

Relação entre movimentos de vertente e a morfo-estrutura na bacia hidrográfica da Tornada (sector Centro-Oeste de Portugal)

Relationship between slope movements and structural settings in the Tornada river basin (central western Portugal)

C. Henriques¹, M. Cardinali², P. Reichenbach², M. Santangelo², F. Guzzetti², J. L. Zêzere¹

¹Centro de Estudos Geográficos, University of Lisbon, Lisboa, Portugal (cristina.s.henriques@gmail.com, +35 1 21793 8630)

²CNR-IRPI, Perugia, Italy

Abstract

This paper presents the relationships between the geological and structural settings and the distribution of slope movements in the Tornada river basin (107 km²), in Central western Portugal. This basin was chosen for its geological and tectonic features and for the abundance of slope movements. The study area is situated in a dissected old quaternary coastal plateau with an evident syncline structure, where crop out mainly upper Jurassic sandstones and claystones. A detailed structural-geological map at 1:10 000 scale and a detailed landslide inventory map were prepared through the interpretation of stereoscopic aerial photographs and extensive field surveys. The landslides were classified according to the type of movement into shallow and deep-seated failures (mainly translational), and the relative age into recent and old. The distribution of the landslides and their relationship with lithology and bedding attitude were studied considering in particular: i) the presence of weak lithological layers; ii) the attitude of planar and continuous bedding planes dipping towards the free-face of slope; iii) the presence of hydrogeological conditions favorable to slope instability; and iv) the occurrence of normal faults. The relationship between structural settings, geological information and landslides was studied in order to understand the factors that mainly explain the instability conditions of the area.

Keywords

Geomorphology, Landslides, Bedding attitude, GIS

Resumo

Este trabalho apresenta as relações entre as características morfo-estruturais do terreno e a distribuição dos movimentos de vertente na bacia hidrográfica da Tornada (107km²), localizada na região Centro-Oeste de Portugal. A bacia foi escolhida devido às suas características geológicas e tectónicas, bem como pela abundância de movimentos de vertente identificados nesta área. Esta bacia desenvolve-se sobre uma plataforma litoral de idade Quaternária, que corta uma estrutura em sinclinal onde afloram arenitos e argilas do Jurássico superior. Para este trabalho foram efectuados um mapa lito-estrutural detalhado na escala 1:10 000 e um inventário de movimentos de vertente através, respectivamente, da interpretação estereoscópica de fotografias aéreas e levantamentos de campo. Os movimentos de vertente foram classificados de acordo com a sua tipologia em superficiais e profundos (principalmente de translação) e idade relativa (recentes ou antigos). A distribuição dos movimentos de vertente e sua relação com a litologia e morfo-estrutura foram estudados, considerando, nomeadamente: i) a presença de camadas litológicas com menor resistência à erosão (fomações menos consolidadas); ii) a geometria dos planos de estratificação nas vertentes cataclinais; iii) a presença de condições hidrogeológicas favoráveis à instabilidade; e iv) a presença de falhas normais. A relação entre a morfo-estrutura, a informação litológica e os movimentos de vertente foi estudada com o objectivo de entender alguns dos factores que favorecem a instabilidade das vertentes.

Palavras-Chave

Geomorfologia, Movimentos de vertente, Lito-estrutura, SIG

Introdução

O presente estudo visa estabelecer as relações entre a morfo-estrutura e a distribuição dos movimentos de vertente na bacia hidrográfica da Tornada (fig. 1). A selecção da área deve-se fundamentalmente à realidade bastante contrastada em termos geomorfológicos e à importância de que se revestem os movimentos de vertente na bacia em questão. Esta bacia situa-se sobre uma plataforma litoral de idade Quaternária, possuindo uma estrutura em sinclinal onde afloram arenitos e argilas do Jurássico superior (Zêzere, 2005) (fig. 2).

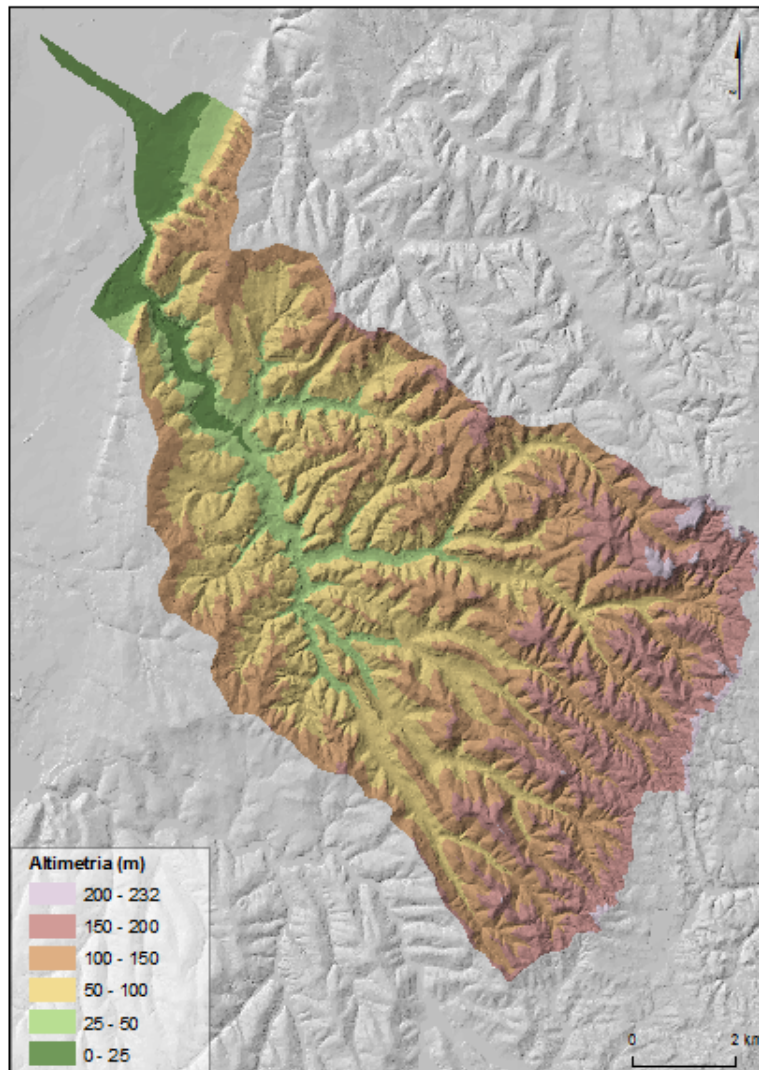


Figura 1. Modelo Digital do terreno (MDT) da bacia hidrográfica da Tornada.

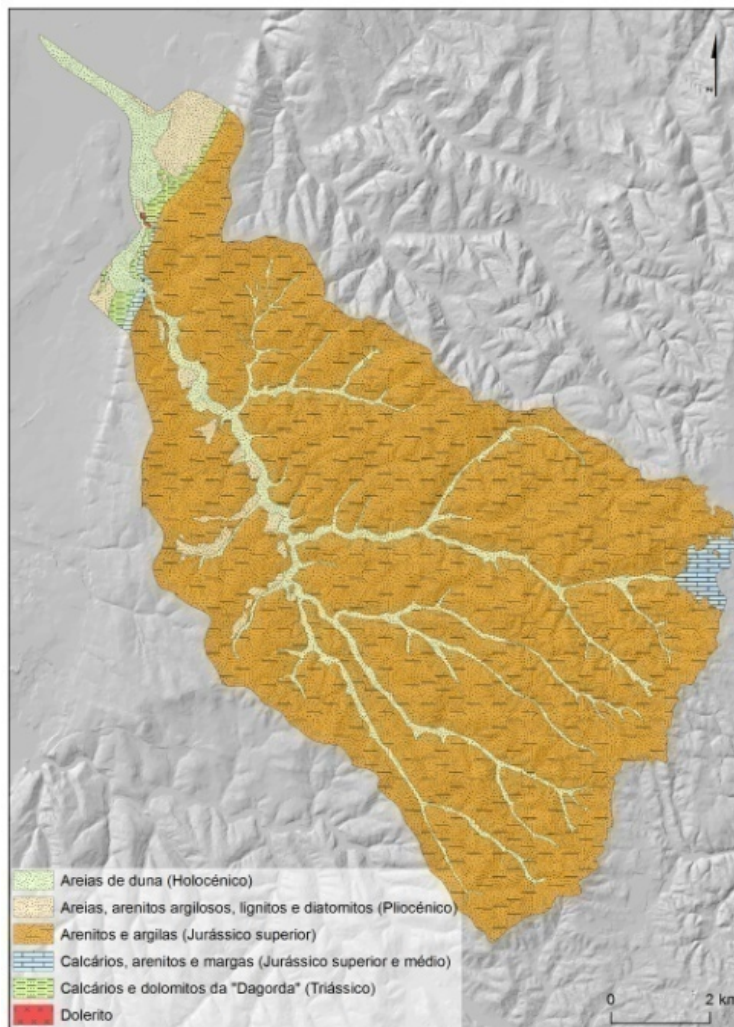


Figura 2. Litologia da bacia hidrográfica da Tornada.

Objectivos

Os objectivos deste trabalho são os seguintes:

- Construção de um inventário de movimentos de vertente através da interpretação estereoscópica de fotografias aéreas;
- Identificação das características morfo-estruturais do território, na relação entre o declive e o sentido e inclinação das camadas litológicas, através da interpretação estereoscópica de fotografias aéreas;
- Construção de um modelo morfo-estrutural, que será futuramente utilizado como variável independente na avaliação da susceptibilidade;
- Estabelecimento de relações entre a morfo-estrutura e a distribuição dos movimentos de vertente na bacia hidrográfica da Tornada.

Metodologia

De modo a estabelecer relações entre a morfo-estrutura e a distribuição dos movimentos de vertente foram efectuados um mapa lito-estrutural na escala 1:10 000 e um inventário de movimentos de vertente através da interpretação estereoscópica de fotografias aéreas de 1958, com uma escala de aquisição de 1:26 000 (fig. 3). O estereoscópio utilizado para este trabalho é dotado de dois zooms (1.5x e 3x) possuindo ainda a grande vantagem de permitir a observação por dois operadores em simultâneo, o que se revela crucial no ensino/aprendizagem desta técnica.

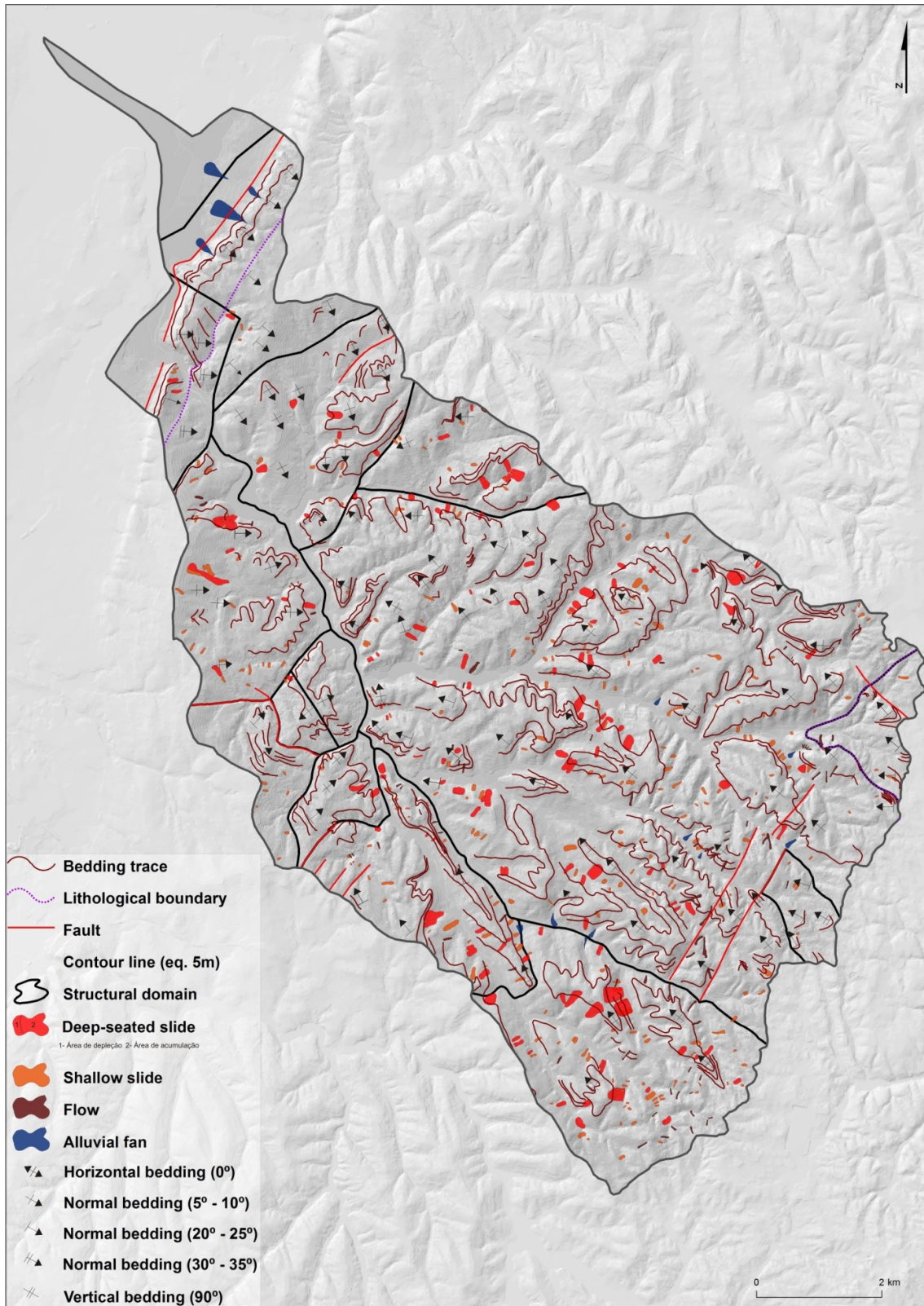


Figura 3. Lito-estrutura e inventário de movimentos de vertente da bacia hidrográfica da Tornada.

A morfologia da área, bem como a diferenciação e distribuição da ocupação do solo (analisadas a partir das diferentes tonalidades de cinzento das fotografias aéreas) revelam-se como elementos fundamentais para a identificação das características morfo-estruturais da área de estudo, permitindo ainda a identificação das camadas litológicas que apresentam maior e menor resistência à erosão (camadas mais e menos consolidadas, respectivamente), através da presença ou ausência de escarpas (Cardinali *et al.*, 1994). Posteriormente, foi efectuado também um inventário de movimentos de vertente, com recurso a técnicas de interpretação estereoscópica, sendo sempre acompanhado e validado pelo trabalho de campo. Este inventário inclui a idade relativa (recente ou antiga) e a classificação dos movimentos em deslizamentos (profundos e superficiais, rotacionais e translacionais) e escoadas.

De modo a utilizar a a informação morfo-estrutural como uma variável independente (factor de predisposição) foi necessária a construção de um modelo morfo-estrutural. Este modelo é apresentado na figura 4, tendo sido efectuado utilizando o sentido da inclinação das camadas litológicas, a inclinação propriamente dita das camadas litológicas e a exposição das vertentes (obtida através de um modelo digital do terreno com uma resolução de 5 m × 5 m). É importante referir que existem áreas não classificadas pelo modelo devido à falta de informação (fig. 4). Deste modo, a análise estatística realizada sobre esta variável foi feita sem considerar os movimentos de vertente que ocorrem nessas áreas.

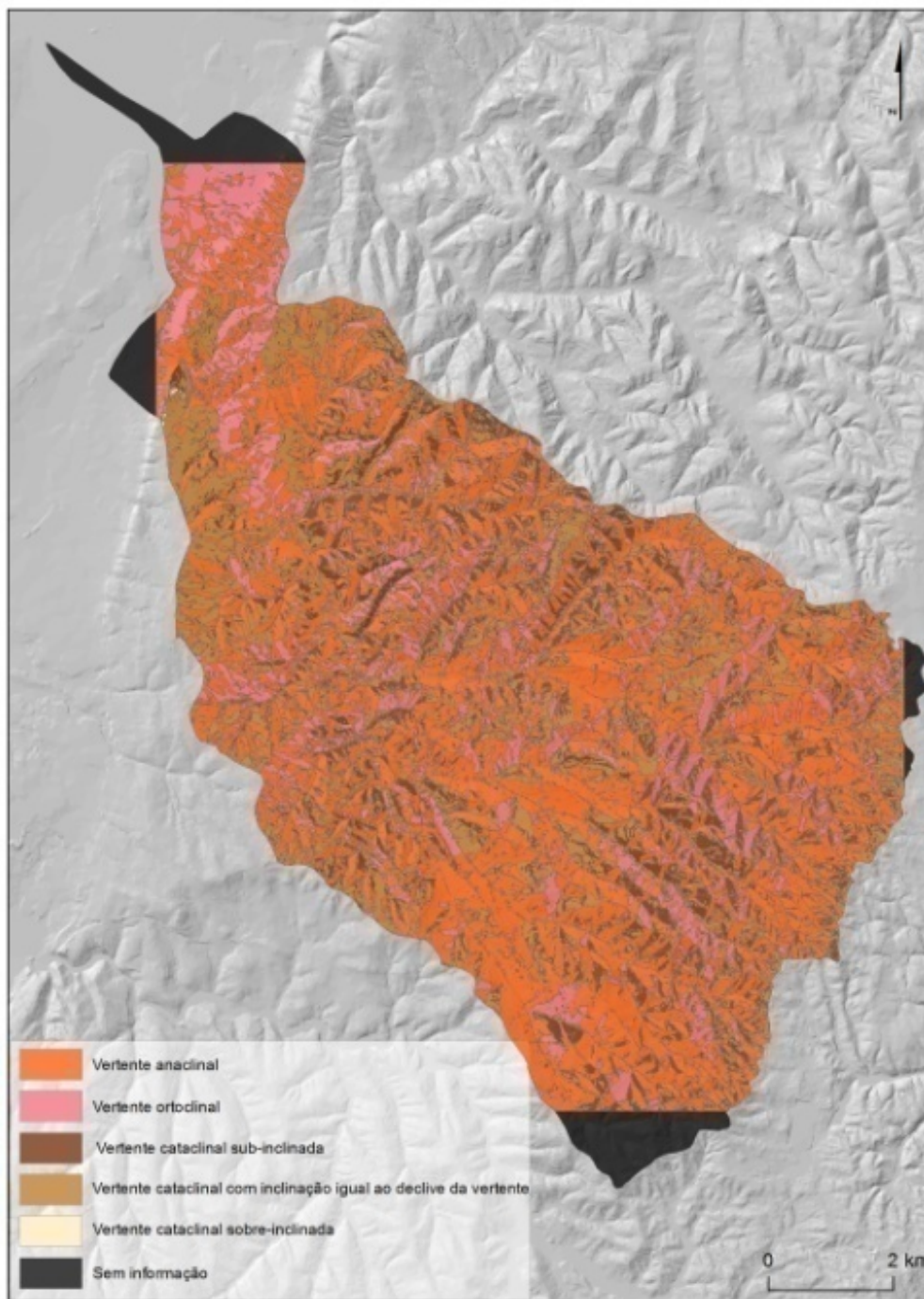


Figura 4. Modelo Morfo-estrutural da bacia hidrográfica da Tornada.

Resultados

Através da interpretação estereoscópica de fotografias aéreas de 1958 foi possível identificar, na bacia hidrográfica da Tornada, 503 antigos movimentos de vertente (anteriores a 1958) sendo que 140 correspondem a deslizamentos de vertente profundos (58,7% do total de área deslizada), 277 a deslizamentos de vertente superficiais (32% do total da área deslizada) e 86 a escoadas (9,3% do total da área deslizada). Para além dos movimentos de vertente foi possível identificar também 13 leques aluviais. Como movimentos de vertente mais recentes (com data de ocorrência próximo de 1958) foram identificados: 1 deslizamento de vertente profundo (4,8% do total de área deslizada); 38 deslizamentos de vertente superficiais (84,1% do total de área deslizada); e 6 escoadas (11,2% do total de área deslizada).

Fazendo uma breve análise estatística e, considerando o conjunto de movimentos de vertente, sua topologia e idade, foi possível observar que os movimentos de vertente antigos (deslizamentos profundos, superficiais e escoadas) possuem um comportamento semelhante tendo em conta as variáveis explanatórias utilizadas (declives, exposição das vertentes e morfoestrutura). Por outro lado, considerando os deslizamentos recentes, o comportamento é bastante semelhante entre deslizamentos superficiais e escoadas, mas muito diferente entre este conjunto e o único deslizamento profundo identificado. Deste modo, optou-se por considerar os movimentos de vertente antigos como um único conjunto (fig. 5), e por efectuar a divisão dos movimentos de vertente recentes em dois grupos, os deslizamentos de vertente superficiais e as escoadas por um lado, e os deslizamentos profundos por outro (fig. 6).

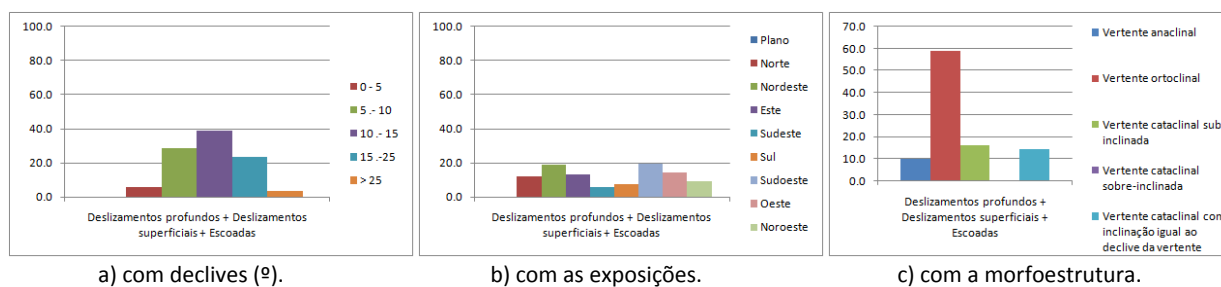


Figura 5. Histograma dos movimentos de vertente antigos.

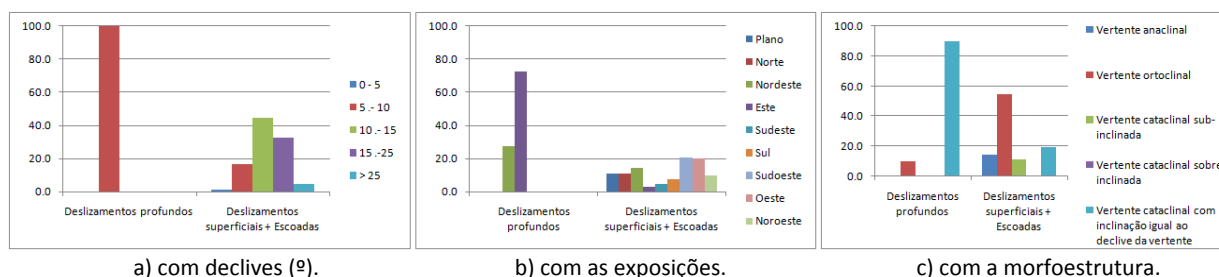


Figura 6. Histogramas dos movimentos de vertente recentes.

De um modo geral os movimentos de vertente antigos ocorrem com maior frequência na classe de declives 10°-15° (38,8%). Nas classes de declive superior a 25° a ocorrência de movimentos de vertente antigos decresce consideravelmente (3,7%). As vertentes expostas a Sudoeste apresentam uma maior concentração de instabilidade (19,2%) comparativamente às vertentes expostas a Sudeste (5,7%). No que diz respeito às características morfo-estruturais, observa-se que as vertentes ortoclinais possuem uma predisposição bastante elevada à ocorrência de instabilidade (58,8%), comparativamente às vertentes cataclinais sobre-inclinadas onde a ocorrência de manifestações de instabilidade é bastante rara (0,1%). O único deslizamento profundo recente ocorre na classe de declive entre 5° e 10°. Em contrapartida, os deslizamentos superficiais e as escoadas recentes registam-se predominantemente em vertentes mais inclinadas, entre 10° e 15° (44,8% do total) e entre 15° e 25° (32,7% do total). O deslizamento profundo recente ocorre numa vertente exposta a Este e Nordeste; por seu turno, os deslizamentos superficiais e as escoadas mais recentes ocorrem na sua maioria em vertentes expostas a Sudoeste (20,5% do total) e a Oeste (20,0% do total). O deslizamento profundo mais recente ocorre na classe vertente cataclinal com inclinação igual ao declive da vertente, enquanto os deslizamentos superficiais e as escoadas mais recentes encontram-se maioritariamente em vertentes ortoclinais (54,6% do total). Adicionalmente, observa-se que na classe das vertentes cataclinais sobre-inclinadas estas tipologias de movimentos de vertente não existem.

Discussão

No decurso deste trabalho foi possível identificar na área de estudo dois sectores estruturais com diferentes sentidos de inclinação. No sector NW as camadas litológicas possuem uma inclinação generalizada para SE, enquanto no sector SE da bacia as camadas litológicas possuem uma inclinação generalizada para NW, o que revela a identificação de um grande sinclinal com eixo situado entre estes dois grandes domínios estruturais. Confirma-se a existência de uma falha de direcção NW-SE que controla o traçado do rio da Tornada, uma vez que se encontram elementos morfológicos indicativos da mesma, ou seja, existência de um traçado rectilíneo, alternância do sentido de inclinação das camadas geológicas e a identificação de vertentes com morfologia triangular (devido ao plano de falha). Esta falha separa a bacia hidrográfica de forma assimétrica, tendo o sector W menor dimensão comparativamente ao sector E.

No decurso deste trabalho pôde-se observar que a distribuição das escoadas e dos deslizamentos encontra-se estreitamente relacionada com o contexto litológico e hidrogeológico. Foi possível observar que a ocorrência de escoadas verifica-se, essencialmente, nos locais onde se observam camadas litológicas menos resistentes e mais espessas. Por outro lado, a ocorrência de deslizamentos está estritamente relacionada com a presença de camadas litológicas mais resistentes, mais permeáveis e menos espessas. Em determinados casos, verifica-se que as escoadas evoluíram para leques aluviais, com a acumulação de detritos sedimentares em planícies aluviais.

Conclusões

A técnica de interpretação estereoscópica de fotografias aéreas permite não só a construção de inventários multi-temporais de movimentos de vertente, mas também a geração de modelos morfo-estruturais utilizados posteriormente como variável independente na avaliação da susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente. A interpretação da morfo-estrutura é feita através da identificação das áreas de escarpa, contendo informações como o sentido e inclinação das camadas litológicas.

A análise estatística efectuada sobre os movimentos de vertente antigos na bacia hidrográfica da Tornada deve ser interpretada com prudência, devido a: (i) dificuldade de interpretação dos movimentos de vertente antigos por obliteração dos seus elementos morfológicos; (ii) existência de distorções decorrentes dos procedimentos de digitalização e georreferenciação das fotografias aéreas; e (iii) erros computacionais associados à interpolação da morfo-estrutura.

Referências

- Cardinali, M.; Galli, M.; Guzzetti, F.; Reichenbach, P.; Borri, G. (1994) – Relationships between mass-movements and tectonic setting in the Carpina basin (Northern Umbria). In: Geografia física e Dinâmica Quaternaria. Vol. 17, p. 3 – 18. (IT ISSN 0391-9838).
- Zêzere, J. L. (2005) – A geomorfologia da região das Caldas da Rainha. In COSTA, C. M. M. et al. – Caldas da Rainha: património das águas. A legacy of waters. Câmara Municipal das Caldas da Rainha. ISBN 972-37-1047-1. p. 57-65.