

Efeito da prática continuada do regadio sobre o complexo de troca do solo

Effect on soil exchange complex from continuous irrigation

J. M. Nunes¹, A. López-Piñeiro², J. P. Coelho³, S. Dias¹, C. Silva¹,
J. P. Trigueros² & A. Muñoz²

RESUMO

Tendo como principal objectivo a análise das alterações provocadas no complexo de troca do solo pela prática continuada do regadio, recolhemos, de forma georeferenciada, nos 12400 ha que constituem o Perímetro de Rega do Caia e áreas imediatamente adjacentes (situado nos Municípios de Elvas e Campo Maior, distrito de Portalegre, Portugal), 14280 amostras da camada superficial do solo (0-20 cm), as quais, depois de misturadas 10 a 10 de forma a que cada amostra compósita representasse 11,1 ha, foram analisadas no que respeita à composição do complexo de troca do solo e à capacidade de troca catiónica (CTC). Com recurso a software apropriado (sistemas de informação geográfica – SIG), foi possível relacionar individualmente as amostras de solo analisadas com o sistema cultural (sequeiro, menos de 15 anos em regadio, entre 15 e 25 anos em regadio e mais de 25 anos em regadio) e com o grupo de solos presente (Regossolos, Cambissolos, Vertissolos, Calcissolos, Luvisolos e Fluvisso-
los), sendo então possível analisar a influên-

cia do sistema cultural no complexo de troca do solo e a forma como os diferentes grupos de solos eram influenciados pelo regadio. Com excepção dos Vertissolos, os resultados obtidos confirmam um decréscimo generalizado dos valores da capacidade de troca catiónica, soma de bases de troca e grau de saturação em bases e um aumento do teor de sódio de troca nos solos explorados em regadio, que tende a agravar-se ao longo do tempo, pelo menos nos primeiros 30 anos desta prática.

ABSTRACT

Being the main goal of this work the analysis of the changes in the soil exchange complex brought by the continued irrigation practice, we collect georeferentially, in the 12400 ha constituting the Caia Irrigation Perimeter and adjacent areas (located in the Elvas and Campo Major region, Portalegre district, Portugal), 14280 topsoil samples (0-20 cm), which, after mixed 10 by 10, in a way that each aggregate sample represented 11.1 ha, were analyzed for soil exchange

¹ Escola Superior Agrária de Elvas, Apt 254, 7350 Elvas. Email: ratonunes@esaelvas.pt;
² Universidad de Extremadura, Facultad de Ciencias. Avda Elvas s/n, Badajoz, Spain; ³ Universidade Técnica de Lisboa, Inst. Sup. de Agronomia, Tapada da Ajuda, 1300 Lisboa

complex composition and for soil exchange capacity (CEC). With the use of appropriate software (Geographic Information Systems-GIS), it was possible to relate the results of individual samples analysed with the cultural system (rain feed, less than 15 years in irrigation, between 15 and 25 years in irrigation and more than 25 years in irrigation) and the soil group (Regosols, Cambisols, Vertisols, Calcisols, Luvisols and Fluvisols), and then analyze the influence of the cultural system in the soil exchange complex and how the different soil groups were influenced by irrigation. With the Vertisols exception, the results confirm a decline in soil exchange capacity, sum of bases and base saturation ratio values and an increase in the exchange sodium percentage, which tends to get worse over time, at least in the first 30 years of this practice.

INTRODUÇÃO

As regiões com clima mediterrânico, que ocupam actualmente uma área de cerca de 4 300 000 km² (Yaalon, 1997), caracterizam-se pelo seu Verão seco e quente e pelos Invernos frescos e húmidos. Nestas circunstâncias a agricultura sofre de fortes limitações. De facto, quando as plantas têm as melhores condições para crescerem e produzirem em termos de temperatura e insolação, a falta de água impede que exprimam na plenitude o seu potencial genético, enquanto, pelo contrário, quando possuem água em abundância, as baixas temperaturas e o menor número de horas de sol obstam à obtenção de elevados crescimentos e produção (Sousa, 1999). Neste condicionalismo o regadio surge como a única resposta possível para aumentar significativamente a produtividade de várias culturas em vastas áreas do nosso país. Contudo o regadio, longe de ser uma prática que traz exclusi-

vamente benefícios aos nossos sistemas agrícolas, pode, dependendo do tipo de solo, qualidade da água de rega utilizada (Thellier *et al.*, 1990), fertilização e demais tratamentos químicos, técnicas culturais empregues e cultura afectar negativa e severamente a fertilidade química, física e biológica dos solos (Sun *et al.*, 2003)

No que respeita em particular ao complexo de troca do solo, nomeadamente aos valores de capacidade de troca catiónica (CTC), soma de bases de troca (SBT), grau de saturação em bases (GSB) e percentagem de sódio de troca (PST), o regadio pode conduzir a alterações sensíveis nos valores destes parâmetros (Nunes, 2003), mormente devido à lixiviação de bases de troca, usual nestes agrossistemas (Thellier *et al.*, 1990; Falkiner & Smith, 1997).

A composição da água de rega possui um papel determinante no impacto provocado pelo regadio sobre o complexo de troca do solo (Morshedi & Samedí, 2000). É opinião comum entre os autores consultados que sempre que a água de rega tem uma composição que se afasta da composição da água da chuva, a quantidade e a proporção em que as diferentes bases de troca passam a existir no complexo de troca do solo, reflecte os desvios existentes entre estas composições (Biederbeck *et al.*, 1995; Falkiner & Smith, 1997; Porter *et al.*, 1999).

O tipo e composição inicial do solo é, como referimos, outro dos factores que influenciam marcadamente as alterações no complexo de troca motivadas pela prática continuada do regadio. Este facto é apoiado, entre outros, pelos trabalhos de Ribamar-Pereira & Siqueira (1979) e Ribamar-Pereira & Cordeiro (1987), que, na mesma região, com a mesma cultura, utilizando água de rega de idêntica composição e praticamente a mesma fertilização e técnicas culturais, mas em dois tipos de solos distintos, Oxissolo no primeiro caso e Vertissolo

no segundo, chegaram a conclusões completamente distintas no que respeita à influência do regadio sobre os parâmetros CTC, SBT e GSB, sendo o complexo de troca do Oxissolo muito mais susceptível a alterações induzidas pelo regadio que o do Vertissolo.

O terceiro factor a influenciar de forma marcante a composição do complexo de troca do solo é a quantidade de fertilizantes aplicados (McKenzie *et al.*, 1991; Vera & Romero, 1994; Chan *et al.*, 1988). Sabe-se desde há muito tempo que a aplicação de catiões ao solo sob a forma de fertilizantes, principalmente potássio, cálcio, magnésio e sódio conduz a alterações na proporção destes elementos no complexo de troca do solo. Esta situação é tanto mais grave quanto maiores as quantidades de fertilizantes aplicadas. Consequentemente, é sobretudo nos sistemas agrícolas mais intensivos, em que se inclui o regadio, que se torna mais notória a influência da fertilização (Nunes, 2003).

Embora a influência do regadio sobre o complexo de troca do solo dependa em larga medida dos factores que acabámos de enumerar, a generalidade dos autores é unânime em afirmar que, para a maioria dos condicionalismos agro-climáticos do nosso país e de outros países de idêntico clima, a introdução do regadio conduz a um decréscimo nos valores de CTC, SBT e, igualmente, do GSB (Santos, 2003; Nunes *et al.*, 2006). O decréscimo nos valores de CTC e SBT são devidos a vários aspectos que actuam cumulativamente, nomeadamente: em primeiro lugar, o regadio, ao proporcionar melhores condições de vida aos microorganismos, fomenta a mineralização da matéria orgânica, diminuindo assim os teores do componente do solo com maior capacidade de trocar catiões (Vera & Romero, 1994); em segundo lugar, o regadio provoca alguma erosão, sendo a fracção argilosa a mais arrastada, o que conduz a decrés-

cimos importantes nos teores da única componente da fracção mineral do solo com propriedades coloidais (Miller & Donahue, 1995); em terceiro lugar, o regadio induz, geralmente, um aumento dos teores de sódio no solo, que sendo um elemento desfloculante, promove a destruição dos colóides, sobretudo minerais, aí existentes (Miller & Donahue, 1995; Santos, 2003; Varennes, 2003; Nunes *et al.*, 2007).

Os trabalhos de investigação dedicados à temática do impacto do regadio nas propriedades químicas do solo em ambiente mediterrânico são frequentes. Contudo estes trabalhos apresentam geralmente resultados de laboratório ou, na melhor das hipóteses, resultados de campo com um número muito reduzido de anos de investigação (geralmente 2 ou 3). Face a esta realidade e numa conjuntura em que, em virtude dos empreendimentos hidroagrícolas em construção, se prevê que a área de regadio em Portugal praticamente duplique num futuro próximo, é, na nossa opinião, premente a realização de estudos que, para as condições edafoclimáticas predominantes no nosso país, analisem os efeitos a longo prazo (no nosso caso 35 anos) da prática do regadio sobre as características químicas do solo. Neste âmbito realizamos este trabalho cujos principais objectivos são: a) Analisar o efeito da prática continuada do regadio, durante um período de 35 anos, sobre alguns parâmetros relevantes na caracterização do complexo de troca do solo, nomeadamente CTC, SBT, GSB e PST; b) Verificar quais as diferenças de comportamento dos principais grupos de solos (Regossolos, Cambissolos, Vertissolos, Calcissolos, Luvisolos e Fluvisolos) relativamente aos parâmetros CTC, SBT, GSB e PST quando submetidos continuamente a regadio; c) Concluir, se possível, sobre qual o grupo de solos que oferece maior sustentabilidade ao ser explorado em regadio; d) Sendo um aspecto particular de

elevada relevância, pretendemos analisar qual a evolução da percentagem de sódio de troca em solos submetidos a regadio.

MATERIAL E MÉTODOS

Breve caracterização da área de estudo

A área de estudo corresponde ao Perímetro de Rega do Caia, com 7420 ha, e áreas imediatamente adjacentes, perfazendo um total de 12540 ha. O Perímetro de Rega do Caia localiza-se nos Concelhos de Campo Maior e Elvas, na confluência dos rios Caia e Guadiana (Figura 1), tendo entrado em funcionamento em 1969.

A geologia da zona corresponde essencialmente a formações câmbrias e silúricas, com pequenas áreas onde existem rochas eruptivas associadas a rochas alcalinas e hiper-alcalinas (Serviços Geológicos de Portugal, 1969 citado por Nunes, 2003).

Os grupos de solos mais comuns na área de estudo são: Fluvissoles (42,7%), Luvissoles (21,7%), Calcissolos (16,1%), Cambissolos (6,1%), Vertissolos (1,8%) e Regossolos (0,6%) (Nunes, 2003).

As culturas mais importantes, segundo dados obtidos junto da Associação de Beneficiários do Caia, entidade que gere o Perímetro de Rega do Caia, foram, em 2002, o milho (*Zea mays*) com 49%, o trigo (*Triticum aestivum*) com 17%, o girassol (*Helianthus annuus*) com 7%, o tomate (*Lycopersicon esculentum*) com 6% e a oliveira (*Olea europaea*) com 4% da área total.

Os dados climáticos da região de estudo foram obtidos na Estação Meteorológica de Elvas, situada a 38°53' N e 7° 9' W, sendo uma média do período entre 1970 e 2002. Em média a evapotranspiração potencial (ET_o) é maior que a precipitação entre Abril e Outubro, conduzindo nesta época a condições de aridez. A maioria dos 483 mm de

precipitação média anual coincidem com as temperaturas mais baixas, as quais se registam entre Outubro e Março, quando a ET_o é mais baixa, conduzindo a excessos de água no solo durante este período. A temperatura média mais elevada é registada em Julho com 24,7°C e a mínima é registada em Janeiro com 8,8°C.

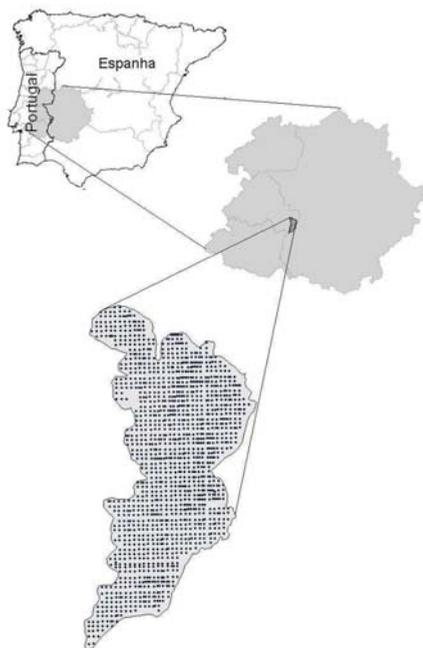


Figura 1 – Mapa de localização da área em estudo

A água de rega utilizada no Perímetro de Rega do Caia é de boa qualidade, classificada segundo a FAO (Food and Agriculture Organization) como “utilizável na rega sem restrições” (Ayers & Westcot, 1985) e segundo a USDA (United States Department of Agriculture) como C1S1 e, em algumas das amostras analisadas, como C1S2 (USDA, 1954). A composição média da água utilizada no Perímetro de Rega do Caia é-nos dada no Quadro 1 (resultados de análises realizadas à água

utilizada no Perímetro de Rega do Caia – amostras recolhidas semanalmente, em 10 pontos distintos e equitativamente distribuídos ao longo dos canais que constituem o Perímetro de Rega, durante as épocas de regadio de 2000 e 2001).

QUADRO 1 – Composição média da água de Rega utilizada no Perímetro de Rega do Caia

Parâmetro	Média	Variação
pH	7,89	7.37 – 8.50
CE (dS m ⁻¹)	0,20	0.19 – 0.22
Ca (mg L ⁻¹)	18,72	16.35 – 23.40
Mg (mg L ⁻¹)	6,65	5.72 – 7.28
P (mg L ⁻¹)	4,97	4.72 – 5.34
K (mg L ⁻¹)	2,65	2.25 – 3.10
NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	3,00	Vest. – 8.80
Na (mg L ⁻¹)	11,15	8.60 – 13.90
Cl (mg L ⁻¹)	18,42	17.70 – 20.25
SAR	0,20	0.16 – 0.22

Recolha de amostras

Dividimos os 12540 ha que constituem a área de estudo em quadrados, iguais, de 11,1 ha, sendo georeferenciado o centro de cada um desses quadrados (Universal Transverse Mercator – UTM coordinates). Todos os resultados analíticos relativos a esse quadrado eram associados geograficamente ao seu ponto central. Caso o quadrado de 11,1 ha se apresentasse notoriamente heterogéneo no que respeita a tipo de solo, sistema cultural, sistema de rega ou cultura

instalada, o quadrado era então dividido, na direcção Norte, em dois rectângulos (de 5,75 ha cada), sendo georeferenciado o centro de cada um desses rectângulos, ponto ao qual se associava toda a informação respeitante a esse polígono. Desta forma garante-se que cada ponto de amostragem corresponde a uma realidade de elevada homogeneidade (na Figura 1 podem observar-se os 1428 pontos correspondentes ao centro dos vários polígonos onde se recolheu informação).

Em cada um destes polígonos recolhia-se informação pertinente, onde se inclui o sistema agrícola existente, a cultura e, no caso do regadio, qual o sistema de rega empregue. Procedia-se então à recolha, utilizando para o efeito uma sonda de inox, de 10 amostras da camada superficial do solo (0 – 20 cm). Estas amostras eram em seguida cuidadosamente misturadas, passando a constituir uma amostra compósita que, depois de devidamente etiquetada, seguia para o laboratório para ser analisada. O número de amostras recolhidas em cada um dos principais grupos de solos é apresentado no Quadro 2.

A informação georeferenciada do grupo de solos presente em cada um polígonos foi obtida de Nunes (2003) e a antiguidade em regadio foi cartografada de acordo com dados fornecidos pela Associação de Beneficiários do Caia, igualmente no âmbito do trabalho anteriormente referido.

QUADRO 2 – Número de amostras de solo recolhidas em cada um dos principais grupos de solo existentes no Perímetro de Rega do Caia

Grupo de solo	Sequeiro	Regadio		
		< 15 anos	15 a 25 anos	> 25 anos
Fluvisolos	2180	2300	430	1180
Luvissolos	1690	660	580	150
Calcissolos	1430	70	700	100
Vertissolos	150	0	100	0
Regossolos	70	0	20	0
Cambissolos	500	360	10	0

Métodos analíticos

No laboratório as amostras de solo eram secas ao ar, sendo em seguida crivadas com um crivo inox de 2 mm de malha. A determinação das bases de troca e da capacidade de troca catiónica realizou-se mediante a extracção com uma solução de cloreto de bário e trietanolamina, tamponizada a pH 8,2, e posterior doseamento por espectrofotometria de absorção atómica - método de Mehlich, segundo Mehlich (1948).

Delineamento Experimental e gestão da informação

O tratamento estatístico dos dados foi realizado utilizando o programa SPSS (versão 11,5). O tratamento estatístico consistiu na realização de uma ANOVA, seguida de comparação múltipla de médias pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

A gestão e mapeamento da informação foram realizadas com recurso ao software Arc View 3.2 (Sistemas de Informação Geográfica).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Capacidade de Troca Catiónica

A capacidade de troca catiónica (CTC) do solo decresce de forma altamente significativa com a prática do regadio. Assim, enquanto os solos em sequeiro possuem uma CTC, em média, de $15,82 \text{ cmol}_{(+) } \text{ kg}^{-1}$ nos solos em regadio este valor decresce para $11,99 \text{ cmol}_{(+) } \text{ kg}^{-1}$. Este resultado é explicado por autores como Morshedi & Samedí (2000), Santos (2003) e Varennes (2003) segundo os quais a redução nos valores de CTC nos agrossistemas de regadio se deve ao decréscimo registado nos teores de matéria orgânica e ao decréscimo do con-

teúdo em argila a que o regadio conduz. De acordo com estes autores o regadio possibilita um aumento da actividade microbiana no solo, com o conseqüente aumento da mineralização da matéria orgânica aí existente. Esta maior taxa de mineralização poderia ser compensada pelo facto do regadio induzir uma maior produtividade e logo um aumento da quantidade de resíduos vegetais deixados no solo, contudo, para as condições mediterrânicas, esta maior quantidade de matéria vegetal adicionada ao solo não compensa o aumento que se verifica da mineralização da matéria orgânica (Morshedi & Samedí, 2000).

No decurso do nosso trabalho podemos verificar de facto um decréscimo significativo dos teores de matéria orgânica induzido pelo regadio (Figura 2). No que respeita à variação registada nos teores de argila em virtude da prática do regadio, não possuímos dados que nos permitam confirmar esse decréscimo.

Se fizermos idêntica análise, agora para os distintos grupos de solo, verificamos que, nos Fluvissoles, Luvissolos, Calcissolos e Cambissolos, a prática continuada do regadio foi responsável por decréscimos sensíveis, ainda que não significativos do ponto de vista estatístico, nos valores da CTC (Quadro 3). No caso dos Regossolos, com os valores mais baixos de CTC de entre os grupos de solo considerados, verifica-se que a CTC medida nas parcelas em sequeiro é praticamente igual à CTC medido nas parcelas em regadio. De facto, num grupo de solo com teores de matéria orgânica muito baixos e caracterizada por possuir texturas ligeiras (FAO, 1999), onde a argila aparece em quantidades diminutas, o regadio pouco pode alterar uma situação que naturalmente já conduz a valores de CTC muito baixos. Salientamos a baixa representatividade que os Regossolos possuem neste Perímetro de Rega (unicamente 20 pontos de amostragem

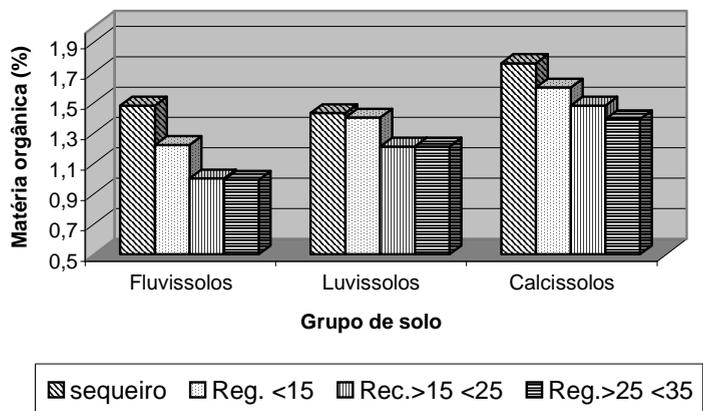


Figura 2 - Variação do teor de matéria orgânica em função do agrosistema considerado. **Nota:** Só são apresentados os resultados relativos aos grupos de solos com representatividade em todas as classes de antiguidade em regadio consideradas no âmbito deste estudo

nos agrosistemas de regadio), o que condiciona a robustez dos resultados obtidos.

No caso dos Vertissolos, o acréscimo significativo da CTC registado nas parcelas em regadio comparativamente às parcelas em sequeiro, deve-se a um aumento nos teores de matéria orgânica que se registou nos Vertissolos em regadio comparativamente aos mantidos em sequeiro (aumento de 4,6%, de 1,47% para 1,54%). Este aumento do teor de matéria orgânica será devido, provavelmente, a um aumento da quantidade de resíduos deixados pelas

culturas no solo e/ou devido a uma certa protecção da componente orgânica do solo feita pelas argilas (Sparks, 1995), que neste grupo de solos estão presentes em elevada proporção (FAO, 1999). O aumento do teor de matéria orgânica nos Vertissolos por nós constatado, contrário aos resultados obtidos por McKenzie *et al.* (1991) e por Porter *et al.* (1999), mas semelhante ao verificado por Grigoryev *et al.* (1993), será a principal justificação para o aumento significativo registado nos valores de CTC.

QUADRO 3 - Valores de capacidade de troca catiónica ($\text{cmol}_{(+)}$ kg^{-1}) medidos nos vários grupos de solos e sistemas agrícolas considerados neste estudo.

Tipos de solos	Sistema de cultivo			
	Sequeiro	Regadio		
		< 15 anos	15 a 25 anos	> 25 anos
Fluvisolos	13,47±1,49 a	10,53±1,89 a	11,04±1,54 a	10,10±1,69 a
Luvisolos	15,51±1,78 a	14,50±2,31 a	12,72±2,54 a	12,84±1,43 a
Calcisolos	22,68±2,16 a	20,09±2,12 a	16,79±1,98 a	17,58±2,01 a
Vertissolos	15,84±2,56 a	*	22,37±1,87 b	*
Regossolos	7,99±0,82 a	*	8,01±1,30 a	*
Cambissolos	10,63±2,08a	9,93±1,98 a	9,74±2,14 a	*

Nota: Numa dada linha os valores seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si ($p < 0,05\%$).

* Não existem pontos de amostragem deste grupo de solos com esta antiguidade em regadio

Ao analisarmos a influência da antiguidade em regadio sobre os valores de CTC do solo (Quadro 3), facilmente verificamos, com exceção dos Vertissolos, a tendência, não significativa do ponto de vista estatístico, para um decréscimo nos valores deste parâmetro ao longo do tempo. Já havíamos chegado a um resultado idêntico quando analisamos o decréscimo do teor de matéria orgânica nos solos em regadio (Figura 2).

Soma das Bases de Troca (SBT)

O regadio conduz a decréscimos, altamente significativos, nos valores de soma das bases de troca. Desta forma, enquanto os solos mantidos em sequeiro apresentam, em média, um valor de SBT na ordem dos $12,24 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$, nos solos em regadio este valor decresce para, em média, $8,27 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$.

O decréscimo dos valores de SBT nos solos em regadio deve-se sobretudo à lixiviação e consumo por parte das plantas (com maiores produções neste agrossistema e logo com maior consumo de nutrientes) de bases de troca, com o conseqüente aumento da proporção de cátions de natureza acídica, como sejam o H^+ e o Al^{3+} . É ainda importante para explicar este resultado o facto da água utilizada no Perímetro de Rega do Caia

ser de boa qualidade para regadio (como podemos verificar no capítulo de material e métodos), o que significa possuir um baixo teor de Ca, Mg, K ou Na, tornando os fenómenos de lixiviação mais intensos.

Ao analisar as variações de SBT nos diferentes grupos de solos (Quadro 4), verificamos que, à exceção dos Vertissolos, o regadio é responsável por uma diminuição, notória, mas sem ser estatisticamente significativa, nos valores deste parâmetro.

Nos Vertissolos o resultado obtido é exactamente o contrário, isto é, as parcelas em regadio possuem valores de SBT significativamente superiores aos registados nas parcelas em sequeiro. A explicação para este resultado reside nas características específicas dos Vertissolos, que temos vindo a referir, mas também no facto de, neste caso em particular, 80% dos Vertissolos em regadio serem utilizados na monocultura do milho grão, a cultura mais intensiva que se pratica no Perímetro de Rega do Caia em termos de utilização de fertilizantes. Esta maior utilização de fertilizantes, entre eles os cátions potássio, cálcio e magnésio, leva a que a concentração destes no complexo de troca não diminua e, pelo contrário, até aumente, com o conseqüente aumento dos valores de SBT.

QUADRO 4 - Valores de Soma de Bases de Troca ($\text{cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$) medidos nos vários tipos de solo e sistemas agrícolas considerados neste estudo.

Tipos de solos	Sistema de cultivo			
	Sequeiro	Regadio		
		< 15 anos	15 a 25 anos	> 25 anos
Fluvisolos	9,76±0,99 b	7,57±1,12 a	6,43±1,32 a	6,20±0,78 a
Luvisolos	11,92±1,02 a	10,95±0,95 a	9,21±0,78 a	9,45±1,12 a
Calcisolos	19,23±1,34 b	16,70±1,99 a	14,78±2,24 a	13,73±1,98 a
Vertissolos	12,89±2,79 a	*	18,95±2,12 b	*
Regossolos	5,88±0,67 a	*	4,41±1,31 a	*
Cambissolos	6,60±1,21 a	6,10±1,01 a	5,74±1,17 a	*

Nota: Numa dada linha os valores seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si ($p < 0,05\%$).

* Não existem pontos de amostragem deste grupo de solos com esta antiguidade em regadio

Podemos ainda constatar nos resultados obtidos que o período de tempo em regadio influencia notoriamente os valores de SBT, qualquer que seja o grupo de solo em análise. Este decréscimo nos valores de SBT é particularmente importante nos primeiros 15 anos desta prática, após o que o decréscimo nos valores de SBT continua, mas de uma forma menos evidente, sendo as diferenças registadas reduzidas e sem significado estatístico. A explicação para este resultado prende-se o facto de o solo possuir a capacidade de se opor a alterações da sua composição, sendo esta oposição tanto mais relevante quanto maior for o afastamento entre a sua composição num dado momento e a sua composição inicial (Miller & Danahue, 1995).

Grau de Saturação em Bases (GSB)

Os solos em sequeiro apresentam um valor de GSB de 70,71% enquanto nos solos em regadio esse valor decresce, significativamente, para 63,52%. Se analisarmos o efeito do regadio sobre os valores de GSB calculados para cada um dos grupos de solo em análise (Quadro 5), verificamos que, à excepção dos Vertissolos, em todas os restantes grupos de solos os valores de GSB decrescem com a prática da irrigação, embora as diferenças registadas só sejam

significativas no caso dos Fluvisolos,. Este resultado deve-se, como referimos no sub-ponto relativo à SBT, à maior lixiviação e consumo de bases de troca nos agrossistemas de regadio comparativamente ao que acontece nos agrossistemas de sequeiro, com o consequente aumento, nos primeiros, da proporção de catiões menos consumidos e lixiviados, como é o caso dos catiões de natureza ácida, e logo com a diminuição dos valores de GSB.

No caso dos Vertissolos, embora as diferenças registadas não sejam significativas do ponto de vista estatístico, os valores de GSB são maiores nas parcelas exploradas em regadio comparativamente às parcelas exploradas em sequeiro. Este resultado não se verifica nos restantes grupos de solos porque estes são utilizados numa maior variedade de culturas, sendo a sua fracção utilizada na monocultura do milho grão, a que, como já havíamos referido, recebe na generalidade dos casos maiores quantidades de nutrientes sob a forma de fertilizantes (nomeadamente Ca, Mg, K e Na), muito menor do que o que se verifica para os Vertissolos (58,3% nos Fluvisolos, 47,4% nos Luvisolos, 40,5% nos Cambissolos e 44,0% nos Calcissolos), conduzindo assim à presença de menores quantidades de bases de troca.

QUADRO 5 - Valores de Grau de Saturação em Bases (%) medidos nos vários tipos de solo e sistemas agrícolas considerados neste estudo.

Tipos de solos	Sistema de cultivo			
	Sequeiro	Regadio		
		< 15 anos	15 a 25 anos	> 25 anos
Fluvisolos	64,31±1,34 b	63,74±1,11 b	56,08±2,34 a	57,96±3,21 a
Luvisolos	72,65±3,15 a	70,95±2,23 a	69,40±2,78 a	69,92±3,87 a
Calcissolos	85,36±4,32 a	82,79±5,21 a	80,18±3,98 a	80,05±3,87 a
Vertissolos	77,71±4,23 a	*	81,63±5,89 a	*
Regossolos	73,06±7,67 a	*	55,04±8,95 a	*
Cambissolos	58,79±5,34 a	56,90±3,78 a	56,82±3,67 a	*

Nota: Numa dada linha os valores seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si ($p < 0,05\%$).

* Não existem pontos de amostragem deste grupo de solos com esta antiguidade em regadio

Quanto à influência da antiguidade em regadio sobre os valores de GSB (Quadro 5), verificamos que existe uma tendência, significativa no caso dos Fluvisolos, para que os valores deste parâmetro decresçam ao longo do tempo. De facto, como vimos no sub-ponto relativo à CTC, o efeito do regadio sobre os parâmetros que caracterizam o complexo de troca do solo, embora de forma não linear, tende a acentuar-se ao longo do tempo, pelo menos nos primeiros 35 anos desta prática.

Percentagem de Sódio de Troca (PST)

Por fim iremos analisar um aspecto particular das alterações na composição do complexo de troca do solo motivadas pelo regadio, a percentagem de sódio de troca. Pela análise dos resultados é possível verificar que o teor do sódio de troca passa, em média, dos $0,31 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ nos solos mantidos em sequeiro para os $0,35 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ nos solos regados, crescendo significativamente.

Se esta análise for realizada para cada um dos grupos de solo considerados no âmbito deste estudo, verificamos que, à excepção dos Regossolos, em todos os demais grupos de solo o teor de sódio de troca subiu com a

prática do regadio (Quadro 6).

Este aumento do teor de sódio no solo prende-se com dois aspectos principais: Em primeiro lugar prende-se com as enormes quantidades deste catião veiculadas pela água de rega e, em segundo lugar, prende-se com o facto deste ser um elemento consumido em quantidades muito reduzidas pela maioria das plantas (Varenes, 2003). No caso dos Regossolos, em que o teor de sódio de troca se manteve praticamente inalterado com a prática do regadio, a explicação dever-se-á essencialmente a dois aspectos: o primeiro relacionado com o facto deste ser o grupo de solo com menor potencial produtivo, consequentemente regado com menores volumes de água. O segundo relacionado com o facto deste ser um grupo de solos onde predominam as texturas ligeiras, as quais permitindo uma lixiviação mais eficiente do sódio, conduziram a que as concentrações deste catião no complexo de troca não tenham sofrido alterações importantes.

Quanto à influência do factor tempo em regadio sobre os teores de sódio de troca no solo, verificamos que, embora de uma forma nem sempre significativa em termos estatísticos, os teores de sódio tendem a aumentar ao longo do tempo (Quadro 6).

QUADRO 6 – Teores de sódio de troca ($\text{cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$) medidos nos vários grupos de solos e sistemas agrícolas considerados neste estudo.

Tipos de solos	Sistema de cultivo			
	Sequeiro	Regadio		
		< 15 anos	15 a 25 anos	> 25 anos
Fluvisolos	0,33±0,05 a	0,33±0,03 a	0,36±0,06 a	0,36±0,02 a
Luvissolos	0,30±0,02 a	0,33±0,02 a	0,37±0,01 ab	0,40±0,01 b
Calcissolos	0,29±0,03 a	0,32±0,02 a	0,36±0,02 ab	0,40±0,01 b
Vertissolos	0,33±0,08 a	*	0,43±0,06 b	*
Regossolos	0,24±0,03 a	*	0,23±0,02 a	*
Cambissolos	0,26±0,04 a	0,31±0,03 a	0,35±0,02 a	*

Nota: Numa dada linha os valores seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si ($p < 0,05\%$).

* Não existem pontos de amostragem deste grupo de solos com esta antiguidade em regadio

QUADRO 7 – Valores de Percentagem de Sódio de Troca (%) medidos nos vários grupos de solos e sistemas agrícolas considerados neste estudo.

Tipos de solos	Sistema de cultivo			
	Sequeiro	Regadio		
		< 15 anos	15 a 25 anos	> 25 anos
Fluvisolos	3,38±0,48 a	4,36±0,69 ab	5,60±0,57 b	5,81±0,62 b
Luvisolos	2,52±0,41 a	3,01±0,27 a	4,02±0,23 ab	4,23±0,32 b
Calcissolos	1,51±0,09 a	1,92±0,11 a	2,43±0,19 a	2,91±0,23 a
Vertissolos	2,56±0,22 a	*	4,73±0,21 b	*
Regossolos	4,08±0,65 a	*	4,94±0,38 a	*
Cambissolos	3,94±0,23 a	6,23±0,45 b	7,39±0,56 b	*

Nota: Numa dada linha os valores seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

* Não existem pontos de amostragem deste grupo de solos com esta antiguidade em regadio

Quanto à influência do factor tempo em regadio sobre os teores de sódio de troca no solo, verificamos que, embora de uma forma nem sempre significativa em termos estatísticos, os teores de sódio tendem a aumentar ao longo do tempo (Quadro 6).

No que respeita à PST (quadro 7), constatamos um aumento significativo nos valores deste parâmetro com a prática do regadio, passando de 4,32% nos solos em sequeiro para 6,36% nos solos regados. Este resultado era espectável dado que o sódio é a única base de troca cuja concentração no complexo de troca aumenta.

Este resultado, comum a todos os grupos de solo considerados neste estudo, inclusive para os Regossolos que haviam demonstrado um comportamento diferenciado quando se analisou os teores de sódio no complexo de troca do solo, explica-se face a um decréscimo generalizado no teor das bases de troca existentes no complexo coloidal do solo, motivado pela lixiviação e maior consumo destes elementos induzidos pela prática do regadio, e pelo aumento do teor de sódio de troca verificado para a quase totalidade dos grupos de solo em análise. No caso dos Regossolos, embora o teor de sódio no complexo de troca também tenha decrescido em virtude da prática do regadio, observa-se um decrescido mais que proporcional das

restantes bases de troca, com o consequente aumento do valor de PST.

Ao longo do período em regadio, a PST dos diferentes grupos de solo cresce significativamente, com excepção dos Calcissolos e dos Regossolos, onde as diferenças registadas não possuem significado estatístico. Os valores mais baixos e o menor crescimento de PST registados nos Calcissolos fica-se a dever ao facto destes serem ricos em carbonatos de cálcio e magnésio ao longo de todo o seu perfil (FAO, 1999).. Esta composição conduz a que o complexo de troca dos Calcissolos se encontre quase integralmente preenchido pelas referidas bases de troca, sendo a proporção de sódio mínima. Por outro lado, a contínua disponibilização de magnésio e sobretudo de cálcio proveniente dos referidos carbonatos, conduz a que mesmo nos agrossistemas de regadio o teor de sódio no complexo de troca não cresça de forma tão evidente, comparativamente ao que acontece nos outros grupos de solo.

Convém salientar que embora o aumento da proporção de sódio no complexo de troca no solo possua uma elevada relevância, sendo considerado o principal impacte do regadio sobre a composição química do solo (Nunes *et al.*, 2006), na actualidade, o grau de saturação em sódio do complexo de troca

dos solos do PRC ainda se encontra, excepto em situações muito pontuais (menos de 10% da área total em regadio), muito afastado dos 15% referenciados pela FAO ou pela USDA ou dos 10% referenciados por Shainberg & Letey (1984), Curtin *et al.* (1994) e Miller & Donahue (1995) como o valor limite a partir do qual já se começam a verificar fortes impactes negativos sobre as propriedades físicas do solo. O Valor de PST a partir do qual são de prever efeitos negativos sobre a estrutura do solo e logo sobre o seu arejamento e demais propriedades hidráulicas depende de algumas características do solo, nomeadamente do seu teor e tipo de argilas e da sua condutividade eléctrica (CE). De facto, os solos onde predominem argilas do grupo das montmorilonites apresentam graves problemas de fertilidade física mesmo para valores de PST entre 5 e 10%. Outros solos, com pouca argila ou onde predominem argilas do grupo das caulinites, podem suportar valores máximos de PST a rondar os 20% a 25%, sem que daí advenham problemas para as suas propriedades físicas (McIntyre, 1979 citado por Shainberg & Letey, 1984; Curtin *et al.*, 1995; Miller & Danahue, 1995). Segundo Curtin *et al.* (1994) o valor máximo de PST admissível para que os solos não apresentem problemas de fertilidade física decresce à medida que o conteúdo em argila desses solos aumenta. No entanto, caso o limite de 10% fosse adoptado para diferenciar solos sódicos e normais, a maioria dos solos das regiões áridas e semi-áridas passariam a ser classificados como sódicos e, desta forma, exigiriam cuidados acrescidos de manejo (Miller & Donahue, 1995).

No que respeita à influência da CE sobre os valores máximos de PST admissíveis no solo sem que se verifique uma deterioração substancial das propriedades físicas deste Shainberg & Letey (1984), Curtin *et al.* (1994) e Oster (1994) referem que para um

dado valor de PST, a destruição da estrutura de um solo será tanto mais provável e tanto mais intensa quanto menor for a CE desse solo. Agassi *et al.* (1981), Shainberg & Letey (1984); Minhas *et al.* (1994) dizem ainda que para elevados valores de SAR a difusão da água no solo aumenta linearmente com o aumento da salinidade (CE). Para baixos valores de SAR, a influência da CE é ainda mais notória, conduzindo a aumentos exponenciais na difusão da água. Assim e face aos resultados destes autores e em virtude da água utilizada no PRC ser de baixa salinidade, como referimos no capítulo relativo ao material e métodos, devemos ter precauções acrescidas relativamente aos valores de PST apresentados pelos solos em regadio, devendo a monitorização deste parâmetro ser frequente.

CONCLUSÕES

No decurso deste estudo foi possível retirar as seguintes conclusões:

a) A prática continuada do regadio conduziu a alterações significativas no complexo de troca do solo. Para os vários grupos de solo considerados neste estudo, com a excepção dos Vertissolos, o regadio provocou um decréscimo notório nos valores de CTC, SBT e GSB.

b) Os teores de sódio no complexo de troca crescem, com excepção dos Regossolos, significativamente com a prática do regadio. Este resultado, de grande importância para a sustentabilidade dos agrossistemas de regadio, levou a um aumento significativo nos valores de PST.

c) Os Vertissolos apresentaram, nas condições em que decorreu este estudo, um comportamento bastante diverso dos demais grupos de solos. Neste grupo de solos verificou-se a um aumento nos valores de CTC, SBT e GSB nos solos regados. Daí que,

para as condições edafoclimáticas e culturais vigentes, este possa ser considerado o grupo de solos que melhor resistiu às alterações induzidas pela prática continuada do regadio.

d) As alterações verificadas no complexo de troca do solo pela prática continuada do regadio vão-se tornando mais evidentes à medida que aumenta a duração desta prática cultural. Este aspecto evolutivo dos resultados dos vários parâmetros analisados no âmbito deste trabalho deverá ser um dos aspectos a ter em conta quando se pretende avaliar o impacto ambiental da prática do regadio.

BIBLIOGRAFIA

- Ayers, J. & Westcot, D. 1985. Water quality for agriculture. Irrigation and drainage. FAO, Vol. 29 revised, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- Bertrand, R., Keita, B. & N'Diaye, M. 1993. La dégradation des sols des périmètres irrigués des grandes vallées sud-sahariennes (Cas de l'office du Niger au Mali). *Cahiers Agricultures* **2**:318-329.
- Biederbeck, V., Campbell, C., Ukrainetz, H., Curtin, D. & Bouman. 1995. Soil microbial and biochemical properties after ten years of fertilization with urea and anhydrous ammonia. *Can. J. Soil Sci.* **76**: 7-14.
- Chan, K. Y., Belloti, W. D. & Roberts, W. P. 1988. Changes in surface soil properties: Vertisols under dryland cropping in a semi-arid environment. *Aust. J. Soil Research*, **26**: 509-518.
- Curtin, D., Steppuhn, H. & Selles, F. 1994. Structural stability of chernozemic soils as affected by exchangeable sodium and electrolyte concentration. *Can. J. Soil Sci.* **74**: 157-164.
- Falkiner, R. & Smith, C. 1997. Changes in soil chemistry in effluent-irrigated *Pinus radiata* and *Eucalyptus grandis* plantations. *Aust. J. Soil Res.*, **35**:131-147.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1999. Base referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelos. FAO, Roma, Italy.
- Foth, H. 1990. Fundamentals of Soil Science, eighth edition. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Grigoryev, G., Konovalova, A. & Shubina, I. 1993. Changes in structure of soil and properties of irrigated sod-podzolic soils. *Soviet Soil Science* **15(1)**:11-26.
- Letey, J. 1993. Relationship between salinity and efficient water use. *Irrig. Sci.* **14**: 75-84.
- Mehlich, A. 1948. Determination of cation and anion exchange properties of soils. *Soil Sci.* **66**: 429-445
- McKenzie, D. C., Abbot, T. S. & Higginson, F. R.. 1991. The effect of irrigated crop production on the properties of a sodic vertisol. *Aust. J. Soil Res.* **29**: 443-453.
- Miller, R. & Donahue, R. 1995. Soils in Our Environment, seventh edition. Prentice Hal. USA
- Morshedi, A. & Samedí, A. 2000. Hydraulic conductivity of calcareous soils as affected by salinity and sodicity. I. Effect of concentration and composition of leaching solution and type and amount of clay minerals of tested soils. *Communications in soil Science and plant analysis* **31 (1-2)**: 51-67.
- Nunes, J. M. 2003. Los suelos del Perimetro Regable del Caia: Tipos, fertilidad e impacto del riego en sus propiedades químicas. Tese de Doutoramento. Facultad de Ciencias, Universidad da Extremadura, Espanha.
- Nunes, J. M., López-Piñeiro, A., Albarrán, A., Muñoz, A. & Coelho, J. P. 2007. Changes in selected soil properties caused by 30 years of continuous irriga-

- tion under Mediterranean conditions. *Geoderma*, **139**: 321-328.
- Nunes, J. M., Muñoz, A., Coelho, J. P., Dias, S., Garcia, A. & López-Piñeiro, A. 2006. Using a GIS for sustainable use and management of an irrigation area in the Spanish-Portuguese Border threatened by desertification. In: William Kepner, José Rubio, David Mouat & Fausto Pedrazzini (eds). Desertification in the Mediterranean Region – A Security Issue, pp. 451-474. Springer, Netherlands.
- Oster, J. & Schroer, F. 1979. Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **43**: 444-447.
- Porta, J., López-Acevedo, M. & Roquero, C. 1994. Edafologia para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, Espanha.
- Porter, G., Opena, G., Bradbury, W., McBurney, J. & Sisson, J. A. 1999. Soil management and supplemental irrigation effects on potato: I. Soil properties, tuber yield and quality. *Agron. J.* **91**:416-425.
- Ribamar-Pereira, J & Cordeiro, G. 1987. Efeito da irrigação e adubação sobre algumas características químicas de um vertissolo. *Pesq. Agropec. Bras.*, **22(6)**: 627-633.
- Ribamar-Pereira, J & Siqueira, F. 1979. Alterações nas características químicas de um oxissolo sob irrigação. *Pesq. Agropec. Bras.*, **14(2)**: 189-195.
- Santos, J.Q. 2003. Fertilização - Fundamentos da utilização dos adubos e Correctivos. Coleção Euroagro, Publicações Europa-America, Lisboa, Portugal.
- Shainberg, I. & Letey, J. 1984. Response of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia* **52(2)**: 1-57
- Sousa, P. L. 1999. Regadio à espera de água. *Gazeta das Aldeias*, **3079**: 12-14.
- Sparks, D. L. 1995. Environmental soil chemistry. Academic Press Inc., New York, USA.
- Sun, B., Zhou, S. & Zhau, Q. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma*, **115 (1-2)**: 85-99
- Thellier, C., Holtzclaw, K. M., Rhoades, J. D. & Sposito, G. 1990. Chemical effects of saline irrigation water on a San Joaquin Valley soil: II. Field soil samples. *J. Environ. Qual.* **19**: 56-60.
- United States Department of Agriculture (USDA). 1954. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos, Traducción de 1973 del Agriculture handbook nº 60, Limusa, México.
- Vera, F. & Romero, J. 1994. Impacto ambiental de la actividad agraria. *Agricultura y Sociedad* **71**: 153-181.
- Varenes, A. 2003. Produtividade dos solos e ambiente. Escolar Editora, Lisboa, Portugal
- Yaalon, D. 1997. Soils in the mediterranean region: What makes them different?. *Catena*, **28 (3-4)**: 157-169.