

MARTIM PORTUGAL V. FERREIRA  
Coordenação

# A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos

VOL. 1 • GEOLOGIA DE ENGENHARIA



Coimbra • Imprensa da Universidade

## CARACTERIZAÇÃO DE UM ESCORREGAMENTO PLANAR NUM TALUDE ENTRE A PONTE 25 DE ABRIL E A TRAFARIA (ALMADA)

P. CUNHA LAMAS<sup>1</sup> e J. A. RODRIGUES-CARVALHO<sup>1</sup>

**PALAVRAS CHAVE:** Taludes de Almada, escorregamento planar, mecanismo de rotura, retroanálise.

**KEY WORDS:** Almada slopes, translational slide, failure mechanism, back analysis.

### RESUMO

Neste trabalho descreve-se o mecanismo que desencadeou um escorregamento planar de extensão importante, ocorrido no trecho de taludes entre a Ponte 25 de Abril e Trafaria, no Concelho de Almada, e as condições geológicas e geomorfológicas que induziram características distintas das de outros escorregamentos também ocorrentes naquele trecho de taludes.

No estudo por retroanálise do mecanismo de rotura abordam-se, sucintamente, os factores morfológicos e geotécnicos considerados mais relevantes.

**ABSTRACT: A large planar landslide on a slope between the Bridge 25 the Abril and Trafaria (Almada)**

This paper describes the mechanism that has triggered a large planar landslide which occurred in the segment of the slopes between the "25 de Abril" bridge and the village of Trafaria, in Almada County.

The geological and geomorphologic conditions at the site have imported to this landslide some characteristics that are different from those related to other landslides that have occurred in this zone.

<sup>1</sup> Centro de Estudos de Geologia (CEG), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Quinta da Torre, 2829-516 Caparica, Portugal, [pcel@fet.unl.pt](mailto:pcel@fet.unl.pt) ou [rc@fet.unl.pt](mailto:rc@fet.unl.pt).

Along with this back analysis study, the most relevant morphological and geotechnical features involved are briefly dealt with in the paper.

## INTRODUÇÃO

A ocupação da faixa ribeirinha entre a ponte 25 de Abril e Trafaria é relativamente recente, notando-se, no decorrer da segunda metade do Séc. XX, ampliação contínua de zonas portuárias ligadas à indústria de oleaginosas, ao armazenamento de combustíveis, bem como a algumas empresas dedicadas à actividade marítima. Também naquela faixa, a fixação e expansão de pequenos centros populacionais tem resultado na ocupação das encostas de alguns vales que afluem ao Tejo. Criou-se, assim, um importante acervo de construções que por vezes enfrentam situações de perigo devido, em grande parte, à intervenção num meio geomorfológico em plena evolução, obrigando ao dispêndio de quantias avultadas para estabilização dos taludes envolventes.

A análise dos mecanismos de rotura nestes taludes situa-se no seguimento de diversos estudos desenvolvidos, desde há alguns anos, na Universidade Nova de Lisboa (Projecto TAGUS). Os mesmos visaram a caracterização geológica e geotécnica dos taludes fronteiros a Lisboa (RODRIGUES-CARVALHO *et al.*, 1986, 1987, 1989a, 1989b, 1991, LAMAS, 1989; SILVA, 1990), e culminaram na apresentação de trabalhos mais elaborados versando aquele assunto (LAMAS, 1998; LAMAS e RODRIGUES-CARVALHO, 2002, 2003), onde a problemática da instabilização dos taludes de toda a margem sul do Tejo fronteira a Lisboa, incluindo as suas condicionantes geológicas e geotécnicas, são tratadas em pormenor.

No trecho de taludes em referência, as formações rijas, calcareníticas ou margosas, encontram-se confinadas a zonas bem definidas ao longo da vertente, impondo aos taludes um perfil complexo, em degraus. A predominância dos terrenos brandos, silto-argilosos, sobre os rochosos, condiciona a existência de extensos patamares de declive suave entre degraus sucessivos. Os terrenos ficam, deste modo, expostos à acção dos agentes da erosão subaérea, o que facilita a sua meteorização. Sobre estes, acumulam-se depósitos de vertente por vezes com alguns metros de espessura. Estes aspectos justificam que, neste trecho, os escorregamentos de solos correspondam ao tipo dominante de movimentos de massa de vertente.

## CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

A costeira de Almada apresenta, em toda a sua extensão, uma estrutura em monoclinal suavemente inclinado para SSE, com camadas alternadamente mais rijas (margas, por vezes fossilíferas, arenitos e calcarenitos) e mais brandas (siltes, ora mais argilosos, ora mais arenosos) de idade miocénica.

A litologia desempenha um papel importante na diferenciação da forma dos taludes sobranceiros ao Tejo e no perfil das linhas de água adjacentes. As camadas que integram as principais divisões, definidas por COTTER (1956) para o Miocénico marinho de Lisboa, sofrem importantes variações laterais de fácies de um extremo ao outro da costeira. Tais variações poderão justificar, em parte, a diferenciação observada no perfil dos taludes, nomeadamente entre os trechos a leste e a oeste da ponte.

Para oeste da ponte a quantidade e espessura dos estratos areno-margosos e dos bancos de acumulações de conchas e moldes de conchas vão-se reduzindo progressivamente, dando lugar a camadas mais brandas e de granulometria cada vez mais fina. Todas estas variações concorrem para que os taludes fronteiros ao Tejo, que no sector entre Cacilhas e a ponte apresentam importantes trechos muito inclinados, mesmo verticais em várias dezenas de metros, se tornem, para oeste da ponte, progressivamente menos inclinados.

#### **TIPOLOGIA DE MOVIMENTOS E CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS**

Os taludes em análise encontram-se em fase activa de evolução, materializada essencialmente por ocorrências de tipos distintos de escorregamentos. Os mecanismos de tais movimentos diferem de local para local de acordo com as características litológicas e morfológicas presentes e consoante a intensidade de actuação dos diferentes agentes modeladores do terreno. Entre a Ponte 25 de Abril e Trafaria, os tipos de escorregamentos mais comuns em solos são os seguintes:

- Escorregamentos nas vertentes dos vales, podendo ser do tipo rotacional, singulares ou sucessivos, em ocorrências em geral pouco profundas mas, por vezes, de extensão apreciável (alguns hectares).
- Escorregamentos de crista: afectam praticamente todos os degraus de escarpas ao longo dos vales mais importantes. Estes movimentos, normalmente do tipo rotacional, abrangendo volumes relativamente pequenos, estão associados a inclinações excessivas que os depósitos de vertente atingem ao acumular-se por cima de escarpas rochosas. Um escorregamento deste tipo ocorrido em Porto Brandão, em Janeiro de 1996, destruiu duas habitações construídas de encontro ao sopé da escarpa, provocando duas vítimas mortais.
- Escorregamentos de sopé das vertentes dos vales: tipos de roturas desencadeadas, originalmente, por aumento de inclinação do terreno devido ao trabalho erosivo de linhas de água no decorrer de períodos de chuvas, ou por escavações efectuadas pelo Homem para alargamento de plataformas.
- Finalmente, nas frentes de taludes sobranceiros ao Tejo, são frequentes escorregamentos de detritos na face exposta do degrau inferior e, na sua crista, ocorrem por vezes escorregamentos rotacionais múltiplos.

Os terrenos miocénicos siltosos, sobreconsolidados e fissurados, apresentam-se superficialmente mais descomprimidos e propiciam os tipos de movimentos acima referidos. Caracterizam-se por uma coesão raramente superior a 50 kPa e ângulo de atrito entre 25° e 35°. Apresentam limite de liquidez ( $W_L$ ) da ordem de 40%, limite de plasticidade ( $W_p$ ) em torno de 20-21% e índice de plasticidade (IP) de 18-19%. Em relação aos solos deslocados (depósitos de vertente), eles apresentam valores de resistência inferiores, pelo menos na sua componente coesiva, têm limites de liquidez mais baixos, da ordem de 30-34%, mantendo-se porém o limite de plasticidade nos 20%. Tal justifica que os índices de plasticidade baixem para valores médios entre 8 e 10%.

As características geotécnicas, físicas e mecânicas, dos terrenos siltosos afectados pela ocorrência que a seguir se descreve foram obtidas em ensaios realizados nos laboratórios de Mecânica dos Solos e de Geologia de Engenharia da Universidade Nova de Lisboa, no âmbito dos trabalhos conducentes à elaboração de uma dissertação de doutoramento (LAMAS, 1998).

#### RETROANÁLISE DO MECANISMO DE UM ESCORREGAMENTO SOBRE UMA ESTRADA

Sobrancelho à estrada que liga Almada à Trafaria, no troço entre Murfacém e aquela segunda localidade, eleva-se um talude, exposto a sul, com cerca de 11° de inclinação. O declive referido termina abruptamente tanto do lado do sopé, onde se encontra cortado, desde os anos 30, por um talude de escavação adjacente à Estrada Nacional 377-1 com 3 a 5 m de altura, como do lado superior, onde o perfil dos terrenos se torna mais inclinado devido à presença de terreno mais resistente, calcário ou calcarenítico, pertencente às divisões  $Va_3$  e  $Vb$  (respectivamente, “Calcários da Musgueira” e “Areias do Vale de Chelas”) definidas por COTTER (1956). Na superfície mais suave entre estes últimos e o corte da estrada, ocorrem siltes argilosos ou arenosos da divisão  $Va_2$ , (“Areias com Placuna miocénica”) aos quais se sobrepõem depósitos de vertente.

Durante as fortes chuvadas do Inverno de 1995/96, desencadeou-se um escorregamento, com a forma de uma língua de terrenos com cerca de 100 m de comprimento por 30 m a 40 m de largura, que avançou sobre a estrada cobrindo-a em toda a sua largura (fig. 1).

348

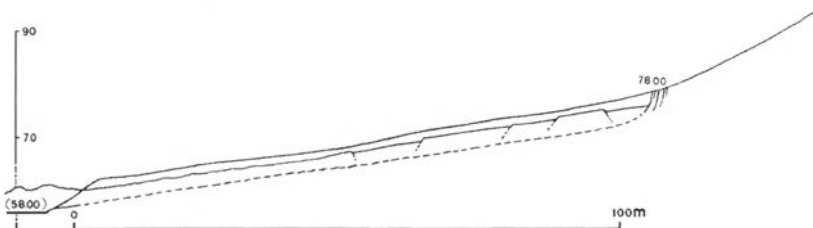


Fig. 1 - Perfil transversal do escorregamento sobre a Estrada Nacional 377-1.

A morfologia do terreno escorregado, numa sucessão de blocos separados entre si por grandes fendas e dispostos ora em “graben” ora em “horst” de direcção normal ao sentido do movimento, permite classificar a ocorrência como um escorregamento planar de terras em blocos (fig.2).

A perda de apoio lateral dos terrenos circundantes, devido ao abaixamento generalizado da zona escorregada, instabilizou estes últimos provocando, numa segunda fase, o alargamento da zona instável o que se materializou pelo prolongamento lateral da escarpa de topo do escorregamento para ambos os lados da primeira ocorrência. Assim, de pouco mais de 3000 m<sup>2</sup> inicialmente, a ocorrência passou a interessar mais de um hectare de vertente, tendo a sua rápida progressão remontante sido travada pela presença, alguns metros mais acima, do afloramento de terrenos mais resistentes atrás referidos e que formam pequena colina (fig.3). Um pouco a sul do referido talude existe um poço que, no Verão anterior, se apresentava com água a cerca de 1 m abaixo da superfície do terreno circundante. Na altura da ocorrência, o nível de água coincidia com a cota da boca do poço.



Fig. 2 – Aspecto do escorregamento em análise.

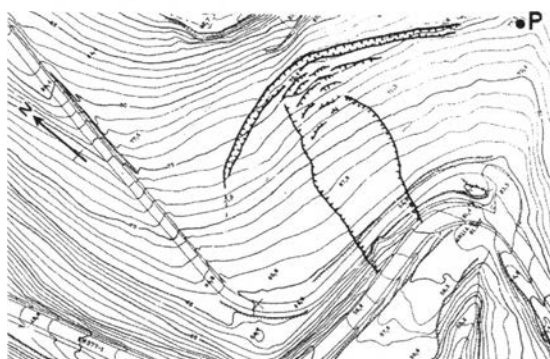


Fig. 3 – Área afectada pelo escorregamento sobre a EN377-1 (Esc. aprox.: 1:3 300).  
O ponto P, no vértice superior direito da planta, localiza o poço referido no texto.

Pela observação da morfologia do movimento, tanto junto à escarpa de topo como na berma da estrada sobre a qual os terrenos avançaram, verificou-se que a ocorrência interessaria apenas os depósitos de vertente e, quanto muito, as zonas superiores mais descomprimidas dos terrenos *in situ*, silto-argilosos, cobertos por aqueles depósitos. Os registos de algumas das sondagens realizadas no local, em 1996, após o escorregamento, confirmaram, de algum modo, os resultados das observações feitas no campo: os depósitos de material solto deveriam ter, em média, uma espessura de cerca de 4 m em quase toda a vertente, facto que permitiu interpretar esta ocorrência segundo um modelo de rotura planar em talude “infinito”. O corte realizado junto à estrada, ao retirar todo o confinamento de pé do talude à camada superficial constituída por depósitos de vertente, reforça a validade deste modelo.

Ensaio de identificação realizados em algumas amostras de depósito de vertente revelaram tratar-se de siltes margosos, variando os respectivos limites de consistência do seguinte modo:  $W_L$ : 29%-35%,  $W_P$ : 20%-24% e IP: 6%-15%. Neste mesmo local retiraram-se amostras de terreno *in situ*, igualmente silte margoso, um pouco mais plástico que os materiais soltos:  $W_L$ : 38%-47%,  $W_P$ : 20%-22% e IP: 18%-25%.

O peso volúmico aparente seco correspondeu, naquelas últimas amostras, aos valores normais obtidos para a generalidade dos siltes amostrados noutros locais deste sector dos taludes, independentemente da sua origem (entre  $16,4 \text{ kN.m}^{-3}$  e  $16,9 \text{ kN.m}^{-3}$ ) mas, noutras, ficou sensivelmente abaixo daqueles valores ( $14,5 \text{ kN.m}^{-3}$ ). O teor em água natural destas últimas estava em 26%. A sua coloração castanho-amarelada, enquanto as outras se apresentavam acinzentadas, bem como as diferenças observadas nos índices determinados (menor limite de liquidez e menor peso específico seco), acusavam um maior grau de meteorização relativamente às restantes, apesar da proximidade dos locais de onde todas as amostras tinham sido obtidas.

Foi possível talhar, a partir destas amostras de características diferenciadas, os provetes necessários para se efectuarem ensaios de corte directo consolidados, drenados. Destes, obtiveram-se os seguintes parâmetros resistentes, característicos de um terreno fortemente descomprimido:

Parâmetros de pico:  $c = 10,8 \text{ kPa}$ ;  $\phi = 24^\circ$

Parâmetros residuais:  $c_r = 0$ ;  $\phi_r = 23^\circ$

Admite-se para a generalidade dos terrenos escorregados um peso volúmico aparente seco idêntico ao obtido para aquelas amostras, o qual corresponderá não só ao da generalidade dos terrenos *in situ* mais superficiais e intensamente meteorizados, como ao dos depósitos de materiais soltos que os recobrem. Com as devidas reservas, pelo facto destes últimos serem, em regra, muito heterogêneos, apresentando características físicas variáveis de ponto para ponto, refira-se que,

segundo relatório geológico e geotécnico consultado, quatro ensaios in situ em depósitos de vertente da mesma região pelo método da garrafa de areia, forneceram valores de peso específico seco entre  $13,5 \text{ kN.m}^{-3}$  e  $14,8 \text{ kN.m}^{-3}$ .

Na situação mais instável, quando o terreno mais superficial se encontra totalmente saturado e com percolação paralela à superfície (fig. 4), a expressão do coeficiente de segurança (FS) é:

$$FS = \frac{c + \gamma' * d * \cos^2 i * \text{tg} \phi}{\gamma_{sat} * d * \cos i * \text{sen} i}$$

sendo:

- $\gamma$  e  $\gamma_{sat}$ , respectivamente, os pesos volúmicos submerso e saturado do terreno;
- $d$ , a profundidade, constante, da superfície de escorregamento;
- $i$ , o declive do terreno e, portanto, também da superfície de escorregamento.

Foram calculados os seguintes pares de valores de resistência de pico para a condição de equilíbrio limite (FS=1,0):

$$c = 10,8 \text{ kPa}; \phi = 17,5^\circ$$

$$c = 1,7 \text{ kPa}; \phi = 20^\circ$$

isto é, valores mais baixos que os parâmetros de pico determinados laboratorialmente. Ao elevar o ângulo de atrito obtido no primeiro par de valores em 20 %, para um valor ainda afastado do correspondente à amostra ensaiada, a coesão baixou em quase 85 %, tornando-se quase inexistente.

Conclui-se que o terreno deveria encontrar-se, no momento da rotura, na sua resistência residual. Este facto parece ser confirmado pela sua fraca inclinação, derivada de uma longa evolução tendente a atingir o perfil de equilíbrio nestes terrenos deslocados ou altamente meteorizados. O aproveitamento de toda aquela área pelas práticas agrícolas mascarava qualquer evidência morfológica de instabilizações anteriores, ao mesmo tempo que confirmava um intenso remeximento

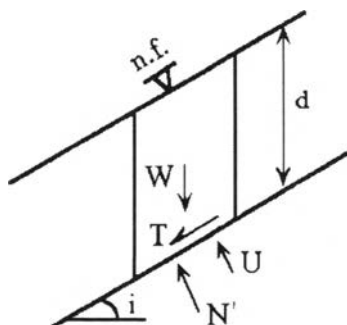


Fig. 4 – Fatia elementar com as forças actuantes num talude “infinito”, totalmente saturado e com percolação paralela à superfície.



das suas zonas mais superficiais. Por seu lado, verificou-se em testemunhos de sondagens realizadas no local que os terrenos siltosos subjacentes ao manto de depósitos de vertente encontravam-se fissurados, com abundantes “lisos” de aspecto espelhado sub-paralelos à estratificação. Estas fissuras, caracterizadas por uma resistência muito baixa ao deslizamento, favoreceram a percolação das águas subterrâneas ou por elevação dos níveis freáticos existentes, ou por infiltração através da delgada camada de terrenos soltos que se sobrepunham àqueles siltes. A exposição da vertente para o quadrante sul, próxima do sentido de inclinação das camadas e, portanto, da fissuração predominante era, por essa razão, muito favorável à instabilidade.

Admitindo, pois, o terreno na sua resistência residual, e uma vez que a coesão se anula, a expressão do coeficiente de segurança passa a ser:

$$FS = \frac{\gamma' * tg \phi}{\gamma_{sat} * tgi}$$

No equilíbrio limite (FS=1,0), e resolvendo a equação em ordem a  $\phi_r$ , determinaram-se os seguintes parâmetros resistentes:

$$c_r = 0; \phi_r = 22,7^\circ$$

valores praticamente idênticos aos obtidos em laboratório, o que confirma o facto do escorregamento só ter sido possível com o terreno na sua resistência residual.

No Verão anterior à ocorrência, o poço que se encontrava junto à área afectada continha água até 1m abaixo da cota do terreno circundante. Considerando essa profundidade como a do nível freático no resto da vertente, o coeficiente de segurança seria, nessa situação, de 1,29.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A retroanálise efectuada permitiu confirmar que, com o nível freático a cerca de 1 m de profundidade, ou seja, 3 m acima da superfície de escorregamento, o talude encontrava-se francamente estável. Sendo a inclinação do talude natural tão suave, a rotura dos solos deslocados e/ou muito meteorizados que o constituíam só seria possível em situações hidrogeológicas extremas – nível freático coincidente com a superfície do terreno. Se, pelo contrário, o declive geral fosse um pouco superior, para que houvesse rotura já não teria sido necessário o nível freático encontrar-se tão superficial.

Esta situação explica os casos de instabilidade em condições geológicas similares, com rotura aproximadamente ao longo do limite inferior dos depósitos de vertente, ou um pouco abaixo, e com níveis freáticos a certa profundidade, existentes noutros locais da área em estudo onde os declives gerais eram um pouco

superiores. Como exemplos, refiram-se escorregamentos ocorrentes mais a nascente há algumas décadas atrás, nas vertentes dos vales da Banática e de Porto Brandão interessando, respectivamente, 3 hectares e 2,5 hectares de terrenos coluvionares, e com declives gerais compreendidos entre 13° e 17°. Particularizando para o caso do vale de Porto Brandão, os depósitos de vertente apresentavam uma espessura média próxima de 3 m e o nível freático encontrar-se-ia a profundidade rondando 1 m.

## BIBLIOGRAFIA

- COTTER, J.C.B. (1956) – O Miocénico marinho de Lisboa (obra póstuma). Comunicações. Serv. Geol. Portugal, Lisboa. Suplemento ao tomo. XXXVI.
- LAMAS, P.C. (1989) – Carta de Riscos de Movimentos de Terrenos dos Taludes da Margem Sul do Tejo (Cacilhas - Trafaria). Dissertação de Mestrado, U.N.L., Lisboa.
- LAMAS, P.C. (1998) – Os Taludes da Margem Sul do Tejo - Evolução Geomorfológica e Mecanismos de Rotura. Dissertação de Doutoramento, U.N.L., Lisboa.
- LAMAS, P.C., RODRIGUES-CARVALHO (2002) – Mecanismo de rotura na escarpa entre Cacilhas e Arialva (Almada). Actas 8º Cong. Nac. Geotecnia, vol.2, LNEC, Lisboa.
- LAMAS, P.C., RODRIGUES-CARVALHO (2003) – Sector de Taludes entre a Ponte e Trafaria (Almada). Caracterização de um escorregamento rotacional. Actas do VI Cong. Nac. Geologia, Dep. Ciências da Terra, Monte de Caparica.
- RODRIGUES-CARVALHO, J.A. & Costa, C.N. (1986) – Modificações nas escarpas da Margem Sul do Tejo entre 1958 e 1975 – Um exemplo de utilização da detecção remota para o estudo da influência antrópica nos processos geológicos e naturais. Bol. Geotécnico 2, SAGT/UNL, Monte de Caparica.
- RODRIGUES-CARVALHO, J.A. & LAMAS, P.C. (1987) – Carta de movimentos de terrenos dos taludes da Margem Sul do Tejo. Bol. Geotécnico, SAGT/UNL, Monte de Caparica.
- RODRIGUES-CARVALHO, J.A. *et al.* (1989) – Nota descritiva da geologia da margem sul do Tejo (Cacilhas - Trafaria), na escala 1/2000. Relatório interno, SAGT /UNL, Monte de Caparica.
- RODRIGUES-CARVALHO, J.A. *et al.* (1991) – Notícia Explicativa da carta de cadastro hidrogeológico da margem sul do Tejo (Cacilhas-Cova do Vapor), Relatório interno, SAGT /UNL, Monte de Caparica.
- RODRIGUES-CARVALHO, J.A. *et al.* (1989) – Evolução da linha de costa Cacilhas - Cova do Vapor, Relatório interno, SAGT/UNL, Monte de Caparica.
- SILVA, A.P.F. da (1990) – Cartografia Geotécnica Assistida por Computador. Dissertação de Mestrado, U.N.L., Lisboa.