

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

LUIZ CARLOS GUERREIRO CHAVES

**Salinidade e impacto da irrigação no Distrito de Irrigação do Perímetro Araras Norte,
Dipan, Ceará**

FORTALEZA - CEARÁ

2006

Luiz Carlos Guerreiro Chaves

**SALINIDADE E IMPACTO DA IRRIGAÇÃO NO DISTRITO DE IRRIGAÇÃO DO
PERÍMETRO ARARAS NORTE, DIPAN, CEARÁ**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Agronomia. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Profa. Eunice Maia de Andrade,
Ph.D. – UFC

Fortaleza – Ceará

2006

C439s

Chaves, Luiz Carlos Guerreiro.

Salinidade e impacto da irrigação no distrito de irrigação do
perímetro Araras Norte, Dipan, Ceará/ Luiz Carlos Guerreiro Chaves.

79f.: il.

Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade
Federal do Ceará, Departamento de Agronomia, Fortaleza, 2006.

Orientador: Profa. Dra. Eunice Maia de Andrade

1. Sais totais 2. Lixiviação 3. Impacto ambiental.

I. Andrade, Eunice Maia de II. Universidade Federal do Ceará

III. Título

Esta dissertação foi submetida a julgamento como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de mestre em Agronomia – área de concentração Irrigação e Drenagem, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca de Ciências e Tecnologia da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida desde que feita de conformidade com as normas da ética científica.

Luiz Carlos Guerreiro Chaves

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 12/05/2006

Prof. Eunice Maia de Andrade, Ph.D. – UFC

(Orientadora)

Prof. Lindbergue Araujo Crisostomo, Ph.D. – EMBRAPA

(Co-orientador)

Prof. Ricardo Luiz Lange Ness, Dr. – UECE

(Conselheiro)

DEDICO

A meus pais, Francisco de Assis e Bernadete (*in memorian*)
e Luiz Guerreiro e Francisca Guerreiro,
Aos meus irmãos Francisco, Pedro, Paulo, João,
José (*in memorian*), Maria José, Marinete (*in memorian*),
Vanda, Valdelice, Ana Cláudia e Mariana,

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de toda a criação, que me dá forças e inspiração para seguir a caminhada.

A meus pais, irmãos e demais familiares pelo apoio e confiança que a mim dedicaram.

À professora Eunice Maia de Andrade pelo incentivo, dedicação, amizade e exemplo de profissionalismo com que conduziu a orientação desse trabalho.

Ao Instituto Centro de Ensino Tecnológico – CENTEC, unidade de Limoeiro do Norte e aos seus professores e servidores pelos ensinamentos e experiências.

À professora Lúcia de Fátima Sousa Silveira pelas suas palavras de força e ensinamento.

À Universidade Federal do Ceará – UFC, através do Departamento de Engenharia Agrícola pela forma calorosa de acolhimento.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará: Adunias Teixeira, Benito de Azevedo, Claudivan Feitosa, Eunice Andrade, Fernando Felipe Hernandez, Marcus Bezerra, Raimundo Nonato Costa, Renato Silva Ribeiro, Silvia Freitas e Thales Vinícius Viana, pela amizade e os ensinamentos transmitidos.

Aos colegas e amigos do mestrado: Abelardo Amaral, Alexandre Aquino, Alexandre Maia, Alves Neto, Antônio Evami, Daniel Colares, Danieli Araújo, Denise Vasconcelos, Carlos Henrique, Eliana Lee, Ênio Girão, Esaú Ribeiro, Francisco Sildemberny, Francisco Suassuna, Guilherme Bonfim, Helba Araújo, Jefferson Nobre, José Aglodualdo, José Itamar, José Otacílio, Kelly Tagianne, Lílian Cristina, Marcelo Regis, Maria do Socorro, Marcos Meireles, Mauro Regis, Moacir Rabelo, Neuzo Batista, Paulo Cairo, Raimundo Alípio, Robson Alexsandro, Rodrigo Peixoto, Thales Gomes e Wlisses Matos, pela certeza de que mais do que colegas de estudo, fomos amigos.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará: Almiro Tavares, Antônia Farias (Toinha), Aurilene, Gláucia, Ivan Martins, Maurício Rodrigues, Josenias de Oliveira, Luiza Marillac, Maria Fátima Santos, Maria das Graças, Willa de Sousa e Ana Maria (Aninha).

Ao colega de curso e sempre amigo Francisco Sildemberny Souza dos Santos pelo apoio e o companheirismo, principalmente nos momentos mais difíceis.

A Carmélia Santos pela presteza com que sempre me acolheu em sua casa.

Ao colega Nilson de Oliveira por suas contribuições nos trabalhos de coletas.

Ao PRODETAB/1603 pelo financiamento da pesquisa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudo concedida.

Ao Professor Ricardo Luiz Lange Ness pelos comentários críticas e sugestões para a realização desse trabalho.

Ao Professor Lindbergue Araujo Crisostomo pelas críticas e sugestões apresentadas.

A José Frédson Bezerra Lopes pela ajuda e contribuição na digitação e elaboração dos dados.

Aos alunos de graduação em agronomia Joseilson de Oliveira e Francisco Lobato.

A Ana Célia Maia Meireles pelas contribuições na realização desse trabalho.

A todos os parentes e amigos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização do trabalho, o meu MUITO OBRIGADO e a certeza de que sempre serão lembrados por mim.

...E Deus disse: “Que a terra produza relva,
ervas que produzam sementes, e
árvores que dêem frutos sobre a terra,
frutos que contenham semente,
cada um segundo a sua espécie.”

E assim se fez.

Gn 1:1

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Avaliação da qualidade da água de irrigação	15
2.2	Avaliação da qualidade do solo	16
2.3	Principais íons e seus efeitos	18
2.4	Efeitos dos sais no solo	18
2.5	Impactos ambientais da irrigação.....	20
2.6	Manejo da salinidade no solo.....	20
3.	MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1	Descrição geral da área.....	22
3.1.1	Localização	22
3.1.2	Características climáticas.....	23
3.1.3	Solo.....	24
3.1.4	Vegetação.....	27
3.1.5	Água	27
3.1.6	Aspectos sócio-econômicos	28
3.2	Monitoramento.....	28
3.2.1	Seleção da área.....	29
3.2.2	Época e duração das coletas.....	30
3.2.3	Pontos de coleta.....	30
3.3	Realização das análises	31
3.4	Riscos de degradação do solo	31
3.5	Lixiviação dos sais pela ação das chuvas, impacto da irrigação no solo e influência dos íons na CE	31
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	Adição de sais totais ao solo da área irrigada e ação da chuva na lixiviação dos sais	33
4.2	Avaliação da influência dos íons na condutividade elétrica do solo da área irrigada em estudo no DIPAN, Ceará, para o	

	período de maio de 2003 a setembro de 2005	37
4.3	Variação e incrementos de sais no extrato solo:água 1:1 na área irrigada	39
4.3.1	Cálcio.....	39
4.3.2	Magnésio.....	43
4.3.3	Sódio.....	46
4.3.4	Potássio.....	51
4.3.5	Cloreto	55
5.	CONCLUSÕES.....	58
	ABSTRACT	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
	APÊNDICES	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo.....	23
Figura 2 – Solos predominantes na bacia do Acaraú, Ceará.....	25
Figura 3 – Vista parcial da área cultivada em estudo no DIPAN, Ceará.....	29
Figura 4 – Coleta de amostra de solo, para análise, na área irrigada do DIPAN, Ceará.....	30
Figura 5 – Variação temporal da CE do extrato solo:água 1:1 das áreas estudadas no DIPAN, Ceará.....	34
Figura 6 – Solo extremamente compactado (A) e com presença de água empossada (B) na área irrigada em estudo.....	35
Figura 7 – Relação entre concentração iônica e condutividade elétrica (CE) do extrato solo:água 1:1 nas camadas 0 a 0,30 m (A); 0,30 a 0,60 m (B); 0,60 a 0,90 m (C) e 0,90 a 1,20 m (D) na área irrigada em estudo no DIPAN, Ceará.	38
Figura 8 – Variação temporal do íon cálcio no extrato solo:água 1:1 na área estudada no DIPAN, Ceará.....	42
Figura 9 – Variação temporal do íon magnésio no extrato solo:água 1:1 na área estudada no DIPAN, Ceará.	44
Figura 10 – Variação temporal do íon sódio no extrato solo: água 1:1 na área estudada no DIPAN, Ceará.	48
Figura 11 – Variação temporal do íon potássio no extrato solo: água 1:1 na área estudada no DIPAN, Ceará.	53
Figura 12 – Variação temporal do íon cloreto no extrato solo: água 1:1 na área estudada no DIPAN, Ceará.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características climáticas para a Região do DIPAN, Ceará.....	24
Tabela 2 – Alguns atributos físico-químicos observados no solo irrigado da área estudada no DIPAN, Ceará.	26
Tabela 3 – Alguns atributos físico-químicos observados no solo irrigado da mata nativa no DIPAN, Ceará.	27
Tabela 4 – Alguns parâmetros físico-químicos observados na água de irrigação do DIPAN, Ceará.....	28
Tabela 5 – Manejo da adubação adotado na área estudada no DIAPN, Ceará.....	29
Tabela 6 – Comparação de médias da CE (dS m^{-1}) do solo entre a estação seca e chuvosa na área irrigada, em estudo, no DIPAN, Ceará.....	36
Tabela 7 – Comparação de médias da CE (dS m^{-1}) do solo durante o período chuvoso para área irrigada e a mata nativa em estudo, no DIPAN, Ceará.	37
Tabela 8 – Incrementos do íon cálcio nas camadas do solo irrigado em relação à mata nativa na área estudada do DIPAN, Ceará.....	42
Tabela 9 – Incrementos do íon magnésio nas camadas do solo irrigado em relação à mata nativa na área estudada do DIPAN, Ceará.	45
Tabela 10 – Incrementos do íon sódio nas camadas do solo irrigado em relação à mata nativa na área estudada do DIPAN, Ceará.....	49
Tabela 11 – Valores de RAS no extrato solo:água 1:1 nas diversas camadas da área irrigada (AI) e da mata nativa (MN) estudadas no DIPAN, Ceará.	50
Tabela 12 – Incrementos do íon potássio nas camadas do solo irrigado em relação à mata nativa na área estudada do DIPAN, Ceará.....	54
Tabela 13 – Incrementos do íon cloreto nas camadas do solo irrigado em relação à mata nativa na área estudada do DIPAN, Ceará.....	57

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com o propósito de avaliar a adição de sais ao solo pela irrigação ao longo do tempo, em área cultivada com parreira, bem como o efeito das chuvas na lixiviação dos sais, tomando-se como referencial o *status* salino do solo da mata nativa. Foram avaliadas também a influência dos íons na condutividade elétrica do extrato de saturação do solo. O trabalho foi realizado em área localizada no Distrito de Irrigação do Perímetro Araras Norte (DIPAN), Ceará. A área vem sendo irrigada desde 2001 com água classificada como C₁S₂ e o sistema de irrigação empregado é a microaspersão. Para se monitor o movimento dos sais no perfil do solo foram coletadas amostras na área irrigada e na mata nativa para as camadas de 0 a 0,30 m; 0,30 a 0,60 m; 0,60 a 0,90 m e 0,90 a 1,20 m, no período de maio de 2003 a setembro de 2005, perfazendo um total de 120 amostras. Os atributos considerados neste estudo foram a Condutividade Elétrica (CE) e os íons Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ e Cl⁻. Para se qualificar o impacto da irrigação e o efeito das chuvas na lixiviação dos sais aplicou-se o teste t de Student ao nível de 1% para a comparação de médias de amostras independentes da CE, utilizando o pacote estatístico SPSS v.10,0. Efetuou-se a identificação dos íons para os quais a CE apresentou maior sensibilidade às profundidades de 0 a 0,30 m; 0,30 a 0,60 m; 0,60 a 0,90 m e 0,90 a 1,20 m. Os resultados mostraram concentrações de sais maiores na área irrigada do que na mata nativa para todas as camadas estudadas, sendo que as maiores diferenças foram registradas para a camada de 0 a 0,30 m. O magnésio foi o íon que apresentou maior influência nos valores de condutividade elétrica, enquanto o cloreto apresentou baixa concentração nas camadas inferiores. O maior incremento de íons na área irrigada em relação à mata nativa ocorreu com o cálcio. Os sais totais retidos no solo da área irrigada apresentaram diferença significativa ao nível de 1% quando comparados com os da mata nativa. A pluviometria total anual não foi suficiente para promover uma lixiviação significativa dos sais adicionados ao solo pela irrigação. O impacto da irrigação mostrou-se altamente significativo expressando risco de salinização da área irrigada.

Palavras Chave: Sais Totais, Lixiviação, Impacto Ambiental

1. INTRODUÇÃO

A busca de uma exploração agrícola mais eficiente, com base na melhor utilização dos recursos naturais, visando maiores produções no setor agrícola, é intensificada no período em que o déficit de produtos alimentares se aproxima de uma fase crítica. Porém, as constantes instabilidades climáticas, principalmente nas regiões áridas e semi-áridas do globo, fazem da agricultura de sequeiro uma atividade de grande risco, afetando a regularidade dessa produção (MACÊDO & MENINO, 1998).

Nesse contexto, a agricultura irrigada tem alcançado grande expressividade no setor produtivo mundial, com uma área irrigada no mundo em torno de 260 milhões de hectares, correspondente a 17% da área cultivada, e respondendo por 40% da produção total de alimentos (BARRETO & SILVA, 2004). Entretanto, ao longo do tempo, as áreas irrigadas vêm enfrentando problemas decorrentes do excesso de sais no solo. Estimativas apontam que, da área cultivada na superfície do globo ($1,5 \times 10^9$ ha), 23% das terras são salinas e 37% são sódicas, encontrando-se distribuídas por todos os continentes (TANJI, 1990). Dentre os fatores determinantes da salinização do solo estão o clima árido e/ou semi-árido, a má drenagem, o lençol freático alto, a baixa permeabilidade do solo, o manejo inadequado da irrigação, os minerais primários e adubações químicas contínuas e mal conduzidas em solos irrigados (BEZERRA, 1996; SOUZA et al., 2001). Os autores destacam ainda, a ação antrópica como atividade com maior potencial para causar problemas, devido à sistemática adição ao solo dos sais contidos na água. Holanda & Amorim (1997) reforçam a idéia anterior ao constatarem que 70% das águas avaliadas em Estados do Nordeste brasileiro foram consideradas de boa qualidade para irrigação, apresentando níveis de salinidade entre baixo e médio. A adoção da técnica de irrigação nas regiões áridas e semi-áridas do globo tem contribuído para o aumento das taxas de evapotranspiração, o que vem contribuindo para a salinização dessas áreas, principalmente naquelas que apresentam drenagem deficiente.

Nas regiões de baixa precipitação pluvial a lavagem dos sais deve ser realizada, como forma de manter a salinidade do solo em um nível aceitável. Já em regiões onde a precipitação é relativamente alta, a sua ocorrência durante a estação chuvosa pode assegurar a lavagem dos sais (BEN-HUR, 2001; ANDRADE et al., 2004).

Este trabalho foi realizado objetivando comparar, ao longo do tempo, a variação da salinidade total e dos principais íons em dois solos, sendo um cultivado sob irrigação localizada e o outro de mata nativa não irrigado. Além disso, avaliar o efeito das chuvas na

lixiviação dos sais e identificar o impacto da irrigação através do aumento da salinidade no solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Avaliação da qualidade da água de irrigação

A qualidade da água pode ser definida por suas características físicas, químicas ou biológicas. Para a irrigação, os parâmetros de maior importância são os físico-químicos e, em alguns casos, como o das hortaliças de consumo *in natura*, as características biológicas também devem ser levadas em consideração. Porém, mesmo com a irrigação sendo praticada há vários milênios, a importância da qualidade da água só começou a ser reconhecida a partir do início deste século (WILCOX & DURUM; SHAINBERG & OSTER; ARAGUEZ & LAFARGA; citados por HOLANDA & AMORIM, 1997). De acordo com Ayers e Westcot (1999), o aspecto da qualidade era desprezado devido ao fato de que, no passado, em geral as fontes de água, eram abundantes, de boa qualidade e de fácil utilização. Isso tem mudado devido principalmente a influências antropogênicas (atividades agrícolas, industriais e urbanas, aumento do uso consuntivo da água) bem como os processos naturais (mudanças nos valores de precipitação, erosão, intemperização de materiais da crosta) que degradam as águas de superfície e impedem o seu uso para consumo humano, industrial, agrícola, recreativo ou outras finalidades (SIMEONOV et al., 2003).

Quando se trata da irrigação, a qualidade da água pode variar de acordo com o tipo e a quantidade de sais nela dissolvidos, que mesmo sendo encontrados em quantidades pequenas, porém muitas vezes significativas, tem sua origem na intemperização das rochas e dos solos, pela dissolução lenta do calcário e de outros minerais, que são levados pelas águas de irrigação e se depositam no solo, acumulando à medida que a água evapora ou é consumida pelas culturas (RHOADES et al., citados por D'ALMEIDA, 2002). Por isso, para a avaliação da qualidade da água de irrigação devem ser observados três aspectos, os quais são de grande importância para a agricultura: salinidade, sodicidade e toxicidade de íons. A salinidade, que tem efeitos de natureza osmótica, é determinada pela condutividade elétrica (CE); a sodicidade, que se refere à proporção de sódio em relação aos demais cátions e que pode causar problemas de infiltração no solo é expressa pela razão de adsorção de sódio (RAS) e a toxicidade de íons específicos, causada por concentrações elevadas de sódio, cloro ou boro podem ocasionar danos às culturas (PIZARRO, 1978). Além destes, podem ocorrer ainda problemas relacionados à concentração de bicarbonatos, aumentando a proporção de sódio no solo, bem como problemas de entupimento dos emissores (BERNARDO, 2005).

Segundo Rhoades (1974) dentre os principais fatores que causam a salinização, a qualidade da água de irrigação contribui efetivamente para aumentar o teor de sais na solução do solo, pois a mesma pode conter de 100 kg (água boa) a 4.000 kg (água imprópria) de sal em cada 1.000 m³, e é em geral, aplicada à razão de 10.000 a 15.000 m³ h⁻¹ ano⁻¹. Não havendo drenagem, cerca de 1,0 a 60,0 t ha⁻¹ de sal poderão ser adicionadas às áreas irrigadas.

Dada a importância do teor de sais e de sódio na água de irrigação é que o UCCC – University of Califórnia Committee of Consultantes, baseado no método do U. S. Laboratory, USDA proposto por Richards (1954), elaborou uma classificação da água de irrigação, que estabelece 10 classes de água, em função da CE e da RAS (CRUZ, 2001). Para os níveis de salinidade utilizou-se os índices C₁, C₂, C₃, e C₄ onde os algarismos 1 e 4 representam, respectivamente, os limites máximo e mínimo da salinidade. E para o risco de sodicidade foram adotados os índices S₁, S₂ e S₃, sendo que S₁ é a água com menos sodicidade e S₃ representa aquela com maior concentração de sódio.

Nas regiões áridas e semi-áridas, a qualidade da água tem merecido atenção especial. A intensa evapotranspiração no semi-árido brasileiro, muitas vezes, maior que as precipitações anuais, tem comprometido a qualidade das águas de reservatórios abertos e fechados (SILVA et al., 2004). Em levantamentos de avaliação da qualidade de água para irrigação realizados em Estados do Nordeste brasileiro e considerando como de boa qualidade as que apresentam níveis de salinidade entre baixo e médio, foram observados, em linhas gerais, que em torno de 70% das fontes de água avaliadas na região podem ser consideradas de boa qualidade para irrigação. Concluindo assim que os problemas de salinidade existentes nas áreas irrigadas estão relacionados principalmente ao manejo inadequado da irrigação (HOLANDA & AMORIM, 1997).

Em suma, deve-se ressaltar que mesmo sendo de fundamental importância, a qualidade da água de irrigação não deve ser um fator limitante ao uso agrícola, pois além das características próprias da água, o clima, o tipo de solo e as práticas de manejo, influenciam a adequabilidade da água de irrigação (GHEYI et al., 2004).

2.2 Avaliação da qualidade do solo

Composto por material mineral, matéria orgânica, água e ar (COELHO, 1973; KIEHL, 1979; REICHARDT, 1987; PACHECO & BARRETO, 2004) o solo não é, apenas, depósito de nutrientes e indispensável ponto de fixação para a maior parte das plantas.

funciona quase como um organismo vivo (MALAVOLTA et al., 2002). Portanto ele também está inserido no contexto atual de sustentabilidade, com ênfase para o fator qualitativo.

A SSSA – Sociedade Americana da Ciência do Solo define a qualidade do solo como sendo a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites de um ecossistema natural ou remanejado, para sustentar a produtividade vegetal e animal, manter e melhorar a qualidade da água e do ar, e manter a saúde e habitação humana (SSSA, 1995). De acordo com Norfleet et al. (2003) a qualidade do solo e a pedologia têm alta relação inerente às propriedades desenvolvidas pelos fatores de formação do solo. Para os autores supracitados a qualidade do solo pode ser definida através de uma extensão da ciência da pedologia, com foco no caráter dinâmico do solo e na influência do uso intensivo pelo homem.

Deve-se ressaltar que entender e conhecer a qualidade do solo tem a sua importância: possibilita o manejo correto para que ele funcione de forma ótima no presente e não seja degradado para uso futuro (OTUTUMI et al., 2004). Por isso, foram estabelecidos os indicadores de qualidade do solo. Esses indicadores são propriedades, processos e características que podem ser medidas para monitorar mudanças na qualidade do solo (SANTANA & BAHIA FILHO, 1999). Doran et al. (1997) sugerem como indicadores, a condutividade elétrica, o pH, o teor de nitrato no solo, a infiltração, a densidade, o conteúdo de água e a respiração do solo. Já Gomes (2001) ao relacionar os indicadores do solo de origem agrícola com a saúde humana destaca os metais pesados/micronutrientes, pesticidas, nitrato e organismos patogênicos, considerando as principais fontes de insumos agrícolas em uso.

Entretanto, as mudanças na qualidade do solo não ocorrem com a mesma intensidade. De acordo com a AAC – Agriculture and Agri-Food Canada as mudanças na qualidade do solo podem se dar de forma lenta, como no caso dos processos naturais de intemperismo, ou rápida, como no caso da atividade humana, onde o uso da terra e as práticas agrícolas podem degradar, preservar ou melhorar a qualidade do solo. Por isso, é mais fácil quantificar uma mudança na qualidade do solo através do tempo do que do espaço (AAC, 2006).

Em suas considerações finais Sans (2000) destaca a importância do manejo sustentável para a obtenção de uma agricultura sustentável. Abordando a importância de medir o impacto na qualidade do solo como forma de melhor avaliar a sustentabilidade de um sistema de produção.

2.3 Principais íons e seus efeitos

D'Almeida (2002) afirma que dentre os principais íons presentes na natureza, os que apresentam maior mobilidade estão os cátions: sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio e magnésio ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) e o ânion cloreto (Cl^-). Originados através do processo de intemperização, em que diversos constituintes da rocha são dissolvidos, durante milhares de anos, e carregados para os oceanos e para as partes mais baixas do relevo (SANTOS, 2000) os íons, no solo, encontram-se em quantidades variadas. Como exemplo Melloni et al. (2000) citam que o conteúdo de sódio na crosta terrestre é de aproximadamente 2,8%, enquanto o de potássio é de 2,65%, sendo que esses valores variam de acordo com a região climática.

Embora a intemperização dos minerais primários seja a fonte principal e direta de todos os sais solúveis encontrados no solo, raramente tem-se verificado acúmulo de quantidades suficientes de sais solúveis através desse fenômeno (salinização primária), uma vez que grande parte dos sais liberados são transportados pelas águas subterrâneas e/ou fluviais até os oceanos (PIZARRO, 1978; RICHARDS, 1954). Na maioria das vezes, conforme Ayers & Westcot (1999) as causas que favorecem os problemas de salinidade são a própria água de irrigação e/ou a presença de lençol freático próximo à superfície do solo (salinização secundária).

Além dos fatores supracitados destaca-se, ainda, a ação antrópica como a atividade com maior potencial para causar problemas, devido à sistemática adição ao solo dos sais contidos na água (BEZERRA, 1996; SOUZA et al., 2001).

2.4 Efeitos dos sais no solo

As alterações das propriedades físicas e químicas dos solos irrigados dependem da qualidade da água, das propriedades do solo e, especialmente, das condições de drenagem e do balanço de água e de sais no subsolo (HELWEG et al., 1980). De acordo com Lacerda (1995) o acúmulo de sais no solo afeta tanto a química quanto a física do solo. O processo de salinização ocasiona um aumento na condutividade elétrica do extrato de saturação do solo e os valores de pH podem chegar até a 8,5, dependendo do tipo de sais (FASSENDER & BORNEMISZA, 1987). Para Pizarro (1978) um dos principais efeitos da salinidade no solo é a sua ação sobre a estrutura do mesmo. Segundo o autor os sais atuam no processo de floculação e cimentação dos colóides agregando-os.

Dentre as alterações dos parâmetros físico-hídricos do solo causados pelos sais destacam-se, o aumento da densidade global devido a contração das partículas do solo e, o aumento da retenção de água no solo em detrimento do aumento da pressão osmótica do meio, além de causar toxicidade através do acúmulo de íons específicos e proporcionar um efeito indireto de ordem nutricional, incluindo o que ocorre pelo efeito de desestruturação do solo (LIMA, 1997; GHEYI, 2000).

Visualmente, os solos salinos são sempre reconhecidos pela presença de uma crosta branca em sua superfície, devido ao acúmulo excessivo de sais (SANTOS, 2000) em consequência da evaporação da água e do seu consumo pelas plantas, principalmente nas regiões semi-áridas do globo (DAKER, 1984).

Segundo Bernardo (2005) e Ayers & Westcot (1999) a salinidade do solo depende da qualidade da água empregada na irrigação, do manejo de irrigação adotado e das condições de drenagem da área. Richards (1954) complementa afirmando que as águas atuam como fonte de sais quando utilizadas para irrigação e podem também adicionar sais ao solo sobre condições naturais, quando inundam as terras baixas ou quando a água subterrânea ascende à superfície. Porém, a salinização dos solos é comum não apenas nas regiões áridas ou semi-áridas, onde a precipitação não é suficientemente expressiva para manter uma lavagem efetiva dos sais que se acumulam no solo, mas também ocorre nas zonas costeiras, ainda que bastante úmidas, e deve-se à influência das marés, como acontece, por exemplo, nas áreas de mangues (GUIMARÃES, 2005).

Diante da problemática da salinização dos solos e consequente ação sobre as culturas foram elaboradas classificações para os solos afetados por sais, sendo que a mais utilizada é a proposta por Richards (1954). De acordo com o autor os solos são considerados salinos, quando a condutividade elétrica do extrato de saturação(CE) é $\geq 4 \text{ dS m}^{-1}$ e a percentagem de sódio trocável (PST) é $< 15\%$, sendo que, o pH desses solos é $< 8,5$.

Levando-se em conta que a água usada na irrigação sempre contém sais solúveis, o aparecimento do problema de salinidade torna-se uma questão de tempo, a menos que sejam tomadas medidas preventivas (GUIMARÃES, 2005). Por outro lado, dependendo do manejo solo-água-plantas adotado, os solos salinos ou propensos à salinização podem ser cultivados.

2.5 Impactos ambientais da irrigação

A irrigação é uma prática agrícola de fornecimento de água às culturas, onde e quando as chuvas, ou qualquer outra forma natural de fornecimento não são suficientes pra suprir as necessidades hídricas da planta (GOMES, 1997). Porém, a irrigação não é uma prática recente. Registros históricos comprovam ter sido a irrigação a base econômica de muitas civilizações ancestrais do oriente (DAKER, 1984; BARRETO & SILVA, 2004) e do ocidente.

De técnicas rudimentares à tecnologia aplicada, de pequenas áreas destinadas apenas à subsistência a extensas áreas responsáveis pela produção mundial, a evolução das áreas irrigadas no mundo foi de 8 milhões de hectares em 1800, 48 milhões de hectares em 1900, 94 milhões de hectares em 1950, 198 milhões de hectares em 1970, cerca de 220 milhões de hectares em 1990 (JENSEN et al. citados por RHOADES et al., 2000) e 253 milhões em 2003 (FAO, 2004).

No Brasil, as áreas irrigadas tiveram uma taxa de crescimento de 3,95% ao ano, no período de 1996 a 1998 (D'ALMEIDA, 2002), sendo que a estimativa total de solos aptos à irrigação no país é de 29,6 milhões de hectares, representando 3,5% da área total do território nacional (CRISTOFIDIS, 1999).

Entretanto, a intensificação e a expansão da área irrigada pode acelerar a ocorrência de alguns efeitos adversos sobre o solo, caso não sejam adotadas medidas concretas de prevenção e controle (GHEYI, 2000). De acordo com Gomes (2001) a agricultura, entre outras atividades, tem sido considerada como uma atividade potencialmente poluidora de todo sistema água-solo-planta-atmosfera-animais, principalmente, a partir da década de 70, com a adoção, no Brasil, da chamada “Revolução Verde”.

2.6 Manejo da salinidade no solo

O manejo adequado da salinidade é de fundamental importância para o sucesso da agricultura irrigada. Para isso são necessárias práticas indispensáveis, tais como a aplicação de lâminas de água excedentes para lixiviação de sais no solo, a utilização de culturas tolerantes à salinidade e a construção de sistemas de drenagem. Para o controle adequado da salinidade, é de suma importância o estudo de balanço de sais, objetivando diagnosticar o

acúmulo temporal de sais no solo, facilitando as medidas a serem tomadas para diminuir a salinidade na zona radicular das plantas (SANTOS, 2000).

Nos processos de prevenção e controle da salinidade nas áreas irrigadas, além das práticas adequadas de manejo, enfatiza-se a importância de estudos do efeito da irrigação, alongo prazo, sobre características do solo e do monitoramento do lençol freático (GHEYI, 2000). Ayers & Westcot (1999) afirmam que no controle da salinidade existem várias alternativas que podem ser utilizadas separadamente ou em combinação. Dentre elas os autores destacam a drenagem, a lixiviação dos sais, o uso de culturas tolerantes, os tratamentos culturais utilizados e o monitoramento. O monitoramento da salinidade no solo baseia-se na aplicação de técnicas rápidas e apropriadas de avaliação e análise de dados (QUEIROZ et al., 1997) como forma de contornar a problemática dos sais no solo.

Segundo Andrade et al. (2002) práticas de manejo de irrigação necessitam ser adotadas como forma de evitar o aumento gradual dos íons na solução do solo, os quais relacionam-se diretamente com a salinidade, sodicidade do solo e efeitos tóxicos nas culturas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia empregada para condução dessa pesquisa foi baseada no monitoramento da salinidade do solo de uma área irrigada do Distrito de Irrigação do Perímetro Araras Norte e de uma área de mata nativa próxima. Com esse objetivo foram realizadas análises em laboratório para quantificar os principais elementos químicos presentes nesses solos, para analisar a variação da salinidade dos solos irrigados em relação à mata nativa e a ação das chuvas na lixiviação dos sais, visando identificar o impacto causado pela prática da irrigação ao longo do tempo.

3.1 Descrição geral da área

3.1.1 Localização

A área onde foi realizado o estudo (Figura 1) está inserida no Distrito de Irrigação do Perímetro Araras Norte – DIPAN, localizado na região norte do Estado do Ceará, porção alta da bacia do Rio Acaraú, abrangendo os municípios de Varjota e Reriutaba, a noroeste do Açude Público Federal Paulo Sarasate (antigo Araras Norte). Geograficamente, o Distrito está limitado pelos paralelos 4°04'25'' e 4°13'15'' de latitude Sul e pelos meridianos 40°28'35'' e 40°36'28'' a Oeste de Greenwich, distante, aproximadamente, 300 km da capital do Estado.

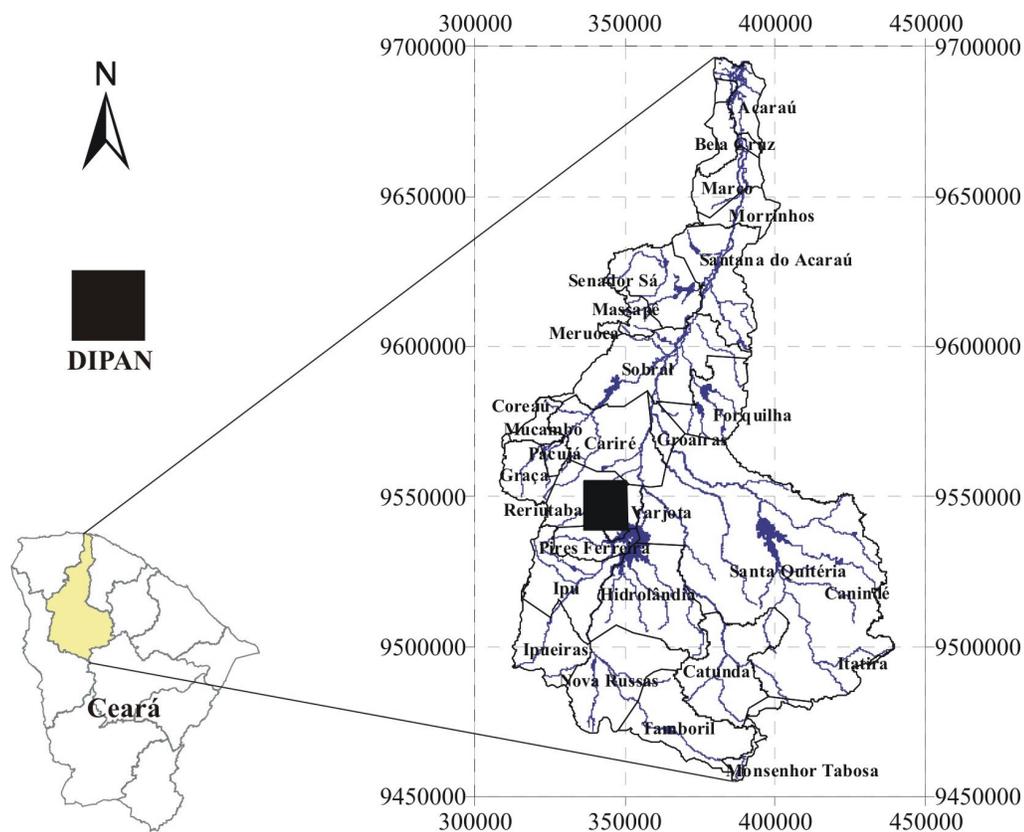


FIGURA 1 – Localização da área de estudo.

3.1.2 Características climáticas

Segundo a classificação de Köppen a zona climática da região é do tipo BSw'h', clima semi-árido quente com chuva anual concentrada no período do verão-outono (fevereiro-abril), excedendo 750 mm. De acordo com a classificação de Gaussen, o clima é do tipo 4bTh, termoxeroquimênico acentuado, com estação seca longa e índice xerotérmico entre 150 e 200 (DNOCS, S.D.). Demais características climáticas da região podem ser visualizadas na Tabela 1.

TABELA 1 – Características climáticas para a Região do DIPAN, Ceará.

Parâmetros	Valores	Unidade
Evapotranspiração	1.942	mm ano ⁻¹
Insolação média	2.650	h ano ⁻¹
Radiação solar média	21,03	MJ m ² dia ⁻¹
Precipitação	797	mm ano ⁻¹
Temperatura máxima anual	40	°C
Temperatura média anual	28	°C
Temperatura mínima anual	15	°C
Umidade relativa média	70	%
Velocidade média dos ventos	0,58	m s ⁻¹

FONTE: Adaptada do relatório do DNOCS (2005).

As precipitações pluviométricas ocorridas durante o estudo foram coletadas pelo Posto Meteorológico de Varjota e disponibilizadas através da FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. O total de chuvas ocorridas durante o período do estudo foi de 2.882 mm, com uma concentração de 1.120 mm em 2003, 1.128 mm em 2004 e 634 mm em 2005, destacando-se o ano de 2004 como o de maior ocorrência pluviométrica na região (FUNCEME, 2005).

3.1.3 Solo

Segundo Carneiro Neto (2005) o DIPAN encontra-se principalmente sobre mancha de solos Bruno não calcicos (Luvissolos) e, uma parcela mínima sobre os Latossolos (EMBRAPA, 1999). De acordo com estudo realizado pelo DNOCS (2005), os solos Podzólicos ocupam 41,50% e são os que apresentam melhores condições para a agricultura irrigada. A Figura 2 mostra os solos presentes na Bacia do Acaraú.

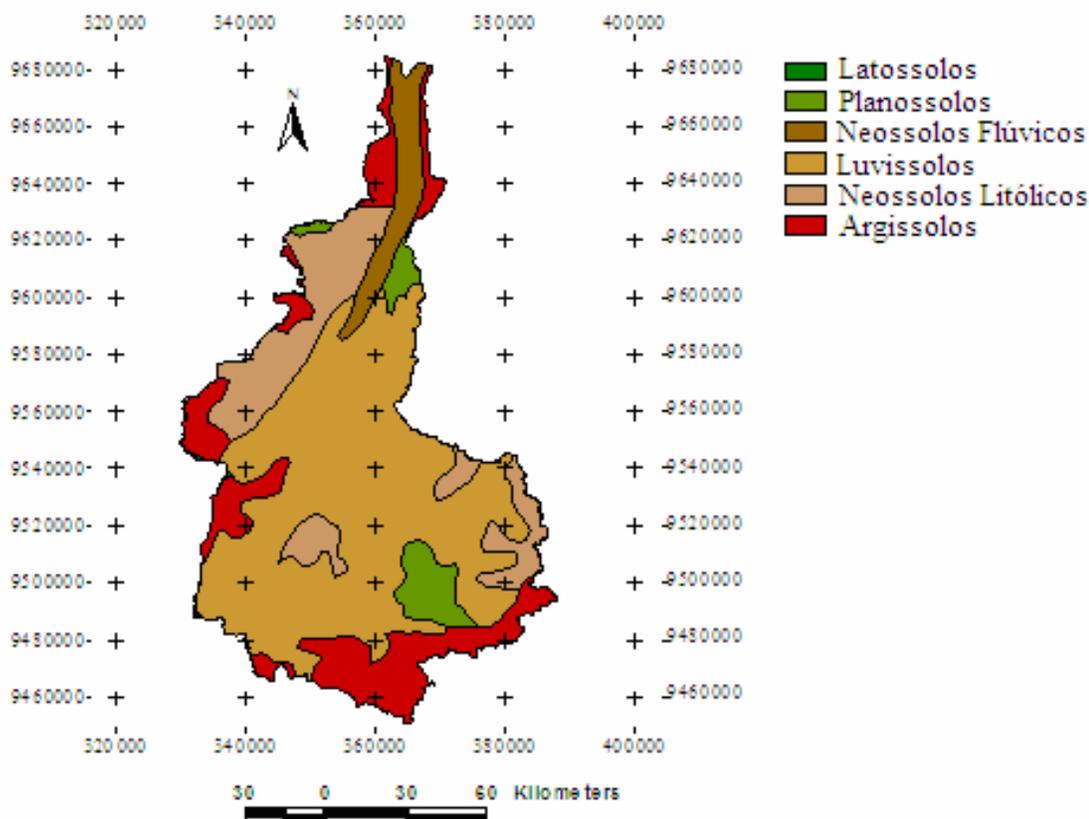


FIGURA 2 – Solos predominantes na Bacia do Acaraú, Ceará.

Os Luvisolos compreendem solos com horizonte B textural, não hidromórficos e com argila de atividade alta. São de alta fertilidade natural, com alta saturação e soma de bases, reação moderadamente ácida a, praticamente, neutra, ou mesmo moderadamente alcalina, bem como conteúdo mineralógico que encerra quantidade significativa de minerais primários facilmente decomponíveis, os quais constituem fontes de nutrientes para as plantas. São solos moderadamente profundos a rasos, tendo, de modo geral, seqüência de horizontes A, Bt e C, com espessura do A + Bt , entre 30 e 90cm, textura arenosa ou média, no horizonte A e média ou argilosa, no Bt , mudança textural abrupta do A para o Bt (transições planas e abruptas ou claras), relação textural de 1,5 a 4,0 e, freqüentemente, apresentando descontinuidade quanto à natureza do seu material originário, entre os horizontes superficiais e subsuperficiais. Constituem solos com forte limitação ao uso agrícola, pela falta d'água, além de serem muito susceptíveis à erosão, mostrando, freqüentemente, pedregosidade superficial e, muitas vezes, dentro da massa do solo, dificultando, em muito, a mecanização. Nos Luvisolos destaca-se também a ocorrência de teores bastante significativos de sódio em

profundidade, principalmente, nos Brunos vérticos, quando da utilização com irrigação (FUNCEME, 2006).

Alguns atributos físico-químicos presentes nos solos da área irrigada e da mata nativa, estudadas, às quatro profundidades são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

TABELA 2 – Alguns atributos físico-químicos observados no solo irrigado da área estudada no DIPAN, Ceará.

Atributos	Camadas (m)			
	0 a 0,30	0,30 a 0,60	0,60 a 0,90	0,90 a 1,20
PH	7,38	7,23	7,29	7,22
CTC (mmol _c L ⁻¹)	130,91	71,96	63,04	54,10
V. Sat. Bases (%)	86,67	78,73	77,13	73,33
S.B. (mmol _c L ⁻¹)	109,91	53,93	45,02	37,34
Matéria Orgânica (%)	30,27	9,78	6,81	4,88
Densidade global (g cm ⁻³)	1,31	1,38	1,39	1,38
Porosidade total (%)	52,19	50,36	50,00	49,64
Textura	Franco argilo arenoso	Franco argilo arenoso	Franco argilo arenoso	Franco argiloso

FONTE: Elaboração própria.

TABELA 3 – Alguns atributos físico-químicos observados no solo da mata nativa no DIPAN, Ceará.

Atributos	Camadas (m)			
	0 a 0,30	0,30 a 0,60	0,60 a 0,90	0,90 a 1,20
pH	7,36	7,23	7,23	7,19
CTC (mmol _c L ⁻¹)	69,57	53,17	50,01	45,60
V. Sat. Bases (%)	77,73	70,53	68,07	67,93
S.B. (mmol _c L ⁻¹)	47,90	34,44	31,98	31,77
Matéria Orgânica (%)	14,82	8,47	6,77	4,57
Densidade global (g cm ⁻³)	1,29	1,29	1,29	1,25
Porosidade total (%)	54,26	54,26	52,92	54,38
Textura	Franco argilo arenoso	Franco argilo arenoso	Franco argilo arenoso	Franco argiloso

FONTE: Elaboração própria.

3.1.4 Vegetação

A vegetação predominante é a caatinga esparsa e seca, com cactáceas e bromeliáceas, devido a pouca profundidade e à baixa capacidade de armazenamento de água do solo (SUDENE, 1971).

3.1.5 Água

A água de irrigação do Distrito é procedente do Açude Público Federal Paulo Sarasate (antigo Araras Norte) e apresenta classificação C₁S₂ (MESQUITA, 2004). De acordo com o UCCC – University of Califórnia Committee of Consultantes esse tipo de água

apresenta uma baixa salinidade, podendo ser usada em quase todos os tipos de solos, com pouca probabilidade de desenvolvimento de problemas referentes a salinidade. Quanto a sodicidade a mesma é do tipo média, com perigo considerável de dispersão das partículas em solos de textura fina, podendo reduzir a permeabilidade do mesmo, ocasionando problemas de infiltração.

As informações sobre as características da água utilizada no DIPAN (Tabela 4) foram adaptadas de Mesquita (2004).

TABELA 4 – Alguns parâmetros físico-químicos da água de irrigação do DIPAN, Ceará.

Parâmetros	Valores	Unidade
Cl ⁻	0,72	mmol _c L ⁻¹
CEa	0,21	dS m ⁻¹
pH	7,54	-
RAS ^o	0,75	-
Na ⁺	0,94	mmol _c L ⁻¹

FONTE: Adaptada de Mesquita (2004).

3.1.6 Aspectos sócio-econômicos

Os municípios de Varjota e Reriutaba têm população de 16.593 e 21.224 habitantes, respectivamente, com previsão para o ano de 2005 de 18.553 habitantes para o primeiro e 23.679 para o segundo (IBGE, 2006).

A pequena agricultura destaca-se como principal fonte de renda dos habitantes do perímetro, destacando-se ainda o baixo grau da agricultura familiar, prevalecendo a agricultura patronal (CARNEIRO NETO, 2005).

3.2 Monitoramento

O monitoramento da salinidade do solo da área irrigada e da mata nativa foi feito pela avaliação dos resultados das análises de amostras de solo coletadas nos anos de 2003, 2004 e 2005.

3.2.1 Seleção da área

A área escolhida para o estudo está localizada no Distrito de Irrigação do Perímetro Araras Norte –DIPAN. A mesma é classificada como um lote de categoria Técnico Agrícola, com área total de 11,0 ha. A adubação da cultura é feita sobre forma de cobertura, próximo a planta. O manejo da adubação encontra-se especificado na Tabela 5.

TABELA 5 – Manejo da adubação adotado na área estudada no DIPAN, Ceará

Elemento	Fonte	Quantidades (kg ha ⁻¹ mês ⁻¹)
Nitrogênio	Uréia	20,83
	Nitrato de cálcio	20,83
Potássio	Cloreto de potássio	83,33
Fósforo	Super simples	104,17
Cálcio	Calcário dolomítico	208,33
Micronutrientes	FTE BR 12	10,42
Adubação orgânica	Esterco de curral	937,50

FONTE: Elaboração própria.

Para a realização das coletas tomou-se do lote apenas uma sub-área de 5,0 ha, cultivada com uva (*Vitis vinifera L.*) desde 2001 e irrigada por microaspersão (Figura 3). A área de mata nativa selecionada localiza-se dentro do próprio lote, porém encontra-se fora da faixa irrigada.



FIGURA 3 – Vista parcial da área cultivada em estudo no DIPAN, Ceará.

3.2.2 Época e duração das coletas

As campanhas de coleta ocorreram de forma bimestral no período de maio de 2003 a setembro de 2005, monitorando, assim o comportamento dos sais no solo por três períodos chuvosos (maio de 2003 a junho de 2003, janeiro de 2004 a junho de 2004 e janeiro de 2005 a junho de 2005) e três secos (julho de 2003 a dezembro de 2003, julho de 2004 a dezembro de 2004 e julho de 2005 a setembro de 2005).

3.2.3 Pontos de coleta

Na área cultivada as amostras de solo foram coletadas a quatro profundidades (0 a 0,30 m, 0,30 a 0,60 m, 0,60 a 0,90 m e 0,90 a 1,20 m), na projeção da copa das plantas em quatro pontos aleatórios equidistantes (SANS, 2000), formando uma amostra composta para cada profundidade (Figura 4).

Na faixa de mata nativa as mostras foram coletadas às mesmas profundidades da zona cultivada, porém, por se tratar de uma área não afetada pelo manejo da irrigação, tomou-se apenas um ponto para amostragem por profundidade.

Depois de coletado o solo foi acondicionado em sacos plásticos, fechado, identificado e enviado ao laboratório para determinação da condutividade elétrica e dos principais íons.



FIGURA 4 – Coleta de amostras de solo, para análises, na área irrigada do DIPAN, Ceará.

3.3 Realização das análises

As análises químicas foram efetuadas no Laboratório de Análise de Solos e Água da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, Ceará. Foram determinados o pH, a CE, os cátions cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+) e potássio (K^+) e o ânion cloreto (Cl^-), em cada amostra de solo. A metodologia utilizada foi a recomendada por Richards (1954). Foi obtida uma suspensão de solo:água na proporção 1:1, em que foram tomados 150 g da amostra e adicionados 150 mL de água deionizada. Depois de agitado e filtrado tomou-se a suspensão e fez-se a determinação dos parâmetros citados. A CE foi determinada através de um condutivímetro de bancada, o pH através de peagâmetro, o Ca^{2+} e o Mg^{2+} pelo espectrômetro de absorção atômica, o Na^+ e o K^+ pela fotometria de emissão de chamas e o Cl^- determinou-se por meio de titulação com solução de K_2CrO_4 a 5% e AgNO_3 a 0,05N.

3.4 Riscos de degradação do solo

O estudo do risco de degradação do solo das áreas irrigadas no Distrito de Irrigação do Perímetro Araras Norte – DIPAN, Ceará, foi realizado com base na variação espacial e temporal da condutividade elétrica e dos íons nas camadas do solo (área irrigada e mata nativa). Foram avaliados também a ação das chuvas na lixiviação dos sais, os incrementos dos íons na área irrigada com relação à mata nativa e, a influência de cada íon na condutividade elétrica.

3.5 Lixiviação dos sais pela ação das chuvas, impacto da irrigação no solo e influência dos íons na CE

Para a avaliação da ação das chuvas na lixiviação dos sais no perfil do solo e do impacto da irrigação na área estudada, classificou-se os dados da CE de acordo com a estação chuvosa e seca e aplicou-se um teste estatístico para comparação de médias de amostras independentes, a 1% de significância. Para o primeiro caso foram comparadas as médias do período seco com o chuvoso na área irrigada, com o intuito de se obter a variabilidade temporal dos sais totais do solo na área trabalhada.

Já para a análise da ocorrência do impacto da irrigação compararam-se os valores médios entre área irrigada e mata nativa, apenas no período chuvoso. O pacote estatístico utilizado foi o SPSS 10.0 for Windows (*Statistical Package for Social Sciences*) e o teste aplicado foi o t de Student para comparação das médias de amostras independentes e variâncias desconhecidas e supostas desiguais.

A influência dos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ e Cl^- na CE do solo foi feita com base na inclinação da linha formada pela relação entre a condutividade elétrica do extrato solo:água 1:1 (CE) e a concentração iônica, às profundidades de 0 a 0,30 m; 0,30 a 0,60 m; 0,60 a 0,90 m e 0,90 a 1,20 m.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos através dos parâmetros analisados em laboratório, foram procedentes das coletas de solo realizadas no período de maio de 2003 a setembro de 2005.

4.1 Adição de sais totais ao solo da área irrigada e ação da chuva na lixiviação dos sais

A variação espaço-temporal da CE para todas as camadas estudadas pode ser observada na Figura 4. O maior incremento de sais totais adicionado ao solo irrigado foi registrado na camada 0 a 0,30 m (Figura 5A) em janeiro de 2005. Para o referido período foi observado uma CE de $2,16 \text{ dS m}^{-1}$, enquanto na mata nativa o valor equivalente foi de $0,32 \text{ dS m}^{-1}$, representando assim um incremento de 573%. Tal fato pode ser explicado pelo manejo de irrigação adotado com uso de fertilizantes minerais ricos em sais como os cloretados e nitrogenados, uma vez que a água empregada na irrigação foi classificada como C_1S_2 . Observações semelhantes foram efetuadas por D'Almeida (2002), Meireles et al. (2003) e Andrade et al. (2004) em pesquisas realizadas nas áreas irrigadas no Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi. Bezerra (1996) cita como exemplo de salinização do solo causada por adubações minerais, o caso de um Oxissol do Projeto Bebedouro em Petrolina, o qual sob irrigação com o uso continuado de adubos minerais por um período de sete anos, sofreu um aumento de sais cerca de quatro vezes. Esse acréscimo foi registrado em todo o perfil, face às boas condições de drenagem do solo que não permitiu o acúmulo em sua superfície.

Os valores da CE para as profundidades de 0,30 a 0,60 m; 0,60 a 0,90 m e 0,90 a 1,20 m podem ser vistos nas Figuras 5B, 5C e 5D, respectivamente. Observa-se através das mesmas que ocorreu adição de sais ao solo pelo manejo da irrigação, também, para as camadas inferiores. Os maiores valores de CE encontrados em cada camada da área irrigada foram: $1,40 \text{ dS m}^{-1}$ (0,30 a 0,60 m) em julho de 2005, $1,28 \text{ dS m}^{-1}$ (0,60 a 0,90 m) em setembro de 2005 e $1,03 \text{ dS m}^{-1}$ (0,90 a 1,20 m) em janeiro de 2004. Observou-se, ainda, que em todo o perfil da área irrigada a CE mostrou-se elevada na última coleta (setembro de 2005) expressando preocupação quanto ao risco de salinização da área com o decorrer do tempo. Constatou-se ainda uma movimentação de sais das camadas de 0 a 0,30 m e de 0,30 a 0,60 m para as camadas de 0,60 a 0,90 m e de 0,90 a 1,20 m entre os meses de julho de 2005 e setembro de 2005. Isso deve ter ocorrido em consequência da aplicação de lâmina de irrigação excessiva, uma vez que não ocorreu precipitação pluviométrica neste período.

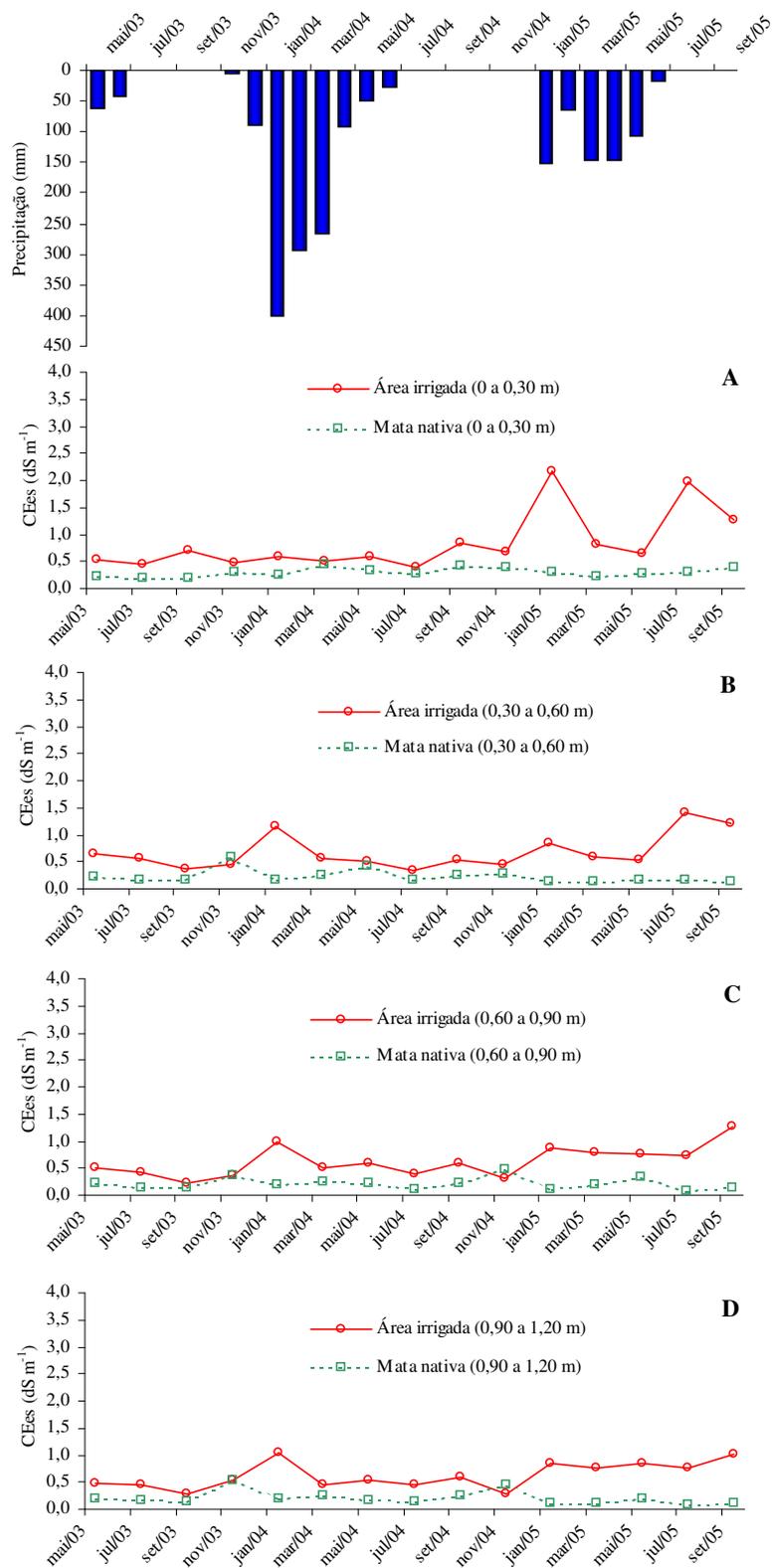


FIGURA 5 – Variação temporal da CE do extrato solo:água 1:1 das áreas estudadas no DIPAN, Ceará.

Quanto ao fato de que a camada superior apresentou pontos em que os valores de CE foram mais elevados do que nas demais camadas pode-se relacionar tal situação ao manejo físico do solo, uma vez que o mesmo já vem sendo cultivado a cinco anos e encontra-se bastante compactado pelo uso constante de máquinas, tornando-se em muitos pontos impermeável, favorecendo o acúmulo de água na superfície, e, conseqüente aumento da salinidade da camada superior (Figuras 6A e 6B) em decorrência da alta evaporação e conseqüente acúmulo dos sais.

Ainda na camada superficial observou-se uma tendência linear dos valores de CE para as dez primeiras coletas levando o *status* salino do solo na área cultivada próximo à condição de mata nativa, principalmente no primeiro trimestre de 2004, onde se concentraram as maiores precipitações pluviométricas.

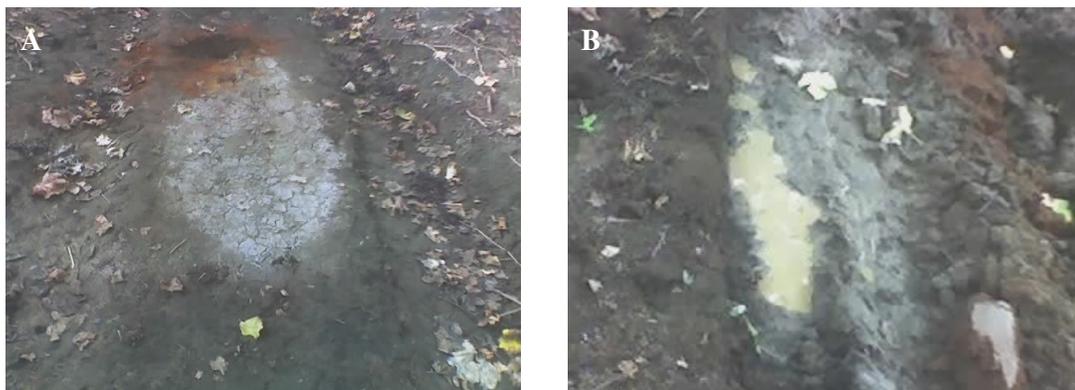


FIGURA 6 – Solo extremamente compactado (A) e com presença de água empossada (B) na área irrigada em estudo.

As maiores concentrações de sais na camada superior são decorrentes das altas taxas de evaporação presentes nas regiões semi-áridas, que promovem a ascensão capilar e geram deposições de sais na camada superficial do solo. Meireles (2003) observou em áreas irrigadas no Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi que os maiores valores de CE foram encontrados na camada superficial.

As lixiviações na área irrigada ocorreram apenas na camada de 0 a 0,30 m. A Tabela 6 expressa a lixiviação dos sais pela chuva na área irrigada com base no teste de comparação de médias da CE para os períodos seco e chuvoso.

TABELA 6 – Comparação de médias da CE (dS m^{-1}) do solo entre a estação seca e a chuvosa na área irrigada, em estudo, no DIPAN, Ceará.

Camada (m)	Período	n	Média	Desvio padrão	t	Sig (bilateral)
0 a 0,30	Seco	8	0,8458	0,5301	0,042	0,967
	Chuvoso	7	0,8334	0,5935		
0,30 a 0,60	Seco	8	0,6644	0,4029	-0,158	0,877
	Chuvoso	7	0,6909	0,2331		
0,60 a 0,90	Seco	8	0,5381	0,3391	-1,288	0,224
	Chuvoso	7	0,7167	0,1844		
0,90 a 1,20	Seco	8	0,5443	0,2466	-1,359	0,197
	Chuvoso	7	0,7081	0,2203		

Nível de significância a 1%.

Verificou-se que, mesmo ocorrendo uma diminuição de 1,49% entre as CE do período seco e do período chuvoso, a lixiviação dos sais totais não apresentou resultados significativos ($\alpha=0,01$). Portanto, a precipitação pluvial não foi suficiente para diminuir os sais adicionados à área pela prática da irrigação, apesar de ter ocorrido uma precipitação total no período estudado superior em 128,07% à média da região. Este fato expressa o efeito cumulativo dos sais no solo, promovido pela irrigação, que vem ocorrendo no DIPAN. Meireles et al. (2003) obtiveram resultados semelhantes em cambissolo irrigado da Chapada do Apodi, CE. Já Pereira et al. (1986) observaram resultados diferentes em áreas irrigadas do projeto Curu-Paraipaba, CE, onde os sais adicionados durante a irrigação foram lixiviados em todas as camadas, sendo necessário apenas um total de chuva de 300 mm. Atribuiu-se essa lixiviação à textura franco arenosa dos solos da região.

A estatística dos valores da CE para a área irrigada e a mata nativa durante a estação chuvosa estão presentes na Tabela 7. Com exceção da camada superior, para as demais camadas estudadas a adição de sais ao solo pelo manejo da irrigação foi altamente significativa, expressando a necessidade de uma mudança no manejo da irrigação adotado.

A diferença entre as médias da CE da área irrigada e da mata nativa variou de 128,45% na camada superior a 322,84% na última camada, indicando que o maior acúmulo de sais está na camada inferior. Quanto ao desvio padrão na área irrigada, o maior valor ocorreu na camada superior, indicando que, na mesma, os sais apresentaram maior variação em torno do valor médio. Esse fato é compreensível visto ser este o local que está sujeito a ação direta do manejo da irrigação e conseqüente aplicação dos fertilizantes minerais.

TABELA 7 – Comparação de médias da CE (dS m⁻¹) do solo durante o período chuvoso para a área irrigada e a mata nativa, em estudo, no DIPAN, Ceará.

Camada (m)	Local	n	Média	Desvio padrão	T	Sig. (bilateral)
0 a 0,30	AI ¹	7	0,8334	0,5935	2,357	0,055*
	MN ²	7	0,2993	0,0845		
0,30 a 0,60	AI	7	0,6909	0,2331	4,950	0,001**
	MN	7	0,2194	0,0958		
0,60 a 0,90	AI	7	0,7167	0,1844	6,668	0,000**
	MN	7	0,2184	0,0713		
0,90 a 1,20	AI	7	0,7081	0,2203	6,1978	0,001**
	MN	7	0,1780	0,0521		

¹AI: Área irrigada; ²MN: Mata nativa. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Observou-se que para o período chuvoso a diferença de maior significância foi registrada nas duas camadas mais profundas ($t > 6$). Este fato expressa a ação da chuva na lixiviação dos sais. Apesar de ter ocorrido lixiviação dos sais esta não foi suficiente para levar o *status* salino da área irrigada a uma condição de não apresentar diferença significativa da mata nativa.

4.2 Avaliação da influência dos íons na condutividade elétrica do solo da área irrigada em estudo no DIPAN, Ceará, para o período de maio de 2003 a setembro de 2005

Na Figura 7 são apresentados os gráficos da relação entre condutividade elétrica (CE) e a concentração iônica, às profundidades de 0 a 0,30 m; 0,30 a 0,60 m; 0,60 a 0,90 m e 0,90 a 1,20 m.

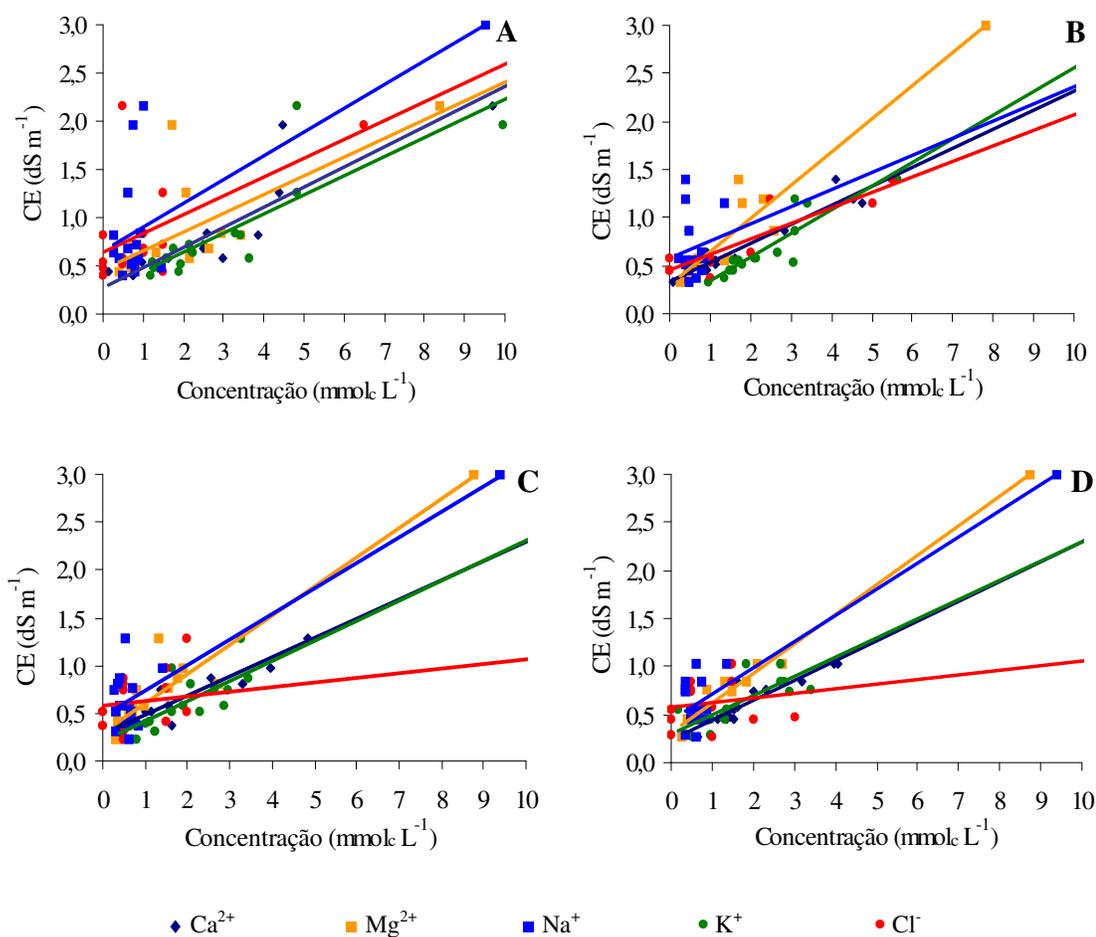


FIGURA 7 – Relação entre concentração iônica e condutividade elétrica (CE) do extrato de solo:água 1:1 nas camadas 0 a 0,30 m (A); 0,30 a 0,60 m (B); 0,60 a 0,90 m (C) e 0,90 a 1,20 m (D) na área irrigada, em estudo no DIPAN, Ceará.

De acordo com a Figura 7A, que representa a camada superior, observa-se, pela inclinação da reta, que o íon que apresentou maior influência na condutividade foi o sódio (Na^{+}). Posteriormente seguiram o cloreto (Cl^{-}), o magnésio (Mg^{2+}), o cálcio (Ca^{2+}) e o potássio (K^{+}). Deve-se levar em consideração que esses íons no solo provem, em sua maioria, dos sais adicionados à área através dos fertilizantes minerais. Esses fertilizantes têm índices salinos que alteram a pressão osmótica do solo (AQUINO, 2003) interferindo, portanto, no processo de concentração do íon na solução; além disso, a solubilidade dos diversos sais é bastante influenciada pela temperatura do solo (PIZARRO, 1978; FERREIRA, 1997). Já no perfil posterior (Figura 7B) o íon que mais interferiu nos valores da CE foi o Mg^{2+} , seguindo uma tendência ascendente, enquanto os demais íons ocorreram em menor concentração. Quanto às camadas de 0,60 a 0,90 m (Figura 7C) e de 0,90 a 1,20 m (Figura 7D), as mesmas apresentaram uma distribuição da concentração iônica versus CE muito semelhante. Acredita-se que isso ocorreu porque a partir

de 0,50 m a temperatura do solo permanece estável (TUBELIS & NASCIMENTO, 1980) fazendo com que não houvesse grandes diferenças na concentração iônica, como nas camadas superiores. Nas duas camadas destacaram-se o Mg^{2+} e o Na^+ como os íons mais presentes e, juntamente com o K^+ , que exibiu numa concentração menor, apresentaram uma tendência crescente. Quanto ao cloreto Cl^- , nessas camadas, observou-se que o mesmo passou a exibir valores de concentração constantes, não apresentando variação com o aumento da condutividade, chegando a concentrações muito baixas no decorrer do estudo. Esses resultados divergem dos que foram encontrados por Meireles et al. (2003) em solos irrigados da Chapada do Apodi, onde mesmo havendo precipitações pluviométricas, ocorreu acúmulo do Cl^- em todas as camadas estudadas. D'Almeida (2002) analisando o risco de salinização em cambissolos irrigados da Chapada do Apodi empregou regressão linear múltipla para conhecer a influência dos íons estudados nos valores de condutividade, constatou que o íon Cl^- foi o que exerceu maior influência nos valores de CE da camada superior.

4.3 Variação e incrementos dos sais no extrato solo:água 1:1 na área irrigada

4.3.1 Cálcio

A variação do íon cálcio, ao longo do perfil do solo, na área irrigada e na mata nativa do DIPAN, para o período estudado, está mostrado na Figura 8. Os valores das concentrações de cálcio no solo da área irrigada do DIPAN variaram entre 0,14 a 9,68 $mmol_c L^{-1}$, na primeira camada (Figura 8A), 0,09 a 4,53 $mmol_c L^{-1}$ na segunda camada (Figura 8B), 0,35 a 4,82 $mmol_c L^{-1}$ na terceira camada (Figura 7C) e 0,36 a 4,04 $mmol_c L^{-1}$ na quarta camada (Figura 8D). Na camada superficial observou-se uma oscilação nos valores durante todo o período analisado, isso em decorrência da aplicação de calcário na área. Comparando o cálcio da área irrigada com o da mata nativa constatou-se que, em sua maioria, os valores encontrados na primeira área foram superiores mostrando que o total de chuva precipitada não foi suficiente para elevar o *status* salino da faixa irrigada à condição de mata nativa. Isso expressa a existência, no solo, de resíduos dos sais aplicados pelo manejo inadequado da irrigação. Mesmo existindo alguns pontos em que os valores da mata nativa ultrapassaram os da área irrigada, incrementos no cálcio de até 23.100,0% foram verificados na faixa irrigada em relação à mata nativa (Tabela 8). Essa diferença entre as duas áreas aconteceu no mês de março de 2004 e pode ser associada à adição de cálcio no solo, uma vez que são aplicados,

mensalmente na área irrigada, 208,33 kg de calcário dolomítico por hectare. Importante destacar que mesmo tendo ocorrido uma precipitação pluviométrica superior a média da região em 256 mm, a mesma não foi suficiente para diminuir o teor de cálcio na área. D'Almeida (2002) ao encontrar incrementos de até 784% nos valores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ em cambissolo irrigado da Chapada do Apodi associou-os ao tempo de utilização da área, à má qualidade da água de irrigação e ao uso de fertirrigação.

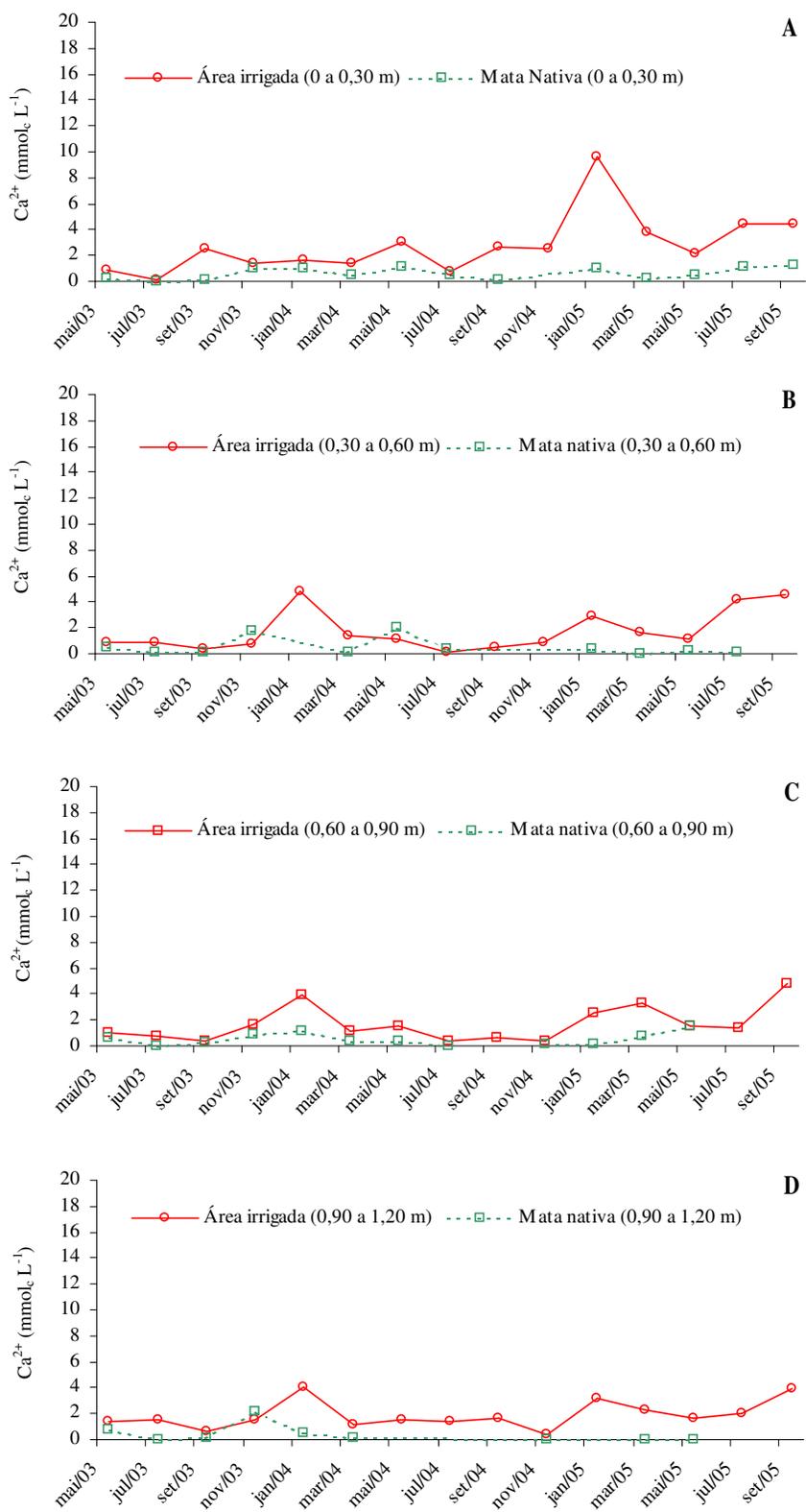


FIGURA 8 – Variação temporal do íon cálcio no extrato solo:água 1:1 na área estudada no DIPAN, Ceará.

Para todas as camadas da área irrigada constatou-se que, na última coleta (setembro de 2005), o cálcio apresentou-se elevado, com uma tendência crescente nas duas últimas camadas, indicando um provável acúmulo do íon às camadas mais profundas. Os incrementos de Ca^{2+} na área irrigada em relação ao solo da mata nativa, em percentuais, estão apresentados na Tabela 8.

TABELA 8 – Incrementos do íon cálcio nas camadas do solo irrigado em relação à mata nativa na área estudada do DIPAN, Ceará.

Mês	INCREMENTOS (%)			
	0 a 0,30 m	0,30 a 0,60 m	0,60 a 0,90 m	0,90 a 1,20 m
mai/03	265,38	106,67	46,38	83,54
jul/03*	180,00	663,64	-	3.700,00
set/03	1.205,26	214,29	115,00	282,35
nov/03	43,00	-53,80	76,34	-29,22
jan/04*	61,00	-	251,33	778,26
mar/04	168,63	846,67	207,89	918,18
mai/04*	177,78	-42,13	381,25	-
jul/04**	40,74	-72,73	1.266,67	-
set/04*	2.788,89	-	-	-
nov/04*	-	-	105,88	500,00
jan/05*	908,33	738,24	2.227,27	-
mar/05	1.224,14	3.900,00	323,08	23.100,00
mai/05	356,25	409,09	-3,29	3.950,00
jul/05*	274,79	2.188,89	-	-
set/05*	231,82	-	-	-

FONTE: Elaboração própria.

*Valores de Ca^{2+} não detectados (nd).

**Amostra perdida.

Pela referida Tabela observou-se que no solo do DIPAN os maiores incrementos aconteceram para a camada de 0,90 a 1,20 m expressando a ocorrência do processo de lixiviação como consequência de uma lâmina de irrigação excessiva, uma vez que esses solos não são ricos em cálcio, pois em muitos casos os valores do íon não foram detectados no solo. Observou-se ainda a presença de valores negativos em alguns meses, indicando que a mata

nativa foi superior à área irrigada. Isso ocorreu, em sua maioria, nas camadas mais superiores e nos meses de seca.

Segundo Shainberg (1975) em solos não salinos de regiões áridas e semi-áridas, freqüentemente, o cálcio em conjunto com o magnésio são os principais cátions existentes tanto na solução como no complexo de troca. Ayers e Westcot (1999) afirmam que a função do cálcio no solo não está completamente estabelecida. Ao que parece ele reduz o efeito tóxico dos íons Na^+ e Mg^{2+} quando são absorvidos pelas raízes. Em se tratando do conteúdo de cálcio trocável no solo, Coelho (1973) afirma que excluindo a riqueza em cálcio do material que deu origem ao solo, o teor de cálcio trocável do solo é influenciado principalmente por fatores como: textura do solo, lixiviação e remoção pelas culturas.

4.3.2 Magnésio

O íon magnésio apresentou valores relativamente baixos, assemelhando-se ao cálcio, chegando, em alguns casos, a valores inferiores aos da mata nativa. Os maiores valores foram verificados na camada superficial (Figura 9A), chegando a $8,40 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ em janeiro de 2005, enquanto na mata nativa, para o mesmo período, encontrou-se uma taxa de $0,75 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$. Foi também nesse período que se verificou o maior valor de magnésio para a segunda camada da área irrigada: $2,57 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ contra $1,34 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ na mata nativa (Figura 9B), indicando uma provável lixiviação desse íon. Para a camada de 0,60 a 0,90 m (Figura 9C) o valor máximo foi de $2,73 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ em março de 2005 e, para a camada de 0,90 a 1,20 m (Figura 9D) o valor mais elevado foi de $2,71 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ em setembro de 2005. Esses valores indicam uma adição do magnésio às camadas mais profundas, em decorrência da aplicação de corretivos na área e lixiviação dos mesmos através da precipitação pluviométrica e/ou lâmina de irrigação excessiva. Pois o maior incremento constatado, na área irrigada em relação à mata nativa, ocorreu na camada de 0,90 a 1,20 m e foi de 5.320,0% (Tabela 9).

De acordo com a Figura 9 o magnésio mostrou uma tendência crescente para as últimas coletas, em todas as profundidades da área irrigada, evidenciando preocupação quanto ao risco do acúmulo desse íon no solo e à ação tóxica desse íon para a cultura.

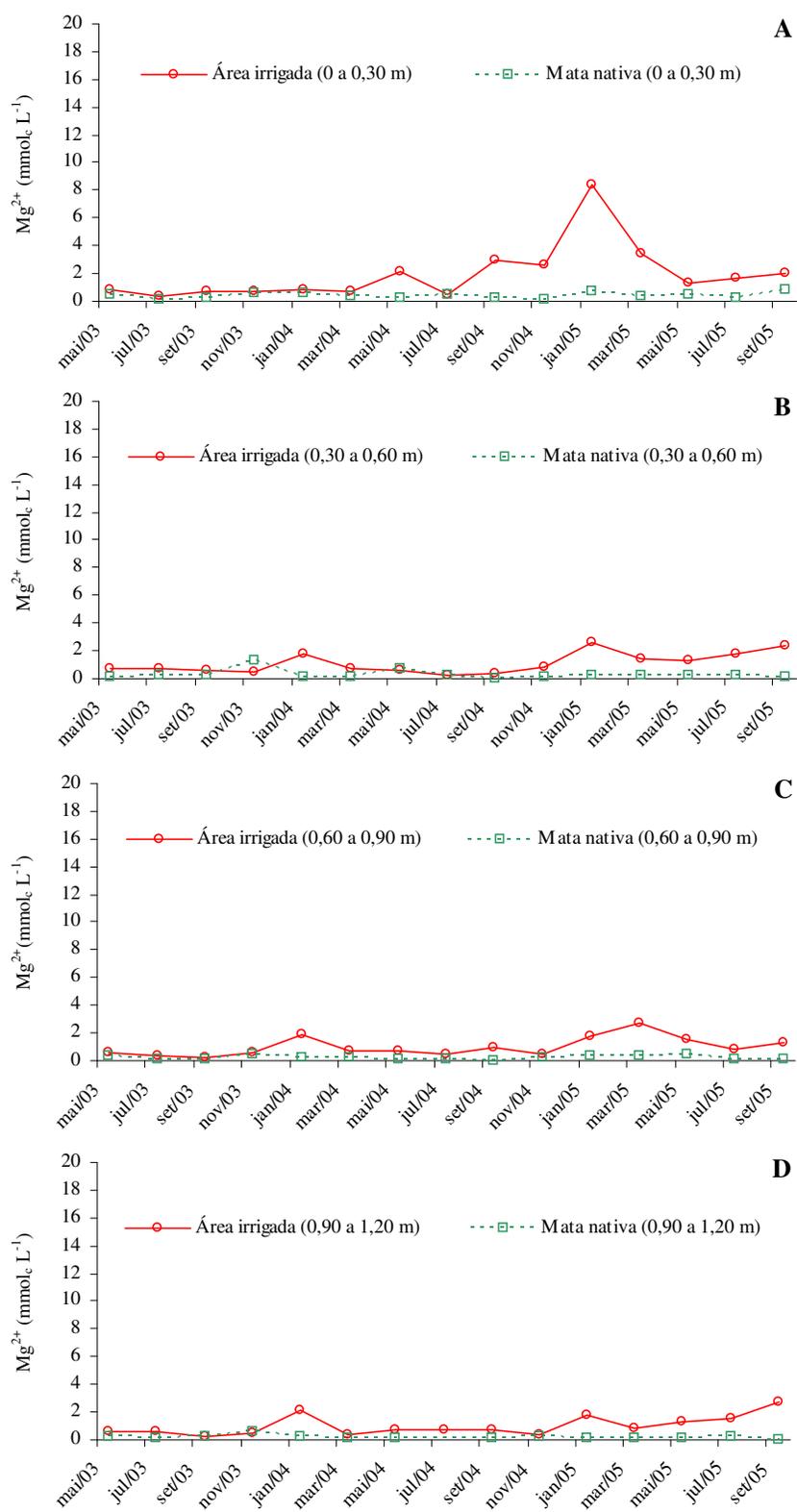


FIGURA 9 – Variação temporal do íon magnésio no extrato solo:água 1:1 na área estudada no DIPAN, Ceará.

TABELA 9 – Incrementos do íon magnésio nas camadas do solo irrigado em relação à mata nativa na área estudada do DIPAN, Ceará.

Mês	INCREMENTOS (%)			
	0 a 0,30 m	0,30 a 0,60 m	0,60 a 0,90 m	0,90 a 1,20 m
mai/03	88,10	327,78	96,77	145,83
jul/03*	123,53	288,89	227,27	416,67
set/03	230,43	157,14	81,25	42,11
nov/03	10,94	-67,16	22,92	-21,54
jan/04	44,64	2.428,57	726,09	732,00
mar/04	86,11	536,36	268,42	485,71
mai/04	1.094,44	-13,89	461,54	942,86
jul/04**	-3,85	-7,14	238,46	*
set/04	1.527,78	800,00	4.750,00	300,00
nov/04	1.355,56	350,00	59,26	50,00
jan/05	1.020,00	1.185,00	439,39	2.950,00
mar/05	739,02	526,09	600,00	975,00
mai/05	180,85	482,61	261,90	975,00
jul/05	608,33	514,29	636,36	520,83
set/05	167,53	1.557,14	2.100,00	5.320,00

FONTE: Elaboração própria.

**Amostra perdida.

Pela Tabela 9 observou-se que na camada superficial, os maiores incrementos registrados em relação à mata nativa foram nos meses de setembro e novembro de 2004, os quais foram 1.527,78 e 1.355,56%, respectivamente. Esses altos incrementos estão associados ao magnésio advindo do calcário dolomítico aplicado à área.

A maior taxa de incremento para a segunda camada foi registrada no mês de janeiro de 2004. Este fato pode ser explicado pela ocorrência de chuvas com frequência e intensidade altas, ocorridas no final do mês de janeiro e durante fevereiro totalizando 694 mm promovendo a lixiviação dos sais da camada superior. Já para as camadas de 0,60 a 0,90 m e de 0,90 a 1,20 m os maiores incrementos foram 4.750,0% e 5.320,0%, respectivamente. Esses incrementos foram verificados no mês de setembro, época em que a irrigação é mais intensa, podendo a vir a causar carreamento de sais das camadas superiores para as mais profundas.

4.3.3 Sódio

A variação temporal da concentração do íon sódio na área estudada está expressa na Figura 9. Foi verificado, de forma geral, que o mesmo apresentou concentração e variação baixas, em relação aos demais íons.

Na área irrigada, as maiores concentrações na primeira camada (Figura 10A) foram registradas nos meses de novembro de 2003 e janeiro de 2005: $1,47 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ e $1,02 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, respectivamente. Esse comportamento deve estar relacionado às altas taxas de evapotranspiração e à ascensão capilar, processos predominantes em áreas irrigadas nas zonas semi-áridas do globo (SMEDEMA & SHIATI, 2002). O menor valor encontrado foi de $0,26 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ em março de 2005, enquanto o valor da mata nativa para o mesmo mês foi de $0,44 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, evidenciando que a lâmina de irrigação e a chuva precipitada no mês (146 mm) ocasionaram uma lixiviação de sais que levou o *status* do sódio no solo cultivado à condição inferior da mata nativa.

Estes resultados evidenciam que as características dos solos predominantes, os Luvissoles, até o momento deste estudo, têm predominância sobre o manejo da irrigação em relação à concentração de sódio. D'Almeida (2002) analisando o extrato de saturação dos solos irrigados de Quixeré, na Chapada do Apodi encontrou para a primeira camada valores máximos de sódio que variaram de 21,99 a 12,28 $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$. Segundo a autora tais valores na concentração dos sais são decorrentes da fertirrigação e do processo de evapotranspiração. Aguiar Neto et al. (2005) analisando solos dos lotes do Perímetro Irrigado de Jabiberi – SE, encontrou valores de Na^+ para a camada de 0 a 0,15 m que variaram de 0,12 a 6,24 $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$.

Para a segunda camada (Figura 10B) a maior concentração verificada foi em janeiro de 2004 com $1,34 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, refletindo um acúmulo de sódio em consequência da lixiviação dos sais advindos da camada superior, no mês anterior. Como o mês anterior pertence ao período do verão, este processo deve ter sido ocasionado por uma lâmina de irrigação em excesso. Para o mesmo mês o valor da mata nativa foi de $0,59 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$.

Na camada de 0,60 a 0,90 m (Figura 10C) a variação da concentração do sódio foi muito semelhante à camada anterior, com o maior valor de $1,41 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ também para o mês de janeiro de 2004. Já na mata nativa o valor máximo do sódio ocorreu em novembro de 2004 com $1,25 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, pois de acordo com as características climáticas e o regime hidrológico da região este é o mês de menor umidade relativa, maiores temperaturas e maior evapotranspiração potencial.

Para a última camada (Figura 10D), a maior taxa de concentração de sódio encontrada foi de $1,37 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ (janeiro de 2004) evidenciando um acúmulo de sais vindo das camadas superiores.

Nas duas camadas inferiores foi observada uma tendência no crescimento da concentração do sódio na última coleta, merecendo atenção quanto ao risco de acúmulo do íon nas camadas mais profundas da área, uma vez que a área não apresenta uma boa drenagem natural.

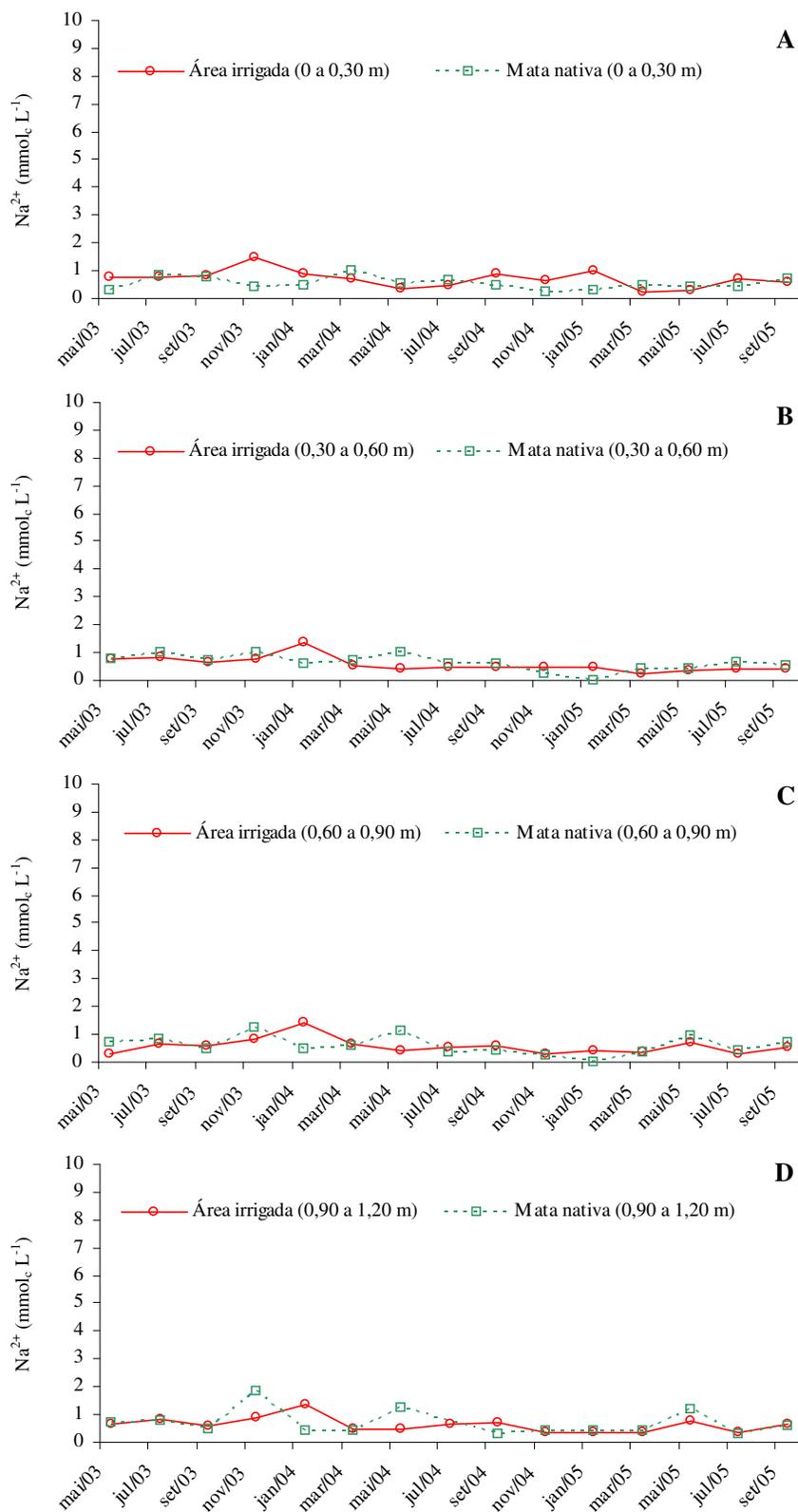


FIGURA 10 – Variação temporal do íon sódio no extrato solo:água 1:1 na área estudada no DIPAN, Ceará.

A Tabela 10 apresenta os valores de incrementos percentuais do sódio da área irrigada em relação à mata nativa. Porém, foram observadas muitas taxas de incrementos negativas, indicando que em muitas coletas os valores da mata nativa ultrapassaram os da área irrigada. (Estes incrementos negativos podem ser explicados pelos solos predominantes, Luvisolos, os quais apresentam sódio ao longo do perfil). Os maiores incrementos entre as camadas foram verificados na camada de 0,90 a 1,20 m (242,50%) e na de 0 a 0,30 m (241,86%). Os incrementos maiores registrados nas camadas mais profundas ocorrem, provavelmente, em consequência da lixiviação dos sais das camadas superiores para as mesmas. Ben-Hur et al. (2001) encontraram resultados semelhantes em estudo da ação da lixiviação dos sais adicionados ao solo pela irrigação. D’Almeida (2002) registrou incrementos de até 17.000% na área irrigada de Quixeré.

TABELA 10 – Incrementos do íon sódio nas camadas do solo irrigado em relação à mata nativa na área estudada do DIPAN, Ceará.

Mês	INCREMENTOS (%)			
	0 a 0,30 m	0,30 a 0,60 m	0,60 a 0,90 m	0,90 a 1,20 m
mai/03	140,63	2,67	-57,53	-4,29
jul/03*	-8,33	-15,31	-16,05	8,00
set/03	7,79	-6,94	27,08	24,00
nov/03	241,86	-22,33	-31,20	-51,63
jan/04	93,33	127,12	206,52	242,50
mar/04	-29,59	-23,29	12,28	16,28
mai/04	-32,73	-60,78	-64,55	-60,00
jul/04**	-29,41	-22,03	37,84	-
set/04	83,67	-18,64	56,41	133,33
nov/04	152,00	80,77	19,23	-15,38
jan/05*	240,00	-	-	-5,13
mar/05	-43,48	-47,73	-2,86	-14,63
mai/05	-32,50	-13,64	-27,84	-35,04
jul/05	68,18	-40,30	-33,33	27,59
set/05	-14,08	-26,79	-28,77	6,78

FONTE: Elaboração própria.

*Valores de Na⁺ não detectados (nd).

**Amostra perdida.

A análise isolada do íon sódio nos fornece informações do risco de toxicidade, mas não da sodicidade do solo. Segundo Pizarro (1978) entre o complexo de troca e a solução do solo existe um equilíbrio que se refere aos cátions adsorvidos e os dissolvidos. Como índice característico de toda solução salina usa-se a RAS (Relação de Adsorção de Sódio). De acordo com Ayers & Wescot (1999) o sódio é um íon que forma parte importante da salinidade e sua solubilidade ou precipitação não é afetada por fatores externos.

Os valores da RAS para os solos do DIPAN estão presentes na Tabela 11. Verificou-se que as maiores taxas foram registradas na mata nativa. Isso ocorreu por causa da relação entre o Na^+ com o $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^+$, pois na área irrigada o $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^+$ geralmente encontra-se mais elevado em consequência da aplicação de corretivos, como o calcário dolomítico ($208,33 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$).

TABELA 11 – Valores de RAS no extrato solo:água 1:1 nas diversas camadas da área irrigada (AI) e da mata nativa (MN) estudadas no DIPAN, Ceará.

Mês	RAS							
	0 a 0,30 m		0,30 a 0,60 m		0,60 a 0,90 m		0,90 a 1,20 m	
	AI	MN	AI	MN	AI	MN	AI	MN
mai/03	0,83	0,55	0,84	1,34	0,34	1,03	0,66	0,98
jul/03	1,51	2,53	0,95	2,57	0,89	3,45	0,78	2,65
set/03	0,65	1,68	0,96	1,72	1,02	1,13	0,91	1,18
nov/03	1,42	0,47	1,02	0,83	0,81	1,49	0,88	1,54
jan/04	0,79	0,51	0,74	3,15	0,82	0,56	0,78	0,67
mar/04	0,68	1,49	0,54	2,02	0,66	1,07	0,57	1,43
mai/04	0,23	0,69	0,43	0,88	0,37	2,32	0,47	6,68
jul/04**	0,60	0,93	1,10	1,07	0,78	1,31	0,61	-
set/04	0,54	1,33	0,75	4,17	0,67	3,90	0,65	1,00
nov/04	0,39	0,83	0,51	0,87	0,50	0,55	0,54	0,98
jan/05	0,34	0,32	0,30	0,00	0,27	0,00	0,23	2,25
mar/05	0,14	0,78	0,19	1,20	0,20	0,46	0,28	1,93
mai/05	0,20	0,58	0,34	0,93	0,57	0,98	0,63	4,14
jul/05	0,42	0,52	0,23	1,40	0,27	1,79	0,28	0,84
set/05	0,34	0,69	0,22	2,12	0,30	4,21	0,34	3,73

FONTE: Elaboração própria.

**Amostra perdida.

Enquanto na camada superior da área irrigada o maior valor encontrado foi de 1,51, na mata nativa, na mesma camada, o valor foi de 2,53, significando um incremento na RAS de 67, 55% em relação à área irrigada. Porém, o maior incremento da RAS na faixa de mata nativa em relação à zona irrigada (1.321,28%) foi verificado na camada de 0,90 a 1,20 m em maio de 2004, indicando, assim, que os íons $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{+}$, encontram-se acumulados nas camadas mais profundas.

Foram verificados valores de RAS iguais a zero nas duas camadas superiores da mata nativa para janeiro de 2004. Nesse período o sódio não apareceu, provavelmente em decorrência da lixiviação provocada pela alta precipitação pluviométrica, que foi atípica para a região.

4.3.4 Potássio

As concentrações do íon potássio observadas nos solos da área estudada do DIPAN podem ser visualizadas na Figura 11. Foi constatado que o mesmo apresentou valores relativamente baixos, com alguns pontos chegando a ser inferiores à mata nativa. Os maiores valores de potássio para a primeira camada da área irrigada (Figura 11A) ocorreram nos meses de: janeiro de 2004 ($3,63 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$), setembro de 2004 ($3,27 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$), janeiro de 2005 ($4,81 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$), março de 2005 ($3,43 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$) e julho de 2005 ($9,97 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$). Enquanto que nos referidos meses, na mata nativa, não foram verificadas elevações nas concentrações do potássio. O maior valor encontrado na primeira camada da mata nativa foi de 1,51 (março de 2004). Os valores elevados de potássio na área irrigada estão associados à utilização de fertilizantes minerais como o sulfato e o cloreto de potássio que são aplicados a uma taxa de $110 \text{ g planta}^{-1} \text{ mês}^{-1}$.

Para a camada de 0,30 a 0,60 m (Figura 11B) a variação nas taxas de potássio na área irrigada seguiu uma tendência semelhante à camada superior (Figura 11A), com os valores mais elevados ocorrendo também nos meses citados anteriormente. Porém, esses valores foram menores: $3,43 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ em janeiro de 2004, $3,43 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ em setembro de 2004, $3,12 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ em janeiro de 2005, $2,10 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ em março de 2005 e $5,63 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ em julho de 2005. A mata nativa permaneceu com valores constantes ao longo do estudo, apresentando valor máximo de $1,51 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ em março de 2004. Foi observada também, nessa camada, a presença do potássio como consequência das lixiviações advindas da camada superior ao longo do tempo.

Em ambas as camadas, verificou-se um decréscimo no valor de potássio para a última coleta (setembro de 2005) indicando uma provável lixiviação provocada pela lâmina de irrigação, uma vez que se tratava do período seco e uso intenso da irrigação.

Na terceira camada (Figura 11C) ocorreram picos de $2,86 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ (setembro de 2004), $3,43 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ (janeiro de 2005) e $3,27 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ (setembro de 2005) indicando adição do íon ao longo do perfil estudado. O valor máximo encontrado na mata nativa foi de $1,18 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ em novembro de 2004, sendo que na área irrigada a variação do potássio comportou-se uniforme ao longo do período estudado.

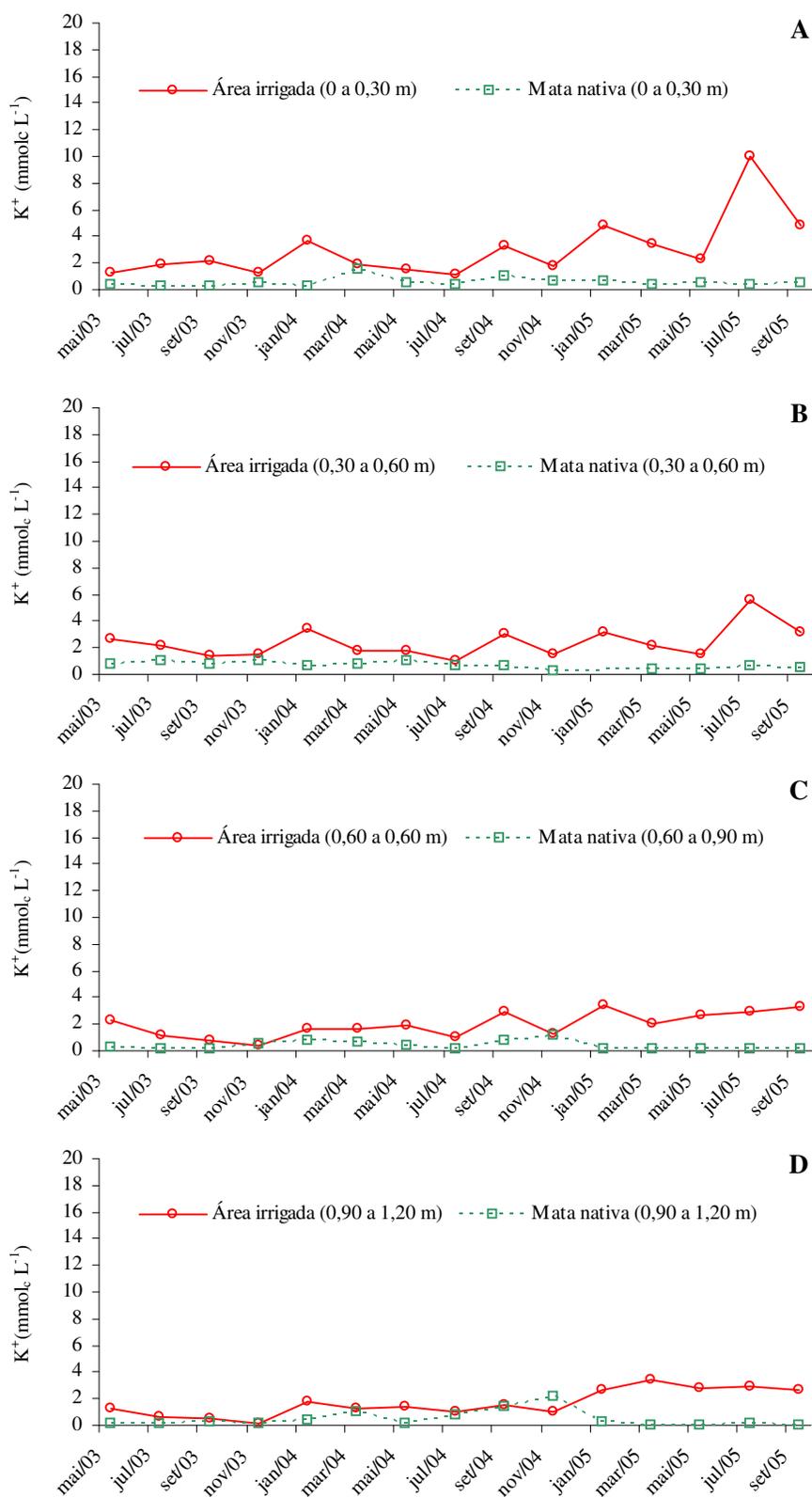


FIGURA 11 – Variação temporal do íon potássio no extrato solo:água 1:1 na área estudada no DIPAN, Ceará.

Na camada de 0,90 a 1,20 m (Figura 11D) os íons apresentaram concentrações de potássio que variaram de 0,18 a 3,43 mmol_c L⁻¹ no período estudado. Já a mata nativa apresentou uma variação de 0,04 e 2,21 mmol_c L⁻¹, sendo que em alguns pontos os valores ultrapassaram os da área irrigada. Nessa camada foi registrado o maior incremento do íon em relação à mata nativa – 6.800,0% no mês de maio de 2005 (Tabela 12). D’Almeida (2002) ao encontrar incremento máximo de 209,49% em solo irrigado do DIJA atribuiu esse valor à ausência das chuvas na região. Pela Tabela 12 observou-se que o menor incremento ocorreu na camada de 0,60 a 0,90 m no mês de novembro de 2004.

O aumento nos valores dos incrementos passou a acontecer a partir do segundo ano, provavelmente já como um reflexo do efeito acumulativo do íon em consequência do uso dos fertilizantes minerais.

TABELA 12 – Incrementos do íon potássio nas camadas do solo irrigado em relação à mata nativa na área estudada do DIPAN, Ceará.

Mês	INCREMENTOS (%)			
	0 a 0,30 m	0,30 a 0,60 m	0,60 a 0,90 m	0,90 a 1,20 m
mai/03	251,43	329,03	854,17	1.288,89
jul/03	721,74	2060,00	685,71	415,38
set/03	723,08	1.127,27	788,89	155,00
nov/03	133,33	-12,43	-21,57	125,00
jan/04	1.196,43	376,39	129,17	394,59
mar/04	27,81	134,25	160,32	22,43
mai/04	225,00	256,00	455,88	1.041,67
jul/04	252,94	781,82	758,33	32,88
set/04	237,11	195,19	297,22	16,30
nov/04	152,17	130,88	2,54	-56,11
jan/05	688,52	2.128,57	2.758,33	1.230,00
mar/05	908,82	2.233,33	2.222,22	5.616,67
mai/05	366,67	1.633,33	2.855,56	6.800,00
jul/05	2.392,50	3.653,33	2.600,00	2.100,00
set/05	774,55	2.128,57	3.987,50	6.550,00

FONTE: Elaboração própria.

4.3.5 Cloreto

As concentrações de cloreto observadas no estudo se apresentaram, em sua maioria, muito baixos, acontecendo casos em que o mesmo não foi detectado (Figura 12). Isso pode ter acontecido em detrimento da qualidade da água de irrigação utilizada que apresentou valor máximo de $0,72 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ (MESQUITA, 2004). Ocorreram pontos em que os valores da mata nativa ultrapassaram os da área irrigada, isso por causa da mobilidade que caracteriza esse íon, tornando a sua concentração no solo sujeita a lavagem pela aplicação de lâminas de água ou de precipitação pluviométrica alta.

Na camada superficial (Figura 12A) o maior valor encontrado na área irrigada foi de $6,50 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ em julho de 2005. Valores elevados de cloretos nas áreas irrigadas, nessa época do ano são comuns em decorrência da aplicação dos fertilizantes minerais. O menor valor encontrado para a área foi de $0,50 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ ocorrendo muitos casos de não detecção do íon nessa camada. Já na mata nativa da referida camada a variação da concentração do cloreto foi de $0,50$ a $3,00 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, ocorrendo também casos de valores não detectados. D'Almeida (2002) ao encontrar valores de $34,55$ e $35,96 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ em áreas irrigadas da Chapada do Apodi, atribuiu-os ao manejo da irrigação adotado, com aplicação de $83,33 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ de KCl para suprir o requerimento de potássio pela cultura da bananeira. Já Meireles et al. (2003) ao constatar que o ânion Cl^- foi o elemento em maior concentração na solução do solo da área irrigada da Chapada do Apodi atribuiu isso ao uso do cloreto de potássio e ao conteúdo do ânion na água de irrigação.

Para a camada de $0,30$ a $0,60 \text{ m}$ (Figura 12B) os maiores valores observados foram: $5,50 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ (julho de 2004), $5,00 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ (julho de 2005) e $2,50$ (setembro de 2005) indicando um provável acúmulo do íon em consequência da lixiviação presenciada na camada anterior. Na mata nativa foi encontrado um valor máximo de $1,50 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ em julho de 2003.

As camadas de $0,60$ a $0,90 \text{ m}$ e $0,90$ a $1,20 \text{ m}$ (Figuras 12C e 12D) expressam a mesma tendência, isto é, com as maiores concentrações do cloreto acontecendo em maio de 2003, maio de 2005 e setembro de 2005. Este fato está relacionado à uma lixiviação imediata do íon para as camadas mais profundas por ocasião da quadra invernal no mês de maio e a um acúmulo através do tempo no mês de setembro. Em ambas as camadas o valor de Cl^- na mata nativa não ultrapassou $2,00 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$.

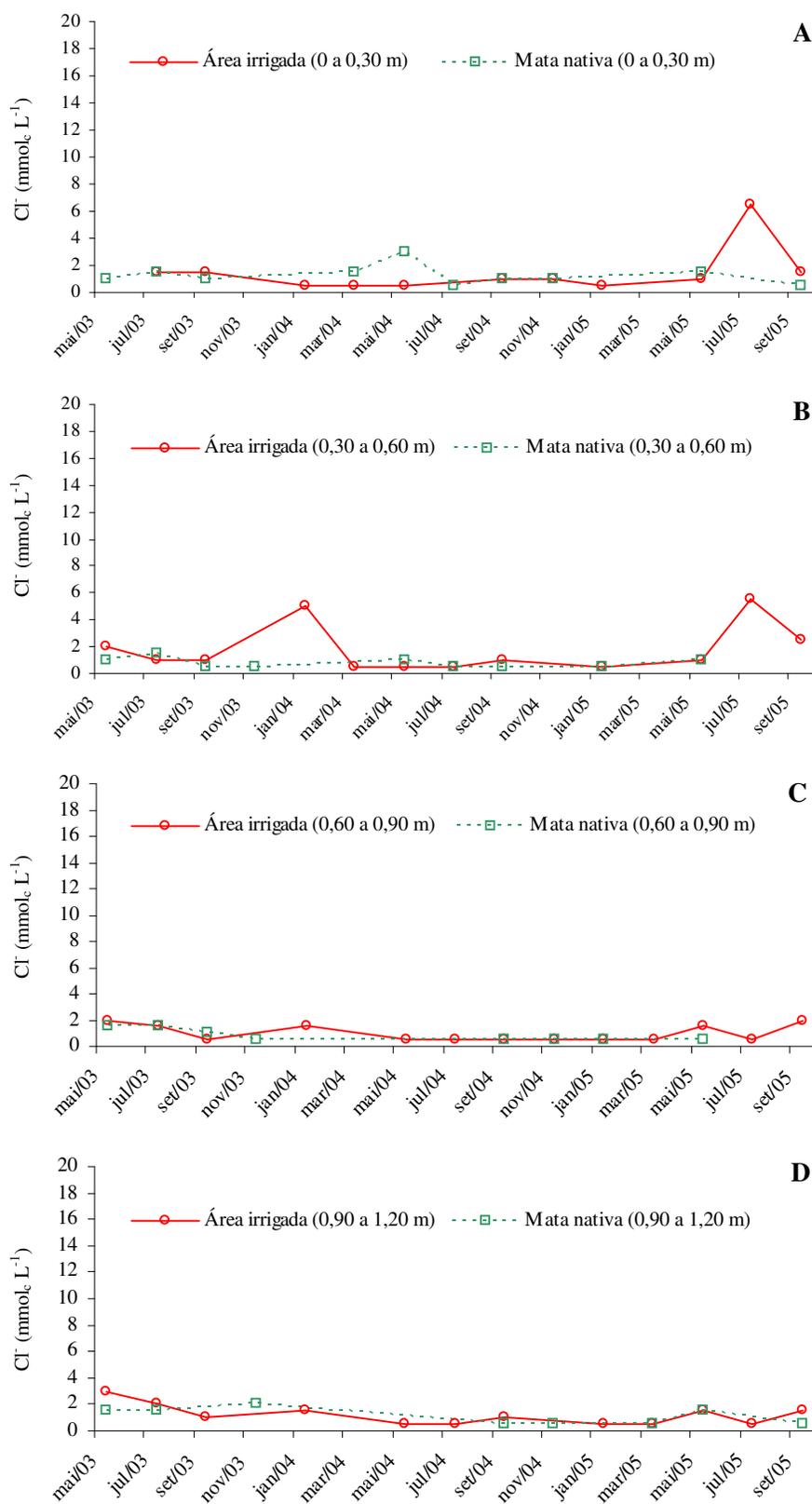


FIGURA 12 – Variação temporal do íon cloreto no extrato solo:água 1:1 na área estudada no DIPAN, Ceará.

Incrementos na área foram verificados a baixos percentuais (Tabela 13). De acordo com a referida Tabela constatou-se que os maiores incrementos foram de 200,0% e ocorreram nos meses de maio e setembro. Sendo que para o mês de setembro ele aconteceu na camada de 0,90 a 1,20 m, em consequência de que o cloro no solo não é absorvido pelas argilas de carga negativa e, por isso está sujeito a ser facilmente lixiviado pelas águas das chuvas ou das irrigações (COELHO, 1973). Valores negativos também foram observados em todas as camadas indicando que em algumas coletas os valores de mata nativa foram superiores aos da área irrigada.

TABELA 13 – Incrementos do íon cloreto nas camadas do solo irrigado em relação à mata nativa na área estudada do DIPAN, Ceará.

Mês	INCREMENTOS (%)			
	0 a 0,30 m	0,30 a 0,60 m	0,60 a 0,90 m	0,90 a 1,20 m
mai/03	-100,00	100,00	33,33	100,00
jul/03*	-	-33,33	-	33,00
set/03*	50,00	100,00	-50,00	-
nov/03*	-	-	-100,00	-100,00
jan/04*	-	-100,00	-	-
mar/04*	-66,67	-	-	-
mai/04*	-83,33	-	-	-
jul/04*	-100,00	-50,00	-	-
set/04*	-	-	-	100,00
nov/04*	-	100,00	-	-100,00
jan/05*	-	-	-	-
mar/05*	-	-	-	-
mai/05*	-33,33	-	200,00	-
jul/05*	-	-	-	-
set/05*	200,00	-	-	200,00

FONTE: Elaboração própria.

* Valores de Na⁺ não detectados (nd).

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos através deste estudo, pode-se concluir que:

- As concentrações dos íons analisados foram maiores na área irrigada do que na mata nativa;
- Mesmo durante a estação chuvosa o *status* salino do solo na área irrigada continuou apresentando uma diferença altamente significativa ($\alpha = 0,01$) com relação ao solo da mata nativa, expressando a necessidade de uma mudança do manejo da irrigação;
- O Ca^{2+} foi o íon que apresentou maior incremento no solo da área irrigada em relação ao da mata nativa;
- O íon Mg^{2+} foi o que apresentou maior influência nos valores de condutividade elétrica, exceto na camada superior onde o Na^+ destacou-se com maior expressividade.

ABSTRACT

The main goal of this work was to evaluate the addition of the salts in the soil, under irrigation condition with another one, in an undisturbed land (MN) as well as it to identify the rainfall effect in the salt lixiviation and the irrigation impact due to salts addition to the soil. Also, it was evaluated the ion influence on the soil electrical conductivity. Study was carried in the grapevine orchard located at the Distrito de Irrigação do Perímetro Araras Norte (DIPAN), Ceará, Brazil. The orchard has been under irrigation condition since year 2001. Water requirement was applied by microaspersion irrigation system and the irrigation water was classified as C₁S₂. . To monitoring the salt interchange in the soil profile, samples were taken to layers of 0 – 0.30 m, 0.30 – 0.60 m, 0.60 – 0.90 m e 0.90 – 1.20 m. The sampled period went from May/2003 to September/2005, in a total of 120 soil samples. In this work was considered the following attributes: electrical conductivity and the ions Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ e Cl⁻. To evaluated irrigation impact and rainfall of the salt leaching was applied the independent-samples t-test for equality of means at 1% level of significance. To evaluate relation between main ion and electrical conductivity was used graphics relationship both parameters to layers of 0 – 0.30 m, 0.30 – 0.60 m, 0.60 – 0.90 m and 0.90 – 1.20 m. Results showed that salt concentration to all depths its high at the site irrigation condition than that under undisturbed land (MN). The ion Mg²⁺ play large influence for elevation the CE values and the ion Cl⁻ was lower in the upper layers. The ion that registered largest increasing was the Ca²⁺, getting to register values equal to 23,130%. Rainfall was not enough to leach the salts added to soil by irrigation a 1% level of significance, the environmental impact due to irrigation showed level of significance extremely high. This fact express salt risk to site under irrigation condition.

Key Words: Total Salts, Leaching, Environmental Impact

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAC – AGRICULTURE AND AGRI-FOOD CANADA. **Pairie Agricultural Landscapes: A Land Resource Review**. Disponível em: <<http://www.agr.gc.ca/pfra/pub/pallande.htm>>. Acesso em: 10 fev. 2006.

AGUIAR NETO, A. O.; MACHADO, R.; BARRETO, M. C. V. Diagnóstico do processo de salino-sodificação no Perímetro Irrigado Jabiberi – SE. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 15., Teresina. **Anais...** Piauí: ABID, 2005. (CD ROM).

ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; NESS, R. L. L.; CRUZ, M. G. M. Modelagem da concentração de íons no extrato de saturação do solo, na Região da Chapada do Apodi. **Revista Ciência Agronômica**, v.33, n.2, p.5-12, 2002.

ANDRADE, E. M.; D'ALMEIDA, D. M. B.; MEIRELES, A. C. M.; LEMOS FILHO, L. C. A.; ARRUDA, F. E. R. Evolução da concentração iônica da solução do solo em áreas irrigadas na Chapada do Apodi, CE. **Revista Ciência Agronômica**, v.35, n.1, p.9-16, 2004.

AQUINO, B. F. **Adubos e Adubação**. Fortaleza: UFC. 2003. 241p. (Material Didático).

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Revisado. trad: Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Damasceno, F. A. V. Campina Grande: UFPB 1999. 218p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem 29).

BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G. A irrigação no mundo. In: BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G.; BOLFE, E. L. **Irrigação e drenagem na empresa agrícola**. 1.ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. cap.1, p.13-45.

BEN-HUR, M.; LI, F. H.; KEREN, R.; RAVINA, I.; SHALIT, G. Water and salt distribution in a field irrigated with marginal water under high water table conditions. **Soil Science American Journal**. v.65, p.191-198, 2001.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 7ª edição. UFV, Imprensa Universitária, 2005, 611p.

BEZERRA, F. **A terra e a irrigação no nordeste**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 1996. 116p.

CARNEIRO NETO, J. A. **Índice de sustentabilidade ambiental para os perímetros irrigados Ayres de Sousa e Araras Norte**. Fortaleza, 2005. 96f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

COELHO, F. S. **Fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 384p.

CRISTOFIDIS, D. **Recursos hídricos e irrigação no Brasil**. Brasília: CDS-UnB, 1999.

CRUZ, M. G. M **Avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas do Distrito de Irrigação Jaguaribe – Apodi**. Fortaleza, 2001. 62f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.

DAKER, A. **A Água na agricultura, Irrigação e Drenagem**. Vol. 3, 6ª edição. Rio de Janeiro. Freitas Bastos, 1984. 543p.

D'ALMEIDA, D. M. B. A. **Risco de salinização de um cambissolo na Chapada do Apodi – CE**. Fortaleza, 2002. 68 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Projeto Araras Norte. Volume I – Síntese, Marco de Referência, O DNOCS**. [S.D.], 182p.

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (Fortaleza/CE). **Perímetro Irrigado Araras Norte**. Disponível em: <http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perímetros_irrigados/ce/araras_norte.html> Acesso em: 23 mai. 2005.

DORAN, J. W.; JONES, A. J.; ARSHAD, M. S.; GILLEY, J. E. **Determinants of soil quality and health**. In: SYNPOSIUM ON SOIL QUALITY AND EROSION INTERACTION. Ankeny, Soil Water Conservation Society, 1997. 31p.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>> Acesso em: 6 mar. 2006.

FASSENDER, H. W.; BORNEMISZA, E. **Química del suelos con énfasis en suelos de América Latina**. 2ª ed. San José, Costa Rica, IICA, 1987. 420p.

FERREIRA, P. A. Aspectos físico-químicos do solo. In: Gheyi, H. R.; Queiroz, J. E.; Medeiros, J. F. de (Ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. p.27-66.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Monitoramento hidroambiental das chuvas**. Disponível em: <<http://www.funceme.br/DIPAN/index.htm>> Acesso em: 10 mai. 2005.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Classificações técnicas e a representação cartográfica dos solos do estado do Ceará**. Disponível em: <<http://www.funceme.br/DERAN/index.htm>> Acesso em: 23 fev. 2006.

GHEYI, H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T. S. de.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: UFC, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2000. p.329-346.

GHEYI, H. R.; LUZ, M. J. S.; BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G. Qualidade da água para irrigação. In: BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G.; BOLFE, E. L. **Irrigação e drenagem na empresa agrícola**. 1.ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. p.331-377.

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1997.

GOMES, M. A. F. Agricultura, qualidade do solo e suas implicações para a saúde. **Revista O Biológico**, São Paulo, v.63, n.1, p.55-56, 2001.

GUIMARÃES, F. V. A. **Respostas fisiológicas e bioquímicas em plantas de feijão-de-corda cv Pitiúba submetidas ao estresse com NaCl em diferentes concentrações de CaCl₂ e CaSO₄**. Fortaleza, 2005. 176p. Tese (Doutorado em Bioquímica Vegetal) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

HELWEG, O. J. M.; ASCE, D. A.; ASCE, A. M. Estimating irrigation water quantity and quality. **Journal of Irrigation and Drainage**, v.157, p.175-188, 1980.

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A. Qualidade da água para irrigação In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. de (Ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. p.137-169.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2000 – Resultados**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>> Acesso em: 12 fev. 2006.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solos-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.

LACERDA, C. F. **Efeitos da salinidade no desenvolvimento e composição mineral do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e utilização do Ca²⁺ para minorar tais efeitos**. Fortaleza, 1995. 87p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, UFC.

LIMA, L. A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. p.113-134.

MACÊDO, L. S.; MENINO, I. B. Monitoramento de sais na água e nos solos irrigados do projeto Vereda Grande, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.2, n.1, p.47-51, 1998.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE, J. C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. 200p.

MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; CRUZ, M. G. M. da.; LEMOS FILHO, L. C. A. Avaliação do impacto da fertirrigação em cambissolos na chapada do Apodi, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.34, n.2, p.207-212, 2003.

MELLONI, R.; SILVA, F. A. de M.; CARVLHO, J. G. de. Cálcio, magnésio e potássio como amenizadores dos efeitos da salinidade sobre a nutrição mineral e o crescimento de mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*). **CERNE**, v.6, n.2, p.35-40, 2000.

MESQUITA, T. B. de. **Caracterização da qualidade das águas empregadas nos distritos irrigados da Bacia do Acaraú**. Fortaleza, 2004. 62f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

NORFLEET, M. L.; DITZLER, C. A.; PUCKETT, W. E.; GROSSMAN, R. B.; SHAW, J. N. Soil quality and its relationship to pedology. **Soil Science American Journal**. USA, v.168, n.3, 2003, p.149-155.

OTUTUMI, A. T.; OLIVEIRA, T. S. de.; MENDONÇA, E. S.; LIMA, P. J. B. F. Qualidade dos solos em sistemas de cultivo agroecológicos no município de Tauá-CE. In: MENDONÇA, E. S.; XAVIER, F. A. S.; LIBARDI, P. L.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; OLIVEIRA, T. S. **Solo e água: aspectos de uso e manejo com ênfase no semi-árido nordestino**. Fortaleza: UFC, 2004. p.1-30.

PACHECO, E. P.; BARRETO, A. N. Manejo e conservação do solo. In: BARRETO, N. A.; SILVA, A. A. G.; BOLFE, E. L. **Irrigação e drenagem na empresa agrícola**. 1.ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. cap.7, p.240-290.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperación del suelos salinos**. Madrid: Editora Agrícola Española, 1978. 521p.

PEREIRA, O. J.; MATIAS FILHO, J.; ANDRADE, E. M. Variação do teor de sais no solo irrigado por aspersão e ação da chuva na sua lixiviação. **Ciência Agronômica**, v.17, n.1, p.61-65, 1986.

QUEIROZ, J. E.; GONÇALVES, A. C.; SOUTO, J. S.; FOLEGATTI, M. V. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. de (Ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. p.69-108.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1991. 343p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188p.

RICHARDS, L. A. (ed). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington D. C.: U. S. Salinity Laboratory., 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

RHOADES, J. D. **Drainage for salinity control**. In: VAN SCHILFGAARDE, J. (Ed.). **Drainage for Agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1974. 700p. (Agronomy, 17).

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Trad. GHEYI, H. R.; SOUSA, J. R. de.; QUEIROZ, J. E. Campina Grande: UFPB, 2000.

SANS, L. M. A. Avaliação da qualidade do solo. In: OLIVEIRA, T. S. de.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: UFC, Viçosa: SBCS, 2000. p.214-232.

SANTANA, D. P.; BAHIA FILHO, A. F. C.; Indicadores de qualidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27. Planaltina. **Anais...** Distrito Federal: EMBRAPA – CPAC/SBCS, 1999. (CD-ROM).

SANTOS, J. G. R. **A salinidade na agricultura irrigada: teoria e prática**. Campina Grande – PB: [s.n.t.], 2000. 171p.

SHAINBERG, I. Salinity of soils – Effects of salinity on the physics and chemistry of soils. In: POLJAKOFF – MAYBER, A.; GALE, J. eds. **Plants in saline environments**. New York Heidelberg Berlim, Springer – Verlag, 1975. p.39 – 55.

SILVA, E. F.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; NESS, R. L. L. A qualidade da água de irrigação e atributos físicos do solo: o caso de um neossolo flúvico. In: MENDONÇA, E. S.; XAVIER, F. A. S.; LIBARDI, P. L.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; OLIVEIRA, T. S. **Solo e água: aspectos de uso e manejo com ênfase no semi-árido nordestino**. Fortaleza: UFC, 2004. p.274-297.

SIMEONOV, V.; STRATIS, J. A.; SAMARA, C.; ZACHARIADIS, G.; VOUTSA, D.; ANTHEMIDIS, A.; SOFONIOU, M.; KOUIMTZIS, TH. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. **Water Research**, v.37, p.4119-4124, 2003.

SMEDEMA, L. K.; SHIATI, K. Irrigation and salinity: a perspective review of the salinity hazards of irrigation development in the arid zone. **Irrigation and Drainage Systems**, Netherlands, v.16, n.2, p.161-174, 2002.

SOUZA, L. D.; GISBERT – BLANQUER, J. M.; GOMEZ MOYA, L. D. Lixiviação de sais em solo salino-sódico irrigado por inundação e tratado com polímeros sintéticos. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., Fortaleza. **Anais...** Ceará: ABID, 2001, p.183-187.

SSSA – SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **Statement of soil quality**. AGRONOMY NEWS, JUNE, 1995, SSSA, MADISON, WISCONSIN.

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. **Relatório básico para o projeto de irrigação araras**. Recife: Setor de impressão da divisão de geologia. 1971. 182p.

TANJI, K. K. Nature and extent of agricultural salinity. In: AGRICULTURAL SALINITY ASSESSMENT AND MANAGEMENT, Tanji, K. K., ASCE manuals and reports on engineering practice: New York, N. Y., 1990. 619p. (p.1-16).

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. do. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1980. 374p.

Apêndices

APÊNDICE A – Valores de CE (dS m^{-1}) do solo da área irrigada em estudo no DIPAN, Ceará.

Mês	Camada (m)			
	0 a 0,30	0,30 a 0,60	0,60 a 0,90	0,90 a 1,20
mai/03	0,54	0,64	0,51	0,47
jul/03	0,44	0,57	0,42	0,44
set/03	0,72	0,36	0,22	0,27
nov/03	0,48	0,45	0,37	0,55
jan/04	0,58	1,15	0,98	1,03
mar/04	0,51	0,55	0,51	0,46
mai/04	0,58	0,50	0,59	0,55
jul/04	0,40	0,34	0,39	0,46
set/04	0,84	0,54	0,58	0,58
nov/04	0,68	0,45	0,31	0,28
jan/05	2,16	0,86	0,86	0,84
mar/05	0,82	0,58	0,80	0,77
mai/05	0,64	0,55	0,77	0,84
jul/05	1,96	1,40	0,74	0,75
set/05	1,26	1,20	1,28	1,02

APÊNDICE B – Valores de CE (dS m^{-1}) do solo da mata nativa em estudo no DIPAN, Ceará.

Mês	Camada (m)			
	0 a 0,30	0,30 a 0,60	0,60 a 0,90	0,90 a 1,20
mai/03	0,22	0,23	0,22	0,21
jul/03	0,20	0,18	0,15	0,16
set/03	0,20	0,17	0,15	0,15
nov/03	0,32	0,60	0,36	0,55
jan/04	0,25	0,18	0,19	0,19
mar/04	0,46	0,25	0,24	0,26
mai/04	0,34	0,42	0,24	0,18
jul/04	0,28	0,17	0,13	0,13
set/04	0,44	0,26	0,23	0,25
nov/04	0,38	0,29	0,48	0,44
jan/05	0,32	0,15	0,11	0,11
mar/05	0,21	0,14	0,19	0,11
mai/05	0,29	0,18	0,35	0,19
jul/05	0,32	0,17	0,10	0,09
set/05	0,41	0,13	0,13	0,10

APÊNDICE C – Valores de Ca^{2+} ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) do solo da área irrigada em estudo no DIPAN,
Ceará.

Mês	Camada (m)			
	0 a 0,30	0,30 a 0,60	0,60 a 0,90	0,90 a 1,20
mai/03	0,95	0,93	1,01	1,45
jul/03	0,14	0,84	0,81	1,52
set/03	2,48	0,44	0,43	0,65
nov/03	1,43	0,79	1,64	1,55
jan/04	1,61	4,77	3,97	4,04
mar/04	1,37	1,42	1,17	1,12
mai/04	3,00	1,14	1,54	1,53
jul/04	0,76	0,09	0,41	1,37
set/04	2,60	0,46	0,67	1,61
nov/04	2,51	0,90	0,35	0,36
jan/05	9,68	2,85	2,56	3,17
mar/05	3,84	1,60	3,30	2,32
mai/05	2,19	1,12	1,47	1,62
jul/05	4,46	4,12	1,37	2,03
set/05	4,38	4,53	4,82	3,97

APÊNDICE D – Valores de Ca^{2+} ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) do solo da mata nativa em estudo no DIPAN,
Ceará.

Mês	Camada (m)			
	0 a 0,30	0,30 a 0,60	0,60 a 0,90	0,90 a 1,20
mai/03	0,26	0,45	0,69	0,79
jul/03	0,05	0,11	na	0,04
set/03	0,19	0,14	0,20	0,17
nov/03	1,00	1,71	0,93	2,19
jan/04	1,00	nd	1,13	0,46
mar/04	0,51	0,15	0,38	0,11
mai/04	1,08	1,97	0,32	nd
jul/04	0,54	0,33	0,03	-
set/04	0,09	nd	nd	nd
nov/04	nd	nd	0,17	0,06
jan/05	0,96	0,34	0,11	nd
mar/05	0,29	0,04	0,78	0,01
mai/05	0,48	0,22	1,52	0,04
jul/05	1,19	0,18	nd	nd
set/05	1,32	nd	nd	nd

APÊNDICE E – Valores de Mg^{2+} ($mmol_c L^{-1}$) do solo da área irrigada em estudo no DIPAN, Ceará.

Mês	Camada (m)			
	0 a 0,30	0,30 a 0,60	0,60 a 0,90	0,90 a 1,20
mai/03	0,79	0,77	0,61	0,59
jul/03	0,38	0,70	0,36	0,62
set/03	0,76	0,54	0,29	0,27
nov/03	0,71	0,44	0,59	0,51
jan/04	0,81	1,77	1,90	2,08
mar/04	0,67	0,70	0,70	0,41
mai/04	2,15	0,62	0,73	0,73
jul/04	0,50	0,26	0,44	0,67
set/04	2,93	0,36	0,97	0,72
nov/04	2,62	0,81	0,43	0,39
jan/05	8,40	2,57	1,78	1,83
mar/05	3,44	1,44	2,73	0,86
mai/05	1,32	1,34	1,52	1,29
jul/05	1,70	1,72	0,81	1,49
set/05	2,06	2,32	1,32	2,71

APÊNDICE F – Valores de Mg^{2+} ($mmol_c L^{-1}$) do solo da mata nativa em estudo no DIPAN,
Ceará.

Mês	Camada (m)			
	0 a 0,30	0,30 a 0,60	0,60 a 0,90	0,90 a 1,20
mai/03	0,42	0,18	0,31	0,24
jul/03	0,17	0,18	0,11	0,12
set/03	0,23	0,21	0,16	0,19
nov/03	0,64	1,34	0,48	0,65
jan/04	0,56	0,07	0,23	0,25
mar/04	0,36	0,11	0,19	0,07
mai/04	0,18	0,72	0,13	0,07
jul/04	0,52	0,28	0,13	-
set/04	0,18	0,04	0,02	0,18
nov/04	0,18	0,18	0,27	0,26
jan/05	0,75	0,20	0,33	0,06
mar/05	0,41	0,23	0,39	0,08
mai/05	0,47	0,23	0,42	0,12
jul/05	0,24	0,28	0,11	0,24
set/05	0,77	0,14	0,06	0,05

APÊNDICE G – Valores de Na^+ ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) do solo da área irrigada em estudo no DIPAN,
Ceará.

Mês	Camada (m)			
	0 a 0,30	0,30 a 0,60	0,60 a 0,90	0,90 a 1,20
mai/03	0,77	0,77	0,31	0,67
jul/03	0,77	0,83	0,68	0,81
set/03	0,83	0,67	0,61	0,62
nov/03	1,47	0,80	0,86	0,89
jan/04	0,87	1,34	1,41	1,37
mar/04	0,69	0,56	0,64	0,50
mai/04	0,37	0,40	0,39	0,50
jul/04	0,48	0,46	0,51	0,62
set/04	0,90	0,48	0,61	0,70
nov/04	0,63	0,47	0,31	0,33
jan/05	1,02	0,49	0,40	0,37
mar/05	0,26	0,23	0,34	0,35
mai/05	0,27	0,38	0,70	0,76
jul/05	0,74	0,40	0,28	0,37
set/05	0,61	0,41	0,52	0,63

APÊNDICE H – Valores de Na^+ ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) do solo da mata nativa em estudo no DIPAN,
Ceará.

Mês	Camada (m)			
	0 a 0,30	0,30 a 0,60	0,60 a 0,90	0,90 a 1,20
mai/03	0,32	0,75	0,73	0,70
jul/03	0,84	0,98	0,81	0,75
set/03	0,77	0,72	0,48	0,50
nov/03	0,43	1,03	1,25	1,84
jan/04	0,45	0,59	0,46	0,40
mar/04	0,98	0,73	0,57	0,43
mai/04	0,55	1,02	1,10	1,25
jul/04*	0,68	0,59	0,37	-
set/04	0,49	0,59	0,39	0,30
nov/04	0,25	0,26	0,26	0,39
jan/05	0,30	nd	nd	0,39
mar/05	0,46	0,44	0,35	0,41
mai/05	0,40	0,44	0,97	1,17
jul/05	0,44	0,67	0,42	0,29
set/05	0,71	0,56	0,73	0,59

APÊNDICE I – Valores de K^+ ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) do solo da área irrigada em estudo no DIPAN,
Ceará.

Mês	Camada (m)			
	0 a 0,30	0,30 a 0,60	0,60 a 0,90	0,90 a 1,20
mai/03	1,23	2,66	2,29	1,25
jul/03	1,89	2,16	1,10	0,67
set/03	2,14	1,35	0,80	0,51
nov/03	1,26	1,48	0,40	0,18
jan/04	3,63	3,43	1,65	1,83
mar/04	1,93	1,71	1,64	1,31
mai/04	1,56	1,78	1,89	1,37
jul/04	1,20	0,97	1,03	0,97
set/04	3,27	3,07	2,86	1,57
nov/04	1,74	1,57	1,21	0,97
jan/05	4,81	3,12	3,43	2,66
mar/05	3,43	2,10	2,09	3,43
mai/05	2,24	1,56	2,66	2,76
jul/05	9,97	5,63	2,97	2,86
set/05	4,81	3,12	3,27	2,66

APÊNDICE J – Valores de K^+ ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) do solo da mata nativa em estudo no DIPAN,
Ceará.

Mês	Camada (m)			
	0 a 0,30	0,30 a 0,60	0,60 a 0,90	0,90 a 1,20
mai/03	0,35	0,62	0,24	0,09
jul/03	0,23	0,10	0,14	0,13
set/03	0,26	0,11	0,09	0,20
nov/03	0,54	1,69	0,51	0,08
jan/04	0,28	0,72	0,72	0,37
mar/04	1,51	0,73	0,63	1,07
mai/04	0,48	0,50	0,34	0,12
jul/04	0,34	0,11	0,12	0,73
set/04	0,97	1,04	0,72	1,35
nov/04	0,69	0,68	1,18	2,21
jan/05	0,61	0,14	0,12	0,20
mar/05	0,34	0,09	0,09	0,06
mai/05	0,48	0,09	0,09	0,04
jul/05	0,40	0,15	0,11	0,13
set/05	0,55	0,14	0,08	0,04

APÊNDICE K – Valores de Cl^- ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) do solo da área irrigada em estudo no DIPAN,
Ceará.

Mês	Camada (m)			
	0 a 0,30	0,30 a 0,60	0,60 a 0,90	0,90 a 1,20
mai/03	nd	2,00	2,00	3,00
jul/03	1,50	1,00	1,50	2,00
set/03	1,50	1,00	0,50	1,00
nov/03	nd	nd	nd	nd
jan/04	0,50	5,00	1,50	1,50
mar/04	0,50	0,50	nd	nd
mai/04	0,50	0,50	0,50	0,50
jul/04	nd	0,50	0,50	0,50
set/04	1,00	1,00	0,50	1,00
nov/04	1,00	nd	0,50	nd
jan/05	0,50	0,50	0,50	0,50
mar/05	nd	nd	0,50	0,50
mai/05	1,00	1,00	1,50	1,50
jul/05	6,50	5,50	0,50	0,50
set/05	1,50	2,50	2,00	1,50

APÊNDICE L – Valores de Cl^- ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) do solo da mata nativa em estudo no DIPAN,
Ceará.

Mês	Camada (m)			
	0 a 0,30	0,30 a 0,60	0,60 a 0,90	0,90 a 1,20
mai/03	1,00	1,00	1,50	1,50
jul/03	1,50	1,50	1,50	1,50
set/03	1,00	0,50	1,00	nd
nov/03	nd	0,50	0,50	2,00
jan/04	nd	nd	nd	nd
mar/04	1,50	nd	nd	nd
mai/04	3,00	1,00	nd	nd
jul/04	0,50	0,50	nd	-
set/04	1,00	0,50	0,50	0,50
nov/04	1,00	nd	0,50	0,50
jan/05	nd	0,50	0,50	nd
mar/05	nd	nd	nd	0,50
mai/05	1,50	1,00	0,50	1,50
jul/05	nd	nd	nd	nd
set/05	0,50	nd	nd	0,50