



Dinâmica do nitrato e cloreto no solo e a qualidade das águas subterrâneas do distrito de irrigação Baixo Acaraú, CE¹

Dynamics of nitrate and chloride in the soil and groundwater quality of the irrigation district Baixo Acaraú, CE

Nayara Rochelli de Sousa Luna^{2*}, Eunice Maia de Andrade³, Lindbergue Araújo Crisóstomo⁴, Ana Célia Maia Meireles⁵, Deodato do Nascimento Aquino⁶

Resumo - Este trabalho foi desenvolvido objetivando-se investigar como a água em sistemas de irrigação altera a dinâmica dos íons cloreto e nitrato no perfil do solo e seus impactos na água do lençol freático do distrito de irrigação Baixo Acaraú – DIBAU, Ceará, Brasil. Na investigação da dinâmica dos íons e da umidade no perfil do solo, coletaram-se amostras a cada 50 cm de profundidade desde a superfície até a zona da franja capilar do lençol freático. As coletas foram realizadas no período chuvoso (maio/11) e seco (set/11) nas duas áreas: A1 e A2. Para se identificar a concentração dos íons nas águas do lençol freático, foi feito um monitoramento mensal durante 12 meses (ago/10 a jul/11) em dois poços inseridos em campos irrigados e dois em áreas não cultivadas. Para avaliar se as variações dos teores de umidade gravimétrica e do conteúdo dos íons Cl⁻ e NO₃⁻ no solo apresentavam diferenças significativas entre os períodos de estiagem e chuvoso, empregou-se o teste t de Student ao nível de 5%. Os teores de cloreto do perfil do solo da área irrigada (A1), foram superiores em 62% aos registrados na área não cultivada (A2) em ambas as estações. O incremento de nitrato nos poços da área irrigada é preocupante, visto que estes em determinados meses do ano (nov/10) e (mar/11 a jun/11) excederam significativamente aos limites máximos aceitáveis para consumo humano pela Portaria Nº 518/2004 do Ministério da Saúde e Resolução 357/05 CONAMA.

Palavras-chave - Manejo da irrigação. Qualidade da água. Lençol freático.

Abstract - This work was developed aiming to investigate how water in irrigation systems alters the dynamics of chloride and nitrate in the soil profile and its impacts on the ground water of the irrigation district Baixo Acaraú - DIBAU, Ceará, Brazil. In investigating the dynamics of ions and moisture in the soil profile, samples were collected every 50 cm depth from the surface to the area of the capillary fringe of the watertable. Samples were collected during the rainy season (May/11) and dry (Sep/11) in both areas: A1 and A2. To identify the concentration of ions in the water table, monitoring was done monthly for 12 months (to Aug/10 Jul/11) in two wells inserted in irrigated fields and two in uncultivated areas. To assess whether variations in the gravimetric moisture content and the content of Cl⁻ and NO₃⁻ in soil showed significant differences between the rainy and dry periods, we used the Student t test at 5%. The chloride content of the soil profile of irrigated area (A1), 62% were higher than those recorded in the uncultivated area (A2) in both seasons. The increase of nitrate in the wells of the irrigated area is worrying as these in certain months of the year (Nov/10) and (Mar/11 to June/11) significantly exceeded the maximum acceptable for human consumption by Ordinance No 518/2004 the Ministry of Health and Resolution 357/05 CONAMA.

Key words - Irrigation management. Water quality. Water table.

*Autor para correspondência

¹Enviado para publicação em 08/10/2012 e aprovado em 15/04/2013

Parte da dissertação do primeiro autor apresentada ao Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Ceará. Projeto de pesquisa financiado pelo INCTSal

²Tecnóloga em Irrigação e Drenagem, Mestre em Engenharia Agrícola. Depto de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, av. Mister Hull S/N, Bloco 804, Campus do Pici, 60455-970, Fortaleza - CE, nayararochelli@hotmail.com

³Enga. Agrônoma, PhD. Profa. Depto de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza-CE, eandrade@ufc.br

⁴Eng. Agrônomo, PhD. Pesquisador. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza-CE, lindbergue.crisostomo@embrapa.br

⁵Enga. Agrônoma, Dra. Bolsista PNPd/CAPEs, CCA/UFC, Fortaleza-CE, ameireles2003@yahoo.com.br

⁶Eng. Agrônomo, Doutorando em Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza-CE, deoagro@yahoo.com.br

Introdução

Nos dias atuais, uma das grandes preocupações da humanidade diz respeito ao meio ambiente, sobretudo no que se refere à qualidade da água e do solo.

Entre as fontes possíveis de contaminação do solo e da água, a agricultura é geralmente apontada como importante contribuinte de poluentes (GRUTZMACHER *et al.*, 2008). A contaminação decorrente das atividades agrícolas atinge águas superficiais e subterrâneas pelos aportes de sais, resíduos de adubos minerais e orgânicos (D'ALMEIDA *et al.*, 2005). A prática da irrigação, associada ao regime irregular das chuvas e as elevadas taxas de evapotranspiração em climas secos, resultam em alterações nos teores de sais nos solos e nas águas com conseqüente elevação na concentração de íons tóxicos (WICHELNS *et al.*, 2002; ANDRADE, 2009).

Entre os íons nocivos à saúde destaca-se o nitrato, o qual é uma das formas inorgânicas do N e, juntamente, com o amônio, constitui produto final da mineralização do N orgânico, contido em qualquer resíduo orgânico após adição ao solo. Por ser repelido pelas partículas do solo que geralmente apresentam carga elétrica negativa esse ânion permanece livre na solução do solo. Em consequência disso, a quantidade presente na camada arável do solo, que não é absorvida pelas plantas, fica susceptível à lixiviação, podendo, ao longo do tempo, atingir o lençol freático e os corpos de água por ele alimentados (TARKALSON *et al.*, 2006; DYNIA *et al.*, 2006; PIOVESAN *et al.*, 2009). Diferentes pesquisadores apontam a necessidade de mudança nas práticas de adubações nitrogenadas, a fim de minimizar a contaminação dos corpos hídricos (MULLER *et al.*, 2007; DOWD *et al.*, 2008).

O cloreto é outro íon que facilmente se desloca na solução, assim, este íon quando adicionado ao solo por meio da água de irrigação facilmente pode atingir as águas subterrâneas alterando o padrão de qualidade das mesmas (SILVA *et al.*, 2008; ANDRADE *et al.*, 2009). Outra fonte em potencial de aporte de cloreto ao solo e as águas subterrâneas, nas regiões costeiras, são os aerossóis marinhos (MEIRELES *et al.*, 2007).

Embora a irrigação seja uma técnica de destaque na produção de alimentos e geração de emprego, principalmente em regiões com déficit hídrico, a mesma quando não manejada corretamente pode resultar na degradação de áreas pela salinidade e contaminação de águas superficiais e subterrâneas (CRUZ *et al.*, 2003; TESTEZLAF *et al.*, 2005; AQUINO *et al.*, 2008).

Quando a irrigação é praticada sem adoção de técnicas adequadas de manejo, tanto pode gerar a depleção dos aquíferos mais profundos, quanto elevar o nível do lençol freático e contaminar as águas subterrâneas com

fertilizantes nitrogenados e resíduos de agroquímicos (PETHERAM *et al.*, 2008; ANDRADE *et al.*, 2009; WANG *et al.*, 2010). A avaliação da qualidade da água utilizada no meio agrícola é relevante tanto para o meio ambiente, quanto para a saúde humana (SOUZA *et al.*, 2012). Tendo-se por base estas considerações, objetivou-se com esta pesquisa avaliar a influência do manejo da irrigação e da sazonalidade sobre a dinâmica dos íons nitrato e cloreto nos perfis dos solos e seus impactos nas águas freáticas do distrito de irrigação Baixo Acaraú.

Material e métodos

A área definida como objeto desta pesquisa, distrito irrigado Baixo Acaraú (DIBAU), está inserida na parte baixa do divisor topográfico das bacias hidrográficas do Acaraú e Litorânea, região setentrional do estado do Ceará, o DIBAU ocupa uma área de 13 mil hectares. As quatro estações de coletas foram identificadas por P (poço) e por um número que variou de 1 a 4 (Figura 1).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da área é do tipo Aw', quente e úmido com chuvas de verão-outono, com precipitação anual média de 960 mm e evaporação de aproximadamente 1600 mm anuais. A precipitação pluviométrica se caracteriza por alta concentração nos primeiros meses do ano (Figura 2).

Na identificação da dinâmica de concentração dos íons cloreto e nitrato no perfil do solo, quatro coletas de solo foram efetuadas, duas no período chuvoso (maio/11) e duas no período seco (setembro/11). As amostras de solo foram coletadas a cada 50 cm de profundidade até 5,5 m, até atingir a franja capilar do lençol freático.

As coletas foram realizadas em dois pontos amostrais de solo inseridos nas imediações de dois dos quatro poços estudados (P1 e P3), o primeiro ponto localizou-se em área irrigada por microaspersão, com cultivo de coqueiro anão e espaçamento entre plantas 7,5 x 7,5 x 7,5 m em plantio triangular, numa área de 8 ha, sendo denominada de área 1 (A1). O segundo ponto localizou-se em área não cultivada, próximo à estação de bombeamento do DIBAU, denominada de área 2 (A2).

Os pontos de amostragem de solo foram selecionados considerando-se a representatividade e a facilidade de acesso durante os meses de coletas. Os mesmos foram distribuídos de maneira aleatória.

As amostras de solos foram coletadas em triplicatas, totalizando 96 unidades experimentais, sendo o valor médio considerado como representativo de cada parâmetro investigado. Efetuadas as coletas, os solos amostrados foram acondicionados em recipientes metálicos fechados, para a determinação da umidade gravimétrica em estufa

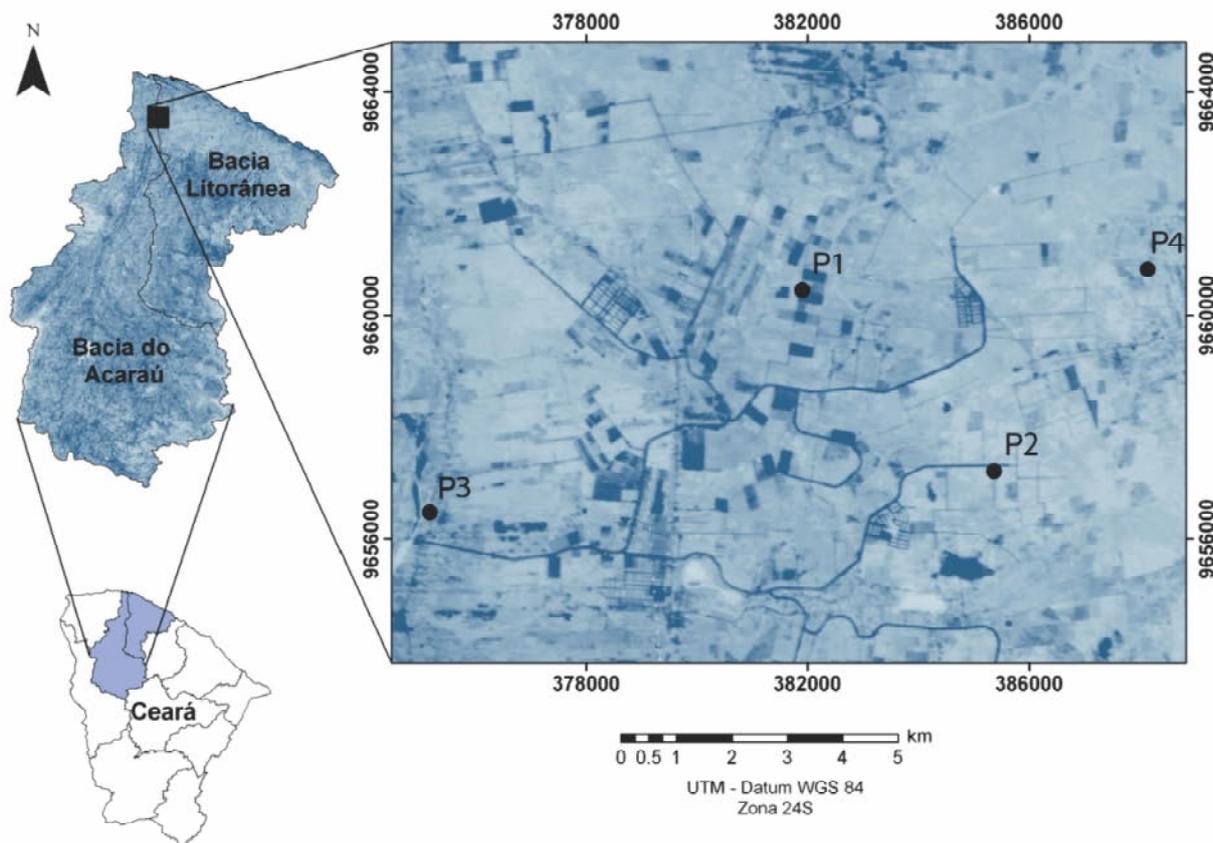


Figura 1 - Localização dos poços de coletas de amostras de água na área de estudo. (Fonte: Autor)

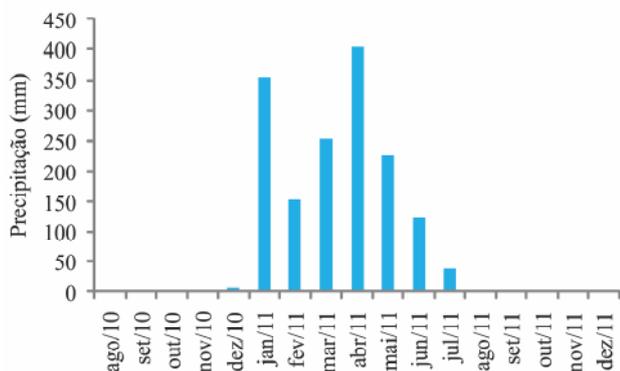


Figura 2 – Precipitações pluviiais da área estudada no DIBAU. (Fonte: Autor)

a 105 - 110 °C efetuada no Laboratório de relações água-solo-planta do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará - UFC, e em sacos plásticos para a determinação da granulometria e das concentrações de nitrato e cloreto, depois encaminhados ao laboratório. As análises foram determinadas na relação de 150 g de solo em 150 g de água, segundo a metodologia recomendada por RICHARDS (1954).

A granulometria do solo ao longo do perfil, bem como a umidade gravimétrica nas duas áreas (A1 irrigada e A2 não cultivada) podem ser observadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Informa-se que os valores de umidade e granulometria que não constam nas tabelas, não foram detectados nas análises laboratoriais.

Para acompanhar as alterações na dinâmica dos íons nitrato e cloreto nas águas subterrâneas influenciadas pela sazonalidade climática e avaliar a adição de poluentes decorrente do manejo da irrigação adotado na área de estudo – DIBAU, foram coletadas amostras mensais de água, em quatro poços, entre 9 e 12 horas da manhã, durante um período de 12 meses (ago/2010 a jul/2011). As amostras eram armazenadas em recipientes plásticos com volume de 1 L, sendo uma amostra mensal para cada poço. Os poços P1 e P2 estão inseridos na área irrigada e os poços P3 e P4 localizam-se na área não cultivada.

Para verificar se os sais adicionados ao solo pelas práticas agrícolas geravam impacto estatisticamente significativo, aplicou-se o teste t de Student ao nível de 5% de significância.

Tabela 1 - Granulometria em função da profundidade do perfil do solo das áreas A1 e A2

Profundidade (m)	Área irrigada (A1)			Área não cultivada (A2)		
	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
0,5	6,0	4,3	89,7	2,7	4,6	92,7
1,0	9,6	4,7	85,7	4,0	4,4	91,6
1,5	9,5	11,5	79,0	-	10,5	89,5
2,0	14,5	10,2	75,3	13,3	4,2	82,5
2,5	9,0	16,1	74,9	17,4	4,5	78,1
3,0	13,3	11,0	75,7	18,9	4,6	76,5
3,5	18,0	-	82,0	18,5	6,2	75,3
4,0	-	-	-	20,0	6,3	73,7
4,5	-	-	-	21,9	2,5	75,6
5,0	-	-	-	15,0	-	85,0
5,5	-	-	-	18,0	3,0	79,9

Tabela 2 – Teor de umidade em função da profundidade do perfil do solo das áreas A1 e A2

Profundidade (m)	Área irrigada (A1)		Área não cultivada (A2)	
	Umidade (chuvoso)	Umidade (seco)	Umidade (chuvoso)	Umidade (seco)
0,5	15,2	7,14	16,7	1,04
1,0	18,6	3,63	16,6	1,46
1,5	18,2	9,05	14,3	1,62
2,0	21,8	8,42	19,4	4,84
2,5	24,3	8,01	19,8	5,57
3,0	26,7	9,78	21,8	5,91
3,5	-	13,17	18,2	6,85
4,0	-	-	23,5	8,09
4,5	-	-	-	7,77
5,0	-	-	-	7,19
5,5	-	-	-	6,36

Resultados e discussão

A mobilidade do íon cloreto no perfil dos solos do DIBAU na área irrigada (A1) e na área não cultivada (A2) nos períodos seco e chuvoso pode ser observada nas Figuras 3A e 3B. As concentrações de cloreto não apresentaram diferenças significativas em relação às estações do ano ($p > 0,05$), porém foram estatisticamente diferentes em relação ao uso do solo (irrigada e não cultivada). Os teores de cloreto da área irrigada (A1), foram superiores aos registrados na área não cultivada (A2) exceto na profundidade de 0,5 m durante o período de estiagem.

Os maiores teores de cloreto ocorreram na área irrigada durante a estação seca, entre as profundidades de 1,0 a 1,5 m com valores máximos em torno de 6,65 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (Figura 3A). Verificou-se também que há um decréscimo nos teores de cloreto de acordo com a profundidade para a área cultivada.

Atribuem-se os maiores teores de cloreto no perfil dos solos da área irrigada (A1) a aplicação de fertilizantes diretamente ao solo, especificamente a aplicação de cloreto de potássio em torno de 50,0 $\text{kg ha}^{-1} \text{mês}^{-1}$ e ao processo de ascensão capilar durante a estação seca, quando se pratica a irrigação. Estes resultados corroboram com os obtidos por Jury *et al.* (1979); Sampaio e Ruiz (1996) e Silva *et al.* (2008). Durante a estação chuvosa registrou-se lixiviação do íon cloreto das camadas mais superficiais (0,5 m) e acúmulo nas camadas mais profundas (1,0 a 3,0 m). Esta dinâmica se explica pelo fato desse íon se manter livre na solução do solo e ser facilmente lixiviado pela precipitação pluviométrica (SILVA *et al.*, 2008). Destaca-se que, o total da precipitação pluvial para 2011 foi 72% superior à precipitação média anual da região, o que contribuiu para a lixiviação do cloreto.

Os maiores teores de Cl⁻ na camada superficial da área não cultivada (Figura 3B) se explica pelo processo de evapotranspiração o qual gera um fluxo inverso na solução do solo (água mais íons solúveis) pelo processo físico de ascensão capilar. Observa-se pela Figura 3, a lixiviação do cloreto durante a estação chuvosa das camadas superficiais para as mais profundas em uma dinâmica inversa da observada durante a estação seca. Na profundidade superior a 3 m os teores, tanto na estação seca quanto na chuvosa são similares, passando a refletir a ação dos maiores teores de argila (Tabela 2), com consequente restrição ao processo de lixiviação dos íons

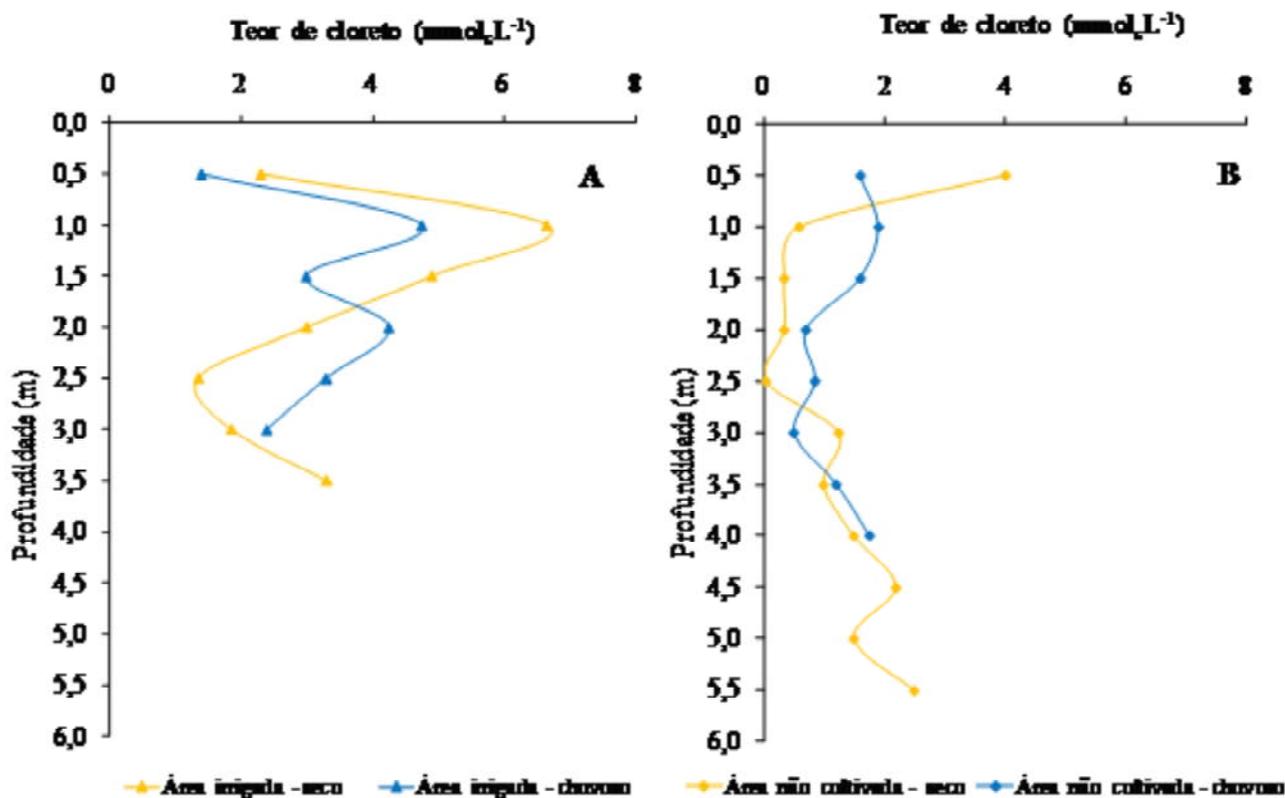


Figura 3 - Relação entre teor de cloreto e profundidade do solo em A1 (5A) e A2 (5B) nos períodos seco e chuvoso.

solúveis na solução do solo. Por se tratar de solos arenosos e lavados, supõe-se que os aerossóis marinhos sejam fonte de cloreto nas áreas estudadas, visto que o DIBAU situa-se a 40 km da região costeira, como já discutido por Meireles *et al.* (2007). As concentrações de cloreto na área irrigada (A1) foram quase sempre superiores às encontradas na área não cultivada (A2) independente da estação do ano. Entretanto os teores encontrados nesta pesquisa para a área irrigada foram 200% superiores aos encontrados por Andrade *et al.* (2009) para a mesma área de estudo, há sete anos. Os referidos autores observaram que para a área irrigada as concentrações desse íon foram sempre inferiores às concentrações da área não cultivada, independente da estação seca ou chuvosa, e que em ambas as áreas as concentrações foram sempre inferiores a 1,3 mmol L⁻¹. Estes resultados expressam um acúmulo do íon cloreto no solo apesar de se tratar de solos arenosos e de fácil lixiviação.

Os maiores teores de nitrato para a área irrigada (Figura 4 A) foram observadas na estação seca com valores de 12,22 mg kg⁻¹ na profundidade de 1 m. Comportamento justificado, pelo fato de ser a época na qual a técnica de irrigação é empregada e aplicações de fertilizantes minerais e nitrogenados. O total de adubos nitrogenados aplicados nos solos da área irrigada (A1) é superior a 300

kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N em esterco de galinha, 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N em esterco de ovelha e gado, 50 kg Cl ha⁻¹ ano⁻¹ e 50 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de uréia aplicados pela fertirrigação. A mobilização excessiva de nitrato para os mananciais decorre normalmente de um desbalanço entre as taxas de suprimento de nitrogênio mineral (nitrato ou amônio) no solo e a capacidade da vegetação em absorver e assimilar o nutriente, convertendo-os em formas orgânicas (WANG *et al.*, 2010; RESENDE, 2002).

A lixiviação é o principal processo envolvido na perda de N-NO₃⁻ devido à baixa capacidade de retenção de ânions, na maioria dos solos (PIOVESAN *et al.*, 2009). As concentrações de NO₃⁻ observadas na estação seca e chuvosa apresentaram diferenças significativas (p<0,05), sendo a estação seca que apresentou os maiores teores de nitrato para ambas as áreas. As concentrações mais baixas de nitrato no período chuvoso se devem a lavagem deste íon no solo devido à precipitação pluviométrica e a alta mobilidade do mesmo (CORREA *et al.*, 2006). Corroborando com os resultados encontrados por Andrade *et al.* (2009) em estudo do impacto da lixiviação de nitrato para esta mesma área.

Os maiores teores de nitrato para a área não cultivada (Figura 4B) foram registrados no período seco, apresentando maior valor na camada de 0,5 m, (15,21

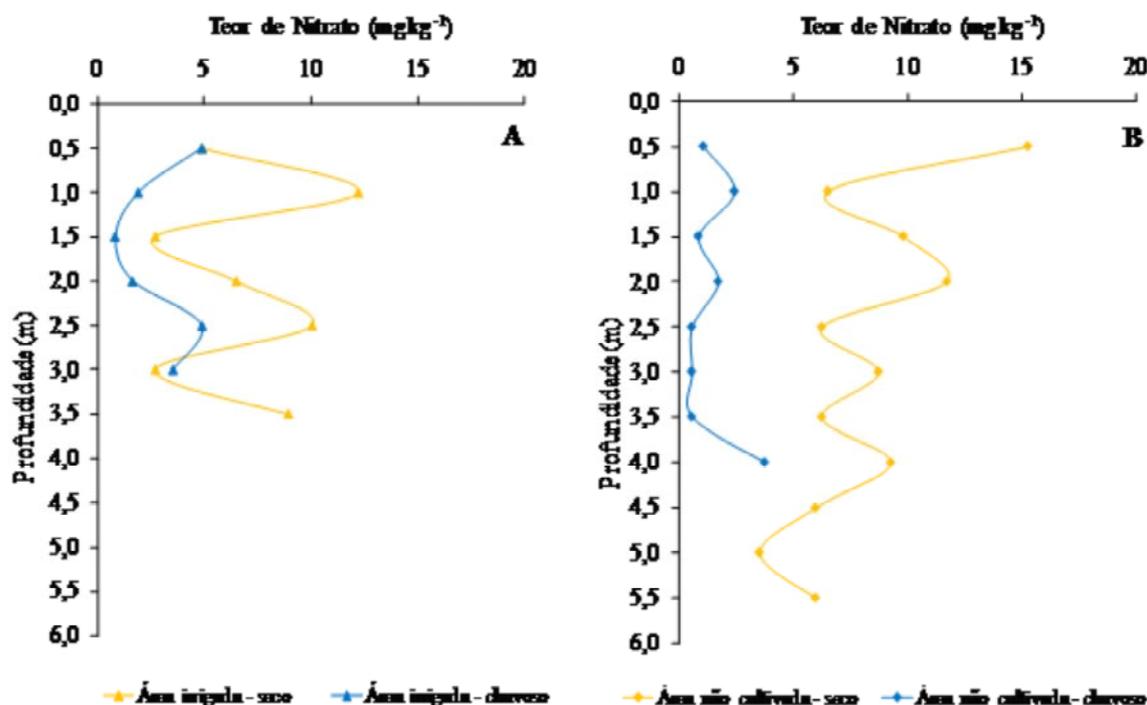


Figura 4 - Relação entre teor de nitrato e profundidade em perfis de solos de A1 (6A) e A2 (6B) nos períodos seco e chuvoso.

mg kg⁻¹). Identifica-se também, menor variabilidade dos teores do nitrato ao longo do perfil do solo para o período chuvoso com tendência de maiores teores nas camadas mais profundas, demonstrando o efeito das chuvas no processo de lixiviação. Como essa área não é irrigada durante o período seco, o processo de evapotranspiração gera a ascensão capilar da solução do solo promovendo maior acúmulo do nitrato nas camadas mais superficiais (MULLER *et al.*, 2007; DOWD *et al.*, 2008).

Os quatro poços empregados na investigação da dinâmica do íon cloreto nas águas subterrâneas do DIBAU, dois poços (P1 e P2) na área irrigada e dois (P3 e P4) em área não cultivada apresentaram tendências distintas nas duas áreas, o maior teor de cloreto observado para a área irrigada foi de 152 mg L⁻¹, em contrapartida, na área não cultivada o maior teor observado foi de 300 mg L⁻¹ (Figura 5). As concentrações de cloreto nos poços P1 e P2 (área irrigada) se mantiveram sempre abaixo dos limites determinados pela portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) e resolução 357 do CONAMA (BRASIL, 2005), não apresentando limitação para uso humano. Verifica-se, também, que os teores mensais se mantiveram próximos nos dois poços com baixa variabilidade ao longo do ano estudado (Figura 5 A). Este fato se explica pela baixa flutuação do nível do lençol freático ao longo do ano, em consequência da adição de água ao lençol freático pela lixiviação oriunda da lâmina

de irrigação, descaracterizando a sazonalidade do nível do lençol freático em regiões semiáridas (DEODATO *et al.*, 2008).

O P4 (área não cultivada) foi o que apresentou as maiores concentrações de cloreto durante praticamente todo o período estudado (Figura 5B), variando de 186,11 mg L⁻¹ a 310,18 mg L⁻¹, chegando a ultrapassar os padrões estabelecidos para consumo humano (250 mg L⁻¹) pela Portaria 518/2004 (BRASIL, 2004) e Resolução 357 do CONAMA (BRASIL, 2005). Os maiores teores de cloreto para os poços localizados na área não irrigada foram encontrados nos períodos em que os mesmos apresentavam as menores lâminas d' água, expressando relação inversa entre concentração de cloreto e lâmina de água do poço. Esta relação é melhor expressa pelo P3, o qual apresenta lâminas de água bem inferiores ao P4 (Figura 5B). Os resultados desta pesquisa confirmam os obtidos por Cruz *et al.* (2003), avaliando a qualidade das águas superficiais e subterrâneas do Distrito de Irrigação Jaguaribe – Apodi. Assim, a interdependência entre o nível do lençol freático e a concentração do cloreto fica evidenciada quando se identifica uma melhoria na qualidade da água dos poços durante o período chuvoso.

Especificamente no mês de nov/2010 (período seco) época na qual se pratica a irrigação, os poços da área irrigada P1 e P2 apresentaram teores de nitrato superiores

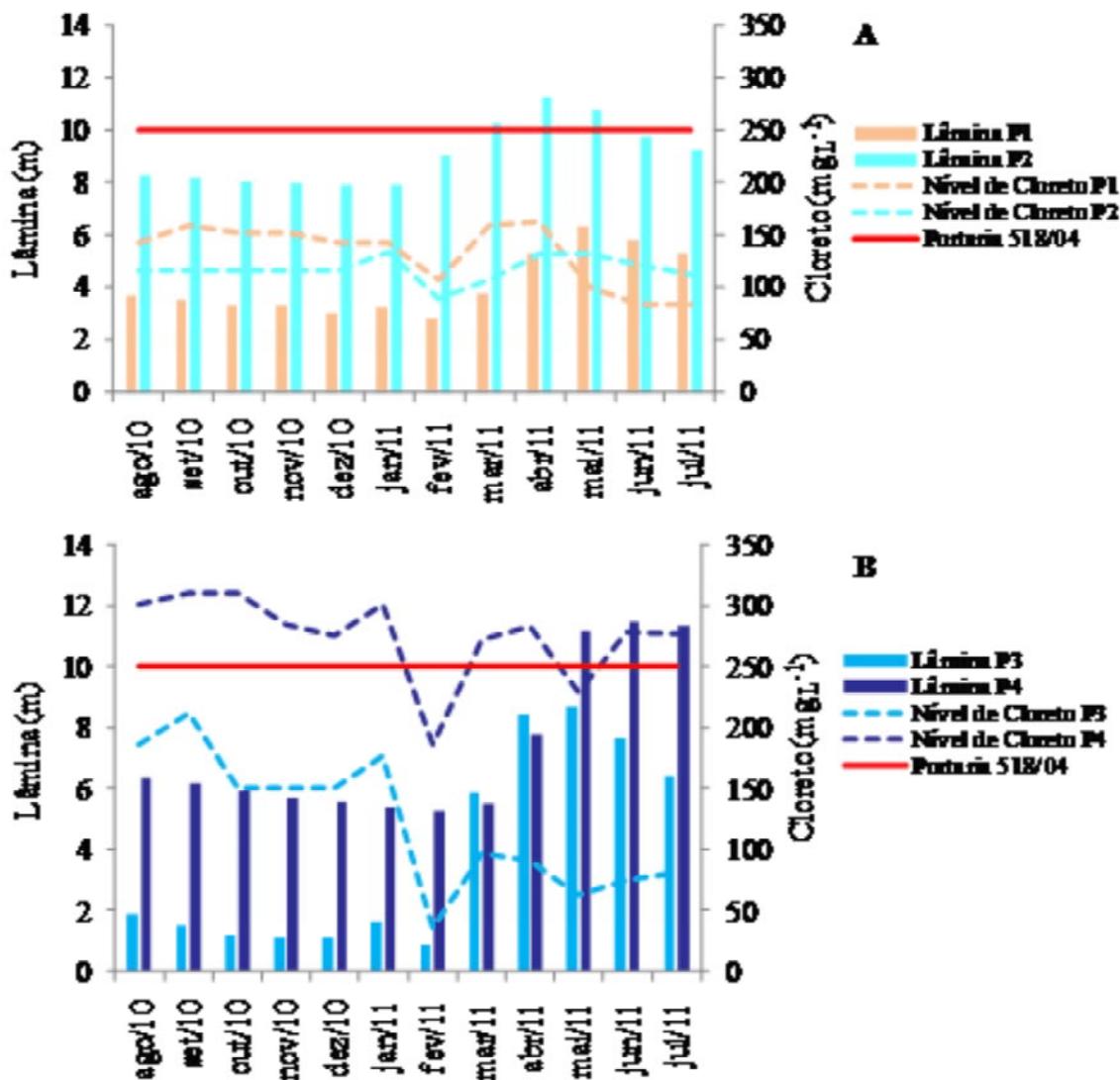


Figura 5 - Lâmina de água e concentrações de cloreto nos poços da área irrigada (P1 e P2) (A) e na área não cultivada (P3 e P4) (B).

aos poços inseridos em áreas não cultivadas, oscilando entre 9,52 e 12,69 mg L⁻¹ (Figura 6A). O P2 excedeu os limites estabelecidos pela portaria 518/04 (10 mg L⁻¹), estando 26% acima do limite máximo aceitável para consumo humano. As concentrações de nitrato nas áreas irrigadas são superiores devido à aplicação de água no solo, promovendo a lixiviação do nitrato para as camadas mais profundas e atingindo o lençol freático. Cerca de 5 kg de adubos orgânicos (esterco de frango, bovino e ovelha) são adicionados por planta mês⁻¹ nos lotes do DIBAU. A aplicação excessiva de fertilizantes nitrogenados e as técnicas de irrigação empregadas estimulam uma rápida lixiviação de nitrato em solos arenosos, atingindo o lençol freático (TARKALSON *et al.*, 2006).

Um incremento nas concentrações de nitrato foi registrado durante o período chuvoso para os quatro poços

investigados, expressando a ação das chuvas no processo de lixiviação dos sais solúveis. P1 e P2 localizados na área de cultivo irrigado apresentaram concentrações de nitrato superior ao padrão de potabilidade, atingindo valores entre 18,38 e 22,06 mg L⁻¹ respectivamente, no mês de maio de 2011 (estação chuvosa). O excesso de nitrato nesses lotes irrigados está relacionado com os compostos orgânicos nitrogenados. Mensalmente, cerca de 900,00 kg ha⁻¹ de esterco misto (frango, bovino e ovelha) eram adicionados ao solo para a cultura da acerola e coco.

Os nutrientes (principalmente o N) podem ser lixiviados através do perfil do solo e atingir os mananciais de águas subterrâneas, resultando na sua contaminação com nitrato. Apesar dos possíveis problemas decorrentes da aplicação de esterco nas lavouras, o seu uso como fonte de nutrientes para culturas ou pastagens se constitui

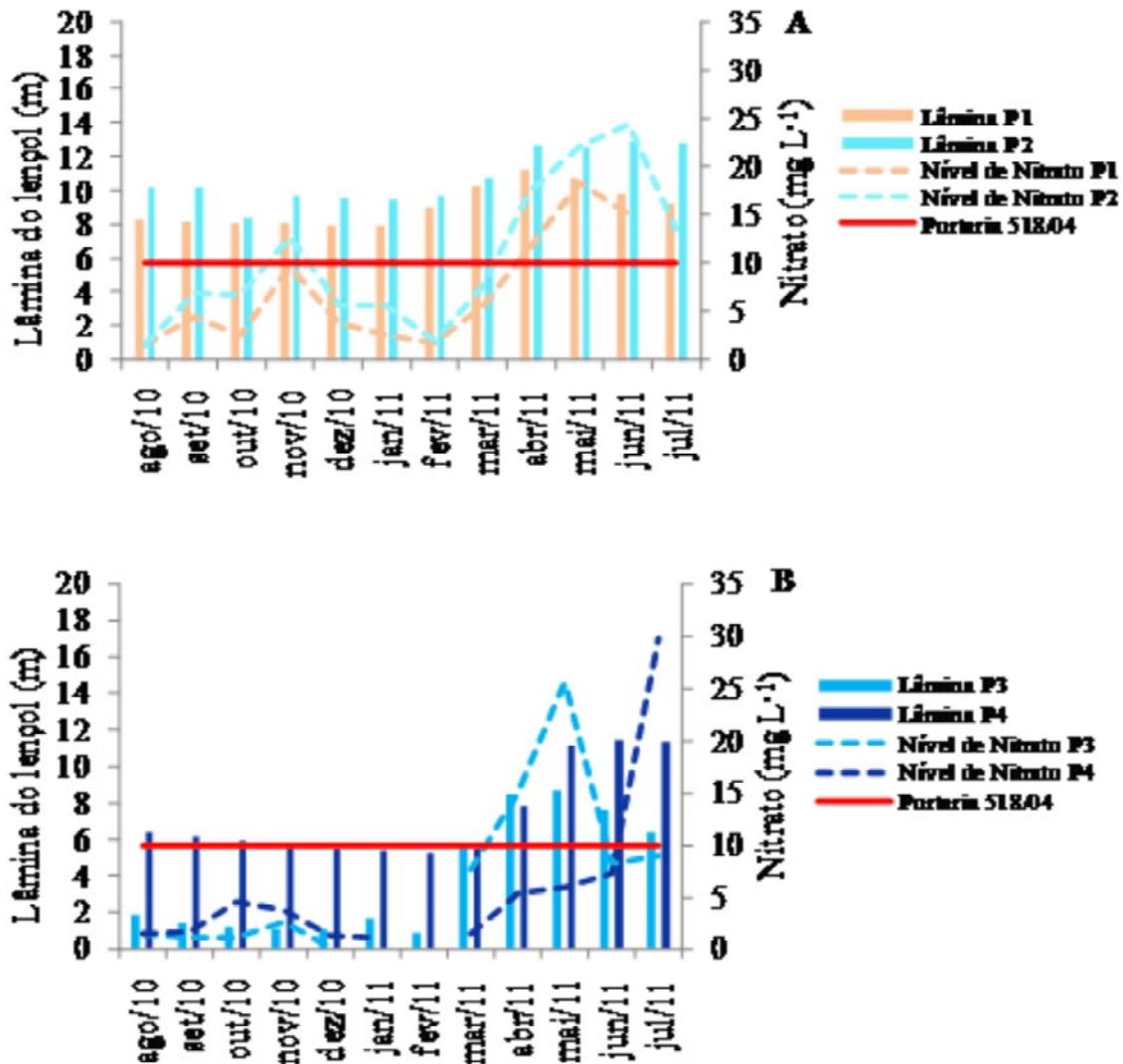


Figura 6 - Lâmina de água e concentrações de nitrato nos poços da área irrigada (P1 e P2) (A) e na área não cultivada (P3 e P4) (B).

em uma opção técnica e economicamente viável, desde que observadas às características dos esterco e do solo, as necessidades das culturas e os efeitos sobre o ambiente (AITA; GIACOMINI, 2008; MENEZES *et al.*, 2007).

O excesso de nitrato nos poços das áreas não cultivadas P3 e P4, apresentaram valores que também excederam os limites máximos permitidos pela Portaria Nº 518/2004 (BRASIL, 2004) e Resolução Nº 357/05 do CONAMA (BRASIL, 2005) para consumo humano, com concentrações de 25,45 e 29,0 mg L⁻¹, para os meses de maio e junho de 2011, respectivamente. As altas concentrações de nitrato nas áreas não cultivadas durante a estação chuvosa pode ser decorrente da lixiviação dos dejetos de animais, pois há criação de pequenos animais domésticos como porcos e galinhas nas proximidades

desses poços, como também de fossas sépticas localizadas próximas aos mesmos.

Conclusões

Na estação seca, a dinâmica dos teores de cloreto e nitrato nas áreas estudadas é determinada pelos processos de evapotranspiração e de fluxo inversão da água no solo, enquanto que na estação chuvosa se dá pelo processo de lixiviação, quando os referidos íons são transcolados ao longo do perfil do solo;

Em relação ao cloreto, os teores nas águas para os quatro poços se mostraram influenciados pelas lâminas do lençol freático;

O uso de irrigação eleva os teores de nitrato nos aquíferos, ultrapassando os limites aceitáveis para consumo humano no mês de novembro (estação seca).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade (INCTSal) pelo apoio financeiro ao projeto.

Literatura científica citada

- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Nitrato no solo com a aplicação de dejetos líquidos de suínos no milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2101-2111, 2008.
- ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; CRISÓSTOMO, L. A.; RODRIGUES, J. O.; LOPES, F. B. Impacto da lixiviação de nitrato e cloreto no lençol freático sob condições de cultivo irrigado. **Ciência Rural**, v.39, n.1, p. 88 - 95, 2009.
- ANDRADE, E. M. A irrigação e suas implicações sobre o capital natural em regiões áridas e semiáridas: uma revisão. **CERES**, v.56, p.390 - 398, 2009.
- AQUINO, D. N.; ANDRADE, E. M.; LOPES, F. B.; TEIXEIRA, A. S.; CRISÓSTOMO, L. A. Impacto do manejo da irrigação sobre os recursos solo e água **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n.2, p.225-232, 2008.
- BRASIL. Ministério da Saúde - **Portaria N° 518, de 25 de março de 2004**. “Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências”. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 26 de março de 2004. Seção 1.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> Acesso em: abril. 11.
- CORREA, R. S.; WHITE, R. E.; WEATHERLEY, A. J. Risk of nitrate leaching from two soils amended with biosolids. **Water Resources**, v.33, n.4, p.453-462, 2006.
- CRUZ, M. G. M.; ANDRADE, E. M.; NESS, R. L. L.; MEIRELES, A. C. M. Caracterização das águas superficiais e subterrâneas do projeto Jaguaribe-Apodí. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.23, n.1, p.187-194, 2003.
- D'ALMEIDA, D. M. B. A. ANDRADE, E.M.; MEIRELES, A.C.M. Importância relativa dos íons na salinidade de um cambissolo na chapada do Apodí, Ceará. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.3, p. 615-621, 2005.
- DOWD, B. M.; HUERTOS, D. L. M. Agricultural nonpoint source water pollution policy: The case of California's Central Coast. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.28, p.151-156, 2008.
- DYNIA, J. F.; SOUZA, M. D.; BOEIRA, R. C. Lixiviação de nitrato em latossolo cultivado com milho após aplicações sucessivas de lodo de esgoto. **Pesquisa. Agropcuária. Brasileira**, v.41, n.5, p. 855-862, 2006.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - 2ª ed.** Brasília.: Embrapa Produção de Informação: Rio de Janeiro Embrapa Solos, 2006.
- GRUTZMACHER, D. D.; GRUTZMACHER, A. D.; AGOSTINETTO, D.; LOECK, A.E.; ROMAN, R.; PEIXOTO, S. C.; ZANELLA, R. Monitoramento de agrotóxicos em dois mananciais hídricos no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.12, n.6, p.632-637, 2008.
- JURY, W. A., JARRELL, W. M.; DEVITT, D. Reclamation of saline sodic soils by leaching. **Soil Science Society of America Journal**, v.43, n.6, p.1100-1106, 1979.
- MEIRELES, A. C. M.; FRISCHKOM, H.; ANDRADE, E. M. Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, bacia do Acaraú, no Semi-Árido cearense. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.1, p.25-31, 2007.
- MENEZES, J. F. S.; KONZEN, E. A. Aproveitamento de dejetos de suínos na produção agrícola e monitoramento do impacto ambiental. **Rio Verde: FESURV**, 2007.
- MULLER, K.; MAGESAN, G. N.; BOLAN, N. S. A critical review of the influence of effluent irrigation on the fate of pesticides in soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.120, p. 93-116, 2007.
- PETHERAM, C.; BRISTOW, K. L. ; NELSON, P. N. Understanding and managing groundwater and salinity in a tropical conjunctive water use irrigation district. **Agricultural Water Management**, v 795, p.1167 - 1179, 2008.
- PHILLIPS, J. D. Development of texture contrast soils by combination of bioturbation and translocation. **Catena**, v.70, p. 92-104, 2007.
- PIOVESAN, R. P.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V.; REISSMANN, C. B. Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.757-766, 2009.
- RESENDE, A. V. Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato. Brasília: EMBRAPA Cerrados. 2002. 29p. Documentos 57.
- RICHARDS, L. A. (ed) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. **ESDA**
- Agricultural Handbook**. V.60. Washington: U.S: Department of Agriculture, 1954. 1960p.

SAMPAIO, R. A.; RUIZ, H. A. Características das soluções drenadas na recuperação de solos salino sódicos com lixiviação parcelada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.1, p.13-20, 1996.

SCHEINOST, A. C.; SINOWSKI, W.; AUERSWALD, K. Regionalization of soil water retention curves in a highly variable soil scape, I. Developing a new pedotransfer function. **Geoderma**, v.78, p.129-143, 1997.

SILVA, M. O.; FREIRE, M. B. G. S.; MENDES, A. M. S.; FERNANDES, M. B.; OLIVEIRA, D. A. Composição do lixiviado de quatro solos do Rio Grande do Norte irrigados com águas salinas. **Revista Caatinga**, v.21, n.1, p.189-203, 2008.

SOUZA, K. S.; PIO, M. C. S.; SANTANA, G. P. Análise química e bacteriológica da água de irrigação utilizada na comunidade agrícola Nova Esperança, Manaus - AM. **Revista Agro@biente on-line**, v.6, n.3, p.242-249, 2012.

TARKALSON, D. D.; PAYERO, J.; ENSLEY, S. M.; SHAPIRO, C. A. Nitrate accumulation and movement under deficit irrigation in soil receiving cattle manure and commercial fertilizer. **Agric. Water Manage**, v.85, n.1, p.201-210, 2006.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E.; CARDOSO, J. L. **A importância da irrigação no agronegócio**. Campinas: Unicamp, 2005. Uma abordagem aplicada. Editora UFMG, Belo Horizonte, 2005.

WANG, H.; JU, X.; WEI, Y.; LI, B.; ZHAO, L.; HU, KELIN. Simulation of bromide and nitrate leaching under heavy rainfall and highintensity irrigation rates in North China Plain. **Agricultural Water Management**, v.97, p.1646 - 1654, 2010.

WICHELNS, D.; CONE, D.; STUHR, G. Evaluating the impact of irrigation and drainage policies on agricultural sustainability. **Irrigation and Drainage Systems**, v.16, n.1, p.1-14, 2002.