

CATÁSTROFES MISTAS

UMA PERSPETIVA AMBIENTAL

IMPRESA DA
UNIVERSIDADE
DE COIMBRA
COIMBRA
UNIVERSITY
PRESS

LUCIANO LOURENÇO
ADÉLIA NUNES
(COORDS.)

RISCOS
E C A T Á S T R O F E S

I
IMPRESA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA
COIMBRA UNIVERSITY PRESS
U

ESTRUTURAS EDITORIAIS

Série Riscos e Catástrofes
Estudos Cindínicos

DIRETOR PRINCIPAL | MAIN EDITOR

Luciano Lourenço
Universidade de Coimbra

DIRETORES ADJUNTOS | ASSISTANT EDITORS

Adélia Nunes, Fátima Velez de Castro
Universidade de Coimbra

ASSISTENTE EDITORIAL | EDITORIAL ASSISTANT

Fernando Félix
Universidade de Coimbra

COMISSÃO CIENTÍFICA | EDITORIAL BOARD

Ana C. Meira Castro
Instituto Superior de Engenharia do Porto

António Betâmio de Almeida
Instituto Superior Técnico, Lisboa

António Duarte Amaro
Escola Superior de Saúde do Alcoitão

António Manuel Saraiva Lopes
Universidade de Lisboa

António Vieira
Universidade do Minho

Cármem Ferreira
Universidade do Porto

Helena Fernandez
Universidade do Algarve

Humberto Varum
Universidade de Aveiro

José Simão Antunes do Carmo
Universidade de Coimbra

Margarida Horta Antunes
Instituto Politécnico de Castelo Branco

Margarida Queirós
Universidade de Lisboa

Maria José Roxo
Universidade Nova de Lisboa

Romero Bandeira
Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, Porto

Tomás de Figueiredo
Instituto Politécnico de Bragança

Antenora Maria da Mata Siqueira
Univ. Federal Fluminense, Brasil

Carla Juscélia Oliveira Souza
Univ. de São João del Rei, Brasil

Esteban Castro
Univ. de Newcastle, Reino Unido

José António Vega
Centro de Investigación Forestal de Lourizán, Espanha

José Arnaez Vadillo
Univ.de La Rioja, Espanha

Lidia Esther Romero Martín
Univ. Las Palmas de Gran Canaria, Espanha

Miguel Castillo Soto
Universidade do Chile

Montserrat Díaz-Raviña
Inst. Inv. Agrobiológicas de Galicia, Espanha

Norma Valencio
Univ. Federal de São Carlos, Brasil

Ricardo Alvarez
Univ. Atlântica, Florida, Estados Unidos da América

Victor Quintanilla
Univ. de Santiago de Chile, Chile

Virginia Araceli García Acosta
CIESAS, México

Xavier Ubeda Cartaña
Univ. de Barcelona, Espanha

Yvette Veyret
Univ. de Paris X, França

CATÁSTROFES MISTAS

UMA PERSPETIVA AMBIENTAL

IMPrensa DA
UNIVERSIDADE
DE COIMBRA
COIMBRA
UNIVERSITY
PRESS

LUCIANO LOURENÇO
ADÉLIA NUNES
(COORDS.)

EDIÇÃO

Imprensa da Universidade de Coimbra
Email: imprensa@uc.pt
URL: http://www.uc.pt/imprensa_uc
Vendas online: <http://livrariadaimprensa.uc.pt>

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Imprensa da Universidade de Coimbra

CONCEÇÃO GRÁFICA

Imprensa da Universidade de Coimbra

PRÉ-IMPRESSÃO

Fernando Felix

INFOGRAFIA DA CAPA

Mickael Silva

PRINT BY

KDP

ISBN

978-989-26-1902-6

ISBN DIGITAL

978-989-26-1901-9

DOI

<https://doi.org/10.14195/978-989-26-1901-9>

RISCOS - ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE RISCOS, PREVENÇÃO E SEGURANÇA

TEL.: +351 239 992 251; FAX: +351 239 836 733

E-MAIL: RISCOS@UC.PT

© DEZEMBRO 2019, IMPRENSA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

CATÁSTROFES MISTAS

Catástrofes mistas : uma perspetiva ambiental / coord. Luciano Lourenço, Adélia Nunes. – (Riscos e catástrofes)

ISBN 978-989-26-1902-6 (ed. impressa)

ISBN 978-989-26-1901-9 (ed. eletrónica)

I – LOURENÇO, Luciano, 1951-

II – NUNES, Adélia, 1971-

CDU 551

SUMÁRIO

PREFÁCIO	7
INTRODUÇÃO	11
RISCOS MISTOS DE COMPONENTE ATMOSFÉRICA.....	17
Riscos atmosféricos mistos	
Ana Monteiro e Helena Madureira	19
RISCOS MISTOS DE COMPONENTE GEODINÂMICA	39
Risco de sismicidade induzida	
Bruno M. Martins	41
Risco de erosão hídrica do solo	
Adélia Nunes	51
Risco de erosão fluvial	
Adélia Nunes	77
Risco de erosão costeira	
António Campar de Almeida.....	109
Risco de erosão eólica	
António Campar de Almeida.....	155
Risco de erosão química	
António Campar de Almeida.....	195
Desertificação	
Maria José Roxo e Carlos Russo Machado	211
Riscos de salinização do solo	
Maria da Conceição Gonçalves, José Casimiro Martins e Tiago Brito Ramos	241
Riscos relacionados com intrusão salina	
Bruno M. Martins	269
Riscos de poluição	
Cármén Ferreira.....	279
Riesgos de incendio forestal	
Miguel E. Castillo Soto.....	313
CONCLUSÃO	361

(Página deixada propositadamente em branco)

PREFÁCIO

O terceiro dos volumes dedicados às Catástrofes trata daquelas que tanto podem ter uma origem natural, como podem ser provocadas pelo ser humano, razão pela qual as designamos por catástrofes mistas. Porque a maioria delas produz efeitos notórios sobre o ambiente, por vezes também são referidas como catástrofes ambientais, embora, neste caso, não seja tida em conta a sua origem, ou seja, as causas que as determinaram, mas sim as suas consequências, o que corresponde a um critério diferente daquele que esteve subjacente à divisão que usámos para organizar os três últimos volumes da Série.

Mas, porque muitas das consequências das catástrofes mistas se refletem exatamente sobre o ambiente, torna-se difícil traduzir esses efeitos em perdas de seres humanos, como fizemos nos dois volumes anteriores, já que mesmo quando elas existem, raramente ocorrem em simultâneo e, por conseguinte, não se tornam tão visíveis como sucede nas catástrofes naturais e antrópicas, em que o número de mortos provocados por um único acontecimento pode ser muito elevado.

Todavia e embora sendo mais raro, as catástrofes mistas também podem provocar muitas mortes, sendo suficiente estar atento às notícias para, de quando em vez, tomar conhecimento de algumas dessas consequências, traduzidas em número de mortes.

Apenas a título de exemplo, referimos duas notícias sobre os efeitos da poluição. Uma delas da autoria de Amber Milne, da *Thomson Reuters Foundation*, publicada no jornal O Globo, de 12 de março de 2019, intitulada: *Poluição mata mais do que cigarro, revela estudo internacional*, dava conta de que “cientistas constataam que 8,8 milhões de pessoas morreram em apenas um ano, mais do que as 7 milhões de vítimas anuais do tabagismo” (<https://oglobo.globo.com/sociedade/saude/poluicao-mata-mais-do-que-cigarro-revela-estudo-internacional-23515245>).

Uma outra notícia, publicada no Público de 4 de abril de 2019, da autoria de Sofia Neves, intitulada *Só em 2017 morreram 3540 pessoas devido à poluição atmosférica em Portugal*, dava conta de que “a poluição do ar foi o quinto principal causador de mortes prematuras em todo o mundo: 4,9 milhões. Em Portugal, o problema

matou pelo menos 3540 pessoas. Os países em desenvolvimento são os mais afectados, mas os casos mais graves continuam a ser a China e a Índia” (<https://www.publico.pt/2019/04/04/ciencia/noticia/quase-dez-mortes-2017-causados-poluicao-atmosferica-1867924>).

E porque, na altura em que estou a redigir este prefácio, as notícias são sobre os grandes incêndios florestais que, de novo, voltaram ao Centro de Portugal, não posso deixar de referir o trabalho da Agência Lusa, publicado no Observador de 18 de junho de 2017, na sequência do incêndio florestal de Pedrógão Grande, registado no dia anterior e de triste memória, com o título: *Os incêndios que mais mataram no mundo*, dando conta de que aquele que mais vítimas mortais causou ter-se-á sido registado em 1871, nos Estados Unidos. “*O incêndio florestal mais mortífero parece ter sido o de outubro desse ano, em Peshtigo (Wisconsin), que causou entre 800 e 1 200 mortos, segundo as estimativas. O incêndio, que tinha deflagrado na floresta há uns dias, destruiu em algumas horas a localidade de 1 700 habitantes, bem como outras 16 vilas, numa área de mais de 500 000 hectares*” (<https://observador.pt/2017/06/18/os-incendios-que-mais-mataram-no-mundo/>). Depois, seguia-se a lista com o número de vítimas mortais provocados por outros grandes incêndios.

Como é sabido, em Portugal o ano com maior número de mortos foi o de 2017, num total de 121, sobretudo vítimas dos incêndios de 17 de junho e 15 de outubro, como refere a Sábado, um ano depois, a 16 de junho de 2018, num texto da Lusa com o título “*Está ‘tudo’ por fazer para que Pedrógão não regresse ao pré-incêndios*”. Entre outros aspetos, menciona expressamente:

“O incêndio que deflagrou há um ano em Pedrógão Grande (distrito de Leiria), em 17 de Junho, e alastrou a concelhos vizinhos provocou 66 mortos e cerca de 250 feridos.

As chamas, extintas uma semana depois, destruíram meio milhar de casas, 261 das quais habitações permanentes, e 50 empresas.

Em Outubro, os incêndios rurais que atingiram a região Centro fizeram 50 mortes, a que se somam outras cinco registadas noutros fogos, elevando para 121 o número total de mortos em 2017” (<https://www.sabado.pt/portugal/detalhe/esta-tudo-por-fazer-para-que-pedrogao-nao-regresse-ao-pre-incendios>).

Com efeito, os grandes incêndios florestais são um bom exemplo de catástrofes de origem mista, não tanto, felizmente, pelo número de mortos, mas sobretudo

pela destruição de diversos tipos de bens e haveres, bem como de extensas áreas de património florestal e, ainda, pelas graves consequências socioeconómicas e ambientais que acarretam *a posteriori*.

De facto, muitas das catástrofes que serão abordadas neste volume, não se traduzem diretamente num elevado número de mortos, mas antes fazem sentir os seus efeitos sobre o ambiente e, deste modo, indiretamente, sobre a população que, por vezes, só mais tarde acaba por ser afetada.

Porventura, as catástrofes mistas que permitem uma quantificação mais direta do número de mortos resultam da plena manifestação dos riscos biomédicos, também designados por riscos do foro infecto-contagioso, em resultado da atuação de microrganismos e parasitas, que podem ser transmitidos por vectores biológicos (vírus e bactérias), por ingestão de água e alimentos, por contágio de sangue contaminado e secreções orgânicas, por inalação e, ainda, por mais de que um dos mecanismos anteriores. Todavia, a conclusão deste capítulo foi mais demorada do que o inicialmente previsto e, para não atrasar mais a publicação deste volume, por opção dos autores foi decido publicá-lo mais tarde, num outro tomo dedicado ao assunto.

Depois desta breve nota sobre algumas das consequências das catástrofes mistas, esperamos ter aguçado o apetite do leitor para não só se embrenhar nas páginas seguintes, onde estes temas serão tratados de forma mais profunda, mas também para se empenhar na investigação das catástrofes mistas, uma área científica que ainda carece de muita pesquisa.

Coimbra, 23 de julho de 2019

Luciano Lourenço

(Página deixada propositadamente em branco)

INTRODUÇÃO

Adélia Nunes

Departamento de Geografia e Turismo da Faculdade de Letras
CEGOT e RISCOS, Universidade de Coimbra, Portugal
ORCID: 0000-0003-3927-0748 adelia.nunes@ci.uc.pt

Os riscos mistos, de componente ambiental, associam-se a fenómeno potencialmente perigosos com causas combinadas, ou seja, para a sua manifestação concorrem condições naturais e/ou ações antrópicas. Resultam, assim, da combinação de ações continuadas da atividade humana com o funcionamento dos sistemas naturais, incluindo-se neste conjunto os incêndios florestais, a contaminação de cursos de água e aquíferos e a degradação e contaminação dos solos. Na terminologia sobre a Redução de Risco de Catástrofes do UNISDR emergem como riscos sicionatu-rais, pois estão associados à combinação de factores naturais e antropogénicos, enfatizando a degradação ambiental e as mudanças climáticas. Acrescentam, ainda, que podem ser riscos químicos, naturais e biológicos, e resultar da degradação ambiental ou da poluição física ou química do ar, da água e do solo. No entanto, muitos dos processos e fenómenos que se enquadram nesta categoria podem ser, também, considerados “*driving forces*” de outros riscos como a degradação do solo, a desfloresta-ção, a perda de biodiversidade, a salinização e o aumento do nível do mar.

Na obra que agora se apresenta analisam-se dois tipos principais de riscos: (i) os riscos mistos de componente atmosférica, quando, além do factor antrópico, se produzem no seio da atmosfera e os (ii) riscos mistos de componente geodinâmica, quando, além da ação antrópica, se relacionam com forças (geodinâmica interna) e processos (geodinâmica externa) que atuam sobre a Terra.

Nos riscos de componente atmosférica, no capítulo intitulado “*Riscos atmosfê-ricos mistos*”, as autoras, Ana Monteiro e Helena Madureira, pretendem identificar algumas das ameaças provenientes da atmosfera que podem causar, direta ou indiretamente, perdas e danos severos para os seres humanos, assim como a sua distribuição planetária. Entre a multiplicidade de riscos que podem ser identificados, abordaram três com grande relevância científica e mediatismo social, associados às alterações na composição química da atmosfera, e dois menos valorizados nos

planos de prevenção, como a queda de meteoritos e os resultantes das pesquisas espaciais. A redução de espessura da camada de ozono, o agravamento do efeito de estufa e a poluição da atmosfera por terem sido identificados como ameaças severas, tanto os estímulos como as consequências têm sido descritos e bastante divulgados na sociedade. Concluem, todavia, que a valorização destes riscos ainda se encontra fortemente condicionada pela magnitude das consequências, diretas e imediatas, e pelo contexto social, económico e político dos alvos.

A abordagem aos Riscos Mistos de componente geodinâmica inicia-se como o capítulo “*Risco de sismicidade induzida*”, da autoria de Bruno Martins. De acordo com o Autor, a génese antrópica de sismos, em reservatórios, minas, campos de petróleo e gás e injeção de fluidos justificam-se, fundamentalmente, pelas mudanças de pressão introduzidas sobre a estrutura geológica, modificadoras das pressões neutras nas falhas, no volume, forças aplicadas e carga. Acrescenta, ainda, que a dimensão da estrutura influi no impacto sobre a área crustal, sugerindo que quanto maior for, maior será o risco de sismicidade.

Os capítulos subsequentes, relacionados com a erosão (geodinâmica externa), têm como denominador comum a água enquanto agente erosivo. A erosão assume, assim, diversas formas: pluvial, resultante das águas das chuvas; fluvial, causada pela água que flui nas linhas de água; costeira, consequência da ação das águas do mar; química, através da reação dos materiais minerais das rochas à água, levando a formação de novos minerais (argilas) e sais solúveis. O “*Risco de erosão hídrica do solo*”, da autoria de Adélia Nunes, sintetiza os tipos e os principais fatores que interferem na erosão hídrica em vertentes. Analisam-se alguns dos principais métodos usados na sua avaliação/monitorização, assim com as atividades antrópicas que mais têm contribuído para acelerar estes processos, bem como as respetivas consequências e algumas medidas de mitigação. Com efeito, a erosão por efeito da água da chuva constitui um dos principais processos de degradação da camada edáfica superficial, à escala global, ameaçando a produtividade agrícola do solo e a estabilidade económica e social de diversas regiões do globo. No capítulo seguinte, da mesma autora, intitulado “*Risco de erosão fluvial*” analisa-se a dinâmica fluvial, enfatizando-se os agentes e processos que atuam ao nível do escavamento, transporte e deposição de sedimentos. São também abordadas as principais formas resultantes, os fatores

intervenientes, alguns dos métodos utilizados na avaliação do transporte de sedimentos e na erosão lateral, assim como na sua proteção.

António Campar de Almeida, autor dos três capítulos que se seguem, debruça-se em primeiro lugar sobre os “*Riscos de erosão costeira*”, discutindo as condições naturais terrestres e marinhas mais favoráveis à ação dos processos perigosos, assim como o aumento da exposição humana a esses processos. São abordadas as dinâmicas próprias da costa de arriba e da costa arenosa baixa e são analisadas as medidas que têm sido tomadas para combater ou mitigar a erosão costeira e possíveis adaptações. No capítulo que intitula “*Risco de erosão química*”, o autor refere que os principais processos químicos que se verificam à superfície da crosta terrestre têm como principal interveniente a água, quer como meio de reação quer como reagente. Assim, entre os múltiplos processos que podem ocorrer, aborda a hidratação, a dissolução, a hidrólise, a oxidação e a redução. São, igualmente, analisados alguns dos efeitos mais evidentes da ação destes processos, quer na natureza quer em construções humanas. Problematisa, também, algumas das alterações que se verificarão, em termos da generalidade dos processos químicos, na sequência das mudanças climáticas previstas.

No capítulo, com o título “*Riscos de erosão eólica*”, também da autoria de António Campar de Almeida, o vento assume-se como agente erosivo, cujos modos de atuar sobre as rochas e de destruir ou construir geoformas são muito diferenciados. Assim, depois de analisar como atua o vento, apresenta o modo como modela a paisagem nas regiões áridas e como pode afetar os solos das regiões semiáridas. Por último, discute algumas das medidas usadas para minimizar os efeitos da erosão eólica, tanto em solos como em dunas, assim como as adaptações humanas a essa erosão.

Maria José Roxo e Carlos Russo Machado, no seu capítulo “*Desertificação*”, descrevem este processo como gradual, marcado pela perda de produtividade do solo e de diminuição da cobertura vegetal, em consequência da interação das atividades humanas com as condições ambientais marcadas por situações de seca e aridez. Analisam a sua dimensão planetária, os processos envolvidos, as consequências, a sua evolução e discutem o papel de organizações como as Nações Unidas e a União Europeia no combate à desertificação, identificando os mecanismos, instrumentos e estratégias adotadas para minimizar os seus efeitos. O “desaparecimento do Mar

de Aral” e o fenómeno da desertificação na Península Ibérica, constituem os estudos de caso. No final, são perentórios quanto à necessidade, perante um cenário em que as alterações climáticas são bem evidentes, dos governos e dos cidadãos, em todo o mundo, terem o conhecimento da dimensão, das causas, consequências e de algumas medidas de mitigação/adaptação aos processos de desertificação.

“*Riscos de salinização do solo*”, de Maria da Conceição Goncalves, José Casimiro Martins e Tiago Brito Ramos, e “*Riscos relacionados com intrusão salina*”, de Bruno Martins, abordam as questões da salinização, enquanto processos de degradação do solo e dos aquíferos, a nível mundial. Embora o problema de salinização do solo pareça limitado às zonas costeiras afetadas pelas marés (sapais) e a algumas áreas regadas no sul do País (Alentejo), o aumento do regadio e as perspetivas de mudanças climáticas para as próximas décadas, nomeadamente, o aumento das temperaturas e da concentração de sais solúveis na água de rega, podem levar a um acréscimo da área afetada em Portugal e a uma crescente degradação dos solos.

Por outro lado, a excessiva extração de água doce, devido à crescente pressão demográfica nas áreas costeiras, aliada a uma agricultura intensiva, exigentes em consumo de água, têm conduzido a uma penetração da água salgada para áreas mais continentais, responsável pela denominada intrusão salina em aquíferos. Os problemas relacionados com a intrusão salina são mundiais e têm-se agravado ao longo das últimas décadas, com consequências severas para o ambiente, as populações, a economia e a sociedade. De acordo com o autor, B. Martins, a diminuição do risco dependerá em boa parte das estratégias de redução das vulnerabilidades que passarão, necessariamente, por um planeamento e gestão global dos recursos hídricos objetivada num princípio de desenvolvimento sustentável.

O capítulo “*Riscos de poluição*”, de autoria de Carmén Ferreira, inicia-se com a discussão dos termos “poluição” *vs.* “contaminação”, concluindo que que um solo ou uma massa de água pode estar contaminado/a mas não poluído/a, todavia se estiver poluído/a está, obviamente, contaminado/a. Enfatizando os efeitos adversos da ação antrópica nestes dois recursos estratégicos, o solo e a água, dos quais depende o futuro da Humanidade, reforça a necessidade de um controlo da ocupação do solo urbano, das práticas agrícolas e industriais e o respeito pelo cumprimento da legislação relativa a estes recursos, tendo em conta a sua gestão baseada nos princípios de sustentabilidade.

O último dos capítulos desta obra, “*Riesgos de incendio forestal*”, da autoria de Miguel E. Castillo Soto, analisa a incidência geográfica dos incêndios florestais, numa perspetiva multiescalar, desde o global, com o intuito de definir macro zonas de ocorrência, ao particular, ou seja, através da análise de alguns exemplos de incêndios particularmente catastróficos, onde se incluem os incêndios de junho e outubro de 2017 em Portugal. Com efeito, entre os riscos mistos, os incêndios florestais têm merecido maior destaque sobretudo pela sua dimensão global, pelos impactes que provocam nas diferentes componentes da natureza e da sociedade. Apesar de fazerem parte da história da humanidade, os incêndios florestais representam, na atualidade, uma das mais importantes ameaças às funções e serviços dos ecossistemas, de que dependem o bem estar e a qualidade de vida da população.

(Página deixada propositadamente em branco)

**RISCOS MISTOS
DE COMPONENTE
GEODINÂMICA**

(Página deixada propositadamente em branco)

RISCO DE EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

RISK OF SOIL EROSION BY WATER

Adélia Nunes

Departamento de Geografia e Turismo da Faculdade de Letras
CEGOT e RISCOS, Universidade de Coimbra, Portugal
ORCID: 0000-0001-8665-4459 adelia.nunes@ci.uc.pt

Sumário: A erosão hídrica dos solos, por ação da chuva, é a forma mais difundida de degradação do solo em todo o mundo e uma forte ameaça à produtividade do solo agrícola e à estabilidade económica e social de diversas regiões do globo. No presente trabalho pretende-se sintetizar os tipos e os principais fatores que interferem na erosão hídrica da camada edáfica superficial. Na sequência analisam-se alguns dos principais métodos usados na avaliação da erosão pluvial, assim com as atividades antrópicas que mais têm contribuído para acelerar estes processos, bem como as respetivas consequências e algumas medidas de mitigação

Palavras-chave: Erosão hídrica do solo, Métodos de avaliação, Atividades antrópicas, Medidas de mitigação.

Abstract: Soil erosion by rainfall is the most widespread form of soil degradation in the world and a major threat to agricultural soil productivity and economic and social stability in various regions of the world. The present work aims to summarize the types of soil erosion and the

main factors that influence soil erosion by water. Some of the main methods used to assess rainfall erosion are analysed, as well as the human activities that have contributed to accelerating these processes and their consequences. Some mitigation measures are also presented.

Keywords: Soil erosion by water, assessment methods, human activities, mitigation measures.

Introdução

A erosão consiste no processo de desgaste, transporte e sedimentação das rochas e, principalmente, dos solos. Pode ocorrer devido a processos naturais, em geral mais lentos e de menor impacto, ou serem catalisados por intervenções antrópicas que, em regra, tornam os fenómenos erosivos mais acelerados. Em função do tipo de agente erosivo actuante, como a água, o vento ou os seres vivos, podemos ter diferentes tipos de erosão. A erosão hídrica, por ação da água, assume diversas formas: pluvial, resultante das águas das chuvas; fluvial, causada pela água que flui nas linhas de água; marinha, consequência da ação das águas do mar; glacial, resultante da atuação da água sob a forma de gelo; química, através da reação dos materiais minerais das rochas à água, levando à formação de novos minerais (argilas) e sais solúveis. Estas reações ocorrem, de forma mais intensa, quando a água é ligeiramente ácida.

A erosão hídrica em vertentes, ou seja por ação da chuva, é a forma mais difundida de degradação do solo em todo o mundo e uma forte ameaça à produtividade do solo agrícola (Bridges e Oldeman, 1999; FAO ITPS, 2015; García-Ruiz *et al.*, 2017; Vanwalleghe *et al.*, 2017) e, por conseguinte, à estabilidade económica e social de diversas regiões do mundo. Segundo Oldeman *et al.* (1992), na última década do século passado, já seriam cerca de 1100 milhões de hectares (ha) afectados em todo o mundo, 56% dos quais devido à ação do ser humano. De acordo com o mesmo autor, 80% do solo afetado pela erosão hídrica tem um grau de degradação leve a moderado, o que significa que cerca de 225 milhões de hectares estão tão degradados pela erosão hídrica que já não são passíveis de prática agrícola. Entre

os fatores que mais têm contribuído para incrementar o potencial erosivo da chuva sobre os solos salientam-se a destruição do coberto vegetal, o pastoreio excessivo e a má gestão agrícola, atividades dependentes da ação antrópica. As práticas agrícolas intensivas, por exemplo, aceleram significativamente as taxas de erosão do solo (Zhao *et al.*, 2013) até cerca de duas ordens de magnitude (Montgomery, 2007), face a outras atividades agro-silvo-pastoris. A erosão hídrica do solo ocorre em todos os continentes e sob todas as condições climáticas.

Os impactes da erosão do solo podem ser severos, não apenas a nível local (*on-site*), através da degradação da terra e da perda de fertilidade, mas também noutras áreas, mais afastadas (*off-site*), onde causam sérios danos, devido ao aumento da carga sedimentar transportada pelas linhas de água, ao assoreamento dos leitos dos rios, à eutrofização das suas águas e, também, em infraestruturas (Borrelli *et al.*, 2018).

No presente capítulo sistematizam-se os tipos e os principais fatores que interferem na erosão hídrica de vertentes. Analisam-se, na sequência, as principais metodologias usadas na avaliação da erosão pluvial, assim como as atividades antrópicas que mais têm contribuído para a acelerar estes processos, as respetivas consequências e algumas medidas de mitigação.

Erosão hídrica em vertentes

A chuva é o agente erosivo com maior relevância nos processos de erosão hídrica (agente ativo), ao desencadear dois processos mecânicos distintos: o impacte causado pelas gotas de chuva no solo (efeito *splash*) e a escorrência pluvial pelas vertentes. A água proveniente da chuva é um elemento com capacidade de transporte de fragmentos, pelo que é considerada como um dos principais agentes modeladores das vertentes (Roxo, 1994).

A erosão hídrica do solo pode, assim, ser definida como um processo de três fases, que consistem em: (i) desprendimento de partículas individuais do solo; (ii) subsequente transporte por um agente erosivo; e, finalmente, (iii) a sua deposição, quando o agente erosivo deixa de ter energia suficiente para as manter em transporte (Morgan, 2005) (fig. 1).

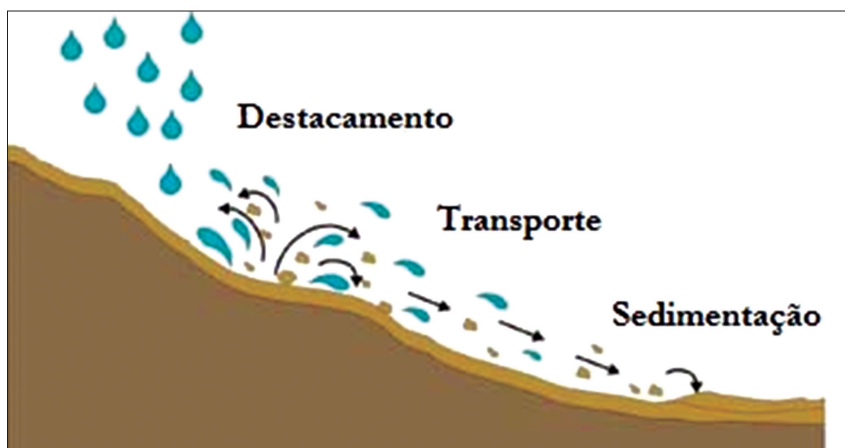


Fig. 1 - Fases do processo de erosão (Fonte: Adaptado de LFS: SoilWeb / Soil Management / Soil Erosion, University of British Columbia).

Fig.1 - Stages of the erosion process (Source: Adapted from LFS: SoilWeb / Soil Management / Soil Erosion, University of British Columbia).

A ação provocada pelo impacto da gota de água, também denominada por erosão por salpico (*splash*), é o produto da energia cinética das gotículas de água sobre as partículas de solo que se desagregam perante o impacto das gotas de chuva. A ação do *splash*, ou erosão por salpico, constitui o estágio mais inicial do processo erosivo, pois prepara as partículas que compõem o solo para serem transportadas pelo escoamento superficial (Guerra e Guerra, 1997).

Fatores que controlam a erosão hídrica

Os fatores que controlam a erosão do solo são comumente divididos em (Morgan, 2005; Imeson e Curfs, s/d):

- (I) *Erosividade* do agente erosivo, neste caso a precipitação, ou a sua capacidade de separar e transportar as partículas do solo;
- (II) *Erodibilidade do solo*, o oposto à erosividade, ou seja a resistência do solo face ao dismantelamento e transporte das partículas;

- (III) *Declive e o comprimento da vertente;*
- (IV) *Grau e tipo de coberto vegetal;*
- (v) *Práticas conservacionistas de gestão do solo.*

(i) A *erosividade da precipitação*, definida como o potencial da chuva para causar erosão no solo, é uma função exclusiva das respetivas características físicas (quantidade, intensidade, diâmetro de gotas, velocidade terminal e energia cinética), e constitui um fator fundamental para compreender o funcionamento dos processos erosivos num determinado território. Para o seu cálculo desenvolveram-se inúmeros índices que têm sido utilizados em modelos de predição do risco de erosão, destacando-se entre os mais utilizados o factor R (Wischmeier, 1959), o qual se incorpora na *Equação Universal de Perda de Solo* (USLE) (Wischmeier e Smith, 1978). A sua determinação, obtida pelo produto entre a energia cinética total da chuva e a intensidade máxima em trinta minutos (EI30), permite definir com melhor precisão a época para o estabelecimento das práticas de cultivo e, também, de conservação do solo.

(ii) A *erodibilidade do solo* representa a sua susceptibilidade à erosão e depende das suas características físicas, químicas e morfológicas. Bertoni e Lombardi Neto (1990) destacam, entre as propriedades do solo que influenciam a erosão, aquelas que controlam a velocidade de infiltração da água e a permeabilidade, bem como aquelas que estão ligadas à coesão, ou que resistem à dispersão, ao salpico, à abrasão e às forças de transporte da chuva e escoamento superficial.

Entre essas propriedades destaca-se a existência de matéria orgânica pela importância de que se reveste a vários níveis. Com efeito, a matéria orgânica é uma das componentes do solo que mais afeta as suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Além de desempenhar uma função determinante no ciclo de nutrientes (aumenta a capacidade de retenção de nutrientes), interfere na dinâmica da água (melhora a infiltração de água, diminui a evaporação, aumenta a capacidade de retenção de água, especialmente em solos arenosos) e na sua estrutura (diminui a suscetibilidade à formação de crostas, especialmente em solos de textura fina, favorece o desenvolvimento de raízes, dificulta a compactação, melhora a agregação), pelo que diminui as perdas de águas e nutrientes por escoamento superficial e erosão do solo.

(iii) *O declive e o comprimento da vertente.* O dismantelamento e transporte de materiais dependem da configuração do terreno, em particular do declive, comprimento e forma das vertentes. De um modo geral, quanto maior for o declive da vertente mais intensos serão os processos de erosão e transporte de sedimentos. Tricart (1965) definiu um “*limiar/lumbral*” como limite para o início e fim de processos específicos numa vertente. Assim, considera que “*os processos simples e elementares dos detritos de gravidade se relacionam com a existência de dois limiares: um limiar de ‘destacamento’, de movimento do material e um limiar de ‘deposição’, de estabilização*”. Por outro lado, o declive afeta as características hidráulicas das vertentes assim como a velocidade do fluxo, as quais determinam a erosividade do escoamento superficial (Nea-ring, 1991), apesar do respetivo potencial estar dependente da quantidade de materiais disponíveis para serem erosionados.

À medida que o comprimento da vertente aumenta, o escoamento superficial incrementa a sua velocidade e quantidade (Guerra, 2005). As formas das vertentes – côncava, convexa e retilínea – definem o tipo de escoamento das águas pluviais, sendo que as encostas convexas são, geralmente, distribuidoras de água, enquanto as encostas côncavas são coletoras e concentradoras de água (Weill e Pires Neto, 2007). Num e noutro caso, o potencial erosivo será maior ou menor em função da concentração/dispersão do escoamento superficial.

Todavia, os processos erosivos têm de ser analisados numa perspetiva tricotómica, pois nelas se podem desencadear ações de destacamento, transporte e acumulação.

(iv) *Os diferentes tipos de ocupação do solo* e, sobretudo, o grau de cobertura vegetal revelam um papel determinante no controlo dos processos de erosão hídrica, tal como tem sido defendido por inúmeros autores (Roxo, 1994; Romero-Díaz *et al.*, 1999; Belmonte Serrato *et al.*, 1999, Nunes *et al.*, 2010, 2011; García-Ruiz *et al.*, 2017). A sua relevância depende de múltiplos fatores, que se relacionam com o tipo, densidade, características morfológicas, desenvolvimento vegetativo, densidade das raízes, tipo de cultivo do coberto vegetal e época do ano, entre outras, uma vez que a presença de vegetação induz alguns dos aspectos positivos induzidos (fig. 2).

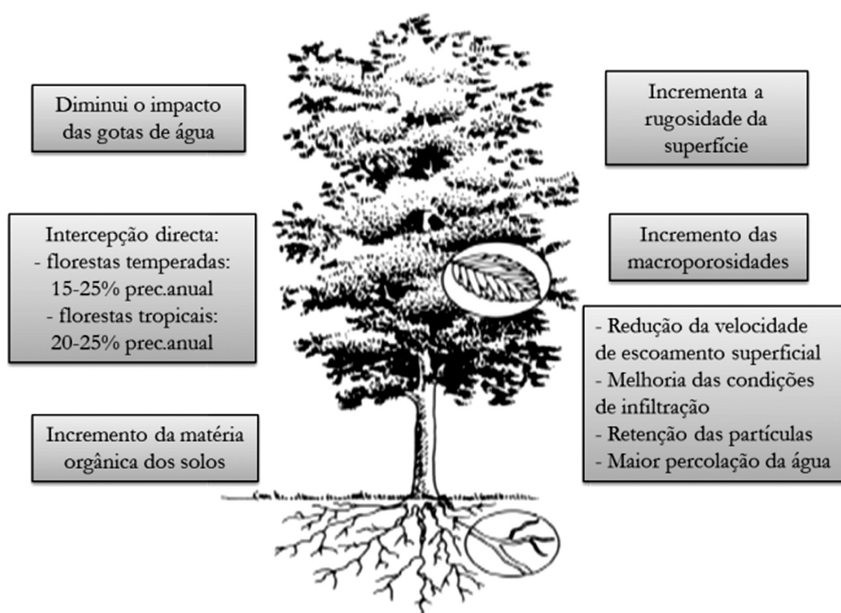


Fig. 2 - Alguns efeitos da vegetação nos processos de infiltração/erosão.

Fig. 2 - Effects of vegetation on the infiltration/erosion processes.

(v) As *práticas conservacionistas de gestão* do solo visam o controlo das perdas de solo e de água em terras utilizadas para fins agrícolas e florestais. A primeira atividade para uma adequada conservação do solo é a ocupação da área de acordo com a sua capacidade de uso, otimizando o seu aproveitamento. Neste contexto, as práticas de manejo favoráveis ao controlo da erosão são aquelas que melhoram a capacidade de infiltração da água no solo, diminuem o escoamento superficial, favorecem a formação de agregados e reduzem o impacto das gotas da chuva. As práticas conservacionistas podem ser divididas em edáficas, vegetativas e mecânicas, conforme se utilizem modificações nos sistemas de cultivo, na vegetação, ou se recorra à construção de estruturas para a contenção do escoamento superficial e do solo.

As práticas de cariz edáfico relacionam-se com as modificações no sistema de cultivo, no sentido de manter ou melhorar a fertilidade do solo. As de carácter vegetativo são aquelas que utilizam vegetação para proteger o

solo contra a ação direta da precipitação, minimizando o processo erosivo. A manutenção de coberto adequado no solo é um dos princípios básicos para a sua conservação. Por sua vez, as práticas mecânicas são aquelas que utilizam estruturas artificiais, com o objetivo de interceptar e/ou conduzir o escoamento superficial. Esta intercepção pode ser feita através de terraços, canais escoadouros, bacias de captação de águas pluviais e barragens, entre outras. A construção de terraços/socalcos em terrenos agrícolas é uma das práticas de controle da erosão hídrica mais difundidas à escala mundial, em particular nas áreas de montanha ou de declives mais acentuados.

Tipos de erosão hídrica

Sintetizam-se, na sequência, os vários processos associados a distintos tipos de erosão hídrica:

- *Erosão por salpico*: destacamento e movimento pelo ar de pequenas partículas de solo causado pelo impacto das gotas de chuva nos solos. Também denominado erosão por *splash* (fot. 1a).
- *Erosão laminar*: desagregação e remoção de delgadas capas do solo, de forma mais ou menos uniforme, por efeito do impacto da chuva e ação do escoamento superficial; mais ou menos regular. Ocorre, preferencialmente, em solos agrícolas, sem coberto vegetal, e pode ser corrigida, por exemplo, através da lavra do solo (fot. 1b).
- *Erosão em sulcos ou ravinas*: formação de canais sinuosos, devido à concentração do escoamento superficial (ex. linhas de maior declive, solo sem vegetação, heterogeneidade nos horizontes superficiais dos solos, solos agrícolas); transporte de grandes quantidades de sedimentos; destruição da camada edáfica superficial; degradação dos solos. Ocorre no decurso de chuvadas de grande intensidade ou na sequência de períodos bastante pluviosos. Nestes casos, o remeximento da camada edáfica superficial pode atenuar a existência destes sulcos, todavia em situação de fortes chuvadas poderão aparecer de novo (fot. 1c).



Fot. 1 - Tipos de erosão (Fonte: Nunes *et al.*, 2008).

Photo 1 - *Types of erosion* (Source: Nunes *et al.*, 2008).

- *Erosão em barrancos*: Aprofundamento e coalescência das incisões resultantes da evolução de sulcos ou ravinas; áreas com precipitações de grande violência (baixos quantitativos mas fortemente concentrados); cobertura

vegetal precária; solos com fraca capacidade de infiltração; solos facilmente desagregáveis típicos das regiões áridas e semi-áridas (ex. das *badlands*) (fot. 1d).

- *Erosão em túnel*: ocorre em solos que são propensos a *piping* (estruturas subterrâneas com uma rede de túneis). Estes solos contêm frequentemente camadas ricas em argila que expande e contrai quando humedecida e exsiccada, ou camadas com materiais que se dispersam espontaneamente na água durante chuvadas (fot. 1e).

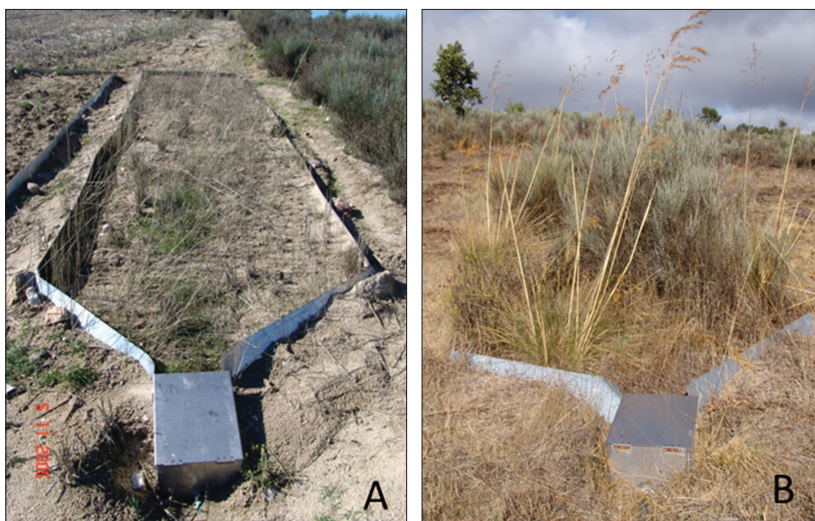
Métodos de avaliação da erosão hídrica em vertentes

Com o objetivo de quantificar as perdas de solo em vertentes, vários métodos podem ser utilizados na recolha de dados. Apresentam-se na sequência alguns dos usados.

- *Estacas ou varetas de erosão*: A monitorização dos materiais removidos ou acumulados, à escala micro ou pontual, pela ação da precipitação pode fazer-se através de estacas ou varetas graduadas (Ferreira, 1996/7; Meneses, 2011). Consiste, genericamente, em enterrar essas estacas verticalmente no solo e na posterior monitorização dos processos de transporte e de acumulação de inertes, através de leitura, na parte da estaca acima da superfície do solo. Através desta técnica pode-se obter informação sobre a variação da microtopografia do solo.
- *Parcelas de erosão sob chuvas naturais*: As parcelas de erosão podem ser de dois tipos, abertas ou fechadas, e de diferente dimensão. O recurso a parcelas experimentais fechadas para obtenção de informações hidrológicas e geomorfológicas tem sido largamente utilizado tanto a nível nacional (Lourenço, 1989; Roxo, 1994, 2001; Coelho *et al.*, 1990, 1995; Shakesby *et al.*, 1993; Ferreira, 1996; Ferreira, 1996/97; Lopes *et al.*, 2001, 2002; Nunes *et al.*, 2011) como internacional (López Bermúdez *et al.*, 1991; Ternan *et al.*, 1997; Belmonte Serrato *et al.*, 1999; Romero Díaz *et al.*, 1999; Lasanta *et al.*, 2000; Pardini *et al.*, 2003; Rodrigo Comino *et al.*, 2015).

Entre as mais utilizadas, encontra-se o modelo progressivamente modificado, a partir dos ensaios de Gerlach (1967), integrando (fot.s 2):

- *Parcela de erosão*, em sistema fechado, com uma área variável, sendo a de 16 m² (2×8m) uma das mais utilizadas. Com uma configuração rectangular, delimitada por chapa de zinco enterrada no solo, disposta no sentido do declive, apresenta na sua parte terminal, uma forma afunilada, com vista à convergência da água e dos materiais;
- *Caixa de erosão* (ou caixa Gerlach), colocada na parte terminal da área de convergência, é constituída por uma *caixa externa*, com tampa de forma a evitar a entrada de material resultante do efeito *splash*, e uma *caixa interna*, cujo objetivo é reter o material transportado por efeito do escoamento superficial;
- *Recipiente de acumulação*, ou seja, bidões com capacidade para armazenar tanto a água drenada do interior da área delimitada pelas parcelas de erosão como os materiais em suspensão. Encontram-se ligados, através de uma mangueira, às caixas de erosão.



Fot. 2 - Parcelas de erosão delimitadas: A - em pousio ou abandono recente e B - em mato (*Cytisus multiflorus*) (Fonte: Nunes, 2008).

Photo 2 - Erosion plots delimited in fallow or recently abandoned land (A) and in shrubland (*Cytisus multiflorus*) (B) (Source: Nunes, 2008).

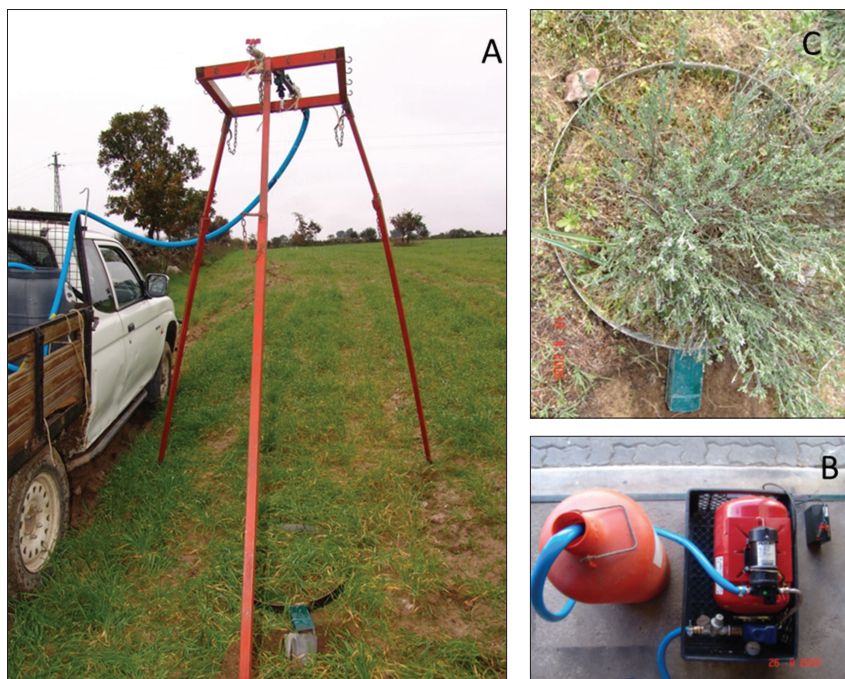
Será, no entanto, conveniente realçar que os resultados obtidos através das parcelas experimentais só são aceitáveis em termos comparativos, ou seja, permitem-nos aferir a magnitude do escoamento e da erosão em diferentes ambientes e em distintos usos do solo. Por conseguinte, esta informação não deverá ser encarada de forma absoluta nem poderá ser extrapolada para outras situações. Por outro lado, e por se tratar de parcelas fechadas, é previsível um esgotamento dos sedimentos, ao amputar a entrada de materiais, mais a montante. Do mesmo modo, o fluxo de água superficial é interrompido artificialmente, pelas modificações causadas no solo, o que reduz a validade dos dados recolhidos. Os resultados obtidos devem funcionar como indicadores entre os ambientes estudados.

- *Simulações de chuva*: O recurso a simuladores para avaliar os processos erosivos tem sido largamente utilizado, quer em ambientes semiáridos (Cerdà *et al.*, 1998; Ceballos, 1999; Seeger e Ries, 2001; Ceballos *et al.*, 2003; Rodrigo Comino *et al.*, 2016) quer em outros ambientes de maior precipitação (Muñoz e Gallego, 1996; Carvalho *et al.*, 1999; Verdú *et al.*, 2000; Coelho *et al.*, 2002, 2004, Nunes *et al.*, 2010, Rodrigo Comino *et al.*, 2016) (fig. 3). A maior vantagem na sua utilização prende-se com o facto de se prescindir de chuva natural, ao mesmo tempo que esta é mais rápida de produzir, mais eficiente, mais controlada e mais adaptável às características da chuva natural, sobretudo em termos de intensidade (Cerdà, 1999).

Por outro lado, o desenvolvimento de simulações permite a obtenção de um grande número de dados num período de tempo relativamente curto, assim como o conhecimento de processos hidrogeomorfológicos que atuam numa área, à escala métrica ou do pedon. Tanto a técnica como o nível de observação permitem um estudo aproximado dos processos de infiltração, difíceis de estimar noutras escalas de trabalho (Ceballos, 1999).

A simulação possibilita a comparação de distintas partes de uma bacia de drenagem, entre estações do ano, devido ao controlo das características da precipitação. Em climas mediterrâneos, caracterizados por uma grande variabilidade anual da precipitação, a chuva simulada facilita o desenvolvimento da investigação, pois em condições naturais a sua ausência ou

ocorrência em pequenas quantidades, podem ser restritivas ao processo de pesquisa. Assim sendo, a simulação de chuva mostra-se como uma técnica bastante adequada já que permite ao investigador um grande controlo das condições de precipitação.



Fot. 3 - Aspecto do simulador: A - ainda sem a protecção; B - da bomba responsável pela elevação da água e C - da microparcela utilizada nas simulações de chuva (Fonte: Nunes, 2008).

Photo 3 - Rainfall simulator (not yet protected) (A), pump for raising water (B) and microplot used in rain simulations (C) (Source: Nunes, 2008).

A metodologia utilizada apresenta, não obstante, uma série de limitações, sobretudo quando se pretendem comparar os resultados das simulações com os obtidos através das parcelas de erosão, sujeitas à precipitação natural. A energia cinética da chuva é baixa pois a maior parte das gotas produzidas tem um tamanho inferior a 1 mm (Cerdà *et al.*, 1997). A altura do pulverizador impede que as gotas alcancem uma velocidade terminal, comparativamente, inferior àquela que é atingida em condições naturais.

O tamanho das parcelas pode constituir outra desvantagem, sobretudo quando se estudam os processos à escala da bacia. Todavia, se a análise for à escala de microbacias, de vertentes ou partes destas, a técnica é utilizável ou até mesmo imprescindível (Cerdà, 1999). De acrescentar, por último, que, com esta técnica, não se pretendem substituir outros métodos, realizados com chuvas naturais, mas tão só complementar e antecipar a diversidade de informação que se pode recolher através deste instrumento.

- *Modelos de previsão da erosão do solo*: A Equação Universal de Perda de Solos (EUPS ou USLE, *Universal Soil Loss Equation*) de Wischmeier e Smith (1978) tem sido uma das mais importantes referências para o cálculo de perda de solo, associado à erosão laminar, num determinado período de tempo. A equação é expressa pela seguinte relação:

$$E=R \times K \times LS \times C \times P$$

onde:

E = taxa de erosão ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)

R = erosividade (poder erosivo das chuvas) ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)

K = erodibilidade do solo (suscetibilidade dos solos à erosão) ($\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)

LS = fator topográfico - declividade e comprimento da vertente (adimensional)

C = fator uso/cobertura vegetal e manejo (adimensional)

P = fator práticas conservacionistas (adimensional)

Embora este modelo tenha sido amplamente aceite pela sua simplicidade e disponibilidade relativa de parâmetros, e ainda continue a ser aplicado, foi alvo de modificações (MUSLE) e revisões (RUSLE) (Renard e Freimund, 1994; Renard *et al.*, 1997). Do mesmo modo, nestas últimas décadas, foram desenvolvidos vários modelos no intuito de melhorar os conhecimentos sobre os processos associados à erosão do solo¹. Estes modelos são, principalmente, utilizados para a previsão da perda do solo e a produção de sedimentos em áreas de reduzida dimensão.

De acordo com Bhattarai e Dutta (2008) os modelos atualmente disponíveis dividem-se em dois grupos: os empíricos e os orientados para os processos.

¹ Múltiplos modelos de erosão hídrica do solo podem ser consultados em http://soilerosion.net/dd_models.html

O primeiro grupo baseia-se em medições em pequenas bacias hidrográficas ou terrenos de reduzida área e na sua extrapolação para áreas de maior extensão (Kinnell, 2008), como RUSLE2 (Foster, 2005), WATEM (van Oost *et al.*, 2000), AnnAGNPS (Bingner, 2001) ou AGNPS-UM (Kinnell, 2005). Estes modelos têm uma origem comum: todos incluem uma versão adaptada da equação empírica (R) USLE (Wischmeier e Smith, 1978; Renard *et al.*, 1997). Todavia, entre as desvantagens apontadas emergem principalmente duas, sobretudo quando aplicados em bacias hidrográficas de grande dimensão: a impossibilidade de prever a deposição de solo e a produção de sedimentos (Renard *et al.*, 1997), e a complexidade inerente ao cálculo de parâmetros topográficos (Hickey, 2000).

O segundo grupo é composto por modelos baseados em princípios físicos (Petan *et al.*, 2010), destacando-se o EUROSEM (Morgan *et al.*, 1998), o EROSÃO-3D (Schmidt, 1999), o LISEM (De Roo *et al.*, 1996), WEPP (Flanagan e Nearing, 1995) e o SWAT (Neitsch *et al.*, 2005), os quais se encontram em contínuo desenvolvimento. Estes modelos são geralmente exigentes em termos de dados e de computação, o que limita a sua ampla aplicabilidade em práticas de gestão, sendo no entanto ferramentas com um elevado potencial, particularmente com a evolução do conhecimento, através de ensaios em laboratório (Kirkby, 1998).

A espacialização do risco de erosão, tendo por base a aplicação da USLE (fig. 3) e do PAN-European Soil Erosion Risk Assessment (PESERA) (fig. 4), apresenta resultados diferentes.

Erosão hídrica: intervenção antrópica, consequências e medidas de mitigação

Na Europa, e em particular na região mediterrânea, a erosão hídrica constitui o principal fator responsável pela degradação dos recursos edáficos (Gobin *et al.*, 2002). A degradação por erosão pode resultar da manifestação de uma multiplicidade de agentes e processos antrópicos, destacando-se entre os mais importantes as práticas agrícolas danosas, a desflorestação, a ocorrência de incêndios florestais, o sobrepastoreio e as atividades de construção (Yassoglou *et al.*, 1998; Porta *et al.*, 1999).

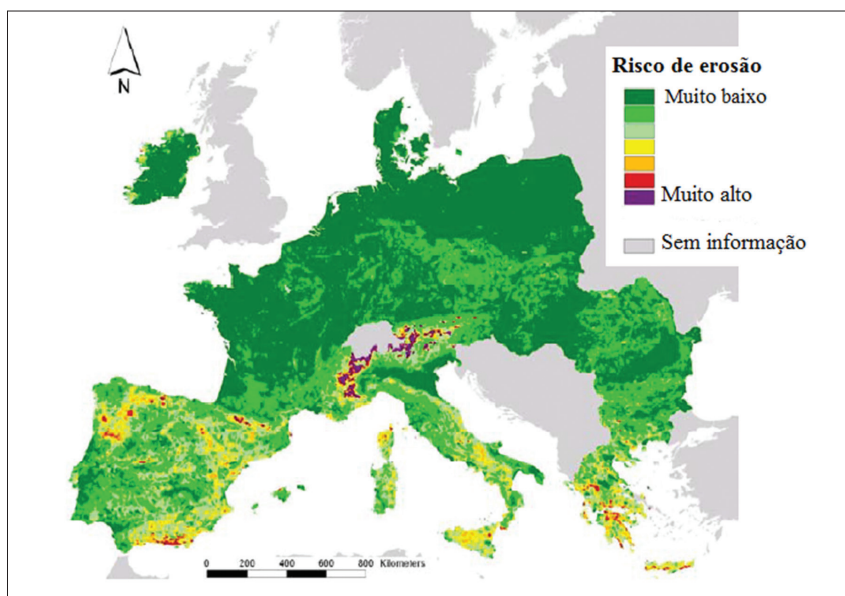


Fig. 3 - Risco de erosão, resultante da aplicação da USLE, para algumas regiões da Europa (Fonte: adaptado de Grimm *et al.*, 2002).

*Fig. 3 - Risk of erosion for some regions of Europe, given by applying the USLE (Source: adapted from Grimm *et al.*, 2002).*

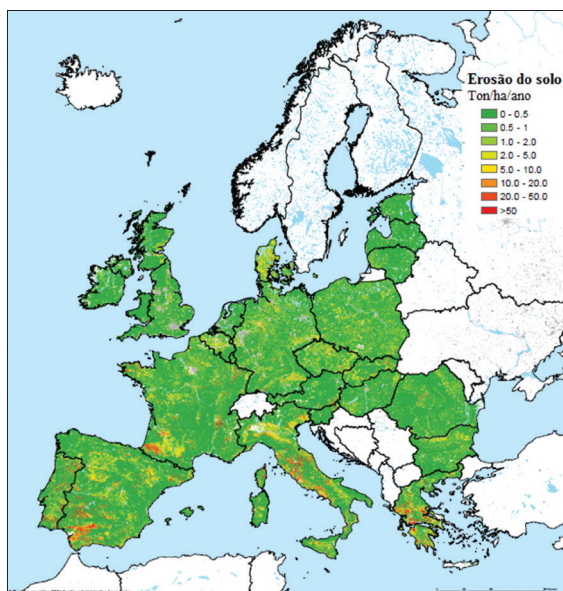


Fig. 4 - Risco de erosão, resultante da aplicação da PAN-European Soil Erosion Risk Assessment (PESERA), para algumas regiões da Europa (Fonte: adaptado de Kirkby *et al.* 2004).

*Fig. 4 - Risk of erosion for some regions of Europe, given by applying the PAN-European Soil Erosion Risk Assessment (PESERA) (Source: adapted from Kirkby *et al.*, 2004).*

A análise de alguns dados referentes à erosão do solo em diferentes usos e cobertos vegetais, recolhidos em parcelas experimentais fechadas (QUADRO I) mostra que os solos aráveis, com culturas de cereais (assentes na rotação alqueive - cereal) se revelaram verdadeiramente degradantes para o solo, pois as perdas médias anuais são na ordem das toneladas por hectare. Em contrapartida, os solos com maior proteção vegetal, com vegetação natural ou com plantações adultas, como por exemplo o pinhal adulto, mostram valores reduzidos no que se refere à perda de solo.

QUADRO I - Perda de solo sob diferentes tipos de uso e ocupação do solo.

TABLE I - *Loss of soil under different types of land use/cover.*

Área	Uso do solo	Precipitação Anual (mm)	Tipo de Solo	Declive (%)	Perda de solo (ton. ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Referência
Castelo Branco	Cereal (alqueive/ trigo) Pastagem Controle (sem vegetação)	740	Cambissolos	9	0,1-0,2 0,019 1,6	Lopes <i>et al.</i> (2001)
Sabugal	Cereal (alqueive/centeio) Restolho Matos (<i>Cytisus</i>) Carvalhal em recuperação Pinhal Adulto Pinhal jovem Pastagem	520-1200	Cambissolos	10	4,58-8,91 0,96-1,83 0,00-0,04 0,00-0,01 0,00-0,00 3,92-5,28 0,00-0,02	Nunes (2008)
Alentejo (Vale Formoso)	Cereal (Alqueive/Trigo/restolho) Matos (<i>Cistus</i>) Pastagens Campos abandonados	500	Litossolos	10-16	0,55-10,15 0-0,82 0,18 0,270	Roxo (1993) Roxo (1994) Roxo (1994) Roxo (1994)
Serra da Lousã (Góis) Mação	Mato Pinhal adulto	1100 700-1000	Litossolos Litossolos	>20 >20	0,08 0,02	Coelho <i>et al.</i> (2002) Coelho <i>et al.</i> (2002)
Pirinéus Centrais (Espanha)	Cereal <i>Barbecho</i> (Pousio) <i>Matorral</i> denso	800-2000	Luvissolo	9	5,2 15,5 1,1	García-Ruiz <i>et al.</i> (1996)
Toledo (Espanha)	Cereais de sequeiro Pousio	450	Cambissolos húmicos	5-10	6 7,3	De Alba (2001)
Galiza (Espanha)	Cultivado (20-90 % de coberto vegetal)	850	Cambissolos húmicos	5-10	18	Vila Garcia <i>et al.</i> (1998)
Galiza (Espanha)	Cultivado		S/D		13-18	Vila Garcia <i>et al.</i> (1998)
Cataluña (Espanha)	<i>Matorral</i> Pinhal com gramíneas	1845 S/D	S/D		0,00 0,01	Sala (1996, <i>apud</i> Cerdà, 2001)

(Fonte/Source: Nunes, 2007).

Segundo Imeson e Curfs (s/d), elevadas taxas de erosão coincidem com a pressão humana e o advento de práticas agrícolas modernas, particularmente o uso de *bulldozers* para nivelamento e limpeza de terras. Nestes casos a erosão pode ser tão elevada que pode afetar 20-30 cm num único temporal, de algumas horas.

Também a passagem do fogo, e a consequente incineração do coberto vegetal, produz alterações muito significativas na camada edáfica superficial, no ciclo hidrológico e nos processos erosivos que atuam ao nível da vertente. A destruição do

coberto vegetal deixa o solo exposto ao impacto direto das gotas de água da chuva, reduz a sua capacidade de retenção e armazenamento de água, em consequência da perda de matéria orgânica, da diminuição da sua porosidade e do aumento de substâncias hidrofóbicas, gerando assim quantidades de escorrência muito maiores (Moody *et al.*, 2013). É, sobretudo, a ocorrência de elevados quantitativos de precipitação, por vezes localizados, intensos e/ou prolongados que agravam substancialmente os riscos de erosão pós-incêndio e estão na génese de outros fenómenos mais extremos, tais como fluxos de detritos, cheias e inundações após incêndios (Lourenço *et al.*, 2012; Nunes e Lourenço, 2017).

As consequências ambientais dos processos erosivos que afetam os solos são bem conhecidas e encontram-se inventariadas em vários trabalhos, entre os quais se salientam os de López Bermúdez (1996), a *Estratégia temática para a proteção e uso sustentável do solo*, da Comissão das Comunidades Europeias (2002) e os de Panagos *et al.* (2015).

Entre os efeitos ambientais mais importantes destacam-se a redução da superfície de terrenos cultiváveis, o aumento da rocosidade superficial, com o afloramento da rocha mãe, a diminuição de espessura da camada arável e profundidade efetiva do solo, a perda das partículas edáficas mais férteis, com a consequente diminuição da capacidade nutricional do solo, a degradação das propriedades físicas do edafossistema, as alterações no ciclo hidrológico, a deterioração da qualidade das águas superficiais e subsuperficiais, entre outros.

A erosão hídrica representa a forma mais completa e integral de degradação, ou seja, além da perda física de solo, verifica-se um decréscimo nos conteúdos orgânicos, o que implica uma redução na capacidade de retenção dos nutrientes e de água útil para as plantas, diminuindo o volume efetivo para o desenvolvimento radicular.

Nestas circunstâncias, a perda de solo, provocada por ação das gotas da chuva, origina ecossistemas degradados e frágeis, com impactes no ciclo da água e, de uma maneira geral, nas funções e serviços dos ecossistemas. Estas consequências desencadeiam, posteriormente, importantes efeitos socioeconómicos, como a diminuição do rendimento das áreas cultivadas, redução local da produtividade e perda de valor económico do solo, determinantes, por sua vez, de possíveis abandonos de terras e deterioração das condições de vida das populações.

Todavia, o solo e as suas propriedades não podem ser isoladas da paisagem na qual se desenvolveram, nem das pessoas e modos de vida, que são e foram responsáveis por ele. Logo, para ter sucesso, as abordagens da conservação do solo têm que se basear em conceitos que incluam tanto o espaço como o tempo e que sejam dirigidas para as principais forças motrizes da erosão, que são físicas e culturais. Requer políticas que preservem a terra, o solo e a água assim como o seu uso pelas pessoas, como se de uma entidade se tratasse, e pela qual a sociedade é eticamente responsável (Imeson e Curfs, s/d).

A conservação do solo pode, assim, ser considerada numa escala temporal compreendida entre milhares de anos e alguns dias/horas. Do mesmo modo, a escala espacial de atuação na conservação do solo pode ser definida desde uma parcela a uma vertente. No Mediterrâneo, onde o crescimento das plantas está limitado pela água, os padrões na vegetação podem ser utilizados como indicadores de degradação do solo, assim como através de mudanças na sua estrutura. Com efeito, a erosão do solo ocorre, sobretudo, porque o solo perde a sua capacidade de absorver e armazenar água. Por conseguinte, as principais medidas a aplicar deverão basear-se na retenção do máximo possível da água da chuva.

As medidas a adotar consistem, sobretudo, na manutenção de um coberto vegetal que diminua o impacto das gotas de água e favoreça os processos de infiltração. A título de exemplo, deixar o restolho da cultura anterior e um coberto vegetal que protejam o solo do impacto das chuvas e do vento, proporcionam proteção à camada edáfica superficial e promovem outros benefícios ambientais, onde se destaca a melhoria da qualidade do solo, devido ao aumento da matéria orgânica e à maior infiltração da água. Por outro lado, os sistemas de produção agrícola que mantêm altos níveis de resíduos orgânicos fornecem alimento e abrigo a numerosas espécies de vida selvagem durante épocas críticas.

Todavia, uma das técnicas mais antigas e disseminadas mundialmente, sobretudo em ambiente de montanhas, onde a ação erosiva das águas pluviais é mais intensa, consiste na construção de socalcos, de modo a evitar a erosão dos solos e, também, contribuir para a regularização hídrica das vertentes (Fialho e Lourenço, 2007). Estas estruturas foram/são construídas para permitir a prática de agricultura em vertentes declivosas e têm-se revelando muito eficientes na proteção contra a

perda de material mineral em campos agrícolas, ao favorecerem a infiltração da água das chuvas, contribuindo assim para aumentar a humidade do solo, determinante na instalação de coberto vegetal.

Contudo, o seu abandono, em vastas áreas montanhosas da bacia do mediterrâneo, coloca em causa a sua conservação a médio e longo prazo, desencadeando a destruição parcial ou total dos muros de suporte dos socalcos, conduzindo a processos mais acelerados de erosão, como os movimentos em massa, que podem levar à perda de todo o solo agrícola armazenado no patamar. O plantio segundo as curvas de nível a diferentes altitudes, em terrenos íngremes, constitui outra técnica que ajuda a conservar ao solo contra a ação erosiva da chuva, promovendo, de igual modo, os processos de infiltração e desvanecendo o escoamento superficial. Este sistema ajuda, igualmente, a reter elementos solúveis do solo, o que permite o aumento da produção. Em função do declive do terreno, os degraus podem ser, mais ou menos, largos.

O parque de máquinas utilizado nas explorações agrícolas deve ser adaptado a fim de poder implementar técnicas de conservação. Como alternativa às mobilizações do solo, deve diminuir-se a intervenção de máquinas agrícolas, ou mesmo preterir-las, nos casos em que se possa recorrer à prática da sementeira direta. Por outro lado, devem aplicar-se fertilizantes orgânicos, numa perspetiva integrada de fertilização, com a dupla função de corretivos e de adubos, já que, ao mesmo tempo, proporciona substâncias nutritivas para as culturas, é meio de sustento para a atividade metabólica da flora e da fauna (macro, meso e micro) do solo e é um elemento fundamental no incremento da capacidade de retenção de elementos nutricionais. Assim, deve-se gerir de forma rigorosa a aplicação de nutrientes, tanto em quantidade como na forma de aplicação, recorrendo à análise do solo e das plantas antes da sua instalação e no decurso do seu ciclo de vida.

Conclusões

Os solos, quer em ecossistemas naturais quer geridos antropicamente, por se constituírem uma das componentes-chave do ecossistema terrestre, ao operarem

no interface da litosfera, biosfera, hidrosfera e atmosfera, desempenham múltiplas funções, de produção, de regulação e suporte, pelo papel que exercem no ciclo dos nutrientes, na regulação de alguns gases e fluxos (água, sedimentos, carbono) e no fornecimento de nutrientes e habitat, dentro dos ecossistemas, assim como de abrigo para outros seres vivos. Mudanças no seu uso e coberto vegetal e, por conseguinte na sua hidrologia, podem desencadear períodos de intensa erosão e a uma degradação irreversível da camada edáfica superficial (Janssen *et al.*, 2003). Também, os efeitos das mudanças climáticas na erosão do solo constituam uma preocupação comum na literatura científica, embora a sua abordagem tenha sido, de um modo geral, superficial e com pouco rigor científico (García-Ruíz *et al.*, 2017). Com efeito, a incerteza relativa aos padrões futuros de precipitação (quantidade, intensidade, sazonalidade, variabilidade interanual) projetados pelos modelos climáticos (Frei *et al.*, 2003), torna difícil prever as prováveis consequências da variabilidade climática nos processos erosivos.

Sabe-se que desde tempos pré-históricos, inúmeras civilizações entraram em colapso devido à deterioração progressiva de seus recursos naturais, assumindo-se, em alguns casos, a degradação do solo como um fator determinante (Brevik *et al.*, 2015). Com efeito, a percepção do valor económico, ambiental, social e cultural do solo, encontra-se ainda, na atualidade, numa fase embrionária, quer pelos agricultores, políticos ou sociedade em geral, sendo a erosão do solo considerada um problema de longo prazo, não requerendo, por isso, respostas urgentes.

A erosão hídrica do solo é um problema crítico com uma vasta expressão territorial, que requer soluções a curto prazo. Assim, estudos sobre as relações entre o local e as consequências externas da erosão do solo são essenciais para uma compreensão holística do problema, permitindo uma avaliação adequada das consequências/custos económicos e ambientais, quer *in-site* quer *off-site*. Desse modo, as políticas futuras de conservação do solo devem procurar identificar os padrões espaciais relacionados com o coberto vegetal, no intuito de reduzir a conectividade nos processos hidrossedimentares. A contribuição da erosão do solo no ciclo do carbono e as consequências das mudanças climáticas na erosão hídrica e no transporte de materiais são outras questões-chave que merecem uma investigação mais aprofundada.

Referências bibliográficas

- Belmonte Serrato, F., Romero Díaz, A., López Bermúdez, F. (1999). Efectos sobre la cobertura vegetal, la escorrentía y la erosión del suelo, de la alternancia cultivo-abandono en parcelas experimentales. *Investigaciones Geográficas*, Alicante, Junio-Diciembre, 95-107.
- Bertonni, J., Lombardi Neto, F. (1990). *Conservação do Solo*. Editora Ícone, São Paulo, Brasil
- Bhattarai, R., Dutta, D. (2008). A comparative analysis of sediment yield simulation by empirical and process-oriented models in Thailand. *Hydrol. Sci. J.* 53(6), 1253–1269.
- Bingner, R.L. (2001). AnnAGNPS: Estimating sediment yield by particle size for sheet & rill erosion. In: Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference, March 25-29, 2001, Reno, Nevada. vol. 1, Sediment and flow modeling, 1-7.
- Borrelli, P., Van Oost, K., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., & Panagos, P. (2018). A step towards a holistic assessment of soil degradation in Europe: Coupling on-site erosion with sediment transfer and carbon fluxes. *Environmental research*, 161, 291-298.
- Brevik, E.C., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J.N., Six, J., Van Oost K. (2015). The interdisciplinary nature of soil. *Soil*, 1, 117–129.
- Bridges, E.M., Oldeman L.R. (1999). Global assessment of human-induced soil degradation. *Arid Soil Res Rehabil*, 13 (4), 319-325
- Carvalho, T., Coelho, C., Ferreira, Louina, A., Nafaa, R., Hamza, A. (1999). MEDCHANGE: Os efeitos das mudanças no uso da terra e nas técnicas de manejo em sistemas agro-silvo-pastoris, sobre os processos de degradação do solo. Processos hidrológicos e erosivos decorrentes dos usos do solo e técnicas de manejo. *Actas da VI Conferência Nacional sobre Qualidade do Ambiente*, Lisboa, 95-103.
- Casermeiro, M., Molina, J., Caravaca, M., Costa, J., Massanet, M., Moreno, P. (2004). Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean climate. *Catena*, 57, 91-107.
- Ceballos, A. (1999). *Procesos hidrológicos en una pequeña cuenca hidrográfica bajo explotación de Dehesa en Extremadura*. Universidad de Extremadura, Cáceres, 196 p.
- Ceballos, A., Cerdà, A., Schnabel, S. (2003). Runoff production and erosion processes on Dehesa in western Spain. *The Geographical Review*, 92 (3), 335-353.
- Cerdà, A. (1999). Simuladores de lluvia y su aplicación a la Geomorfología. Estado de la cuestión. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 26, Logroño, 45-84.
- Cerdà, A., Ibáñez, S., Calvo, A. (1997). Design and operation of a small portable rainfall simulator for rugged terrain. *Soil Technology*, 11, 163-170.
- Cerdà, A., Schnabel, S., Ceballos, A., Amelia, D. (1998). Soil hydrological response under simulated rainfall in the Dehesa land system (Extremadura, SW Spain) under drought conditions. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, 195-209.
- Cerdan, O., Govers, G., Le Bissonnais, Y., Van Oost, K., Poesen, J., Saby, N., Gobin, A., Vacca, A., Quinton, J., Auerwald, K., Klik, A., Kwaad, F. J. P. M., Raclot, D., Ionita, I., Rejman, J., Rousseva, S., Muxart, T., Roxo, M. J., and Dostal, T. (2010). Rates and spatial variations of 15 soil erosion in Europe: a study based on erosion plot data. *Geomorphology*, 122, 167–177.
- Coelho, C. O. A., Ferreira, A. J. D., Louina, A., Boulet, A. K., Chaker, M., Nafaa, R., Naciri, R., Regaya, K., Hamza, A., Carvalho, T. M. M., Keizer, J. J. (2004). Changes in land-use and their impact on erosion rates and over flow generation in the Mabreh region. *Revue des Sciences de L'Eau*, 17 (2), 163-180.

- Coelho, C. O. A., Shakesby, R. A., Walsh, R. P. D., Ferreira, A., Terry, J. (1995). *Soil and Groundwater Research Report V- Effects of forest fires and post-fire land management practices on soil erosion and stream dynamics, Águeda basin, Portugal*. Luxemburg: European Commission (Environment Research Programme), 91 p.
- Coelho, C., Ferreira, A., Baake, M., Keizer, J. (2002). Impacts of prescribed shrubland fire and forest wildfire on overland flow and soil erosion generation processes. In Rubio, J. L., Morgan, R. P. C., Asins, S., Andreu, V. (Eds.), *Proceedings of the third international congress man and soil at third millennium*, Geofoma Ediciones, Logroño, 1485-1495.
- Coelho, C., Shakesby, R., Walsh, R., Ferreira, A., Terry, J. (1990). Forest land use changes in northern Portugal: effects on soil erosion rates and soil water dynamics. *Proceedings of seminar on Interaction between agricultural systems and soil conservation in mediterranean belt*, September, 4-8, 20 p.
- Comissão das Comunidades Europeias (2002). *Estratégia temática para a protecção e uso sustentável do solo* Bruxelas, COM (2002), 179 final.
- DeRoo, A.P.J., Wesseling, C.G., Ritsema, C.J. (1996). LISEM: A single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I: Theory, input and output. *Hydrol. Processes* 10, 1107-1117.
- FAO ITPS (2015). *Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report*. (Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils).
- Ferreira, C. G. (1996/97). Erosão hídrica em solos florestais - estudo em povoamentos de *Pinus pinaster* e *Eucalyptus globulus* em Maceira de Alcôba - Águeda. *Revista da Faculdade de Letras, Geografia*, Porto, 145-244.
- Fialho, J., Lourenço, L. (2007). O papel dos socacos na erosão e deposição. Exemplos de bacias hidrográficas afluentes aos rios Alva e Alvoco (serras do Açor e Estrela). In *Riscos Ambientais e Formação de Professores*. Colectânea Cindínica VII, Coimbra: Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais, 151-197,
- Flanagan, D.C. & Nearing, M.A. (ed.) (1995). USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP): Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. NSERL Report No. 10, National Soil Erosion Research Laboratory. USDA ARS, West Lafayette, Indiana, USA.
- Foster, G.R. (2005). Revised Universal Soil Loss Equation, version 2 (RUSLE2), Science Documentation, draft. USDA-Agricultural Research Service Washington, D.C., USA.
- Frei, C., Christensen, J.H., Dequé, M., Jones, R.G., Vidale, P.L. (2003). Daily precipitation statistics in regional climate models: evaluation and intercomparison for the European alps. *Journal of Geophysical Research* 108 (D3), 4124.
- García-Ruiz, J.M., Beguería, S., Lana-Renault, N., Nadal-Romero, E., Cerdà, A. (2017). Ongoing and Emerging Questions in Water Erosion Studies. *Land Degrad. Develop.* 28, 5–21.
- Gerlach, T. (1967). Hillslope troughs for measuring sediment movement. *Révue Géomorphologie Dynamique* 4, 173 p.
- Gobin, A., Govers, G., Jones, R., Kirkby, M., Kosmas, C. (2002). *Assessment and reporting on soil erosion. Background and workshop report*. European Environment Agency, 131 p.
- Grimm M, Jones R, Montanarella L. (2002). *Soil Erosion Risk in Europe*. European Soil Bureau Institute for Environment & Sustainability JRC Ispra, European Commission.
- Guerra, A. J. T., Cunha, S. B. (Org.) (2003). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.
- Guerra, A.J.T., Silva, A.S., Botelho, R.G.M. (Org.) (2005). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 339 p.

- Hickey, R. (2000). Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS. *Cartography* 29, 1, 1-8.
- Imeson, A. & Curfs, M. (s/d) - Erosão do Solo. Lucinda, disponível em:
http://www2.icnf.pt/portal/pn/biodiversidade/ei/unccd-PT/ond/lucinda/b1_booklet_final_pt_rev3.
- Janssen, M. A., Kohler, T.A., Scheffer, M. (2003). Sunk-cost effects of vulnerability to collapse in ancient societies. *Current Anthropology* 44, 722-728.
- Kinnell, P.I.A. (2005). Raindrop-impact-induced erosion processes and prediction: a review. *Hydrol. Processes* 19 (14), 2815-2844.
- Kinnell, P.I.A. (2008). Sediment delivery from hillslopes and the Universal Soil Loss Equation: some perceptions and misconceptions. *Hydrol. Processes* 22, 3168-3175.
- Kirkby, M.J., Jones, R.J.A., Irvine, B., Gobin, A, Govers, G., Cerdan, O., Van Rompaey, A.J.J., Le Bissonnais, Y., Daroussin, J., King, D., Montanarella, L., Grimm, M., Vieillefont, V., Puigdefabregas, J., Boer, M., Kosmas, C., Yassoglou, N., Tsara, M., Mantel, S., Van Lynden, G.J. and Huting, J. (2004). Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73 (S.P.I.04.73). European Soil Bureau Research Report No.16, EUR 21176, 18 p. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Kirkby, M.J., Abrahart, R., McMahon, M.D., Sao, J., Thornes, J.B. (1998). MEDALUS soil erosion models for global change. *Geomorphology* 24, 35-49.
- Knighton, D. (1998). Fluvial Forms and Processes. A new Perspective. London, New York.
- Lasanta, T., García-Ruiz, J., Rontomé, C., Marcén, C. (2000). Runoff and sediment yield in a semi-arid environment: the effect of the land management after farmland abandonment. *Catena* 38, 265-278.
- Lopes, P. M. S., Cortez, N., Goulão, J. N. P. (2001). Erosão hídrica em cambissolos da região da Beira Baixa. Algumas diferenças estatísticas entre anos secos e anos chuvosos relativamente aos factores C e K da USLE. *Revista de Ciências Agrárias*, XXIV, nº 3/4, Jul./Dez., Lisboa, 315-323.
- López Bermúdez, F. (1996). La degradación de tierras en ambientes áridos y semiáridos. Causas y consecuencias. In Lasanta, T. & García-Ruiz, J. M. (Eds.), *Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales*, Instituto de Estudios Riojanos, Sociedad Española de Geomorfología, Logroño, 51-72.
- López Bermúdez, F., Romero Díaz, A., Martínez Fernández, J. (1991). Soil erosion in a semi-arid Mediterranean environment. El Ardal experimental field (Murcia, Spain). In Sala, M., Rubio, J. L., García-Ruiz, J. M. (Eds.), *Soil erosion studies in Spain*. Geoforma Ediciones, Logroño, 137-152.
- Lourenço L., Nunes A., Bento Gonçalves A., Vieira A. (2012). *Soil Erosion After Wildfires in Portugal: What Happens When Heavy Rainfall Events Occur?*, In: Godone D., Stanchi S. Editors. Research on Soil Erosion, InTech, 65-88.
- Lourenço, L. (1989). Erosion of agro-florestal soil in mountains affected by fire in Central Portugal. *Pirineos* 133, Jaca, 55-76.
- Meneses B. M. (2011). Erosão Hídrica de Solos. Caso de Estudo do Concelho de Tarouca. Diss. Mestrado, FCSHUNL, 117 p.
- Montgomery, D.R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 104(33), 13268-13272.
- Moody, J. A., Shakesby, R. A., Robichaud, P. R., Cannon, S. H., and Martin, D. A. (2013). Current research issues related to post-wildfire runoff and erosion processes. *Earth-Science Reviews* 122, 10-37.
- Morgan, R.P.C. (2005). Soil Erosion and Conservation. 3rd edition. Blackwell.
- Morgan. R.P.C., Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, W.A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M.E. (1998). The European Soil Erosion Model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surf. Processes Landf.* 23, 527-544.

- Muñoz, D. R. & Gallego, F. G. (1996). Evolución de la respuesta hidrológica de un área arcillosa acarcavada, en relación con el estado físico superficial mediante experiencias de simulación de lluvia. In Anglade, G. & Valcarlos, P. (Eds.), *IV Reunión de Geomorfología*, A Coruña, 79-89.
- Nearing, M. A., Bradford, J. M., Parker, S. C. (1991). Soil detachment by shallow flow at low slopes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55(2), 339-344.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R. (2005). Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Theoretical Documentation – version 2005. Blackland Research Center, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, Temple, TX, USA.
- Nunes A. N., Almeida A. C. & Coelho, C. O. A. (2011). Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal. *Applied Geography* 31 (2), 687-699.
- Nunes, A. (2008). *Abandono do espaço agrícola na “Beira Transmontana”*. Iberografias 13, Ed. Campo das Letras SA, 430 p.
- Nunes, A. N., Coelho, C. O. A., Almeida, A. C. & Figueiredo, A. (2010). Soil erosion and hydrological response to land abandonment in a central Inland area of Portugal. *Land Degradation & Development* 21 (3), 260-273.
- Nunes, A., Lourenço, L. (2017). Increased vulnerability to wildfires and post fire hydro-geomorphic processes in Portuguese mountain regions: what has changed? Example of Piódão and Pomares basins. *Open Agriculture* 2 (1), 70-82
- Oldeman, L.R. (1992). *Global Extent of Soil Degradation*. Published ISRIC Bi-Annual Report 1991-1992, 19-36. ISRIC. P.O. Box 353. 6700 AJ Wageningen.
- Panagos P, Borrelli P, Poesen J, Ballabio C, Lugato E, Meusburger K, Montanarella L, Alewell C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy* 54, 438-447.
- Pardini, G., Gispert, M., Dunjó, G. (2003). Runoff erosion and nutrient depletion in five Mediterranean soils of NE Spain under different land use. *The Science of the Total Environment* 309, 213-224.
- Porta, J., López-Acevedo, M., Roquero, C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa, 2ª edición revisada y ampliada, Madrid, 849 p.
- Renard, K. & Freimund, J. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in revised USLE. *Journal of Hydrology* 157, 287-306.
- Renard, K. G., Foster, G. A., Weesies, G. A., McCool, D. K. & Yoder, D. C. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). USDA Agricul.Handbook 703. Agricultural Research Service, Washington, DC, USA.
- Rodrigo Comino, J., Brings, C., Lassu, T., Iserloh, T., Senciales, J. M., Martínez Murillo, J. F., Ruiz Sinoga, J. D., Seeger, M., and Ries, J. B. (2015) Rainfall and human activity impacts on soil losses and rill erosion in vineyards (Ruwer Valley, Germany). *Solid Earth* 6, 823-837.
- Rodrigo Comino, J., Iserloh, T., Morvan, X., Malam Issa, O., Naisse, C., Keesstra, S., ... & Ramos, M. (2016). Soil Erosion Processes in European Vineyards: A Qualitative Comparison of Rainfall Simulation Measurements in Germany, Spain and France. *Hydrology* 3 (6), 19 p.
- Romero-Díaz, A., Cammeraat, L. H., Vacca, A., Kosmas, C. (1999). Soil erosion at three experimental sites in the Mediterranean. *Earth Surface Processes and Landforms* 24, 1243-1256.
- Roxo, M. (2001). O centro experimental de erosão de Vale Formoso, Mértola. Estudos experimentais de erosão hídrica de solos. *Metodologias de Estudo de Processos de Erosão dos Solos*, Porto, 32-45.
- Roxo, M. J. (1994). *A acção antrópica no processo de degradação de solos - a Serra de Serpa e Mértola*. Diss. Doutoramento, Universidade Nova de Lisboa, 387 p.
- Schmidt, J., VonWerner, M., Michael, A. (1999) Application of the EROSION 3D model to the CAT-SOP watershed, The Netherlands. *Catena* 37, 449-456.

- Seeger, M. & Ries, J. B. (2001). Runoff generation on abandoned fields in the Central Ebro basin- Results from modelling. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 27, Logroño, 79-93.
- Shakesby, A., Coelho, C., Ferreira, A., Terry, J., Walsh, D. (1993). Wildfire impacts on soil erosion and hydrology in wet Mediterranean forest, Portugal. *Journal Wildland Fire*, IAWF, 95-110.
- Ternan, J., Elmes, A., Tanago, M., Williams, A., Blanco, R. (1997). Conversion of matorral land to *Pinus* forest: some hydrological and erosional impacts. *Méditerranée* 12, 77-84.
- Tricart, J. (1965). Principes et méthodes de la géomorphologie, Masson et Cie. Ed., Paris.
- vanOost, K., Govers, G., Desmet, P. (2000). Evaluating the effect of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecol.* 15, 577-589.
- Vanwalleghe, T., Gómez, J.A., Infante Amate, J., González de Molina, M., Vanderlinden, K., Guzmán, G., Laguna, A., Giráldez, J.V. (2017). Impact of historical land use and soil management change on soil erosion and agricultural sustainability during the Anthropocene. *Anthropocene* 17, 13-29.
- Verdú, J., Batalla, R., Poch, R. (2000). Dinámica erosiva y aplicabilidad de modelos físicos de erosión en una cuenca de montaña mediterránea (Ribera Salada, Cuenca del Segre, Lleida, España). *Pirineos*, 155, 37- 57.
- Weill, M. A. M., Pires Neto, A. G. (2007). Erosão e assoreamento. In: SANTOS, R. F. (Org.). Vulnerabilidade ambiental. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 39-58.
- Wischmeier, W. & Smith, D. (1978) - *Predicting rainfall erosion losses: a Guide to conservation planning*. Department of Agriculture Handbook, N.º 537, USDA, Washington.
- Wischmeier, W.H. (1959) A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil-Loss Equation. *Soil Science Society of America Proceedings* 23, 246-249.
- Yassoglou, N., Montanarella, L., Govers, G., Van Lynden, G., Jones, R.J.A., Zdruli, P., Kirkby, M., Giordano, A., Le Bissonnais, Y., Daroussin, J., King, D. (1998). *Soil Erosion in Europe*. European Soil Bureau. Technical Report for DG XI.
- Zhao G., Mu X., Wen Z., Wang F., Gao P. (2013). Soil erosion, conservation, and eco-environment changes in the loess plateau of China. *Land Degrad. Dev.* 24(5), 499–510.

CONCLUSÃO

Adélia Nunes

Departamento de Geografia e Turismo da Faculdade de Letras
CEGOT e RISCOS, Universidade de Coimbra, Portugal
ORCID: 0000-0003-3927-0748 adelia.nunes@ci.uc.pt

O contributo do ser humano, através das suas ações e atividades, constitui um elemento comum quando analisados os riscos mistos de componente ambiental, ampliando, de forma inequívoca, as suas causas e consequências. Acresce, por outro lado, os cenários futuros de mudanças climáticas, e a incerteza dos seus efeitos na amplificação dos riscos analisados.

Torna-se, por conseguinte, urgente e prioritário reduzir o risco através de esforços sistemáticos destinados a analisar e a gerir os fatores causadores deste tipo de catástrofes, assim como reconhecer a(s) vulnerabilidade(s), no intuito de proteger, de forma mais eficaz, as pessoas, as comunidades e os países, bem como os meios de subsistência, o património cultural e socioeconómico e os ecossistemas, incrementando, deste modo, a sua resiliência.

Assim, para alcançar tal desiderato, exige-se a implementação de medidas e ações integradas e o comprometimento de todos na salvaguarda dos recursos naturais. Neste contexto, emerge a necessidade de consciencialização da sociedade e das instituições sobre a complexidade destes fenómenos e das suas consequências, comprometedores do desenvolvimento social, económico, ambiental, cultural sustentável.

Torna-se, pois, necessário e urgente, neste contexto, integrar, na educação formal e na aprendizagem ao longo da vida, os conhecimentos, valores e habilidades necessárias para a redução do risco e para a promoção de modos de vida sustentáveis.

Embora os fatores de risco, aqui abordados, possam ser locais, nacionais, regionais ou globais, necessitam de ser compreendidos, para determinar as medidas de prevenção/redução a aplicar, requerendo novas formas de pensar e agir, mas também uma articulada cooperação e complementaridade entre os diferentes atores, nos planos local, nacional, regional e global, explorando as sinergias e interdependências entre as respetivas competências e estratégias. Na expectativa de que o presente livro sirva de inspiração a mais investigadores e decisores a participarem na

crescente avaliação e gestão dos riscos mistos, é também nosso desejo, através dos conteúdos aqui vertidos, facultar instrumentos metodológicos e pedagógicos que possam ser utilizados em atividades de investigação e educação, assim como promover competências pessoais, fundadoras de uma cidadania mais ativa, participada e informada, para uma prevenção e gestão mais eficaz dos riscos, e em simultâneo capazes de promover os valores e princípios da sustentabilidade.

Na expectativa de que o presente livro sirva de inspiração a mais investigadores e decisores a participarem na crescente avaliação e gestão dos riscos mistos, é também nosso desejo, através dos conteúdos aqui vertidos, facultar instrumentos metodológicos e pedagógicos que possam ser utilizados em atividades de investigação e educação, assim como promover competências pessoais, fundadoras de uma cidadania mais ativa, participada e informada, para uma prevenção e gestão mais eficaz dos riscos, e em simultâneo capazes de promover os valores e princípios da sustentabilidade.

SÉRIE
RISCOS E CATÁSTROFES

Títulos Publicados:

- 1 *Terramoto de Lisboa de 1755. O que aprendemos 260 anos depois?*
- 2 *Sociologia do Risco;*
- 3 *Geografia, paisagem e riscos;*
- 4 *Geografia, cultura e riscos;*
- 5 *Alcáçache. 30 anos depois;*
- 6 *Riscos e crises. Da teoria à plena manifestação;*
- 8 *Catástrofes antrópicas. Uma aproximação integral;*
- 9 *Catástrofes mistas. Uma perspectiva ambiental.*

Tomos em preparação:

- 7 *Catástrofes naturais. Uma abordagem global;*
- 10 *Riscos inerentes à rotura de barragens de acumulação de rejeitos de mineração;*
- 11 *Contributos da Ciência para a Redução do Risco;*
- 12 *Contributos da Educação para a Redução do Risco;*
- 13 *Contributos da Formação para a Redução do Risco.*

(Página deixada propositadamente em branco)

I
IMPRENSA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA
COIMBRA UNIVERSITY PRESS
U

RISCOS
E CATASTROFES

1290



UNIVERSIDADE D
COIMBRA