

A salinização do solo em Portugal. Causas, extensão e soluções

Soil salinization in Portugal. Causes, extension and solutions

M. C. Gonçalves^{1*}, J. C. Martins¹ e T. B. Ramos²

¹Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, UEIS Sistemas Agrários e Florestais e Sanidade Vegetal, Av. da República, Quinta do Marquês, 2780-157 Oeiras, E-mail: * maria.goncalves@iniav.pt, autor para correspondência

²MARETEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa.

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA15140>

Recebido/Received: 2015.09.18
Aceite/Accepted: 2015.10.16

RESUMO

A salinização é um dos principais processos de degradação do solo a nível mundial. Em Portugal, este problema está limitado às zonas costeiras afectadas pelas marés (sapais) e a algumas áreas regadas no sul do País. Contudo, o aumento da área regada e as perspectivas de mudanças climáticas para as próximas décadas, nomeadamente o aumento das temperaturas, podem levar a um acréscimo da área afectada 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 afectadas 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: água salina, modelação, salinidade, sodicidade.

ABSTRACT

Soil salinization is a major soil degradation process. In Portugal, this problem is limited to marshes and some irrigated areas located in the south of the country. However, the increase of the irrigated area and the prospects of climate change for the coming decades, including rising temperatures, can lead to an increase of the degraded area in Portugal. This paper describes the main causes of soil salinization/sodicization, the most relevant indicators, and the most used classifications. The main areas in Portugal affected, either by natural salinization or by secondary salinization, are also indicated. Then, some of the most relevant studies related to saline soils mapping, the use of saline and sodic soils, and the use of poor quality waters conducted in Portugal, are also reviewed. Finally, the main methods for preventing and recovering saline/sodic soils are addressed.

Keywords: brackish water, modelling, salinity, sodicity.

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 e os processos de formação e de regeneração são extremamente lentos (COM (2002) 179). A degradação dos solos agrícolas é um processo em

curso na União Europeia, sendo mais acentuada no Sul da Europa, principalmente 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 Protecção do Solo (COM (2006) 231), que conduz ao aumento da concentra-

ção de sais solúveis no solo e na solução do mesmo, para níveis prejudiciais às plantas. Quando o ião 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 (sensu UNCCD, artigo 1, 1994).

Nos solos salinos, as culturas são afectadas quer por efeitos tóxicos específicos quer pelo elevado potencial osmótico da solução do solo, que reduzem a capacidade de extracção de água do solo pelas plantas (Ayers e Westcot, 1985). Nos solos sódicos, os teores elevados de Na^+ e 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 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 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 afectada por algum tipo de salinização, com tendência a aumentar rapidamente devido a factores 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 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_2 conduzindo a uma menor condutância estomática e a um aumento das taxas fotossintéticas (Kirschbaum *et al.*, 1996). 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 mo-

vimento ascensional capilar de que poderá resultar a acumulação de sais (salinização) nas camadas superficiais dos solos.

Na Europa, a salinização e a sodização do solo afectam, numa extensão considerável, a Áustria, Croácia, Bósnia-Herzgovina, Bulgária, Eslováquia, Espanha, França, Grécia, Hungria, Itália, Portugal, Roménia, Rússia, Sérvia e Ucrânia, totalizando cerca de 50 Mha (Szabolcs, 1996). Chhabra (1996) refere que a área total submetida a 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.

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).

Natureza e origem da salinização do solo

A salinização é um processo de degradação do solo que conduz geralmente à desertificação da terra (UNCCD, artigo 1, 1994). 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 toalhas de água de origem marinha, a acção directa 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 condutivida-

de 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).

Indicadores da salinidade e da sodicidade do solo

As determinações de sais solúveis mais fiáveis realizam-se em extractos 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 extracto 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 extractos torna impraticável o seu uso em análises de rotina (Richards, 1954).

O extracto de uso mais frequente em estudos de salinidade do solo é o extracto 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 reprodutível, 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. Assim, as medições de salinidade em extracto 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 extractos 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 extractos é afectada pela proporção água/solo.

As determinações que geralmente se fazem no extracto de saturação para diagnóstico de salinidade do solo englobam a condutividade eléctrica no extracto 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 cationes ou aniões e com o potencial osmótico dos extractos aquosos do solo. Usam-se com frequência as seguintes relações:

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

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

$$\text{Concentração total de cationes (mmolc L}^{-1}\text{)} = b \times EC_e \text{ (dS m}^{-1}\text{)}, \quad (2)$$

em que b assume valores de 12,5, 10 e 8 consoante o extracto contém principalmente gesso, gesso e cloreto de sódio, ou cloreto de sódio.

$$\text{Potencial osmótico (MPa)} = -0,036 \times EC_e \text{ (dS m}^{-1}\text{)}. \quad (3)$$

Desta expressão se deduz que um solo com uma EC_e de cerca de 20 dS m⁻¹, que corresponde a um valor de cerca de 40 dS m⁻¹ 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 extracto de saturação, o diagnóstico da salinidade do solo é em geral completado com as determinações do pH em água, dos cationes de troca e da capacidade de troca cationica (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 Na^+ de troca e a CTC:

$$ESP (\%) = \frac{[Na^+]_{troca} \text{ (cmolc kg}^{-1}\text{)}}{CTC \text{ (cmolc kg}^{-1}\text{)}} \times 100. \quad (4)$$

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:

$$SAR((\text{mmolc L}^{-1})^{0.5}) = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}}, \quad (5)$$

em que $[Na^+]$, $[Ca^{2+}]$ e $[Mg^{2+}]$ representam as concentrações destes cationes solúveis em mmolc L⁻¹.

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

$$ESP = \frac{100(-0,0126 + 0,01475 SAR)}{1 + (-0,0126 + 0,01475 SAR)} \quad (6)$$

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 SAR e a concentração electrolítica da solução do solo, para além de outros parâmetros necessários para avaliar a qualidade da água de rega.

Classificação dos solos quanto à salinidade e sodicidade

Os solos afectados 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 afectar a estabilidade da estrutura do solo, geralmente denominados por sódicos.

Existem vários sistemas de classificação de solos afectados por sais ou por elevados teores de sódio permutável. Apresentam-se os do *US Salinity Laboratory* (Richards, 1954), da WRB (2014), do Soil Survey Staff (1999) 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 amplamente utilizada. Foi desenvolvida principalmente com vista à recuperação de solos afectados por sais e sódio, e é um sistema simples baseado em dois critérios: a salinidade do solo, expressa em EC_e (condutividade eléctrica no extracto de saturação do solo), e a percentagem de sódio de troca (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).

O sistema classifica os solos afectados por sais e/ou sódio do seguinte modo:

- *Solos salinos*, com uma $EC_e > 4 \text{ dS m}^{-1}$ a 25°C e uma $ESP < 15$. O pH, de um modo geral, é inferior a 8,5. Os aniões dominantes são o Cl^- e o SO_4^{2-} . O HCO_3^- está presente em pequenas quan-

tidades e o NO_3^- é raramente encontrado. O Na^+ , como regra, compreende menos do que 50% dos catiões solúveis. O carbonato de cálcio e gesso podem estar presentes;

- *Solos sódico-salinos* (ou *alcalizados salinos*), com uma $EC_e > 4 \text{ dS m}^{-1}$ a 25°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 Na^+ na solução estão presentes na forma de sais neutros, tais como o NaCl e o Na_2SO_4 . Se o valor de pH é superior a 8,5, os iões HCO_3^- e 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 ou alcalizados*, com uma $EC_e < 4 \text{ dS m}^{-1}$ a 25°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 cation na solução do solo. O solo poderá conter 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 WRB (2014), os solos afectados 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* 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 extracto da pasta saturada do solo for $\geq 8,5$), em algum momento durante o ano. Os *Solonetz* 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 de troca ($ESP \geq 15$) podendo ainda apresentar um teor alto de magnésio de troca.

Na *Soil Taxonomy*, isto é, no sistema de classificação do solo desenvolvido pelo Serviço de Conservação dos Recursos Naturais dos Estados Unidos (Soil Survey Staff, 1999), as características específicas dos solos afectados por sais e sódio, isto é, com horizontes sálicos ($EC_e > 30 \text{ dS m}^{-1}$) e nátricos, respectivamente, só são introduzidas, consoante o caso, ao nível da subordem, do grande grupo ou do

subgrupo. Os solos afectados por sais e sódio são considerados nas ordens dos *Entissolos*, *Inceptissolos*, *Alfissolos*, *Molissolos* e *Aridissolos*.

Na Classificação dos Solos de Portugal (CSP) (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* da CSP (Cardoso, 1974) correspondem, na classificação da WRB (2014), em parte aos *Solonchacks* e a outros grupos principais com qualificativo de sálico. Embora a CSP 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.

Extensão da salinização em Portugal

Os *Solos Salinos (Solonchacks)* em Portugal 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 afectados por sais em algumas áreas agrícolas regadas localizadas em zonas de clima semi-árido a árido do interior do País (Alentejo). Também existem solos sódicos (*Solonetz*) ou com horizontes de diagnóstico nátricos 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 afectados 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.

Cartografia de solos salinos e estudos de salinização

Cartografia de solos salinos

Na sequência de reconhecimentos pedológicos de sapais que se podem definir como solos aluvionares de origem marinha directamente influenciadas pelas marés e que se encontram geralmente em estuários ou em bacias de sedimentação separadas do mar por cordões litorais de areia, anteriormente efectuados por diversas entidades, o Departamento de Pedologia da Estação Agronómica Nacional (EAN) foi encarregado, a partir de 1972, de proceder ao reconhecimento sistemático dos sapais de Portugal. 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), 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 detectados solos com um teor de enxofre particularmente elevado e com valores de pH muito baixos (atingindo valores inferiores a 3), que Teixeira (1967) designou por *Tiossolos* que correspondem aos *acid sulfite soils* ou *cat clays*.

Posteriormente procedeu-se à cartografia de solos salgados e detecção de problemas de salinidade provocados quer pela má qualidade da água de rega quer por drenagem deficiente. De 1977 a 1979, efectuou-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 reacção do solo em função da profundidade. Em 1984-1985, Martins e Alvim (1985) estudaram solos aluvionares halo-

mórficos (12 ha) em Vale dos Judeus (Setúbal), com vista à recuperação e subsequente utilização agrícola dessa área. Alvim e Martins (1988) efectuaram 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 basear 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 prospekções da qualidade da água e dos solos nos perímetros de rega do Sul de Portugal, tendo sido detectados 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 objectivo 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, alcalização e estabilidade estrutural, porosidade, teor de matéria orgânica e fertilidade e também a produtividade de diversos sistemas culturais, uns adaptados a drenagem pouco intensiva 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 afectação 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 eléctrica entre 1 e 30 dS m⁻¹ 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 afectados 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 afectadas por salinização secundária, contribuindo-se assim 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 alimentação 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 Fluvissolo Êutrico, com aplicação de 4 modalidades ou tipos de águas de rega (condutividade eléctrica da água 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.

Utilização de água de má qualidade com controlo da salinidade do 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 (*Fluvissoles, Cambissolos, Luvissoles e Vertissolos, sensu WRB*), em condições controladas numa estufa, para a determinação dos indicadores de salinidade e de sodicidade do solo, para além da medição directa e simultânea do teor de água e da impedância do solo através da técnica *Time Domain Reflectometry* (TDR). 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 (*Luvissoles, Cambissolos e Vertissolos*); no caso do *Fluvissole*, 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, é relativamente baixo, embora se tenha procedido apenas a um ciclo de rega e não se tenha efectuado 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^{-1}) em três monólitos de solo construídos com um *Fluvissole* êutrico, em Alvalade-Sado, tendo como objectivo 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^{-1} 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^{-1}) 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^{-1} provocaram a salinização/sodização do solo, com os valores de EC_e , SAR e ESP aumentando para 12 dS m^{-1} , 8 ($mmol_c L^{-1}$)^{0.5} 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^{-1}) 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 da salinização/sodização tem de ser baseado no conhecimento dos processos da dinâmica da água e dos solutos no solo e das relações entre as concentrações de sais solúveis e adsorvidos no solo. A modelação matemática é a ferramenta que permite integrar todos aqueles processos, avaliar a gestão da rega e prever os efeitos da qualidade da água no solo e nas águas subterrâneas. Esse controlo é tanto mais importante quanto mais intensiva for a rega e pior a qualidade da água.

Previsão da salinidade do solo

São vários os modelos disponíveis para simular a condutividade eléctrica da solução do solo (EC_{sw}) (Šimůnek *et al.*, 1996; van Dam *et al.*, 1997; Pang

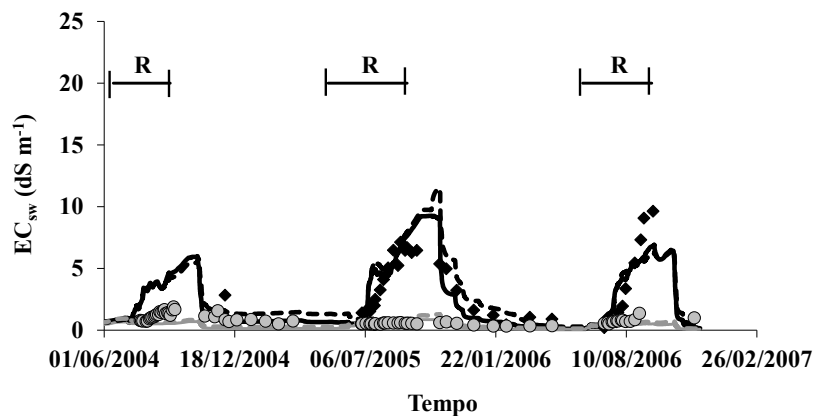
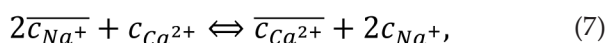


Figura 1 - Condutividade eléctrica da solução do solo (EC_{sw}) medida e simulada num solo de textura ligeira com o modelo HYDRUS-1D (Šimůnek et al., 2008) (◆, valores medidos nas parcelas regadas com águas salinas; ◈, valores medidos nas parcelas regadas com águas de boa qualidade; —, EC_{sw} simulada como traçador nas parcelas regadas com águas salinas; - - -, EC_{sw} simulada como traçador nas parcelas regadas com águas de boa qualidade; — — —, EC_{sw} simulada nas parcelas regadas com águas de boa qualidade a partir dos catiões de troca; - · - · -, EC_{sw} simulada nas parcelas regadas

and Letey, 1998; Šimůnek et al., 2008). A maior parte desses modelos simula a EC_{sw} como um soluto não reactivo, 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 (Šimůnek et al., 1996, 2008). Ramos et al. (2011) estudaram estas duas abordagens em dois solos regados com água salina e água de boa qualidade ao longo de três anos (Figura 1). 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.

A modelação dos catiões solúveis requer uma abordagem mais complexa, onde a interacção entre os vários catiões e a competição pelas ligações de troca devem ser tidas em conta. Gonçalves et al. (2006) e Ramos et al. (2011) utilizaram o módulo UNSATCHEM do modelo HYDRUS-1D (Šimůnek et al., 2008) para simular as concentrações de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} em perfis do solo regados com água de diferente qualidade (Figura 2). Aquele módulo usa as equações de Gapon para descrever os processos de troca entre a fase sólida e líquida do solo. Para o caso das trocas entre o Na^+ e Ca^{2+} :



em que ($\overline{c_x}$) é a concentração do catião de troca ($mmol_c kg^{-1}$) e c_x é a concentração do catião solúvel ($mmol_c L^{-1}$).

O coeficiente de troca de Gapon ($K_{Ca/Na}$) é obtido por:

$$K_{Ca/Na} = \frac{\overline{c_{Ca^{2+}}}}{Na^+} \frac{Na^+}{\sqrt{c_{Ca^{2+}}}}, \quad (8)$$

enquanto que a CTC é calculada como a soma dos catiões de troca e assumindo-se como constante e independente do pH. Assim, com esta abordagem, a crescente sodização do solo, i.e., o aumento da concentração de Na^+ na fase sólida do solo origina uma transferência dos outros catiões (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) da fase sólida para a fase líquida do solo. A Figura 2, que descreve os resultados de uma experiência com água salina enriquecida unicamente com $NaCl$, mostra claramente o aumento dos catiões Ca^{2+} e Mg^{2+} solúveis devido à interacção entre os solutos e a fase sólida do solo (Ramos et al., 2011).

As maiores limitações à implementação de modelos matemáticos na gestão sustentável da rega são a grande exigência de parâmetros de entrada, nomeadamente, as propriedades hidráulicas do solo e os parâmetros de transporte de solutos, e a ausência de programas de monitorização das propriedades físicas e químicas do solo nas áreas regadas a longo prazo, o que impossibilita assim a calibração dos modelos. No entanto, a modelação matemática deve ser vista como uma ferramenta importante no estabelecimento de práticas de regadio sustentável com vista à minimização dos riscos ambientais, tanto no solo como nos aquíferos.

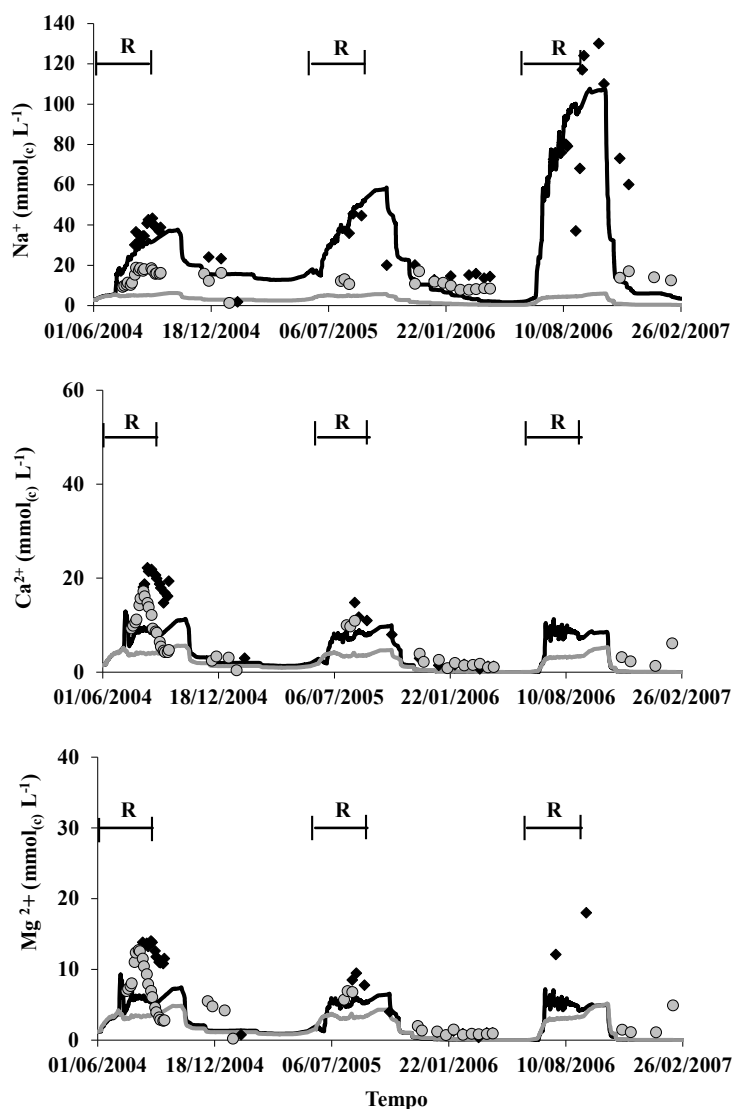


Figura 2 - Concentrações de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} solúveis medidas e simuladas num solo de textura mediana com o modelo HYDRUS-1D (Šimůnek et al., 2008) (◆, valores medidos nas parcelas regadas com águas salinas; ●, valores medidos nas parcelas regadas com águas de boa qualidade; —, simulações nas parcelas regadas com águas salinas; - - -, simulações nas parcelas regadas com águas de boa qualidade; R, períodos de rega).

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 neces-

sário acrescentar, à quantidade de água necessária para as culturas, uma quantidade de água adicional (LR - a necessidade de lixiviação, mm) que se exprime em função daquela pela expressão (Van der Molen, 1973):

$$LR = (E - P) \frac{EC_i}{f(EC_{FC} - EC_i)} = (E - P) \frac{EC_i}{f(2EC_c - EC_i)}, \quad (9)$$

em que E é a evapotranspiração real (mm), P a quantidade de chuva no período (mm), EC_i a condutividade eléctrica da água de rega (dS m^{-1}), EC_{FC} a condutividade eléctrica da solução do solo à capacidade de campo (dS m^{-1}), EC_c a condutividade eléctrica admissível para o extracto de saturação

do solo (dS m^{-1}) e f o factor que representa a eficiência de lixiviação, que depende do tipo de solo (textura) e do método de rega utilizado.

Uma outra equação para se determinar a necessidade de lixiviação de sais do solo é a referida por Ayers e Westcot (1985):

$$LR = EC_i / (5 EC_e - EC_i). \quad (10)$$

A 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 correctivo 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 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 Ca^{2+} necessários para a substituição de outros cationes de troca (excepto o Mg^{2+}). Pode também deduzir-se do conhecimento da CTC e da ESP, usando a seguinte expressão:

$$Qz = (ESP - ESP_i) / 100 \text{ CTC } Y_z, \quad (11)$$

em que Qz 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, ESP_i a percentagem de sódio de troca que se considera admissível no final, CTC a capacidade de troca cationica ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e Yz a quantidade de gesso necessário por hectare para substituir 1 cmol_c de Na^+ de troca por kg de solo seco (a 105°C), numa camada com a espessura z (cm) e com uma determinada massa volúmica aparente.

Considerações gerais

Neste trabalho de síntese, são referidas as causas da salinização/sodização dos solos em geral e nomeadamente em Portugal, os indicadores utilizados para a sua avaliação, os estudos realizados de cartografia de sapais e salgados e respectivo aproveitamento agrícola potencial e métodos de recuperação.

Procedeu-se ainda a uma abordagem dos riscos de salinização potencial provocados pelo uso de águas de rega de qualidade deficiente. Referem-se alguns estudos efectuados 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 eléctrica da solução do solo, tendo como objectivo 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 afectados 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 as 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 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. e 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, p. 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, p. 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, Bensafrim, Alcantarilha, Espiche e Almargem). *Pedologia, Oeiras*, vol. 14, n. 2, p. 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. e Serpa, A.M. (1976) - Reconhecimento dos sapais e salgados do Arade. *Pedologia, Oeiras*, vol. 11, n. 1, p. 49-133.
- Alvim, A.J. e 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, p. 1-43.
- Alvim, A.J. e 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. e 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. e 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/ENVI/ST/2008-23, 102 p.
- Brady, N.C. e 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. e 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, p. 14-46. Lisboa, SROA, Secretaria de Estado da Agricultura.
- Chhabra, R. (1996) - *Soil salinity and water quality*. Brookfield, USA, A.A. Balkema, 284 p.
- Fernandes, J. F. (1973) - Os sapais da Quinta da Rocha e seu valor agrícola (Região do Alvor). *Pedologia, Oeiras*, vol. 8, n. 2, p. 187-217.
- Fernandes, J. F. (1975) - Reconhecimento dos sapais de Portugal. Baixas do Alvor. *Pedologia, Oeiras*, vol. 10, n. 2, p. 151-195.
- Ghassemi, F.; Jakeman, A.J. e 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. e Pires, F.P. (2006) - Multicomponent solute transport in soil lysimeters irrigated with waters of different quality. *Water Resources Research*, 42, W08401. <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. 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. e 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, p. 57-76.
- Marado, M.O.B. e Cardoso, J.C. (1969) - Carta dos solos salinos de Portugal. *Boletim de Solos* nº 3, p. 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. e Alvim, A.J. (1985) - Estudo dos solos de uma área de salgados do Vale dos Judeus (Setúbal). *Pedologia, Oeiras*, vol. 20, n. 1, p. 179-203.
- Martins, J.C. e 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. e 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, p. 7.

- Martins, J.C.; Carmona, M.A. e Hipólito, M.M. (1999) - Plantas hortícolas alternativas para cultivo em solos salinizados e susceptíveis de serem regadas com água salobra ou salina. *In: 10^o Congresso do Algarve*, p. 659-664.
- Martins, J.C.; Gonçalves, M.C.; Gonçalves, A.R.; Rodrigues, C.P.; Pires, F.P. e 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, p. 324-336.
- Martins, J.C.; Gonçalves, M.C.; Pires, F.P.; Oliveira, A.; Gonçalves, A.R. e Rodrigues, C.P. (2004) - Salinização de um Fluvissoleto regado com águas de qualidade diferente, em condições de estufa e de campo. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 27, n. 1, p. 72-85.
- Martins, J.C.; Gonçalves, M.C.; Pires, F.P.; Neves, M.J.; Oliveira, A.V.; Rodrigues, C.P. e Ramos, T.B. (2005) - Riscos de salinização e sodicização de um Vertissolo e de um Luvissoleto regados com águas de diferente qualidade. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 28, n. 2, p. 63-74.
- Martins, J.C.; Oliveira, M.M.; Neves, M.J.; Carmona, M.A.; Pires, F.P.; Bica, J.; Bica, M.A. e 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, p. 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.
- Pang, X.P. e Letey, J. (1998) - Development and evaluation of ENVIRO-GRO, an integrated water, salinity, and nitrogen model. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 62, n. 5, p. 1418-1427.
<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1998.03615995006200050039x>
- Ramos, T.B.; Šimůnek, J.; Gonçalves, M.C.; Martins, J.C.; Prazeres, A.; Castanheira, N.L. e 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, p. 129-144.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.07.016>
- Ramos, T.B.; Šimůnek, J.; Gonçalves, M.C.; Martins, J.C.; Prazeres, A. e 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, p. 87-104.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.05.007>
- Richards, L.A. (Ed.) (1954) - *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington, USDA Handbook 60.
- Sentis, I. (1996) - Soil salinization and land desertification. *In: Rubio, J. e Calvo, A. (Eds.) - Soil degradation and desertification in Mediterranean environments*. Logroño, Spain, Geofoma Ediciones, p. 105-129.
- Serpa, A.M. (1979) - Reconhecimento dos sapais e salgados do Ludo. (Algarve). *Pedologia, Oeiras*, vol. 14, n.1, p. 101-128.
- Šimůnek, J.; Suarez, D.L. e 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. e Šejna, M. (2008) - Development and applications of the HYDRUS and STANMOD software packages, and related codes. *Vadose Zone Journal*, vol. 7, n. 2, p. 587-600.
<http://dx.doi.org/10.2136/vzj2007.0077>
- Soil Survey Staff (1999) - *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. 2nd edition. Washington, Natural Resources Conservation Service. US D. A Handbook 436.
- Szabolcs, I. (1989) - Amelioration of soils in salt-affected areas. *Soil technology*, vol. 2, n. 4, p. 331-344.
[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, p. 1-12.
- Teixeira, A. J. (1967) - Tiossolos. Nota preliminar. *Pedologia, Oeiras*, vol. 2, n. 1, p. 7-13.
- Teixeira, A.J. e Alvim, A.J. (1978) - Reconhecimento dos sapais da Ria de Faro. *Pedologia, Oeiras*, vol. 13, n. 1, p. 68-109.
- Tóth, G.; Montanarella, L. e Rusco, E. (Eds.) (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*.
<http://www.unccd.int/en/about-the-convention/Pages/Text-overview.aspx>
- Van Dam, J.C.; Huygen, J.; Wesseling, J.G.; Feddes, R.A.; Kabat, P.; van Walsum, P.E.V.; Groenendijk, P. e van Diepen, C.A. (1997) - *Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment*. Technical Document 45. Wageningen, Wageningen Agricultural University and DLO Winand Staring Centre.
- Van der Molen, W.H. (1973) - Salt balance and leaching requirement. *In: Kessler, J. (Chief Editor) - Drainage principles and applications. II. Theories of field drainage and watershed runoff*. Publication 16, vol. 2. Wageningen, The Netherlands, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), p. 59-100.
- 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.