

UM EXEMPLO DA INFLUÊNCIA DA LITOLOGIA NA ESTABILIDADE DE TALUDES

An exemple of the influence of lithology on slope stability

por

RICARDO OLIVEIRA*

RESUMO – A margem direita do rio Tejo, nas proximidades de Santarém, a 70 Km para NE de Lisboa é uma encosta com cerca de 2 Km de comprimento e 80 m de altura.

As formações geológicas são constituídas por intercalações de complexos arenosos e argilo-siltosos sub-horizontais com carácter de estuário.

As inclinações da encosta variam entre 30° e 40° na maior parte da sua extensão. Como consequência, ocorrem todos os anos pequenos escorregamentos e quedas devidos à perda de coesão das formações.

Um importante escorregamento ocorreu recentemente numa das extremidades da encosta, envolvendo cerca de 200.000 m³ de terras. Nesta zona a inclinação da encosta era apenas de 20°, pelo que não era de esperar que ocorresse qualquer escorregamento.

O estudo realizado levou à conclusão que o acidente foi devido à presença de um nível de argilas plásticas orgânicas, intercalado num dos complexos argilo-siltosos, localizado a meia altura da encosta, onde se iniciou um lento processo de fluência que conduziu à rotura. Este nível de argila orgânica apenas ocorre na zona onde se deu o escorregamento.

SYNOPSIS – The right bank of the Tagus river, near Santarém, 70 km northeast of Lisbon, is a slope about 2 km long and 80 m high. The geological formations are nearly horizontal, interbedded Miocene sand and silty clay layers of estuarine character. The slope dips about 30 to 40 degrees throughout a large part of its extent. Thus, small surface slides occur every year due to loss of cohesion within the formations, leading to a normal geomorphological evolution of the slope.

An important landslide which involved about 200,000 m³ of soil occurred recently at one end of the slope. In this zone, the dip of the slope was only about 20 degrees; consequently, no landslide was expected. The study carried out and described showed that the accident was due to the presence of an extraordinarily plastic organic clay layer, interbedded in one of the silty clay complexes at mid-height of the slope, where a creep process, initiated long ago, led to rupture. This clay layer was limited to the sliding zone.

* Geólogo Especialista e Chefe da Divisão de Prospeção do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Portugal. GEOTECNIA 6

INTRODUÇÃO

Em Novembro de 1966, na encosta do Outeiro da Forca próximo de Santarém, a 70 Km a NE de Lisboa, ocorreu um importante escorregamento que deslocou no total cerca de 200.000 m³ de terras. A parte frontal das terras deslocadas parou junto à via férrea mais importante do País, entre os Km 71,8 e 72,1, situada na base da encosta.

Os primeiros indícios do escorregamento (fendas e pequenos assentamentos junto às fendas) foram detectados duas semanas antes dele se ter verificado. O escorregamento propriamente dito teve lugar durante 4 horas tendo-se os terrenos deslocado cerca de 30 m [3].

O bordo superior do escorregamento atingiu a cota 85 e o bordo inferior cerca da cota 40. A via férrea, que também ladeia o rio Tejo desenvolve-se nessa zona próximo da cota 12.

O escorregamento provocou uma escarpa com cerca de 2 a 3 dezenas de metros de altura (Fig. 1) e a massa deslocada escorregou, abaixo da cota 40,



Fig. 1 – Escarpa resultante do escorregamento

sobre a superfície do terreno vindo a parar, como se disse, junto à plataforma da via, o que levou, como medida de segurança e para realizar algumas das obras de emergência, à interrupção temporária do tráfego e posteriormente à observação cuidadosa da massa deslocada.

O talude do Outeiro da Forca constitui o extremo sul de uma encosta com cerca de 2 Km de extensão que termina, do lado de Santarém, na zona das Portas do Sol. Esta encosta com cerca de 80 a 90 metros de altura é apenas recortada por uma linha de água profunda afastada 1,2 Km da zona onde se verificou o escorregamento. Em grande parte da sua extensão a encosta tem inclinações médias entre 30° e 40° com excepção do talude do Outeiro da Forca onde a inclinação média, antes de se dar o acidente era apenas de 20°. Consequentemente não era de esperar que ocorresse aqui qualquer escorregamento.

O estudo realizado levou à conclusão que a causa principal do escorregamento foi a ocorrência de uma variação litológica (argila plástica com apreciável quantidade de matéria orgânica) localizada apenas na zona do acidente.

CONDIÇÕES GEOLÓGICAS

Imediatamente após o escorregamento e simultaneamente com alguns trabalhos de emergência iniciou-se o estudo do problema pelo reconhecimento geológico da superfície, que permitiu elaborar um programa de prospecção. Os trabalhos constaram da execução de sondagens de percussão acompanhados da realização de ensaios SPT de 2 em 2 m e da abertura de galerias (simultaneamente de prospecção e drenagem), valas e poços e tiveram como finalidade definir a natureza e atitude dos complexos geológicos que constituem a encosta e a geometria da massa escorregada e de permitir a colheita de amostras para caracterização em laboratório. Na figura 2 estão localizados os trabalhos de prospecção.

As formações “in situ” que constituem a encosta apresentam carácter flúvio-marinho e foram recentemente datadas do Miocénio [1]. São constituídas, em linhas gerais, por intercalações de complexos essencialmente argilo-siltosos e arenosos. Estes apresentam-se com granulometria variável, desde as areias finas às grosseiras, de um modo geral levemente cimentadas por cimento de natureza argilosa, por vezes constituindo mesmo arenitos. Acima

destas intercalações ocorre uma formação margosa resultante da impregnação das argilas e siltes por soluções carbonatadas provenientes da lexiviação de um nível de calcários brandos e tufofos. Estes calcários, que ocorrem na crista ao longo de quase toda a encosta, foram já erodidos na zona do Outeiro da Forca.

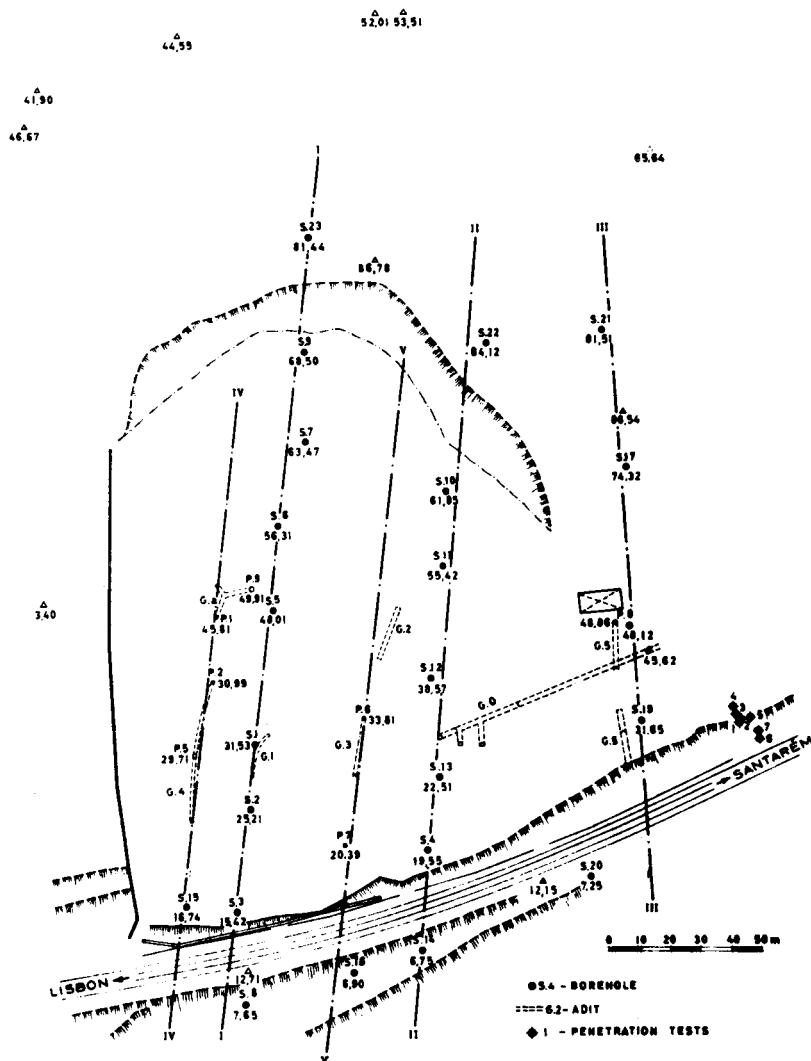


Fig. 2 – Localização dos trabalhos de prospecção

As formações são sub-horizontais, inclinando de um modo geral muito ligeiramente para SE, mostrando-se por vezes com carácter lenticular típico do regime do estuário em que se verificou a sua sedimentação.

Na figura 3 apresenta-se um corte geológico representativo da zona onde se deu o escorregamento. Nele figuram a superfície do terreno antes e depois do escorregamento, a superfície de escorregamento inferida dos trabalhos de prospecção e a natureza dos diferentes complexos. Além dos complexos “in situ” designados de C_1 a C_8 (Fig. 3) consideraram-se ainda: o complexo dos depósitos de vertente, heterogéneo, embora de carácter argilo-siltoso ou argilo-arenoso, aos quais se juntaram os aterros para a construção da plataforma da via férrea; o complexo aluvionar, constituído por sedimentos recentes transportados pelo Tejo, de granulometria variável, predominando as areias; e o complexo constituído pelas formações deslocadas pelo escorregamento.

As sondagens que atravessaram o complexo C_5 , argilo-siltoso, evidenciaram a ocorrência de um nível de argilas orgânicas plásticas, por vezes com aspecto carbonoso, de cor castanha escura a quase negra com espessura máxima de 2 m. Quando do reconhecimento de superfície que se seguiu ao escorregamento, logo se concluiu ter sido neste nível que se instalou a superfície de escorregamento, visto a superfície inferior dos terrenos que

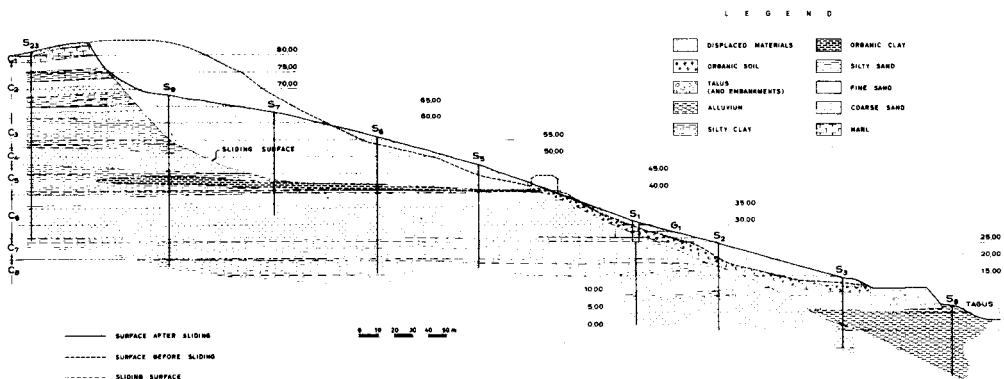


Fig. 3 – Corte geológico pela zona central do escorregamento

escorregaram e se deslocaram pela encosta, abaixo da cota 40, sobre a terra vegetal, ser constituída por essas mesmas argilas onde eram bem evidentes estrias, resultantes do movimento.



Fig. 4 – Estrias de escorregamento na argila orgânica deslocada

Os níveis aquíferos mais importantes são os níveis C_4 e C_6 . Neste último existiam várias captações que forneciam água à propriedade instalada na encosta.

À data do estudo (fins de 1966, princípio de 1967) conhecia-se já a constituição geológica da zona das Portas do Sol, no outro extremo da encosta, perfeitamente idêntica à do Outeiro da Forca [2]. Apenas não fora detectado qualquer nível argiloso com alto teor em matéria orgânica, do tipo do encontrado na zona do escorregamento.

Posteriormente, em virtude da empresa concessionária do caminho

de ferro reear a possibilidade de outros escorregamentos idênticos na encosta entre o Outeiro da Forca e as Portas do Sol, mais a mais tratando-se de trechos mais inclinados e por vezes ainda mais próximos da linha, houve a oportunidade de conduzir um estudo interessando toda a encosta intermédia onde, além do estudo geológico, hidrogeológico e geotécnico das formações se preconizou a realização de obras de estabilização. O estudo geológico constou, além do reconhecimento geológico de superfície e da abertura de pequenas valas de limpeza superficial, da realização de 50 sondagens de percussão alinhadas em perfis afastados, em média, cerca de 100 m [4]. Todos esses trabalhos evidenciaram a continuidade dos complexos que ocorrem ao longo de toda a encosta, sendo perfeitamente válida a sequência apresentada na figura 3, com excepção apenas para a intercalação argilosa orgânica que ocorre no complexo C₅, que não foi detectada em mais nenhuma zona da encosta.

Há notícia de escorregamentos e quedas em outras zonas desta encosta intermédia e são bem evidentes algumas cicatrizes de escorregamento. Contudo, estes dizem respeito em regra a zonas de depósitos de vertente ou de terrenos “in situ” meteorizados, interessando sempre volumes muito menores do que os do Outeiro da Forca (alguns milhares de m³). Em alguns casos, em zonas de maiores inclinações e mais próximas da via, os terrenos deslocados atingiram a linha provocando a interrupção do tráfego. O primeiro estudo realizado sobre os problemas da estabilidade de toda esta encosta data de 1862, poucos anos depois da inauguração da via férrea [6].

MINERALOGIA E CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS

Depois de definido que a superfície de escorregamento se instalara no nível de argilas orgânicas já referido, foram colhidas várias amostras, na sua parte deslocada, para identificação mineralógica e geotécnica.

Do ponto de vista mineralógico, o estudo ao microscópio da fracção total mostrou a presença de interstratificados irregulares, de ilite em fase de desagregação, de caulinite estruturalmente desordenada, de quartzo e de feldspato. O estudo aos raios X da fracção argilosa ($< 2 \mu$) mostrou predominância de ilite, alguma caulinite e vestígios de montmorilonite.

Os valores médios obtidos nos ensaios de identificação geotécnica de várias provetes são os seguintes:

Granulometria

Argila – 60%
Silte – 40-35%
Areia 0-5%

Limites de Atterberg

Limite de liquidez – 60%
Limite de plasticidade – 25%
Limite de retracção – 17%
Índice de plasticidade – 35%
Classificação – CH (Classificação Unificada)
A.7.6. (A.A.S.H.O.)

Peso específico das partículas – 2,53 g/cm³

Expansibilidade – 19,2%

Limite de absorção – 53,4%

Matéria orgânica – 5% (em certas zonas o teor em matéria orgânica ultrapassou 10% sendo ainda visíveis restos de vegetais).

Não houve oportunidade de colher amostras intactas deste material em número e com qualidade suficientes de modo a obterem-se resultados representativos.

Em face das características geotécnicas é no entanto de presumir que a coesão e o ângulo de atrito interno destas argilas sejam muito baixos.

Ensaio de corte directo feitos sobre amostras intactas colhidas em vários pontos da encosta intermédia e especialmente na zona das Portas do Sol, ao nível do complexo argilo-siltoso C₅ [2] [5], idêntico ao que ocorre no Outeiro da Forca, permitem atribuir àquelas formações quando pouco a não meteorizadas os seguintes valores médios das características de resistência:

$$c = 2 \text{ t/m}^2$$
$$\varphi = 30^\circ$$

Os valores médios dos limites de Atterberg, peso específico das

partículas e granulometria dos níveis mais grosseiros deste complexo são os seguintes [5]:

Limites de Atterberg

Limite de liquidez	– 32%
Índice de plasticidade	– 16%
Classificação	– CL (Classificação Unificada) A.6 (A.A.S.H.O.)

Peso específico das partículas – 2,65 g/cm³

Granulometria

Areia	– 30%
Silte + argila	– 70%

Os valores obtidos para os mesmos ensaios em amostras dos níveis mais finos são os seguintes [5]:

Limites de Atterberg

Limite de liquidez	– 45%
Índice de plasticidade	– 26%
Classificação	– CL (Classificação Unificada) A.7.6 (A.A.S.H.O.)

Peso específico das partículas – 2,70 g/cm³

Granulometria

Areia	10%
Silte + argila	– 90%

A percentagem de matéria orgânica é inferior a 1%.

MECANISMO DO ESCORREGAMENTO

A evolução geomorfológica normal de toda a escarpa, desde o Outeiro da Forca até às Portas do Sol, faz-se essencialmente à custa da meteorização e erosão superficial agravadas em zonas de emergência de águas subterrâneas. Localmente, onde os depósitos de vertente atingem espessura apreciável (por

vezes superior à dezena de metros) ocorrem escorregamentos de tipo cilíndrico, mais ou menos superficiais, interessando apenas os depósitos de vertente e por vezes as zonas meteorizadas das formações "in situ" subjacentes. A evolução faz-se assim por movimentos de terrenos com pequenos volumes que se vão acumulando na base da encosta ou em certos casos chegam mesmo ao rio, atravessando a via férrea.

No caso do Outeiro da Forca, objecto desta comunicação, o movimento dos terrenos consistiu essencialmente de um escorregamento profundo de tipo planar que se instalou ao longo do nível argiloso orgânico plástico sub-horizontal, envolvendo como se disse um grande volume de terrenos deslocados, apesar de nesta zona a inclinação do talude natural ser apenas de 20° e consequentemente menor a tensão tangencial, função da geometria da encosta.

Em face do estudo geológico, mineralógico e geotécnico que se levou a cabo após o escorregamento parece poder concluir-se que a causa essencial do escorregamento foi a variação litológica que afectou o complexo argilo-siltoso C₅ (ocorrência de argilas orgânicas plásticas) e que o mecanismo terá sido um mecanismo de rotura progressiva, iniciado por fluência dessas argilas cerca da cota 40, próximo da superfície do talude, onde as tensões de corte são maiores e menor a coesão das argilas como consequência da meteorização.

Em virtude de se tratar de um talude natural em que as condições geométricas e hidrogeológicas se mantinham há muitas dezenas de anos, deve ter-se iniciado no nível argiloso orgânico próximo da superfície do talude um lento processo de fluência como consequência de a tensão tangencial instalada a esse nível ser, em dado momento, ligeiramente superior à tensão de cedência do material. As deformações resultantes dessa fluência provocaram o aparecimento de fissuras que permitiram o acesso mais rápido dos agentes atmosféricos (especialmente a água) ao interior do maciço, facilitando assim a degradação progressiva das características de resistência da formação argilosa e conduzindo dessa forma à rotura que levou ao escorregamento de toda a massa sobrejacente. Verifica-se de facto que o nível argiloso próximo da superfície do talude foi como que espremido como consequência do fenómeno.

Embora nas restantes zonas da encosta as inclinações sejam apreciavelmente maiores e consequentemente mais elevado o valor da tensão tangencial ao mesmo nível do talude, não se verificou qualquer acidente deste tipo (escorregamento profundo de tipo planar) em virtude de os valores de c e φ das

formações que constituem o complexo argilo-siltoso C₅ ao longo da encosta serem suficientemente elevados para que o nível de tensões instalado não seja capaz de iniciar um processo de fluência, que se propague para o interior do maciço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - CARVALHO, A. M. G. - Contribuição para o conhecimento geológico da Bacia Terciária do Tejo. Memória dos Serviços Geológicos de Portugal n.º 15 (N. S.). Lisboa. 1968.
- 2 - NASCIMENTO, U.; DUARTE, P. T. - Obras de Consolidação da encosta das Portas do Sol em Santarém. Ante-projecto. Proc.º 54/1/2338. Relatório interno. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 1967.
- 3 - NASCIMENTO, U.; OLIVEIRA, R.; ESTEVES, J. M. - Estudos relativos ao escorregamento do Outeiro da Forca. Proc.º 54/1/3138. Relatório interno. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 1967.
- 4 - NASCIMENTO, U. et al - Consolidação da encosta Outeiro da Forca - Portas do Sol, em Santarém - Encosta intermédia e alargamento da plataforma da via férrea. Proc.º 54/1/3206. Relatório interno. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 1970.
- 5 - NASCIMENTO, U.; OLIVEIRA, R.; GREGÓRIO, M. - Estudo complementar das características de resistência dos terrenos da encosta das Portas do Sol. Proc.º 54/1/3206. Relatório interno. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 1970.
- 6 - RIBEIRO, C. - Relatório acerca da questão que foi proposta à Comissão Geológica do Reino em ofício do Ministério das Obras Públicas de 23 de Maio de 1862. Ministério das Obras Públicas, Comércio e Indústria. Relatório não publicado. Lisboa. 1862.