

# 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](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](mailto: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

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

(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)

## RISCOS DE SALINIZAÇÃO DO SOLO SOIL SALINIZATION RISKS

**Maria da Conceição Gonçalves**

Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I. P., Portugal  
ORCID: 0000-0002-5980-0294    maria.goncalves@iniav.pt

**José Casimiro Martins**

Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I. P., Portugal  
j.casimiromartins@sapo.pt

**Tiago Brito Ramos**

MARETEC, Instituto Superior Técnico, Portugal  
ORCID: 0000-0002-7823-4048    tiagobramos@tecnico.ulisboa.pt

**Sumário:** A salinização é um dos principais processos de degradação do solo a nível mundial. Em Portugal, este problema está limitado às zonas costeiras afetadas pelas marés (sapais) e a algumas áreas regadas no sul do País (Alentejo). Contudo, o aumento da área regada e as perspetivas de mudanças climáticas para as próximas décadas, nomeadamente o aumento das temperaturas e da concentração de sais solúveis da água de rega, podem levar a um acréscimo da área afetada por aquele problema em Portugal e a uma crescente degradação dos solos. Descrevem-se as principais causas de salinização/sodização dos solos, os indicadores mais relevantes e as classificações mais utilizadas para solos salinos e sódicos. Indicam-se também as principais áreas afetadas em Portugal, quer por salinização natural, quer por salinização secundária. Revêem-se, ainda, alguns dos principais estudos no âmbito da cartografia de solos salinos, do aproveitamento dos solos salinos e sódicos e do uso de águas de

rega de má qualidade realizados em Portugal, nas últimas décadas. Finalmente são referidos os principais métodos para prevenir e recuperar a salinização/sodização dos solos.

**Palavras-chave:** Salinidade, sodicidade, água salina, indicadores, modelação.

**Abstract:** Soil salinization is a major land degradation process. In Portugal, this problem is limited to salt marshes in western and southern coastal regions and some irrigated areas in the south of the country (Alentejo). However, the increase of the irrigated area and the prospects of climate change in the coming decades, including rising temperatures, can aggravate salt concentration in the soil profile and increase the degraded area in Portugal. This paper describes the main causes of soil salinization/sodification, the most relevant indicators, and the most used classifications. The main areas in Portugal affected by either natural or secondary salinization are also indicated. Some of the most relevant studies carried out in Portugal on saline soil mapping, the use of saline and sodic soils, and the use of poor quality water for irrigation, are also reviewed. Finally, the main methods to prevent and recover saline/sodic soils are discussed.

**Keywords:** Salinity, sodicity, saline water, indicators, modelling.

## Introdução

O solo é um sistema vivo, que presta serviços essenciais para a sobrevivência da sociedade e dos ecossistemas. É um recurso não renovável na medida em que as taxas de degradação podem ser rápidas, enquanto os processos de formação e de regeneração são extremamente lentos (EC, 2002). A degradação dos solos agrícolas é um processo em curso na União Europeia, sendo mais acentuada

nos países do leste europeu e da zona mediterrânica, por razões climáticas (Tóth *et al.*, 2008). A salinização é um dos processos de degradação do solo referenciados na Estratégia Temática para a Proteção do Solo (EC, 2006), que conduz ao aumento da concentração de sais solúveis no solo e na solução do solo, para níveis prejudiciais às plantas. Entre os sais acumulados incluem-se os de sódio (em regra os mais importantes) e os de cálcio, magnésio e potássio, especialmente na forma de cloretos, mas também de sulfatos.

Quando o ião  $\text{Na}^+$  ganha preponderância no complexo de troca do solo (processo de sodização), o solo pode mesmo perder uma ou mais das suas funções e conduzir à desertificação (UNCCD, 1994). A dinâmica do sódio está associada à dinâmica dos outros catiões, nomeadamente do cálcio e do magnésio.

Nos solos salinos, as culturas são afetadas quer por efeitos tóxicos específicos quer pelo elevado potencial osmótico da solução do solo, que reduzem a capacidade de extração de água do solo pelas plantas (Ayers e Westcot, 1985). Nos solos sódicos, os teores elevados de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  de troca propiciam a degradação da estrutura do solo. A acumulação destes catiões dispersivos promove a expansão e/ou a dispersão da argila, alterando a geometria dos poros do solo que, por outro lado, afecta a permeabilidade intrínseca do solo, a retenção de água e a produtividade das culturas (Keren, 2000). A degradação da estrutura do solo pode também ser causada por um teor extremamente baixo de  $\text{Ca}^{2+}$ . De facto, a aplicação de águas com um teor baixo em sais solúveis pode provocar um problema análogo ao anterior, embora relacionado com a natureza corrosiva da água de salinidade muito baixa, como a água da chuva, dado que esta dissolve e arrasta a maior parte dos sais solúveis do solo superficial (Ayers e Westcot, 1985).

A introdução de regadio, nomeadamente em zonas de clima árido, semi-árido e ocasionalmente sub-húmido seco, tem conduzido a numerosos problemas de salinização do solo por estes não disporem de condições de drenagem adequadas de modo a garantir as necessidades de lixiviação dos sais do solo (Sentis, 1996). Mais de 10% da superfície terrestre emersa é afetada por algum tipo de salinização, com tendência a aumentar devido a fatores naturais, mas principalmente à intervenção humana, através do regadio, da deflorestação e do sobrepastoreio, os quais podem conduzir à desertificação (Szabolcs, 1989). As mudanças climáticas dos últimos anos, por aumento da temperatura e da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera, podem

interferir também na salinização dos solos, na medida em que o uso da água pelas plantas é potencialmente influenciada por concentrações elevadas de CO<sub>2</sub>, conduzindo a uma menor condutância estomática e a um aumento das taxas fotossintéticas (Kirschbaum *et al.*, 1996). Nestas condições, especialmente nas regiões mais quentes e secas, a água do solo, associada aos sais dissolvidos e existentes nas camadas profundas do solo, sofrerá um maior movimento ascensional capilar de que poderá resultar a acumulação de sais (salinização) nas camadas superficiais dos solos.

### Natureza e origem da salinização do solo

A acumulação de sais no solo deve-se à existência de uma fonte de sais e à insuficiência de precipitação e/ou de drenagem que permitam a sua lixiviação. Algumas das causas são naturais (salinização primária) e outras resultam de processos induzidos pelo homem (salinização secundária), nomeadamente através das práticas inadequadas de rega e de drenagem e ainda do uso de águas de rega de má qualidade (Kibblewhite *et al.*, 2008).

As causas naturais mais comuns de salinização/sodização são a presença de aquíferos de origem marinha, a ação direta das marés em regiões costeiras, a deposição de sais marinhos transportados pelo vento, a transferência de água salina para zonas de menor cota com drenagem limitada (repasses), o fluxo capilar ascensional de águas freáticas e subterrâneas como consequência de evapotranspiração em zonas de clima árido e semiárido. Por outro lado, a sodização resulta nomeadamente da meteorização de rochas com minerais ricos em Na (Keren, 2000).

De entre as principais causas secundárias destacam-se o uso de solos impróprios ou mal adaptados para a prática do regadio (com baixa condutividade hidráulica e sem sistemas de drenagem), a rega com água rica em sais solúveis, a má condução da rega (dotações de rega inadequadas, distribuição irregular da água, subida da toalha freática), o uso intensivo de fertilizantes ou correctivos, particularmente em condições de limitada lixiviação, e o uso de águas residuais ou produtos salinos de origem industrial (Ghassemi *et al.*, 1995).



## Extensão da salinização

Chhabra (1996) refere que a área total afetada por salinização e sodização, a nível mundial, rondará os 1000 Mha, com incidência, por ordem decrescente de importância, na Austrália, Ásia, América do Sul e África (TABELA I). Na Europa, a salinização e a sodização do solo afetam, numa extensão considerável, a Áustria, Croácia, Bósnia-Herzegovina, Bulgária, Eslováquia, Espanha, França, Grécia, Hungria, Itália, Portugal, Roménia, Rússia, Sérvia e Ucrânia (fig. 1), totalizando cerca de 50 Mha (Szabolcs, 1996).

**TABELA I** - Distribuição mundial dos solos salinos e sódicos

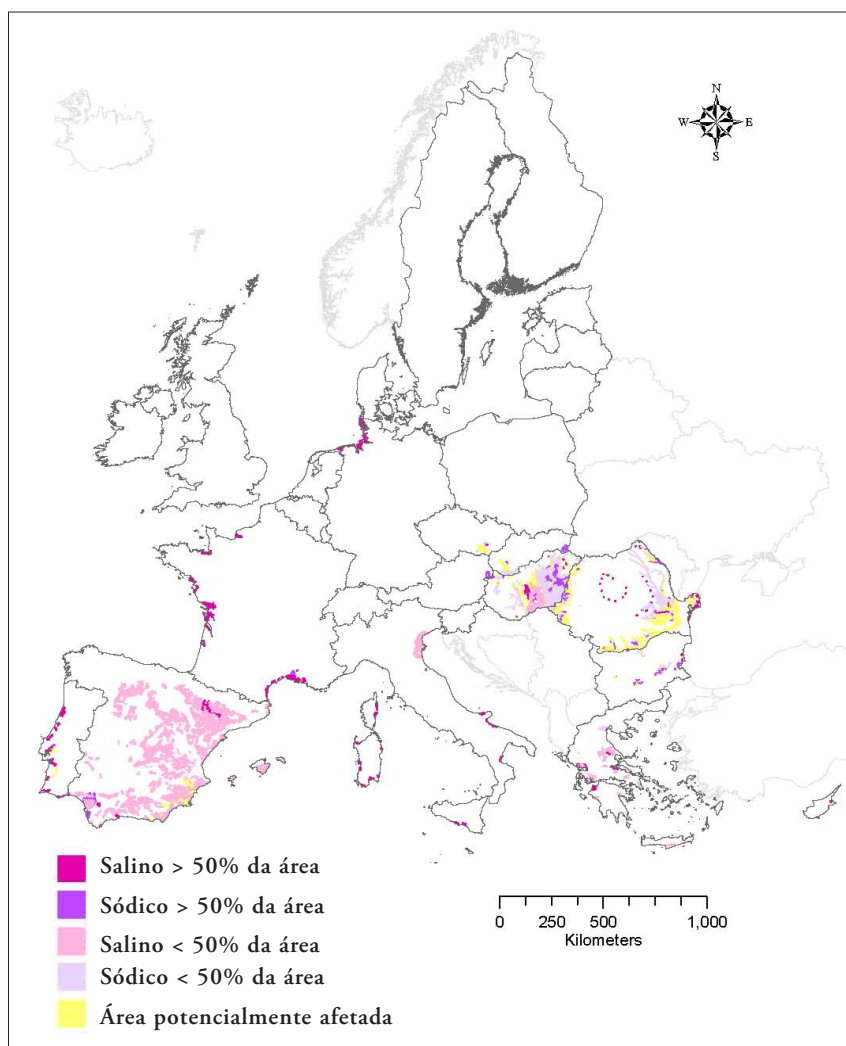
*TABLE I - Worldwide distribution of saline and sodic soils.*

Região	Área (milhões de hectares)		
	Salinos	Sódicos	Total
América do Norte	6,2	9,6	15,8
América Central	2,0	-	2,0
América do Sul	69,4	59,6	129,0
África	53,5	27,0	80,5
Ásia do Sul	83,3	1,8	85,1
Ásia do Norte e Central	91,6	120,1	211,7
Sudeste Asiático	20,0	-	20,0
Europa	7,8	22,9	30,7
Australásia	17,4	340,0	357,4
Total	351,5	581,0	932,2

Fonte/Source: Szabolcs, 1989.

Na região mediterrânica, a degradação da terra associada à salinização do solo pode agravar-se a taxas crescentes nas próximas décadas, devido ao aumento previsto das áreas regadas e à escassez crescente de águas de boa qualidade, donde emerge a necessidade de serem tomadas medidas preventivas (Bowyer *et al.*, 2009).

Em Portugal, os solos salinos distribuem-se principalmente nas regiões costeiras oeste e sul, em zonas de cota baixa, nomeadamente nas margens de rios e estuarinas, mas também podem encontrar-se solos afetados por sais em algumas áreas agrícolas regadas localizadas em zonas de clima semi-árido do interior do País (Alentejo).



**Fig. 1** - Distribuição dos solos salinos e sódicos na União Europeia (Fonte: Tóth *et al.*, 2008).

*Fig. 1* - Distribution of saline and sodic soils in the European Union (Source: Tóth *et al.*, 2008).

Também existem solos sódicos no interior alentejano, em correspondência com rochas básicas e ultrabásicas (Monteiro, 2004).

A área total de solos salinos em Portugal Continental é estimada em 150000 ha, dos quais cerca de 100000 ha de salinização primária ou natural (Marado e

Cardoso, 1969), maioritariamente relacionados com toalhas freáticas marinhas e/ou efeitos de maré. Cerca de 50000 ha serão solos afetados por sais, de origem antrópica, resultante do uso de águas de má qualidade e de práticas de rega e de drenagem inadequadas, de que pode resultar a existência de horizontes ou camadas com uma concentração moderada a alta de sais solúveis em determinadas épocas do ano (Verão e/ou Outono). Estas áreas, localizadas maioritariamente no Alentejo, onde as condições climáticas e o tipo de solos - em muitos casos com drenagem interna deficiente devido à baixa permeabilidade do horizonte B argílico que condiciona a lixiviação dos sais solúveis veiculados pela água de rega - propiciam riscos de salinização/sodização do solo que deverão ser prevenidos por contínua monitorização.

Embora em Portugal este problema esteja limitado às zonas costeiras afetadas pelas marés (sapais) e a algumas áreas regadas no sul do País, o aumento da área regada e as perspetivas de mudanças climáticas para as próximas décadas, nomeadamente o aumento das temperaturas, podem levar a um acréscimo da área afetada por aquele problema e a uma crescente degradação dos solos.

## **Indicadores da salinidade e da sodicidade do solo**

As determinações de sais solúveis mais fiáveis realizam-se em extratos aquosos do solo, sendo que quanto mais baixa for a relação solo/água, mais fácil é a separação do extracto, mas menos representativo este é da solução que, no solo, está em contacto com as raízes das plantas. O extrato ideal seria obtido a valores de humidade do solo compreendidos entre o coeficiente de emurchecimento permanente e a capacidade de campo, mas a dificuldade de obter tais extratos torna impraticável o seu uso em análises de rotina (Richards, 1954).

O extrato de uso mais frequente em estudos de salinidade do solo é o extrato de saturação, obtido a partir de uma pasta de solo saturada (Bresler *et al.*, 1982), pois apresenta as vantagens de ser um método de preparação fácil e reproduzível, e de estar ainda relativamente próximo da gama de teores de humidade de campo, com os quais aliás tem certa relação, pois em muitos solos o teor de água da pasta

saturada é aproximadamente o dobro da capacidade de campo e o quádruplo do coeficiente de emurchecimento (Richards, 1954). Assim, as medições de salinidade em extrato de saturação têm em conta as propriedades de retenção de água do solo em condições de campo e fornecem uma indicação realista das condições a que as plantas estão sujeitas. No entanto, recorre-se, por vezes, a extratos 1:1, 1:2 ou 1:5 (Brady e Weil, 2008), aproximando-se o primeiro das condições da pasta saturada em certos solos argilosos, mas deve ter-se em atenção que não só a concentração mas também a composição iónica destes extratos é afetada pela proporção água/solo.

As determinações que geralmente se fazem no extrato de saturação para diagnóstico de salinidade do solo englobam a condutividade elétrica no extrato de saturação ( $EC_e$ ) e o doseamento de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$  e B. A  $EC_e$  apresenta uma elevada correlação positiva com a concentração total de cations ou anions e com o potencial osmótico dos extratos aquosos do solo. Usam-se com frequência as seguintes relações:

$$\text{Teor de sais (g L}^{-1}\text{)} = a \times EC_e \text{ (dS m}^{-1}\text{)}$$

em que  $a$  assume o valor de 0,85 para extratos que contêm principalmente  $Ca^{2+}$  e  $SO_4^{2-}$ , 0,64 para extratos que contêm  $Ca^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Na^+$  e  $Cl^-$  e 0,48 para extratos que contêm principalmente NaCl (Keren, 2000).

$$\text{Concentração total de cations (mmol}_c\text{ L}^{-1}\text{)} = b \times EC_e \text{ (dS m}^{-1}\text{)}$$

em que  $b$  assume valores de 12,5, 10 e 8 consoante o extrato contém principalmente gesso, gesso e cloreto de sódio, ou cloreto de sódio (Keren, 2000).

$$\text{Potencial osmótico (MPa)} = -0,036 \times EC_e \text{ (dS m}^{-1}\text{)}$$

Desta expressão se deduz que um solo com uma  $EC_e$  de cerca de 20 dS m<sup>-1</sup>, que corresponde a um valor de cerca de 40 dS m<sup>-1</sup> à capacidade de campo (Richards, 1954), não tem praticamente água disponível para as plantas, visto que o potencial osmótico da água se aproxima de 1,5 MPa (o potencial considerado equivalente ao coeficiente de emurchecimento permanente).

Além das determinações feitas no extrato de saturação, o diagnóstico da salinidade do solo é em geral completado com as determinações do pH em água, dos cations de troca e da capacidade de troca catiónica (CTC).

O indicador mais relevante para diagnóstico de solos sódicos ou alcalizados é a percentagem de sódio de troca (ESP), que consiste na razão entre o  $\text{Na}^+$  de troca e a CTC:

$$\text{ESP (\%)} = \frac{[\text{Na}^+_{\text{troca}}] (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1})}{\text{CTC} (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1})} \times 100$$

Há que referir que o grau de saturação do complexo de troca com sódio depende da composição da solução do solo e está relacionado com a razão de adsorção de sódio (SAR), pelo que a SAR pode ser utilizada como indicador alternativo da sodização do solo, sendo obtida através da expressão:

$$\text{SAR}((\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{0.5}) = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{\frac{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]}{2}}},$$

em que  $[\text{Na}^+]$ ,  $[\text{Ca}^{2+}]$  e  $[\text{Mg}^{2+}]$  representam as concentrações destes catiões solúveis em  $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ .

A relação entre a ESP e a SAR (Richards, 1954) é expressa por:

$$\text{ESP} = \frac{100 (-0,0126 + 0,01475 \text{ SAR})}{1 + (-0,0126 + 0,01475 \text{ SAR})}.$$

A avaliação do risco de sodização ou alcalização do solo deve ter em consideração vários aspectos como a textura, o tipo de mineral da argila, a soma da percentagem do sódio e do magnésio de troca, a SAR e a concentração eletrolítica da solução do solo, para além de outros parâmetros necessários para avaliar a qualidade da água de rega.

### Classificação dos solos afectados por sais

Os solos afetados por sais podem ser definidos como solos que apresentam uma concentração de sais solúveis suficientemente alta para interferir com o crescimento das culturas, em regra designados por salinos, e/ou uma percentagem suficientemente elevada de sódio de troca para afetar a estabilidade da estrutura do solo, geralmente denominados por sódicos.

Existem vários sistemas de classificação de solos afetados por sais ou por elevados teores de sódio permutável. Apresentam-se os do Laboratório de Salinidade dos

Estados Unidos (Richards, 1954), da FAO (WRB, 2014) e da Classificação de Solos de Portugal (Cardoso, 1974).

A classificação de solos salinos e sódicos, como apresentada pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (Richards, 1954), é das mais utilizadas e foi desenvolvida principalmente com vista à recuperação de solos afetados por sais e sódio. É um sistema simples baseado em dois critérios: a salinidade do solo, expressa em  $EC_e$  e ESP. Devido à sua simplicidade, ela não pode lidar com todas as variações que ocorrem na natureza, e não deve, portanto, ser aplicada de forma indiscriminada. De facto, se é certo que existe uma relação entre o crescimento das plantas e a  $EC_e$ , a tolerância das culturas ao sal depende também das condições climáticas, da rega, das espécies de sais presentes e do grau em que alguns deles predominam (Ayers e Westcot, 1985; Allen *et al.*, 1998).

Este sistema classifica os solos afetados por sais e/ou sódio do seguinte modo:

- Solos salinos. Apresentam uma  $EC_e > 4 \text{ dS m}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$  e uma  $ESP < 15$ . O pH, de um modo geral, é inferior a 8,5. Os aniões dominantes são o  $\text{Cl}^-$  e o  $\text{SO}_4^{2-}$ . O  $\text{HCO}_3^-$  está presente em pequenas quantidades e o  $\text{NO}_3^-$  é raramente encontrado. O  $\text{Na}^+$ , como regra, compreende menos do que 50% dos cátions solúveis. O carbonato de cálcio e gesso podem estar presentes;
- Solos sódico-salinos. Apresentam uma  $EC_e > 4 \text{ dS m}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$  e uma  $ESP > 15$ . O pH é raramente superior a 8,5. Muitas vezes, os solos sódico-salinos apresentam um valor de pH próximo da neutralidade. Os iões de  $\text{Na}^+$  na solução estão presentes na forma de sais neutros, tais como o  $\text{NaCl}$  e o  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Se o valor de pH é superior a 8,5, os iões  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_3^{2-}$  estão presentes na solução do solo. Esses solos sódico-salinos tendem a ser mais problemáticos tendo em vista a sua recuperação;
- Solos sódicos. Apresentam uma  $EC_e < 4 \text{ dS m}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$  e uma  $ESP > 15$ . O pH é geralmente superior a 8,5 e pode atingir valores da ordem de 10. O sódio é o principal cátion na solução do solo. O solo poderá conter  $\text{CaCO}_3$  que, devido à sua baixa solubilidade, não forma um reservatório de armazenamento de cálcio útil para fins de recuperação a menos que o pH do solo seja reduzido. A estrutura dos solos sódicos pode muitas vezes ser considerada como pobre.

Na classificação da FAO (WRB, 2014), os solos afetados por sais e por sódio são distinguidos ao mais alto nível da classificação por dois Grupos de Solos de Referência: Solonchacks e Solonetz. Os Solonchacks (solos salinos) são solos que, além de outras características, apresentam até 50 cm de profundidade um horizonte sálico com uma salinidade elevada ( $EC_e \geq 15 \text{ dS m}^{-1}$  ou  $EC_e \geq 8 \text{ dS m}^{-1}$  se o pH do extrato da pasta saturada do solo for  $\geq 8,5$ ), em algum momento durante o ano. Os Solonetz (solos sódicos) são solos que mostram um horizonte nátrico, isto é, um horizonte subsuperficial compacto com um teor elevado de argila relativamente ao horizonte sobrejacente, uma agregação colunar ou prismática, e um teor elevado de sódio e de magnésio de troca ( $\geq 15\%$  de  $Na^+ + Mg^{2+}$  de troca e  $> 6\%$  de  $Na^+$  de troca, numa espessura superior a 20 cm e a menos de 100 cm da superfície).

Na Classificação dos Solos de Portugal (Cardoso, 1974), os Solos Halomórficos são definidos como solos que apresentam quantidade excessiva de sais solúveis e/ou teor relativamente elevado de  $Na^+$  de troca. Nesta ordem considera-se apenas a subordem dos Solos Salinos, a qual inclui os grupos dos Solos Salinos de Salinidade Moderada (teor de sais solúveis inferior a 0,2% nos horizontes superficiais) e dos Solos Salinos de Salinidade elevada (teor de sais solúveis superior a 0,2%). Os Solos Salinos ocorrem geralmente em aluviões de origem marinha e, em alguns casos, podem desenvolver-se em rochas detríticas. Os Solos Halomórficos (Cardoso, 1974) correspondem, na classificação da WRB (2014), em parte aos Solonchacks e a outros Grupos Principais de Solos com qualificativo de sálico, nomeadamente os Leptossolos, Vertissolos, Gleissolos, Cambissolos e Regossolos. Embora a classificação portuguesa não inclua a subordem dos Solos Sódicos, admite-se que alguns Solos Halomórficos possam corresponder a Solonetz ou a outros grupos principais com o qualificativo de sódico.

## Cartografia dos solos salinos em Portugal

O Departamento de Pedologia da Estação Agronómica Nacional (EAN) foi encarregado, a partir de 1972, de proceder ao reconhecimento sistemático dos sapais de Portugal. Estes são definidos como solos aluvionares de origem marinha,

diretamente influenciados pelas marés e que se encontram, geralmente, em estuários ou em bacias de sedimentação separadas do mar por cordões litorais de areia. Foram publicados vários estudos que contemplaram a caracterização e a cartografia dos sapais ou aluviões flúvio-marítimos recentes do Algarve, nomeadamente das Baixas do Alvor (Fernandes, 1973, 1975), Arade (Alvim e Serpa, 1976), Ria de Faro (Teixeira e Alvim, 1978) (fig. 2), Salgados do Ludo (Serpa, 1979), Castro Marim-Vila Real de Santo António (Alvim, 1973, 1976) e ainda algumas pequenas áreas de sapais e salgados dispersas ao longo da costa algarvia, como sejam os sapais e salgados da Costa Ocidental (Odeceixe e Aljezur) e pequenas manchas de sapais e salgados da Costa Sul (Ribeiras de Vale Barão, Bensafrim, Alcantarilha, Espiche e Almargem) (Alvim, 1979). Nos sapais estudados, foram detetados solos com horizontes tiónicos, isto é, com um teor de enxofre particularmente elevado e com valores de pH extremamente baixos (atingindo valores inferiores a 3), que Teixeira (1967) designou por Tiossolos, que correspondem aos *Acid sulfate soils* ou *Catclays*.

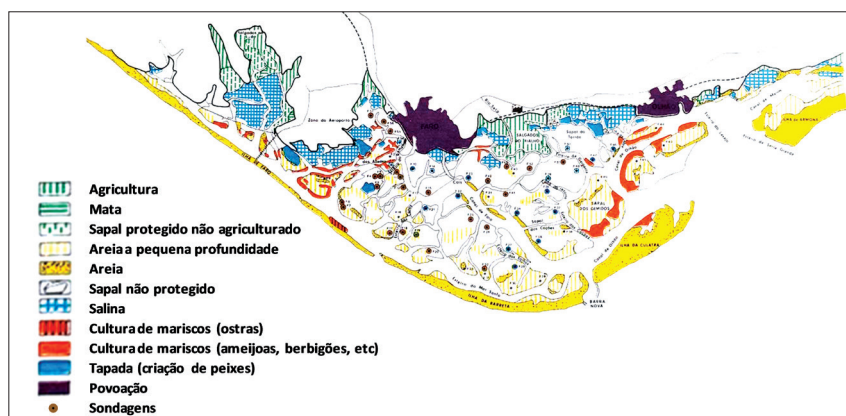


Fig. 2 - Reconhecimento do sapal da Ria Formosa, Portugal  
(Fonte: Teixeira & Alvim, 1978).

Fig. 2 - Soil survey of the Ria Formosa lagoon salt marshes, Portugal.  
(Source: Teixeira & Alvim, 1978).

Posteriormente procedeu-se à cartografia de solos salgados e deteção de problemas de salinidade provocados quer pela má qualidade da água de rega quer por drenagem deficiente. De 1977 a 1979, efetuou-se o reconhecimento dos



salgados de 70 ha da Quinta da Murraceira (Ria de Aveiro) e de 1100 ha da Herdade de Pancas (margem esquerda do Tejo), produzindo-se cartas de salinidade para diferentes espessuras de solo e da qualidade da água subterrânea e cartas da reação do solo em função da profundidade. Em 1984-1985, Martins e Alvim (1985) estudaram solos aluvionares halomórficos (12 ha) em Vale dos Judeus (Setúbal), com vista à recuperação e subsequente utilização agrícola dessa área. Alvim e Martins (1988) efetuaram um estudo sobre o estágio evolutivo do halomorfismo dos solos de algumas áreas (320 ha) situadas a Sul da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira, para desenvolver posteriores medidas de recuperação e opções culturais.

Relativamente à qualidade da água de rega e aos riscos de halomorfização do solo, Alvim (1980) e Alvim e Nunes (1984) realizaram prospeções da qualidade da água e dos solos nos perímetros de rega do Sul de Portugal, tendo sido detetados problemas de má qualidade da água de rega, provocados quer por uma concentração excessiva de sais quer por uma composição iónica desequilibrada e ainda alguns problemas de salinização dos solos.

### **Aproveitamento de solos salinos**

Martins (1989) e Martins e Mesquita (1995), integrados numa equipa multidisciplinar, implementaram e acompanharam o desempenho de diferentes sistemas culturais em condições de drenagem pouco intensiva (valas com 0,7 m de profundidade afastadas de 45 m) e drenagem subsuperficial intensiva (drenos subterrâneos a 1 m de profundidade, com afastamento entre 18 e 35 m), tendo como objetivo o estudo de alternativas à cultura do arroz no aproveitamento dos *Aluviossolos* do Baixo Mondego (cerca de 3000 ha) com riscos de halomorfismo e com toalha freática salina. Estes autores estudaram a evolução do solo no que se refere à salinidade, sodização e estabilidade estrutural, porosidade, teor de matéria orgânica e fertilidade e também a produtividade de diversos sistemas culturais, uns adaptados a drenagem pouco inten-

siva e outros a drenagem subsuperficial intensiva. Nos ensaios com drenagem pouco intensiva ficou demonstrada a possibilidade de produzir bons prados nesses solos desde que haja cuidado com as regas, pois persistiu um risco de salinização não completamente dominado com a profundidade de drenagem existente. Nos ensaios com drenagem intensiva, o tipo de drenagem revelou-se eficaz no controlo da salinidade, mas insuficiente para resolver problemas de encharcamento temporário do solo, nomeadamente no Outono-Inverno, decorrentes da má drenagem superficial e da afetação da drenagem interna pela formação de crostas e compactação.

Por outro lado, Martins *et al.* (1998, 1999) estudaram a utilização de águas salobras e salinas na rega de culturas halófitas, com controlo da salinidade do solo. Pretendeu-se domesticar, com vista à sua utilização como hortícolas, determinadas espécies de plantas [*Aster tripolium* L. subsp. *pannonicus* (Jacq.) Soó, *Salicornia* spp., *Crambe maritima* L. e *Beta vulgaris* L. subsp. *maritima* (L.) Arcangeli] que se desenvolvem em solos moderadamente salinos a salinos, recorrendo-se à rega com água com condutividade elétrica ( $EC_i$ ) entre 1 e 30 dS m<sup>-1</sup> para avaliar a produção destas espécies em diferentes condições de salinidade do solo e de qualidade da água de rega. Em ensaios estabelecidos no Baixo Vouga e na Lezíria Grande, verificou-se que a salinidade do solo apresentava-se elevada no fim de cada época de crescimento (Outubro) mas decrescia para valores moderados após o Inverno devido à lixiviação dos sais do solo provocada pela água das chuvas. Concluiu-se que as espécies halófitas referidas têm potencialidade para constituírem culturas alternativas às hortícolas tradicionais que não é possível cultivar em solos já salinizados e cuja recuperação não é economicamente viável desde que sejam utilizadas técnicas de rega e de drenagem adequadas.

Mais tarde, Martins *et al.* (2007) avaliaram a tolerância à salinidade de espécies forrageiras para utilização em solos afetados por salinidade, nomeadamente em áreas marginais como as zonas costeiras ou margens de rios (Tejo, Sado, Mondego) e ainda em algumas áreas degradadas de regadio afetadas por salinização secundária. A introdução daquelas espécies forrageiras contribuiu para a melhoria dos solos através do aumento do teor e da qualidade da matéria orgânica e ainda para o aproveitamento de nutrientes fundamentais para a ali-

mentação animal (vitaminas, minerais, ácidos gordos) que são produzidos em maior quantidade quando as plantas crescem em condições de salinidade. Nesse ensaio, estabelecido em Alvalade do Sado (Alentejo), num Fluvisso solo êutrico, com aplicação de 4 modalidades ou tipos de águas de rega ( $EC_i$  de 1, 4, 8 e 16  $dS\ m^{-1}$ ), avaliaram-se as condições de salinidade do solo e a produtividade de várias espécies forrageiras (9 leguminosas e 6 gramíneas), durante 3 anos (2003, 2004 e 2005). Devido ao uso alternado de rega com água salina e água de melhor qualidade, a salinidade do solo e a da solução do solo não aumentou notoriamente nas camadas superficiais. Quanto aos riscos de sodicidade do solo, verificou-se que os valores mais altos da ESP atingiram cerca de 12%, no final do ensaio (2005), e apenas na camada superficial do solo, nos talhões regados com a água de salinidade mais elevada.

### Efeito da qualidade de água de rega no solo

Martins *et al.* (2001, 2004, 2005) avaliaram o uso de água de diferente qualidade ( $EC_i$  entre 0,3 e 3,2  $dS\ m^{-1}$ ) em colunas de solo no estado natural (diâmetro de 24 cm e altura de 20 cm), representativas do perfil de solo, provenientes de diferentes unidades-solo do Alentejo (Fluvisso solos, Cambisso solos, Luvisso solos e Vertisso solos), em condições controladas numa estufa, para a determinação dos indicadores de salinidade e de sodicidade do solo. A salinidade do solo variou, em regra, de forma crescente com o aumento da salinidade da água de rega aplicada, embora, em cada coluna de solo, tenha variado de forma decrescente com a profundidade. Os valores de SAR e de ESP também aumentaram crescentemente com o decréscimo da qualidade da água aplicada, não ultrapassando o ESP o valor de 5%, mesmo no caso da aplicação da água de pior qualidade, em três dos solos estudados (Luvisso solos, Cambisso solos e Vertisso solos); no caso do Fluvisso solo, os valores de ESP atingiram valores muito altos (36 e 18% respectivamente nas colunas de solo correspondentes às camadas superficial e subsuperficial do perfil de solo), com a aplicação da água de menor qualidade. Concluiu-se que o grau de salinização e/ou de sodização, mesmo

com a aplicação da água de pior qualidade, era relativamente baixo, embora se tenha procedido apenas a um ciclo de rega e não se tenha efetuado a lixiviação do solo de modo a simular o efeito da precipitação outono-invernal.

Gonçalves *et al.* (2006) estudaram também o uso de água de diferente qualidade ( $EC_i$  entre 0,3 e 3,2 dS m<sup>-1</sup>) em três monólitos de solo construídos com um *Fluvisso*lo éutrico, em Alvalade-Sado, tendo como objetivo o estudo dos processos e a modelação do movimento da água e do transporte de solutos no solo, de modo a avaliar, prever e tentar solucionar os riscos de salinização e/ou sodização do solo. Procedeu-se à monitorização do teor de água no solo, da composição iónica da solução do solo e da salinidade e sodicidade do solo a diferentes profundidades durante quatro anos. Concluiu-se que o uso de água de rega com  $EC_i$  até 1,6 dS m<sup>-1</sup> não conduziu à salinização/sodização do solo devido às características hidráulicas do solo e à precipitação ocorrida durante os meses de Outono-Inverno. No entanto, observou-se um aumento progressivo dos valores de  $EC_e$  em profundidade (nunca superior a 3 dS m<sup>-1</sup>) e do SAR e ESP no final do período de rega de cada ano. As regas com água com uma  $EC_i$  de 3,2 dS m<sup>-1</sup> provocaram a salinização/sodização do solo, com os valores de  $EC_e$ , SAR e ESP aumentando para 12 dS m<sup>-1</sup>, 8 (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)<sup>0.5</sup> e 17%, respectivamente, na camada superficial (0-20 cm) do solo, ao fim de 2 ciclos de rega. Apesar das chuvas de Inverno diminuírem estes valores, não foram suficientes para restaurar as condições iniciais do solo a profundidade superior a 40 cm.

Na continuação dos estudos anteriores, realizados em condições controladas, Ramos *et al.* (2011, 2012) avaliaram, em dois ensaios de campo com solos de diferente textura, os efeitos da rega com água salina ( $EC_i$  entre 0,5 e 14,6 dS m<sup>-1</sup>) na qualidade do solo, na perda de nutrientes por lixiviação e no desenvolvimento e produtividade de milho-grão e sorgo sacarino. Aqueles autores observaram, para a cultura do milho, decréscimos no valor de transpiração real até 59 e 83% nos solos de textura mediana e ligeira, respectivamente, em função do *stress* mátrico e osmóticos provocado pela quantidade e qualidade da água de rega. Também foram observados acréscimos na perda de nitratos por lixiviação de 17 e 25% para as mesmas condições. Para a cultura do sorgo, aqueles valores foram relativamente inferiores por esta cultura ser mais tolerante à salinidade do solo.

## **Prevenção e remediação da salinização e sodização**

O controlo dos riscos de salinização/sodização é fundamental para preservação das funções do solo, e é tanto mais importante quanto mais intensiva for a rega, pior for a qualidade da água aplicada e menor for a precipitação anual disponível para a lixiviação dos sais acumulados.

Os modelos que descrevem e quantificam os processos físicos, químicos e biológicos do solo, por conseguirem integrar vários processos, são ferramentas muito úteis para otimizar as práticas agrícolas, como a rega e a fertilização e definir políticas de sustentabilidade ambiental. A modelação dos fluxos de água e do transporte dos principais iões na zona radicular e abaixo desta ajudará a prever a qualidade da água subterrânea, implementando melhores técnicas de rega e de fertilização, quantificando os riscos de salinização/sodização quer ao nível da parcela quer ao nível da bacia hidrográfica.

No caso da recuperação dos solos salinos/sódicos têm de ser considerados em geral dois processos: a lixiviação dos sais solúveis (solos salinos) e a substituição do  $\text{Na}^+$  de troca por  $\text{Ca}^{2+}$  de troca (solos sódicos).

Nos pontos seguintes apresentam-se exemplos da aplicação da modelação matemática em estudos envolvendo a qualidade da água de rega e indicar alguns procedimentos para a recuperação de solos salinos/sódicos.

### **Modelação do efeito da qualidade da água de rega nos solos e nas culturas**

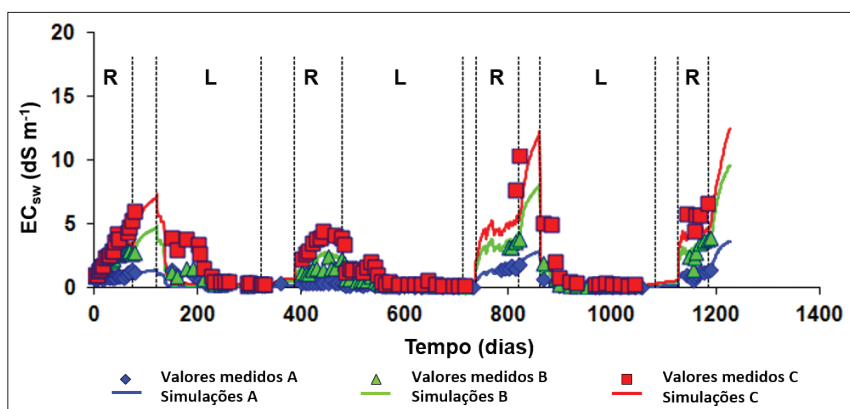
Os processos de controlo da salinização/sodização têm de ser baseados no conhecimento da dinâmica da água e dos solutos no solo e das relações entre as concentrações de sais solúveis e adsorvidos no solo e devem utilizar como ferramenta a modelação de modo a avaliar a gestão da rega e prever os efeitos da qualidade da água de rega no solo e nas águas subterrâneas. Os modelos que descrevem e quantificam os processos físicos, químicos e biológicos do solo, por conseguirem

integrar vários processos, são ferramentas muito úteis para otimizar as práticas agrícolas, como a rega e a fertilização e definir políticas de sustentabilidade ambiental. A modelação dos fluxos de água e transporte dos principais iões na zona radicular e abaixo desta ajudará a prever a qualidade da água subterrânea, implementando melhores técnicas de rega e de fertilização, quantificando os riscos de salinização/sodização quer ao nível da parcela agrícola quer ao nível da bacia hidrográfica.

O controlo da salinização é tanto mais importante quanto mais intensiva for a rega e pior a qualidade da água (medida como o teor em sais), sendo por isso um problema especialmente importante no Sul da Europa. O efeito da qualidade da água de rega depende das propriedades do solo, mas também do próprio regime de chuvas. O primeiro determina a capacidade do solo para reter sais e a chuva é o veículo para a sua remoção. Também neste caso a combinação de ensaios de campo e de estudos de modelação matemática envolvendo a dinâmica da água e o transporte de solutos é essencial (Gonçalves *et al.*, 2006).

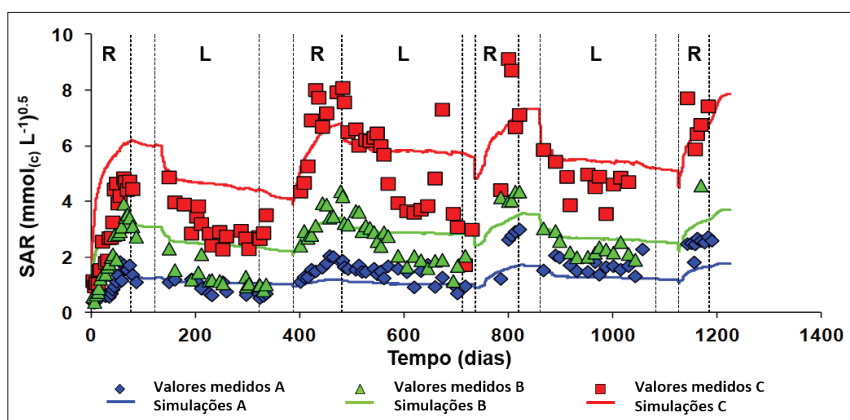
Existem duas abordagens distintas para simular a condutividade elétrica da solução do solo ( $EC_{sw}$ ). A maior parte dos modelos disponíveis simula a  $EC_{sw}$  como um soluto não reativo, isto é, como um traçador sem capacidade de adsorção à fase sólida do solo. Apenas alguns são também capazes de simular a  $EC_{sw}$  a partir da soma dos catiões presentes na solução do solo. A modelação dos catiões solúveis requer uma abordagem mais complexa, onde a interação entre os vários catiões e a competição pelas ligações de troca devem ser tidas em conta. Um exemplo de um mecanismo usado para descrever os processos de troca entre a fase sólida e líquida do solo são as equações de Gapon (White and Zelazny, 1986), permitindo-se assim modelar o aumento da concentração de  $Na^+$  na fase sólida do solo e a transferência dos catiões de troca ( $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ ) entre a fase sólida para a fase líquida do solo.

Gonçalves *et al.* (2006) usaram o modelo UNSATCHEM (Šimůnek *et al.*, 1996) para prever o teor de água no solo, o teor em catiões solúveis, a  $EC_{sw}$  (fig. 3) e ainda os indicadores SAR (fig. 4) e ESP nos três monólitos de solo construídos com um Fluvissoleto éutrico, em Alvalade-Sado, e anteriormente referidos. O modelo foi capaz de reproduzir com rigor os valores medidos, tendo-se revelado como uma boa ferramenta para avaliar a gestão da água salina e o efeito da qualidade da água de rega na recarga dos aquíferos.



**Fig. 3** - Valores medidos e simulados da condutividade elétrica da solução do solo ( $EC_{sw}$ ) nos monólitos A (condutividade elétrica da água aplicada,  $EC_i$ : 0,3-0,8  $dS\ m^{-1}$ ), B ( $EC_i$ : 0,8-1,6  $dS\ m^{-1}$ ) e C ( $EC_i$ : 1,6-3,2  $dS\ m^{-1}$ ). R e L correspondem respectivamente aos períodos de rega e de lavagem pela chuva (Fonte: Gonçalves *et al.*, 2006).

**Fig. 3** - Measured and simulated values of the electrical conductivity of the soil solution ( $EC_{sw}$ ) in lysimeters A (electrical conductivity of the irrigation water,  $EC_i$ : 0.3-0.8  $dS\ m^{-1}$ ), B ( $EC_i$ : 0.8-1.6  $dS\ m^{-1}$ ), and C ( $EC_i$ : 1.6-3.2  $dS\ m^{-1}$ ). R and L are the irrigation and rainfall periods, respectively (Source: Gonçalves *et al.*, 2006).



**Fig. 4** - Valores medidos e simulados da razão de adsorção de sódio (SAR) nos monólitos A (condutividade elétrica da água aplicada,  $EC_i$ : 0,3-0,8  $dS\ m^{-1}$ ), B ( $EC_i$ : 0,8-1,6  $dS\ m^{-1}$ ) e C ( $EC_i$ : 1,6-3,2  $dS\ m^{-1}$ ). R e L correspondem respectivamente aos períodos de rega e de lavagem pela chuva (Fonte: Gonçalves *et al.*, 2006).

**Fig. 4** - Measured and simulated values of the sodium adsorption ratio (SAR) in lysimeters A (electrical conductivity of the irrigation water,  $EC_i$ : 0.3-0.8  $dS\ m^{-1}$ ), B ( $EC_i$ : 0.8-1.6  $dS\ m^{-1}$ ), and C ( $EC_i$ : 1.6-3.2  $dS\ m^{-1}$ ). R and L are the irrigation and rainfall periods, respectively (Source: Gonçalves *et al.*, 2006).

Ramos *et al.* (2011) estudaram as duas abordagens usadas na modelação da  $EC_{sw}$  e acima referidas, em dois solos regados com água salina e água de boa qualidade ao longo de três anos. Foi demonstrada a validade das duas abordagens na ausência de processos de precipitação/dissolução de sais (por exemplo, calcite ou gesso) no perfil de solo. O modelo HYDRUS-1D (Šimůnek *et al.*, 2008) usado foi ainda capaz de simular com sucesso o teor de água no solo, os catiões de troca (fig. 5) e a redução na absorção de água e de nutrientes pelas raízes, devido ao stress osmótico, tendo consequentemente aumentado os fluxos lixiviados de  $N-NH_4^+$  e de  $N-NO_3^-$ .

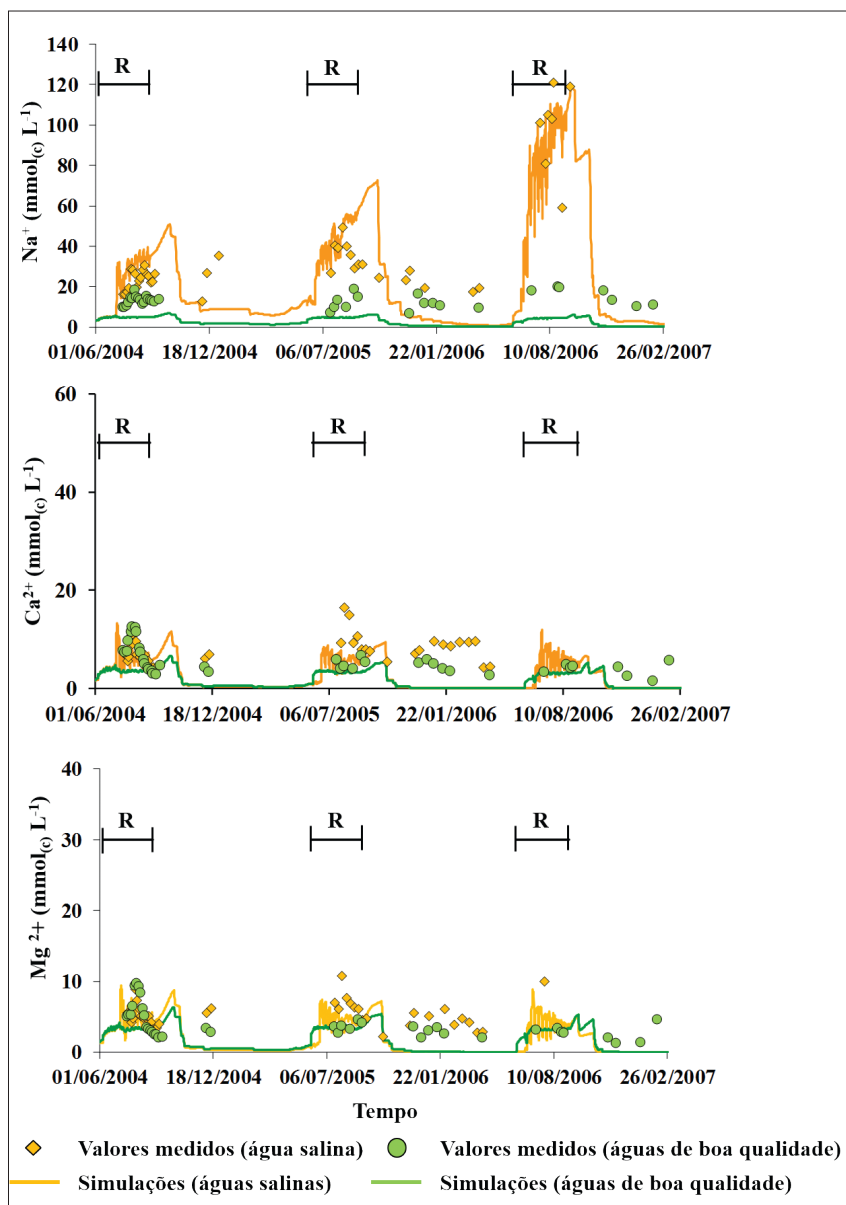
Ramos *et al.* (2012) aplicaram o modelo HYDRUS-2D (Šimůnek *et al.*, 2006) para modelar o destino do azoto num campo experimental cultivado com sorgo sacarino, entre 2007-2010, considerando cenários de rega com vários níveis de azoto e de sais (Ramos *et al.*, 2012). As simulações com o modelo HYDRUS 2D foram úteis para compreender as melhores estratégias para aumentar a absorção dos nutrientes e reduzir as perdas por lixiviação face ao aumento da salinidade do solo ao longo dos anos (fig. 6). Neste sentido, a adsorção de  $N-NO_3^-$  foi maior, e consequentemente a lixiviação de  $N-NO_3^-$  foi menor (fig. 7), quando os eventos de fertirrega foram mais numerosos e as quantidades aplicadas, em cada um deles, menores.

### Recuperação de solos salinos e sódicos

A recuperação dos solos salinos/sódicos engloba, em geral, dois processos: a lixiviação dos sais solúveis (solos salinos) e a substituição do  $Na^+$  de troca por  $Ca^{2+}$  de troca (solos sódicos). A lixiviação dos sais solúveis é em geral acompanhada da lixiviação de elementos nutritivos, nomeadamente nitratos, podendo tornar-se necessárias medidas para restaurar a fertilidade do solo. Enquanto nas regiões áridas a lixiviação exige o recurso à rega, nas regiões semi-áridas a chuva proporciona, em geral, a lixiviação do solo.

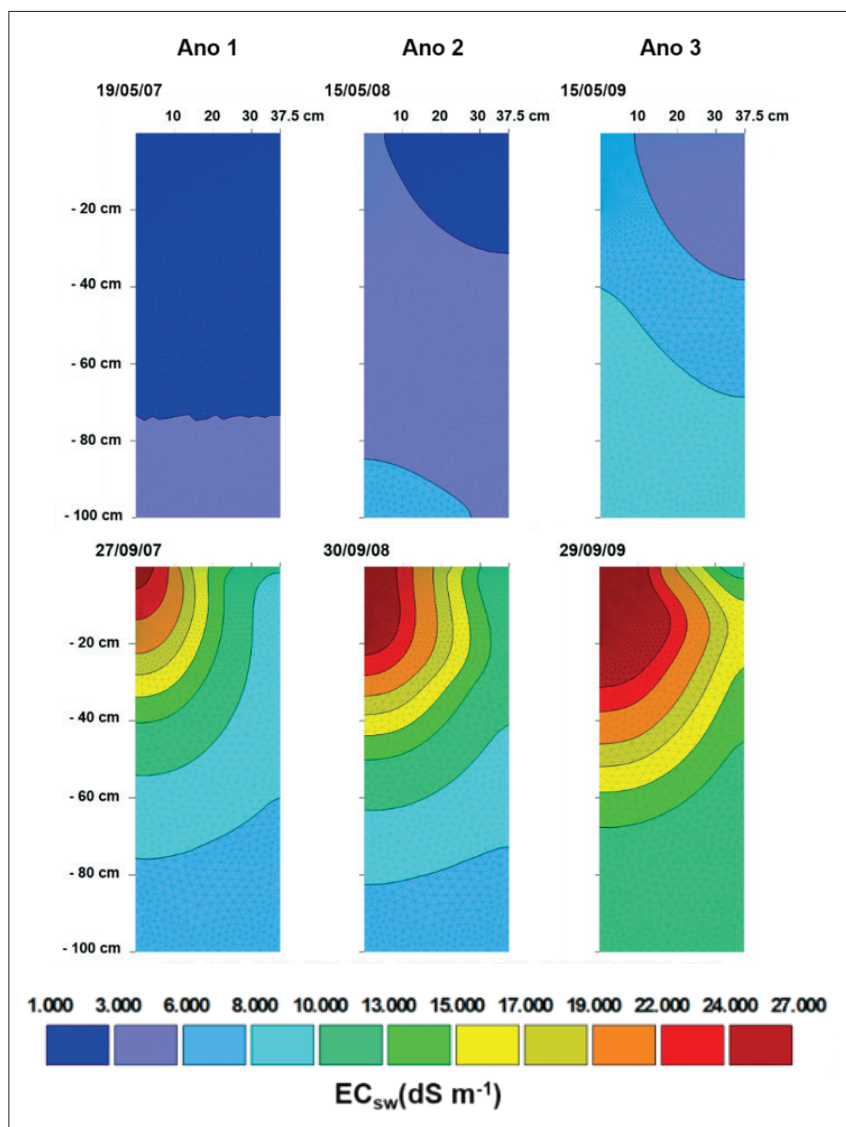
Segundo a teoria da lixiviação, para controlo da salinização num dado período de tempo, é necessário acrescentar, à quantidade de água necessária para as culturas, uma quantidade de água adicional (LR - a necessidade de lixiviação, mm). Uma das





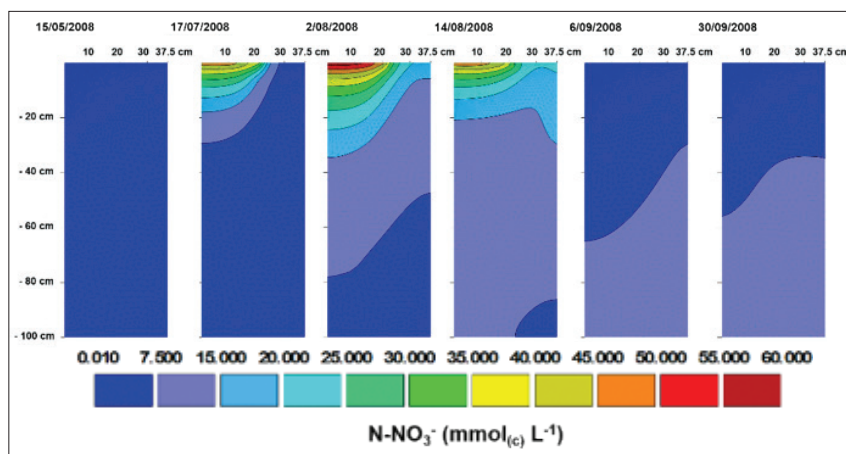
**Fig. 5** - Concentrações medidas e simuladas dos cátions solúveis Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> a 10 cm de profundidade. R corresponde ao período de rega (Fonte: Ramos *et al.*, 2011).

*Fig. 5* - Measured and simulated soluble Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> concentrations at 10 cm depth. R is the irrigation period (Source: Ramos *et al.*, 2011).



**Fig. 6** - Simulação da distribuição da condutividade elétrica da solução do solo ( $EC_{sw}$ ) num perfil de solo regado com águas salinas sintéticas durante 3 ciclos culturais, à data da sementeira (em cima) e da colheita (em baixo). O gotejador estava localizado no canto superior esquerdo de cada perfil de solo apresentado (Fonte: Ramos *et al.*, 2012).

**Fig. 6** - Simulated distribution of the electrical conductivity of the soil solution ( $EC_{sw}$ ) in a soil profile irrigated with saline water at sowing (top) and harvest (bottom) of each of the three studied growing seasons. The dripper line was located in the top left corner of each soil profile plot (Source: Ramos *et al.*, 2012).



**Fig. 7** - Simulação da distribuição da concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  num perfil de solo regado com águas salinas, após a sementeira (15/05/08), fertirrega (17/07/08, 2/08/08, 14/08/2008), fim do período de rega (6/09/08) e colheita (30/09/08). O gotejador estava localizado no canto superior esquerdo de cada perfil de solo apresentado (Fonte: Ramos *et al.*, 2012).

**Fig. 7** - Simulated distribution of  $\text{N-NO}_3^-$  concentration in a soil profile irrigated with saline water at sowing (15/05/08), fertigation events (17/07/08, 2/08/08, 14/08/2008), end of irrigation period (6/09/08), and harvest (30/09/08). The dripper line was located in the top left corner of each soil profile plot (Source: Ramos *et al.*, 2012).

equações mais utilizadas para se determinar a necessidade de lixiviação de sais do solo é a referida por Ayers e Westcot (1985):

$$\text{LR} = \text{EC}_i / (5 \text{EC}_e - \text{EC}_i)$$

em que  $\text{EC}_i$  a condutividade elétrica da água de rega ( $\text{dS m}^{-1}$ ) e  $\text{EC}_e$  a condutividade elétrica admissível para o extrato de saturação do solo ( $\text{dS m}^{-1}$ ). A  $\text{EC}_e$  deve ser a salinidade média do solo tolerada pela cultura, para que possa atingir 70-90% do rendimento potencial.

Nos solos sódico-salinos têm, por vezes, de tomar-se medidas especiais para impedir a deterioração da estrutura do solo durante a lixiviação. Tais medidas consistem em geral na adição de um corretivo cálcico, por exemplo, o gesso, ao solo ou à água de rega, a não ser que esta contenha cálcio em quantidade suficiente para substituir o  $\text{Na}^+$  adsorvido no complexo de troca.

A quantidade de gesso necessária pode determinar-se de forma muito grosseira no laboratório, tratando uma amostra de solo com uma solução saturada de gesso e medindo a quantidade de iões  $\text{Ca}^{2+}$  necessários para a substituição de outros catiões de troca (excepto o  $\text{Mg}^{2+}$ ). Pode também deduzir-se do conhecimento da CTC e da ESP, usando a seguinte expressão:

$$Q_z = (\text{ESP} - \text{ESP}_f) / 100 \text{ CTC } Y_z,$$

em que  $Q_z$  é a quantidade de gesso necessário por hectare para restaurar a estrutura numa camada com  $z$  cm de espessura, ESP a percentagem de sódio de troca do solo,  $\text{ESP}_f$  a percentagem de sódio de troca que se considera admissível no final, CTC a capacidade de troca catiónica ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) e  $Y_z$  a quantidade de gesso necessário por hectare para substituir 1  $\text{cmol}_c$  de  $\text{Na}^+$  de troca por kg de solo seco (a  $105^\circ\text{C}$ ), numa camada com a espessura  $z$  (cm) e com uma determinada massa volúmica aparente.

## Conclusões

Neste trabalho referem-se as causas e extensão do problema da salinização/sodização dos solos em geral e nomeadamente em Portugal, os indicadores utilizados para a sua avaliação, a classificação de solos salinos e sódicos, os estudos realizados de cartografia de sapais e salgados e respetivo aproveitamento agrícola potencial e ainda alguns métodos de recuperação.

Procedeu-se ainda a uma abordagem dos riscos de salinização potencial provocados pelo uso de águas de rega de qualidade deficiente. Mencionam-se alguns estudos efetuados em condições laboratoriais e de campo, na Estação Agronómica Nacional, visando a previsão da salinização após aplicação ao solo de águas de diferentes qualidades, bem como estudos de modelação matemática realizados para simular a condutividade elétrica da solução do solo, tendo como objetivo o estabelecimento de práticas de regadio sustentáveis e a minimização de riscos ambientais, tanto no solo como nos aquíferos.

É fundamental proceder-se à cartografia de solos afetados por sais, nomeadamente os já salinizados ou em processo de salinização, devido a práticas agrícolas inadequadas como o caso do uso de água de rega de má qualidade nas áreas de regadio do Alentejo. Por outro lado, é da maior relevância o desenvolvimento de bases de dados para um melhor conhecimento das propriedades dos solos do País e para o fornecimento de dados, nomeadamente os referentes às propriedades hidráulicas do solo e os parâmetros de transporte de solutos, fundamentais para a modelação matemática do movimento da água e do transporte de solutos no solo, utilizando as equações de Richards e de convecção-dispersão.

É ainda importante o estabelecimento de programas de monitorização da qualidade da água de rega e dos solos das áreas de regadio mais susceptíveis a esta problemática, para uma adequada prevenção e uma melhor compreensão dos processos de salinização e de sodização do solo, como também para a calibração e validação dos modelos a utilizar.

## Referências bibliográficas

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. *Irrigation and Drainage. Paper 56*. Roma, FAO, 300 p.
- Alvim, A. J. (1973). *Reconhecimento dos sapais de Castro Marim-Vila Real de Santo António*. I. Sapal da Herdade do Serro do Bufo. *Pedologia*, Oeiras, vol. 8, n. 2, 219-245.
- Alvim, A. J. (1976). *Reconhecimento dos sapais e salgados de Castro Marim-Vila Real de Santo António*. *Pedologia*, Oeiras, vol. 11, n. 2, 1-99.
- Alvim, A. J. (1979). *Reconhecimento dos sapais do Algarve*. I. *Sapais e Salgados da Costa Ocidental* (Odeceixe, Aljezur). II. Pequenas manchas de sapais e salgados da Costa Sul (Ribeiras de Vale Barão, Bensafirim, Alcantarilha, Espiche e Almargem). *Pedologia*, Oeiras, vol. 14, n. 2, 1-66.
- Alvim, A. J. (1980). Qualidade da água e riscos de salinização do solo nos perímetros de Campilhas e do Roxo. In: *Congresso 80*, Ordem dos Engenheiros, Coimbra.
- Alvim, A. J. & Serpa, A. M. (1976). *Reconhecimento dos sapais e salgados do Arade*. *Pedologia*, Oeiras, vol. 11, n. 1, 49-133.
- Alvim, A. J. & Martins, J. C. (1988). *Diagnóstico do estágio evolutivo de alguns solos salinos da Lezíria Grande de V. F. de Xira e sugestões para o melhoramento da sua utilização*. *Pedologia*, Oeiras, vol. 23, n. 2, 1-43.
- Alvim, A. J. & Nunes, J. T. (1984). *Qualidade da água e risco de halomorfização do solo nos perímetros de rega do Sul de Portugal (1980 a 1982)*. Lisboa, DGHEA, 99 p.

- Ayers, R. & Westcot, D. (1985). Water quality for agriculture. *FAO Irrigation and Drainage Paper 29*, Rev.1. Rome, FAO, 172 p.
- Bowyer, C., Withana, S., Fenn, I., Bassi, S., Lewis, M., Cooper, T., Benito, P. & Mudgal, S. (2009). Land degradation and desertification. Policy Department A: Economic and Scientific Policy. *European Parliament's Committee on the Environment, Public Health and Food Safety*. IP/A/ENV/ST/2008-23, 102 p.
- Brady, N. C. & Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils*. Pearson Education Inc., Upper Saddle River, NJ, USA, 965 p.
- Bresler, E., McNeal, B. L. & Carter, D. L. (1982). Saline and sodic soils. Principles-Dynamics-Modeling. *Advanced Series in Agricultural Sciences*, 10. Berlin, Germany, Springer-Verlag, 236 p.
- Cardoso, J. C. (1974). A classificação dos solos de Portugal (nova versão). *Boletim de Solos*, nº 17, 14-46. Lisboa, SROA, Secretaria de Estado da Agricultura.
- Chhabra, R. (1996). *Soil salinity and water quality*. Brookfield, USA, A.A. Balkema, 284 p.
- European Commission, 2002. Communication of 16 April 2002 from the Commission to the Council, the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the regions: Towards a thematic strategy for soil protection. COM 2002, 179 final.
- European Commission, 2006. Communication of 22 September 2006 from the Commission to the Council, the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the regions: Thematic strategy for soil protection. COM 2006, 231 final.
- Fernandes, J. F. (1973). *Os sapais da Quinta da Rocha e seu valor agrícola (Região do Alvor)*. Pedologia, Oeiras, vol. 8, n. 2, 187-217.
- Fernandes, J. F. (1975). *Reconhecimento dos sapais de Portugal. Baixas do Alvor*. Pedologia, Oeiras, vol. 10, n. 2, 151-195.
- Ghassemi, F., Jakeman, A. J. & Nix, H. A. (1995). *Salinization of land and water resources: Human causes, extent, management and case studies*. Sydney, University of New South Wales Press Ltd, 526 p.
- Gonçalves, M. C., Šimůnek, J., Ramos, T. B., Martins, J.C., Neves, M. J. & Pires, F. P. (2006). Multicomponent solute transport in soil lysimeters irrigated with waters of different quality. *Water Resources Research*, 42, W08401. DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2005WR004802>
- Keren, R. (2000). Salinity. In: Sumner, M.E. (Ed.) - *Handbook of soil science*. Boca Raton, CRC Press, p. G3-G25.
- Kibblewhite, M. G., Jones, R. J. A., Baritz, R., Huber, S., Arrouays, D., Micheli, E. & Stephens, M. (2008). *ENVASSO Final Report Part I: Scientific and Technical Activities*. ENVASSO Project (Contract 022713) coordinated by Cranfield University, UK, for Scientific Support to Policy, European Commission 6th Framework Research Programme.
- Kirschbaum, M. U., Bullock, P., Evans, J.R., Goulding, K., Jarvis, P. G., Noble, I. R., Rounsevell, M. D. & Sharkey, T.D. (1996). Ecophysiological, ecological and soil processes in terrestrial ecosystems: a primer on general concepts and relationships. In: Watson, R.T., Zinyowera, M.C. e Moss, R.H. (Eds.) - *Climate change 1995: Impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific-technical analyses*. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 57-76.
- Marado, M. O. B. & Cardoso, J. C. (1969). Carta dos solos salinos de Portugal. *Boletim de Solos* nº 3, 26-32. Lisboa, SROA, Secretaria de Estado da Agricultura.
- Martins, J .C. (1989). *Contribuição para a caracterização hidrológica dos solos de Portugal*. Dissertação apresentada para acesso à categoria de Investigador Auxiliar. Oeiras, EAN, INIA, 304 p.

- Martins, J. C. & Alvim, A. J. (1985). *Estudo dos solos de uma área de salgados do Vale dos Judeus (Setúbal)*. Pedologia, Oeiras, vol. 20, n. 1, 179-203.
- Martins, J. C. & Mesquita, M.E. (1995). Soil behaviour under irrigated pasture in salt-affected soils after a long-term rice cultivation. In: *International Symposium on Salt-Affected Lagoon Ecosystems-ISSALE 95*. Valência.
- Martins, J. C., Carmona, M. A., Hipólito, M. M. & Pêgo, M.R. (1998). Rehabilitation of salt affected soils by halophytic vegetables cultivation with brackish irrigation water. In: *Proceedings of the 16th World Congress of Soil Science*, Montpellier, Symposium 29, 7.
- Martins, J. C., Carmona, M. A. & Hipólito, M. M. (1999). Plantas hortícolas alternativas para cultivo em solos salinizados e susceptíveis de serem regadas com água salobra ou salina. In: *10º Congresso do Algarve*, 659-664.
- Martins, J. C., Gonçalves, M. C., Gonçalves, A. R., Rodrigues, C. P., Pires, F. P. & Oliveira, A. (2001). Qualidade da água de rega e riscos de salinização e de alcalização de solos do Alentejo. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 24, n. 3 e 4, 324-336.
- Martins, J. C., Gonçalves, M. C., Pires, F. P., Oliveira, A., Gonçalves, A. R. & Rodrigues, C. P. (2004). Salinização de um Fluvissoilo regado com águas de qualidade diferente, em condições de estufa e de campo. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 27, n. 1, 72-85.
- Martins, J. C., Gonçalves, M. C., Pires, F. P., Neves, M. J., Oliveira, A. V., Rodrigues, C. P. & Ramos, T. B. (2005). Riscos de salinização e sodicização de um Vertissolo e de um Luvissoilo regados com águas de diferente qualidade. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 28, n. 2, 63-74.
- Martins, J. C., Oliveira, M. M., Neves, M. J., Carmona, M. A., Pires, F. P., Bica, J., Bica, M.A. & Ramos, T. B. (2007). Salinidade do solo e produtividade de espécies forrageiras vivazes regadas com águas salinas. In: Bellinfante, N. e Jordán, A. (Eds.) *Tendencias actuales de la ciencia del suelo*. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla, Espanha, 394-401.
- Monteiro, F. G. (2004). *Factores determinantes do hidromorfismo em solos do sul de Portugal*. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de doutor. Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 335 p.
- Ramos, T. B., Šimůnek, J., Gonçalves, M. C., Martins, J. C., Prazeres, A., Castanheira, N. L. & Pereira, L.S. (2011). Field Evaluation of a multicomponent solute transport model in soils irrigated with saline waters. *Journal of Hydrology*, vol. 407, n. 1-4, 129-144.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.07.016>
- Ramos, T. B., Šimůnek, J., Gonçalves, M. C., Martins, J. C., Prazeres, A. & Pereira, L.S. (2012). Two-dimensional modeling of water and nitrogen fate from sweet sorghum irrigated with fresh and blended saline waters. *Agricultural Water Management*, vol. 111, 87-104.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.05.007>
- Richards, L. A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington, USDA Handbook 60.
- Sentis, I. (1996). Soil salinization and land desertification. In: Rubio, J. & Calvo, A. (Eds) *Soil degradation and desertification in Mediterranean environments*. Logroño, Spain, Geoforma Ediciones, 105-129.
- Serpa, A. M. (1979). *Reconhecimento dos sapais e salgados do Ludo. (Algarve)*. Pedologia, Oeiras, vol. 14, n.1, 101-128.
- Šimůnek, J., Suarez, D.L. & Šejna, M. (1996). *The UNSATCHEM software package for simulating one-dimensional variably saturated water flow, heat transport, carbon dioxide production and transport, and multicomponent solute transport with major ion equilibrium and kinetic chemistry*. Version 2.0, Res. Rep. 141, U.S. Salinity Lab., Agric. Res. Serv., Riverside, Calif., 186 p.

- Šimůnek, J., van Genuchten, M. Th., Šejna, M. (2006). *The HYDRUS software package for simulating two- and three-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media, Technical manual*. Version 1.0, PC Progress, Prague, Czech Republic, 241 p.
- Šimůnek, J., van Genuchten, M. Th., & Šejna, M. (2008). *Development and applications of the HYDRUS and STANMOD software packages, and related codes*, Vadose Zone Journal, 7(2), 587-600, 2008
- Szabolcs, I. (1989). *Amelioration of soils in salt-affected areas*. *Soil technology*, vol. 2, n. 4, 331-344. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0933-3630\(89\)90001-9](http://dx.doi.org/10.1016/0933-3630(89)90001-9)
- Szabolcs, I. (1996). An overview on soil salinity and alkalinity in Europe. In: Misopolinos, N. e Szabolcs, I. (Eds.) *Soil salinization and alkalization in Europe*. Thessaloniki, European Society for Soil Conservation, Special Publication, 1-12.
- Teixeira, A. J. (1967). *Tiosolos. Nota preliminar*. *Pedologia*, Oeiras, vol. 2, n. 1, 7-13.
- Teixeira, A. J. & Alvim, A. J. (1978). *Reconhecimento dos sapais da Ria de Faro*. *Pedologia*, Oeiras, vol. 13, n. 1, 68-109.
- Tóth, G., Montanarella, L. & Rusco, E. (2008). *Threats to soil quality in Europe*. Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, EUR Scientific and Technical Research series, 151 p.
- UNCCD (1994). Article 1. Disponível em <http://www.unccd.int/en/about-the-convention/Pages/Text-overview.aspx>
- White, N. L. & Zelazny, L. M. (1986). Charge properties in soil colloids. In *Soil Physical Chemistry*, D. L. Sparks (ed), CRC Press, Boca Raton, Florida.
- WRB (2014). World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. Roma, FAO, 181 p.



## 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 C A T Á S T R O F E S

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA