

REMOÇÃO DE SAIS EM *WETLANDS* CONSTRUÍDOS NO TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS PRIMÁRIO

REMOVAL OF SALTS IN BUILT *WETLANDS* IN PRIMARY DOMESTIC SEWAGE TREATMENT

Selma Cristina Silva

Doutora em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos/UnB. Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. (scsilva00@yahoo.com.br e selma@ufrb.edu.br)

Maria Lucrecia Gerosa Ramos

PhD em Ecofisiologia Vegetal/University of Dundee-UK. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília. (lucrecia@unb.br)

Ricardo Silveira Bernardes

PhD em Agricultura e Ciências Ambientais/ Wageningen Agricultural University-NE. Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. (ricardo@unb.br)

Resumo

Os *wetlands* construídos, geralmente, utilizam como meio suporte os seguintes materiais: brita, areia grossa, pedregulho e cascalho. Nesta pesquisa, foi utilizado o solo (Latossolo Vermelho-Amarelo) misturado com areia média, no qual se plantou arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). Os sistemas foram operados por fluxo vertical com três diferentes taxas hidráulicas de esgotos aplicadas de forma intermitente alternada, para tratamento de esgoto primário, durante dois ciclos da cultura do arroz. Coletaram-se amostras dos afluentes e efluentes quinzenalmente, para análise da Condutividade Elétrica (CE), e amostras dos solos antes da aplicação dos esgotos primário e no final de cada ciclo da cultura do arroz, para análise da Capacidade de Troca Catiônica (CTC), CE, pH, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} e K^{+} , a fim de observar se houve salinização e sodificação dos solos. Os resultados mostraram que o aporte de sais via aplicação dos esgotos não promoveu a salinização e nem a sodificação das camadas de 0-5cm dos solos.

Palavras-chave: Águas residuárias, acúmulo de sais, qualidade do solo.

Abstract

The built wetlands generally use as support materials: grit, coarse sand, pebble gravel and cobblestone. In this research the soil (Red-Yellow Latosol) was mixed with medium sand and planted with the irrigated rice (*Oryza sativa* L.). The systems were operated by vertical flow with three different intermittently applied hydraulic rates of sewage for treatment of primary sewage during two cycles of rice. Affluents and effluent samples were collected every fifteen days for analysis of the Electrical Conductivity (EC) and soil samples were collected before the application of the primary sewage and at the end of each cycle of the rice culture. The following analysis were done: pH, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} e K^{+} , in order to observe if there were soil salinization and sodification. The results showed that the addition of salts through sewage application did not promote salinization or sodification in the 0-5cm layers of soils.

Keywords: waste water treatment, salt accumulation, Soil quality.

INTRODUÇÃO

Os *wetlands* construídos utilizam o princípio de solo úmido cultivado e têm em sua composição o meio suporte, os microrganismos e a zona de raízes das plantas, os quais são responsáveis pela despoluição das águas residuárias que ocorre por meio de processos físicos, químicos e biológicos. Esses sistemas têm sido usados com sucesso para tratar uma grande variedade de águas residuais e se constituem em uma potencial tecnologia alternativa para o tratamento de águas residuais salinas (LIANG *et al.*, 2017).

Geralmente, os meios suportes desses sistemas são areia grossa, cascalho, pedregulho e brita. Tem-se utilizado também o solo, contudo, há uma preocupação em se aplicar esgoto doméstico para tratamento, devido aos processos de salinização e de sodificação que podem ocorrer, uma vez que os esgotos domésticos apresentam concentrações médias de sais solúveis e altas concentrações de sódio (BALKS *et al.*, 1998; MEDEIROS *et al.*, 2005). Estes sais quando não lixiviados são acumulados no solo provocando mudanças nas suas propriedades físico-químicas, alterando o conteúdo das bases trocáveis (VASCONCELOS, 2014), bem como o aumento do teor de sais e de sódio que afetam o crescimento das plantas (ASSIS JÚNIOR *et al.*, 2007).

A salinização impede a absorção da água pelas plantas, afetando seu desenvolvimento e, conseqüentemente, a produção de grãos. A sodificação é mais preocupante porque atinge diretamente a estrutura do solo, causando a redução da macroporosidade, o que leva à diminuição da permeabilidade, da aeração e da infiltração da água (VASCONCELOS, 2014). A redução da porosidade causa certa compactação que, segundo Pupin, Freddi e Nahas (2009), interfere na quantidade e na atividade dos microrganismos do solo, principalmente os aeróbios, entre eles, os nitrificantes, o que provoca a redução da mineralização do N (RIETZ; HAYNES, 2003), bem como a fertilidade dos solos.

Os sais solúveis do solo são constituídos, principalmente, pelos cátions cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}) e sódio (Na^{+}) e pelos ânions cloreto (Cl^{-}) e sulfato (SO_4^{-}). O cátion potássio (K^{+}) e os ânions bicarbonato (HCO_3^{-}), carbonato (CO_3^{-}) e nitrato (NO_3^{-}) se encontram em menores quantidades (MENEZES *et al.*, 2006).

Os cátions Ca^{+2} e Mg^{+2} predominam na solução do solo e no complexo de troca de cátions. Quando ocorre acúmulo de sais solúveis nos solos, geralmente, o Na^{+} passa a ser o cátion predominante na solução, devido ao seu deslocamento do solo e conseqüente precipitação do Ca^{+2} e do Mg^{+2} (RICHARDS, 1954). As altas concentrações de sais no esgoto usados para irrigação ou para tratamento em sistemas *wetlands* construídos que utilizam meio suporte de solo podem, então, desencadear o processo de substituição dos íons Ca^{+2} e Mg^{+2} pelo íon Na^{+} , causando impermeabilização do solo e toxidez a níveis letais às plantas devido ao conseqüente aumento do pH. Assim, faz-se necessário o monitoramento da qualidade do solo para observar e controlar os processos de salinização e sodificação do solo e manter a eficiência do tratamento.

A concentração de sais solúveis no solo é expressa pela Condutividade Elétrica (CE), que, em valores elevados, indicam altas concentrações de sais que inibem o crescimento e o desenvolvimento de grande parte das espécies cultiváveis (REBEQUI *et al.*, 2009). Este parâmetro, juntamente com Percentual de Sódio Trocável (PST), a Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e o potencial hidrogeniônico (pH) devem ser prioritariamente avaliados com o objetivo de observar o desempenho dos processos de salinização e sodificação dos solos e estabelecer medidas de controle, quando necessárias.

Este trabalho, portanto, teve como objetivo avaliar o desempenho tanto dos *wetlands* construídos de fluxo vertical com meio suporte de solo (Latossolo Vermelho-Amarelo), plantados com arroz irrigado (*Oryza sativa* L.), como dos controles (solos sem

planta), na remoção de sais dos esgotos domésticos primários, observando a ocorrência ou não dos processos de salinização e sodificação dos solos.

METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida a partir de

três sistemas, cada um com 6 (seis) unidades experimentais, com três repetições, em escala reduzida, totalizando 18 (dezoito) unidades (Figura 1). Estas eram compostas por bombonas plásticas cilíndricas (tambores) com capacidade de 200L, com altura de 0,87m, diâmetro interno de 0,60m e com área superficial de 0,26m².

Figura 1. Desenho esquemático dos sistemas



Os sistemas 1, 2 e 3 foram operados sob condição não saturada com taxa de aplicação hidráulica variável, respectivamente, de 4cm/d, 8cm/d e 15cm/d, com alimentação intermitente alternada e por fluxo vertical. O esgoto primário, cuja característica pode ser observada na Tabela 1, foi aplicado nas segundas, quartas e sextas-feiras, durante os dez meses de duração do experimento. Os dias de descanso favoreciam a aeração dos solos, necessária tanto à nitrificação como ao controle da colmatação do solo.

O solo foi misturado com areia média, na proporção de 1,0:1,5, a fim de garantir uma condutividade hidráulica adequada e necessária ao tratamento do esgoto, cujo valor medido, obtido pela equação de Darcy, foi de $1,98 \times 10^{-3}$. Essa condutividade garante um fluxo adequado e a qualidade do tratamento desejada. O solo apresentava a seguinte composição física: 2,7% de pedregulho médio, 12,4% de pedregulho fino, 15,3% de areia grossa, 31,6% de areia média, 29,8% de areia

fina, 3,1% de silte e 5% de argila; e química: Ca^{+2} (0,9 cmol/dm³), Mg^{+2} (0,4 cmol/dm³), K^{+} (0,10 cmol/dm³), Na^{+} (0,01 cmol/dm³), CE (0,10 dS/m) e pH (5,5).

O arroz (*Oryza sativa* L.) foi semeado em um canteiro na Estação Biológica da Universidade de Brasília (UnB), em solo previamente adubado. A germinação ocorreu 9 (nove) dias após a semeadura, e 25 (vinte e cinco) dias depois, as mudas foram transplantadas para as unidades *wetlands* construídos.

Com vistas à avaliação do desempenho dos sistemas na remoção de sais, foram coletadas, quinzenalmente, amostras simples dos afluentes e efluentes produzidos por cada unidade experimental, para análise dos parâmetros listados na Tabela 1, e dos solos, para análise de pH, CTC, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} e K^{+} , os quais foram utilizados para cálculo do PST e da RAS.

O procedimento de coleta, preservação das amostras e análises dos afluentes e

efluentes foi realizado com base nas recomendações e métodos do “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater” (APHA-AWWA-WPCF, 1985).

As amostras foram coletadas na camada de 0-5cm dos solos das unidades *wetlands* construídos e dos controles, antes da aplicação do esgoto para tratamento e no final de cada ciclo da planta do arroz. Após o

primeiro ciclo da cultura, a parte aérea foi cortada, o arroz rebrotou e o solo foi novamente coletado no final do segundo ciclo da cultura.

A metodologia de análise das amostras de solo seguiu os procedimentos descritos no “Manual de Métodos de análise química para avaliação da fertilidade do solo da EMBRAPA” (SILVA *et al.*, 1998).

Tabela 1. Características do esgoto afluente às unidades dos *wetlands* construídos e controles dos sistemas 1, 2 e 3 nos dois ciclos da cultura do arroz.

Parâmetro	1º ciclo					2º ciclo				
	Min	Méd	Max	Desv pad	Var	Min	Méd	Max	Desv pad	Var
Turbidez (NTU)	84,40	102,29	113,00	8,93	79,69	94,70	104,24	116,00	7,34	53,85
SS (mg/L)	86,00	113,91	140,00	15,57	242,49	102,00	114,57	134,00	10,63	112,95
DBO (mg/L)	113,00	150,45	199,00	30,30	918,22	87,00	152,00	188,00	35,21	1239,50
DQO (mg/L)	371,00	482,10	585,00	69,47	4825,43	453,00	548,56	688,00	77,74	6042,87
N T otal (mg/L)	31,11	44,87	52,30	6,62	43,81	-	-	-	-	-
N-NH ₃ (mg/L)	17,30	31,62	45,70	7,82	61,14	34,80	39,72	44,20	3,62	13,09
N-NO ₃ (mg/L)	0,00	0,19	0,36	0,16	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P total (mg/L)	3,32	8,61	13,30	2,73	7,44	6,20	10,26	12,20	1,90	3,62
C. E.				58,37	3704,60	585,00	637,21	696,00	39,63	1570,32
(Γ mhos/cm)	538,00	606,00	701,00							
Alcalinidade				24,82	615,88	97,80	133,80	159,60	20,69	428,12
(mg/L)	97,80	136,08	184,40							
pH	6,81	7,13	7,40	0,20	0,04	7,17	7,29	7,38	0,08	0,01

Obs: N° de amostras do afluente: 1º ciclo = 10 e 2º ciclo = 8.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As unidades experimentais *wetlands* construídos e os controles apresentaram pouca eficiência na remoção de sais presentes nos esgotos. O teste de Kuskal-Wallis mostrou que a diferença das eficiências de remoção entre os mesmos nos dois ciclos da cultura do arroz não foram significativas ($p < 0,05$). Porém, os *wetlands* apresentaram uma tendência a remover menor quantidade de sais do que os controles (Tabela 2).

No primeiro ciclo, houve uma pequena diferença (não significativa) na remoção de sais pelas unidades *wetlands* construídos e nos controles, e não se observou influência da taxa de aplicação nessa remoção. No segundo ciclo, ocorreu uma redução significativa na

eficiência de remoção dos sais pelas unidades *wetlands* e controles dos três sistemas e, consequentemente, as concentrações de sais tenderam a ser superiores nos efluentes dos *wetlands* construídos (Tabela 2). Isso pode ter ocorrido devido ao corte da planta para a rebrota, ou pelo fato de os sais acumulados anteriormente nos solos terem sido lixiviados para o efluente, porque o sistema radicular da cultura do arroz pode ter aumentado a drenagem do esgoto, facilitando a percolação pelas camadas do solo.

A pequena eficiência na remoção de sais pelos *wetlands* construídos é importante para o controle da salinização e da sodificação, uma vez que o excesso de sais e de sódio nos solos pode causar, respectivamente, toxidez às plantas, afetando seu desenvolvimento

(NOBRE *et al.*, 2010) e redução da porosidade do solo (MOREIRA *et al.*, 2015), o que contribui para a diminuição da condutividade hidráulica e, consequentemente, da vazão de esgoto a ser tratado.

No segundo ciclo da cultura, houve uma maior remoção de sais no sistema que recebeu a maior taxa de aplicação, independente de estar plantado ou não. Normalmente, em *wetlands* construídos com meios suportes tradicionais, há aumento da salinidade dos efluentes produzidos. Meira (2004), ao tratar água de rio poluído com esgoto doméstico em *wetlands* construídos com meio suporte de brita, plantados com *Thypha* ssp., operando sob regime de batelada e com tempos de detenção diferentes, observou aumento nas concentrações das variáveis: condutividade

elétrica (40-102%), bicarbonato (29-124%), sódio (96-248%), dureza (30-96%), cálcio (33-132%), magnésio (34-120%) e cloreto (62-233%). Em sistema semelhante, Costa *et al.* (2003) observaram aumento de 91% na CE no efluente tratado com *wetlands* construídos plantados com *Typha*, e de 12,7% nos controles (sem planta). Queiroz (2001), utilizando meio suporte de brita nº 1, plantado com Taboa (*Typha* sp), verificou aumento de 73% na CE do efluente tratado.

Os *wetlands* construídos com meio suporte de solo tiveram uma pequena eficiência na remoção de sais, sendo esta maior no primeiro ciclo da cultura (Tabela 2). Nota-se, portanto, a influência do tipo de planta, do tipo de meio suporte e das condições de operação do sistema na eficiência de remoção dos sais.

Tabela 2. Valores médios de condutividade elétrica (CE) dos esgotos afluentes e dos efluentes $\pm$ desvio padrão e eficiências de remoção (%) das unidades *wetlands* construídos e controles dos sistemas 1, 2 e 3, durante dois ciclos da cultura do arroz.

Sist e- ma	qH (cm/d)	1º Ciclo				2º Ciclo			
		Wetlands construídos		Controles		Wetlands construídos		Controles	
		$\mu\text{mhos/cm}$	%	$\mu\text{mhos/cm}$	%	$\mu\text{mhos/cm}$	%	$\mu\text{mhos/cm}$	%
1	4	395aA $\pm$ 120	34,8 2	393aA $\pm$ 57	35,1 5	567aA $\pm$ 84	10,99	521aA $\pm$ 59	18,2 1
2	8	421aA $\pm$ 71	35,5 2	473aA $\pm$ 50	21,9 5	563aA $\pm$ 60	11,62	582aB $\pm$ 63	8,63
3	15	424aA $\pm$ 110	30,0 3	383aA $\pm$ 78	36,8 0	540aA $\pm$ 68	15,23	470aA $\pm$ 76	26,2 2
CE do afluente ($\mu\text{mhos/cm}$)		606 $\pm$ 58,37				637 $\pm$ 40,00			

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas linhas (comparação entre *wetlands* construídos e controles) e as maiúsculas nas colunas (comparação entre as taxas de aplicação do efluente) não diferem entre si pelo teste de Kuskal-Wallis ($p < 0,05$); q_H – Taxa de aplicação hidráulica do esgoto.

Em sistemas de tratamento de esgoto por disposição no solo, existem duas opções para a remoção de sais: a primeira é proporcionar condições para que os sais fiquem retidos no solo, o que pode ser obtido por meio da calagem que eleva o pH do solo; e a segunda é manter o solo ácido, facilitando a lixiviação dos mesmos para removê-los em uma etapa

subsequente. Os processos utilizados para pós-tratamento podem ser: *wetlands* de plantas flutuantes com espécies tolerantes a sais (plantas halófitas), precipitação química, troca iônica, destilação por membranas, nanofiltração, osmose inversa.

Para a retenção dos sais no solo, deve-se mantê-lo em condições alcalinas, o que

favorecerá o aumento da RAS, CE e do PST, e poderá proporcionar, com o passar do tempo de operação, a salinização e a sodificação do solo, se não forem adotadas formas de manejo para o controle desses processos. Caso ocorra a salinização e/ou a sodificação dos solos, podem ser utilizados esterco, gesso e polímero, a fim de reduzir os valores das variáveis supracitadas e aumentar a condutividade hidráulica do solo (MIRANDA *et al.*, 2011). Nesse caso, também podem ser utilizadas plantas halófitas que possuem capacidade de extrair quantidades elevadas de sais de solos salinos-sódicos.

Para evitar que os solos atinjam a condição de salino, sódico ou salino-sódico, deve-se estabelecer a melhor forma de operação que possa viabilizar a utilização dos sistemas para a sua vida útil (período de projeto). O “arranjo” entre o manejo do solo e da planta e os parâmetros operacionais deve

ser bem definido, a fim de assegurar a eficiência do tratamento sem reduzir significativamente a condutividade hidráulica do solo e sem alterar a sua qualidade, o que garantirá a sustentabilidade do processo. Não sendo possível a construção de um sistema com a configuração ótima, julga-se mais prudente que os sais sejam lixiviados, o que geralmente ocorre nos *wetlands* construídos, para serem removidos em processos subsequentes.

Salinização e sodificação dos solos dos sistemas

No final do primeiro ciclo da cultura do arroz, notou-se uma redução dos teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+} presentes no solo e um pequeno aumento da quantidade de Na^{+} (Tabelas 3 e 4), com a constante aplicação dos esgotos para tratamento.

Tabela 3. Concentrações médias $\pm$ desvio padrão de Ca^{+2} e Mg^{+2} na camada de 0-5cm dos solos das unidades *wetlands* construídos e controles dos sistemas 1, 2 e 3, após o 1º ciclo da cultura do arroz.

Sistema	Taxa aplicação do esgoto(cm/d)	Ca^{2+} (cmol/dm ³)		Mg^{2+} (cmol/dm ³)	
		Wetlands construídos	Controles	Wetlands construídos	Controles
1	4	0,23 ($\pm 0,06$)	0,20 ($\pm 0,0$)	0,10($\pm 0,0$)	0,10($\pm 0,0$)
2	8	0,20 ($\pm 0,0$)	0,20 ($\pm 0,0$)	0,10($\pm 0,0$)	0,10($\pm 0,0$)
3	15	0,20 ($\pm 0,0$)	0,23($\pm 0,06$)	0,10($\pm 0,0$)	0,10($\pm 0,0$)
Antes da aplicação do esgoto		0,90		0,40	

Tabela 4. Concentrações médias $\pm$ desvio padrão de K^{+} e Na^{+} na camada de 0-5cm dos solos das unidades *wetlands* construídos e controles dos sistemas 1, 2 e 3, após o 1º ciclo da cultura do arroz.

Sistema	Taxa aplicação do esgoto(cm/d)	K^{+} (cmol/dm ³)		Na^{+} (cmol/dm ³)	
		Wetlands construídos	Controles	Wetlands construídos	Controles
1	4	0,05 ($\pm 0,02$)	0,04 ($\pm 0,03$)	0,05 ($\pm 0,01$)	0,03 ($\pm 0,02$)
2	8	0,07 ($\pm 0,01$)	0,04 ($\pm 0,02$)	0,05 ($\pm 0,01$)	0,05 ($\pm 0,01$)
3	15	0,13 ($\pm 0,02$)	0,06 ($\pm 0,02$)	0,09 ($\pm 0,01$)	0,04 ($\pm 0,01$)
Antes da aplicação do esgoto		0,10		0,01	

Essa redução pode ter ocorrido devido à precipitação desses cátions proporcionada pela alcalinidade de bicarbonato do esgoto. O

aumento nos teores de Na^{+} , provavelmente, ocorreu devido à maior solubilidade do carbonato de sódio e à sua substituição dos

cátions Ca^{+2} e Mg^{+2} . Caso continuasse havendo aumento nas concentrações de Na^{+} , possivelmente ocorreria à dispersão das partículas de argila que poderia ser acumulada no perfil do solo, alterando a sua porosidade (ASSIS JÚNIOR; SILVA, 2013) e reduzindo a condutividade hidráulica e a infiltração da água (VARALLO *et al.*, 2009). Além disso, poderia causar a compactação da camada superficial do solo, impedindo a germinação das

sementes e o desenvolvimento das raízes (VASCONCELOS, 2014).

No final do segundo ciclo da cultura, os teores de Ca^{+2} permaneceram inalterados nas camadas de 0-5 cm dos solos dos sistemas 1 e 2, e houve um incremento nos solos do sistema 3 quando comparados aos sistemas 1 e 2, enquanto que os teores de Mg^{+2} não foram alterados (Tabela 5).

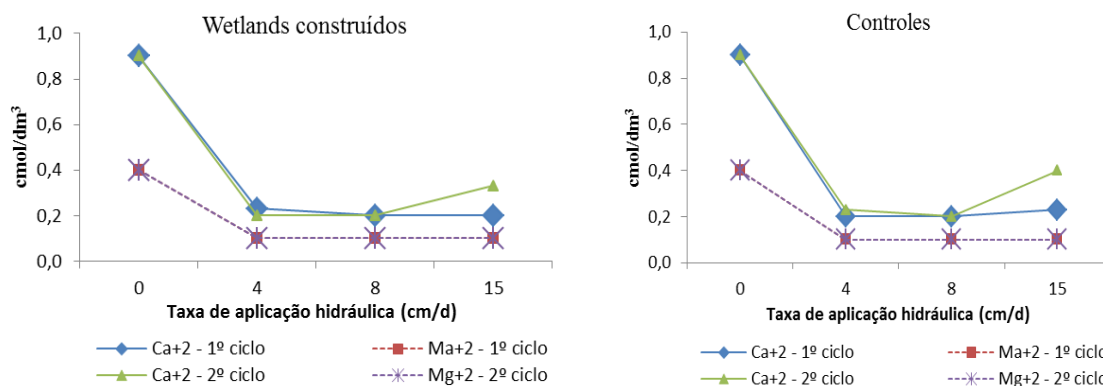
Tabela 5. Concentrações médias $\pm$ desvio padrão de Ca^{+2} e Mg^{+2} nas camadas de 0-5cm dos solos dos *wetlands* construídos e controles dos sistemas 1, 2 e 3, após dois ciclos da cultura do arroz.

Sistema	Taxa aplicação do esgoto (cm/d)	Ca^{+2} (cmol/dm ³)		Mg^{+2} (cmol/dm ³)	
		Wetlands construídos	Controles	Wetlands construídos	Controles
1	4	0,20 ($\pm 0,0$)	0,23 ($\pm 0,06$)	0,10 ($\pm 0,0$)	0,10 ($\pm 0,0$)
2	8	0,20 ($\pm 0,0$)	0,20 ($\pm 0,0$)	0,10 ($\pm 0,0$)	0,10 ($\pm 0,0$)
3	15	0,33 ($\pm 0,06$)	0,40 ($\pm 0,0$)	0,10 ($\pm 0,0$)	0,10 ($\pm 0,0$)
Antes da aplicação do esgoto		0,90		0,40	

Os solos dos *wetlands* construídos e controles tiveram comportamentos semelhantes. Após o início da aplicação dos esgotos para tratamento, houve uma redução das concentrações de Ca^{+2} e Mg^{+2} presentes na camada de 0-5cm dos solos, mantendo-se

iguais, independente da taxa de aplicação hidráulica, com exceção do Ca^{+2} , cujas concentrações aumentaram nos sistemas *wetlands* construídos e controles que receberam maiores taxas de aplicação hidráulica (Figura 2).

Figura 2. Acúmulo de Ca^{+2} e Mg^{+2} dos solos dos *wetlands* construídos e controles nos dois ciclos da cultura do arroz



Os únicos elementos cujas concentrações ultrapassaram os valores iniciais presentes no solo foram o K^{+} e Na^{+} , porém, o aumento não

foi expressivo. Os teores de K^{+} e Na^{+} aumentaram, sendo que o K^{+} em maior proporção e nos solos dos sistemas que

operaram com maiores taxas de aplicação hidráulica (Tabela 6). Os cátions monovalentes, especialmente o sódio, aumentam consideravelmente a expansão das partículas de argila promovendo a dispersão das mesmas, formando camadas impermeáveis e dificultando o movimento de

ar e de água no solo (PEDROTTI *et al.*, 2015), o que causa prejuízos às plantas. Porém, nos solos utilizados para tratamento de esgotos plantados (*wetlands* construídos) ou não (controles), o aumento dos teores de K^+ não foi suficiente para promover a dispersão da argila.

Tabela 6. Concentrações médias $\pm$ desvio padrão de K^+ e Na^+ nas camadas de 0-5cm dos solos dos *wetlands* construídos e controles dos sistemas 1, 2 e 3, após dois ciclos da cultura do arroz.

Sistema	Taxa aplicação do esgoto (cm/d)	K^+		Na^+	
		Wetlands construídos	Controles	Wetlands construídos	Controles
1	4	0,13 $\pm$ (0,01)	0,19 $\pm$ (0,01)	0,04 $\pm$ (0,01)	0,03 $\pm$ (0,01)
2	8	0,23 ($\pm$ 0,01)	0,16 ($\pm$ 0,02)	0,09 ($\pm$ 0,01)	0,05 ($\pm$ 0,02)
3	15	0,20 ($\pm$ 0,01)	0,23 ($\pm$ 0,01)	0,09 ($\pm$ 0,01)	0,09 ($\pm$ 0,01)
Antes da aplicação do esgoto		0,10		0,01	

As concentrações Na^+ aumentaram no início da aplicação dos esgotos para tratamento, proporcionalmente à taxa de aplicação dos esgotos nos solos dos *wetlands* construídos. Nos solos dos controles, o aumento foi menor, mantendo-se aproximadamente constante no primeiro ciclo, com um leve aumento no segundo ciclo, sendo maior para a taxa de aplicação de 15 cm/d. As concentrações de K^+ caíram no início da aplicação do esgoto, e ao longo da

operação dos sistemas começaram a aumentar, com maiores incrementos nos solos dos *wetlands* construídos (Figura 3).

Na Tabela 7, nota-se que os valores de CE dos solos não provocaram qualquer prejuízo às plantas, uma vez que se encontravam abaixo de 2,0 dS.m⁻¹, e tais valores, segundo Klar (1988), são negligenciáveis, pois somente valores superiores a este poderão causar restrição ao desenvolvimento das plantas

Figura 3. Acúmulo de K^+ e Na^+ nos solos dos *wetlands* construídos e controles em nos dois ciclos da cultura do arroz.

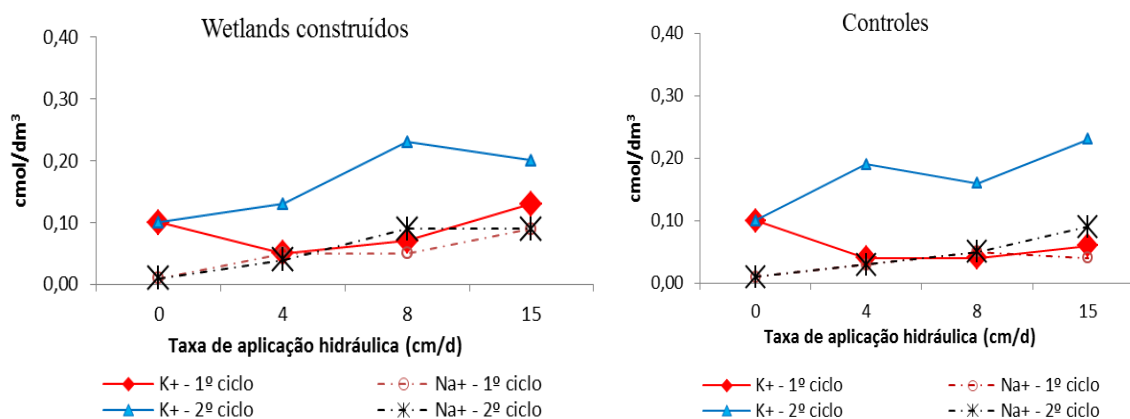


Tabela 7. Valores de CE, PST e pH na camada de 0-5cm dos solos das unidades *wetlands* construídos e controles dos sistemas 1, 2 e 3, após o 1º ciclo da cultura.

Sistema	q _h (cm/d)	CE (dS/m)		PST (%)		pH	
		Wetlands construído s	Controle s	Wetlands construído s	Controle s	Wetlands construídos	Controles
1	4	0,10	0,10	1,53	0,86	4,12	3,64
2	8	0,20	0,10	1,55	0,73	4,15	3,79
3	15	0,30	0,10	2,30	1,12	4,39	3,87
Antes da aplicação do esgoto		0,10		0,51		5,5	

Obs: q_h – Taxa de aplicação hidráulica do esgoto.

Notou-se, também, que o pH dos solos no final do segundo ciclo do arroz, diminuiu ainda mais, variando, aproximadamente, de 3,7 a 4,1 (Tabela 7), principalmente nos tratamentos controles. Isso possivelmente ocorreu devido ao processo de nitrificação e de mineralização da matéria orgânica, o que possibilitou manter a carga líquida do solo positiva, proporcionando a lixiviação dos cátions

básicos (Ca⁺², Mg⁺², K⁺, e Na⁺) e de outros sais para as camadas mais profundas do solo e para os efluentes, como pode ser constatado pelos valores expressivos de CE nos efluentes (Tabela 2). Essa condição é também satisfatória, porque evita o processo de autofloculação do solo, que ocorre em condições de pH elevado, e resulta na dispersão da argila (RICHARDS, 1954).

Tabela 8. Valores médios de CE, PST e pH das camadas de 0-5cm dos solos dos *wetlands* construídos e controles dos sistemas 1, 2 e 3, após dois ciclos da cultura.

Sistema	q _h (cm/d)	CE (dS/m)		PST (%)		pH	
		Wetlands construído s	Controles	Wetlands construído s	Controles	Wetlands construído s	Controle s
1	4	0,10	0,10	0,92	1,31	3,77	3,71
2	8	0,20	0,10	1,83	0,96	3,99	3,69
3	15	0,20	0,10	1,83	2,11	4,87	4,09
Antes da aplicação do esgoto		0,10		0,51		5,5	

Obs: q_h – Taxa de aplicação hidráulica do esgoto.

Houve um aumento no PST (Tabelas 7 e 8), tanto nos *wetlands* construídos como nos controles, mas não foi suficiente para aumentar o pH do solo. Aguiar Netto *et al.*, (2007) observaram que o aumento do PST resultou em um aumento significativo do pH do solo, chegando a 9,5. Portanto, nos solos dos *wetlands* construídos e controles, o aumento

não foi suficiente para iniciar o processo de salinização característico de solos alcalinos, embora ocorra também em solos com pH ácido (SILVA; MACIEL; ARAÚJO, 2005). Em solos com pH acima de 7 (sete), o desenvolvimento das culturas pode ser prejudicado devido à baixa disponibilidade do fósforo e/ou dos micronutrientes como ferro,

manganês, cobre e zinco (CHAVES *et al.*, 1998).

Os solos, além de não apresentarem condições alcalinas, também não apresentaram condições sódicas, uma vez que os valores de CE, PST e pH eram, respectivamente, de <4dS/m, <15% e <8,5 (RICHARDS, 1954).

A CE nos solos dos Controles se manteve, ao longo de todo período, constante e igual àquela própria do solo antes de receber o esgoto para tratamento. Já nos solos dos *wetlands* construídos, aumentou no primeiro ciclo nos solos dos sistemas que receberam maiores taxas de aplicação de esgoto, e, no final do segundo ciclo, houve uma redução da CE no sistema que recebeu uma taxa de 15 cm/d. Ocorreu uma pequena queda no pH dos solos dos *wetlands*

construídos dos três sistemas no final do segundo ciclo, enquanto o pH dos solos dos controles se manteve praticamente igual nos dois ciclos. O PST foi maior nos solos dos *wetlands* construídos, aumentando proporcionalmente a taxa de aplicação hidráulica, tendo a mesma tendência nos solos dos controles (Figura 4).

Ao avaliar o risco de salinização e de sodificação, utilizando-se a CE e a RAS, observou-se que, no final da operação dos sistemas, os solos dos *wetlands* construídos e os controles também apresentavam condição normal, já que os valores de CE (Tabela 8) e da RAS (Tabelas 9) foram, respectivamente, <4 dS/m e <13 mmol/L, como proposto por Richard (1954), e, portanto, não interferiu no desenvolvimento da planta (Figura 5).

Figura 4. PST, pH e CE nos solos dos *wetlands* construídos e controles nos dois ciclos da cultura do arroz.

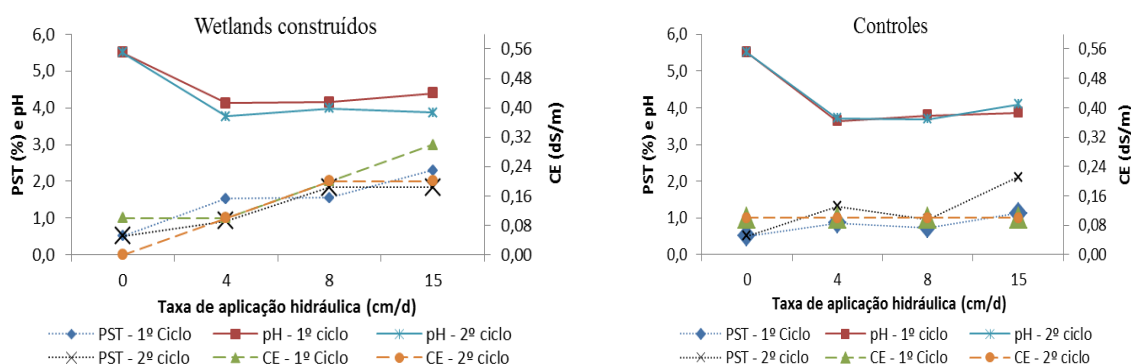


Tabela 9. RAS na camada de 0-5cm dos solos das unidades *wetlands* construídos e controles dos sistemas 1, 2 e 3, após os dois ciclos da cultura do arroz.

Sistema	qh (cm/d)	RAS (mmol/L)			
		1º ciclo		2º ciclo	
		Wetlands construídos	Controles	Wetlands construídos	Controles
1	4	0,12	0,08	0,11	0,07
2	8	0,13	0,10	0,24	0,13
3	15	0,20	0,12	0,19	0,19
RAS (mmol/L) do solo antes da aplicação do esgoto		0,01			

Figura 5. Planta do arroz no início da floração dos grãos



Em todos os três sistemas, as plantas do arroz das unidades *wetlands* construídos apresentaram boa produção de grãos e de massa vegetal, aumentando proporcionalmente a carga de esgoto aplicada (Tabela 10).

Ao dobrar a carga de esgoto aplicada de 4cm/d para 8cm/d, houve um aumento altamente significativo ($p < 0,01$) na produção de folhas e de grãos. Aumentando-se a carga de 8 cm/d para 15 cm/d, não houve alteração significativa no peso das folhas e nem na quantidade de grãos produzidos (Tabela 10). No segundo ciclo, não foi observado o desenvolvimento das plantas, uma vez que foi feito o corte para a rebrota, pois a finalidade era de não alterar as condições físicas do solo, e esse procedimento não é adequado para a planta do arroz.

Mesmo com os valores de CE maiores nos solos dos *wetlands* construídos, com a

continuidade da aplicação do esgoto para tratamento, estes poderiam não chegar à condição de salino-sódico, uma vez que a CE do esgoto doméstico primário era de 0,6 dS/m (Figura 6), o regime de aplicação dos esgotos para tratamento era intermitente e o regime hidráulico era não saturado, possibilitando a aeração do solo e uma boa condição de drenagem, o que minimiza, segundo Hespanhol (2008), o processo de salinização dos solos irrigados com esgotos.

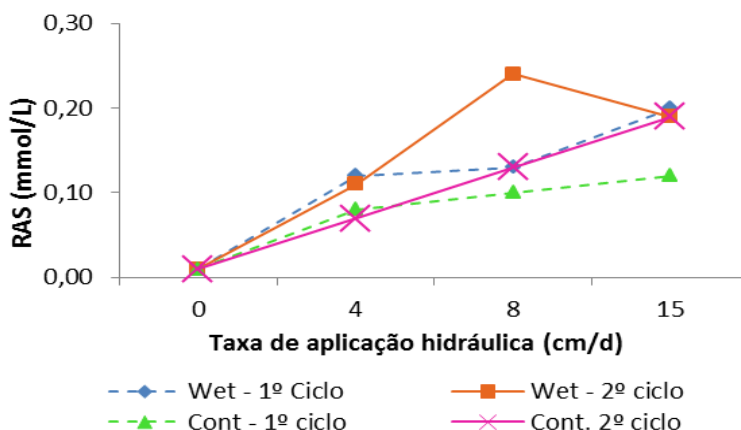
Segundo Qadir e Oster (2004), em solos que utilizam esgotos tratados, normalmente, não ocorre salinização e sodificação, porque as CE desses esgotos são inferiores a 1,0 dS/m, bem como as precipitações pluviométricas, em solos bem drenados, diluem e lixiviam o sódio e os outros sais acumulados no solo por meio do esgoto aplicado.

Tabela 10. Produção média de folhas e grãos em casca do arroz no 1º ciclo da cultura do arroz.

Sistema	q _h (cm/d)	Peso (g)				Área do tambor (m ²)
		Folhas	Panículas + cascas dos grãos	Folhas + panículas e cascas de grãos	Grãos em casca	
1	4	126,90 A	61,69	188,59 A	181,16 A	0,26
2	8	184,91 B	65,64	250,55 B	233,98 B	
3	15	202,56 B	70,95	273,51 B	254,55 B	

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); q_h – Taxa de aplicação hidráulica do esgoto.

Figura 6. RAS nos solos dos *wetlands* construídos e controles nos dois ciclos da cultura do arroz.



Nota-se que o aumento da RAS dos solos dos controles foi diretamente proporcional à taxa de aplicação dos esgotos e, nos *wetlands* construídos, diminuiu para a taxa de aplicação de 15 cm/d. O aumento da RAS para maiores cargas de esgoto aplicada no solo cultivado com Tifton 85 e capim Maraundu também foi observado por Garcia *et al.* (2012) quando aplicou esgoto em solos. Sendo assim, é prudente controlar a taxa de aplicação dos esgotos para tratamento.

CONCLUSÃO

Nos sistemas estudados, grande parte dos sais foi lixiviada para o efluente e uma pequena parcela foi acumulada nos solos, sem causar prejuízos à sua qualidade e, consequentemente, ao desenvolvimento das plantas.

Os maiores valores de CE e da RAS das camadas de 0-5 cm dos solos dos *wetlands* construídos em relação aos controles permitem concluir que, em solos plantados, o risco de salinização é maior do que naqueles sem planta. Isso pode ocorrer devido aos exsudatos radiculares ricos em sais liberados pelas raízes e porque os sais do esgoto são depositados na zona radicular. Porém, o sistema radicular também permite uma maior condutividade hidráulica, o que contribui para

a lixiviação dos sais, mantendo a qualidade dos solos.

Mesmo que os solos apresentassem condições alcalinas, as chances dos solos atingirem a condição de salino, sódico ou sódico-salino seriam minimizadas, pois o sistema radicular, que garante uma boa condutividade hidráulica, e a aeração proporcionada pela intermitência favoreceriam a lixiviação dos sais, controlando o processo de salinização e sodificação dos solos, mantendo a sua qualidade. Porém, é importante estabelecer uma taxa de aplicação adequada uma vez que, quando elevadas, elas tendem a acumular maior quantidade de sais nos solos, podendo causar a dispersão da argila, o que contribui para a colmatação tanto pela sua impermeabilização quanto pela formação do biofilme.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo financiamento da pesquisa, e a CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, por proporcionar o desenvolvimento da pesquisa nas suas instalações.

REFERÊNCIAS

AGUIAR NETTO, A. O.; GOMES, C. C. S.; LINS, C. C. V.; BARROS, A. C.; CAMPECHE, L. F. S. M.;

BLANCO, F. F. Características químicas e salino-sodicidade dos solos do Perímetro Irrigado Califórnia-SE, Brasil. **Ciência Rural**, v. 37, n. 6, p. 1640-1645, 2007.

APHA-AWWA-WPCF: **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 16 ed. Washington, DC: American Public Health Association, 1985. 1268p.

ASSIS JÚNIOR, J.; LACERDA, C. F.; SILVA, F. B.; SILVA, F. L. B.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 702-713, set./dez. 2007.

ASSIS JÚNIOR, R. N.; SILVA, E. F. Efeito da qualidade da água de irrigação sobre os atributos físicos de um neossolo flúvico do município de Quixeré, CE – Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n. 36, p. 1778-1786, 2013.

BALKS, M. R.; BOND, W. J.; SMITH, C. J. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. **Australian Journal of Soil Research**, v. 36, p. 821-830, 1998.

CHAVES, L. H. G.; MENINO, I. B.; ARAÚJO, I. A.; CHAVES, I. B. Avaliação da fertilidade dos solos das várzeas do município de Sousa, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 262-267, 1998.

COSTA, L. L.; CEBALLOS, B. S. O.; MEIRA, C. M. B. S.; CAVALCANTI, M. L. F. Eficiência de *wetlands* construídos com dez dias de detenção hidráulica na remoção de colifagos e bacteriófagos. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 3, n. 1, p. 1-23, 2003.

GARCIA, G. O.; RIGO, M. M.; CECÍLIO, R. A.; REIS, E. F.; BAUER, M. O.; RANGEL, O. J. P. Propriedades químicas de um solo cultivado com duas forrageiras fertirrigadas com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, UFRPE, Recife, v. 7, suplemento, p. 737-742, 2012.

HESPAÑHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p.131-158, 2008.

KLAR, A. E. A água no sistema solo-planta-atmosfera. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1988. 408p.

LIANG, Y.; ZHU, H.; BANUELOS, G.; YAN, B.; ZHOU, Q.; YU, X.; CHENG, X. Constructed *wetlands* for saline wastewater treatment: a review. **Ecological Engineering**, n. 98, p. 275-285, 2017.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C. L.; MATOS, A. T.; SOUZA, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 9, n. 4, p. 603-612, 2005.

MEIRA, C. M. B. **Utilização de terras úmidas no tratamento de águas superficiais poluídas**: influência do tipo de leito e de macrófita. 2004. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Sais solúveis e eflorescência em blocos cerâmicos e outros materiais de construção – revisão. **Cerâmica**, n. 52, p. 37-49, 2006.

MIRANDA, M. A.; OLIVEIRA, E. E. M.; SANTOS, K. C. F.; FREIRE, M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 484-490, 2011.

MOREIRA, V. O. G.; HERNANDEZ, F. F. F.; ANJOS, D. C.; MARQUES, E. S.; LUNA, N. R. S. Teores de sódio e sais em água de irrigação e risco na degradação dos solos. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA – CONTECC, 72ª Semana Oficial da Engenharia e da Agronomia, 2015, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza-CE: CONFEA; CREA-CE; Comissão Organizadora do CONTECC, 2015.

NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; CORREIA, K. G.; SOARES, F. A. L.; ANDRADE, L. O. Crescimento e floração do girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 358-365, jul./set. 2010.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de

salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, mai./ago. 2015.

PUPIN, B.; FREDDI, O.S.; NAHAS, E. Microbial alterations of the soil influenced by induced compaction. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1207-1213, 2009.

QADIR, M.; OSTER, J. D. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils waters aimed at environmentally sustainable agriculture. **Science of the Total Environment**, v. 323, p. 1-19, 2004.

QUEIROZ, T. R. **Remoção de sólidos suspensos de efluentes de lagoas de estabilização por meio de processos naturais**. 220f. 2001. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

REBEQUI, A. M.; CAVALCANTI, L. F.; NUNES, J. C.; DINIZ, A. A.; BREHM, M. A. S.; BECKMANN-CAVANCANTE, M. Z. Produção de mudas de limão-cravo em substrato com biofertilizante bovino irrigado com águas salinas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 32, n. 2 p. 219-228, 2009.

RIETZ, D. N.; HAYNES R. J. Effects of irrigation induced salinity and sodicity on soil microbial

activity. **Soil Biological Biochemistry**, n. 35, p. 845-854, 2003.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: USSS (USDA. Agriculture Handbook, 60), 1954. 160p.

SILVA, B. C. G.; MACIEL, L. N. Q.; ARAÚJO, M. S. B. Limitações ao cultivo em áreas irrigadas de Belém de São Francisco, Estado de Pernambuco, Brasil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 27, n. 2, p. 343-347, 2005.

SILVA, F. C. da; EIRA, P. A. da; BARRETO, W. de O.; PEREZ, D. V.; SILVA, C. A. **Manual de métodos de análise química para avaliação da fertilidade do solo**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Ministério da Agricultura, 1998.

VARALLO, A. C. T.; CARVALHO, L.; SANTORO, B. L.; SOUZA, C. F. Alterações nos atributos de um latossolo vermelho-amarelo irrigado com água de reuso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 372-377, 2010.

VASCONCELOS, M. C. C. A. Salinização do solo em áreas irrigadas: aspectos físicos e químicos. **Revista Agropecuária Científica do Semi-Árido**, v. 10, n. 1, p. 20-25, jan./mar. 2014.