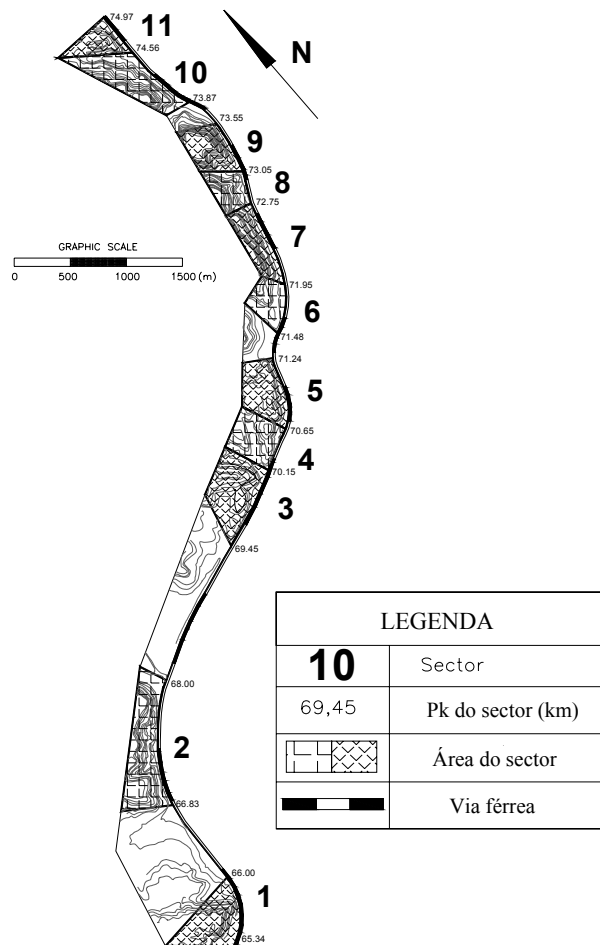


Figura 6 - Representação gráfica dos níveis de risco nos sectores para o evento simulado

5. PRECAUÇÕES

É essencial não extrapolar indevidamente a previsão de níveis de risco geotécnico para além das premissas que rodeiam as análises probabilísticas da estabilidade dos taludes. Com efeito, os fenómenos naturais são rodeados por componentes nem sempre quantificáveis pelo homem, especialmente a nível das previsões efectuadas antes que os eventos ocorram. Tal experiência, várias vezes constatada por numerosos especialistas, revela que é muito mais fácil “a posteriori” explicar os contornos dos fenómenos ocorridos no passado, do que prever o seu acontecimento futuro, a partir de informações sobre os comportamentos observados no presente.

Tendo presente tais asserções, e face aos contornos deste estudo desenvolvido sobre risco geotécnico, é da maior importância prever fases futuras de monitorização do funcionamento dos modelos desenvolvidos, tendo em vista o respectivo aperfeiçoamento contínuo. De igual modo, os objectivos de telegestão pretendidos deverão ser acompanhados por uma recolha permanente de dados de observação relacionados com a circulação das composições ferroviárias e as condições de estabilidade observáveis nos taludes da zona estudada, com destaque para eventos em que possam ocorrer instabilidades de taludes, tendo em vista a subsequente melhoria dos modelos de previsão ora propostos.

6. CONCLUSÕES

Estando nos planos futuros da REFER o alargamento deste projecto piloto a outras linhas férreas do país, torna-se aconselhável assinalar a necessidade de uma base topográfica actualizada e de alta resolução, como por exemplo imagens de satélite georreferenciadas.

Nesta base topográfica, dever-se-á ter sempre em atenção a morfologia, litologia dos taludes e dos sistemas de protecção existentes, de modo a ser possível definir o KMU (coeficiente de protecção da via) pois este tem uma grande influência na estabilização dos mesmos.

Em termos geológicos, sugere-se um levantamento geológico de campo cuidado da área em estudo, que deverá ter em conta a natureza dos materiais, o seu estado de alteração, descontinuidades existentes e comportamento hidrogeológico do maciço, tendo em especial atenção a presença de níveis freáticos.

Será sempre necessária a realização de uma campanha de ensaios laboratoriais completa de forma a caracterizar o maciço em questão nas suas propriedades geotécnicas. Desta forma será possível obter a matriz de dados atrás referida, essencial para que todo o processo de análise e de execução computacional possam se desenvolver sem restrições.

Como foi anteriormente referido, é de extrema importância o estudo pormenorizado da coesão e do ângulo de atrito dos materiais do maciço pelo que, para além dos ensaios laboratoriais, dever-se-á, sempre que possível, recorrer a estudos de retroanálise dos escorregamentos que ocorreram na região em causa.

7. REFERÊNCIAS

- Coccolo, V. Scavia, C. (2002): “Impact of large landslides in the mountain environment: identification and mitigation of risk”. IMIRILAND, 2º Relatório de actividades.
- Dinis da Gama, C. (1983): “Métodos computacionais de projecto de taludes em mineração”. Tese de Livre Docência, Universidade de São Paulo, Brasil.
- Dinis da Gama, C. (1995) : "Reprojecto de dois Taludes com Abordagem Probabilística da Estabilidade". 5º Congresso Nacional de Geotecnia, Coimbra, SPG, Vol.1, pp.85-95.

- Elliot, W.J., *et all* (2001): “ A probabilistic approach to modeling erosion for spatially-varied conditions”. ASAE Annual International Meeting, Sacramento, EUA.
- Griffiths, J. A. e Collison, A. J. C. (1999): “The validity of using a simplified distributed hydrological model for estimation of landslide probability under a climate change scenario”. Conferência GeoComputation99, Mary Washington College in Fredericksburg, VA, USA, 25-28 Julho.
- Haneberg, W. (2001): “Probabilistic methods provide new tools for landslide hazard mapping”. E.O.M (Earth Observation Magazine), vol 10, nº 12, Dezembro.
- Ortigão, J. A., R. e Sayão, A. S. F. J. (2004): “Handbook of slope stabilization”. Ed. Springer, Berlim, Alemanha.
- Wilson, R. C. e Jayko, A. S. (1997): “Preliminary maps showing rainfall thresholds for debris-flow activity, San Francisco Bay region, California”. Relatório 97-745 F, USGS.
- Zhu, M, Taylor, D. B, Sarin, S. C. e Kramer R.A. (1994): “Chance constrained programming models for risk-based economic and policy analysis of soil conservation”. Agricultural and Resource Economics Review, Abril.