

Impacto da lixiviação de nitrato e cloreto no lençol freático sob condições de cultivo irrigado

Nitrogen and chloride impact on water table under irrigated condition

Eunice Maia de Andrade^{1*} Deodato Nascimento de Aquino¹ Lindbergue de Araújo Crisóstomo¹
Joseilson de Oliveira Rodrigues¹ Fernando Bezerra Lopes¹

RESUMO

Os impactos ambientais provocados pelos fertilizantes nitrogenados, pesticidas e sais presentes nas áreas irrigadas vêm se tornando uma preocupação crescente, uma vez que estes podem se mover no solo desde a zona radicular até atingirem águas subterrâneas. Esta pesquisa teve como objetivo identificar a influência do manejo da irrigação e das chuvas sobre a dinâmica dos íons cloreto e nitrato ao longo dos perfis dos solos, bem como o seu impacto nas águas do lençol freático do Distrito Irrigado do Baixo Acaraú – DIBAU, Ceará. As amostras de solo foram coletadas a cada 50cm de profundidade, da superfície até a zona de saturação do lençol freático (7m) em duas áreas distintas, sendo uma irrigada com a cultura do coco (S1) e a outra uma mata nativa (S2). As amostras dos solos foram realizadas em período de plena atividade da irrigação (nov/06) e ao final da estação chuvosa (mai/07). As medições dos níveis e as coletas de água do lençol freático foram efetuadas, mensalmente, em quatro poços rasos, sendo dois inseridos na área irrigada e dois na área de mata nativa, no período de dez/2003 a nov/2005, nos meses de nov/2006, março e abril/2007. As maiores concentrações de cloreto nos perfis dos solos foram registradas durante a estação chuvosa, sugerindo a influência das chuvas no aporte de cloreto oriundo de aerossóis de sais marinhos. Já as maiores concentrações de nitrato ocorreram durante o período da irrigação. Os resultados também mostraram um aumento preocupante dos teores de nitrato nas águas dos poços influenciados diretamente pela agricultura irrigada, variando de 1,52 a 19,3mg L⁻¹, excedendo significativamente os limites máximos aceitáveis pela Portaria nº 518/2004 para consumo humano e pela Resolução 357/05.

Palavras-chave: irrigação, aerossóis, monitoramento, poços rasos.

ABSTRACT

Environmental impacts of nitrogenous fertilizers, pesticides and salts contained in irrigation are becoming an increasing concern, because they may move with soil water from root zone to groundwater. The aim of this research was to identify the irrigation management and the rainfall depth influence over nitrate and chloride concentration in the soil profiles, as well as the risk of water table pollution in the Irrigated District of Baixo Acaraú (DIBAU), Ceará, Brazil. Soil samples were taken each 50cm deep soil profiles until to saturated zone (7m) in two different types of land use: irrigated area (S1) and native area (S2). Samples occurred during irrigation activities (Nov/06) and rainfall season (May/07). The water table was measured, monthly, from Dec/2003 to Nov/2005, Nov/2006, Mar and April/2007 in four shallow wells, two located in irrigated fields and the others in native. The greatest chloride concentration in the soil profiles was registered during rainfall season, suggesting the effect of sea-salt aerosols influence on chloride soil content. The greatest nitrate concentration occurred under irrigation period. Also, the results show that irrigation caused the groundwater concentration of NO₃-N to increase from 1.52 to 19.3mgL⁻¹, thereby, exceeding the standards on Regulation MS number 518/2004 and 357/2005 Resolution.

Key words: irrigation, aerosols, monitoring, shallow wells.

INTRODUÇÃO

A irrigação desempenha um importante papel na ampliação da produtividade agrícola, possibilitando o desenvolvimento de muitas regiões do globo. Entretanto, a prática da irrigação, associada ao regime irregular das chuvas e às elevadas taxas de

¹Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará (UFC). Av. Mister Hull, s/n, Bloco 804, 60455-970, Fortaleza, CE, Brasil. E-mail: eandrade@ufc.com.br. *Autor para correspondência.

¹Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, Brasil.

evaporação nas regiões secas, tendem a aumentar os teores de sais nos solos e nas águas (CRUZ et al., 2003). Devido a fatores climáticos, a condições edáficas e aos métodos de irrigação, os sais dissolvidos na água podem se acumular no perfil do solo ou serem carregados para as águas subterrâneas. (BARTON et al., 2006; RODRIGUES et al., 2007).

Dentre os íons lixiviados, o nitrato e o cloreto são os que ocorrem com maior frequência, havendo uma predominância do primeiro. Os íons nitrato e cloreto não são adsorvidos pelos componentes das frações do solo, razão pela qual se deslocam facilmente na solução do solo, podendo ser absorvidos pelas raízes e translocados às folhas, onde se acumulam pela transpiração, ou serem lixiviados aos mananciais subterrâneos (AYRES & WESTCOST, 1999; PHILLIPS & BURTON, 2005, correa et al., 2006). A lixiviação do N-NO₃ oriundo das áreas agrícolas vem se tornando um risco à saúde pública, uma vez que, em concentrações superiores a 10mg L⁻¹, nas águas subterrâneas, pode desenvolver a metahemoglobinemia, conhecida também como síndrome do “bebê azul”, (FENG et al., 2005). Em áreas exploradas com agricultura irrigada, a concentração de N-NO₃ nas águas do lençol freático, algumas vezes, excede 200mg L⁻¹ (MUÑOZ-CARPENA et al., 2002; CHOWDARY et al., 2005).

Em relação aos dois íons, a toxicidade mais frequentemente observada nas culturas irrigadas é a do cloreto contido na água. Além da irrigação, outra fonte em potencial de aporte de cloreto ao solo, principalmente nas regiões costeiras, é a chuva (MEIRELES et al., 2007). A água da chuva é uma combinação da composição química das gotículas que formam as nuvens e das substâncias que se incorporam às gotas de chuva durante a precipitação (GOMES, 2005). O presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência do manejo de irrigação e da pluviometria sobre a dinâmica do cloreto e do nitrato ao longo dos perfis dos solos e seu impacto nas águas do lençol freático do Distrito Irrigado do Baixo Acaraú – DIBAU.

A área em estudo está inserida no divisor topográfico, na parte baixa, entre as bacias hidrográficas do Acaraú e Litorânea, região setentrional do Estado do Ceará. Essa área ocupa aproximadamente 13 mil hectares, dos quais apenas 2.000 estão sendo cultivados, principalmente, com, banana, mamão, maracujá e abacaxi.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de solo foram coletadas em duas áreas com distância de 1km entre uma e outra. Uma das áreas era explorada com a cultura do coco (*Cocos nucifera*), variedade anão, irrigada por microaspersão. No início do estudo, essa área tinha dois anos de exploração. A segunda área tratava-se de uma capoeira nativa, de exploração agrícola. Doravante, as áreas serão referenciadas como S1 – área de cultivo irrigado e S2 – área de mata nativa. Anualmente eram adicionados ao solo 80kg N ha⁻¹, 130kg N ha⁻¹ em esterco bovino, 300kg N ha⁻¹ em esterco de galinha e 36kg Cl ha⁻¹ em cloreto de potássio. Os 80kg N ha⁻¹ em uréia foram aplicados pela fertirrigação, enquanto que o esterco bovino, o esterco de galinha e o cloreto de potássio, em quatro aplicações ao longo do ano. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw’ (Tropical Chuvoso). Apresenta uma evapotranspiração anual de 1600mm e velocidade média dos ventos de 3,0m s⁻¹. Em geral, os solos avaliados são profundos, bem drenados, de texturas leves e muito permeáveis (Tabela 1).

Em ambas as áreas, o solo foi amostrado da superfície até o início do lençol freático, nas seguintes profundidades: S1 (no período seco: até 7,0m enquanto no período chuvoso até a profundidade de 6,5m) e S2 (período seco: até 6,5m e no período chuvoso: até 5,5m de profundidade). Foram coletadas três subamostras deformadas em cada profundidade, atribuindo assim o valor médio como representativo para cada parâmetro, o que resultou em uma maior representatividade dos dados amostrados. As coletas foram realizadas em nov/

Tabela 1 - Características físico-hídricas médias das duas áreas estudadas.

Atributos	Unidade	S1 – área de cultura irrigada	S2 – área de mata nativa
CE	µS m ⁻¹	210,00	0,09
pH		5,47	6,25
Densidade do solo	g cm ⁻³	1,42	1,73
Capacidade de armazenamento	cm ³ cm ⁻³	0,14	0,19
Textura		franco-arenoso	franco-argilo-arenoso
Areia	%	75,7	52,4
Silte	%	5,5	11,0
Argila	%	18,8	36,5

06 e maio/07, totalizando 156 amostras (2 áreas x 2 campanhas x profundidades amostradas x 3 sub-amostras). Os solos foram acondicionados em sacos plásticos e recipientes metálicos hermeticamente fechados e identificados. Em seguida, eles foram enviados ao Laboratório de Água e Solo da Embrapa Agroindústria Tropical para a determinação dos seguintes atributos: textura granulométrica, umidade do solo, concentrações de cloreto e nitrato. As análises foram determinadas na solução de 150g de solo, em 150g de água, segundo a metodologia recomendada por RICHARDS (1954).

Para avaliar o impacto da agricultura irrigada e dos fatores naturais sobre as concentrações de nitrato e cloreto nas águas do DIBAU, foram realizadas, durante um período de 27 meses (dez/2003 a nov/2005, nov/2006, março e abril/2007), amostras mensais de água em quatro poços rasos. Os poços P1 e P2 situam-se na área irrigada, e os poços P3 e P4 localizam-se na área de mata nativa. Os pontos de amostragem de solos (S1 e S2) ficam próximos dos poços P1 e P4, respectivamente.

O nível da água subterrânea foi medido por um sensor elétrico que emitia um sinal sonoro quando a superfície da água era atingida. As coletas de água eram realizadas com um coletor, com válvula de pressão. Para as análises químicas, foram coletadas amostras em recipientes plásticos com volume de 1L, onde era adicionado 1mL de tolueno para evitar o desenvolvimento de microorganismos. No momento da coleta das águas, tinha-se o cuidado de realizar uma tríplice lavagem no recipiente com o propósito de diminuir a interferência de qualquer resíduo remanescente de coletas anteriores. A inspeção do

impacto da irrigação sobre a adição do nitrato e do cloreto nas águas do lençol freático foi realizada pela análise comparativa da concentração destes nas águas dos poços P1 e P2 com P3 e P4. Para identificar se os sais adicionados ao solo pelo manejo da irrigação geravam impacto estatisticamente significativo, foi aplicado o teste de Wilcoxon. Os dados pluviométricos da estação meteorológica do DIBAU coletado durante o período de estudo são apresentados na figura 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variações da umidade do solo

A granulometria e o teor de água dos solos ao longo dos perfis da S1 – área de cultivo irrigado nos períodos de estiagem e chuvoso estão presentes nas figuras 2A e 2B. Foi registrada uma predominância da textura arenosa ao longo de todo perfil, sendo a maior fração de areia observada na camada superior (Figura 2A). CORREA et al. (2006) e PHILLIPS & BURTON (2005) mostraram que, em elevadas dotações de água, a taxa de lixiviação dos íons é maior em solos arenosos. Assim, pode-se inferir que a umidade seria fator determinante na lixiviação e na variação da distribuição de nutrientes nos solos. A umidade dos solos ao longo de todo o perfil, durante a estação chuvosa, foi inferior àquela registrada no período em que se pratica a irrigação (Figura 2B). As diferenças na umidade dos solos de uma estação para outra foram significativas pelo teste Wilcoxon ($P < 0,005$). Observa-se que, com exceção da camada superior, os solos apresentavam, predominantemente, valores de umidade entre 10 e 13%, inclusive nas proximidades da franja capilar (6,5m de profundidade). As menores umidades registradas na

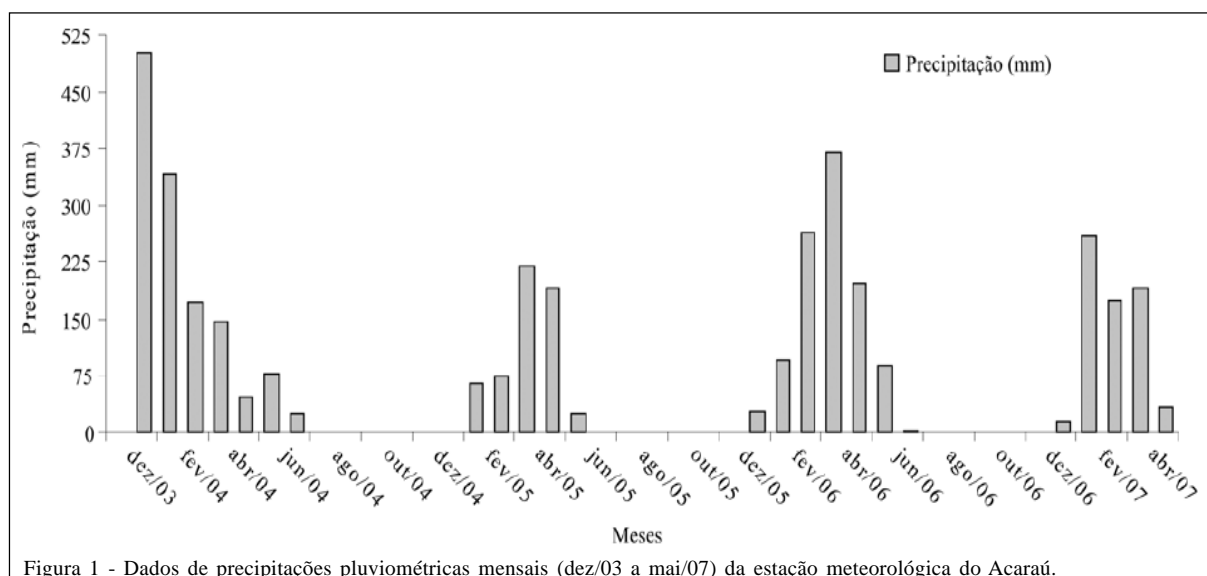
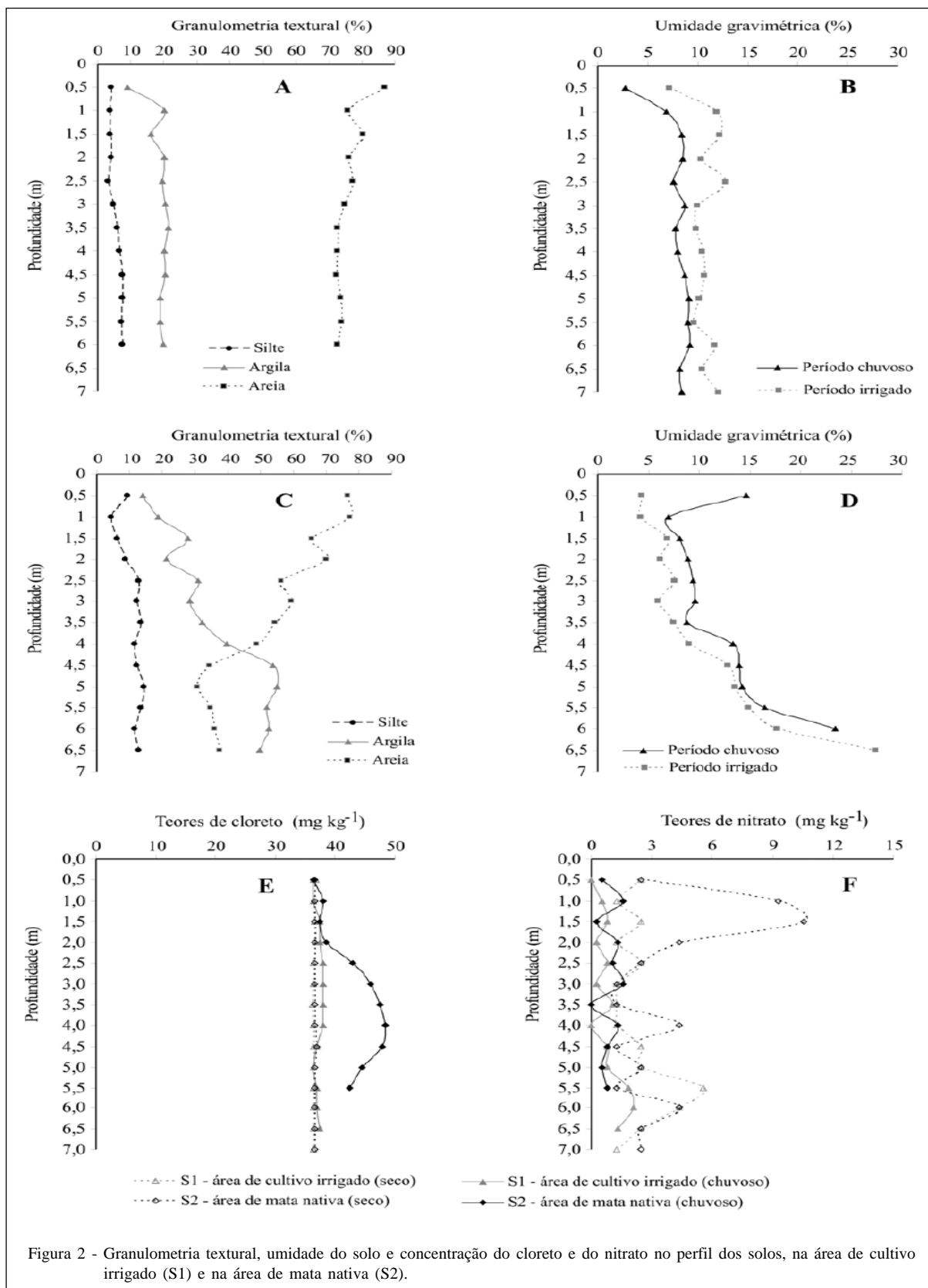


Figura 1 - Dados de precipitações pluviométricas mensais (dez/03 a mai/07) da estação meteorológica do Acaraú.



camada superficial podem ser explicadas pelo processo de evapotranspiração. Os maiores teores de umidade do solo, figura 2B, foram registrados durante a irrigação (estação seca), mantendo-se em torno de 13%, desde a profundidade de 1m até a franja capilar, expressando, assim, um uso excessivo de água na irrigação.

A composição granulométrica e a umidade do perfil dos solos da área S2 – área da mata nativa, para os períodos de irrigação e chuvoso, podem ser visualizadas nas figuras 2C e 2D, respectivamente. Existe uma redução gradual na percentagem dos teores de areia, acompanhada de um aumento contínuo no teor de argila com a profundidade. O perfil de umidade do solo, figura 2D, apresentou comportamento semelhante ao dos teores de argila em ambas as estações, havendo um maior aumento das taxas de umidade a partir dos 4m de profundidade. Dentre os fatores que afetam a retenção da água em um solo, a textura é a principal deles, pois determina a área de contato entre as partículas sólidas e a água. De acordo com o teste Wilcoxon, a diferença dos teores de água do solo entre as duas estações foi significativa ao nível de 0,5% ($P < 0,005$), sendo os maiores valores da umidade gravimétrica ao longo do perfil registrados no período chuvoso. Tal comportamento já era esperado, visto que se trata de uma área que não recebe dotação de água pela irrigação durante a estação de estiagem.

Variações do íon cloreto nos perfis dos solos

As concentrações do íon cloreto ao longo do perfil dos solos nas áreas S1 – área de cultivo irrigado e S2 – área de mata nativa – durante a estação chuvosa e de estiagem (irrigação), apresentaram, em sua maioria, valores baixos na superfície do solo, não ultrapassando o limiar de tolerância para toxicidade das frutíferas cultivadas no DIBAU. Os teores de cloreto registrados no período de estiagem, em ambas as áreas, mostraram um comportamento homogêneo, sendo que para a S1 as concentrações desse íon foram sempre inferiores às concentrações da área S2, independentemente da estação seca ou chuvosa (Figura 2E). Esse fato evidencia a lixiviação do cloreto adicionado ao solo da S1 (36kg Cl ha^{-1}) pelo manejo adotado na cultura irrigada. A maior lixiviação do cloreto observada na S1 em relação à S2 é explicada pela alta mobilidade desse íon, pela elevada umidade do solo e pela textura arenosa predominante. Resultados semelhantes foram observados por PHILLIPS & BURTON, (2005).

Durante o período chuvoso, as concentrações do íon cloreto, ao longo dos perfis, em ambas as áreas, apresentaram-se estatisticamente superiores àqueles índices registrados na estação seca, ao nível de 0,5% ($P < 0,005$). Tal comportamento pode

ser explicado pela influência dos aerossóis marinhos, que propiciam o aporte do íon cloreto via precipitação pluvial, visto que o DIBAU situa-se a uma distância de 30km da costa marítima. GOMES (2005) mostrou que, no processo de salinização das águas superficiais, deve-se considerar a atmosfera como fonte de sais, principalmente nas regiões próximas ao litoral.

Variações do íon nitrato nos perfis dos solos

As maiores concentrações do nitrato na área irrigada foram detectadas abaixo da camada de maior absorção pelas raízes plantas, atingindo valores de até 6mg kg^{-1} nas profundidades de 5 a 6m (Figura 2F). A concentração desse íon nos solos da área irrigada, durante o período seco (irrigação), pode ser explicada pela aplicação de 510kg N ha^{-1} ano de fertilizantes nitrogenados minerais e orgânicos. O total anual de adubos nitrogenados aplicado nos solos do DIBAU foi superior aos 450kg N ha^{-1} , considerados elevados, que foram observados por FENG et al., (2005) em áreas do Distrito de Irrigação Hetao, China. Nos campos irrigados da área em estudo, a lixiviação do nitrato é potencializada pelas propriedades físicas dos solos (Figura 2A), pelas práticas agrícolas intensivas e pela elevada dotação de água empregada na irrigação (Figura 2B). Solos arenosos e pobres de matéria orgânica possuem baixa capacidade para reter o nitrato, que, livre na solução do solo, ficará sujeito à lixiviação para as camadas mais profundas do solo (UFC, 1993). Diante desses fatores, há teoricamente uma maior vulnerabilidade para contaminação do lençol freático neste ponto. Essa hipótese é justificada, pois, no período de estiagem, há um aumento na frequência de irrigação, na aplicação de adubação nitrogenada via fertirrigação e nos excessos das lâminas percoladas da água de irrigação. Os riscos de contaminação de águas subterrâneas com nitrato são maiores em regiões onde há altos índices pluviométricos ou ocorre a aplicação de excessivas lâminas de águas residuárias e o solo apresenta alta permeabilidade (OLIVEIRA, 1993). Os valores observados neste estudo foram bem inferiores aos observados por VELDKAMP et al. (1999); MUÑOZ-CARPENA et al. (2002) e CHOWDARY et al. (2005), os quais encontraram concentrações de até 40mg kg^{-1} .

A concentração de nitrato ao longo do perfil do solo para S2 – área de mata nativa – na coleta do período chuvoso, foi estatisticamente inferior ao do período de estiagem ($P < 0,025$), evidenciando assim a lavagem desse íon do perfil dos solos em decorrência de sua alta mobilidade, bem como da concentração das chuvas nos meses de janeiro a maio de 2007 (Figura 1). As baixas concentrações de nitrato nas camadas mais profundas, quando comparadas com a superfície,

evidenciam que houve mobilidade relativamente pequena desse íon no solo da área da mata nativa durante a estação seca. Essa maior concentração nas camadas superiores era esperada, uma vez que, durante o período seco, para S2, não existe dotação de água nos solos que viesse a promover a lixiviação do referido íon. No período chuvoso, em ambas as áreas, foram registradas uma alta mobilidade do N-NO₃ (Figura 2F), comportamento já esperado, uma vez que a chuva promove a lavagem desse íon, reduzindo assim as concentrações do nitrato no extrato de saturação do solo, no final da estação chuvosa. Pesquisadores como, por exemplo, WALKER et al. (2000) apontam as precipitações pluviométricas como o principal fator a ser considerado nas avaliações de lixiviação de nitrato, em função da sua alta solubilidade.

Impacto do cloreto na água subterrânea

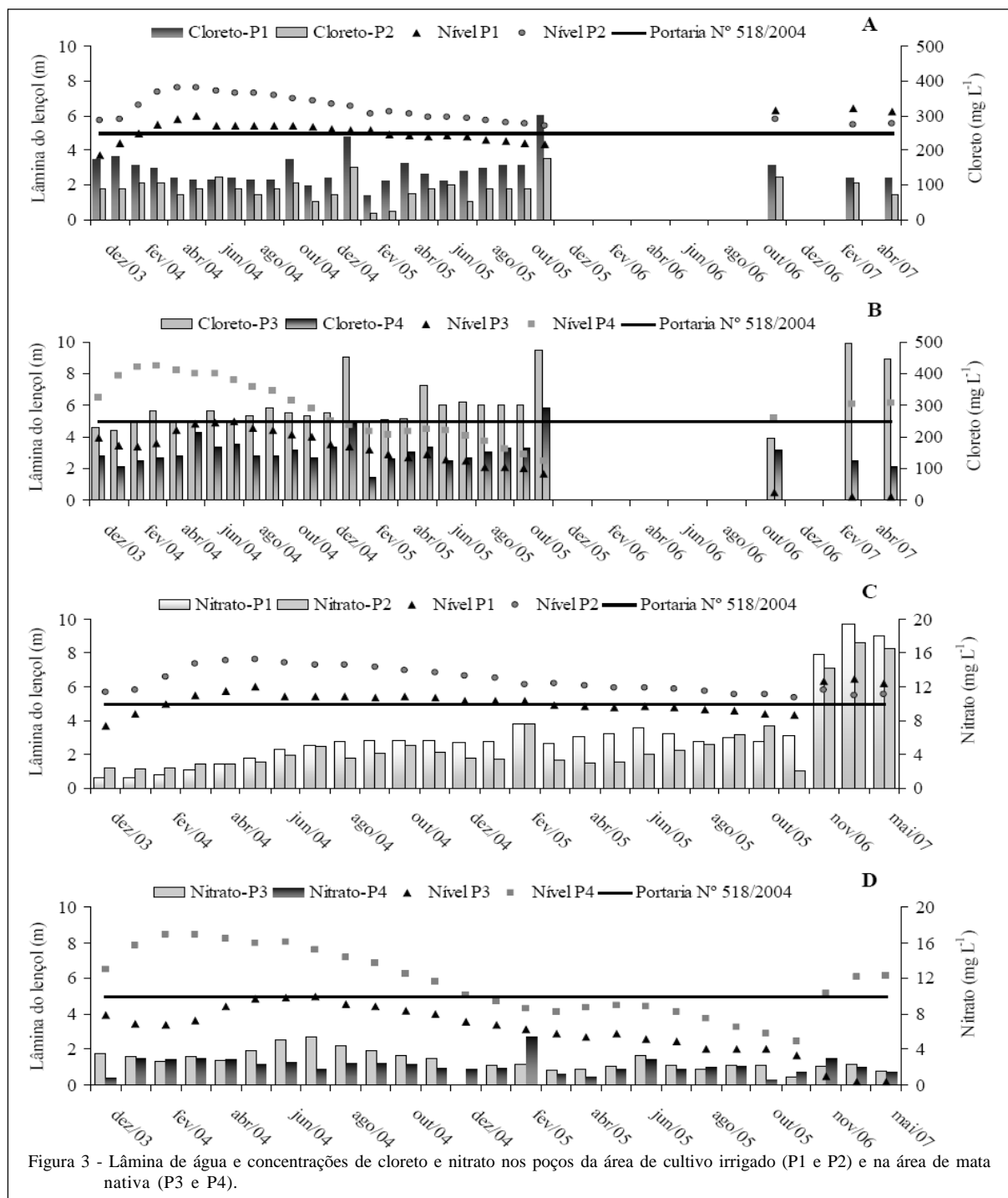
A dinâmica temporal do nível do lençol e dos teores de cloreto na água do freático, para os poços P1, P2, P3 e P4 estão presentes nas figuras 3A e 3B, respectivamente. Pode-se observar, na figura 3A, que, para o mês de novembro de 2005, o poço situado na área irrigada (P1) apresentou concentração de cloreto superior ao limite (250mg L⁻¹) recomendado para consumo humano pela Portaria nº 518/2004 (BRASIL, 2004) e Resolução nº 357 do CONAMA (BRASIL, 2005), que dispõe sobre a classificação dos corpos de água. Esse comportamento pode ser explicado pela redução da lâmina de água do lençol freático, principalmente dos poços P1, P3 e P4 para esse mês. Ademais, foi constatado que os maiores teores de Cl⁻ foram encontrados nos poços que apresentavam as menores lâminas de água, especificamente o P3, com concentrações sempre acima dos padrões estabelecidos pela Portaria nº 518/2004 (BRASIL, 2004) e Resolução nº 357 do CONAMA (BRASIL, 2005), exceção dezembro/03 e janeiro/04 (Figura 3B). Cruz et al. (2003), avaliando a qualidade das águas superficiais e subterrâneas do Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi, encontraram resultados de acordo com os observados nesta pesquisa. Assim, a interdependência entre o nível do freático e a concentração do cloreto fica evidenciada quando se identifica uma melhoria na qualidade da água dos poços durante o período chuvoso, nos anos de 2004 e 2005. Durante a estação seca (irrigação), foi registrado um maior acréscimo da concentração de Cl⁻ na água de todos os poços, independente da sua localização. Desse modo, pode-se inferir que os teores de Cl⁻ na água do lençol freático da área irrigada do DIBAU ainda não estão sendo influenciados diretamente pela agricultura irrigada, mas sim por fatores climáticos associados ao ciclo hidrológico.

Impacto do nitrato na água subterrânea

As concentrações de nitrato nas águas dos poços localizados na área de cultivo irrigado (P1 e P2) apresentaram um comportamento sempre crescente e superior àquelas encontradas nas águas dos poços da área de mata nativa (Figuras 3C e 3D) Após a coleta do mês de novembro de 2006, estes se encontraram sempre acima dos limites máximos estabelecidos pela Portaria nº 518/2004 (BRASIL, 2004) e Resolução nº 357/05 do CONAMA (BRASIL, 2005), para consumo humano. A dinâmica na concentração do nitrato evidencia um efeito acumulativo ao longo do período estudado para os dois poços inseridos na S1. Por fim, foi constatado um aumento desse ânion, nos meses de nov/2006, março e maio/07, sempre acima de 10mg L⁻¹, tornando-se a água inadequada ao consumo humano. As maiores concentrações de nitrato nas águas de P1 e P2 ocorreram nos meses de março e maio de 2007, (19,40 e 17,10mg L⁻¹), respectivamente, estando 94% e 71% acima do limite máximo legal aceitável. Uma vez que o efeito acumulativo foi constatado somente nos poços inseridos na área irrigada, acredita-se que isso seja decorrente da aplicação dos fertilizantes minerais nitrogenados e orgânicos em concentrações de 80kg N ha⁻¹ e 430kg N ha⁻¹, respectivamente. Tal fato expressa a necessidade de mudanças no manejo da irrigação adotado nas áreas do DIBAU. Um acúmulo excessivo de nitrato nas águas do lençol freático de campos irrigados foi também identificado por MUÑOZ-CARPENA et al. (2002), nas Ilhas Canárias, Espanha, e FENG et al., 2005, em áreas do Distrito de Irrigação Hetao, China.

No período inicial do estudo, dois anos após a implantação do Distrito de Irrigação, os teores de nitrato nas águas eram semelhantes em todos os poços monitorados. Após seis meses, as concentrações de P1 e P2 passaram a ser superiores àquelas registradas nos poços inseridos na S2. Vale salientar que P1 e P2 tinham sido perfurados a menos de um ano quando se iniciou a pesquisa, enquanto que P3 e P4 já vinham sendo empregados para consumo humano há mais de 10 anos.

Os poços P3 e P4, inseridos na S2 – área de mata nativa – apresentaram uma flutuação no nível do lençol freático diferenciada daquela registrada em P1 e P2 localizados na S1 (Figura 3C). P3 e P4 mostraram-se mais sensíveis às precipitações ocorridas na estação chuvosa, havendo uma elevação no nível do freático nos períodos de mar/jun/2004 e mar/abril/2007, expressando uma maior variabilidade temporal de alteração na altura da lâmina do lençol freático durante o período de estudo. Já os poços P1 e P2 apresentaram uma dinâmica diferenciada, com depleções atenuadas,



o que sugere a existência de outra fonte de abastecimento para o freático além das precipitações pluviométricas. Portanto, é possível inferir que os freáticos estejam recebendo água proveniente de lâminas excedentes da irrigação, ratificando os resultados de FENG et al. (2005). Na estação seca do ano de 2006, a lâmina de água desses dois poços se

assemelhava àquela registrada na estação chuvosa de 2004, quando o total precipitado foi de 1.300mm, superior em 33% da média da região. Dentre todos os poços pesquisados, o P4 apresentou a maior variabilidade temporal no nível médio da água do lençol, atingindo uma lâmina de água de 8,5m durante a estação chuvosa de 2004, reduzindo significativamente a uma lâmina de 2,5m no mês de novembro de 2005.

CONCLUSÕES

A textura do solo foi o fator determinante para explicar as menores concentrações de cloreto e nitrato ao longo dos perfis dos solos da área irrigada, em comparação com a área não irrigada no período chuvoso. As maiores concentrações de cloreto ao longo dos perfis dos solos no período chuvoso sugerem uma influência das chuvas no aporte de cloreto oriundo de aerossóis de sais marinhos. As concentrações de cloreto nas águas do lençol freático da área irrigada não estão sendo influenciadas pela agricultura irrigada, e sim por fatores climáticos. Os teores de nitrato, nas águas dos poços influenciados diretamente pela agricultura irrigada (P1 e P2), excederam significativamente os limites máximos aceitáveis pela Portaria nº 518/2004 e para consumo humano e também em relação à classificação dos corpos de água, Resolução nº 357/05. A otimização do recurso hídrico e dos fertilizantes nitrogenados pode ser melhorada com a adoção de um manejo da irrigação adequado ao tipo de solo da área estudada.

REFERÊNCIAS

- AYRES, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO, irrigação e Drenagem 29, revisado 1).
- BARTON, L. et al. Turfgrass (*Cynodon dactylon* L.) sod production on sandy soils: II. Effects of irrigation and fertiliser regimes on N leaching. **Plant and Soil**, v.284, p.147-164, 2006.
- BRASIL. Ministério da Saúde - Portaria nº 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. **Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005**. Brasília, 2005. 23p. Dispõe sobre 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. Acesso em 09 abril 2007. On line. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/conama/res/res05/res35705.pdf>.>
- CHOWDARY, N.H. et al. Decision support framework for assessment of non-point-source pollution of groundwater in large irrigation projects. **Agricultural Water Management**, v.75 p. 94-225, 2005.
- CORREA, R.S. et al. Risk of nitrate leaching from two soils amended with biosolids. **Water Resources**, v.33, n.4, p.453-462, 2006.
- CRUZ, M.G.M. et al. Caracterização das águas superficiais e subterrâneas do projeto Jaguaribe-Apodi. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.23, n.1, p.187-194, 2003.
- FENG Z.Z. et al. Soil N and salinity leaching after the autumn irrigation and its impact on groundwater in Hetao Irrigation District, China. **Agricultural Water Management**, v.71, p.131-143, 2005.
- GOMES, D.F. **Estudo hidrológico, isotópico e da dinâmica do nível estático das águas subterrâneas e superficiais da região de Limoeiro do Norte, Baixo Jaguaribe-Ceará**. 2005. 218f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos) - Universidade Federal do Ceará.
- PHILLIPS, I.; BURTON, E. Nutrient leaching in undisturbed cores of an acidic sandy Podsol following simultaneous potassium chloride and di-ammonium phosphate application. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.73, p.1-14, 2005.
- MEIRELES, A.C.M. et al. 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.
- MUÑOZ-CARPENA, R.M. et al. Nitrogen evolution and fate in a Canary Islands (Spain) sprinkler fertigated banana plot. **Agricultural Water Management**, v.52, p.93-117, 2002.
- OLIVEIRA, P.A.V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA/CNPISA, 1993. 188p. (Documentos, 27).
- RODRIGUES, J.O. et al. Modelos da concentração iônica em águas subterrâneas no Distrito de Irrigação Baixo Acaraú, **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.4, p.360-365, 2007.
- VELDKAMP, E. et al. Soil nitrogen cycling and nitrogen oxide emissions along a pasture chronosequence in the humid tropics of Costa Rica. **Soil Biology & Biochemistry**, v.31, n.3, p.387-394, 1999.
- WALKER, S.E. et al. Sensitivity analysis of the root zone water quality model. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, v.43, n.4, p.841-846, 2000.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ (UFC) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará**. Fortaleza: BNB, 1993. 248p.