

INFLUÊNCIA DOS METAIS PESADOS NA REGA COM ÁGUA RESIDUAL DEPURADA EM CITRINOS NO ALGARVE

M. Costa¹; J. C. Brito²; C. Guerrero³, J. Osório⁴ e J. Beltrão⁵

¹Doutor em Agro-ecologia, mcosta@ualg.pt

²FERN – Universidade do Algarve, jbrito@ualg.pt

³FERN – Universidade do Algarve, cguerre@ualg.pt

⁴FERN – Universidade do Algarve, josorio@ualg.pt

⁵FERN – Universidade do Algarve, jbeltrao@ualg.pt

Campus de Gambelas, 8005-139 FARO

Resumo

No Algarve, a expansão urbanística e do regadio traduziu-se, nas últimas décadas, na intensificação da exploração dos aquíferos e na procura de recursos hídricos não convencionais. Paralelamente, o lançamento de efluentes em cursos de água, barragens e praias provoca problemas ambientais e de saúde pública que urge resolver. A reutilização da água residual depurada tem pouca expressão no Algarve, apesar de se tratar de um recurso hídrico alternativo. A rega representa um meio complementar de depuração e de eliminação dos efluentes, por meio do dinâmico sistema Solo-Planta-Atmosfera-*Continuum*. Foi analisada a evolução dos metais pesados (Cd, Ni, Pb e Cr) no solo de um pomar de laranjeiras (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck), regadas com efluentes da cidade de Faro. Não se observaram acréscimos significativos de Ni, Pb e Cr. No entanto, elevou-se ligeiramente a concentração de Cd no solo para 0,2 ppm provocado pela rega com água residual. De acordo com a experimentação efectuada, demonstra-se que a possibilidade de riscos de contaminação ambiental devido a metais pesados é mínima, quando comparada com a possível contaminação ambiental patogénica e salina estudada anteriormente.

Abstract

Due to the great irrigated areas and to the urban development during the last decades in the Algarve region, the intense aquifer pumping rate and the demand of non-conventional water resources increased. Also the discharge of the effluents on the water basins, rivers, lakes, dams, and seaside attracted public awareness of environmental pollution and the impact on water quality, which is urgent to solve. The reuse of treated wastewater is not developed in the Algarve region, in spite of the possibility of its use as an alternative disposal. Its reuse for irrigation represents the last environmental treatment and the effluent removal, through the dynamic system Soil-Plant-Atmosphere-*Continuum*. It was investigated the evolution of soil heavy metals (Cd, Ni, Pb e Cr) in a citrus orchard (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck), irrigated with treated effluents from the wastewater treatment plant of the town of Faro. It was not observed any significant of Ni, Pb and Cr. Nevertheless, the soil Cd concentration was slightly increased. to 0.2 ppm, due to the wastewater reuse. According to the shown research results, it is demonstrated that in the Algarve region, the environmental risks due to the

heavy metals are minimal, when compared to the environmental pollution that can be produced by pathogens and salinity, as presented by former research.

Palavras chave: solo; níquel; chumbo; cádmio; crómio; rega, água residual; citrinos.

1. Introdução

A utilização das águas residuais apresenta duas vertentes principais (Tapias, 1997; Asano, 2002): a económica - disponibilizar recursos de forma lucrativa (Beltrão *et al.*, 2002); e a ambiental - evitar a poluição provocada pelo lançamento de resíduos no ambiente e realizar a sua última depuração (Oron e Beltrão, 1993). Apesar de no último meio século, se ter verificado no Algarve, simultaneamente o incremento das áreas regadas e o desenvolvimento urbano-turístico, o uso das águas residuais não está vulgarizado (Monte, 1996; Angelakis *et al.*, 1999) e limita-se praticamente à rega de um campo de golfe (UAlg., 2003; Monteiro *et al.*, 2005). O objectivo deste trabalho consistiu na avaliação das variações dos níveis de metais pesados no solo de um pomar de citrinos quando da aplicação das águas residuais depuradas na rega. água natural e fertirrega foram utilizadas como termos de comparação. Os metais pesados, nomeadamente o cádmio (Cd), o níquel (Ni), o chumbo (Pb) e o crómio (Cr), podem ser prejudiciais para o Homem, quando em determinadas concentrações. Quando as águas residuais que se pretendam aplicar na agricultura, forem provenientes de áreas industriais, haverá que pensar seriamente nestes elementos (Jorgensen, 1975). Esta situação é difícil de encontrar no Algarve, devido à reduzida expressão da indústria (Brito, 1986; INE, 2001). Os metais pesados podem apresentar acentuadas diferenças no seu coeficiente de transferência do solo para a planta CT (Sauerbeck, 1991). Em ensaios realizados em Maiorca, não foram detectadas diferenças significativas nos teores de metais pesados nas culturas, no solo e nos lixiviados, quando foram utilizadas na rega águas naturais e águas residuais, estas com teores mais elevados em metais pesados (Santarrufina *et al.*, 1996). Idênticas conclusões foram tomadas na Florida em folhas de citrinos (Maurer *et al.*, 1995).

2. Material e métodos

2.1. Pomar de citrinos

O campo experimental localizou-se no litoral do Algarve, junto à estação de tratamento de águas residuais Nascente de Faro.

O material vegetal utilizado nos ensaios consistiu na cultura regada (20 000 ha) mais representativa no Algarve – os citrinos (Guerreiro, 1992; UAlg, 2003).

É no Litoral do Algarve onde se produz a quase totalidade dos efluentes urbanos (Ambio, 2001) e se encontra grande parte do regadio (Paquete e Costa, 1989).

As 36 laranjeiras (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck) utilizadas nos ensaios foram divididas equitativamente por três filas contínuas, de um pomar com cerca de 20 ha.

A cultivar utilizada foi “Newhall”, enxertada em citranjeira “Troyer”, um híbrido entre *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. e a cultivar de laranjeira “Washington Navel”. Este porta-enxerto é sensível à má drenagem, à salinidade, ao calcário activo e tolera mal a seca (Cottin, 1997; Agusti, 2000). A plantação fez-se em Maio de 1999, segundo o compasso de 2 m nas linhas por 6 m nas entrelinhas – 833 árvores por ha (Tabela 2).

O sistema de rega variou durante os três anos (1999, 2000 e 2001) em que decorreram os ensaios e teve lugar no semestre compreendido entre Maio e Outubro. A rega foi excessiva para as necessidades hídricas das plantas, em todas as modalidades (Vermeiren, 1980). Deste modo, o objectivo das diferentes dotações de rega experimentais foi provocar variações nas quantidades de metais pesados por meio da rega com água natural, com água residual e pela fertirrega. Foram utilizados gotejadores “Ram Netafin” incorporados no tubo, distanciados de 0,75 cm e com débito de 2,3 L h⁻¹.

Nos primeiros dois anos, todas as árvores beneficiaram de abundante fertirrega – 4,6 L dia⁻¹ (700 m³ ha⁻¹ ano⁻¹). No último ano, uma das rampas de rega passou a ser regada com água natural e outra com água residual depurada, proveniente da ETAR Nascente de Faro e provocaram-se variações na dotação de rega (Tabela 1). Para a fertirrega (FR) utilizaram-se dotações de rega de 4,6 L dia⁻¹ (FR100%), metade deste valor (FR50%) e o dobro (FR200%). De igual modo se procedeu relativamente às modalidades de água natural (AN100%), (AN50%) e (AN200%). A água residual (AR) foi lotada com água natural nas proporções de (AR100%), (AR50%) e (AR25%).

Tabela 1. Delineamento experimental final, no ano 2001, constituído por 36 árvores distribuídas equitativamente por 3 rampas de rega; 3 dotações de rega – normal (100%), metade (50%) e dupla (200%); com água natural (AN) ou com fertirrega (FR); com água residual simples (AR 100%) ou lotada com água natural (AR 50%) e (AR 25%).

Árvore	Fertirrega	Árvore	Água Natural	Árvore	Água Residual
1	FR 200%	13	AN 200%	25	AR 100%
2	FR 200%	14	AN 200%	26	AR 100%
3	FR 200%	15	AN 200%	27	AR 100%
4	FR 200%	16	AN 200%	28	AR 100%
5	FR 50%	17	AN 50%	29	AR 50%
6	FR 50%	18	AN 50%	30	AR 50%
7	FR 50%	19	AN 50%	31	AR 50%
8	FR 50%	20	AN 50%	32	AR 50%
9	FR 100%	21	AN 100%	33	AR 25%
10	FR 100%	22	AN 100%	34	AR 25%
11	FR 100%	23	AN 100%	35	AR 25%
12	FR 100%	24	AN 100%	36	AR 25%

Antes da plantação do pomar, o solo foi mobilizado em camalhões, distanciados de 6 m e com cerca de 1 m de altura. Esta mobilização profunda é uma prática cultural muito divulgada em pomares e o principal objectivo consiste em melhorar a drenagem do solo.

A classificação taxonómica pedológica é “Asac”, segundo a Carta dos Solos de Portugal (SROA, 1959; Cardoso, 1965) e define o solo como Salino de Salinidade Moderada de Aluviões de textura pesada, calcário.

As concentrações em metais pesados nas terras foram determinadas no início dos ensaios – Cd, Ni, Pb e Cr. A Tabela 2 apresenta os valores médios de metais pesados analisados nas terras do campo experimental e obtidos segundo metodologia descrita. Na mesma Tabela são apresentados os valores-limites de concentração de metais pesados (ppm de matéria seca), nos solos cultivados com pH > 7, que constitui o Anexo I da Portaria n.º 176/96 (2.ª série) do Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas e do Ambiente (1996). Verifica-se que todos os parâmetros foram muito inferiores aos valores-limite respectivos.

Tabela 2. Valores-limites de concentrações de metais pesados no solo

Parâmetro	Valores-limite	Fialho
Cádmio (ppm)	4	0,231
Níquel (ppm)	110	6,537
Chumbo (ppm)	450	14,551
Crómio (ppm)	300	4,418

Foram feitas análises laboratoriais aos metais pesados – Cd, Ni, Pb e Cr nas águas de rega – residual e natural e os respectivos valores encontram-se na Tabela 3. Estes teores foram obtidos segundo metodologia descrita. Também os valores máximos recomendados (VMR) e valores máximos admissíveis (VMA), para alguns parâmetros, indicados no Decreto-Lei n. 236/98 (1998), relativos à qualidade das águas destinadas à rega (Anexo XVI), são apresentados. Como se pode verificar, nenhum dos parâmetros de metais pesados analisados no efluente ou na água natural excederam os VMR.

Tabela 3. Valores analíticos das águas de rega – residual e natural e VMR e VMA para alguns parâmetros de metais pesados, Decreto-Lei n. 236/98, relativos à qualidade das águas destinadas à rega.

Parâmetro	VMR	VMA	Nora	ETAR
Cd (ppm)	0,01	0,05	0,001	0,001
Ni (ppm)	0,50	2,00	0,026	0,029
Pb (ppm)	5,00	20,00	0,025	0,055
Cr (ppm)	0,10	20,00	0,022	0,026

2.2. Métodos analíticos

Em amostras de terras utilizou-se o método de Lakanen e Erviö (1971). Uma toma de terra é agitada com uma solução de pH determinado durante um intervalo de tempo ao fim do qual ficarão no extractante o Cd, Ni, Pb e Cr. Estes elementos são determinados por espectrometria de absorção atómica. Foram utilizadas cinco diluições na determinação de cada curva de calibração.

Na água, as análises químicas dos elementos Cd, Ni, Pb e Cr foram observados por leitura directa, por espectrometria de absorção atómica, num modelo “Atomic Absortion / Flame Emission Shimadzu AA-680”. Foram utilizadas cinco diluições para definir cada curva de calibração.

3. Resultados

As variações das concentrações dos metais pesados no solo – cádmio (Cd, ppm), níquel (Ni, ppm), chumbo (Pb, ppm), e crómio (Cr, ppm), foram obtidas, subtraindo o valor único (amostra compósita) obtido em 2000 pelos valores de quatro repetições no ano 2001 (Tabela 6). Os valores de FR100% e de AN100% em 2000, serviram de termo de comparação para os de FR (100% e 50%) e de AR (100% e 50%) de 2001, respectivamente.

A Tabela 4 apresenta as médias e os desvios padrão das variações anuais (2000-2001) dos valores analíticos de metais pesados no solo – cádmio (Cd, ppm), níquel (Ni, ppm), chumbo (Pb, ppm), e crómio (Cr, ppm), nas modalidades de rega AN100%, FR50%, FR100%, AR50% e AR100%.

Tabela 4. Médias e desvios padrão das variações anuais das concentrações de metais pesados no solo

Parâmetro	AN100%	FR50%	FR100%	AR50%	AR100%
Pb (ppm)	11,54 ± 2,94	9,88 ± 0,70	9,97 ± 3,11	10,04 ± 7,66	12,89 ± 3,41
Cd (ppm)	-0,17 ± 0,08	-0,10 ± 0,08	-0,04 ± 0,05	0,18 ± 0,04	0,19 ± 0,10
Cr (ppm)	-2,13 ± 0,12	-4,28 ± 0,10	-4,42 ± 0,17	-4,86 ± 0,25	-4,78 ± 0,12
Ni (ppm)	2,78 ± 1,08	5,10 ± 0,74	4,16 ± 1,33	0,15 ± 3,28	0,85 ± 1,30

O procedimento estatístico descrito foi realizado utilizando o programa de análise estatística SPSS 11.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, U.S.A., 1989-2002). A análise estatística ANOVA foi feita para as médias das variações dos valores paramétricos de metais pesados no solo, obtidos nos finais dos anos 2000 e 2001. O número de amostras foi de 4 por cada modalidade e parâmetro. Foram muito significativas as diferenças encontradas entre as médias dos valores analíticos de Cd e de Cr, foram significativas no Ni e não foram significativas no Pb.

O teste estatístico de Duncan foi utilizado para as médias dos valores das variações de Cd analisadas no solo, relativamente a modalidades de rega. As médias de valores foram mais elevadas, e de forma significativa, nas modalidades de AR100% (0,19 ppm) e de AR50% (0,18 ppm), relativamente às restantes modalidades – FR50% e AN100%. Este resultado estatístico indica uma relação positiva entre a evolução da concentração de Cd no solo e as modalidades de água residual. A Figura 1 apresenta, para as diferentes modalidades de rega, para os anos 2000 e 2001, as concentrações de Cd no solo.

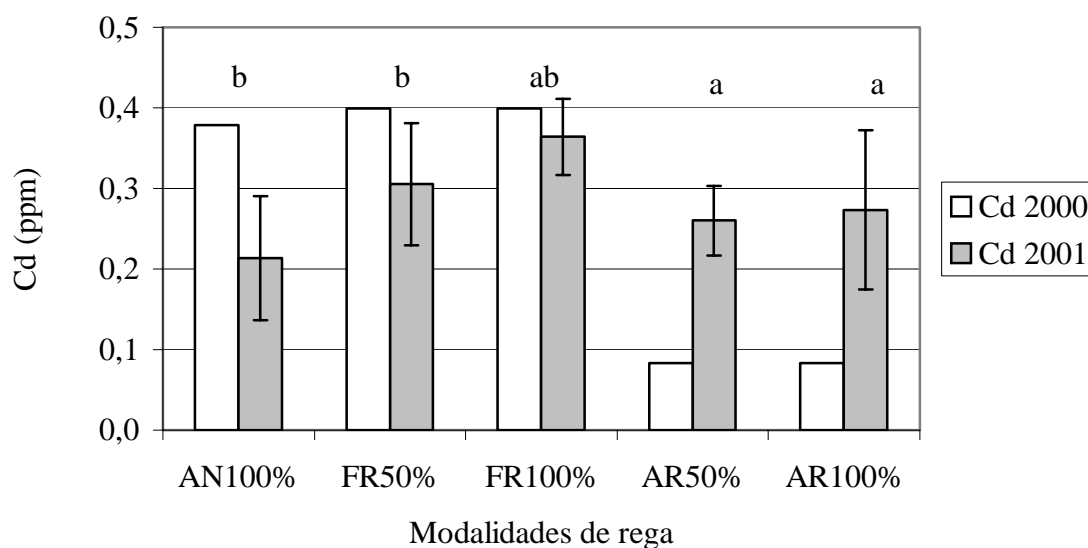


Figura 1. Médias e desvios padrão de concentrações de cádmio (Cd, ppm) no solo, para as diferentes modalidades de rega, durante os anos 2000 e 2001

O teste estatístico de Duncan foi utilizado para as médias dos valores das variações de Cr, encontrados no solo, relativamente a modalidades de rega. As médias de valores foram significativamente mais baixas nas modalidades de AR100% (-4,9 ppm) e AR50% (-4,8 ppm), comparativamente com AN100% (-2,1 ppm).

A evolução dos valores de Cr, em todas as modalidades, foi negativa ao longo do período 2000-2001, e observou-se uma relação negativa entre a evolução das concentrações de Cr no solo e nas modalidades de água residual. A Figura 2 apresenta, para as modalidades de rega, para os anos 2000 e 2001, as concentrações de Cr no solo.

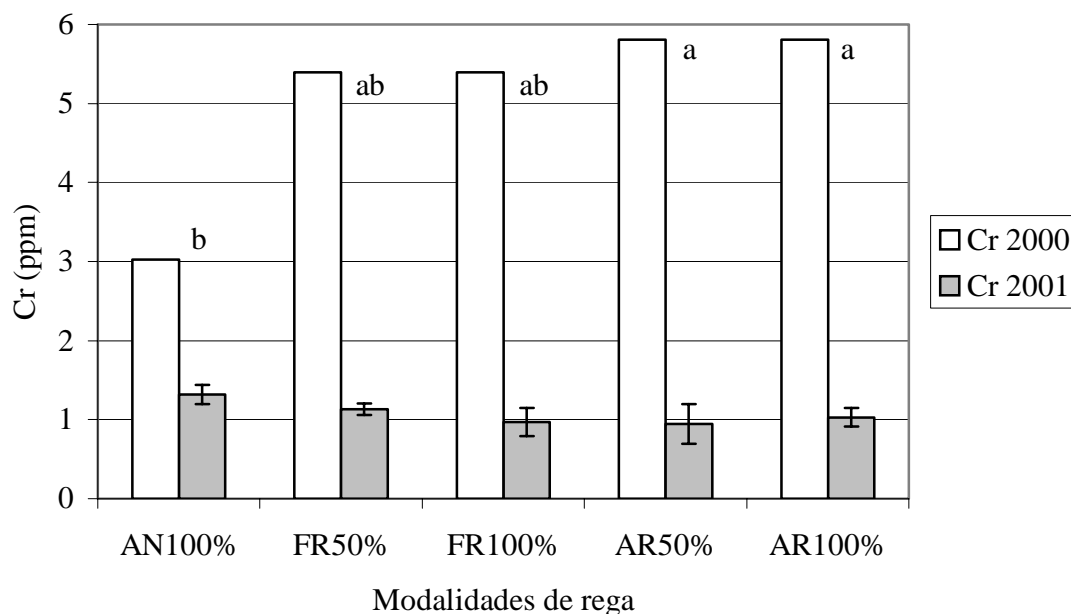


Figura 2. Médias e desvios padrão de valores de crómio (Cr, ppm) no solo, para as diferentes modalidades de rega, durante os anos 2000 e 2001

O teste estatístico de Duncan foi utilizado para as médias dos valores das variações de Ni, encontradas no solo, relativamente a modalidades de rega. As médias de valores foram significativamente mais baixas nas modalidades de AR50% (0,15 ppm) e AR100% (0,85 ppm), comparativamente com FR100% (4,16 ppm) e FR50% (5,10 ppm).

Observou-se uma relação negativa entre a evolução da concentração de Ni no solo e as modalidades de água residual, comparativamente às outras modalidades. A Figura 3 apresenta, para as diferentes modalidades de rega, para os anos 2000 e 2001, as concentrações em níquel no solo.

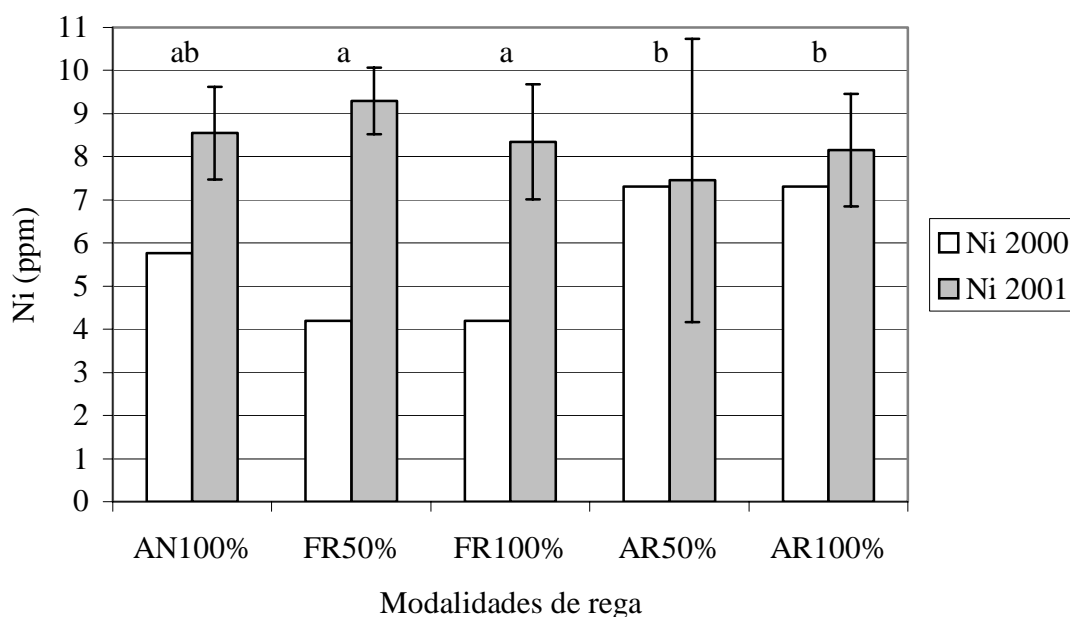


Figura 3. Médias e desvios padrão de valores de níquel (Ni, ppm) no solo, para as diferentes modalidades de rega, durante os anos 2000 e 2001

4. Conclusões

Da análise estatística dos resultados da evolução dos metais pesados no solo, nas modalidades de rega, verificou-se uma relação positiva entre a concentração de Cd e as modalidades de AR. Uma relação inversa ocorreu relativamente ao Cr, apesar de na água residual as concentrações serem pouco mais elevadas em todos aqueles elementos do que na água natural. Quanto ao Ni, os acréscimos no solo foram menores quando se aplicou água residual do que nas restantes modalidades. Relativamente ao Pb, não se observaram diferenças significativas.

Em todas as modalidades, foram observadas subidas nos teores de Ni no solo, durante o mesmo período. Esses acréscimos foram menores nas modalidades de AR, apesar de na água residual, se verificarem concentrações ligeiramente mais elevadas neste elemento (0,029 ppm), do que na água natural (0,026 ppm).

Na evolução das concentrações de metais pesados (Cd, Cr, Pb e Ni) no solo do pomar de citrinos, apenas se observou uma resposta significativa entre as concentração de Cd e as modalidades de rega com água residual, nomeadamente nas modaliades de AR. As baixas concentrações de metais pesados, que se observaram nas águas residuais constituem uma vantagem para a sua aplicação na rega, devido ao reduzido perigo de contaminação do meio que representa.

Como nota final, é possível afirmar, através da experimentação efectuada, é de temer de forma muito mais acentuada o perigo da contaminação patogénica e salina (Beltrão *et al.* 2005) no Algarve, do que o da contaminação por metais pesados.

5. Referências bibliográficas

- Agusti, M. (2000). Citricultura. Ediciones Mundi-Prensa. Valência, Espanha, 402 p.
- Alvin, A.J.S. (1975). Solos salinos. *Pedologia* **3**(10):1-15.
- Ambio (2001). Criação do sistema multimunicipal de saneamento de águas residuais do Algarve - programa base. Águas de Portugal (ed.), Lisboa.
- Angelakis, A.N.; Monte, M.H.F.M.; Bontoux L. e Asano T. (1999). The status of wastewater reuse practice in the mediterranean basin: need for guidelines. *Wat. Res.* **33**(10):2201-2217.
- Beltrão, J.; Oron, G.; Salgot, M.; Alexandrov, V.; Khaydarova, V.; Menzhulin, G.; Pak, E.; & Penkova, N. 2002. Composite models for agricultural and recreational effluent reuse: decision under various conditions in the ERA of Transition (September, 4 - 8, 2002). Athens, Greece. European Water Resources Association:396-403.
- Beltrão, J.; Costa, M.S.; Guerrero, C.; Brito, J.; Dionísio, L.; Neves, M.A. 2005. Utilização de recursos hídricos não convencionais na rega. 1º Congresso Nacional de Rega e Drenagem. COTR – Centro Operativo de Técnicas de Rega. Beja (Dezembro, 5 a 7 de Dezembro, 2005). (Texto apresentado em CD-R).
- Brito, J.M.C. (1986). As lamas pretas como fertilizante (contributo para o seu estudo). Tese de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 301 p.
- Cardoso, J.C. (1965). Os solos de Portugal sua classificação, caracterização e génese. 1-A sul do rio Tejo. Secretaria de Estado da Agricultura. Direcção-Geral dos Serviços Agrícolas. Lisboa, 310 p.
- Canet, R.; Pomares, F. e Tarazona, F. (1997). Chemical extractability and availability of heavy metals after seven years application of organic wastes to a citrus soil. *Soil Use and Management* **13**(3):117-121.
- Costa, M. (2004). Utilização de águas residuais depuradas na rega e de lamas urbanas como fertilizantes dos solos do Algarve. Tese de Doutoramento em Agro-ambiente. Universidade do Algarve. Faro, 175 p.
- Cottin R. SRA INRA-CIRAD (1997). Citrus of the World – a citrus directory. França, 64 p.
- Decreto-Lei n.º 236/98 (1998). Uso e qualidade da água. Diário da República n.º 176/98, I-A Série, 1 de Agosto, pp. 3676-3722.
- FAO-ISSS-ISRIC (1998). World reference base for soil resources, 87p.
- Guerreiro, A.R. (1992). Caracterização do pomar de citrinos do Algarve, in: Jornadas de Produção agrícola do Algarve. Montechoro, Albufeira, 10 p.

- INE (2001). Instituto Nacional de Estatística. Censo 2001. Lisboa.
- Jorgensen, S.E. (1975). Do heavy metals prevent the agricultural use of municipal sludge? *Water Research Center* **9**:163-170.
- Kopp, E.; Sobral, M.; Soares, T. e Woerner, M. (1989). Os solos do Algarve e as suas características. *Vista Geral. MAPA- DGEA-DRAA-GTZ. Faro*, 180 p.
- Lakanen, E. e Erviö, R. (1971). A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agralia Fennica* **123**:223-232.
- Maurer, M.A.; Davies, F.S. e Graetz, D.A. (1995). Reclaimed waste-water irrigation and fertilization of mature redblush grapefruit trees on spodosols in Florida. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **120**(3):394-402.
- Monte, M.E.F.M. (1996). Contributo para a utilização de águas residuais tratadas para a irrigação em Portugal. Tese de doutoramento. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, 508 p.
- Monteiro, J.P.V. (2001). Análise das alterações ao nível da estrutura das explorações agrícolas da região Algarve e respectivo tecido empresarial, decorrentes da aplicação dos apoios comunitários com especial incidência no período 1994/99. Tese de mestrado em Gestão Empresarial. Faculdade de Economia, Universidade do Algarve. Faro, 235 p.
- Oron, G.; & Beltrão, J. 1993. Complete environmental effluent disposal and reuse by dripirrigation.
- Fragoso, M.A.C.; van Beusichem, M.L.(eds.). Optimization of Plant Nutrition. *Developments in Plant and Soil Sciences* **53**: 153-156.
- Paquete, B.C. e Costa, M.S. (1989). PROT Algarve. Doc. n.º 11. Perspectivas para explorações agrícolas no Algarve. Comissão de Coordenação da Região Algarve (ed.). Faro, 47 p.
- Santarrufina, S.E.; Carmona, D.F.; Pérez, C.P. e Santamaria, U.J.J. (1996). Análisis de la situación actual de suelos, producción vegetal y producción animal de la zona del Plá de Sant Jordi (Mallorca) regada con aguas residuales depuradas. III Seminário Luso-Espanhol “A água e a agricultura mediterrânica”. Vilamoura, Loulé, 36 p.
- Sauerbeck, D. (1991). Plant, element and availability of heavy metals from sewage sludge. *Water, Air and Soil Pollution* **57**:27-237.
- SROA (1959). Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário. Carta de capacidade de uso do solo. Secretaria de Estado da Agricultura. Lisboa.
- UAlg (2003). Universidade do Algarve. Estudo sobre o golfe no Algarve, pgolfe@ualg.pt.
- Vermeiren, I. (1980). Localized irrigation - design, installation, evaluation. *FAO Irrig. Drain. Paper* **36**:1-203.