



## Limiares de precipitação para o desencadeamento de movimentos de vertente na região de Lisboa com base em informação centenária

Vaz, T<sup>1</sup>; Zêzere, J.L.<sup>2</sup>; Pereira, S.<sup>3</sup>; Quaresma, I.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>RISKam, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Portugal  
[tvaz@campus.ul.pt](mailto:tvaz@campus.ul.pt)

<sup>2</sup>RISKam, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Portugal  
[zezere@campus.ul.pt](mailto:zezere@campus.ul.pt)

<sup>3</sup>RISKam, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Portugal  
[susana-pereira@campus.ul.pt](mailto:susana-pereira@campus.ul.pt)

<sup>4</sup>RISKam, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Portugal  
[ivania.quaresma@campus.ul.pt](mailto:ivania.quaresma@campus.ul.pt)

### Resumo

A precipitação representa um dos principais factores desencadeantes dos movimentos de vertente. A identificação do seu contributo para a instabilidade de vertente tem passado, em parte, pela identificação de limiares de precipitação, ou seja, valores que ao serem excedidos potenciam a ocorrência dos movimentos de vertente.

Neste trabalho são determinados e apresentados os limiares críticos de quantidade duração de precipitação para o desencadeamento de instabilidade de vertentes, para a região de Lisboa. Os movimentos de vertente em estudo foram retirados da base de dados DISASTER, a qual contém informação detalhada relativamente à localização e à data de ocorrência das instabilidades ocorridas entre 1865 e 2010, e das quais resultaram danos na população. A estação meteorológica de Lisboa-Geofísico foi seleccionada como estação de referência, tendo sido analisados os dados de precipitação diária desde 1864 a 2012. Esta análise permitiu reconstruir as precipitações acumuladas absolutas para diferentes durações e determinar os respectivos períodos de retorno, utilizando a lei de Gumbel. Posteriormente foram determinadas as combinações críticas de quantidade-duração da precipitação, associadas ao desencadeamento dos movimentos de vertente, considerando como crítica a combinação com período de retorno mais elevado.

Os limiares de precipitação identificados seguem a equação  $y=5.86x+122.02$ , e a sua validade é confirmada por um coeficiente de correlação de  $R^2=0.83$ . Estabeleceram-se igualmente os limiares de precipitação antecedente mínimo ( $y=4.34x+60.16$ ) e máximo ( $y=118.4x^{0.4174}$ ). O primeiro tipifica as condições a partir das quais é possível a ocorrência de instabilidades de vertente e o segundo caracteriza as combinações acima das quais a ocorrência de movimentos de vertente é certa.

**Palavras-chave:** movimentos de vertente; limiares críticos de precipitação; Região de Lisboa.

### 1. Introdução

A precipitação representa um dos principais factores desencadeantes de movimentos de vertente. Na maior parte dos casos, o desencadeamento é causado pelo aumento da



pressão de água nos vazios do solo, passando a vertente para um estado de instabilidade activa.

O estudo da relação entre precipitação e instabilidade das vertentes apresenta grande complexidade, centrando-se muitos estudos na identificação de limiares, ou seja, valores que ao serem excedidos potenciam os movimentos (Guzzetti *et al.*, 2007). Estes limiares não podem ser estabelecidos com validade universal, verificando-se uma grande variação a nível espacial. Para Portugal têm sido estabelecidas algumas relações empíricas regionais entre precipitação e movimentos de vertente, nomeadamente para a área Norte de Lisboa (e.g. Zêzere *et al.*, 2005; Oliveira, 2012), o concelho da Batalha (Ascenso, 2011), a região norte de Portugal (Pereira, 2009) e a área da Povoação (Ilha de S. Miguel/Açores) (Marques *et al.*, 2008).

Neste estudo, pretende-se igualmente identificar limiares críticos de precipitação para o desencadeamento de instabilidade de vertentes para a região de Lisboa, utilizando os limiares de quantidade-duração e uma base de dados de ocorrências de movimentos de vertente danosos com informação centenária.

## 2. Metodologia

### 2.1 Base de dados dos movimentos de vertente

Os movimentos de vertente utilizados para este estudo foram retirados da base de dados “DISASTER - Desastres naturais de origem hidro-geomorfológica em Portugal: base de dados SIG para apoio à decisão no ordenamento do território e planeamento de emergência”. Esta base de dados, elaborada a partir da recolha de informação em periódicos, inclui os desastres naturais de origem hidro-geomorfológica ocorridos entre 1865 e 2010, que resultaram em mortos, feridos, desaparecidos, evacuados ou desalojados. A metodologia adoptada para a construção da base de dados DISASTER já foi amplamente descrita e pode ser encontrada em Zêzere *et al.* (2013). Os movimentos de vertente aparecem discriminados nesta base de dados contendo informação detalhada relativamente à sua localização e à data de ocorrência.



## 2.2 Dados de Precipitação

Foi seleccionada como estação de referência a estação meteorológica de Lisboa - Geofísico. Os movimentos de vertente em estudo encontram-se a uma distância máxima de 13 km desta estação. Desta forma, assume-se que os locais onde se registaram os movimentos de vertente terão quantitativos de precipitação muito próximos dos registados na estação de referência. Por outro lado, a estação de Lisboa - Geofísico apresenta, para além da fiabilidade dos dados, uma série de dados muito longa, que vai desde 1863 até à actualidade.

## 2.3 Limiares de precipitação antecedente

Neste trabalho, considera-se como precipitação antecedente, o total (acumulado) de precipitação registado antes do evento de instabilidade de vertente, sendo calculado para várias durações (em número de dias). Para o cálculo dos limiares de precipitação antecedente a metodologia utilizada segue a apresentada em Zêzere *et al.* (2005).

A série de dados foi primeiramente organizada segundo o ano climatológico (Setembro a Agosto), desde 1864-65 a 2012-13. Posteriormente foram calculadas as precipitações máximas para diferentes durações (1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 75 e 90 dias) e calculados os respectivos períodos de retorno, seguindo a distribuição de Gumbel, com base na probabilidade de valores extremos.

Posteriormente, para cada evento foram identificados os valores de precipitação associados às várias durações consideradas. Foram identificados os pares críticos de quantidade-duração da precipitação, considerando o período de retorno mais elevado obtido para cada evento, de acordo com Zêzere *et al.* (2005). Apenas foram considerados os eventos cuja combinação crítica tem um período de retorno superior a 3 anos, de forma reduzir a possibilidade de serem incluídos eventos cujo factor desencadeante não esteja associado à precipitação. Assim, dos 65 eventos inicialmente incluídos no estudo foram apenas analisados 39 eventos.

## 3. Resultados

Um evento de instabilidade é considerado uma data onde há o registo de uma ou mais ocorrências de movimentos de vertente. Foram incluídos nesta análise 39 eventos, que correspondem a 57 ocorrências de instabilidades (figura 1).

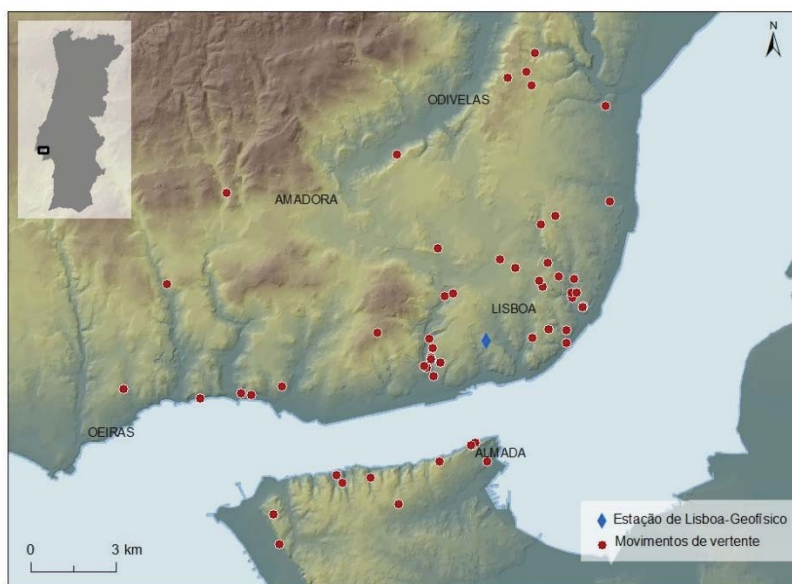


Figura 1 - Movimentos de vertente em estudo, na região de Lisboa.

A partir das combinações críticas entre a precipitação antecedente acumulada e a duração do período chuvoso, considerando o período de retorno mais elevado, estabeleceram-se limiares críticos de precipitação através de regressão linear (figura 2). A análise de regressão mostra que o aumento de precipitação acumulada (em milímetros) e o aumento da duração (em número de dias) segue a equação  $y=5.86x+122.02$ , com  $R^2=0.83$ . Esta regra pode ser usada como limiar crítico de precipitação a partir do qual podem ocorrer eventos, embora não garanta a inexistência de falsos negativos (i.e. eventos abaixo do limiar).

Para testar a validade dos resultados foram igualmente calculados e incluídos no gráfico (figura 2) os valores máximos para cada duração (1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 90 dias) e para cada ano (entre 1864-65 e 2009-10) em que não foram registados movimentos de vertente na base de dados. A maioria dos anos encontra-se abaixo do limiar obtido através da regressão linear. No entanto, verifica-se a existência de falsos negativos, ou seja, eventos que ocorreram sem serem previstos, bem como falsos positivos, eventos identificados com condições para a ocorrência de instabilidades de vertentes que, no entanto, não foram reportadas.

Adicionalmente, à semelhança do apresentado em Oliveira (2012), estabeleceram-se limiares mínimo (inferior) e máximo (superior) de precipitação para a ocorrência de



movimentos de vertente. Assim, o limiar mínimo define o limiar abaixo do qual não existem verdadeiros positivos (eventos), mas apenas verdadeiros negativos, ou seja, combinações de quantidade-duração de precipitação que não geraram instabilidade. Este limiar é definido por aproximação ao limiar definido através de regressão linear, mas suportado nos dois eventos de diferentes durações com os valores mais baixos de precipitação crítica acumulada. Deste modo, o limiar mínimo segue a equação  $y=4.34x+60.16$  (figura 2). O limiar máximo representa o limite acima do qual existem apenas verdadeiros positivos, sendo ajustado pela função potencial  $y=118.4x^{0.4174}$ . Por outras palavras, este limiar nunca é ultrapassado por combinações de quantidade-duração de precipitação que não gerem instabilidade.

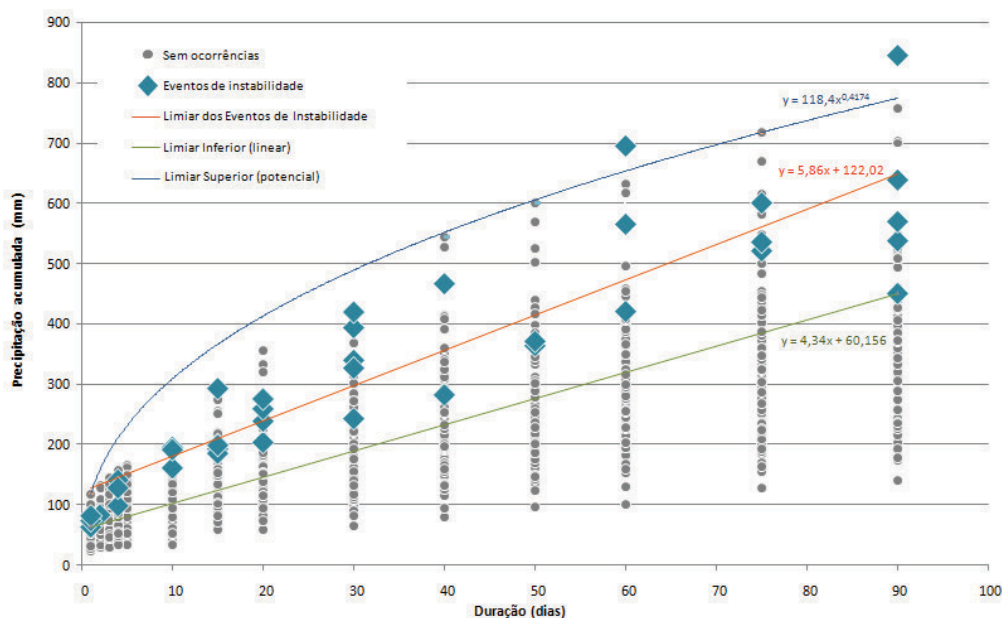


Figura 2 - Limiares de quantidade - duração da precipitação acumulada para a estação meteorológica de Lisboa - Geofísico.

#### 4. Conclusão

Neste trabalho foram identificadas as combinações críticas entre a precipitação antecedente acumulada e a duração do período chuvoso. A partir destes valores estabeleceu-se por regressão linear simples o limiar de precipitação ( $y=5.86x+122.02$ ), considerado como o limite a partir do qual poderão ocorrer instabilidades de vertente. O método utilizado provoca, inevitavelmente, a ocorrência de falsos negativos (i.e.,





combinações de quantidade – duração de precipitação antecedente que geraram instabilidades e se situam abaixo da curva que representa o limiar). Para obstar a esta situação, foram identificados os limiares mínimo ( $y=4.34x+60.16$ ) máximo ( $y=118.4x^{0.4174}$ ) para a ocorrência de movimentos de vertente, definindo assim os limites superior e inferior de probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente. De forma exemplificativa e tendo por base estes dois limiares, considerando uma duração crítica de um dia, o valor de 64.5 mm marca a possibilidade de ocorrência de movimentos de vertente na região, os quais se tornam certos quando a precipitação diária ultrapassa 118.4 mm.

**Agradecimentos:** Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia através do projecto DISASTER - Desastres naturais de origem hidro-geomorfológica em Portugal: base de dados SIG para apoio à decisão no ordenamento do território e planeamento de emergência (PTDC/CS-GEO/103231/2008).

### Bibliografia

- Ascenso V (2011) *Análise da ocorrência de cheias e deslizamentos de vertente no concelho da Batalha*. Dissertação de mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Guzzetti F, Peruccacci S, Rossi M, Stark CP (2007) Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 98 (3-4): 239-267.
- Marques R, Zêzere JL, Trigo R, Gaspar J, Trigo I (2008) Rainfall patterns and critical values associated with landslides in Povoação County (São Miguel Island, Azores): relationships with the North Atlantic Oscillation. *Hydrological Processes*, 22 (4): 478-494.
- Oliveira S (2012) *Incidência espacial e temporal da instabilidade geomorfológica na bacia do Rio Grande da Pipa (Arruda dos Vinhos)*. Dissertação de doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Pereira S (2009) *Perigosidade a Movimentos de Vertente na Região Norte de Portugal*. Dissertação de doutoramento, Universidade do Porto, Porto.
- Zêzere JL, Trigo R, Trigo I (2005) Shallow and deep landslides induced by rainfall in the Lisbon region (Portugal): assessment of relationships with the North Atlantic Oscillation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5: 331-344.
- Zêzere JL, Pereira S, Quaresma I, Santos P, Santos M (2013) Desastres de origem hidro-geomorfológica em Portugal continental no período 1865-2010. *Actas/Proceedings do VI Congresso Nacional de Geomorfologia*, Coimbra, 124-128.