

# CATÁSTROFES NATURAIS

UMA ABORDAGEM GLOBAL

IMPRESA DA  
UNIVERSIDADE  
DE COIMBRA  
COIMBRA  
UNIVERSITY  
PRESS

LUCIANO LOURENÇO  
ANTÓNIO VIEIRA  
(COORDS.)

RISCOS GEOMORFOLÓGICOS E SUAS MANIFESTAÇÕES  
GEOMORPHOLOGICAL HAZARDS AND ITS  
THEIR MANIFESTATIONS

**António Vieira**

Departamento de Geografia  
CEGOT, Universidade do Minho, Portugal  
ORCID: 0000-0001-6807-1153    vieira@geografia.uminho.pt

**Ineida Romi Tavares Varela de Carvalho**

Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Universidade de Cabo Verde, Cabo Verde  
ineida.carvalho@docente.unicv.edu.cv

**António Bento-Gonçalves**

Departamento de Geografia  
CEGOT, Universidade do Minho, Portugal  
ORCID: 0000-0002-9646-156X    bento@geografia.uminho.pt

**José Manuel Fernandes Rocha**

CEGOT, Universidade do Minho, Portugal  
jmanuelfrocha@sapo.pt

**Sumário:** Os riscos geomorfológicos englobam um conjunto diversificado de processos, promovidos por agentes da geodinâmica externa e interna, com consequências para as atividades humanas, mas, acima de tudo, responsáveis pela evolução da paisagem e das formas que caracterizam a superfície terrestre. Apresenta-se, neste texto, uma síntese dos principais riscos geomorfológicos que atuam na superfície terrestre, nomeadamente os relacionados com a erosão hídrica dos solos e os movimentos em massa, complementada com alguns exemplos da sua ocorrência no noroeste de Portugal.

**Palavras-chave:** Riscos geomorfológicos, erosão e degradação dos solos, erosão hídrica, movimentos em massa.

**Abstract:** Geomorphological risks encompass a wide range of processes stimulated by external and internal geodynamic agents. These have consequences for human activities but, above all, they are responsible for the evolution of the landscape and the forms that characterize the terrain. This paper presents an overview of the main geomorphological risks that affect the surface of the Earth, particularly those related to soil erosion by water and to mass movements, supplemented with some examples of their occurrence in the north-west of Portugal.

**Keywords:** Geomorphological hazards, soil erosion and degradation, water erosion, mass movements.

## Introdução

A evolução das vertentes que constituem o relevo terrestre decorre da ação de um conjunto de processos de gênese geomorfológica (processos morfogenéticos), potenciados por agentes de caráter endógeno e exógeno, responsáveis pela dinâmica geomorfológica observada.

Um dos principais agentes atuantes sobre a superfície terrestre é a água. No estado líquido é responsável por uma erosão generalizada das vertentes, ocorrendo em quase todos os ambientes e domínios morfogenéticos do globo. Ainda que mais localizada, a erosão pela água quando no estado sólido é bastante significativa, pela sua capacidade de destacamento e transporte dos materiais.

Outro agente capaz de produzir erosão de forma generalizada por toda a superfície terrestre é o vento. A erosão eólica, ainda que com menor competência, desempenha, ainda assim, um papel relevante na modelação do relevo e na evolução das paisagens.

Outros agentes (como a fauna e a flora) desempenham também eles um papel importante na dinâmica geomorfológica, contribuindo para a evolução normal das paisagens terrestres.

No entanto, também o Homem desempenha um papel relevante na dinâmica geomorfológica. A crescente atuação do fator antrópico e incessante pressão que o Homem e as atividades por ele promovidas têm desenvolvido na superfície terrestre, veio incrementar e acelerar os processos, por vezes de efeitos catastróficos, que se têm vindo a multiplicar por todas as partes do globo.

Assim, quer pela sua ação no desencadeamento e ocorrência dos processos nas vertentes, quer pela ocupação desordenada e inadequada do território, aumentando a sua vulnerabilidade, tem contribuído para a ocorrência e incremento dos processos erosivos, e tem-se exposto, também de forma crescente, às consequências dos riscos geomorfológicos.

A atuação do Homem sobre a superfície terrestre foi progressiva, ao ritmo do seu próprio desenvolvimento tecnológico e também com o aumento das áreas de que se foi apropriando, resultando em impactes extremamente significativos (TABELA I)

**TABELA I** - Exemplos de movimentos de vertente com consequências catastróficas.

*TABLE I - Examples of slope movements with catastrophic consequences.*

<b>Data</b>	<b>Região</b>	<b>País</b>	<b>Nº vítimas</b>
1248	Mount Granier	França	1 500-5 000
1515	Biasca	Suiça	600
1618	Piuro	Itália	1 200
1786	Calábria	Itália	50 000
1806	Goldau	Suiça	457
1920	Gansu	China	100 000
1921	Alma-Ata	Cazaquistão	500
1933	Sichuan	China	6 800
1938	Kobe	Japão	505
1949	Khait	Tajiquistão	12 000-20 000
1958	Shizuoka	Japão	1 100
1962	Huascaran	Peru	4 000-5 000
1963	Vaiont	Itália	1 189
1967	Rio de Janeiro	Brasil	1 700
1970	Ancash	Peru	66 794
1973	Choloma	Honduras	2 800
1985	Armero (Nevado del Ruiz)	Colômbia	25 000
1987	Cochancay	Equador	1 000
1999	Cordillera de la Costa	Venezuela	30 000
2001	Las Colinas	El Salvador	944

Fonte: extraído de Zêzere, 2005 / Source: extracted from Zêzere, 2005.

e nalguns casos irreversíveis, que se podem testemunhar e observar na paisagem atual e que constituem fatores de desequilíbrio geomorfológico, constituindo fatores de risco à ocorrência dos diversos tipos de riscos geomorfológicos.

Apesar de se tratarem de potenciais fenômenos catastróficos com um impacto menos significativos em termos de mortalidade ou destruição causada, quando relacionados com outras catástrofes de origem natural ou antrópica (tsunamis, erupções vulcânicas, sismos, etc.), os riscos geomorfológicos provocam também impactos na sociedade bastante relevantes, como podemos facilmente verificar pelos valores de destruição registados nalguns casos ocorridos em diversos pontos do globo (TABELA I).

Tendo em consideração a importância dos processos erosivos que ocorrem nos ambientes geomorfológicos em que nos encontramos, privilegámos neste trabalho a análise dos processos de erosão hídrica dos solos e os movimentos em massa, que de seguida abordaremos.

## **Os processos erosivos hídricos em vertentes**

A erosão e degradação dos solos constitui um problema ambiental extremamente grave, de ocorrência generalizada em praticamente toda a superfície terrestre, com efeitos diretos e indiretos sobre a sua produtividade e consequente sobrevivência humana.

O solo é um recurso natural de extrema importância para o Homem e para os restantes seres vivos, estando na base da esmagadora maioria deles, sendo, portanto, fundamental a sua manutenção e a sua sustentabilidade, nomeadamente através da implementação de estratégias preventivas, promotoras da sua conservação, minimizando ou evitando a sua destruição por ação das atividades antrópicas.

Esta degradação do recurso solo ocorre normalmente por ação de um conjunto diversificado de processos erosivos que atuam de forma diferenciada sobre a superfície terrestre, causando problemas não só nos locais onde provocam erosão, mas também nos locais onde os sedimentos são depositados, seja através do assoreamento que ocorre quer nos rios, quer nas próprias albufeiras de barragens, de lagos e mesmo nas áreas de exploração agrícola ou outros tipos de ocupação por atividades humanas diversas (fot. 1).



**Fot. 1** - Acumulação de sedimentos em campos agrícolas, na sequência de episódio erosivo intenso (Fotografia de António Vieira, 2018).

*Photo 1* - Accumulation of sediment on farmland, following intense erosion (Photography by António Vieira, 2018).

Na sequência de trabalhos desenvolvidos essencialmente no decurso da primeira metade do século XX, o Departamento de Agricultura de Estados Unidos da América estabeleceu, em 1960, o valor máximo de 5 toneladas por hectare, por ano (t/ha/ano), como limiar de perda de solo, para o território americano (Guerra, 2016). Por seu lado, Ashman e Puri (2002, citado por Guerra, 2016) consideram que, segundo estimativas, 80% dos solos agrícolas mundiais estão sujeitos a alguma forma de erosão. No mesmo sentido vão os valores apresentados por Pimentel *et al.* (1995, citado por Vásquez-Méndez *et al.*, 2011), que indicam que aproximadamente 80% dos solos agrícolas no mundo sofrem de erosão de forma moderada a severa, enquanto 10% sofrem de erosão de forma ligeira a moderada.

As consequências deste fenómeno são especialmente graves se tivermos em conta que a taxa média de formação dos solos é de cerca de 1 t/ha/ano, e perante valores de perdas de solo superiores a 15 t/ha/ano na China, a 6 a 7 t/ha/ano nos Estados Unidos (Nearing *et al.*, 2017) ou superiores a 14 t/ha/ano na Europa, em áreas agrícolas, vinhas ou solos sem vegetação (Boardman e Poesen, 2006).

Para além disso, a erosão de um solo pode levar à perda de 75 a 80% do seu conteúdo em carbono, provocando a emissão do carbono para a atmosfera (Morgan, 2005).

A erosão provocada pela água afeta de forma adversa a qualidade e produtividade do solo pela redução das taxas de infiltração, da capacidade de retenção de água, nutrientes, matéria orgânica, biota do solo e profundidade do solo.

Consequentemente, a erosão dos solos constitui um problema que tem gerado grande preocupação junto da comunidade científica, e promovido inúmeros estudos desde há várias décadas, por todo o mundo (Morgan, 1995; Laflen e Flanagan, 2013).

A erosão dos solos é um problema global e, embora seja mais sério nos países em desenvolvimento, atualmente tem sido motivo de preocupação nos países tecnologicamente mais avançados (Guerra, 1996).

O termo erosão provém do latim *erodere*, que significa “corroer”. Foi utilizado pela primeira vez para descrever a formação de cavidades pela água, a desagregação de material sólido pela ação das águas de rio (Penk, 1894, citado por Zachar, 1982).

A erosão do solo corresponde ao destacamento de partículas individuais, seu transporte e posterior deposição, por ação de um ou mais agentes erosivos, naturais ou antrópicos (Boardman e Poesen, 2006)

De acordo com Selby (1993) a erosão hídrica dos solos corresponde a um processo geomorfológico que ocorre nas vertentes, resultante do impacto das gotas de chuva (*splash erosion*) e da escorrência da água precipitada. Outros autores referem-se também ao processo de erosão das vertentes, reforçando o papel destes dois agentes (Guerra, 2016).

Contudo, a erosão dos solos, considerada aqui essencialmente a erosão hídrica, é também produto da ação da meteorização (nas suas diversas formas de atuação, química e física), dos seres vivos e, especialmente, da ação antrópica. Com efeito, a meteorização e a erosão não só estão intrinsecamente ligadas como também são dois processos fundamentais do ciclo litológico.

A erosão dos solos é um fenómeno que ocorre em praticamente toda a superfície terrestre, sendo que, nalgumas áreas, a erosão e consequente deposição é fundamental para a manutenção da fertilidade natural do solo.

No entanto, a ação da erosão ocorrida nas vertentes promove também a remoção da parte superficial do solo, precisamente aquela onde está presente a maior concentração de nutrientes (Bento-Gonçalves *et al.*, 2008). Quando este processo ocorre a taxas superiores daquelas necessárias à meteorização e formação de solo, a sua perda é irreversível. Os processos erosivos, facilitados com o desenvolvimento de sulcos e ravinas com grande impacto nos terrenos agrícolas, produzem também efeitos negativos a jusante, nomeadamente sedimentação e entulhamento de fundos de vale, podendo resultar na obstrução de vias de comunicação e destruição de outras infraestruturas e propriedades (Van Beek *et al.*, 2008).

Vários autores distinguem dois tipos de erosão (El-Swaify *et al.*, 1982; Rocha, 2007; Soil Science Society of America, 2008; Van Beek *et al.*, 2008):

- A erosão geológica, que é um processo natural de evolução da superfície terrestre caracterizado pela desagregação e transporte de partículas do solo pelos agentes erosivos, e é um processo que acontece de forma lenta e contínua;
- A erosão acelerada, que é aquela desenvolvida principalmente pela ação humana, que gera desequilíbrio nas fases da erosão natural e de sedimentação, já que se trata de um processo acelerado e destrutivo.

Vários autores concordam que a erosão à escala geológica não chega a causar problemas ao ambiente, mas o que causa problemas é a referida erosão acelerada (Guerra, 2016).

Esta erosão (acelerada ou antrópica) ocorre onde os humanos interferem no equilíbrio natural, iniciada pela remoção da cobertura vegetal e continuada pelo uso e gestão inadequados do solo e prática agrícola, urbanização, construções e outras atividades económicas, estando este processo fortemente relacionado com o uso do solo (El-Swaify *et al.*, 1982; Morgan, 1995; Goudie e Viles, 1997).

Os problemas relacionados com a erosão dos solos são mais evidentes quando a perda de solos ultrapassa níveis aceitáveis, geralmente favorecida por uma falta de práticas conservacionistas (Selby, 1993; Morgan, 2005).

A erosão (*lato sensu*) é um processo que envolve três fases distintas (Ellison 1947a, b, citado por El-Swaify *et al.*, 1982; Cortez, 1987; Araújo, Almeida e Guerra, 2005):

### *1ª - Destacamento de partículas individuais (também designada como erosão stricto sensu)*

Por ação dos processos de meteorização que atuam previamente sobre os materiais na superfície terrestre, estes encontram-se em condições de ser desagregados. Estes processos de meteorização, que promovem a fragmentação física e alteração química dos materiais, transformam-nos em elementos de menor dimensão. Consequentemente, sobre eles vão atuar os processos de destacamento de partículas, especialmente o decorrente do impacto das gotas de chuva, mas também a escorrência superficial da água. A meteorização pode ser considerada como um processo preliminar da erosão e pode também ser tratado independente do processo erosivo (Bertolini, 2010).

A desagregação consiste na separação inicial das partículas de solo (agregados ou individuais) da massa que as contém, quer pela ação das gotas da chuva ou pela ação de cisalhamento da escorrência.

Este fenômeno está dependente das características da precipitação, nomeadamente a quantidade de precipitação, sua distribuição no tempo e do próprio diâmetro das gotas da chuva, entre outros fatores (Roxo, 1994).

### *2ª - Transporte das partículas*

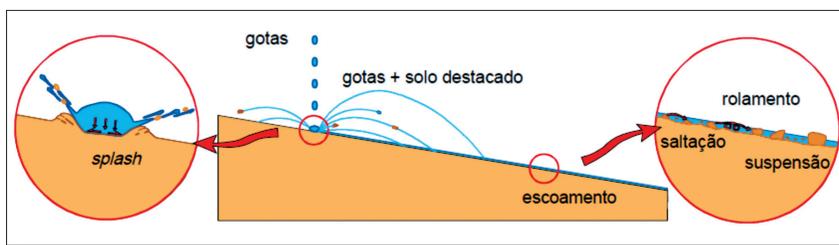
O processo de transporte consiste na movimentação das partículas ao longo das vertentes, por ação de um determinado agente. O principal agente atuante neste processo é a escorrência superficial, embora o efeito de salpico da gota de água da chuva também tenha algum significado neste processo, a uma pequena escala. A intensidade do transporte está dependente da energia do agente de transporte, a qual é condicionada por diversos fatores, nomeadamente o declive, a topografia do terreno, a cobertura vegetal e as próprias características do substrato.

De qualquer forma, a escorrência desempenha um papel fundamental no transporte das partículas ao longo das vertentes (Foster *et al.*, 1977).

### 3ª - Deposição das partículas

Constitui a fase final do processo erosivo e ocorre por perda de competência do agente responsável pelo transporte. Nesta fase, as partículas do solo transportadas vão ser depositadas, podendo o local de deposição corresponder a uma área deprimida, ou a qualquer ponto da vertente, podendo o transporte ser retomado.

O processo de erosão hídrica desenvolve-se sobre as vertentes assumindo, portanto, diferentes formas (fig. 1; TABELA II).



**Fig. 1** - Mecanismos de erosão hídrica (Fonte: adaptado de Reiffsteck e Robinet, 2004).

**Fig. 1** - *Mechanisms of water erosion* (Source: adapted from Reiffsteck and Robinet, 2004).

**TABELA II** - Síntese dos processos e formas de erosão.

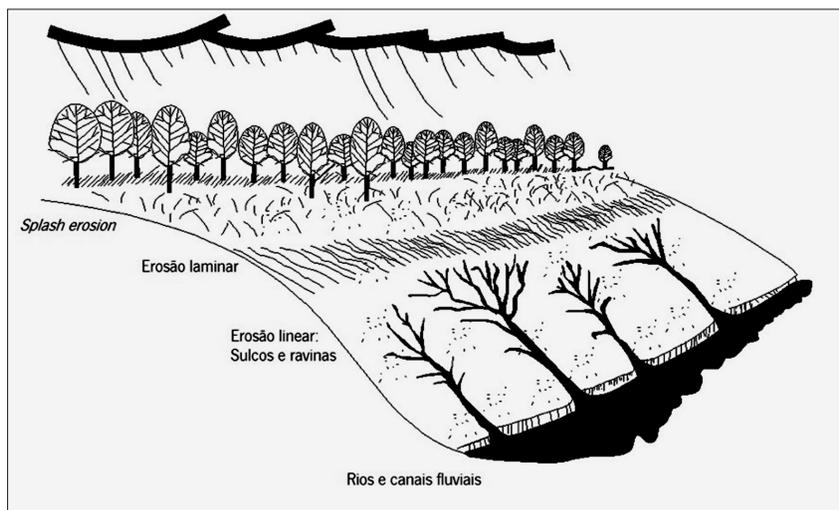
**TABLE II** - *Erosion processes and forms.*

Agente/ação	Processo	Forma
Impacto da gota de chuva ( <i>rainsplash</i> )	erosão – destacamento das partículas	—
Escoamento laminar/em toalha	erosão laminar – lavagem superficial de elementos finos	Superfícies de lavagem
Escoamento linear	erosão por incisão linear – sulcagem e ravinamento	Sulcos Ravinas Barrancos

É fundamental realçar que o processo erosivo é desencadeado, em grande parte, pela ação resultante do impacto das gotas da chuva sobre a superfície terrestre. O fenómeno é designado na terminologia anglo-saxónica de *rainsplash erosion* (Morgan, 2005) ou especificamente *raindrop impact* (Young, 1972), sendo em língua portuguesa designado por efeito de salpico (Lourenço, 2004; Silva e Carvalho, 2002).

A erosão do solo inicia-se, assim, pela ação do impacto das gotas da chuva na superfície do solo, provocando o destacamento das suas partículas e tornando-as disponíveis para o seu transporte através dos fluxos do escoamento superficial, inicialmente difuso e posteriormente concentrado em pequenos sulcos que se vão formando (Morgan, 2005; Guerra, 2007) (fig. 2).

Este processo ocorre, com maior ou menor facilidade, estando dependente da relação entre a erosividade da chuva e a erodibilidade do solo (Cooke e Doornkamp, 1990). No que diz respeito à erosividade, são normalmente considerados os aspetos relacionados com os totais pluviométricos, a intensidade da chuva ou a energia cinética, ainda que raramente se considere a ação do escoamento. Relativamente à erodibilidade, consideram-se, entre outras, as propriedades físicas e químicas dos solos, como sejam a textura ou o teor de matéria orgânica (Bertoni e Lombardi Neto, 1985; Guerra, 2005a, citados por Loureiro, 2013). É igualmente comum considerar o declive e o comprimento das vertentes, o coberto do solo e as práticas culturais, como fatores contemplados na Equação Universal de Perda de Solo (Wishmeier e Smith, 1978).



**Fig. 2** - Tipos de erosão hídrica do solo numa vertente exposta (Fonte: adaptado de UNEP, 1994).

*Fig. 2 - Types of soil water erosion on an exposed slope (Source: adapted from UNEP, 1994).*

A erosão laminar (*sheet erosion*), causada pelo escoamento em toalha, superficial, difuso das águas das chuvas, retira a camada superficial do solo de maneira quase homogênea, lateralmente ou em pequenos filetes (DAEE, 1989).

O Soil Science Society of America (2008) refere-se à erosão laminar como a que promove a remoção de uma camada fina e relativamente uniforme de solo da superfície terrestre pela queda de águas pluviais e pelo escoamento superficial maioritariamente não canalizado das mesmas.

O horizonte superficial de solo é retirado da vertente em camadas finas e muitas vezes desaparece, gradualmente, provocando danos que não são imediatamente perceptíveis (fot. 2). Contudo, Govers (2004) sublinha que, apesar de não evidenciar o desenvolvimento de sulcos ou canais, a erosão laminar não é completamente uniforme.

A dessecação e a lavagem das vertentes são formas de erosão laminar: a primeira ocorre quando camadas superficiais de solos com textura grosseira secam e perdem sua coesão aparente, e a última quando a escorrência provoca erosão do solo sem causar sulcos e ravinas. Os taludes de infraestruturas rodoviárias, onde se desenvolvem estes tipos de formas de relevo, geralmente dão a impressão de estar muito estáveis (não apresentam formas de erosão hídrica), mas descarregam toneladas de solo, ano após ano, nos canais de drenagem associados às bermas dessas vias de circulação (Howell *et al.*, 1979, citado por Araújo *et al.*, 2005).



**Fot. 2** - Erosão laminar (Fotografia de António Vieira, 2017).

*Photo 2- Sheet erosion (Photography by António Vieira, 2017).*

A erosão laminar pode ser considerada como uma fase inicial do desenvolvimento de outras formas de erosão, como sejam os sulcos ou as ravinas (Van Beek *et al.*, 2008).

O fluxo superficial linear resulta em formas erosivas causadas por escoamento superficial concentrado ou *rill erosion* (Foster *et al.*, 1985), que comanda o destacamento das partículas do solo e o transporte das mesmas, de acordo com as condições hidráulicas do próprio escoamento. Podem identificar-se as formas de erosão linear do tipo sulco, ravina e barranco, resultantes da ação combinada entre a escorrência concentrada e o escoamento sub-superficial (Oliveira, 1994).

Segundo a Soil Science Society of America (2008), este processo é caracterizado pelo desenvolvimento de pequenos canais (sulcos), desorganizados e em número significativo ao longo de uma vertente, com alguns centímetros de profundidade, ocorrendo preferencialmente em solos recentemente cultivados.

A forma de erosão em sulcos geralmente apresenta profundidade e largura inferiores a cinquenta centímetros, sendo que as suas bordas possuem uma pequena rutura na superfície do terreno (DAEE, 1989). Bigarella e Mazuchowski (1985) referem que a erosão em sulcos sucede à laminar, podendo igualmente originar-se por ação de precipitações muito intensas. Não existe nenhum limite definido que assinala o limite da erosão laminar e o início da erosão em sulcos (FAO, 1967).

Os sulcos são originados por precipitações intensas e concentradas, mudando de posição a cada chuvada. Podem constituir formas isoladas embora se desenvolvam, mais frequentemente, em padrões regulares paralelos ou dendríticos (Rodrigues, 1998), segundo as linhas de maior declive.

Segundo Bergsma *et al.* (1996, p. 25), o sulco é um canal raso de erosão linear. Gerado na sequência da ocorrência de precipitação, apresenta uma profundidade não superior a 30 cm e pode resultar da ação do escoamento concentrado ou por colapso de estruturas de escoamento sub-superficial, designadas por “*piping*”, com fluxo durante e imediatamente após a chuva. A sua morfologia é caracterizada por paredes íngremes quando recentes, sendo rejuvenescidos por cada chuva. Estas formas de erosão linear não causam obstáculo às operações normais de lavoura. Os mesmos autores referem ainda que, por intensificação da erosão, os sulcos alargam ou podem evoluir para ravinas. Admitem também que os seus padrões de drenagem dendrítica ou paralela

são, em grande medida, controlados pelas formas das vertentes, pelas características do solo ou pelas direções dos regos abertos pelas práticas agrícolas.

Os sulcos desenvolvem-se preferencialmente em superfícies expostas do solo, nomeadamente terrenos recentemente cultivados ou locais de construção (Houghton e Charman, 1986, Soil Science Society of America, 1982, citados por Bergsma *et al.*, 1996) e cicatrizes recentes de movimento em massa.

Horton (1945) refere a importância geomorfológica das ravinas na evolução das vertentes, nomeadamente no que diz respeito à sua ação na condução da água e dos sedimentos, constituindo-se também como embriões de um sistema de drenagem, originado pelo recuo do sistema de ravinas e pela ocorrência de micro-capturas, nas quais umas ravinas capturam segmentos de outras ravinas.

O desencadeamento destes mecanismos ocorre, segundo o mesmo autor, quando a precipitação excede a capacidade de infiltração do solo, dando origem à escorrência (*runoff*). A água acumula-se em depressões na superfície do solo, até que começa a escoar pela vertente, como uma lâmina de água (*sheetflow*), que pode concentrar o fluxo e evoluir para ravina.

A remoção inicial de partículas é devida, segundo Horton (1945), à força de cisalhamento exercida pelo escoamento, à medida que este aumenta gradativamente em profundidade, para a base da vertente. Horton (1945) propõe o conceito de *belt of no erosion* (área sem erosão), correspondente à área junto ao topo da vertente, onde a energia imposta pelo fluxo laminar não é suficiente para ultrapassar a resistência inicial da superfície do solo à erosão. À medida que esse fluxo de água aumenta e acelera pela vertente, ocorre o cisalhamento das partículas de solo e, finalmente, a erosão começa a ocorrer a partir de uma distância crítica, traduzindo-se na criação de uma incisão no solo, onde o fluxo de água tende a concentrar-se, formando as ravinas. Mas as ravinas também se podem formar junto à base das vertentes, onde uma pequena incisão pode recuar em direção ao topo da vertente.

As ravinas podem aumentar em comprimento, largura e profundidade, podendo evoluir para barrancos, ou então para uma rede de canais conectados, pelo recuo das vertentes, formando um sistema de drenagem.

De acordo com Rodrigues (1998) as ravinas (*gullies*, em inglês e *ravines*, em francês), propriamente ditas, resultam do processo de ravinamento (*gullying*) e diferem dos sulcos fundamentalmente pela dimensão e estabilidade do traçado.

Segundo Bergsma *et al.* (1996) a ravina é um canal estreito causado pelo escoamento concentrado, durante ou imediatamente após uma chuva forte, resultante de uma série complexa de processos. A remoção do solo é efetuada através do escoamento superficial concentrado em vários canais rasos, denominados de ravinas, variando de cerca de 20/30 cm a 20 metros de profundidade.

Henensal (1986) classificou as ravinas em: “*ravine*”, “*petite ravin*” e “*grand ravin*”. Quanto à “*ravine*” são, no entender do autor, canais de profundidade compreendida entre 10 e 50 cm. Pequenas ravinas são canais de profundidade compreendida entre 50 e 200 cm. Grandes ravinas são canais de profundidade superior a 200 cm.

A Soil Science Society of America (2008) define ravina como um canal que resulta da erosão, sendo causado pelo fluxo concentrado, porém intermitente de água, normalmente durante e imediatamente depois de chuvas torrenciais. A erosão pelo desenvolvimento de ravinas é considerada o processo de erosão em que a água se acumula e muitas vezes percorre canais estreitos e, ao longo de períodos curtos, retira o solo desta área estreita até profundidades bastante consideráveis. No contexto de terras agrícolas entendem-se como sendo canais demasiadamente profundos para serem facilmente regularizados/eliminados com equipamentos agrícolas normais, atingindo profundidades que variam, tipicamente, de 0,5 até 25 ou 30 metros (Soil Science Society of America, 2008).

Por seu lado, Poesen (1993, citado por Morgan 2005) refere que ravinas são canais relativamente permanentes e de vertentes íngremes pelos quais passam correntes efémeras durante o período chuvoso. Uma definição largamente utilizada para distinguir ravinas e sulcos é que as ravinas têm uma área de corte transversal maior que 1 ft<sup>2</sup> (mais especificamente 929 cm<sup>2</sup>).

De acordo com Costa (2002), vários autores reservam o termo ravina para o que designa por sulco, e barranco para o tipo de forma a que atribuí o nome de ravina.

Por seu lado, Rebelo (1982 e 2003) referiu que, de acordo com Nahal (1975), as ravinas podem considerar-se como formas isoladas com um leito definido que, pelas suas dimensões, trabalhos agrícolas não podem apagar. Admitiu, tal como Pouquet (1967, op. cit.), que se podem dividir em elementares e instaladas. As primeiras definiu-as como “*variáveis de chuvada para chuvada, pelo que dificilmente se podem aceitar como autênticas ravinas*”. Considerou que as segundas se aprofun-

dam e “*ganham, às vezes, dimensões notáveis e parece legítimo chamar-lhes barrancos*” (2001, pág. 106).

Cordeiro (2004) tenta introduzir parâmetros quantitativos, em função de profundidade, para facilitar a classificação das ravinas. Assim, admite que pequenas incisões como regos ou sulcos apresentam menos de 10 cm de profundidade, as ravinas correspondem a canais com 10 cm a 200 cm e os barrancos apresentam mais de 200 cm. Refere ainda que as duas primeiras categorias apresentam evolução progressiva, enquanto que no caso dos barrancos se verifica uma evolução regressiva. Também afirma que as ravinas apresentam uma clara relação com os declives, mas que em declives muito acentuados não ocorrem.

Para Oliveira (1994) ravina é um sulco profundo no solo provocado pela ação erosiva da água de escoamento superficial concentrado, e que não pode ser combatida pelos métodos mais simples de conservação de solo. Na ravina devem ser considerados mecanismos de erosão que envolvem movimentos em massa, representados pelos pequenos deslizamentos que provocam o alargamento da forma erosiva e também seu avanço remontante. As ravinas são normalmente de forma alongada, mais compridas que largas e com profundidades variáveis, e não chegam a atingir o nível de água subterrâneo.

De acordo com a sua experiência de campo, Rodrigues (1998) sugeriu que as definições para os termos sulco e ravina se devem relacionar “*com a permanência das formas erosivas, a sua génese e evolução*”. Na realidade, as ravinas são formas que se reativam em períodos chuvosos consecutivos, o que contrasta com a efemeridade dos sulcos.

O mesmo autor designa por ravinas “*as formas que têm um canal organizado, que se pode desenvolver obliquamente ou segundo o maior declive, em sectores com declives inferiores a 20%. Podem evoluir por processos não exclusivamente relacionados com a dinâmica hídrica do canal e o entalhe é tal que os trabalhos agrícolas mais comuns não o conseguem destruir. Atinge, por vezes, o substrato*”.

O colapso e queda das paredes das ravinas são processos importantes através dos quais as ravinas se alargam. A remoção das camadas superficiais férteis de solo tem lugar, em parte, por deslizamento gradual, que provoca um movimento de descida constante particularmente característico nas camadas superficiais do solo (Sharpe, 1938).

Os barrancos têm uma dimensão tal que, por vezes, o aprofundamento do seu canal acaba por interceptar o lençol freático, e, assim, pode-se vir a observar uma grande complexidade de processos do meio físico (*piping*, liquefação de areia, deslizamentos laterais, erosão superficial), devido à ação concomitante das águas superficiais e sub-superficiais (Rodrigues, 1982). Este tipo de forma de erosão atinge grandes dimensões, gerando vários impactes ambientais na sua área de ação e na área de drenagem a jusante, condicionando fortemente o uso do solo. Formam-se geralmente em locais de concentração natural de escoamento pluvial, tais como cabeceiras de drenagem. É a forma mais evidente de erosão por ação antrópica, podendo ser formada através de uma passagem gradual da erosão laminar para a erosão em sulcos e ravinas cada vez mais profundas, ou então, diretamente a partir de um ponto de elevada concentração de águas pluviais (IPT, 1986). No Brasil podem atingir dimensões consideráveis e são denominadas por voçorocas.

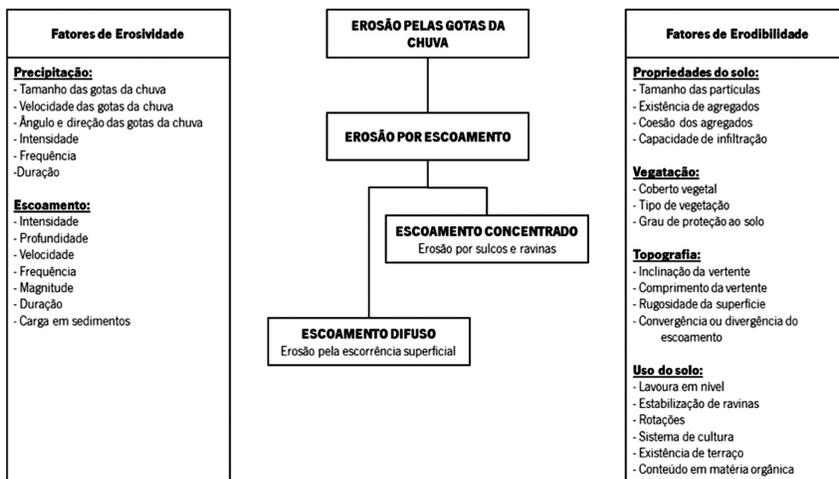
A presença do lençol freático em áreas húmidas, interceptado pelo barranco, induz ao aparecimento de nascentes de água, provocando o fenómeno conhecido como “*piping*” (erosão interna que provoca a remoção de partículas do interior do solo, formando galerias vazias que provocam colapsos e deslizamentos laterais do terreno, alargando o barranco, ou criando novos ramos).

A importância do estudo dos fenómenos associados à formação de barrancos está na possibilidade do estabelecimento de medidas de prevenção e controle, assim como no desenvolvimento de novas técnicas de combate ao problema.

## Fatores de erosão hídrica do solo

De acordo com Guerra (1998), os processos de erosão hídrica são controlados em geral por fatores como a erosividade da chuva, as propriedades dos solos, a cobertura vegetal e as características da vertente.

Nos processos de erosão hídrica dos solos são considerados frequentemente dois conjuntos de fatores que contribuem determinantemente para a sua ocorrência, decorrendo, pois, da sua inter-relação a maior ou menor atuação e intensidade daquele processo: são eles os fatores de erosividade e de erodibilidade (Cooke e Doornkamp, 1990; Roxo, 1994; Cordeiro, 2004) (fig. 3).



**Fig. 3** - Principais fatores que intervêm no processo de erosão hídrica do solo (Fonte: Roxo, 1994).

**Fig. 3** - Main factors that intervene in the process of soil water erosion (Source: Roxo, 1994).

## Erosividade

Erosividade é a capacidade potencial da chuva e do escoamento para provocar a erosão, a qual é por sua vez função das características físicas da chuva. Os principais fatores de determinam a erosividade são a intensidade, a duração e a frequência. A intensidade da chuva é a relação entre o volume da precipitação e o tempo de duração da mesma. Quanto maior a intensidade, maior a energia cinética das gotas da chuva e, com isto, maior a sua capacidade de desagregação de solo, reduzindo a infiltração de água e aumentando o escoamento superficial, com consequente aumento nas perdas de solo e água (Wischmeier, 1962). A duração determina, em parte, a quantidade total de precipitação, a qual se relacionará com taxa de infiltração da água no solo e a quantidade de água em escorrência. A frequência com que as chuvas ocorrem pode determinar o seu maior ou menor poder erosivo, uma vez que quanto maior o teor de humidade no solo no momento antecedente à chuva, menor será sua capacidade de infiltração de água da chuva e maiores serão a enxurrada e os riscos de erosão.

## Erodibilidade

A erodibilidade do solo, termo usado inicialmente por Cook (1946, citado por Gerrard, 1981), corresponde à resistência do solo ao destacamento e ao transporte. Ainda que esteja dependente em parte das características topográficas, do declive ou do grau de perturbação (promovido nomeadamente pelas ações de cultivo), as características intrínsecas do solo constituem o fator mais importante, sendo que a erodibilidade varia com a textura do solo, a estabilidade dos agregados, a capacidade de infiltração ou matéria orgânica (Morgan, 2005).

Pode ser avaliada através da medição da perda de solo sob condições controladas e a identificação das propriedades do solo enquanto índices de erodibilidade.

Gerrard (1981) reforça que a variação nas propriedades do solo é um dos fatores mais influente na erosão do solo.

Em geral, os solos que apresentam taxas de infiltração mais rápidas, níveis mais altos de materiais orgânicos e uma boa estrutura apresentam uma maior resistência à erosão (Van Beek *et al.*, 2008).

A variação nas propriedades do solo constitui uma das principais influências sobre a erosão dos solos (Gerrard, 1981). De acordo com Guerra (1998), e tal como já referimos, a erosão hídrica é controlada, em geral, por fatores como a erosividade da chuva, propriedades dos solos, cobertura vegetal e características da vertente.

## Os movimentos em massa

Para além dos referidos processos de erosão hídrica referidos anteriormente, outras formas de degradação do solo atuantes em vertentes são os movimentos em massa.

Verificamos que tanto a erosão dos solos por processos hídricos como os movimentos em massa são duas formas de degradação dos solos, e que o Ser Humano também possui um papel importante nesses dois processos geomorfológicos. Eles

apresentam maneiras diversas de ocorrer e, conseqüentemente, diferentes formas de serem identificados e monitorizados. As condições nas quais eles ocorrem são distintas, dando origem a diversas formas nas vertentes (Guerra, 2016).

Tal como referem diversos autores (citados em Guerra, 2016), na presença de água a ocorrência destes fenômenos é potenciada, uma vez que aquele agente pode reduzir a resistência ao cisalhamento dos materiais na vertente, contribuindo para o comportamento plástico e fluído dos solos. Isso pode, conseqüentemente, tornar os movimentos em massa mais catastróficos, causando destruição e corte na circulação de pessoas e bens.

Neste sentido, a investigação geomorfológica sobre movimentos em massa é fundamental para a avaliação da sua ocorrência e fatores que estão envolvidos no seu desencadeamento, de forma a compreender a sua distribuição e cartografar esses processos, com o objetivo de identificar a sua dinâmica e prever, na medida do possível, futuras ocorrências.

Dado o seu caráter catastrófico e impactes produzidos sobre a paisagem, o sistema geomorfológico e as próprias atividades humanas ou infraestruturas, os movimentos em massa têm sido objeto de estudo de muitos investigadores em todo o mundo, de várias áreas científicas (desde geógrafos, geólogos, geomorfólogos, engenheiros, entre outros), com abordagens diferenciadas, procurando identificar e compreender os processos envolvidos, bem como estabelecer metodologias de diagnóstico e medidas de mitigação e de prevenção (Pimentel, 1993; Morgan, 2005; Guerra, 20016).

Convém salientar que existem diferenças entre erosão hídrica (apresentada anteriormente) e movimentos em massa, apesar das conseqüências degradativas que ambos os processos imprimem nos solos.

De acordo com Zêzere (1997), a designação “*movimento de massa*” (*mass movement*) tem sido utilizada, algumas vezes, de forma indiscriminada como sinónimo de *landslide* ou movimento de vertente (como referido pelo autor nos exemplos de Mulder, 1991, Bromhead, 1992, ou Van Westen, 1993). Também Guerra (2016) refere ser comum entre os autores que se dedicam ao estudo destes fenômenos, a utilização do termo *landslide* como sinónimo de movimento em massa, ainda que considerando a existência de diferentes tipos de movimentos em massa. Neste sen-

tido, a substituição do termo *landslide* por movimento em massa tem sido proposta por diversos autores, de origem britânica (Zêzere, 1997), por forma a evitar confusão terminológica. Contudo, esta proposta não tem acolhido aceitação generalizada, nomeadamente pelo facto de à designação movimento em massa estar associado frequentemente um significado mais lato.

Para Araújo *et al.* (2005), os movimentos em massa são popularmente conhecidos, no Brasil, como deslizamentos de terra. No entanto, na linguagem científica os deslizamentos referem-se a um tipo particular de movimento em massa.

Hutchinson (1968, citado por Zêzere, 1997, p. 43) considera que “*os movimentos de massa compreendem todos os movimentos induzidos pela gravidade, com a exclusão daqueles em que o material é mobilizado por um agente de transporte, como gelo, neve, água ou ar, designados por transporte em massa*”, integrando neste conceito os movimentos de vertente, a subsidência (abatimentos, assentamentos), as várias modalidades de *creep* e os processos ligados à ação do gelo e da neve (nomeadamente a solifluxão periglaciária).

Hart (1986) refere que os movimentos em massa são resultado da força de cisalhamento nas vertentes, causada pela gravidade, peso do material e presença de água no solo, que consegue superar a resistência dos materiais, determinada por propriedades de coesão dos solos nas vertentes.

Guidicini e Nieble (1976) complementam a definição de Hutchison dizendo que os movimentos em massa ou movimentos de solos e rochas, têm sido objeto de amplos estudos em diversas latitudes, não apenas pela sua importância como agentes atuantes na evolução das formas de relevo, mas também em função de suas implicações práticas e da sua importância do ponto de vista económico.

O movimento em massa envolve a deslocação para fora ou para baixo, por influência da gravidade, o que leva à transformação dos materiais originais e a alteração da forma e declive da vertente onde ocorre. Embora a água e o gelo possam influenciar este processo, estes elementos não atuam como agentes de transporte primários (Crozier, 2004, p. 605).

Um dos fatores que deve ser considerado na compreensão da definição de movimento em massa é a ocorrência de precipitação na área em análise, pois, como é de

conhecimento geral, o solo possui uma capacidade limite de absorção de água, ou seja, uma capacidade acima da qual há ocorrência de escoamento, sendo que nem toda água da chuva consegue penetrar no solo.

No conjunto dos movimentos em massa ocorrem variadas formas, como sejam a reptação, os deslizamentos, os desabamentos ou quedas de rochas e os fluxos, entre outros, que são tratados detalhadamente por vários autores.

### Classificação dos movimentos em massa

A primeira classificação dos movimentos em massa amplamente aceita foi desenvolvida por Sharpe (1938), e serviu de base para os trabalhos subsequentes. A classificação de Sharpe leva em conta uma grande variedade de fatores incluindo: os tipos de materiais; tipos, tamanho, causa e velocidade de movimento; quantidade de água; características de fricção interna; idade do movimento; organização de materiais dentro da massa móvel; e as relações da massa em movimento com o material superficial e substrato.

Quanto aos movimentos, foram divididos por ele em duas categorias importantes: fluxos (*flows*) e deslizamentos (*slides*), sendo que estas categorias se subdividem em várias outras.

Na sequência da classificação proposta por Sharpe (1938) surgiram também outras propostas, nomeadamente as publicadas por Varnes (1978) e Hutchinson (1968). Para Varnes (1978) e Cruden e Varnes (1996), os movimentos em massa são classificados de acordo com o tipo de mecanismo e, também, em função do tipo de material. Em função do mecanismo, distinguem-se desabamentos ou quedas (*falls*), balançamentos (*topples*), deslizamentos (*slides*), expansões laterais (*lateral spreads*) e fluxos (*flows*). Quanto ao tipo de material, considera-se a rocha, os detritos (material grosseiro) e solo ou material fino. Além disso, classifica alguns movimentos como complexos (combinações de dois ou mais tipos) (TABELA III), reconhecendo assim a dificuldade em estabelecer limites rígidos entre um tipo de movimento e outro.

**TABELA III** - Síntese dos processos e formas de erosão.

*TABLE III - Erosion processes and forms.*

Tipo de movimento			Tipo de material		
			Rocha	Solo (engenharia)	
Desabamento ou Queda			De rochas	De detritos	De solos
Balançamento			De rochas	De detritos	De solos
Deslizamentos	Rotacional	Poucas unidades	Deslizamento de rochas	Deslizamento de detritos	Deslizamento de solos
	Translacional	Poucas unidades	De blocos rochosos	De blocos de detritos	De blocos de solos
		Muitas unidades	De rochas	De detritos	De solos
Expansões laterais			De rochas	De detritos	De solos
Fluxos			De rocha	De detritos	De solos
Complexos: combinação de 2 ou mais dos principais tipos de movimentos					

Fonte: Varnes, 1978; Cruden e Varnes, 1996; EPOCH, 1993; citado por Van Beek *et al.*, 2008.  
 Source: Varnes, 1978; Cruden and Varnes, 1996; EPOCH, 1993; quoted by Van Beek *et al.*, 2008.

A classificação Europeia desenvolvida no âmbito do projeto europeu EPOCH, baseada na simplicidade e adequação às condições Europeias, utilizou como classes tipológicas: quedas, deslizamento (rotacional), deslizamento (translacional), expansão lateral, fluxo e movimentos complexos, que resultam de um elemento importante na classificação para reconhecer os mecanismos da falha. A classificação do EPOCH também reconhece que o tipo de material deve ser definido e dividido em rochas, detritos e solos (Dikau *et al.*, 1996).

Na sua primeira classificação, Hutchinson (1968) não referiu o modo de deformação como parâmetro. No entanto, procurou englobar todos os tipos de materiais envolvidos no que diz respeito aos deslizamentos. Posteriormente o parâmetro passou a ser considerado (Hutchinson, 1988). A sua classificação original inclui a reptação (*creep*), os deslizamentos (*landslides*) e os movimentos ligados especificamente ao congelamento e degelo da superfície (*frozen ground phenomena*). Na segunda classificação,

Hutchinson (1988) acrescentou que a diversidade dos fatores que interferem no processo de movimentos em massa gravitacionais resulta numa variedade de tipos e processos que impossibilitam uma total discretização de tipos na classificação. Por isso, os tipos de movimentos em massa considerados pelo autor são reptação, deslizamentos, balançamentos, quedas e movimentos complexos de taludes.

Nessa sequência, Selby (1993) utiliza alguns critérios para diferenciar estes movimentos levando em conta o tipo de material, a velocidade e o mecanismo do movimento, o modo de deformação, a geometria da massa movimentada e o conteúdo de água.

Os deslizamentos e processos correlatos fazem parte do conjunto dos movimentos gravitacionais em massa diretamente relacionados com a dinâmica das vertentes. Augusto Filho (1992) classifica os deslizamentos *lato sensu* em quatro grandes grupos: reptação (*creep*), deslizamentos *stricto sensu* (*slides*), quedas (*falls*) e fluxos (*flows*). Os tipos de deslizamentos são definidos em função da forma, da velocidade e do tamanho do processo, bem como pelo tipo de material (solo, rocha) que foi mobilizado.

Para Hart (1986), os movimentos em massa podem ser classificados de várias maneiras e a mais simples delas é a que os divide em fluxos (*flows*), deslizamento (*slides*) e quedas (*falls*).

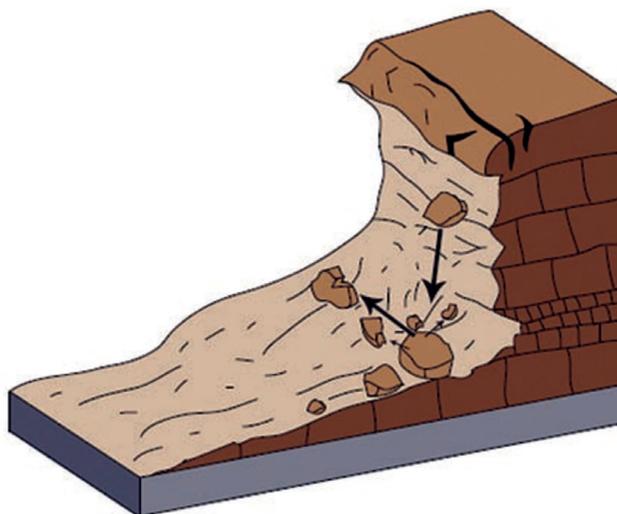
No que diz respeito à reptação (*creep*), Hansen (1984) descreve-a como definida basicamente pela velocidade, pela sua natureza lenta de movimento.

Dos vários tipos de movimentos em massa considerados pelos diversos autores, e discutidos anteriormente, procederemos de seguida a uma análise mais pormenorizada daqueles com uma maior frequência: desabamento (ou queda), balançamento, deslizamentos (rotacional, translacional e planar) e fluxos (de detritos e de solo).

### **Desabamento ou Queda (Fall)**

O desabamento (*fall*) é definido, segundo o Working Party on World Landslide Inventory da UNESCO, como “*uma deslocação de solo ou rocha a partir de um abrupto, ao longo de uma superfície onde os movimentos tangenciais são nulos ou reduzidos. O material desloca-se predominantemente pelo ar, por queda, saltação ou*

*rolamento*” (Zêzere, 1997, p. 49) (fig. 4). Este tipo de movimento corresponde a um movimento brusco, caracterizado, portanto, por um desenvolvimento em elevada velocidade, ocorrido em queda livre ou com reduzido contato com a vertente.



**Fig. 4** - Representação esquemática de um desabamento ou queda de bloco  
(Fonte: adaptado de Highland and Bobrowsky, 2008).

*Fig. 4* - Schematic representation of a rockfall  
(Source: adapted from Highland and Bobrowsky, 2008).

Segundo Flageollet e Weber (1996, p. 13) é um movimento livre de material ao longo de vertentes de declives acentuados, como escarpas. O destacamento e a queda subsequente do material é seguido por impacto na base da vertente, podendo aí associar-se processos secundários.

Para Giani (1992) o desabamento (*rockfall*) corresponde ao destacamento de uma massa de rocha em vertente de declive acentuado ou escarpada.

Pode ter pouca ou nenhuma rutura (deslocamento) por cisalhamento (Hoek e Bray, 1981). Ainda de acordo com o mesmo autor, o início do fenómeno de queda de um bloco em talude rochoso envolve condições iniciais de instabilidade, que causam o movimento de uma massa induzido pela rutura do talude. A velocidade

inicial do movimento de queda depende das condições de instabilidade e do posicionamento do bloco anteriormente à rutura.

Ainda Dikau (2004) define desabamento como um movimento livre de material de vertentes íngremes. Diferentes tipos de desabamentos são descritos por processos de material e falha. O termo queda de rochas é frequentemente usado como o termo geral, sem mais referência ao material envolvido.

Hoek (1998) afirma que diversos eventos podem desencadear movimentos de desabamento, incluindo o aumento da pressão neutra devido à infiltração de água de chuva, o início de processos erosivos durante chuvas torrenciais, a meteorização da rocha, a remoção do suporte original por escavação ou erosão e o crescimento de raízes vegetais.

Rebelo (2003) refere que o processo de desabamento pode estar também relacionado com riscos tectónicos ou climáticos, uma vez que estes processos de evolução de vertentes podem acontecer em função de sismos ou em função de trabalho de sapa na base das vertentes, mas também devido a infiltração da água das chuvas nas fendas das rochas.

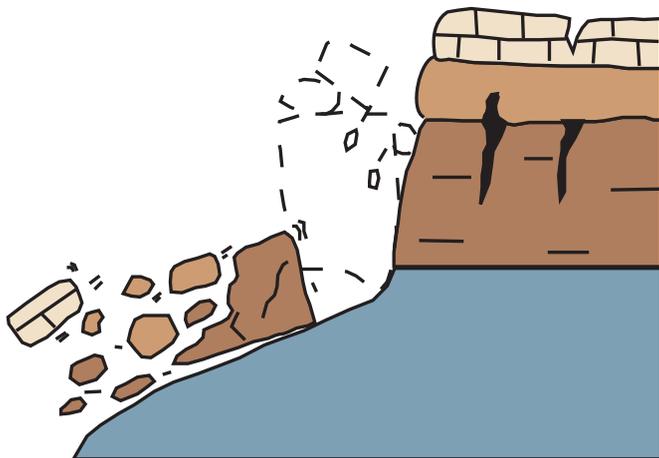
Os desabamentos ocorrem em vários locais, tais como arribas litorais, margens de rios de declives acentuados, limites de planaltos ou vertentes escarpadas. Podem também ocorrer em aterros artificiais (infraestruturas rodoviárias). Fraturas e falhas produzem superfícies planas e cavidades em forma de cunha e juntas verticais facilitando o desprendimento dos materiais. Os desabamentos podem conduzir à formação de um cone em forma de leque na base da vertente (Dikau, 2004).

Estes movimentos em massa são influenciados pela forma e ângulo da inclinação, tamanho e forma das rochas, ângulo de ataque, estado e deformação das rochas e cobertura vegetal. Os detritos e as quedas de solo originam-se de materiais que já foram destacados da rocha-mãe. Na rocha sólida, o processo de separação pode levar tempo e decorre de fatores internos e externos que são frequentemente combinados (Dikau, 2004).

De acordo com Pierson e Van Vickle (1993) e outros autores, sobretudo nos Estados Unidos da América, todos os anos se promove à manutenção de taludes rochosos e se trabalha em estruturas para mitigação de áreas potencialmente instáveis em estradas, o que constitui avultados gastos com a reabilitação de infraestruturas rodoviárias.

## Balançamento (topple)

O balançamento consiste numa rotação para a frente de uma massa de rocha, detritos ou solo em torno de um pivô numa vertente (fig. 5). O balançamento pode culminar numa queda abrupta ou deslizamento, mas a forma de movimento está relacionada com a inclinação do material sem colapso (Dikau, 2004).



**Fig. 5** - Representação esquemática de um balançamento  
(Fonte: adaptado de USGS, 2004).

*Fig. 5 - Schematic representation of a topple (Source: adapted from USGS, 2004).*

A principal força motriz para a ocorrência do balançamento é a separação de uma coluna de modo que a carga é transferida para uma base mais estreita. A altura da inclinação é um importante parâmetro de controlo, tal como a largura da base de suporte. Os balançamentos em rochas geralmente exigem escarpas espessas, enquanto balançamentos em detritos e solo podem ocorrer em escarpas de dimensões inferiores. A formação de fissuras de tensão é causada frequentemente pelo sapping lateral por erosão aureolar de cursos de água, pela ação das ondas do mar ou pela ação do Ser Humano. As pressões da água nas juntas e nos materiais de base são de vital contribuição para o colapso da coluna em movimento (Dikau, 2004).

## Deslizamento (Slide)

O deslizamento é definido por Cruden (1991), para o WP/WLI, como o movimento de uma massa de rocha, terra ou detritos na vertente. Varnes (1978, citado por Dikau *et al.*, 1996) indicou que movimento de vertente seria um termo mais compreensivo porque não infere com o processo. No entanto, Brunnsden (1984, citado por Dikau *et al.*, 1996) preferiu o termo movimento em massa e distingue-o de transporte em massa, pois não requer um meio de transporte, como água, ar ou gelo.

Para Korup (2012) deslizamentos são movimentos de solo e/ou rocha, vertente abaixo, sob a influência da gravidade e, também, na maioria dos casos sob influência de água. A maioria deles é provocada por terremotos, chuvas, degelo e cortes nas vertentes, estando entre os maiores produtores de sedimentos e entre os maiores agentes de denudação.

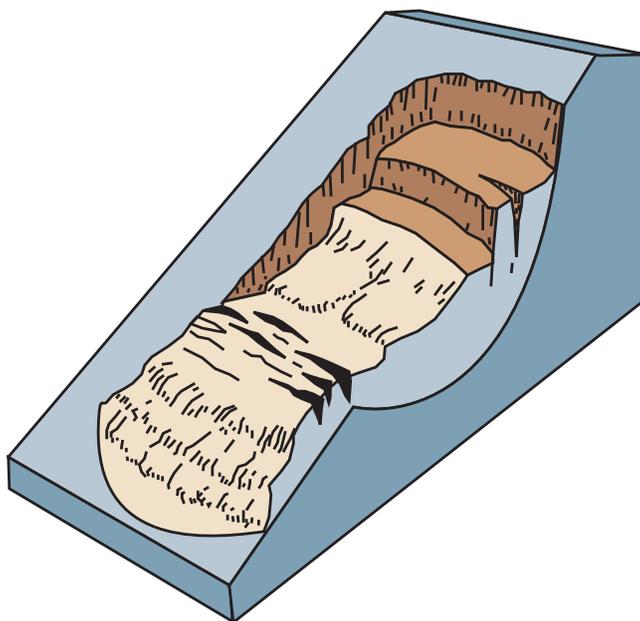
Este tipo de movimentos em massa é também designado por escorregamento por diversos autores (Rebello, 2003; Matos, 2008). De acordo com o WL/WLI (1993b, citado por Zêzere, 1997), deslizamento (*slide*) é um “[...] movimento de solo ou rocha que ocorre predominantemente ao longo de planos de rutura ou de zonas relativamente estreitas, alvo de intensa deformação tangencial [...]”. A massa deslocada durante o movimento permanece em contacto com o material subjacente não afetado, apresentando graus de deformação bastante variáveis, consoante o tipo de deslizamento (Zêzere, 1997, p. 51).

Em função do plano de rutura, estes subdividem-se em deslizamentos rotacionais e translacionais (com plano de rutura planar ou composto) (Varnes, 1978). Este plano de rutura é definido como a superfície ao longo da qual ocorre o movimento tangencial (Zêzere, 2005).

Dependendo das características do material afetado e do tipo de rutura, os deslizamentos podem ser subdivididos em:

### *Deslizamentos rotacionais*

Os deslizamentos rotacionais (*rotational slides* ou *slumps*) ocorrem como um movimento de rotação sobre uma superfície de corte circular (fig. 6 e fot. 3). Diferem no grau de desintegração nas massas deslizantes e nas características deposicionais nas áreas dos sopés (Dikau, 2004).



**Fig. 6** - Representação esquemática de um deslizamento rotacional (Fonte: adaptado de USGS, 2004).

*Fig. 6* - Schematic representation of a rotational slide (Source: adapted from USGS, 2004).



**Fot. 3** - Deslizamento rotacional em talude de estrada, no município de Póvoa de Lanhoso (Fotografia de António Vieira, 2017).

*Photo 3* - Rotational slide in the municipality of Póvoa de Lanhoso (Photography by António Vieira, 2017).

Varnes (1978, citado por Dikau, 2004; Van Beek *et al.*, 2008) define deslizamento rotacional como um “*movimento mais ou menos rotativo, em torno de um eixo que é paralelo aos contornos do declive, envolvendo deslocamento de cisalhamento (deslizamento) ao longo de uma superfície de rutura côncava, que é visível ou pode ser razoavelmente deduzida*”.

Ainda para Varnes (1978, citado por Araújo *et al.*, 2005) os deslizamentos rotacionais ocorrem em vertentes compostas de solos homogêneos e coesos, nos quais a resistência ao deslizamento é independente da profundidade; as superfícies de deslizamentos críticas tendem a apresentar um arco, passando profundamente sob a vertente, onde a resistência a cisalhamento é a mais baixa e a tensão é alta.

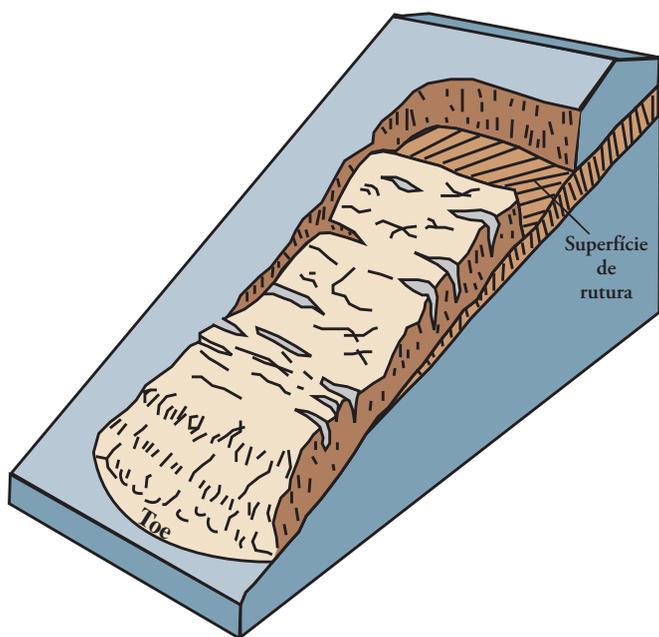
#### *Deslizamentos translacionais – não rotacionais*

Este tipo de movimentos corresponde a uma transição entre os deslizamentos rotacionais, acima descritos, e os deslizamentos translacionais planares, com características mais típicas de movimentos translacionais (fig. 7).

Zêzere (1997) refere a utilização, por vários autores, da designação “*compósitos*” para os identificar, tendo como fundamento a frequente existência de duas seções na forma do plano de rutura: uma forma circular ou planar com forte inclinação, a montante; estilo marcadamente translacional e inclinação muito mais reduzida, a jusante.

Considerando a utilização do termo “*compósito*” noutra âmbito, nomeadamente para a caracterização de um estilo de atividade dos deslizamentos (WP/WLI, 1993), outras designações têm sido propostas, como a de Dikau *et al.* (1996) que os designaram de “*não rotacionais*”.

Dikau *et al.* (1996) enquadram neste tipo de movimento em massa os *block slide* (deslizamentos de rochas e de detritos) e os *slab slide* (deslizamentos de solos), tendo em consideração as características do material afetado.



**Fig. 7** - Representação esquemática de um deslizamento translacional  
(Fonte: adaptado de USGS, 2004).

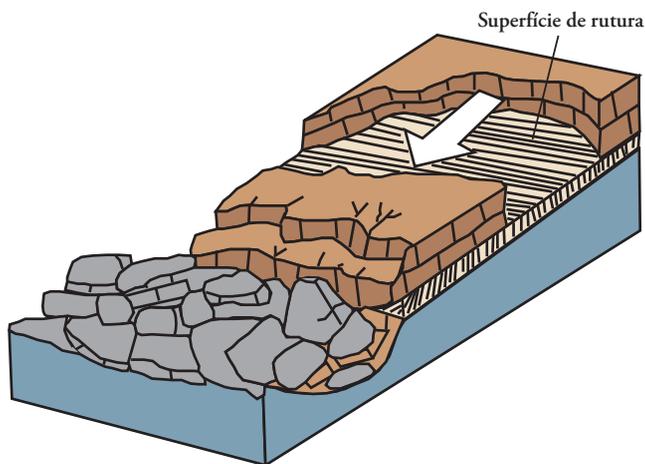
**Fig. 7** - Schematic representation of a translational slide  
(Source: adapted from USGS, 2004).

### *Deslizamentos translacionais – planares*

Varnes (1978) caracteriza os deslizamentos translacionais planares como os que se desenvolvem ao longo de uma superfície mais ou menos planar ou suavemente ondulada, não revelando o movimento de rotação do material deslocado, que é totalmente evacuado da superfície de deslizamento (fig. 8).

Zêzere (1997) refere o evidente controlo estrutural associado a estes movimentos, reforçando que o plano de rutura se desenvolve “*ao longo de superfícies de estratificação, diáclases ou contacto entre uma cobertura detritica e o substrato rochoso*” (p. 53).

Ainda para Varnes (1978, citado por Araújo *et al.*, 2005) o deslizamento planar ocorre em vertentes onde há algum controle geológico, como, por exemplo, planos de deslizamento, juntas, manto de coluvião e, também, em vertentes arenosas.



**Fig. 8** - Representação esquemática de um deslizamento translacional planar (Fonte: adaptado de USGS, 2004).

**Fig. 8** - Schematic representation of a block slide (Source: adapted from USGS, 2004).

Tendo em consideração o material afetado, Dikau *et al.* (1996) enquadram neste tipo de movimento em massa os *rockslides* (deslizamentos de rocha), os *debris slides* (deslizamentos de detritos) e os *mudslides* (deslizamentos de solos).

Deslizamentos de rocha ocorrem ao longo de uma superfície mais ou menos planar ou suavemente ondulada. É típico para inclinações da montanha ou exposições da rocha onde o ângulo da inclinação é próximo ou paralelo à profundidade da rocha (Varnes 1978, citado por Dikau, 2004).

Os deslizamentos de detritos são, segundo Carson e Kirkby (1975, citado por Zêzere, 1997), a forma de instabilidade mais comum nas vertentes naturais. Trata-se de deslizamentos pouco profundos, com planos de ruptura sensivelmente paralelos à superfície topográfica, frequentemente coincidentes com o contacto entre os depósitos de vertente e o substrato rochoso (Záruba e Mencl, 1982; Corominas, 1996a, citados por Zêzere, 1997).

Os deslizamentos de detritos são frequentemente desencadeados por chuvas intensas ou por terremotos. A probabilidade de ocorrência de um deslizamento de detritos é significativamente acentuada pela destruição da cobertura vegetal por ação de incêndios ou exploração de madeira (Dikau, 2004).

Os deslizamentos de lama são uma forma de movimento em massa no qual as massas de solos amolecidos ou deslizamentos de areia muito finas ocorre sobre superfícies de cisalhamento discretas, de contorno em formas lobadas ou alongadas e de movimentação relativamente lenta (Brunsden, 1984, citado por Brunsden e Ibsen, 1996, p. 104). Ainda Brunsden e Ibsen (1996, p. 105) reconhecem três grandes unidades morfológicas: área de rutura, sector de transporte com forma de canal e zona de acumulação.

### Fluxos (Flows)

Van Beek *et al.* (2008) definem os fluxos como deformações viscosas de materiais da vertente em que todas as partículas se movem a diferentes velocidades, que vão diminuindo com a profundidade.

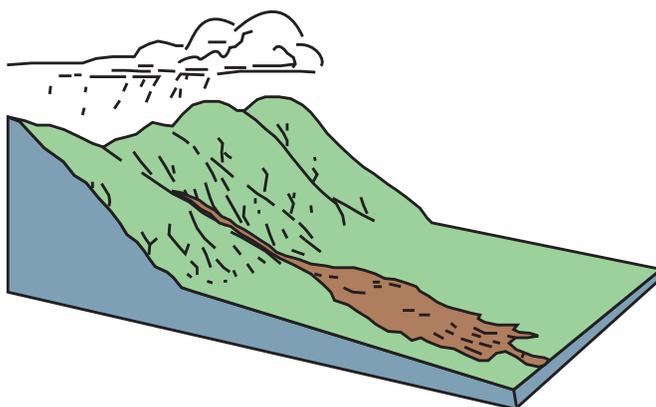
Zêzere (1997) designa este movimento como *escoamento (flow)* e, baseando-se no WP/WLI (1993), caracteriza-o como um “*movimento espacialmente contínuo onde as superfícies de tensão tangencial são efêmeras e frequentemente não preservadas. A distribuição das velocidades na massa deslocada assemelha-se à de um fluido viscoso*”. Refere ainda que “*as tensões distribuem-se por toda a massa afetada, conduzindo, geralmente, a uma grande deformação interna dos materiais*” (p. 55).

Os fluxos podem ser encontrados em qualquer tipo de material na vertente, mas o fluxo de rocha é extremamente lento e pode ser considerado como um tipo de *creep*. O fluxo distingue-se deste por apresentar limites discretos ou estreitos que sofrem cisalhamento, para além de se moverem a velocidades significativamente superiores às do *creep*, que são geralmente impercetíveis (Van Beek *et al.*, 2008).

Os fluxos resultam, frequentemente, de outros movimentos em massa, como por exemplo deslizamentos, desabamentos ou basculamentos, uma vez que o material se desestrutura e as pressões dos poros aumentam. Os tipos mais comuns são os fluxos de detritos e os fluxos de solo. Estes fluxos compreendem materiais diferentes e requerem quantidades substanciais de água para fluidificação (Van Beek *et al.*, 2008).

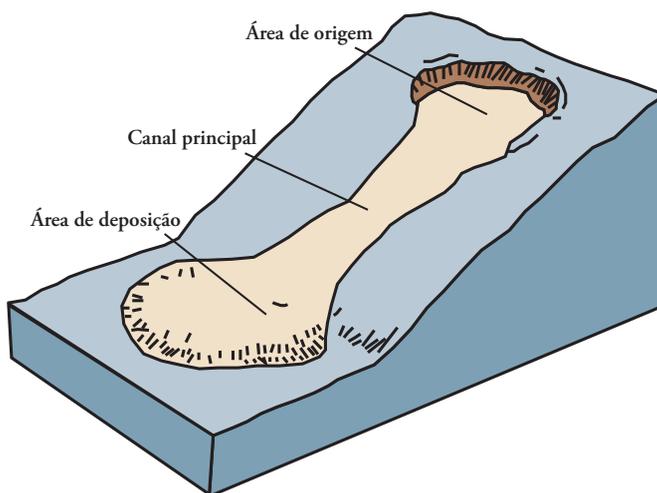
Van Beek *et al.* (2008) referem que os fluxos de detritos (fig. 9) são compostos por material grosseiro (cascalho e rochas) envolvido numa matriz mais fina (areia,

silte, argila), e caracterizados por quantidades variáveis de água, que se movem como uma massa de lama no sentido descendente na vertente, enquanto que os fluxos de solo, húmidos, ainda que assemelhando-se aos fluxos de detritos, são, no entanto, compostos de um único tamanho de elementos, de grão fino (fig. 10).



**Fig. 9** - Representação esquemática de fluxo de detritos (Fonte: adaptado de USGS, 2004).

*Fig. 9 - Schematic representation of debris flow (Source: adapted from USGS, 2004).*



**Fig. 10** - Representação esquemática de fluxo de solo (Fonte: adaptado de USGS, 2004).

*Fig. 10 - Schematic representation of earthflow (Source: adapted from USGS, 2004).*

## Alguns exemplos de processos de erosão hídrica e movimentos em massa em Portugal

A erosão hídrica é um processo que ocorre, de forma generalizada, no território nacional. De fato, as características climáticas do nosso território continental constituem um fator influente na ocorrência deste tipo de processos, quer pela sazonalidade das precipitações e consequente alternância de estação com elevada precipitação (que pode atingir valores anuais superiores a 2500 mm nas montanhas do noroeste de Portugal) com estação seca (bem pronunciada no sul de Portugal), e pela ocorrência de episódios pluviométricos de elevada intensidade (propiciados pela frequente passagem de superfícies frontais).

Acresce a forma intensiva e frequentemente inapropriada de uso do solo, que contribui para a desproteção do solo, facilitando a atuação dos diversos agentes erosivos. Neste contexto, a crescente ocorrência de incêndios florestais em Portugal tem vindo a contribuir para uma acelerada degradação dos solos, decorrente de intensa erosão hídrica (Vieira e Bento-Gonçalves, 2015, 2016).

Com efeito, a ocorrência de incêndios florestais no período estival (quente e seco) remove a cobertura vegetal (arbórea, arbustiva e herbácea) protetora do solo, deixando-o desprotegido à mercê das precipitações que normalmente acontecem no outono e inverno que lhe seguem, com efeitos bastante significativos, quer na remoção de sedimentos, quer mesmo de nutrientes (Bento-Gonçalves *et al.*, 2008).

Efetivamente, vários autores têm referido que o fogo aumenta a escorrência e a erosão do solo (Burch *et al.*, 1989; Imeson *et al.*, 1992; Shakesby *et al.*, 1993; Scott e Schulze, 1992; Inbar *et al.*, 1998; Coelho *et al.*, 1995; Coelho *et al.*, 2004; Cerdà e Lasanta, 2005; Cerdà e Doerr, 2005, Benavides-Solorio e MacDonald, 2005).

Para além da destruição do coberto vegetal protetor, em ambientes florestais queimados a escorrência pode ser reforçada pela redução da capacidade de infiltração e pelo desenvolvimento do reforço da eficácia da camada hidrofóbica (Sevink *et al.*, 1989; Imeson *et al.*, 1992; Doerr *et al.*, 1996).

Estas condições conduzem frequentemente à disseminação das formas descritas acima, nomeadamente às relacionadas com a erosão laminar, que se observa de forma generalizada nas áreas ardidas (fot. 4), mas também a sulcos (fot. 5) e ravinas (fot. 6).



**Fot. 4** - Erosão laminar em áreas ardidas (Fotografia de António Vieira, 2017).  
*Photo 4* - Sheet erosion in burned areas (Photography by António Vieira, 2017).



**Fot. 5** - Sulcos em áreas ardidas (Fotografia de António Vieira, 2017).  
*Photo 5* - Rills in burned areas (Photography by António Vieira, 2017).



**Fot. 6** - Ravina desenvolvida em áreas ardidas (Fotografia de António Vieira, 2011).

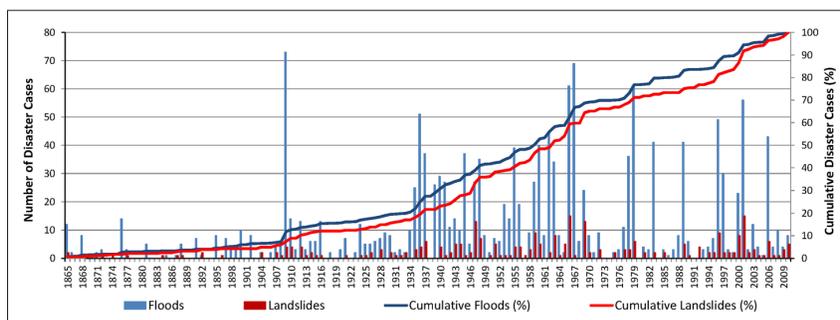
*Photo 6* - Gully developed in burned areas (Photography by António Vieira, 2011).

A ocorrência de movimentos em massa no território nacional é relativamente frequente, com incremento significativo a partir da segunda metade do século XX, acompanhado por um crescente aumento nos impactos para as atividades humanas e, inclusivamente, com registo de fatalidades.

A investigação desenvolvida no âmbito do projeto DISASTER (Zêzere *et al.*, 2014), por exemplo, permitiu perceber a ocorrência deste tipo de fenómenos

desde a segunda metade do século XIX, bem como a sua expressão espacial, com base na identificação de notícias em meios de comunicação nacionais e regionais.

A análise efetuada pelos autores detetou, no caso dos deslizamentos, uma maior frequência destes fenómenos desde meados da década de 1930 até ao final dos anos 70 do século XX, e novo aumento da sua frequência desde os anos 90 do mesmo século até 2010 (fig. 11).

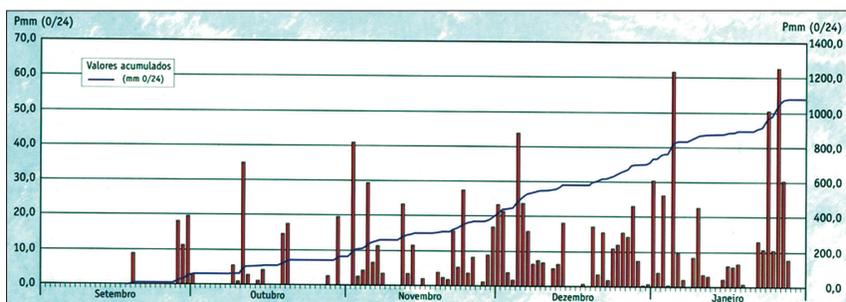


**Fig. 11** - Distribuição temporal de inundações e movimentos em massa ocorridas em Portugal no período 1865-2010 (Fonte: extraído de Zêzere *et al.*, 2014).

**Fig. 11** - Temporal distribution of disastrous floods and landslides occurring in Portugal in the period 1865-2010 (Source: extracted from Zêzere *et al.*, 2014).

Alguns exemplos poderão, no âmbito deste trabalho, elucidar acerca da ocorrência de alguns destes movimentos em massa, nomeadamente no noroeste de Portugal.

O Inverno de 2000/2001 foi profícuo em movimentos em massa, especialmente no norte e centro de Portugal (Bateira e Abreu, 2003; Cunha e Dimuccio, 2002; Ganho, 2002; Lemos *et al.*, 2001; Pedrosa *et al.*, 2001; Vieira, 2008). Com efeito, os elevados quantitativos de precipitação ocorridos no final de 2000 e início de 2001 (fig. 12) conduziram ao aumento do volume de água em muitas vertentes, frequentemente em situação de desequilíbrio por ação antrópica, contribuindo para o desencadeamento de inúmeros movimentos em massa. O resultado mais frequente foi a obstrução de estradas, vias férreas ou outras infraestruturas e destruição de socacos e terrenos agrícolas. Porém, nalgumas situações, para além de perdas económicas, registaram-se infelizmente perdas humanas.



**Fig. 12** - Pluviosidade registada em Coimbra, de setembro de 2000 a janeiro de 2001  
(Fonte: Lemos *et al.*, 2001).

**Fig. 12** - Rainfall recorded in Coimbra, from September 2000 to January 2001  
(Source: Lemos *et al.*, 2001).

O movimento de Frades, em Arcos de Valdevez, ocorrido a 7 de Dezembro de 2000, destruiu várias habitações e provocou 4 mortes. A análise deste movimento em massa, realizada por Pedrosa *et al.* (2001), concluiu ter-se tratado de um deslizamento rotacional, na sua fase inicial, transformando-se de seguida num fluxo de detritos (fot. 7).

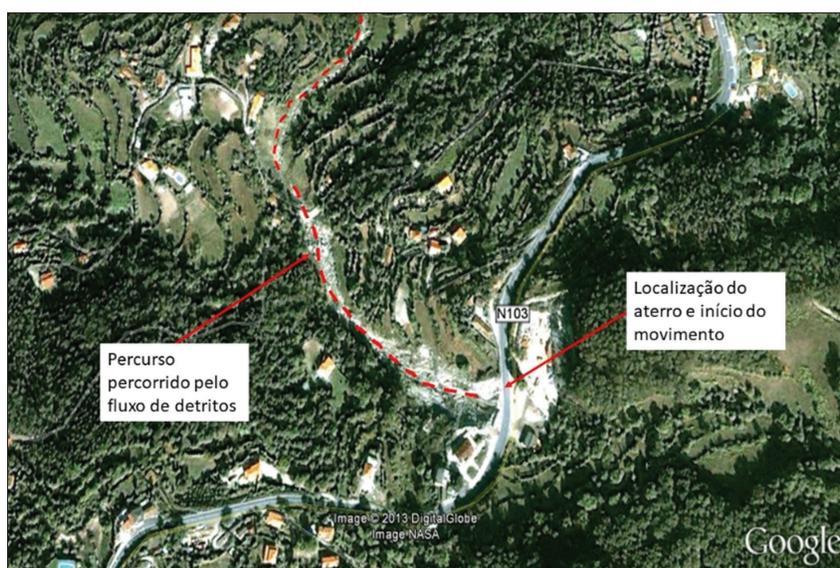


**Fot. 7** - Movimento em massa de Frades  
(Fotografia de António Bento-Gonçalves, 2000).

**Photo 7** - Mass movement at Frades  
Photography by António Bento-Gonçalves, 2000).

Na gênese do movimento, para além dos elevados quantitativos pluviométricos, encontram-se fatores geológico-estruturais (a rutura inicial ocorreu num ponto de contato entre dois tipos de granitos, contato esse que parece fazer-se por falha, o que terá facilitado a infiltração da água) e geomorfológicos (declive da vertente de cerca de 30°/35°, existência de formações superficiais, nomeadamente mantos de alteração do granito).

Outro movimento em massa ocorrido no noroeste de Portugal e que provocou uma fatalidade foi o movimento de Ventosa, em Vieira do Minho. A particularidade deste movimento decorre do fato de ter afetado uma vertente de declive acentuado, onde tinha sido efetuado um aterro, construído junto à estrada. De fato, o material movimentado, muito heterométrico, correspondeu ao utilizado para construir o aterro, que colmatou um valeiro e intercetou a própria drenagem da estrada, impedindo a normal circulação hídrica e levando à saturação dos materiais do aterro. Este fato terá sido preponderante no desencadeamento do fluxo de detritos. Deste resultou a morte de uma pessoa, que estava no momento da catástrofe a operar uma máquina retroescavadora no aterro, também ela arrastada e destruída, bem como outras infraestruturas existentes ao longo do valeiro percorrido pelo material, numa extensão de cerca de 5 km (fig. 13 e fot. 8).



**Fig. 13** - Localização do fluxo de Ventosa (Fonte: Google Earth, 2013).

*Fig. 13* - Location of Ventosa flow (Source: Google Earth, 2013).



**Fot. 8** - Percurso percorrido pelo fluxo de detritos e local do aterro, no topo (Fotografia de António Bento-Gonçalves, 2000).

**Photo 8** - *Track of the debris flow and location of the landfill, at the top* (Photography by António Bento-Gonçalves, 2000).

No dia 3 de abril de 2013, na localidade de Mesão Frio, em Guimarães, ocorreu outro fenómeno de características idênticas (Bento-Gonçalves *et al.*, 2014). Um movimento em massa afetou a variante que liga Guimarães a Fafe (pela qual passam diariamente cerca de 20 mil viaturas), resultando no seu encerramento por um período de cerca de duas semanas. Este condicionamento viário estendeu-se parcialmente por mais duas semanas, com circulação apenas numa das vias, de modo a permitir a conclusão dos trabalhos.

O movimento em massa ocorreu numa vertente parcialmente artificializada, resultante da criação de um aterro para construção de moradias, e que implicou a canalização de uma pequena e efémera linha de água, numa área declivosa, e com áreas agrícolas a montante.

O movimento, que terá tido no início uma componente de deslizamento rotacional, transformou-se num fluxo de detritos, uma vez que o aterro ali construído, apesar de uma importante componente de solo, era constituído por uma componente bastante significativa de blocos muito heterométricos. Esta massa estendeu-se

pela vertente, desde a cicatriz do deslizamento (onde se localizam as moradias afetadas, como se pode observar na fot. 9, à esquerda), ao longo de mais de 100 metros. A acumulação da massa de detritos deslocada obstruiu completamente a via de circulação, ocupando uma área de cerca de 50 metros, com cerca de 6 metros de altura, correspondendo a aproximadamente 8 mil m<sup>3</sup> de material.

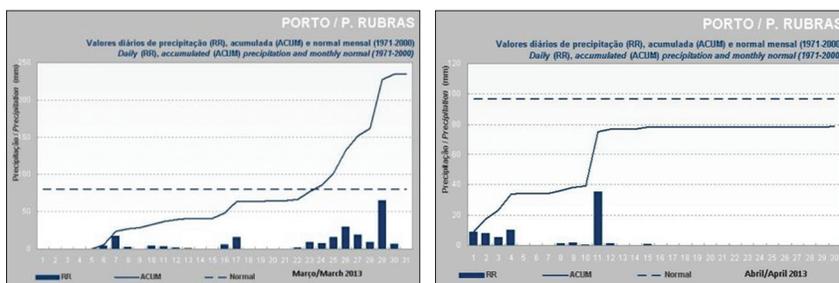


**Fot. 9** - Área afetada pelo fluxo de detritos de Mesão Frio (Fotografia de António Vieira, 2013).  
*Photo 9* - Area affected by the debris flow of at Mesão Frio (Photography by António Vieira, 2013).

Um dos fatores responsáveis pela ocorrência deste movimento relaciona-se com a abundante precipitação, verificada nomeadamente no mês de Março. Efetivamente, foi classificado como mês muito chuvoso a extremamente chuvoso, segundo o IPMA, no seu Boletim Climatológico Mensal.

Com efeito, os dias que antecederam o desencadeamento desta crise, verificaram acréscimos consideráveis na precipitação, tendo-se registado valores acima da média estimada para a época.

Quando se observa a precipitação diária, verifica-se que, entre o dia 22 de março e a data do evento (3 de abril), apenas no dia 31 de março não ocorreu precipitação, tendo a precipitação acumulada franqueado o valor da normal mensal (1971-2000), logo no dia 24 de março (figs. 14 e 15).



**Fig. 14 e 15** - Valores diários de precipitação (RR), acumulada (ACUM) e normal mensal (1971 - 2000) para a Estação Meteorológica de Porto/Pedras Rubras nos meses de março e abril de 2013 (Fonte: IPMA).

*Fig. 14 e 15 - Daily values of rainfall amounts (RR), cumulative (ACUM) and monthly normal (1971-2000) for the meteorological station of Porto/Pedras Rubras meteorological station for the months of March and April of 2013 (Source: IPMA).*

No referido período de 13 dias, o valor máximo da precipitação diária ocorreu no dia 29 de março, com cerca de 70 mm, dia que mais contribui para os quase 240 mm de precipitação verificados em março de 2013, muito superior aos cerca de 85 mm, ou seja, ao valor médio mensal do mesmo mês, no período de 1971 a 2000.

Outro fator determinante para a ocorrência deste evento relaciona-se com a construção do aterro e das 10 moradias sobre o mesmo (terminadas em 2007).

Estas foram parcialmente construídas sobre um aterro, tendo a parte mais afetada sido a zona das garagens, e, segundo Tiago Miranda (professor de Engenharia Civil da Universidade do Minho), se as suas fundações fossem diretas em vez de estacas, com este desabamento de terras as casas teriam ruído (fot. 10).

Segundo noticiou o meio de comunicação “Guimarães Digital”, a equipa responsável pelo Relatório Final da “Comissão de Avaliação do escorregamento de talude na variante Guimarães – Fafe”, considera que as causas prováveis do sucedido se relacionam com a existência de uma linha de água, identificada inclusivamente na folha da carta militar de Portugal, mas não constante no projeto de construção, nem tida em conta na execução da obra.

Ainda segundo o “Guimarães Digital”, no mesmo relatório é apontada “a deficiente execução do aterro, decorrente da ausência de projeto geotécnico e da utilização de materiais inadequados para a sua execução”.



**Fot. 10** - Vista da área superior do fluxo de Mesão Frio  
(Fonte: Câmara Municipal de Guimarães, 2013).

**Photo 10** - View of the upper area of the flow at Mesão Frio  
(Source: Municipality of Guimarães, 2013).

Efetivamente, constata-se pelos exemplos de movimentos em massa aqui referidos, que o envolvimento do Homem como agente ativo nestes processos geomorfológicos tem vindo a tornar-se cada vez mais significativo, contribuindo frequentemente para a criação de condições de instabilidade nas vertentes, por um lado, e aumentando a sua própria vulnerabilidade a estes fenómenos.

## Conclusão

A dinâmica geomorfológica promove, de forma constante, modificações na superfície terrestre, ora lentas e quase impercetíveis, ora mais rápidas e com grande poder destruidor, podendo trazer implicações significativas, nalgumas situações, para as infraestruturas e atividades antrópicas. Estas situações, deter-

minantes da identificação dos designados riscos geomorfológicos, potenciam frequentemente a ocorrência de catástrofes, com impactes severos para o Homem.

Ainda que possam ser percecionados como de menor importância, quando comparados com outros fenómenos naturais bastante destrutivos (por exemplo sismos, tsunamis ou furacões), os seus efeitos podem ser igualmente destruidores, como pudemos exemplificar neste texto, e ter um impacte extremamente desregulador das atividades humanas.

No entanto, e ainda que sejam considerados riscos eminentemente naturais, o Homem é, também ele, um fator interveniente nestes processos, frequentemente pelo papel no seu desencadeamento ou na instabilização das vertentes.

Consequentemente, torna-se fundamental o conhecimento aprofundado destes fenómenos naturais, dos diversos fatores intervenientes na sua ocorrência e dos seus impactes sobre as sociedades, sendo de especial importância a compreensão da interação entre processos naturais e antrópicos.

Este trabalho pretendeu, assim, apresentar apenas uma síntese e sistematização dos conhecimentos fundamentais sobre os riscos geomorfológicos, pretendendo ser uma base de apoio para estudos mais aprofundados e inovadores.

## Bibliografia

- Araújo, G. H., Almeida, J. R., e Guerra, A. J. (2005). *Gestão Ambiental de Áreas Degradadas*. Rio de Janeiro, Brasil: Bertrand Brasil LTDA.
- Augusto Filho, O. (1992). Caracterização geológico-geotécnica voltada a estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: *Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas*, 1, 1992, Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro: ABMS-ABGE, 721 – 733.
- Bateira, C., Abreu, J. (2003). Os problemas da cartografia dos riscos naturais. Contributos para a definição da susceptibilidade geomorfológica a partir da observação de vários movimentos de vertente ocorridos no Norte de Portugal. *Territorium*, 10, 69-88. Disponível em: <https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/3467/2704>
- Benavides-Solorio, J. de, MacDonald, L. H. (2005). Measurement and prediction of post-fire erosion at the hillslope scale, Colorado Front Range. *International Journal of Wildland Fire*, 14, 457-474.
- Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Coelho, C., & Ferreira, A. (2008). Caracterização geomorfológica e implementação de um sistema integrado de informação, em ambiente SIG, no âmbito do projecto RECOVER (estratégias de remediação de solos imediatamente após incêndios florestais). *Revista Geografia Ensino & Pesquisa*, 12(1), 3721–3735.

- Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Costa, F., Lourenço, L., Leite, F., Marçal, V. (2014). *Manifestações de Riscos no Noroeste de Portugal - Livro-Guia da Viagem de Estudo do III Congresso Internacional de Riscos. Riscos*. Guimarães.
- Bergsma, E., Charman, P., Gibbons, F., Hurni, H., Moldenhauer, W., Panichapong, S. (1996). *Terminology For Soil Erosion and Conservation*. International Society of Soil Science/International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences/International Soil Reference and Information Centre, Enschede.
- Bertolini, W. Z. (2010). *O Ensino do Relevô: Noções e Propostas Para uma Didática da Geomorfologia*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia, Belo Horizonte.
- Bigarella, J. J., Mazuchowski, J. Z. (1985). Visão integrada da problemática da erosão. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Maringá. Livro Guia. Maringá: ABGE. 332 p.
- Boardman, J., & Poesen, J. (2006). *Soil Erosion in Europe: Major Processes, Causes and Consequences*. In J. Boardman, P. Jean, & J. P. J. Boardman (Ed.), *Soil Erosion in Europe*. Chichester, Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd.
- Burch, G. J., Moore, I. D., Burns, J. (1989). Soil hydrophobic effects on infiltration and catchment runoff. *Hydrological Processes*, 3, 211-222.
- Cerdà, A., Lasanta, T. (2005). Long-term erosional responses after fire in the Central Spanish Pyrenees. 1. Water and sediment yield. *Catena*, 60, 59-80.
- Cerdà, A., Doerr, SH (2005) The influence of vegetation recovery on soil hydrology and erodibility following fire: an eleven-year research. *International Journal of Wildland Fire* (this issue)
- Coelho, C. O. A., Shakesby, R. A., Walsh, R. P. D. (1995). Effects of forest fires and post-fire land management practice on soil erosion and stream dynamics, Águeda basin, Portugal. *Soil and groundwater research report V*; European Commission, 91 p.
- Coelho, C. O. A., Ferreira, A. J. D., Boulet, A. K., Keizer, J. J. (2004). Overland flow generation processes, erosion yields and solute loss following different intensity fires. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 37, 3, 233-240.
- Cooke, R. U., & Doornkamp, J. C. (1990). *Geomorphology in environmental management: A new introduction*. Oxford: Clarendon Pr.
- Cordeiro, A. M. Rochete (2004). *Dinâmica de vertentes em montanhas ocidentais do Portugal Central*. Coimbra.
- Cortez, N. (1987). *Erosão hídrica dos solos: a equação universal de perda de solo e outros modelos de previsão*. Universidade Técnica de Lisboa.
- Costa, F. L. (2002). *Evolução Geomorfológica Quaternária e Dinâmica Actual na Bacia da Ribeira Seca (Santiago Oriental - Cabo Verde)*. Dissertação, Ministério da Ciência e da Tecnologia, Instituto de Investigação Científica Tropical, Lisboa.
- Crozier, M. J. (2004). Landslides, In A. Goudie (Ed.), *Encyclopedia of Geomorphology*, Routledge, 605-608.
- Cruden, D, e Varnes, D. (1996). *Landslide types and processes. Special report 247: Landslides: Investigation and Mitigation* (Eds: Turner, A. & Schuster, R.), Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington, D. C., 36-75.
- Cunha, L., Dimuccio, L. (2002). Considerações sobre riscos naturais num espaço de transição. Exercícios cartográficos numa área a sul de Coimbra. *Territorium*, 9, 37-51. Disponível em: <https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/3492/2727>
- DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1989). *Controle de erosão; bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planeamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas*. São Paulo: DAEE/IPT, 92 p.

- Dikau, R. (2004). Mass movement. In: Goudie, A. S. (Ed.). *Encyclopedia of Geomorphology*. London: International Association of Geomorphologists/ London & New York: Routledge, 644-652.
- Dikau, R., Brunsden, D., Schrott, L., e Ibsen, M.-L. (1996). *Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes*. (R. Dikau, D. Brunsden, L. Schrott, & M.-L. Ibsen, Edits.) John Wiley & Sons Ltd.
- Doerr, S. H., Shakesby, R. A., Walsh, R. P. D. (1996). Soil hydrophobicity variations with depth and particle size fraction in burned and unburnt Eucalyptus globulus and Pinus pinaster forest terrain in the Águeda basin, Portugal. *Catena*, 27, 25-47.
- EI-Swaify, S. A., Dangler, E. W., e Armstrong, C. L. (1982). *Soil Erosion by Water in the Tropics*. Hawaii.
- FAO - FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION (1967). *La erosión del suelo por el agua; algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo*. Roma: FAO. 204 p. (FAO. Colección FAO: Fomento de Tierras Y Aguas, 7).
- Flageollet, J. C., e Weber, D. (1996). Fall. In R. Dikau, D. Brunsden, L. Schrott, & M.-L. Ibsen, *Landslide Recognition: Identification, Movement and Cause*, 13-28. Chichester: John Wiley e Sons.
- Foster, G. R., e Meyer, L. D. (1977). Soil erosion and sedimentation by water – an overview. In: *Proceeding of the National Symposium on Soil Erosion and Sedimentation by Water*. Illinois. ASAE, St. Joseph, 1-13.
- Foster, G. R., Young, R. A., Romkens, M. J. M. e Onstad, C. A. (1985). Process of soil erosion by water. In: Follet, R. F., Stewart, B. A. (eds). Soil erosion and crop productivity. Wiscosin: American Society of Agronomy. *Crop Science Society of America. Soil Science Society of America*, 137-162.
- Ganho, N. (2002). O «paroxismo» pluviométrico de 2000/2001 em Coimbra. Umas notas a montante dos riscos naturais e da crise. *Territorium*, 9, 5-11. Disponível em: <https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/3490/2725>
- Gerrard, J. A. (1981). *Soils and Landforms*. London: George Allen & Unwin.
- Giani, G. P. (1992). *Rock Slope Stability Analysis*. A. A. Balkema Publishers, Rotterdam, Netherlands.
- Goudie, A., e Viles, H. (1997). *The Earth Transformed: An introduction Human Impacts on the Environment*. Oxford: Blackwell Publishers, 276 p.
- Govers, G. (2004). Sheet erosion, sheet flow, sheet wash, In A. Goudie (Ed.), *Encyclopedia of Geomorphology*, Routledge, 947-949.
- Guerra, A. J. T. (1996). Processos Erosivos nas Encostas. In: Cunha, S.B., e Guerra, A.J.T. *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 139-155.
- Guerra, A. J. T. (1998). Processos erosivos nas encostas. In: Guerra, A. J. T. e Cunha, S. B. (eds). *Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 140-209.
- Guerra, A. J. T. (2007). Processos erosivos nas encostas. In: Guerra, A. J. T., Cunha, S. B. (Orgs.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. Cap. 3, 149-209.
- Guerra, A. J. T. (2016). *Erosão dos Solos e Movimentos de Massa*. Curitiba, Brasil: Editora CRV.
- Guidicini, G., e Nieble, C. M. (1976). *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*. Editora Edgard Bluecher Ltda., São Paulo, 170 p.
- Hansen, M. J. (1984). Strategies for classification of landslides. In: Brunsden, D., Prior, D. (Org.). *Slope instability*. Salisbury: John Wiley & Sons. P., 1-25.
- Hart, M. G. (1986). *Geomorphology: pure and applied*. Londre: Allen and Unwin Publishers. 228 p.
- Henensal, P. (1986). *L'erosion externe des sols par l'eau Approche quantitative et mecanismes*. Ministère de L'Urbanisme, du Logement et des Transports, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris.
- Highland, L.M., and Bobrowsky, Peter (2008). The landslide handbook—A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. *Geological Survey Circular 1325*, 129 p.

- Hoek, E. e Bray, J. W. (1981). *Rock Slope Engineering*. 3<sup>rd</sup> ed. IMM, London.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and drainage basins: hydrophysical approach to quantitative geomorphology. *Bulletin of Geological Society of America*, 56:275-370.
- Hutchinson, J. N. (1968). Mass movement. In: *Encyclopedia of Geomorphology*. Ed. Fairbridge, R. W. (2ed.). Reinhold Book Co. New York.
- Hutchinson, J. N. (1988). Mass Movement. In Fairbridge, R. W. (Ed), *Encyclopedia of Geomorphology*, Reinhold, New, 688-695.
- Imeson, A. C., Verstraten, J. M., Van Mullingen, E. J., Sevink, J. (1992). The effects of fire and water repellency on infiltration and runoff under Mediterranean type forests. *Catena* 19, 345-361.
- Inbar, M., Tamir, M., Wittenberg, L. (1998). Runoff and erosion processes after a forest fire in Mount Carmel, a Mediterranean. *Geomorphology*, 24, 17-33
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1986). *Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe/Parapananema*. São Paulo: IPT/DAEE. 6v. (IPT, Relatório 24 739). 1986.
- Laflen, J. e Flanagan D. (2013). The development of U. S. soil erosion prediction and modeling. *International Soil and Water Conservation Research*, Vol. 1, nº 2, 1-11.
- Lemos, L., Lourenço, L., Gonçalves, C. (2001). Movimentos em massa. Exemplos no Centro de Portugal. *Revista Técnica e Formativa, ENB*. Ano 5, 18, 17-41.
- Loureiro, H. A. S. (2013). *Monitoramento e diagnóstico de áreas degradadas na bacia hidrográfica do rio São Pedro (RJ): estudos experimentais em voçoroca e utilização de geotexteis de fibra de bananeira*. 2013. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Lourenço, L. (2004). Efeitos da erosão acelerada em vertentes na sequência de incêndios florestais. In Luciano Lourenço. Riscos naturais e proteção do ambiente. *Colectâneas Cindinicas I*. Coimbra: FLUC, NICIF. 87-106.
- Matos, Lina Manuela (2008). *Estabilidade de Taludes em Rochas Silto-argilosas. Técnicas de Remediação para Roturas Superficiais*. Dissertação de mestrado apresentado à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Lisboa.
- Morgan, R. P. C. (1995). *Soil Erosion and Conservation*. 2<sup>nd</sup> edition. England: Longman Publishing Group.
- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil Erosion and Conservation*. 3<sup>rd</sup> edition. England: Blackwell Publishing.
- Nearing, M., Xie, Y., Liu, B., Ye, Y. (2017). Natural and anthropogenic rates of soil erosion. *International Soil and Water Conservation Research*, 5, 2, 77-84.
- Oliveira, A. M. S. (1994). *Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios. Exemplo do reservatório de Capiuvá, Rio Parapananema, SP/PR. São Paulo*. Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Geografia – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas/USP), 211 p.
- Pedrosa, A., Lourenço, L., Felgueiras, J. (2001). Movimentos em massa. Exemplos ocorridos no Norte de Portugal. *Revista Técnica e Formativa, ENB*. Ano 5, 17, 25-39.
- Pierson, L.A., e Van Vickle, R. (1993). Rockfall Hazard Rating System. *Transportation Research Record N° 1343*, National Research Board, Washington, D.C., p 6-19.
- Pimentel, David (Ed.)(1993). *World soil erosion and conservation*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Rebelo, F. (1982). Considerações metodológica sobre o estudo dos ravinamentos. Lisboa, *Comunicações do II Colóquio Iberico de Geografia*, 339-350.
- Rebelo, F. (2003). *Riscos naturais e acção antrópica*. Coimbra, Imprensa da Universidade. 2ª edição.

- Reiffsteck, P., Robinet, A. (2004). *Géosynthétiques et érosion de surface*. 5es Rencontres Géosynthétiques Francophones.
- Rocha, E. A. (2007). *Avaliação do processo evolutivo e da dinâmica erosiva: um estudo de caso no Município de Ipameri-GO*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Uberlândia, Departamento de Geografia, Uberlândia.
- Rodrigues, J. E. (1982). *Estudo de fenômenos erosivos acelerados: boçorocas*. São Carlos. Tese de Doutorado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 162p.
- Rodrigues, M. L. (1998). *Evolução geomorfológica quaternária e dinâmica actual. Aplicações ao ordenamento do território – exemplos no Maciço Calcário Estremenho*. Universidade de Lisboa.
- Roxo, M. J. (1994). *A acção antrópica no processo de degradação dos solos. A serra de Serpa e Mértola*. Tese Doutoramento, FCHS-UNL.
- Scott, D. F., Schulze, R. E. (1992). The hydrological effects of a wildfire in a eucalypt afforested catchment. *S.A. Forestry Journal*, 160, 67-74.
- Selby, M. J. (1993). *Hillslope Materials and Process*. Oxford University Press, Oxford, Inglaterra, 2ª edição, 451 p.
- Sevink, J., Imeson, A. C., Verstraten, J. M. (1989). Humus form development and hillslope runoff, and the effects of fire and management, under Mediterranean forest in NE Spain. *Catena*, 16, 461-475.
- Shakesby, R. A., Coelho, C. O. A., Ferreira, A. J. D., Terry, J. P., Walsh, R. P. D. (1993). Wildfire impacts on soil erosion and hydrology in wet Mediterranean forest, Portugal. *International Journal of Wildland Fire*, 3, 95-110.
- Sharpe, C. F. S. (1938). *Landslides and related phenomena*. Colombia University Press, New York, N. Y.
- Silva, J. R. C., Carvalho, R. J. T. (2002). Métodos de determinação do salpico e influência da cobertura do solo em condições de chuva natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 26: 473-481.
- Soil Science Society of America. (2008). *Glossary of Soil Science Terms*. Soil Science Society of America, Madison, WI, <http://www.soils.org/sssagloss/>. (Acedido em Junho, 2016).
- UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (1994). *Guidelines for Sediment Control Practices in the Insular Caribbean*. United Nations Environment Programme Caribbean Environment Programme, Kingston, Jamaica.
- USGS (2004). *Landslide types and processes*. Fact sheet 2004-3072.
- Van Beek, R., Cammeraat, E., Andreu, V., Mickovski, S. e Dorren, L. (2008). Hillslope Processes: Mass Wasting, Slope Stability and Erosion. In J. Norris, A. Stokes, S. Mickovski, E. Cammeraat, R. Van Beek, B. Nicoll, et al., *Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions* (17-64). Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Varnes, D. J. (1978). Slope Movement Types and Processes. In: Landslides - Analysis and Control, Schuster, R.L. & Krizek, R.J. (eds). Transportation Research Board Special Report 176. NAS Washington DC: 11-28.
- Vásquez-Méndez, R., Ventura-Ramos, E., Oleschko, K., Hernández-Sandoval, L. e Domínguez-Cortázar, M. A. (2011). Soil Erosion Processes in Semiarid Areas: The Importance of Native Vegetation. In D. Godone, & S. Stanchi, *Soil Erosion Studies*. Rijeka: In Tech.
- Vieira, A. (2008). *Serra de Montemuro: dinâmicas geomorfológicas, evolução da paisagem e património natural*. Coimbra.
- Vieira, A. e Bento-Gonçalves, A. (2015). Investigação sobre erosão e degradação dos solos afetados por incêndios florestais. In A. Vieira & F. Costa (Eds.), *II Simpósio de pesquisa em Geografia* (33-49). Guimarães: DGeo-UM – Departamento de Geografia da Universidade do Minho.

- Vieira, A. e Bento-Gonçalves, A. (2016). Metodologias para o estudo da erosão e degradação dos solos e sua mitigação, em áreas afetadas por incêndios florestais em Portugal. Reflexões sobre a geografia física e o ambiente num mundo em conflito, *Actas do Encontro Luso-Afro-Americano de Geografia Física e Ambiente*, Universidade Pedagógica de Moçambique.
- Wischmeier, W. H. (1962). Storms and Soil Conservation. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, v.17, n.º 2, 55-59.
- Wischmeier, W. H. e Smith, D. D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses. *Agriculture Handbook no. 282*. United States Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Young, A. (1972). *Slopes*. London: Longman.
- Zachar, D. (1982). *Soil Erosion*. (M. Cowan, Ed.) Bratislava, Czechoslovakia: VEDA, Publishing House of the Slovak Academy of Sciences.
- Zêzere, J. L. (1997). *Movimentos de Vertente e Perigosidade Geomorfológica na Região a Norte de Lisboa*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física, apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa; Lisboa, 575 p.
- Zêzere, J. L. (2005). *Dinâmica de vertentes e riscos geomorfológicos*. Programa. CEG; Lisboa.
- Zêzere, J. L., Pereira, S., Tavares, A. O., Bateira, C., Trigo, R. M., Quaresma, I., Santos, P. P., Santos, M., Verde, J. (2014). *DISASTER: a GIS database on hydro-geomorphologic disasters in Portugal*. *Natural Hazards*, 72 (2): 503-532. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-013-1018-y>

(Página deixada propositadamente em branco)