

# **INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NOS DESLIZAMENTOS E NO COMPORTAMENTO DOS PELITOS DO TRIÁSICO, EM COIMBRA**

## **INFLUENCE OF PRECIPITATION IN THE LANDSLIDES AND IN THE BEHAVIOUR OF THE TRIASSIC SILTSTONES, IN COIMBRA**

Quinta Ferreira, Mário, *Dep. Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, mgf@dct.uc.pt*  
Lemos, Luís J.L.L., *Dep. Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, llemos@dec.uc.pt*  
Pereira, Luís F.M., *Dep. Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, lfp@ci.uc.pt*

### **RESUMO**

É apresentada a análise da precipitação em conjunto com os deslizamentos ocorridos na zona de Coimbra. Os dados da precipitação abrangem o intervalo entre 1864 a 2003. Os dados relativos aos deslizamentos foram obtidos a partir de artigos em jornais da região. Os resultados permitiram concluir que os deslizamentos tendem a ocorrer quando a precipitação é consideravelmente superior aos valores médios nos períodos que antecedem os deslizamentos reduzindo as condições de estabilidade dos taludes. Foram também analisadas algumas características geotécnicas de um siltito (pelito) que aflora em Coimbra, datado do final do Triásico, e que tende a apresentar graves problemas de estabilidade quando em presença da água.

### **ABSTRACT**

The analysis of the precipitation together with the landslides occurrences in the Coimbra area is presented. The data of the precipitation encompasses the years 1864 to 2003. The landslides data was obtained from articles in periodicals of the region. The results allowed to conclude that, generally, the landslides occur when the precipitation in the periods before the landslides is considerably higher than the average, reducing the stability of the slopes. It was possible to determine that the precipitation intensity is so or more important than the accumulated precipitation, therefore provoking a sudden alteration of the stability conditions of the terrains. The geotechnical characteristics of a late Triassic siltstone (pelito), and outcropping in the area of Coimbra, were analyzed. This siltstone shows severe destabilization problems when in the presence of water.

### **1. INTRODUÇÃO**

É sabido que a precipitação tende a degradar as condições de estabilidade dos taludes, ao aumentar os teores em água dos terrenos reduzindo a sua resistência. Como a água assume grande importância na análise da segurança dos taludes, neste trabalho é analisada a relação entre a precipitação e a ocorrência de deslizamentos. São também apresentadas as características de um siltito argiloso, correntemente designado como “pelito” na terminologia geológica, e que tende a apresentar um comportamento geotécnico bastante evolutivo em presença da água. Nos taludes onde aflora este material tendem a ocorrer deslizamentos em resultado da degradação das propriedades dos pelitos.

## 2. VARIACÃO SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO

Num clima temperado, como o que possui a região de Coimbra, os meses com precipitação mais elevada são também os mais frios, compreendendo o período desde o final do Outono até ao início da Primavera.

Na Figura 1, apresenta-se a variação da precipitação diária média (nuvem de pontos com curva ajustada) bem como a linha horizontal corresponde a 2,65mm de precipitação, que é o valor médio da precipitação diária entre 1864 e 2003. A figura mostra que a precipitação mais intensa ocorre entre os meses de Outubro e Abril, com um máximo nos meses de Novembro a Janeiro. Apesar de se considerarem as médias para os vários dias do ano durante 139 anos, podemos observar que há uma elevada dispersão dos valores em dias consecutivos. Esta observação mostra que a precipitação apesar de apresentar uma tendência de variação ao longo do ano exhibe uma grande variabilidade em dias consecutivos.

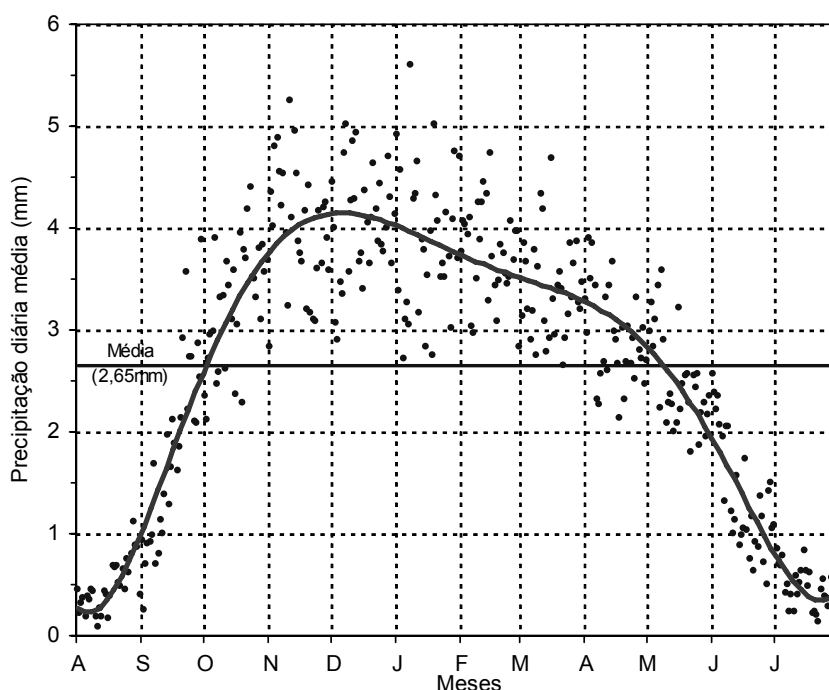


Figura 1 – Variação da precipitação diária média (nuvem de pontos com curva ajustada) calculada entre 1864 e 2003. A linha horizontal de 2,65mm corresponde à média da precipitação diária entre 1864 e 2003.

### 2.1 Relação entre a precipitação e os deslizamentos

Procurando representar os dados de um modo mais legível, optou-se na Figura 2 pela representação da precipitação acumulada mensal. Quando se analisa a precipitação média mensal verifica-se um ajustamento bastante bom entre a precipitação mensal e o número de deslizamentos (Figura 2). Considerando o início da análise em Agosto, só no mês de Outubro, quando a precipitação apresenta valor acima da média mensal entre 1864 e 2003, correspondente a 80,6mm, é que há registo de instabilizações. Pela análise conjunta das Figuras 1, 2 e da Tabela 1, verifica-se que apesar da precipitação ser intensa nos meses de Outubro e Novembro, ocorrem poucos deslizamentos em comparação com os meses seguintes, o que se atribui ao baixo teor em água com que se encontram os terrenos após o período seco de Verão.

Já no que se refere ao final do período chuvoso, verifica-se que em Maio ainda há registo de instabilizações de taludes, sendo a precipitação acumulada mensal ligeiramente abaixo da média. Considera-se que esta situação poderá estar relacionada com o facto de os terrenos possuírem teores em água mais elevados após o período mais chuvoso de Inverno, ao que se deverá ter associado um período de chuva intensa, acima da média para a época do ano.

É de notar que nos restantes meses com precipitação abaixo da média não se encontraram registos de deslizamentos.

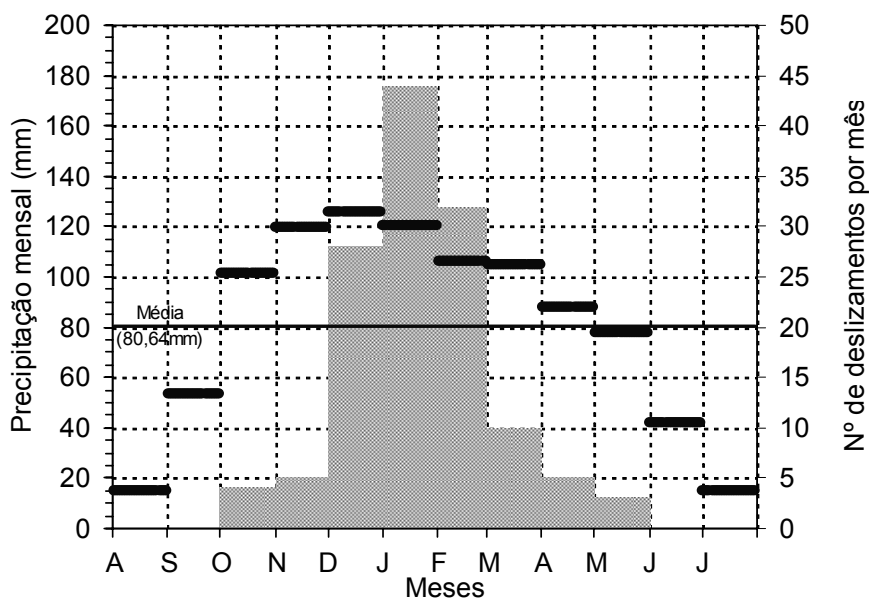


Figura 2 – Precipitação mensal (traços horizontais) e número total de deslizamentos por mês (barras), num gráfico de duplo eixo dos yy. A linha horizontal de 80,64mm é a média da precipitação mensal entre 1864 e 2003.

Na Tabela 1 apresenta-se a contabilização dos deslizamentos em cada mês, ocorridos entre 1864 e 2003, com um total de 131 deslizamentos, bem como o número de deslizamentos para o ano de 2000-2001, num total de 53.

Tabela 1 – Número total de deslizamentos registados por cada mês, de Agosto a Julho, entre 1864 e 2003 e para o ano de 2000-2001.

Anos	1864 a 2003		2000 - 2001	
	Número	(%)	Número	(%)
Agosto	0	0,0	0	0,0
Setembro	0	0,0	0	0,0
Outubro	4	3,1	0	0,0
Novembro	5	3,8	1	1,9
Dezembro	28	21,4	8	15,1
Janeiro	44	33,6	34	64,2
Fevereiro	32	24,4	5	9,4
Março	10	7,6	5	9,4
Abril	5	3,8	0	0,0
Maio	3	2,3	0	0,0
Junho	0	0,0	0	0,0
Julho	0	0,0	0	0,0
<b>Total</b>	<b>131</b>	<b>100,0</b>	<b>53</b>	<b>100,0</b>

Como a precipitação em 2000-2001 foi muito elevada, sendo um dos anos mais chuvosos de que há registo no Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (IGUC), com um período de retorno de cerca de 30 anos, ocorreram numerosos deslizamentos devido à altíssima pluviosidade, pelo que se optou por efectuar a análise individualizada, que se apresenta na Figura 3.

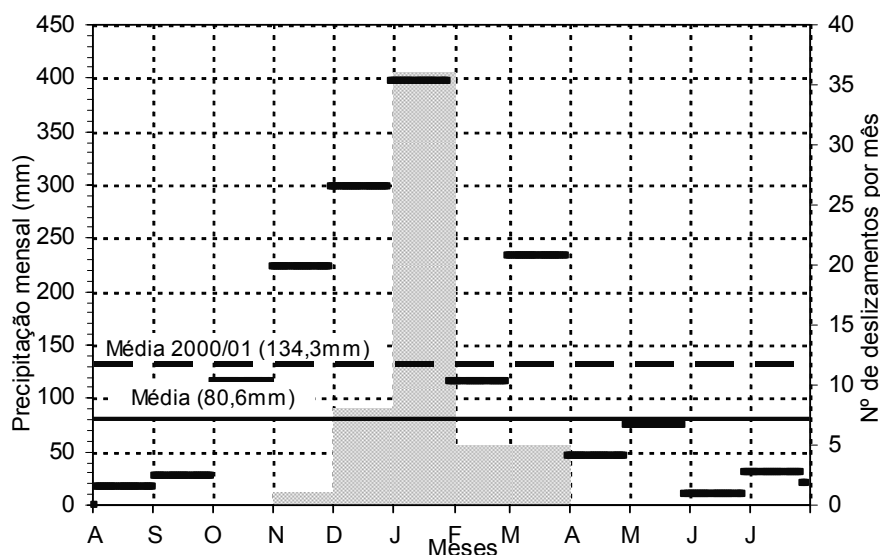


Figura 3 – Precipitação mensal (traços horizontais) e número total de deslizamentos por mês (barras), para o ano de 2000-2001, num gráfico de duplo eixo dos yy. A média da precipitação mensal entre 1864 e 2003 é de 80,6mm, enquanto que em 2000-2001 é de 134,3mm.

Observa-se na Figura 3 uma distribuição das ocorrências semelhante à da Figura 2, sendo mais evidente a relação entre os picos de precipitação e o aumento dos deslizamentos. Também neste caso só com valores da precipitação acumulada acima do valor médio (80,6mm num mês), é que se verifica a ocorrência de deslizamentos.

A análise da relação entre a precipitação acumulada e o número de deslizamentos ocorridos num ano hidrológico permite concluir que não estão directamente relacionados.

Procurou-se então analisar a precipitação anterior aos deslizamentos, pelo que na Figura 4 se apresentam nove curvas de precipitação acumulada.

Oito curvas correspondem a diversos anos em que foram registados deslizamentos, enquanto que a nona curva corresponde à média da precipitação acumulada para todos os anos de que se tinha registo. A generalidade dos deslizamentos tendem a ocorrer nas curvas com valores acumulados acima da média. É nos troços com gradiente mais acentuado que se tendem a concentrar os deslizamentos, correspondendo também aos meses mais chuvosos.

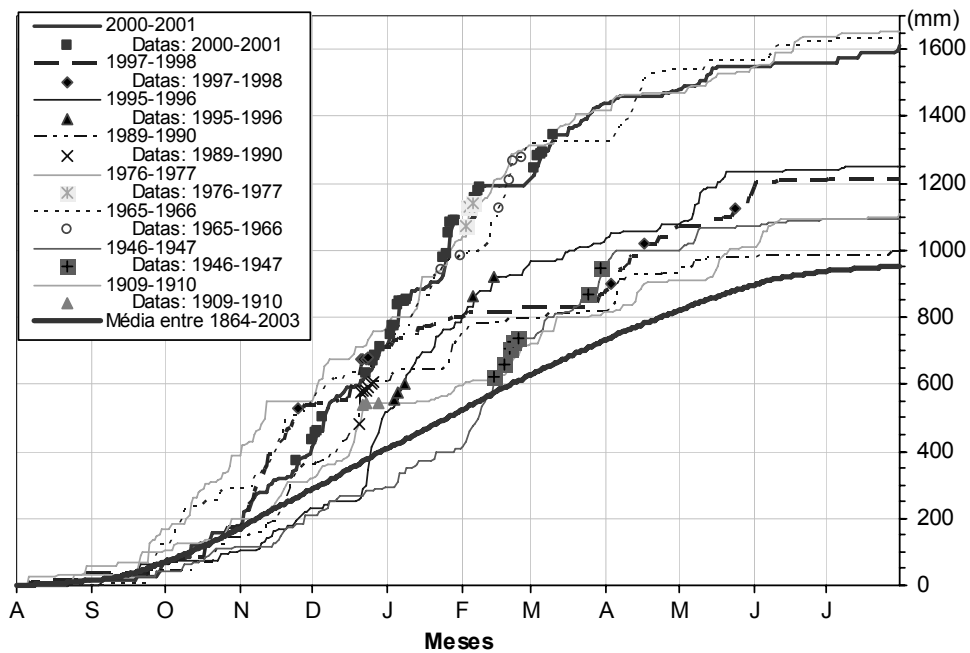


Figura 4 – Precipitação acumulada em oito anos seleccionados e indicação das datas em que ocorreram deslizamentos.

## 2.2 Importância da precipitação anterior aos deslizamentos

Considerando a precipitação imediatamente anterior aos deslizamentos, da Figura 5, conclui-se que é possível definir um limiar inferior de precipitação capaz de provocar deslizamentos, em que P-3 diminui com o aumento de P-15 até um valor de P-15 rondando os 90mm. Para além deste valor de P-15, esta relação deixa de se verificar, bastando um valor de P-3 acima de 24mm para poderem ocorrer deslizamentos. Para o nível de três ocorrências em três dias [1], abaixo do limiar inferior de precipitação, não tendem a ocorrer deslizamentos.

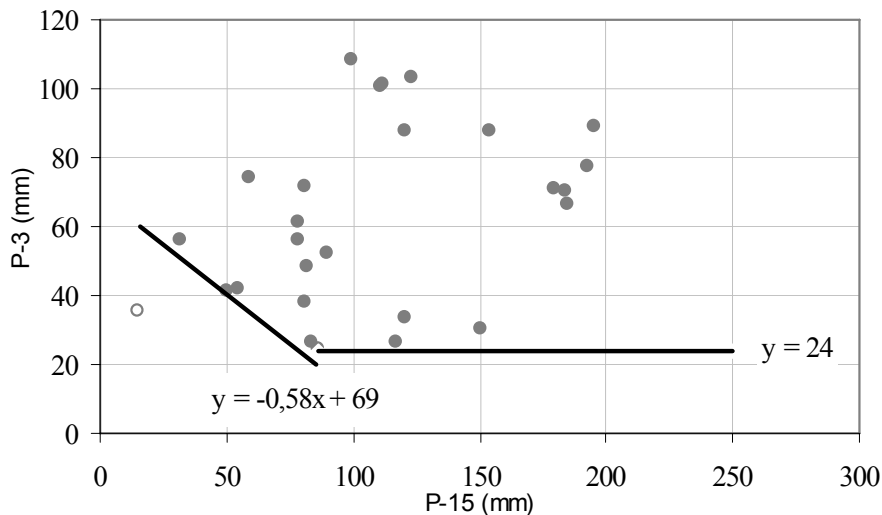


Figura 5 - Precipitação acumulada nos 3 dias anteriores ao deslizamento (P-3), versus precipitação acumulada nos 15 dias anteriores a esses 3 dias (P-15), para um mínimo de 3 deslizamentos em 72 horas [2].

Considerando agora a possibilidade de ocorrer um deslizamento isolado apresenta-se na Figura 6 a projecção de todos os deslizamentos registados.

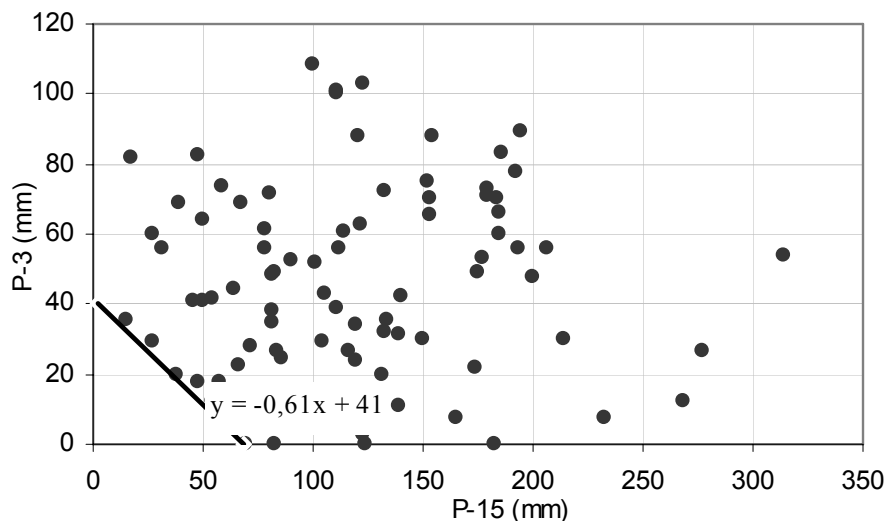


Figura 6 – Precipitação acumulada dos 3 dias anteriores (P-3) versus a precipitação acumulada nos 15 dias anteriores a esses 3 dias (P-15) para todos os deslizamentos registados [2].

A Figura 6 permite definir um limiar inferior de precipitação capaz de provocar deslizamentos, verificando-se que para valores de P-15 superiores a 70mm não é necessário ocorrer precipitação nos 3 dias anteriores ao deslizamento para que este possa ser desencadeado.

### 3. INFLUÊNCIA DA ÁGUA NO COMPORTAMENTO DOS PELITOS

A conclusão de que a precipitação influencia a ocorrência de deslizamentos levou à análise das modificações que ocorrem nos materiais em presença da água. De entre os materiais existentes na região de Coimbra, considerou-se como mais relevante um siltito argiloso, correntemente designado como “pelito” na terminologia geológica, e que pelas observações de campo apresentava um comportamento geotécnico bastante evolutivo em presença da água.

No terreno encontram-se os pelitos em duas situações com comportamentos bastante distintos: a) como rocha branda com a estrutura intacta; b) como solos resultantes da degradação da rocha branda, podendo este processo ter ocorrido naturalmente ou devido à intervenção humana.

Para caracterizar o comportamento dos pelitos recolheram-se amostras de fragmentos expostos após a escavação do talude, na Circular Externa de Coimbra, no acesso à PS1 [3] e efectuaram-se diversos ensaios no laboratório.

A mineralogia das amostras ensaiadas é essencialmente constituída por illite, caulinite, clorite e quartzo, podendo ser encontrada calcite e dolomite, não possuindo minerais argilosos esmectíticos. A porosidade da rocha intacta, determinada com um porosímetro de mercúrio, ronda os 18%, mas com poros muito finos, apresentando uma distribuição unimodal, com dimensão rondando os 0,03 a 0,05  $\mu\text{m}$ . A área total de poros dos pelitos é de 10 a 14  $\text{m}^2/\text{g}$ . O peso volúmico aparente da rocha intacta ronda os 22  $\text{kN}/\text{m}^3$  [3].

### 3.1 Variação do teor em água e expansibilidade dos pelitos

Nos locais onde os pelitos afloram naturalmente, esta rocha branda tende a mostrar-se muito degradada e parcialmente transformada em solo residual, exibindo um comportamento muito sensível à água. Para se entender essas variações, de grande importância para a estabilidade dos taludes, pois que estes materiais tendem a apresentar graves problemas de instabilização, realizaram-se alguns ensaios.

Utilizando fragmentos de rocha e tendo como ponto de partida o material no estado seco, verifica-se que o teor em água cresce rapidamente segundo um andamento aproximadamente linear nos primeiros 20 a 30 minutos, atingindo um máximo do teor em água cerca de 40 a 50 minutos após o início da submersão, correspondendo a valores de teor em água entre 18 e 25%.

A posterior diminuição do teor em água que se observa na Figura 7 resulta da desagregação dos fragmentos dos pelitos devido à molhagem, ficando apenas os núcleos mais resistentes e menos porosos. Comparando a absorção de água dos pelitos com a dos calcários e dos arenitos que se encontram intercalados em finas bancadas, pode-se dizer que adquirem teores em água muito inferiores à dos pelitos, aumentando progressivamente até estabilizarem cerca de uma hora após o início da submersão. O calcário estabilizou para valores rondando os 2% enquanto que o teor em água na amostra de arenito estabilizou para valores rondando os 8% de teor em água [3].

### 3.2 Resistência e durabilidade dos pelitos

Como o aumento do teor em água influencia a resistência das rochas, em particular das brandas, efectuou-se a determinação da resistência dos pelitos e das rochas que se encontram com eles intercaladas em finas bancadas. Para tal efectuaram-se ensaios de resistência à carga pontual [4] em várias condições de teor em água: teor em água natural; 24 horas após recolha; seco em estufa; submersão durante 5, 10, 20 e 30 minutos de amostras previamente secas em estufa.

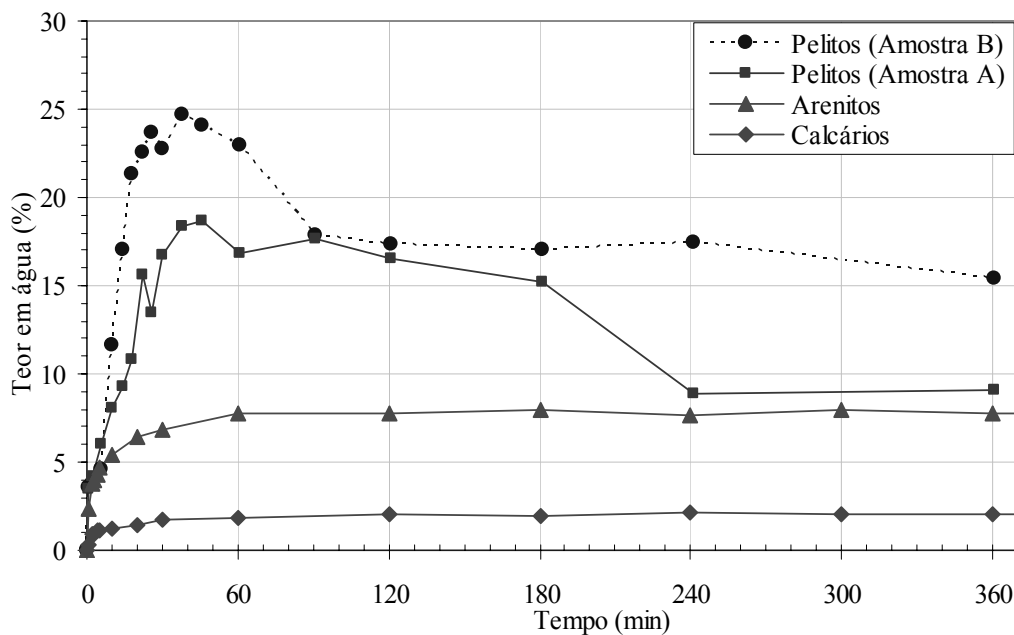


Figura 7 - Variação do teor em água com o tempo de molhagem dos fragmentos de rocha.

Para os pelitos, o valor mais elevado de resistência à carga pontual foi de 1,27 MPa após secagem em estufa (Figura 8). Após poucos minutos de molhagem a rocha adquire teores em água entre os 5 e os 8,5%, reduzindo-se drasticamente a resistência à carga pontual dos pelitos até valores praticamente nulos, inferiores a 0,1 MPa (Figura 8).

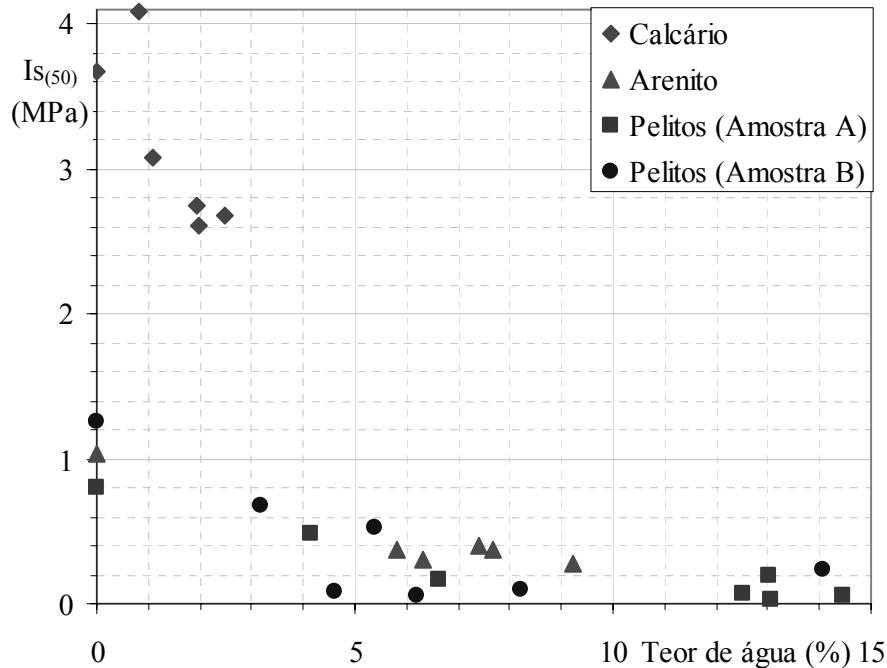


Figura 8 – Variação da resistência à carga pontual em função do teor em água.

As amostras de pelitos com teores em água mais elevados, entre os 12% e os 15%, e com resistências de cerca de 0,1 MPa ou inferiores correspondem aos núcleos mais resistentes e menos porosos que também foram encontrados na determinação do teor em água com o tempo de submersão.

Quanto aos arenitos, apresentam uma gama de valores para a resistência e para os teores em água próximos dos exibidos pelos pelitos, mas com valores da resistência sempre acima de 0,1 MPa mesmo para os teores em água mais elevados (Figura 8). Os calcários são os materiais mais resistentes com valores entre os 4,1 MPa e os 2,6 MPa, e teores em água máximos da ordem dos 2,5%.

A análise comparativa dos resultados mostra que os pelitos são, de entre os materiais encontrados no talude, os mais sensíveis à presença da água. A maior permeabilidade dos arenitos favorece a circulação da água e facilita a molhagem dos pelitos, com a consequente degradação das suas propriedades.

A baixa durabilidade dos pelitos é bem evidenciada pelo ensaio de desgaste em meio húmido (Slake Durability Test) [5], pois que, em média, ao fim do segundo ciclo, esta rocha branda perde cerca de 60% do seu peso inicial, desagregando-se por completo ao fim de seis ciclos do ensaio (Figura 9).



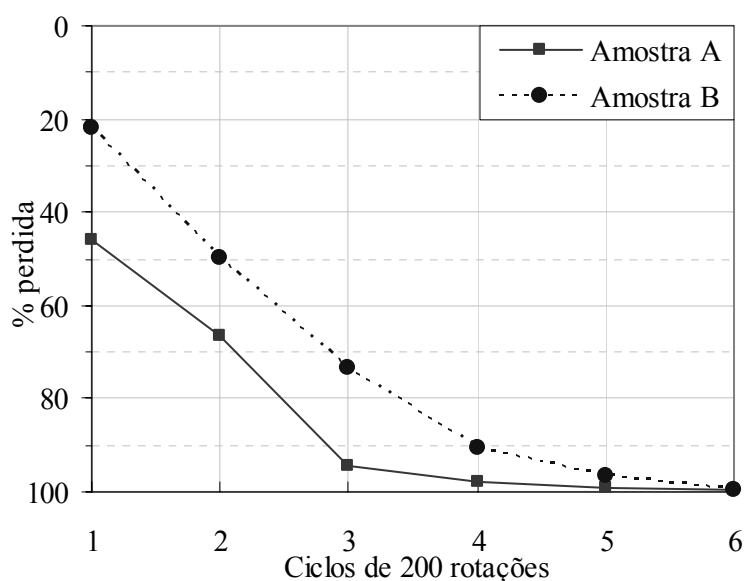


Figura 9 – Variação da perda de massa dos pelitos no ensaio de desgaste em meio húmido.

### 3.3 Solos resultantes dos pelitos

Os solos resultantes da desagregação dos pelitos são areno-siltosos com comportamento sensível à acção da água. Os limites de consistência [6] rondam os seguintes valores: limite de liquidez (WL) entre 33% e 35%; limite de plasticidade (WP) entre 22 e 26% e índice de plasticidade entre 9 e 11%. Os resultados do ensaio do azul de metileno [7] variam entre 0,5 e 1,2 gramas de azul de metileno por 100 gramas de solo. De acordo com a classificação LCPC/SETRA os solos com azul de metileno (VBS) entre 0,2 e 1,5 g/100g correspondem a solos areno-siltosos com comportamento sensível à acção da água.

Classificam-se, segundo a classificação unificada [8], como ML-MI (siltes de baixa a média plasticidade) ou como argilas de baixa plasticidade (CL), são da classe A4 (solo siltoso) ou A6 (solo argiloso) segundo a classificação AASHTO [9] e da classe A1 (silte pouco plástico), segundo a classificação LCPC/SETRA [10].

A expansibilidade não confinada [11] foi determinada em amostras desagregadas manualmente. Na Figura 10 podemos observar que a maior taxa de expansão ocorre entre os 5 e os 20 minutos iniciais, decrescendo progressivamente a expansibilidade até praticamente estabilizar para além dos 300 minutos de molhagem, exibindo ao fim de cinco dias de ensaio uma expansão entre 13% e 16%.

Os solos resultantes da alteração dos pelitos apresentam valores da resistência ao corte muito reduzidos, rondando os 12° obtido no ensaio de corte rotativo.

A grande facilidade com que estes solos absorvem água e expandem, passando a apresentar as características de uma lama, associados com a sua baixa resistência ao corte, fazem com que sofram numerosos episódios de instabilização quando da ocorrência de precipitação, capaz de provocar a sua molhagem.

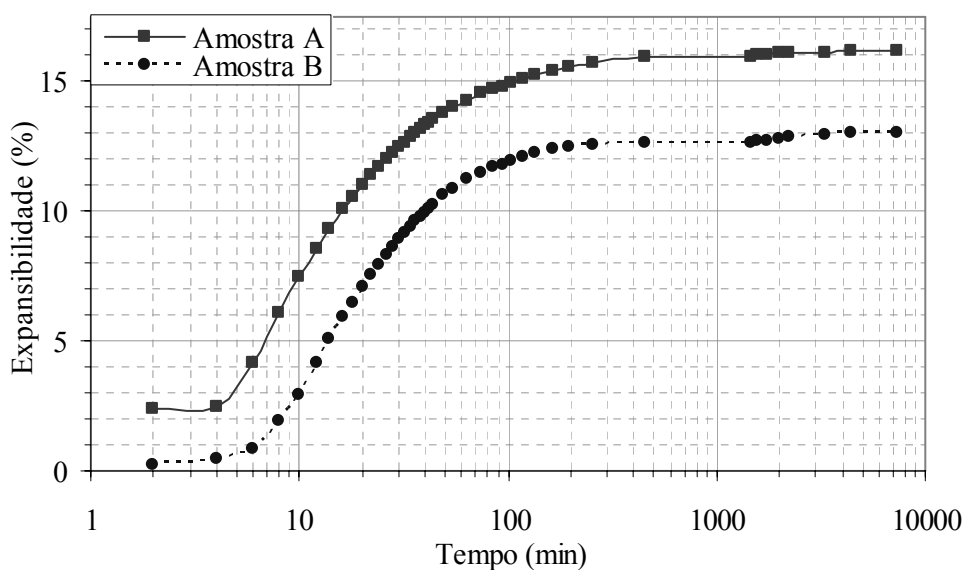


Figura 10 - Expansão linear, não confinada de duas amostras de pelitos.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na análise apresentada mostra-se que a precipitação é condicionante no desencadear de instabilizações. Para além da precipitação há outros factores, quer naturais, quer resultantes da intervenção humana, que não foram aqui tratados e que podem influenciar a ocorrência de deslizamentos.

Alguns dos aspectos a reter relativamente à ocorrência de deslizamentos são enumerados a seguir.

O intervalo de recorrência para que se verifica um aumento sensível do número de instabilizações é de 6,5 anos. Para um valor de precipitação acumulada de 1600mm correspondendo ao ano hidrológico de 2000-2001, o intervalo de recorrência é de 30 anos [2].

Em cinco dos sete meses mais chuvosos (Novembro a Março), o valor mínimo de precipitação diária média é superior à média de 2,65mm, e o valor máximo é geralmente inferior a 5,0mm.

No desencadear de instabilizações, a precipitação acumulada imediatamente antes da instabilização assume maior importância do que a precipitação anual acumulada.

A precipitação diária média dos períodos de chuva que antecederam instabilizações é geralmente muito superior ao valor de precipitação diária média entre 1864 e 2003 (2,65mm), com desvios percentuais desde 150% a 300% [2].

Há relação entre a ocorrência de deslizamentos e a quantidade de precipitação ocorrida nos 3 dias imediatamente antecedentes ao deslizamento (P-3) e a precipitação ocorrida nos 15 dias anteriores a esses 3 dias (P-15), para um nível mínimo de ocorrência de 3 deslizamentos em 72 horas. Contudo, quando P-15 é superior a 90mm, parece suficiente um P-3 de cerca de 24mm para que possam ocorrer um mínimo de 3 deslizamentos em 72 horas.

Considerando a ocorrência de 1 deslizamento isolado foi possível definir um limiar inferior de precipitação capaz de o provocar, verificando-se que para valores de P-15 superiores a 70mm não é necessário ocorrer precipitação nos 3 dias anteriores ao deslizamento para que este possa ser desencadeado.

Quanto ao comportamento geotécnico dos pelitos pode-se afirmar que a sua rápida desagregação em presença da água se deve essencialmente à mineralogia e à granulometria da rocha intacta.

A fina rede de poros equidimensionais gera tensões capilares elevadas, que promovem o acesso rápido da água ao interior das amostras, levando à perda da coesão das partículas siltosas que não possuem cimento a reforçar as suas ligações [3].

Os resultados da resistência à carga pontual confirmam que a molhagem diminui drasticamente a resistência para valores muito baixos, entre 1/5 a 1/20 da resistência dos pelitos quando secos.

A baixa durabilidade dos pelitos é evidenciada pelo ensaio de desgaste em meio húmido, uma vez que, ao fim do segundo ciclo, a rocha perde mais de metade do seu peso inicial, desagregando-se por completo ao fim de seis ciclos.

Em resultado da descompressão da rocha e da exposição à acção da água, os pelitos evoluem rapidamente de uma rocha branda para um solo siltoso de aspecto lamacento quando saturados, acarretando problemas geotécnicos muito graves, nomeadamente instabilização de taludes superficiais e queda de muros de suporte. Os problemas geotécnicos mais graves verificam-se nos solos resultantes da desagregação natural da rocha branda.

## **5. AGRADECIMENTOS**

À Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pelo financiamento do projecto de investigação POCTI/ECM/38444/2001, participado pelo FEDER, intitulado “Quantificação das causas geradoras de instabilizações de taludes na região de Coimbra”. Às estagiárias Liliana Teixeira de Carvalho e Susana Alves, pela diligente participação na recolha dos dados relativos à precipitação e aos deslizamentos.

## **6. BIBLIOGRAFIA**

- [1] CHLEBORAD, ALAN (2000). Preliminary method for anticipating the occurrence of precipitation-induced landslides in Seattle, Washington. Open-File Report 00-469, U.S. Geological Survey.
- [2] QUINTA FERREIRA, M., LEMOS, L.J.L. e PEREIRA, L.F.M. (2005). Influência da precipitação na ocorrência de deslizamentos em Coimbra, nos últimos 139 anos. Geotecnia, nº 104, Julho 2005, pp.17-30, Lisboa.
- [3] QUINTA FERREIRA, M., VELHO, J.A.L. e PEREIRA, L.F.M. (2004). Avaliação das características evolutivas dos pelitos do Triássico em Coimbra. 9º Congresso Nacional de Geotecnia. Passado, Presente e Futuro da Geotecnia, Vol. I, pp.39-50.
- [4] ISRM (1985). Commission on Testing Methods. Working Group on Revision of the Point Load Test Method. Suggested method for determining point load strength.
- [5] ISRM (1981). Rock characterization testing & monitoring - ISRM Suggested methods". Editado por E.T. Brown, Pergamon Press.
- [6] NP-143 (1969) . Solos. Determinação dos limites de consistência.

- [7] NF P 94-068 (1993). Determinação do valor de azul de metileno de um solo pelo ensaio da mancha.
- [8] ASTM D 2487-93. Standard classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System).
- [9] LNEC E 240-1970. Solos - Classificação para fins rodoviários.
- [10] NF P 11-300:1992. Exécution des terrassements. Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.
- [11] LNEC E 200-1967. Solos. Ensaio de expansibilidade.