

PAULO MEDEIROS DOS SANTOS

PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM NEOSSOLO
QUARTZARÊNICO SUBMETIDO A LÂMINAS DE LIXIVIAÇÃO

RECIFE - PE

2009

PAULO MEDEIROS DOS SANTOS

PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM NEOSSOLO
QUARTZARÊNICO SUBMETIDO A LÂMINAS DE LIXIVIAÇÃO

Tese apresentada à Universidade Federal Rural
de Pernambuco, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo,
para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

ORIENTADOR:

Prof^a Maria de Fatima Cavalcanti Barros, D. Sc – UFRPE

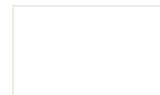
CONSELHEIROS:

Pesquisador Davi José Silva, D. Sc. – EMBRAPA SEMI-ÁRIDO

Prof. Marcus Metri Correa, D. Sc. – UFRPE

RECIFE - PE

2009



Ficha catalográfica

S237p Santos, Paulo Medeiros dos
Propriedades físicas e químicas de um neossolo
quartzarênico submetido a lâminas de lixiviação / Paulo
Medeiros dos Santos. -- 2009.
66 f. : il.

Orientadora: Maria de Fátima Cavalcanti Barros.
Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de
Agronomia.
Inclui referências e anexo.

CDD 631.4

- 1. Neossolo quartzarênico**
- 2. Lâminas de lixiviação**
- 3. Salinidade**
- 4. Condutividade elétrica**
- 5. Dispersão**
- 7. Drenagem**
- I. Barros, Maria de Fátima Cavalcanti**
- II. Título**

PAULO MEDEIROS DOS SANTOS

PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM NEOSSOLO
QUARTZARÊNICO SUBMETIDO A LÂMINAS DE LIXIVIAÇÃO

Tese apresentada à Universidade Federal Rural
de Pernambuco, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo,
para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Aprovada, em 27 de fevereiro de 2009

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof^a. Maria de Fatima Cavalcanti Barros, D. Sc
(Orientador)

Davi José Silva, D. Sc
(Conselheiro)

Prof. Marcus Metri Correa, D. Sc.
(Conselheiro)

Hans Raj Gheyi, D. Sc

Maria Sonia Lopes da Silva, D. Sc.

**“Combati o bom combate, percorri o caminho
e guardei a fé”**

II Tm 4,7

AGRADECIMENTOS

A Deus, Pai bondoso, Senhor de toda a ciência e do universo.

Aos meus pais, Bival e Maria, a minha irmã, Betânia e a minha esposa, Adriane, pelo amor, compreensão e apoio em todas as etapas dessa jornada.

À Professora Maria de Fatima Cavalcanti Barros pela orientação, atenção e apoio durante o curso.

Ao amigo Davi José Silva e família, pelos momentos de descontração, consideração, amizade e orientações.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial ao Professor Mateus Rosas Ribeiro, referência de dedicação ao trabalho e ensino na área de Ciência do Solo.

Aos colegas de curso Edvan, Felizarda, Cícero, Josângela, Valdemir, Daniela Rodrigues, Karina, professor Hernandes e professor Romero Falcão, bem como aos estudantes de graduação Airon, Jefferson e Renata pela convivência durante os momentos de descontração e de trabalho.

Aos funcionários Socorro, Josué, Eliane, Cris e “seu Noca” pela atenção e apoio prestados durante o curso. A “Cleto”, sempre presente no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, apoiando aulas e trabalhos de pesquisa.

A Senhora Joana, ao Senhor “Zé Grande” e a Flávio do Distrito de Irrigação Aplolônio Salles, situado em Petrolândia, Pernambuco.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de doutorado e profissionalismo como gestor de recursos e de informações na área de pesquisa, ciência e tecnologia.

À Estação Experimental de Carpina pela permissão de uso do laboratório e disponibilização de recursos para parte das análises químicas.

Ao Instituto Federal do Maranhão, Campus São Luís – Maracanã, pelas eventuais liberações para realização dos trabalhos finais do curso de doutorado.

A todos,

Obrigado.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Salinização dos solos	3
2.2 Relação entre salinidade e culturas agrícolas	5
2.3 Recuperação de solos afetados por sais	8
2.4 Alterações das propriedades físicas do solo associadas à lixiviação	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 Descrição da área	14
3.2 Caracterização do solo e da água	15
3.3 Etapas	18
3.3.1 Monitoramento da salinidade em campo	18
3.3.2 Experimento em laboratório	19
3.3.2.1 Descrição dos tratamentos do experimento em laboratório	19
3.3.2.2 Preparo das unidades experimentais	19
3.3.2.3 Condução do experimento	20
3.3.2.4 Análise estatística do experimento em laboratório	21

	Página
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1 Monitoramento da salinidade do solo	22
4.1.1 Área sob condição de sequeiro	24
4.1.2 Área sob condição de irrigação por aspersão convencional	27
4.2 Experimento em laboratório	30
4.2.1 Características do solo no estado de saturação	30
4.2.2 Condutividade hidráulica saturada durante a lixiviação do solo	32
4.2.3 Características do solo após a lixiviação	35
4.2.3.1 CE, cátions solúveis e RAS	35
a) Camada 0-30 cm	35
b) Camada 30-60 cm	41
4.2.3.2 Argila dispersa em água (ADA) e grau de dispersão (GD)	46
a) Camada 0-30 cm	46
b) Camada 30-60 cm	47
4.2.3 Condutividade elétrica da água de drenagem (CE_{ad})	50
5. CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXO	64

RESUMO

SANTOS, Paulo Medeiros dos, D.Sc; Universidade Federal Rural de Pernambuco; fevereiro de 2009; **Propriedades físicas e químicas de um Neossolo Quartzarênico submetido a lâminas de lixiviação**; Orientador: Maria de Fatima Cavalcanti Barros; Conselheiros: Davi José Silva e Marcus Metri Correia.

Com o objetivo de avaliação da salinidade e da influência da aplicação de lâminas de lixiviação em relação a propriedades do solo e à água de drenagem, realizou-se um trabalho de pesquisa desenvolvido em duas etapas. Em campo, monitorando a salinidade em uma área de sequeiro e em outra sob condição de irrigação no Distrito de Irrigação Apolônio Salles, município de Petrolândia – PE. Em laboratório, com experimento em delineamento de bloco ao acaso sob arranjo fatorial 2 x 5, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de duas condições de exploração agrícola (solo coletado de área de sequeiro e solo coletado de área irrigada) e cinco níveis de lâminas de lixiviação (1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 VP). Em relação ao monitoramento, foi verificado o aumento do risco de sodicidade na camada de 0-30 cm do solo durante o período de escassez de chuvas. Para o experimento em laboratório, a lâmina de 1,5 VP, aplicada por inundação contínua, corrigiu a salinidade e proporcionou a menor dispersão de argila na camada de 0-30 cm para as condições de exploração agrícola. As frações finais de 0,25 VP, relativas à coleta da água de drenagem, durante a aplicação das lâminas de lixiviação de 2,50 e 3,00 VP apresentou as menores concentrações de sais solúveis.

ABSTRACT

SANTOS, Paulo Medeiros dos, D.Sc; Universidade Federal Rural de Pernambuco; fevereiro de 2009; **Physical and chemical properties of a Quartzarenic Neosol submitted the leaching depths**; Adviser: Maria de Fatima Cavalcanti Barros; Council members: Davi José Silva e Marcus Metri Correia.

With the aim of assessing the influence of salinity and the application of depths of leaching on soil properties and water drainage, there was a work of research developed in two stages. In the field, monitoring the salinity in an area of dry land and in another subject of irrigation in the District Irrigation Apolônio Salles, municipality of Petrolândia - PE. In the laboratory, to experiment in a randomized block design in 2 x 5 factorial arrangement with four replications. Treatments consisted of two conditions for the farm (soil collected from areas dry land and soil collected from irrigated area) and five levels of depths of leaching (1.0, 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0 PV). For the monitoring, as the increased risk of sodicity in the 0-30 cm layer of soil during the period of scarcity of rain. For the experiment in the laboratory, the depth of 1.5 PV, administered by continuous flooding, salinity and has corrected the less dispersion of the clay layer of 0-30 cm for the conditions of farming. The final fractions of 0.25 PV, for the collection of drainage water during the application of layers of leaching of 2.50 and 3.00 PV presented the lowest concentrations of soluble salts.

1. INTRODUÇÃO

No Projeto de Irrigação Apolônio Salles, localizado no município de Petrolândia – PE, no semi-árido de Pernambuco, nos últimos dez anos, tem sido verificada redução de produtividade agrícola. Por esse motivo muitos dos lotes foram considerados área de descarte pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF) e parte deles tem sido abandonada pelos agricultores. Considerando estimativa de investimento equivalente a 15 mil dólares por hectare efetuado em áreas irrigadas (Barros, 2001), é justificado o acompanhamento, o diagnóstico das causas de redução da produtividade agrícola bem como a formulação de estratégias de prevenção das causas e a recuperação das áreas problemáticas.

Manejos inadequados de irrigação e elevação do lençol freático são verificados na área do projeto de irrigação. Vários perímetros irrigados do Nordeste e no Estado de Pernambuco sofrem com o processo de salinização dos solos, devido ao emprego inadequado da irrigação associado à ausência ou ineficiência da drenagem do solo (Ferreira et al., 2006; Barros et al., 2005; Oliveira et al., 2002).

Por se tratar de um problema limitado à região semi-árida do país e pela abundância de terras com aptidão agrícola, os solos dos perímetros de irrigação permanecem abandonados, em evidente flagrante de desperdício de recursos públicos e de danos ao meio ambiente.

Redução da infiltração da água no solo, formação de horizontes fortemente estruturados, encrostamento da camada superficial do solo, aumento da erosão e a redução da qualidade da água dos mananciais são exemplos de problemas relacionados ao agravamento do processo de salinização, sendo associado ao aumento da concentração do sódio trocável do solo.

O processo comumente empregado para remoção do excesso de sais solúveis é a lixiviação do perfil do solo. É efetuada pela aplicação de água em quantidade suficiente para remover os sais até condutos de sistema de drenagem. O número da aplicação de lâminas de lixiviação depende do grau de salinidade, dos tipos de sais, da qualidade da água de irrigação, da profundidade que os sais devem ser lixiviados e das características físico-químicas do solo.

Os modelos matemáticos para correção da salinidade podem não ser adequados às características dos solos de ocorrência na região semi-árida brasileira. Em caso de emprego desses modelos, existe a possibilidade da ineficiência da lixiviação ou o desperdício de recursos hídricos e energéticos, podendo contribuir para a degradação do meio ambiente e maiores gastos para recuperação da fertilidade dos solos submetidos ao processo de recuperação.

O estudo da aplicação de lâminas de lixiviação baseado em propriedades físicas do solo a ser corrigido possibilita um melhor uso dos recursos naturais e financeiros. O ideal é instalar e conduzir experimentos dessa natureza nos locais de ocorrência da salinização, entretanto deficiências de recursos financeiros e humanos não permitem a constância nem a sistematização desses trabalhos.

O monitoramento, coleta de solos afetados por sais e montagem de experimentos em ambientes controlados representam etapas precedentes aos testes de campo. A maior facilidade de execução e a menor necessidade de recursos financeiros permitem diagnósticos e sistematizações preliminares a respeito do processo de correção dos solos afetados por sais.

Ainda assim, na literatura nacional, são poucas as informações a respeito da recuperação de solos salinos, das possíveis modificações das suas propriedades químicas e físicas e do comportamento de culturas após a aplicação de lâminas de lixiviação de sais.

Os objetivos do presente trabalho foram:

- Monitorar a concentração de sais, os teores dos cátions solúveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ e a relação de adsorção de sódio (RAS) nas camadas de 0-30 cm e de 30-60 cm em áreas na condição de sequeiro e sob irrigação do Distrito de Irrigação Apolônio Salles, em Petrolândia – PE;

- Testar a influência das lâminas de lixiviação sobre a recuperação da camada de 0-30 cm de um solo salino coletado de áreas de sequeiro e sob irrigação do Distrito de Irrigação Apolônio Salles;

- Avaliar o efeito das lâminas de lixiviação sobre as propriedades químicas e físicas das camadas de 0-30 e de 30-60 cm do solo coletado das áreas de sequeiro e sob irrigação, submetidas ao monitoramento;

- Avaliar o comportamento da condutividade hidráulica saturada do solo e da concentração de sais solúveis da água de drenagem obtidas durante o processo de lixiviação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Salinização dos solos

O processo de acumulação de sais solúveis no solo a um nível de concentração que afeta a produção agrícola, o equilíbrio ambiental e a prosperidade econômica é conhecido como salinização (Rengasamy, 2006). Tradicionalmente é classificada como primária quando é desencadeada pela interação entre elementos geológicos, geomorfológicos e climáticos e como secundária também qualificada como salinização induzida pelas ações antropogênicas.

A principal origem dos sais solúveis são os minerais primários, cuja intemperização libera íons para o solo. Os cátions e ânions disponibilizados podem percolar para o lençol freático, serem transportados por escoamento superficial para as áreas de cota reduzida ou acumulados nos solos de baixa permeabilidade, influenciados pelo regime climático da região e situação topográfica dos solos na paisagem (Oliveira, 1997; Barros, 2001).

No semi-árido da Austrália, por exemplo, os sais, como o cloreto de sódio, ocorrem naturalmente em elevadas concentrações nos subsolos da maior parte das terras agrícolas. A maioria dos sais acumulados é disponibilizada pela ação do intemperismo sobre os sedimentos de origem marinha, que são continuamente transportados pelos ventos e pelas chuvas em pequenas quantidades a partir dos oceanos em direção ao interior do continente (Pannell & Ewing, 2006).

A salinização natural ou primária de sais também pode ocorrer em menor escala em regiões litorâneas e de clima úmido, especificamente em áreas com cotas muito próximas a do nível do mar, pela intrusão da água das marés em solos de drenagem ineficiente (Valladares & Faria, 2004). Os solos indiscriminados de mangue são exemplos de solos afetados por sais na zona litorânea de todos os Estados da região Nordeste do Brasil, porém de pouca representatividade segundo Barros (2001).

A ação do homem, que implica na chamada salinização secundária, em regiões não irrigadas também contribui para o processo de acumulação de sais no

solo. Segundo Pannel & Ewing (2006), a substituição da vegetação nativa por culturas anuais e por pastagens na Austrália, alterou o equilíbrio do ciclo hidrológico estabelecido durante centenas de anos para o nível da água subterrânea, contribuindo para sua ascensão e para a mobilização de sais solúveis estocados naturalmente nos solos do país.

Resultados verificados por Ahmad et al (2003) indicam que a elevada taxa de evapotranspiração de algumas espécies de plantas pode alterar o balanço hídrico do solo e parece contribuir para a acumulação de sais solúveis na camada próxima ao sistema radicular daqueles vegetais. Segundo Corwin et al. (2007), a evapotranspiração é o principal mecanismo causador da acumulação de sais em solos situados em áreas irrigadas.

Outras atividades antrópicas também influenciam a ocorrência da salinidade dos solos, como, por exemplo, a construção de represas bem como a instalação de empresas extrativistas relacionadas à exploração comercial de sal nas áreas litorâneas da Tailândia (Pannel & Ewing, 2006).

A agricultura irrigada é considerada como uma das atividades antrópicas de maior potencial quanto ao risco de salinização secundária dos solos, principalmente em regiões áridas e semi-áridas (Ferreira et al., 2006). Em se tratando de agricultura irrigada e da região Nordeste do Brasil, o risco de salinização é agravado tanto pelo tipo de sistema de irrigação, muitas vezes inadequado às características do solo, quanto pelo despreparo do irrigante que ignora o manejo adequado da irrigação (Valladares & Faria, 2004; Silveira et al., 2008).

Na região do sub-médio São Francisco, do Estado Pernambuco, foi verificada a ocorrência de horizontes adensados do tipo fragipã e duripã em Argissolos dos projetos de irrigação Brígida e Caraíbas (Amaral et al., 2007). Os autores citam que essa limitação associada ao manejo incorreto da irrigação, ocasiona a elevação do lençol freático e aumento do risco de salinização dos solos. Problemas de salinização foram indicados por Aguiar Netto et al. (2006) em relação aos perímetros irrigados do Bebedouro e Nilo Coelho, ambos localizados no sub-médio São Francisco em Pernambuco. Na região do baixo São Francisco foi constatado aumento da concentração de sais solúveis dos solos do perímetro irrigado Califórnia, nos municípios de Canindé de São Francisco e Poço Redondo, Estado de Sergipe (Aguiar Netto et al., 2007).

Independente da classificação tradicional do processo de acumulação de sais, em salinização natural (primária) ou por ações antropogênicas (secundária), Rengasamy (2006) discrimina que a salinidade pode ocorrer:

a) Em áreas de descarga das bacias hidrográficas onde há ascensão da água subterrânea. Nesse caso, os sais presentes na superfície do solo são dissolvidos quando em contato com a água proveniente do subsolo que ascende, naquelas áreas de cotas reduzidas, condicionada pela taxa de evapotranspiração. A concentração de sais na camada superficial do solo é elevada quando a água do subsolo atinge 1,5 metros ou menos de profundidade.

b) Em locais onde o lençol freático é profundo e com solos de reduzida permeabilidade. Os sais solúveis são introduzidos e acumulados no perfil do solo devido ao aporte de sedimentos transportados pelos ventos, pela quantidade da precipitação pluviométrica ocorrida na região e pela intensidade do intemperismo sobre rochas e minerais. A baixa permeabilidade do solo pode contribuir para a acumulação de sais tanto superficialmente quanto em profundidade, afetando a produtividade agrícola. Em zonas de clima mais seco, os sais acumulados são geralmente encontrados nas camadas mais profundas do solo.

c) Em áreas irrigadas, sendo os sais introduzidos pela água de irrigação e concentrados na zona radicular das plantas por causa da insuficiência de lixiviação. Água de irrigação de má qualidade, camadas do solo com baixa condutividade hidráulica e elevada evaporação aceleram o processo de salinização em áreas irrigadas. Uso de efluentes altamente salinos e manejo impróprio do solo e da drenagem aumentam o risco de salinidade em perímetros irrigados. Em muitas regiões irrigadas, a interação entre a água do lençol freático e o solo próximo da zona radicular das plantas pode constituir o problema de salinização.

2. 2 Relação entre salinidade e culturas agrícolas

A caracterização citada por Richards (1954) para classificação de solos afetados por sais adota valores de condutividade elétrica do extrato (CE) da pasta de saturação a 25 °C, de percentagem de sódio trocável (PST) e de pH como

critérios para separação dos grupos. Tradicionalmente quando $CE \geq 4 \text{ dS m}^{-1}$, $PST < 15\%$ e $pH < 8,5$, o solo é considerado salino; se $CE \geq 4 \text{ dS m}^{-1}$, $PST > 15\%$ e pH menor ou igual a 8,5, o solo é considerado salino-sódico; e se $CE < 4 \text{ dS m}^{-1}$, $PST > 15\%$ e pH entre 8,5 e 10, o solo é conhecido como sódico não salino. O autor define solo salino como aquele que contém sais solúveis em tal quantidade que altera desfavoravelmente a sua produtividade agrícola.

Durante o planejamento de recuperação de solos afetados por sais deve ser considerada a escolha de espécies que apresentam tolerância à salinidade e, ou, sodicidade (Santos & Hernandez, 1997). Culturas e variedades selecionadas podem, por exemplo, ser exploradas sequencialmente em função da respectiva tolerância e da concentração atual de sais do solo, das mais sensíveis nas menores concentrações para as mais tolerantes à medida que ocorrer aumento da salinidade, conforme sugerido por Gireve & Suarez (1997).

A salinidade afeta as diferentes fases fenológicas das plantas, desde a germinação até a produção. De um modo geral a salinidade pode causar efeitos osmóticos, toxidez às plantas e deficiência nutricional (Naidu & Rengasamy, 1995). A suscetibilidade aos efeitos da salinidade depende da espécie, da cultivar, da fase fenológica, da concentração e da composição dos sais solúveis presentes no solo ou da água de irrigação.

Segundo Fageria & Gheyi (1997) não existe uma regra geral para avaliação de genótipos quanto à tolerância à salinidade. Entretanto, os autores citam para experimentos em casa de vegetação que: a) A parte aérea é mais sensível à salinidade do que as raízes; b) um dos critérios de avaliação pode ser baseado na resposta das folhas da cultivar em dado nível de salinidade; e, c) a redução na produção de matéria seca, sob certo nível de salinidade, em relação à testemunha, é considerada como a melhor avaliação devido a sua aplicação em condições de campo.

Levando-se em consideração a importância econômica da fruticultura irrigada, os riscos dessa atividade agrícola a médio e longo prazo, nos últimos anos tem crescido interesse por informações a respeito do comportamento de fruteiras sob condições de salinidade na região Nordeste do Brasil.

Em casa de vegetação, utilizando-se um Neossolo Flúvico salino como substrato, Araújo Filho et al. (1995) verificaram que o aumento da salinidade do solo afetou negativamente o crescimento de mudas de bananeira Nanica, Nanicão,

Pacovan e Mysore. Com experimentos conduzidos em ambientes protegidos, a cultivar Maçã foi indicada como promissora em áreas salinizadas e fonte de genes para programas de melhoramento (Gomes et al., 2005). Em condições de campo, a aplicação de água salina de $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ em um Cambissolo da Chapada do Apodi, no Estado do Ceará, Alves et al. (2005) verificaram que ocorreu atraso do ciclo das cultivares de banana Prata Anã e Grand Naine, sendo a primeira mais tolerante à salinidade. Pelo cultivo de bananeiras Pacovan e Marmelo em um Argissolo Vermelho-Amarelo, com CE de $2,7 \text{ dS m}^{-1}$, Gondim et al. (2006) verificaram que com o aumento da condutividade elétrica da água houve perda de 17,90% da produtividade.

Em relação à goiabeira, Távora et al. (2001) citam que as plantas jovens são sensíveis ao nível de condutividade elétrica de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$. Cavalcante et al. (2005), verificaram que aos 180 dias após a semeadura, não se obtiveram mudas com qualidade agrônômica quando as cultivares de goiabeira Pentecoste, Paluma, Surubim e IPA B-38 foram irrigadas com água de salinidade superior a $1,5 \text{ dS m}^{-1}$.

Já Soares et al. (2002) classificaram o maracujazeiro como planta moderadamente tolerante durante a fase de muda e verificaram que o aumento nas relações Na^+/K^+ e $\text{Na}^+/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ na planta decorrentes da salinidade é um fator limitante ao crescimento da planta. Para plantas adultas e em produção, Costa et al. (2001) constataram que aplicação de água salina de $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ de modo complementar via gotejamento não resultou em perdas da qualidade de frutos de maracujazeiro.

A cultura do meloeiro é classificada como moderadamente sensível à salinidade (Rhoades et al., 1992), sendo o limite de tolerância correspondente ao valor de $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ (Lima, 1997). A partir deste valor, conhecido como salinidade limiar, ocorre redução do crescimento e da produção da cultura. Segundo Alencar et al. (2003) a produção da matéria seca da parte aérea das cultivares Gold Mine e AF-646 tende a zero quando submetidos a uma condutividade elétrica de 17 dS m^{-1} relativa ao extrato da pasta saturada do solo. Dias et al. (2006) verificaram redução do diâmetro do colo, da altura do caule e da área foliar da cultivar Bônus II com o aumento da salinidade do solo, expressa pelos valores de condutividade elétrica entre $1,0$ e $6,0 \text{ dS m}^{-1}$. Em relação à aplicação de água salina, foi verificado por Costa et al. (2008) a redução da velocidade de emergência, da altura da parte aérea e da massa seca da parte aérea de plântulas das cultivares de meloeiro Goldex e

Vereda. O emprego precoce de águas salobras na fase inicial do crescimento proporcionou maior redução da produção total e comercial dos frutos do meloeiro amarelo, cultivar AF-646, plantado em um Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico, de textura média, de Mossoró (RN), segundo Porto Filho et al. (2006).

2.3 Recuperação de solos afetados por sais

No processo produtivo de alimentos, a recuperação das áreas afetadas por sais constitui-se de fundamental importância do ponto de vista sócio-econômico (Fageria & Gheyi, 1997; Barros et al., 2006). Isto é tecnicamente possível através de práticas como a drenagem subterrânea, o uso de condicionadores químicos para solos afetados por sódio e aplicação de quantidade adequada de água para a retirada do excesso de sais do perfil do solo (Manzatto et al., 2002). O processo de lixiviação consiste em fazer passar, através do perfil do solo, uma quantidade suficiente de água de boa qualidade, dissolvendo e transportando os excessos de sais solúveis a camadas mais profundas, para sua conseqüente evacuação por drenagem artificial (Barros, 2001).

A lâmina de lixiviação pode ser de manutenção ou de recuperação. A primeira é aplicada com o intuito de prevenir a salinização dos solos irrigados e a segunda tem o objetivo de restabelecer a capacidade produtiva do solo, pela redução da concentração de sais a níveis adequados às culturas agrícolas (Santos & Hernandez, 1997).

A literatura cita algumas equações empíricas utilizadas para calcular a lâmina de lixiviação, como por exemplo:

a) Equação de Richards (1954)

$$L_{ai} = EC_{ad} \div (EC_{ad} - EC_{ai}) \times U_c \quad \text{Eq. 1}$$

L_{ai} – lâmina requerida para lixiviação (mm);

EC_{ad} – condutividade elétrica da água de drenagem ($dS\ m^{-1}$);

EC_{ai} – condutividade elétrica da água de irrigação ($dS\ m^{-1}$);

U_c – uso consultivo da cultura (mm).

b) Equação de Reeve, citada em Moura (1989)

$$dl \div D = (CEi \div CEf) + 0,15 \quad \text{Eq. 2}$$

dl – lâmina requerida para lixiviação (mm);

D – profundidade do solo a ser drenado (mm);

CEi - valor médio inicial da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (dS m⁻¹);

CEf - valor médio inicial da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (dS m⁻¹).

b) Equação de Volobuyev, citada em Cordeiro (2001)

$$L = \alpha \times \text{Log } (CEi \div CEf) \quad \text{Eq. 3}$$

L – lâmina de água necessária para lavar um metro de profundidade de solo, em centímetros;

α – coeficiente cujo valor depende do conteúdo de cloretos e da textura do solo (Tabela 1);

CEi – condutividade elétrica inicial do extrato de saturação do solo;

CEf – condutividade elétrica final do extrato de saturação desejada.

Tabela 1. Valores de α em função da textura do solo e do conteúdo de cloretos

Textura	Conteúdo de cloretos em g kg ⁻¹			
	60-40	40-20	20-10	< 10
Argilosa	122	132	142	178
Média	92	102	112	148
Arenosa	62	72	82	118

c) Equação de Hoffman, citada por Duarte et al.(2007)

$$C \div Co \times (a \div Ls) = K' \quad \text{Eq. 4}$$

- C – concentração de sais requerida após a lixiviação (dS m^{-1});
Co – concentração inicial de sais presentes no solo (dS m^{-1});
La – lâmina de água necessária para recuperação de solo salino (m);
Ls – profundidade do solo a ser recuperado (m);
K' – constante que varia com a textura do solo (0,45 para solo orgânico; 0,3 para solo de textura argilosa e 0,1 para solo franco-arenoso).

Trabalhos de recuperação de solos afetados por sais realizados em outros países e expressos como equações para determinação de lâminas de lixiviação podem não ser adequados para os solos em condição de semi-aridez no Brasil.

Estudos realizados por Moura (1989) para recuperação de solo salino-sódico do norte de Minas Gerais indicam que a equação de Reeve superestimou o valor obtido para lâmina de lixiviação. Corwin et al (2007) alertam que uma superestimativa da necessidade de lixiviação pode resultar em maiores aportes de sais que transportados por sistemas de drenagem contribuem para a degradação dos solos e mananciais hídricos. Recentemente com a intensificação de cultivos em estufas no Estado de São Paulo, Duarte et al. (2007) verificaram que a equação de Hoffman, aplicada com a constante K' de 0,1, subestimou a lâmina de lixiviação ideal para recuperação de um solo salino cultivado sob ambiente protegido.

Como alternativa para a substituição daquelas equações, alguns pesquisadores conduziram experimentos com lâminas de lixiviação determinadas em função de propriedades físicas do solo.

Sampaio & Ruiz (1996) constataram que a aplicação de uma lâmina pouco superior ao volume de poros foi o suficiente para eliminar a maior parte dos sais solúveis de quatro solos salino-sódicos, de texturas variadas, contidos em colunas de PVC e sem cultivo de planta, considerando incorporação de gesso antes da lixiviação. Já Barros et al. (2005), em estudo com solo salino de classe textural franco-argilo-arenoso, verificaram que a aplicação de lâmina equivalente a 2,5 vezes volume de poros foi adequada para recuperação do solo quanto à salinidade.

Silva et al. (1999), sem relacionar lâmina de lixiviação à porosidade do solo, citam que aproximadamente 80% dos sais solúveis podem ser lixiviados por meio de

uma aplicação de lâmina igual à profundidade do solo considerada, variando sua eficiência de acordo com a textura.

Santos e Hernandez (1997) recomendam a realização de testes diretos no local a ser recuperados, devendo incluir as seguintes etapas: 1) Medição da quantidade de água aplicada; 2) Monitoramento da salinidade no perfil, antes, durante e após a lixiviação e 3) avaliação das condições do fluxo da água no solo.

A lâmina de lixiviação pode ser aplicada de forma contínua ou intermitente (Richards, 1954). O teor de água do solo durante a lixiviação, o método e a velocidade de infiltração das lâminas podem influenciar a eficiência do processo de recuperação do solo salino (Ayers & Westcot, 1999). Os autores citam que na fase de fluxo não saturado da lixiviação por inundação intermitente, o teor de água é baixo e o seu deslocamento é lento, permitindo maior difusão de sais do solo, até a água em movimento. Já em condições de inundação contínua, uma alta proporção de água se desloca rapidamente pelos poros maiores o que reduz a eficiência da lixiviação dos sais.

Corwin et al. (2007) discriminam o fluxo preferencial como mecanismo que reduz a eficiência da lixiviação e aumenta a quantidade de sal retido em camadas sucessivas no solo, pois é um fenômeno pelo qual toda ou parte da água de infiltração passa através dos macroporos, reduzindo o tempo de contato com os sais, bem como a sua dissolução e o seu deslocamento para a solução móvel do solo.

A aplicação de forma contínua e intermitente também difere quanto à uniformidade da lixiviação de sais. A aplicação de grandes lâminas de lixiviação por inundação, em solo não saturado, proporcionou reduzido decréscimo da salinidade (Blanco e Folegatti, 2001). Já para a condição de saturação e aplicação por inundação, Ferreira et al. (2006) relatam que o emprego de pequenas lâminas de lixiviação aumentou a salinidade com a profundidade da zona radicular e, ao contrário com o aumento das lâminas de lixiviação ocorreu perda de sais do solo.

2.4 Alterações das propriedades físicas do solo associadas à lixiviação

Os solos que são flocculados e permeáveis quando salinos podem se dispersar ao sofrerem processo de lixiviação dos sais (Richards, 1954).

Sumner (1995) cita que é o balanço entre forças de atração e de repulsão que determina se um sistema deverá ser disperso ou flocculado, sendo que a manutenção da estrutura da partícula de argila está condicionada a um valor da concentração eletrolítica do solo que se caracteriza como concentração crítica de flocculação.

Laegdsmand et al. (2005) citam que a mudança da concentração eletrolítica da água de lixiviação modificou a permeabilidade de solos arenosos acondicionados em colunas. Essa mudança foi um dos resultados da expansão e contração dos minerais de argila nos agregados. Os autores citam que o teor de 3,6% de matéria orgânica nos agregados de um dos solos inibiu a expansão de minerais de argila nos agregados.

Em revisão de literatura, Bronick & Lao (2005) explicam que a estrutura do solo é frequentemente expressa como o grau de estabilidade de agregados. A agregação é resultante do rearranjo, flocculação e cimentação das partículas do solo e é mediado pelo carbono orgânico do solo, biota, ligantes iônicos, argila e carbonatos. O carbono inorgânico do solo aumenta a agregação em ambientes áridos e semi-áridos e a formação de carbonatos secundários é influenciada pela presença de carbono orgânico e teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} . A biota do solo disponibiliza CO_2 e formas de carbono orgânico os quais aumentam a solubilidade de carbonatos primários enquanto cátions aumentam a precipitação de carbonatos secundários. A precipitação de óxidos, fosfatos e carbonatos aumentam agregação. Cátions como Si^{4+} , Fe^{3+} , Al^{3+} e Ca^{2+} estimulam a precipitação de componentes que agem como agentes cimentantes das partículas primárias do solo.

Peinemann et al. (2005) citam que solos salinos por possuírem baixa concentração de raízes nas camadas mais profundas e uma limitada comunidade de microorganismos na rizosfera apresentam menores quantidades de matéria orgânica que os não salinos.

Valores de salinidade, de pH, de argila dispersa e de condutividade hidráulica indicam que a desagregação e a dispersão do solo de superfície foram a causa da redução de permeabilidade do subsolo em função da aplicação de água de baixa

concentração de sais ($CE < 0,02 \text{ dS m}^{-1}$) em solos salinos do semi-árido da Índia (Minhas et al., 1999). A condutividade hidráulica é negativamente influenciada pelo grau de dispersão das partículas e pela destruição dos macroporos (Ghiberto et al., 2007).

Fernández-Gálvez & Barahona (2005) relatam que solos exibem uma mudança distinta nas características de retenção de água quando a estrutura natural é destruída pela mistura do solo ao teor de água correspondente ao limite da pegajosidade. Os solos arenosos são menos sensíveis a este pré-condicionamento, mas se a fração de areia fina for suficientemente abundante, então existe um aumento na capacidade de manutenção de água nos mesoporos e em alguns casos também ocorre um aumento significativo de retenção de água nos microporos (poros situados entre a faixa das argilas). Essas mudanças são razoavelmente explicadas ou pelo adensamento das partículas ou pela agregação das lamelas dos minerais e estados de dispersão da fração de argila.

Mudanças nas propriedades do solo, como salinidade do extrato (1:5), sodicidade, índice de dispersão e adensamento de camadas, foram maiores na camada superficial de textura mais argilosa e sob a influência de microaspersão. Em solo de textura arenosa as mudanças ocorreram nas camadas subsuperficiais e sob a influência de irrigação por sulcos (Halugalle et al., 2002).

O regime irrigado de solos, cultivados com cana-de-açúcar, foi o que proporcionou o maior grau de dispersão de argila, contribuindo para alteração na distribuição de poros, aumento na capacidade de retenção de água nas camadas de 20-40 e de 40-80 cm e diminuição da condutividade hidráulica saturada dessas camadas subsuperficiais no Argissolo Amarelo Coeso de Alagoas (Silva et al., 2005). Para o mesmo solo e condições, Silva & Cabeda (2005) constataram que a camada superficial (0-20 cm) do solo apresentou menor valor da proporção argila fina/argila total e maior na camada subsuperficial (40-80 cm), o que é resultado da maior eluviação da fração argila para as camadas subsuperficiais.

A dispersão química, ao contrário do estresse mecânico, deverá provocar perturbação da ligação estável da partícula. Em solos afetados por sais da Austrália, para a dispersão ser efetiva o valor da percentagem de sódio trocável deverá exceder 5% e a concentração eletrolítica da solução deverá ser menor que o valor de floculação da argila (Neaman & Singer, 2004).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área

O município de Petrolândia está situado na zona fisiográfica do sertão do São Francisco, na Microrregião de Itaparica, com uma área de 1.088 km². O clima dominante é BSh', segundo classificação de Köppen, muito quente, semi-árido e a vegetação nativa é de caatinga hiperxerófila (Parahyba et al., 2004). Tem como principais atividades econômicas a fruticultura irrigada, a pesca e a pecuária.

O Distrito de Irrigação Apolônio Salles (DIPAS) limita-se ao norte com a estrada de acesso ao município de Floresta (PE), ao sul com a barragem de Itaparica, a leste com a sede do município de Petrolândia (PE) e a oeste com uma área conhecida como Mandacaru Velho, totalizando 2.050 hectares. Está inserido na bacia hidrográfica do rio São Francisco, sub-bacia do rio Jatobá.

As principais classes de solos encontradas no DIPAS foram descritas por Amaral et al. (2007) como os Neossolos Quartzarênicos, Latossolos, Argissolos e Luvisolos. A predominância é dos Neossolos Quartzarênicos, ocorrendo NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos típicos e NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos latossólicos (ANEXO I).

O perímetro irrigado corresponde a 808 hectares, divididos em 14 quadras e 107 lotes. Os lotes foram projetados de modo a dispor 6,0 hectares de área irrigada, inicialmente por aspersão convencional, e 2,0 hectares de sequeiro, passíveis à expansão da irrigação.

A área irrigada e a de sequeiro do presente estudo estão localizadas na quadra D, entre as coordenadas geográficas L 583.500-584.000 e N 9.007.500-9.008.000. As áreas estão situadas em terreno com cota de aproximadamente 310 m (PROJETEC, 1987). Na área irrigada foi implantada a cultura de coqueiro anão. A área de sequeiro é explorada com apicultura, tendo sido retirada vegetação nativa, de modo que o solo encontra-se desprotegido a maior parte do ano. O solo da área estudada foi classificado por Amaral et al (2007) como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico A fraco fase caatinga hiperxerófila relevo plano.

3.2 Caracterização do solo e da água

O solo foi coletado em área dependente de chuva (sequeiro) e em área cultivada sob condição de irrigação (irrigada), na camada de 0-30 cm e de 30-60 cm. A amostragem foi realizada segundo procedimento descrito por Oliveira & Resende (1990) e adaptado por Barros (2001). Cada área foi dividida em cinco setores. Um situado no meio da área e os demais distribuídos conforme os pontos cardeais. De cada quadrante foram coletadas cinco amostras simples da camada 0-30 cm e cinco amostras simples da camada 30-60 cm. As cinco amostras simples de cada camada foram misturadas, sendo formada uma amostra composta para camada superior e uma amostra composta para camada inferior para cada setor. Para cada camada foi formada mais uma amostra composta pela mistura das cinco amostras compostas anteriormente formadas para cada um dos setores da área.

Cada amostra composta foi acondicionada em sacos plásticos, devidamente fechados, etiquetados e transportados para o Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira de malha de 4,00 mm. Uma parte foi destorroada e passada em peneira de 2,00 mm para caracterização física e química.

Fisicamente o solo foi caracterizado pela determinação: a) das frações granulométricas pelo método de Boyoucos (1962), após lavagem com etanol a 60% até reação negativa para cloreto; b) da densidade do solo (D_s), pelo método do anel volumétrico; c) da densidade das partículas (D_p), pelo método do balão volumétrico; d) da porosidade total (P_t), calculada pela equação:

$$P_t = (1 - (D_s \div D_p)) \quad \text{Eq. 6}$$

P_t – porosidade total, $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$;

D_s – densidade do solo, kg dm^{-3} ;

D_p – densidade das partículas, kg dm^{-3} .

As análises físicas constaram ainda da determinação da condutividade hidráulica saturada (K_0) para amostras deformadas e da argila dispersa em água (ADA), descrito pela EMBRAPA (1997).

A caracterização química do solo constou de: a) determinação do pH do solo empregando a relação solo-água (1 : 2,5); b) determinação da capacidade de troca

de cátions (CTC), pelo método do acetato de sódio; c) extração dos cátions trocáveis com uma solução de acetato de amônio $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 7,0 e posterior determinação da concentração de sódio (Na^+) e potássio (K^+) trocáveis por fotometria de chama, bem como a concentração de cálcio (Ca^{2+}) e de magnésio (Mg^{2+}) trocáveis por espectrofotometria de absorção atômica; e cálculo da percentagem de sódio trocável (PST) pela equação:

$$\text{PST} = (\text{Na}^+ \div \text{CTC}) \times 100 \quad \text{Eq. 7}$$

PST – percentagem de sódio trocável, %;

Na^+ - concentração de sódio trocável, $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$;

CTC – capacidade de troca de cátions, $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

O extrato da pasta saturada foi obtido pela metodologia sugerida por Richards (1954). No extrato foi determinada a condutividade elétrica (CE), a concentração de cálcio e de magnésio solúveis, por espectrofotometria de absorção atômica, a concentração de potássio e do sódio solúveis, por fotometria de chama. Os valores da relação de adsorção de sódio (RAS) foram obtidos a partir dos resultados de sódio, cálcio e magnésio solúveis, usando a equação:

$$\text{RAS} = (\text{Na}^+) \div [(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \div 2]^{1/2} \quad \text{Eq. 8}$$

RAS – relação de adsorção de sódio, $(\text{mmol L}^{-1})^{1/2}$;

Na^+ - concentração de sódio solúvel, $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$;

Ca^{2+} - concentração de cálcio solúvel, $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$;

Mg^{2+} - concentração de magnésio solúvel, $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$.

A água de irrigação, captada da barragem de Itaparica e coletada em abril de 2007, foi caracterizada quanto: a) Condutividade elétrica (CEa); b) Concentrações de cálcio e de magnésio, por espectrofotometria de absorção atômica; c) Concentrações de sódio e de potássio, por fotometria de chama; d) Concentrações de carbonato e bicarbonato, por titulação com H_2SO_4 $0,005 \text{ mol L}^{-1}$ e concentração de cloreto por titulação com AgNO_3 $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ (EMBRAPA, 1997). Foi também

determinada a concentração de sulfato por colorimetria com precipitação com cromato de bário. A RAS foi calculada pela equação anterior (Eq. 8).

Os resultados das caracterizações estão nas Tabelas 2, 3, 4 e 5.

Tabela 2. Caracterização física do solo

Condição	Camada	Frações granulométricas			Classe Textural	K ₀	D _p	D _s	P _t	ADA	GD
		Areia	Silte	Argila							
	--cm--	-----g kg ⁻¹ -----			-----	cm h ⁻¹	kg dm ⁻³	dm ³ dm ³	g kg ⁻¹	-%-	
Sequeiro	00-30	875,50	30,50	94,00	Areia franca	27,28	2,56	1,57	0,3867	54,00	57,45
	30-60	863,70	40,30	96,00	Areia franca	12,07	2,53	1,56	0,3834	16,53	15,86
Irigada	00-30	883,76	16,44	99,80	Areia franca	17,22	2,50	1,57	0,3720	14,00	14,58
	30-60	880,72	14,88	104,40	Areia franca	30,51	2,60	1,63	0,3731	14,00	13,41

Frações granulométricas pelo método de Boyoucos (1962); K₀ – condutividade hidráulica saturada para amostra deformada (EMBRAPA, 1997); D_p – densidade das partículas, pelo método do balão volumétrico; D_s – densidade do solo, pelo método do anel volumétrico; P_t – porosidade total, calculada por (1-(D_s/D_p)); ADA – argila dispersa em água (EMBRAPA, 1997); GD – grau de dispersão, calculado por 100 – GF, em que:

GF = ((argila total – argila dispersa em água)/argila total) x 100, GF – grau de flocação.

Tabela 3. Caracterização química do solo

Condição	Camada	Cátions Trocáveis				CTC	PST	pH
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺			
	---- cm ---	-----cmol _c dm ⁻³ -----				-----	-- % ---	
Sequeiro	00-30	2,00	1,50	0,22	0,28	3,55	6,20	6,1
	30-60	1,60	1,00	0,19	0,18	2,83	6,71	5,1
Irigada	00-30	1,80	1,20	0,17	0,23	3,40	5,00	5,4
	30-60	1,60	0,90	0,16	0,20	3,20	5,00	4,6

Cátions trocáveis, extração solução de acetato de amônio 1,0 mol L⁻¹ a pH 7,0; Ca²⁺, Mg²⁺ - concentrações de cálcio e de magnésio trocáveis, por espectrofotometria de absorção atômica; Na⁺, K⁺ - concentrações de sódio e de potássio trocáveis, por fotometria de chama; CTC – capacidade de troca de cátions, pelo método do acetato de sódio; PST – percentagem de sódio trocável, calculada por ((Na⁺/CTC)x100) e pH – potencial hidrogeniônico, determinado em relação solo-água 1:2,5.

Tabela 4. Caracterização química do extrato da pasta saturada do solo

Condição	Camada	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	RAS
	cm	- dS m ⁻¹ -	----- mmol _c L ⁻¹ -----				(mmol L ⁻¹) ^{1/2}
Sequeiro	00-30	13,16	35,66	31,10	62,95	2,74	10,90
	30-60	8,21	18,94	32,18	38,09	1,22	7,53
Irigada	00-30	12,25	30,54	24,05	54,04	8,66	10,34
	30-60	17,73	58,78	24,07	57,89	3,10	9,02

CE – condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (Richards, 1954); Ca²⁺, Mg²⁺ - concentrações de cálcio e de magnésio solúveis, por espectrofotometria de absorção atômica; Na⁺, K⁺ - concentrações de sódio e de potássio solúveis, por fotometria de chama; RAS – relação de adsorção de sódio, calculada por: RAS = (Na⁺/(Ca²⁺ + Mg²⁺)/2).

Tabela 5. Caracterização química da água de irrigação da barragem de Itaparica, coletada no Distrito de Irrigação do Projeto Apolônio Salles, em Petrolândia (PE)

pH	CEa	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	RAS
	dS m ⁻¹	----- mmol _c L ⁻¹ -----								(mmol L ⁻¹) ^{1/2}
6,90	0,12	0,56	0,39	0,19	0,05	0,00	0,88	0,03	0,24	0,28

pH – potencial hidrogeniônico; CEa – condutividade elétrica da água, medida em condutivímetro; Ca²⁺, Mg²⁺ - concentrações de cálcio e de magnésio, por espectrofotometria de absorção atômica; Na⁺, K⁺ - concentrações de sódio e de potássio, por fotometria de chama; CO₃²⁻ e HCO₃⁻ - concentrações de carbonato e bicarbonato, por titulação com H₂SO₄ 0,005 mol L⁻¹; Cl⁻ - concentração de cloreto por titulação com AgNO₃ 0,025 mol L⁻¹; SO₄²⁻ - concentração de sulfato, por colorimetria com precipitação com cromato de bário; RAS – relação de adsorção de sódio, calculada por RAS = (Na⁺/(Ca²⁺ + Mg²⁺)/2).

3.3 Etapas

a) Em campo, foi avaliado o monitoramento da salinidade nas áreas de sequeiro e sob irrigação;

b) Em laboratório foram avaliadas as alterações químicas e físicas do solo coletado na área de sequeiro e na irrigada, bem como a concentração de sais solúveis da água de drenagem após aplicação de lâminas de lixiviação.

3.3.1 Monitoramento da salinidade em campo

Foram realizadas cinco coletas trimestrais durante o período de fevereiro de 2007 a fevereiro de 2008, sendo adotada a mesma metodologia de amostragem citada no item 3.2 para as condições de sequeiro e irrigada nas camadas de 0–30 e 30 – 60 cm. O solo foi coletado de duas áreas: Uma sob condição de dependência de chuvas (sequeiro) com 2,0 hectares e a outra sob condição de irrigação também com 2,0 hectares. Após cada coleta, o solo foi seco ao ar e passado em peneira de malha de 2,00 mm. Conforme metodologia descrita em Richards (1954) descrita na caracterização do solo.

Foi avaliada a variação das concentrações dos cátions solúveis, da condutividade elétrica e da relação de adsorção do sódio durante o período. Para o período do monitoramento foi obtida série de dados de precipitação pluviométrica, e de temperatura média mensal e de evapotranspiração potencial disponibilizados pela Estação Agrometeorológica Apolônio Salles, pertencente à Terceira Superintendência da Companhia de Desenvolvimento do Vale de São Francisco e Parnaíba (CODEVASF).

3.3.2 Experimento em laboratório

Nesta etapa foram utilizadas as mesmas amostras de solo coletadas em abril de 2007, peneiradas em malha de 4,00 mm e homogeneizadas. O experimento foi conduzido no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Foi adotado delineamento de blocos ao acaso em arranjo fatorial do tipo 2 x 5 (duas condições de exploração agrícola e cinco lâminas de lixiviação para recuperação de solo salino), com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais.

3.3.2.1 Descrição dos tratamentos do experimento em laboratório

Os tratamentos foram constituídos por dois fatores: Condição de exploração agrícola (sequeiro e irrigado) e lâmina de lixiviação (1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 vezes o volume de poros – VP). Estes níveis correspondem respectivamente a lâminas de: 95,45 mm; 143,18 mm; 190,91 mm; 238,63 mm e 286,36 mm.

Para uma melhor discussão dos resultados foi incluída uma testemunha relativa não submetida às lâminas de lixiviação, que recebeu por fluxo ascendente uma lâmina igual a um volume de poros, chamada de lâmina de saturação (L_0).

3.3.2.2 Preparo das unidades experimentais

A unidade experimental foi constituída de tubo de PVC com 10 cm de diâmetro nominal e 65 cm de altura, tendo uma das extremidades fechadas com um tampão, no centro do qual foi adaptada uma torneira de 3/8 de polegada. Internamente, na extremidade da coluna, foram colocadas peneiras de abertura seqüenciada, de modo a simular gradiente de drenagem.

O solo, resultante da passagem em malha de 4,00 mm, foi acondicionado até a altura de 60 cm, de modo a aproximar o valor da densidade ao da densidade do solo em condições de campo.

As unidades experimentais foram preenchidas inicialmente com solo da camada de 30-60 cm e posteriormente da camada de 0-30 cm, conforme o tratamento correspondente à condição de exploração agrícola (condição de sequeiro ou condição irrigada).

As colunas preenchidas com solo foram saturadas por fluxo ascendente, utilizando-se água proveniente da barragem de Itaparica, sendo o volume de poros das colunas de solo determinado pela equação:

$$VP = \alpha V = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot (1 - (D_s \div D_p)) \quad \text{Eq. 9}$$

Sendo:

VP - volume de poros, cm^3 ;

V - Volume da coluna de solo, cm^3 ;

α - porosidade, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

r - raio interno da coluna, cm;

h - espessura da camada de solo acondicionada na coluna, cm;

D_s - densidade do solo, g cm^{-3} ;

D_p - densidade das partículas, g cm^{-3} .

Como o objetivo foi verificar os efeitos das lâminas sobre a camada de 0-30 cm, a lâmina de lixiviação de 1,0 volume de poros correspondeu a metade do valor calculado para VP da coluna com 60 cm de solo. Após saturação, as unidades experimentais foram tampadas com saco plástico, para evitar perdas por evaporação, permanecendo por 48 horas em repouso.

3.3.2.3 Condução do experimento em laboratório

Acima de cada coluna de solo foi adaptado um frasco de Mariotte, de forma a manter uma carga hidráulica constante de 2,5 cm de altura. Internamente foi colocada seção circular de tecido umedecido sobre a superfície do solo de modo a evitar sua perturbação durante a aplicação dos tratamentos.

Para cada lâmina de lixiviação aplicada foi recolhido continuamente o equivalente a 0,25 VP. Assim para a lâmina de lixiviação de 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 e 3,0 VP foram coletadas 4, 6, 8, 10 e 12 alíquotas de 0,25 VP. Cada alíquota coletada foi acondicionada em frasco plástico e armazenada em geladeira para análise da condutividade elétrica da água de drenagem (CEad).

Para cada lâmina de lixiviação foi determinada a condutividade hidráulica saturada (K_0) durante a coleta da penúltima alíquota, ou seja, a determinação ocorreu

durante a coleta da 3^a, 5^a, 7^a, 9^a e 11^a alíquota para as lâminas de 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 e 3,0 VP, respectivamente.

O valor da condutividade hidráulica saturada foi calculado pela equação:

$$K_0 = [(V \times L) \div (A \times t) \times (h + L)] \quad \text{Eq. 10}$$

K_0 – condutividade hidráulica saturada, cm h^{-1} ;

V – volume da fração do drenado coletado em proveta, cm^3 ;

L – espessura da camada acondicionada em coluna de solo, cm ;

A – seção transversal da coluna de solo, cm^2 ;

t - tempo, em h;

h – espessura da lâmina de água acima da superfície do solo, cm .

O tempo foi medido com base em volume drenado equivalente a cada 1/3 da alíquota de 0,25 VP, sendo calculada a condutividade hidráulica saturada. Ao final foi determinada a condutividade hidráulica saturada média.

Após lixiviação, as colunas foram retiradas do suporte e acondicionadas na mesma ordem e posição em bancadas, permanecendo por 30 dias, a fim de perda de umidade por evaporação. Após desmontagem, o solo da camada de 0-30 cm e de 30-60 cm foi seco ao ar e passado em peneira de 4,00 mm. Retirou-se parte do solo, sendo esta porção destorroada e passada em peneira de 2,00 mm, para determinação de: condutividade elétrica (CE), cátions solúveis, relação de adsorção de sódio (RAS) no extrato da pasta saturada do solo, argila dispersa em água e grau de dispersão conforme métodos discriminados no item 3.2.

3.3.2.4 Análise estatística do experimento em laboratório

Os valores correspondentes aos resultados das variáveis foram submetidos a teste de normalidade dos dados e homogeneidade das variâncias. Posteriormente foram submetidos à análise de variância (teste de F) a 1% de probabilidade de erro. Os níveis das lâminas de lixiviação, dentro de cada condição de exploração agrícola (sequeiro ou sob irrigação), foram avaliados por análise de regressão. Os critérios para adoção do modelo foi o maior valor do coeficiente de determinação e a significância dos coeficientes da equação de regressão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Monitoramento da salinidade do solo

4.1.1 Área sob condição de sequeiro

Independente da época e da camada de coleta pode ser constatado que os valores da condutividade elétrica excederam ao limite de $4,00 \text{ dS m}^{-1}$ a partir do qual o solo é considerado salino (Figura 1). A proximidade da área de sequeiro avaliada em relação à borda da barragem de Itaparica, associada à quantidade reduzida de drenos naturais, como rios e riachos intermitentes na área do município de Petrolândia, pode ter contribuído para o processo de salinização do solo avaliado. Segundo Rengasamy (2006) solos situados em áreas de descarga das bacias hidrográficas podem sofrer processo de salinização devido à ascensão da água subterrânea, condicionada pela taxa de evapotranspiração. O autor cita que a concentração de sais na camada superficial do solo é elevada quando a água do subsolo atinge 1,5 metros ou menos de profundidade. Pela caracterização pedológica para a implantação do Projeto de Irrigação Apolônio Salles foi observada presença de solo úmido entre 0,80 e 1,35 m na maioria dos perfis avaliados (PROJETEC, 1987) e em estudos drenabilidade do mesmo Projeto, realizado por Amaral et al (2007), foi verificada a presença de lençol freático em alguns dos perfis de Neossolos Quartzarênicos a uma profundidade que variou de 1,20 a 1,80 m. É citado por Pannel & Ewing (2006) que tem ocorrido salinização de solos próximos dos grandes reservatórios de água construídos no Nordeste da Tailândia e que a substituição da vegetação nativa por culturas agrícolas na Austrália, alterou o equilíbrio do ciclo hidrológico estabelecido durante centenas de anos para o nível da água subterrânea, contribuindo para sua ascensão e para a mobilização de sais solúveis estocados naturalmente nos solos daquele país. No município de Petrolândia (PE), os sistemas de produção de sequeiro utilizados pelos produtores rurais do município têm resultado na substituição da maior parte da caatinga hiperxerófila das propriedades agrícolas pelo cultivo de lavouras tradicionais (milho, feijão, arroz e fava) e, ou, para implantação de pastagens (Correia et al., 2001).

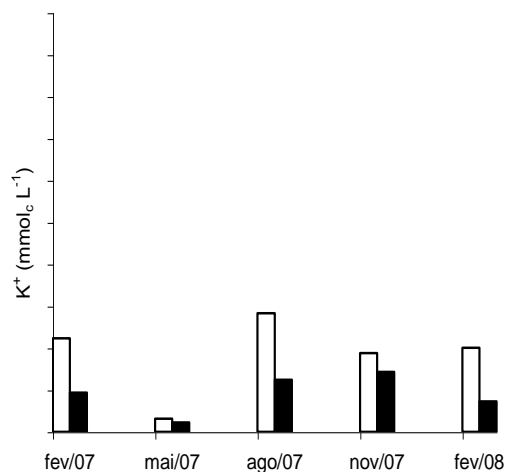
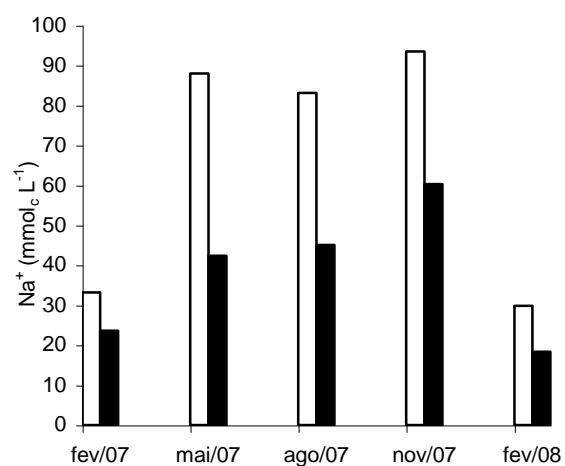
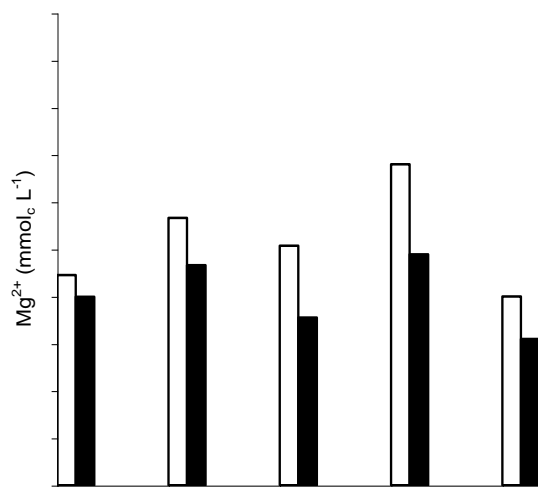
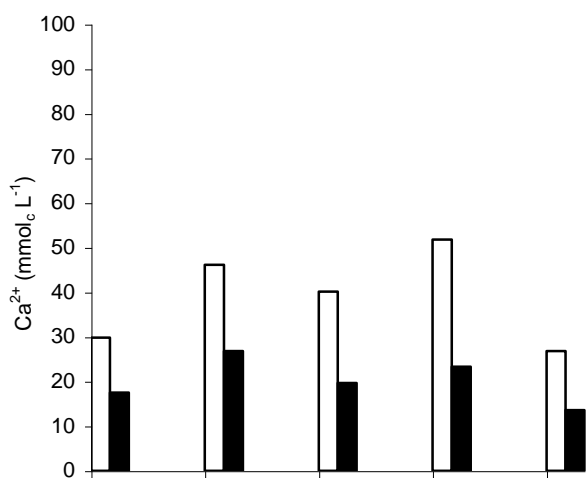
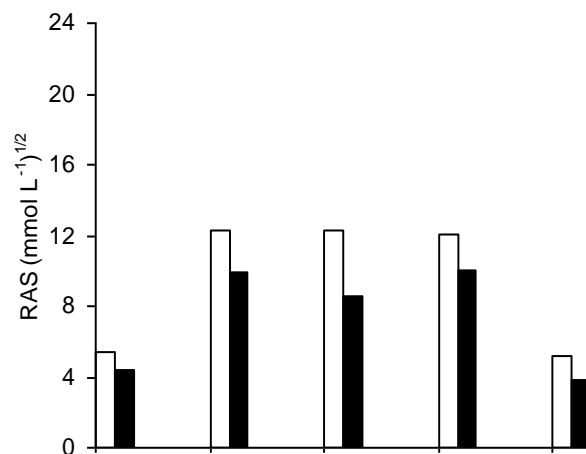
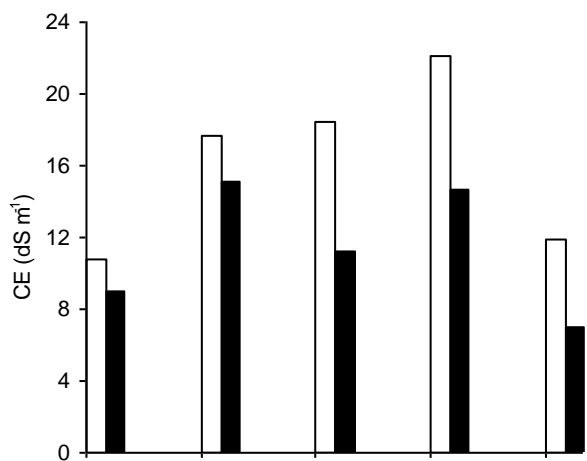


Figura 1. Condutividade elétrica do extrato da pasta saturada (CE), relação de adsorção de sódio (RAS) e concentração de cátions solúveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) do solo nas camadas 0-30 (□) e 30-60 cm (■) da área de sequeiro

Pode ser verificado que os maiores valores de CE foram obtidos para as amostras coletadas na camada de 0-30 cm quando comparados com os resultantes das análises de solo da camada 30-60 cm. Tal comportamento possivelmente tenha sido influenciado pela ascensão capilar do lençol freático, condicionada pela taxa de evapotranspiração mensal, pelas lâminas mensais de precipitação bem como pela capacidade de armazenamento de água do Neossolo Quartzarênico que segundo Parahyba et al., (2004) varia de 30 a 60 mm.

Para o mês de fevereiro de 2007 pode ser observada a ocorrência de chuva acima da capacidade de armazenamento de água do Neossolo Quartzarênico (Figura 2). Esta precipitação e o início de tendência de redução da temperatura média do ar possivelmente podem ter colaborado para o decréscimo da taxa de evapotranspiração potencial. Tal conjuntura pode ter retardado a ascensão capilar do lençol freático, concentrando menos sais solúveis e proporcionando os menores valores de CE nas duas camadas de solo pela ocasião do início do monitoramento. Entre fevereiro e maio, a pequena tendência de queda dos valores da temperatura média e a ocorrência de precipitações mensais com valores inferiores ao da capacidade de armazenamento do solo parecem ter possibilitado o aumento do déficit hídrico nas camadas avaliadas, possibilitando mais concentração de sais para as amostras de solo coletadas em maio. A incidência de aproximadamente 50 mm de precipitação pluviométrica durante o mês de maio, seguida de uma seqüência de lâminas mensais de chuva inferiores a 30 mm possivelmente tenham colaborado para o menor incremento na concentração de sais das amostras da camada de 0-30 cm coletada em agosto. Tal deficiência hídrica superficial e a queda da temperatura média mensal, associadas à textura arenosa da camada superficial do solo, podem ter ajudado a retardar a ascensão capilar da umidade abaixo da primeira dos 30 cm e evitando o aumento da concentração de sais no solo da camada de 30-60 cm. De agosto a novembro pode ser observado aumento da temperatura média mensal e valores muito baixos e nulos de precipitação pluviométrica, o que certamente colaborou para uma maior concentração de sais tanto de 0-30 quanto de 30-60 cm do solo. De acordo com SUDENE (1990), historicamente o trimestre mais seco de Petrolândia ocorre de agosto a outubro. A redução dos valores da CE para as amostras coletadas nas duas camadas em fevereiro de 2008 provavelmente está relacionada à ocorrência de chuva de aproximadamente 30 mm pouco antes da coleta das amostras de solo.

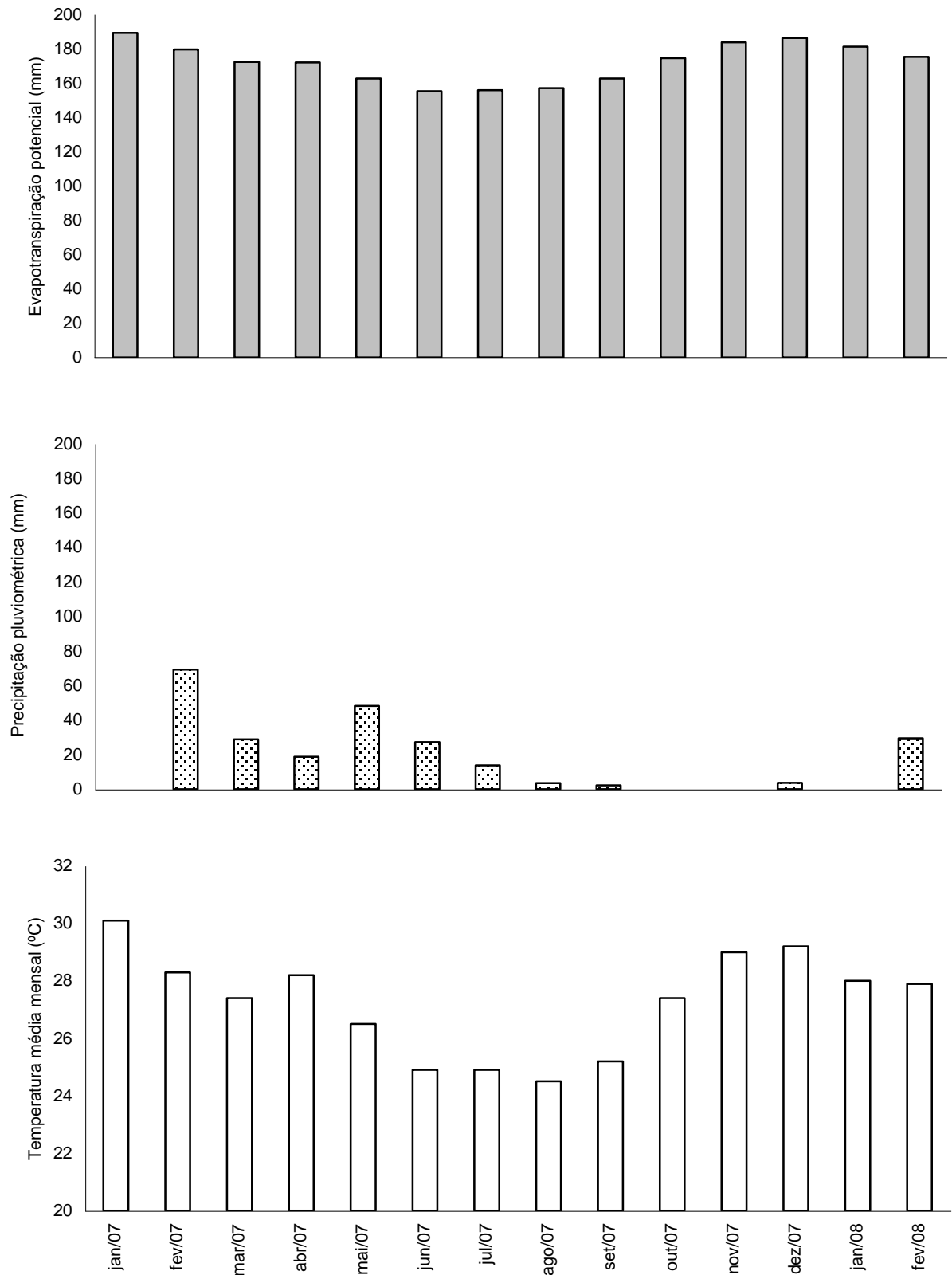


Figura 2. Valores de evapotranspiração potencial, de precipitação pluviométrica e de temperatura média mensal, ocorridos durante o período de monitoramento e disponibilizados pela Estação Agrometeorológica Apolônio Salles

Para as amostras da camada 0-30 cm, coletadas em maio, agosto e novembro, constataram-se a dominância do íon sódio solúvel. Durante o período de maio a agosto ocorreu a redução dos valores da precipitação pluviométrica e conseqüentemente aumento do déficit hídrico da camada superficial do solo. O íon sódio também prevaleceu como dominante no extrato da pasta saturada obtido da amostra da camada 30-60 cm, coletada em novembro. O período de agosto a novembro pode ser caracterizado pelo agravamento da deficiência hídrica do solo influenciada pela ausência de chuvas e pela elevação das temperaturas médias mensais. Em trabalho de recuperação de solos salinos, Öztürk & Özkan (2004) verificaram que o sódio solúvel deslocou-se para a camada superficial do solo com o movimento ascendente da umidade devido à evapotranspiração e para as camadas mais profundas devido à lixiviação dos sais no solo.

Para as amostragens das camadas 0-30 e 30-60 cm, ocorridas nos meses de fevereiro de 2007 e de 2008, bem como para a coleta da camada 30-60 cm, ocorrida em maio de 2007, foi verificada a dominância do íon magnésio solúvel. Tais concentrações podem ter sido influenciadas pelas lâminas de chuva que possivelmente contribuíram para a recarga do lençol freático e para a possível saturação das camadas mais profundas do solo, onde podem ser encontrados minerais ricos em magnésio. Por sondagens geotécnicas realizadas em um Neossolo Quartzarênico do município de Petrolândia, Ferreira (1995) verificou a 7,2 metros de profundidade uma camada de siltito e de calcário muito compacto, de cor marrom e cinza, respectivamente, e abaixo desta, a 9,6 metros uma camada de rocha impermeável. Segundo FAHMA (1998) neste município pode ser encontrado calcário fossilífero, calcita fibrosa e gipsita. Segundo Araújo et al. (2003), sob condição de saturação permanente, é possível uma solubilização tanto dos cátions trocáveis magnésio, cálcio e potássio adsorvidos à superfície dos agregados quanto para aqueles dos intra-agregados do solo. Os autores também verificaram que a quantidade de íons transportada na solução imóvel (intra-agregado) até a superfície dos agregados, foi maior para o potássio, intermediária para o magnésio e menor para o cálcio. O mecanismo de preferência de adsorção e de equilíbrio entre íons, em situações de diluição da solução do solo, possibilita que íons com mais cargas elétricas sejam preferencialmente retidos pelo complexo de troca do solo, ou seja: $Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > NH_4^+ > H^+ > K^+ > Na^+ > Li^+$ (Ferreira, 1997; Holanda et al., 1998).

A concentração do íon potássio foi a mais reduzida em relação à do cálcio e do magnésio. Este cátion por ser monovalente e possuir raio iônico hidratado maior que o do cálcio e do magnésio possivelmente foi menos retido que aqueles íons, sendo passível de lixiviação. Resultados similares foram obtidos em amostras de Luvissole avaliadas por Chaves et al (2006), de Cambissolos por Andrade et al (2004) e Meireles et al. (2003), em três perímetros irrigados do Estado do Ceará, assim como Melo et al. (2008), trabalhando com Neossolos Flúvicos do perímetro irrigado de Custódia (PE).

Com relação aos valores da RAS pode ser observada tendência em aproximar-se ao equivalente ao limite de sodicidade, nas coletas realizadas na área de sequeiro durante o período de redução de chuvas. A sodicidade pode ser caracterizada pelo valor de percentagem de sódio trocável (PST) > 15% ou o de $13 \text{ (mmol L}^{-1}\text{)}^{1/2}$ para relação de adsorção do sódio (Sumner, 1995). Isso possivelmente pode ter sido influenciado pela influência do íon sódio, dominante durante o período de redução de precipitação pluviométrica e de estiagem.

4.1.2 Área sob condição de irrigação por aspersão convencional

Pela avaliação dos resultados da condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação de todas as amostras coletadas foi verificada salinização da área irrigada. Na Figura 3 pode ser observado que o limite de $4,00 \text{ dS m}^{-1}$ foi inferior a todos os valores relativos à CE das amostras de solo coletadas e analisadas, independente da época e camada.

Para a maioria das coletas, os valores mais elevados de CE foram obtidos da análise das amostras da camada 30-60 cm. Resultados similares foram encontrados por Meirelles et al., (2003) para um Cambissolo de textura franco-argilo-arenosa sob irrigação da Chapada do Apodi (CE). Provavelmente tal efeito tenha sido influenciado pela aplicação das lâminas de irrigação as quais provocaram a lixiviação dos sais solúveis da primeira camada. No caso do DIPAS não há cobrança pelo uso da água, sendo a irrigação distribuída ao longo do dia sem definição de horários nem de turno de rega resultando em aplicação excessiva de água de irrigação (Carvalho et al., 2007; Sobral et al., 2006).

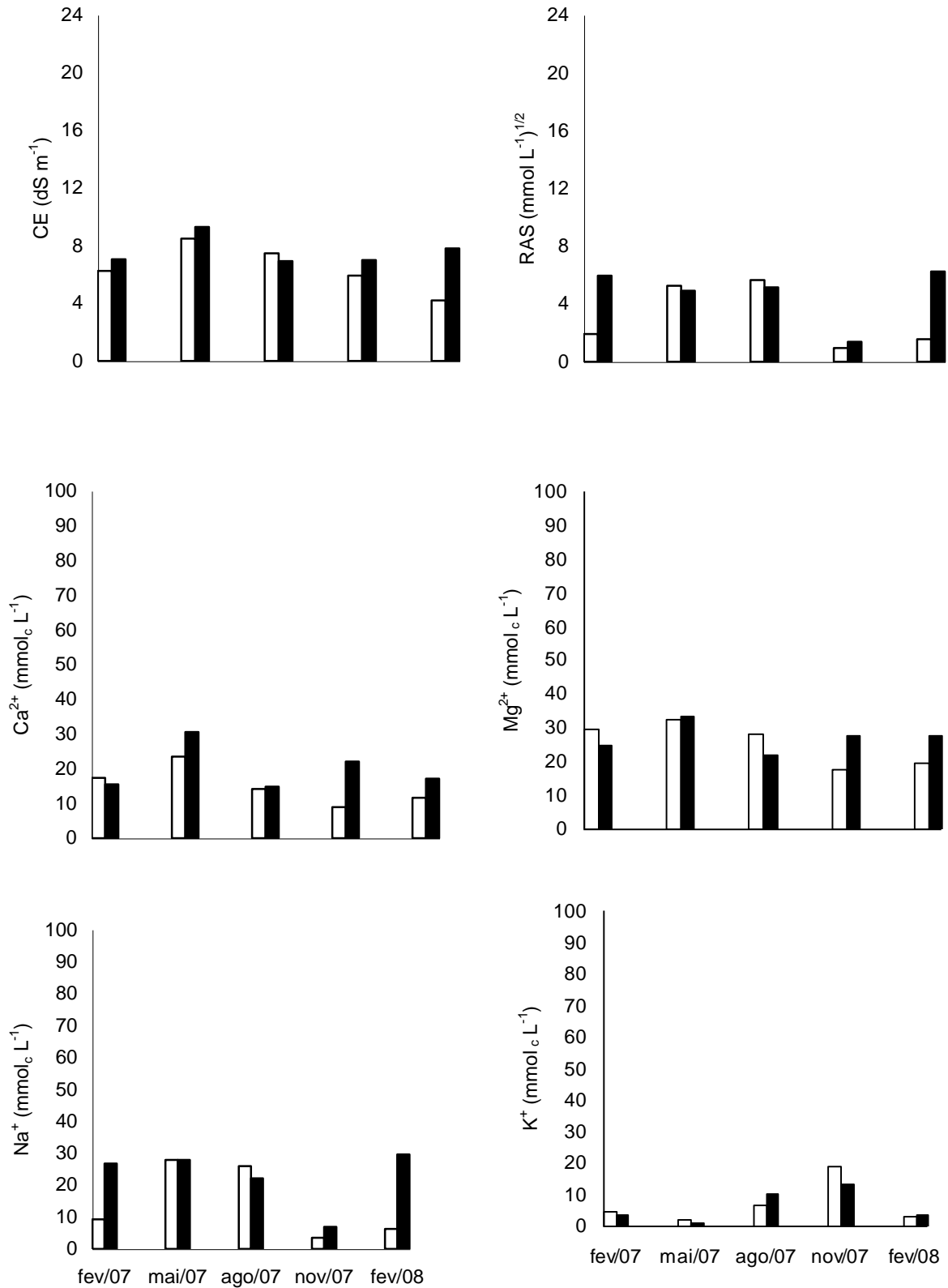


Figura 3. Condutividade elétrica do extrato da pasta saturada (CE), relação de adsorção de sódio (RAS) e concentração de cátions solúveis (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺) do solo nas camadas 0-30 (□) e 30-60 cm (■) da área irrigada

Para o mesmo distrito de irrigação, Amaral et al., (2007) verificaram que o emprego de tal manejo de irrigação resultou em presença de lençol freático em perfis dos Neossolos Quartzarênicos, cuja proximidade em relação à camada superficial é tanto menor quanto mais baixa for a cota topográfica do lote irrigado.

Para camada 0-30 cm, em relação aos cátions solúveis, no período de redução de chuvas, compreendido entre as coletas de maio a novembro de 2007, foi constatada tendência de redução da concentração de cálcio. Esta mesma tendência de redução foi ainda verificada para as concentrações de Mg^{2+} e de Na^+ possivelmente isto foi influenciada pelo manejo da irrigação. Para um Cambissolo Háplico da Chapada do Apodi – CE, Andrade et al. (2002) atribuíram a dominância dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} na camada de 0-60 cm ao excesso de irrigação e ao material de origem do solo, rico em rochas calcárias. Entretanto D’Almeida et al. (2005) para essa mesma região e solo classificados como Cambissolos na camada de 30-60 cm, verificou a predominância do íon sódio na composição do extrato da pasta saturada dos solos da Fazenda Apodi e Frutacor, ambas situadas no município de Quixeré – Ceará.

Os valores para o íon K^+ apresentaram tendência de aumento entre os meses de maio e de novembro possivelmente influenciada pela lixiviação deste elemento da camada superior durante os meses com maior intensidade de chuvas.

Para a área sob irrigação pode ser verificado que os valores da relação de adsorção de sódio da camada 30-60 cm foram maiores que os correspondentes da camada 0-30 cm para as mesmas épocas de coleta. Isso foi influenciado pela maior lixiviação do íon sódio na camada superior devido à aplicação das lâminas de irrigação.

Foi constatado que os valores da RAS para a camada 30-60 cm foram menores que os referentes à camada superior para as mesmas épocas de coleta na condição irrigada. Possivelmente o comportamento dos valores da RAS na camada 30-60 cm tenha sido influenciado pela menor tendência de aumento da concentração do Na^+ , ocorrida entre os meses de maio e novembro de 2007, devido à reduzida influência da evaporação na camada inferior do solo.

4.2 Experimento em laboratório

4.2.1 Características do solo no estado de saturação

O deslocamento da lâmina de saturação (L_0) de baixo para cima na coluna de solo provocou mudanças de valores relativos às concentrações dos sais, às proporções entre os cátions solúveis e às relações de adsorção de sódio da camada 30-60 cm do solo coletado sob condição sequeiro e de irrigação (Tabela 6).

Tabela 6. Características do extrato da pasta saturada do solo, no estado inicial relativo à coleta em campo e no estado de saturação, por fluxo ascendente antes da aplicação das lâminas de lixiviação

Condição de exploração agrícola	Estado do solo na camada	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	RAS
	(0-30 cm)	(dS m ⁻¹)	-----mmol _c L ⁻¹ -----				(mmol L ⁻¹) ^{1/2}
Sequeiro	Inicial	13,16	35,66	31,10	62,95	2,74	10,90
	Saturado	11,63	30,09	23,40	56,78	2,48	11,02
	(30-60 cm)	(dS m ⁻¹)	-----mmol _c L ⁻¹ -----				(mmol L ⁻¹) ^{1/2}
	Inicial	8,21	18,94	32,18	38,09	1,22	7,53
	Saturado	2,42	13,56	4,61	6,14	1,71	2,02
Sob Irrigação	(0-30 cm)	(dS m ⁻¹)	-----mmol _c L ⁻¹ -----				(mmol L ⁻¹) ^{1/2}
	Inicial	12,25	30,54	24,05	54,04	8,66	10,34
	Saturado	7,63	20,89	9,85	40,28	1,42	10,24
	(30-60 cm)	(dS m ⁻¹)	-----mmol _c L ⁻¹ -----				(mmol L ⁻¹) ^{1/2}
	Inicial	17,73	58,78	24,07	57,89	3,10	10,34
	Saturado	10,82	29,52	31,06	47,42	1,91	8,60

Para a camada inferior, foi verificado que o decréscimo mais acentuado ocorreu para o solo coletado na área sob irrigação. Para o solo da condição de sequeiro a redução da concentração de sais solúveis foi menor, entretanto resultou em valor de CE igual a 2,42 dS m⁻¹, inferior ao limite para classificação de solo salino igual ou maior que 4,00 dS m⁻¹.

A redução dos valores iniciais da CE do solo ocorrida na camada de 30-60 cm provavelmente foi influenciada pela lâmina de saturação (L_0). O volume de água para saturação foi calculado considerando-se coluna de solo com 60 cm de altura.

Portanto, através da camada inferior (espessura de 30 cm) foi deslocada uma lâmina equivalente ao dobro do seu volume de poros.

Na Tabela 7 pode-se verificar a ocorrência de alterações mais acentuadas para os valores da argila dispersa em água (ADA) e para o grau de dispersão (GD) da camada 30-60 cm do solo da área de sequeiro. O valor inicial da CE e a redução deste valor proporcionada por L_0 podem ter contribuído para o aumento da dispersão da argila nesta camada durante o processo de saturação da coluna de solo. Neste sentido, resultados similares foram obtidos por Ruiz et al. (2004).

Tabela 7. Características físicas do solo, no estado inicial, relativo à coleta em campo, e no estado de saturação por fluxo ascendente antes da lixiviação

Condição de exploração agrícola	Camada - - --- cm -----	Estado do solo	ADA g kg ⁻¹	GD (%)
Sequeiro	00-30	Inicial	54,00	57,45
	00-30	Saturado	54,50	55,84
Sequeiro	30-60	Inicial	16,53	15,86
	30-60	Saturado	68,88	69,23
Sob irrigação	00-30	Inicial	14,00	14,58
	00-30	Saturado	53,25	52,52
Sob irrigação	30-60	Inicial	14,00	13,41
	30-60	Saturado	23,25	22,66

Segundo Ruiz-Vera & Wu (2006) o processo de dispersão pode ocorrer em solos com PST menor que 15% caso ocorra redução acentuada da concentração eletrolítica da solução do solo. A dispersão da argila, conforme citado por Lado et al.(2004), ocorre quando o valor da CE da solução do solo é inferior ao valor da capacidade crítica de floculação. Neste sentido, a camada inferior do solo na condição de sequeiro, com valor inicial de CE equivalente a 8,21 dS m⁻¹, ao ser saturada (1,0 VP) e através dela ter sido deslocada mais uma lâmina de 1,0 VP, a fim de se obter saturação dos 60 cm de solo na coluna, sofreu redução da concentração de sais solúveis provavelmente ao ponto de ter ultrapassado o limite

inferior da capacidade crítica de flocculação das argilas, resultando em grau de dispersão de 69,23%.

Para a mesma camada (30-60 cm) e solo coletado da área irrigada, pode ser constatado menor incremento para o valor de GD. Após aplicação de L_0 , o valor inicial para CE de $17,22 \text{ dS m}^{-1}$ foi reduzido para $15,20 \text{ dS m}^{-1}$ e o grau de dispersão aumentou de 13,41% para 22,66%.

Para a camada de 0-30 cm pode ser verificado que ocorreram menores diferenças entre os valores iniciais e os obtidos para CE, cátions solúveis e para a RAS após aplicação de L_0 . O avanço da frente de molhamento provavelmente tenha contribuído com aportes de sais solúveis e possivelmente após o período de repouso tenha ocorrido tendência a estabelecimento de novo equilíbrio do sistema.

Apesar das menores diferenças entre os valores iniciais e os obtidos após aplicação de L_0 , pode ser observado que os valores de GD para solo da camada 0-30 cm na condição de irrigação sofreu acréscimo de 14,58% para 52,52%. Para esta camada ocorreu redução da concentração de sais solúveis de forma que o valor inicial da CE foi reduzido de $12,25 \text{ dS m}^{-1}$ para $7,63 \text{ dS m}^{-1}$.

Assim, a aplicação de L_0 equivalente a 2,00 volume de poros, considerando camada de 30-60 cm do solo coletado na área de sequeiro, associada ao valor inicial para CE de $8,21 \text{ dS m}^{-1}$ implicou em redução da concentração de sais solúveis ($CE = 2,42 \text{ dS m}^{-1}$) e aumento do grau de dispersão de 15,86% para 69,23%. Para o solo da condição irrigada, a aplicação de L_0 correspondente à saturação da coluna de solo de 60 cm de altura, ao atingir a camada de 0-30 cm, provocou redução da CE inicial de $12,25 \text{ dS m}^{-1}$ para $7,63 \text{ dS m}^{-1}$ e aumento do GD de 14,58% para 52,52%.

4.2.2 Condutividade hidráulica saturada durante a lixiviação do solo

Como pode ser observado, o resultado da análise de variância indicou efeitos significativos do fator condição de exploração agrícola, de lâminas de lixiviação e da interação (Tabela 8).

Tabela 8. Resultado da análise de variância para a condutividade hidráulica saturada

Valor F				
Bloco	Condição	Lâminas de lixiviação	Interação	CV (%)
27,09**	58,54**	30,38**	14,76**	10,36

ns - não significativo; * - significativo a 5% e ** a 1% de probabilidade de erro, respectivamente.

Durante a condução do experimento, para a condição de sequeiro foi obtida uma condutividade hidráulica saturada média de $2,07 \text{ cm h}^{-1}$. Para a condição irrigada foi verificado valor de $3,78 \text{ cm h}^{-1}$. O resultado da análise de variância, a nível de 1% de probabilidade pelo teste F, indicou diferença estatísticas entre as médias das condições de exploração agrícola consideradas no presente estudo. Provavelmente as concentrações de sais solúveis ($CE = 10,82 \text{ dS m}^{-1}$) e de argila dispersa em água ($ADA = 23,25 \text{ g kg}^{-1}$) na camada inferior na condição irrigada, resultante do processo de saturação por fluxo ascendente, tenha possivelmente contribuído para maior valor da condutividade hidráulica saturada após a lixiviação dos sais.

Os resultados dos desdobramentos relativos aos efeitos das lâminas de lixiviação dentro da condição de sequeiro e dentro da condição irrigada podem ser observados na Figura 4.

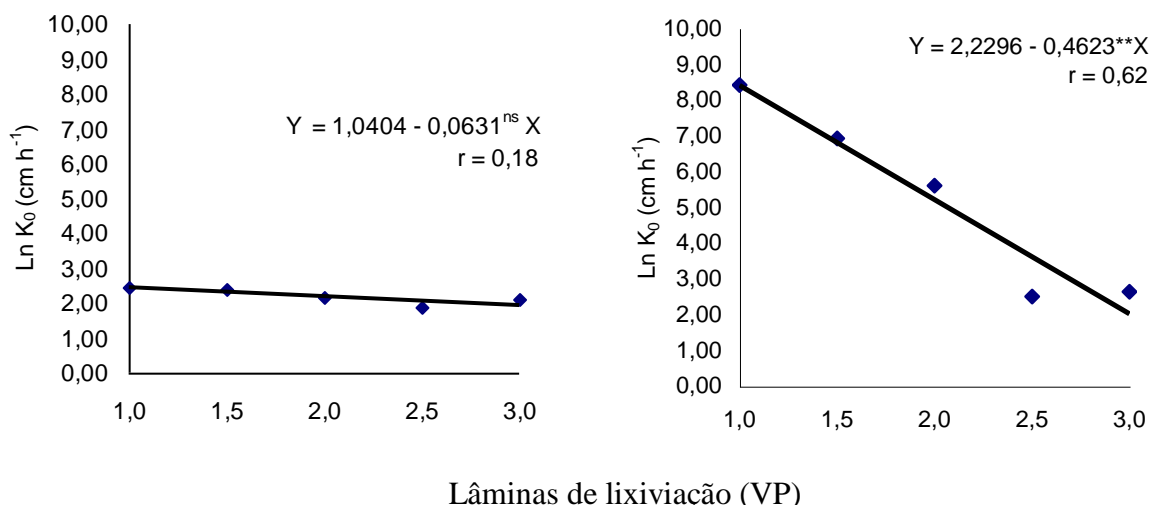


Figura 4 Efeito das lâminas de lixiviação (VP) sobre a condutividade hidráulica saturada do solo da condição de sequeiro (K_{0_SEQ}) e da irrigada (K_{0_IRR}).

Pode ser observado que dentro da condição de sequeiro, a condutividade hidráulica saturada não foi influenciada pela aplicação das lâminas de lixiviação. Na condição de solo coletado da área irrigada, pode ser verificado que ocorreu decréscimo dos valores da condutividade hidráulica saturada média em função do aumento das lâminas de lixiviação, descrito pelo modelo ajustado. A redução da condutividade hidráulica saturada ocorre com o decréscimo da concentração de sais da solução do solo e isso acontece por causa da remoção de sais principalmente quando é empregada água com baixa concentração de sais solúveis durante

processo de lixiviação (Kolahchi & Jalali, 2003). Resultados obtidos por Lado et al. (2004) comprovam a influência diluição da solução eletrolítica da camada inferior do solo sobre os resultados finais da condutividade hidráulica saturada. Os autores relatam que a utilização de água potável, com CE de $0,9 \text{ dS m}^{-1}$ e RAS de $2,5 \text{ (mmol L}^{-1})^{1/2}$, para saturação de colunas de solo, por fluxo ascendente, provocou fragmentação dos agregados da classe 4-6 mm de solo com CE de $0,34 \text{ dS m}^{-1}$ e com baixa concentração de matéria orgânica.

Considerando os valores observados da condutividade hidráulica saturada média, obtidos pela aplicação das lâminas de lixiviação e não os ajustados pelo modelo, foram verificados decréscimos entre os valores da característica física avaliada quando se aplicou as lâminas de 1,0, 1,5 e 2,0 VP. Para as lâminas de 2,5 e de 3,0 VP não ocorreu decréscimo de valores para a condutividade hidráulica. Possivelmente a aplicação prévia da lâmina de saturação (L_0) tenha influenciado tal resultado. A aplicação por fluxo ascendente de L_0 , provocou a redução da CE inicial de $12,25 \text{ dS m}^{-1}$ para $7,63 \text{ dS m}^{-1}$ e aumento do grau de dispersão de 14,58% para 52,52%.

A lâmina de lixiviação de 2,0 VP, calculada para correção de camada com 30 cm de profundidade, corresponde a um volume de poros de camada de solo com 60 cm de profundidade, isto é, a uma vez o volume de poros do solo acondicionado na coluna. Tal lâmina ao ser aplicada provavelmente tenha deslocado parte dos sais solúveis e da argila dispersa em água, tendo contribuído para obstrução parcial dos poros da camada inferior da coluna de solo.

Isso é condizente com o fato de que a argila dispersa em água, apresenta mobilidade e pode obstruir parcialmente os poros do solo (Azevedo & Bonumá, 2004). E que a condutividade hidráulica saturada de um solo é dependente da forma, quantidade, distribuição e continuidade dos poros preenchidos com água, sendo que a redução da condutividade hidráulica é mais dependente da estrutura do que da textura do solo (Mesquita & Moraes, 2004). Para solos arenosos do semi-árido da Índia foi constatada a diminuição da taxa de infiltração da água com o aumento dos valores das lâminas de lixiviação (Sharma & Manchanda, 1999).

4.2.3 Características do solo após a lixiviação

4.2.3.1 CE, cátions solúveis e RAS

a) Camada 0-30 cm

Pela observação dos resultados discriminados na Tabela 9, pode ser verificada a alteração dos valores de CE, da concentração de cátions solúveis e da RAS da camada 0-30 cm após o processo de lixiviação da coluna de solo.

Tabela 9. Resultados obtidos para CE, concentração de cátions solúveis e RAS no estado de saturação (L_0) e após a lixiviação da camada 0-30 cm na coluna de solo

Condição do Solo	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	RAS
Sequeiro	(dS m ⁻¹)	-----mmol _c L ⁻¹ -----				(mmol L ⁻¹) ^{1/2}
Saturado (L_0)	11,63	30,09	23,40	56,78	2,48	11,02
Lixiviado	2,78	8,84	9,48	10,00	2,42	3,50
Sob Irrigação	(dS m ⁻¹)	-----mmol _c L ⁻¹ -----				(mmol L ⁻¹) ^{1/2}
Saturado (L_0)	7,63	20,89	9,85	40,28	1,42	10,24
Lixiviado	2,28	8,22	7,21	4,26	1,46	1,43

Para a mesma camada do solo houve influência da condição de exploração agrícola sobre os resultados da CE, concentrações de Ca²⁺, Na⁺ e K⁺, bem como para valores de RAS segundo discriminado na Tabela 10.

Tabela 10 Médias da condutividade elétrica da pasta saturada do solo, dos cátions solúveis e da relação de adsorção do sódio na camada 0-30 cm solo após lixiviação

Condição	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	RAS
	(dS m ⁻¹)	----- (mmol _c L ⁻¹) -----				(mmolL ⁻¹) ^{1/2}
Sequeiro	2,78 A	8,84 A	9,48 A	10,00 A	2,42 A	3,50 A
Irrigação	2,28 B	8,22 A	7,21 B	4,26 B	1,46 B	1,43 B
CV (%)	15,32	11,34	20,71	21,65	21,07	54,67

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si, conforme teste F a 1% de probabilidade

Tanto para a condição de sequeiro quanto para a irrigada, os resultados de CE foram inferiores a 4,00 dS m⁻¹. Os valores indicam correção da salinidade pelo processo de lixiviação utilizando a água de irrigação da barragem de Itaparica. Entretanto, é importante notar os valores iniciais da salinidade do solo saturado

correspondentes a CE de 11,63 e de 7,63 dS m⁻¹, para condição de sequeiro e irrigado respectivamente. Assim, os valores de CE para o solo saturado, a textura areia franca e a lixiviação do solo com água de irrigação captada na barragem de Itaparica contribuíram para o deslocamento da maior parte dos sais solúveis.

Foi verificada superioridade das médias correspondentes às concentrações de Mg²⁺, Na⁺ e de K⁺ solúveis para a condição de sequeiro quando comparadas com as da condição irrigada. Possivelmente os maiores valores absolutos das concentrações destes cátions no solo de sequeiro saturado, em comparação com os do solo saturado da área irrigada, tenham contribuído para estes resultados.

Em relação ao sódio, Moura (1989) verificou que tal cátion por ser pouco retido pelas superfícies de troca do solo foi transportado por difusão e provocou deslocamento do cálcio adsorvido para a solução de um Neossolo Flúvico salino-sódico, coletado de perímetro irrigado de Gortuba (MG). A modificação na composição do extrato da pasta saturada está relacionada não só à redução na concentração de sais solúveis, mas também ao equilíbrio químico estabelecido após a aplicação das lâminas de lixiviação.

As modificações nas concentrações de Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺ provocaram alterações nos valores da RAS. O valor de 3,50 (mmol L⁻¹)^{1/2} relativo à condição de sequeiro foi superior estatisticamente ao da irrigada equivalente a 1,43 (mmol L⁻¹)^{1/2}. Possivelmente a mobilidade do íon sódio e a preferência de adsorção dos íons cálcio e magnésio pelas superfícies de trocas catiônica em relação a Na⁺ e K⁺ possam ter contribuído para tais resultados. David & Dimitrios (2002) relatam que a redução na salinidade na solução do solo resulta em grande redução da RAS. Os autores explicam que tal comportamento reflete o processo de difusão e a diluição da concentração dos íons Na⁺ e Ca²⁺.

Na Tabela 11 pode ser verificada a influência do fator lâminas de lixiviação dentro da condição de sequeiro e da condição de solo coletado da área irrigada sobre a CE, concentrações de Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺ e a RAS.

Tabela 11 Influência do fator lâminas de lixiviação dentro das condições de exploração agrícola para os resultados de CE, dos cátions solúveis e da RAS

Condição	Camada (cm)	Valor F					
		CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	RAS
Sequeiro	0-30	31,91 **	13,42 **	4,65 *	58,82 **	0,40 ^{ns}	51,77 **
Irrigado	0-30	14,58 **	2,02 ^{ns}	0,49 ^{ns}	8,46 **	3,21 ^{ns}	7,51 *

(*) Significativo a 5%, (**), a 1% de probabilidade e (ns) Não significativo

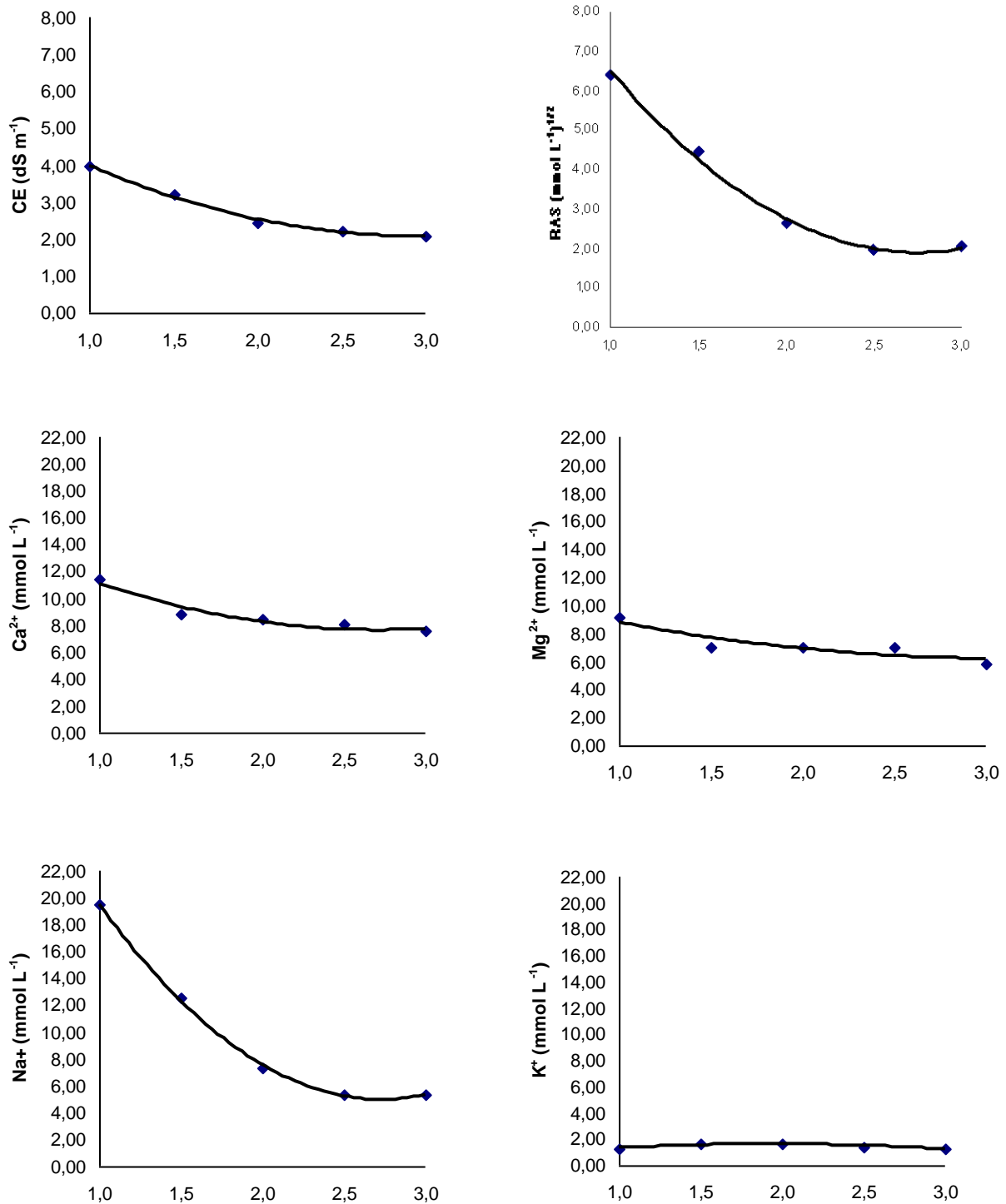
O comportamento dos valores da CE, das concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e da RAS na camada 0-30 cm, em função do fator lâminas de lixiviação dentro da condição de sequeiro, pode ser observado na Figura 5.

Os maiores coeficientes de determinação foram relacionados com a concentração de sódio solúvel ($R^2 = 0,77$), a relação de adsorção de sódio ($R^2 = 0,75$) e a condutividade elétrica ($r = 0,70$). Esses resultados indicam que mais de 70% dos resultados, de cada uma destas características, foi influenciado pela aplicação das lâminas de lixiviação.

O aumento das lâminas de lixiviação, aplicadas na camada superior da coluna de solo coletado na condição de sequeiro, implicou em redução da concentração do íon Na^+ solúvel. Isso possivelmente tenha sido influenciado pela menor preferência do complexo de troca pelo sódio em condições de diluição da solução do solo (Ferreira, 1997). Os maiores decréscimos ocorreram até a aplicação da lâmina de 2,0 VP. A partir da lâmina de 2,5 VP houve menor decréscimo das concentrações de Na^+ .

O comportamento dos valores da RAS provavelmente foi influenciado pela tendência de redução apresentado pelo íon sódio em função do aumento das lâminas de lixiviação. Os maiores decréscimos foram também verificados até a aplicação de 2,0 VP e os menores foram referentes às lâminas de 2,5 e 3,0 VP.

A CE apresentou valores inferiores a $4,00 \text{ dS m}^{-1}$ na camada 0-30 cm a partir da aplicação de lâmina de lixiviação equivalente a 1,0 VP. Isso indica que é possível corrigir o solo da área de sequeiro com a menor lâmina adotada no presente estudo, o que equivale à aplicação por inundação contínua de uma lâmina de água de 95,45 mm, captada da barragem de Itaparica. Foi verificada uma tendência mais acentuada para redução dos valores de CE até a aplicação de lâmina de lixiviação de 2,0 VP (190,90 mm). Em estudo de lixiviação de sais com um Neossolo Flúvico salino de classe textural franco, acondicionado em lisímetros, Ferreira et al. (2006), estudando efeito de cinco lâminas de lixiviação equivalente a 0,25, 0,50, 0,75, 1,00 e 1,25 volume de poros, ou seja 53, 106, 159, 206 e 248 mm, verificaram maiores reduções da concentração de sais quando se aplicou as primeiras e à medida que as lâminas foram aumentadas os decréscimos foram menores.



Lâminas de lixiviação (VP)

Figura 5. Influência das lâminas de lixiviação dentro da condição de sequeiro sobre as características químicas na camada 0-30 cm:

$$CE = 6,47 - 3,04^{**} (VP) + 0,53 (VP)^2, \quad R^2 = 0,70; \quad RAS = 13,24 - 8,23^{**}x + 1,19(VP)^2, \quad R^2 = 0,75;$$

$$Ca^{2+} = 16,38 - 6,46^{**} (VP) + 0,53 (VP)^2, \quad R^2 = 0,50; \quad Mg^{2+} = 11,80 - 3,59^*(VP) + 0,58 (VP)^2, \quad R^2 = 0,19;$$

$$Na^+ = 41,21 - 26,55^{**} (VP) + 4,86 (VP)^2, \quad R^2 = 0,77; \quad K^+ = 0,38 - 1,30^{ns} (VP) + 0,34 (VP)^2, \quad R^2 = 0,01.$$

(ns – não significativo, * e **, significativo a 5 e 1%, respectivamente)

A tendência dos valores de CE, cátions solúveis e da RAS em função dos níveis do fator lâminas de irrigação dentro da condição de solo coletado em área irrigada pode ser observada na Figura 6.

As concentrações de Ca^{2+} , de Mg^{2+} e de K^+ bem como os valores de RAS não foram influenciados pela aplicação das lâminas de lixiviação, a nível de 1% de probabilidade, levando-se em consideração o solo coletado sob condição de irrigação. Embora tenha se obtido coeficientes de regressão inferiores a 0,60, para a concentração de Na^+ solúvel ($R^2 = 0,51$) e para CE ($R^2 = 0,50$), pode ser constatado que ocorreu influência das lâminas de lixiviação sobre estas características.

A aplicação da lâmina de 1,0 VP proporcionou a correção da salinidade na camada 0-30 cm do solo coletado na área irrigada.

As aplicações das lâminas de lixiviação resultaram em decréscimo dos valores das concentrações de Na^+ , sendo que a maior redução foi proporcionada pela aplicação de 1,5 VP.

Embora a RAS não tenha sido influenciada pelas lâminas de lixiviação, a nível de 1% de probabilidade, pode-se verificar que houve tendência similar ao comportamento Na^+ , para cada um dos níveis de lâmina de lixiviação. Isso indica a provável influência de tal cátion sobre a relação de adsorção de sódio.

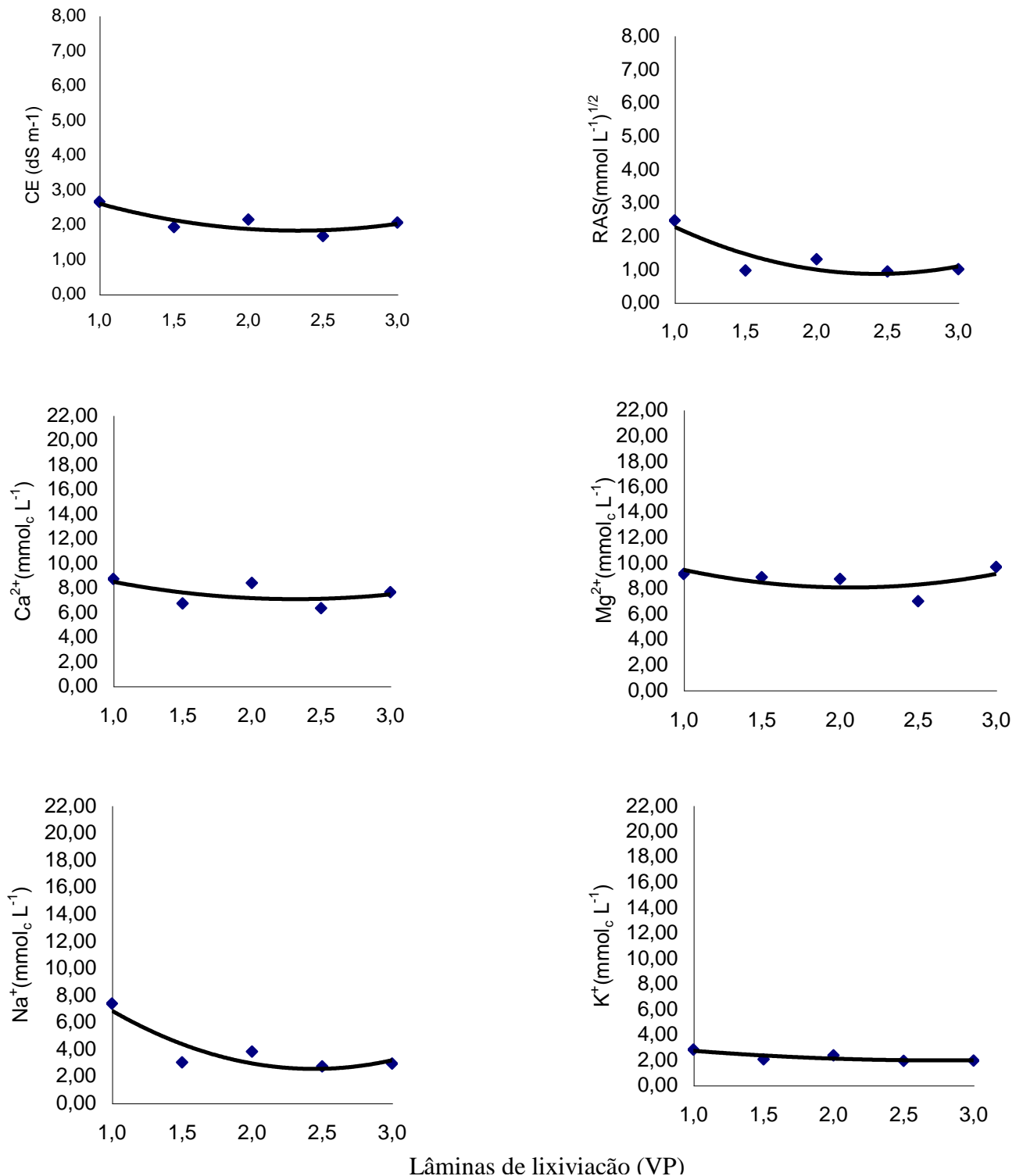


Figura 6 Comportamento dos valores de CE, de RAS e das concentrações dos cátions solúveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) na camada 0-30 cm em função da aplicação das lâminas de lixiviação (VP) dentro da condição irrigada: $\text{CE} = 3,51 - 1,02^{**}(\text{VP}) + 0,18(\text{VP})^2$, $R^2 = 0,50$; $\text{RAS} = 4,57 - 2,82^*(\text{VP}) + 0,56(\text{VP})^2$, $R^2 = 0,49$; $\text{Ca}^{2+} = 8,87 - 0,06^{\text{ns}}(\text{VP}) + 0,12(\text{VP})^2$, $R^2 = 0,10$; $\text{Mg}^{2+} = 10,31 - 0,62^{\text{ns}}(\text{VP}) + 0,09(\text{VP})^2$, $R^2 = 0,03$; $\text{Na}^+ = 13,76 - 8,48^{**}(\text{VP}) + 1,66(\text{VP})^2$, $R^2 = 0,51$; $\text{K}^+ = 3,04 - 0,22^{\text{ns}}(\text{VP}) - 0,04(\text{VP})^2$, $R^2 = 0,19$ (ns – não significativo, * e **, significativo a 5 e 1%, respectivamente)

b) Camada 30-60 cm

Na Tabela 12 pode ser verificado que em relação à CE, cátions solúveis e RAS da camada 30-60 cm também ocorreram variações entre os valores decorrentes da saturação e os resultantes da lixiviação tanto para a condição de sequeiro quanto para a irrigada.

Tabela 12. Resultados obtidos para CE, concentração de cátions solúveis e RAS no estado de solo saturado (L_0) e após a aplicação das lâminas de lixiviação

Estado do Solo	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	RAS
Sequeiro	(dS m ⁻¹)	-----mmol _c L ⁻¹ -----				(mmol L ⁻¹) ^{1/2}
Saturado (L_0) camada 0-30 cm	11,63	30,09	23,40	56,78	2,48	11,02
Saturado (L_0) camada 30-60 cm	2,42	13,56	4,61	6,14	1,71	2,02
Lixiviado camada 0-30 cm	2,78	8,84	9,48	10,00	2,42	3,50
Lixiviado camada 30-60 cm	5,91	12,60	11,59	20,89	2,09	5,42
Sob Irrigação	(dS m ⁻¹)	-----mmol _c L ⁻¹ -----				(mmol L ⁻¹) ^{1/2}
Saturado (L_0) camada 0-30 cm	7,63	20,89	9,85	40,28	1,42	10,24
Saturado (L_0) camada 30-60 cm	10,82	29,52	31,06	47,42	1,91	8,60
Lixiviado camada 0-30 cm	2,28	8,22	7,21	4,26	1,46	1,43
Lixiviado camada 30-60 cm	6,69	11,36	16,04	18,25	2,75	4,54

As lâminas de lixiviação aplicadas no topo da coluna de solo, da condição de sequeiro e da irrigada, não foram suficientes para provocar correção da salinidade do solo tanto da condição de sequeiro quanto da irrigada. Esse resultado possivelmente esteja associado ao emprego de lâmina de lixiviação para correção de camada com 30 cm de profundidade. Dessa forma, o avanço da frente de molhamento em direção à extremidade inferior da coluna, provocou o deslocamento suficiente de sais da camada superior de modo a promover a correção da salinidade nessa camada e, por outro lado, na camada inferior, resultou em concentrações de sais solúveis correspondentes a valores de CE superior ao limite para correção da salinidade, isto é, maior ou igual a 4,00 dS m⁻¹.

Pela observação da Tabela 13, pode ser verificado que não ocorreu influência do fator condição de exploração agrícola nem para a concentração de sais e nem para a concentração de cálcio solúvel após a lixiviação da coluna de solo. Os valores de CE após a lixiviação da coluna de solo superiores a 4,00 dS m⁻¹ indicam que não houve a correção da salinidade na camada de 30-60 cm.

Tabela 13 Médias da condutividade elétrica da pasta saturada do solo, dos cátions solúveis e da relação de adsorção do sódio na camada 30-60 cm após lixiviação

Condição	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	RAS
	(dS m ⁻¹)	(mmol _c L ⁻¹)				(mmolL ⁻¹) ^{1/2}
Sequeiro	5,91 A	12,60 A	11,59 B	20,89 A	2,09 B	5,42 A
Irrigação	6,69 A	11,36 A	16,04 A	18,25 B	2,75 A	4,54 B
CV (%)	11,66	14,56	15,24	13,15	18,28	26,21

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si, conforme teste F a 1% de probabilidade

O maior valor da RAS provavelmente foi influenciado pela maior concentração do sódio solúvel para a condição da exploração agrícola de sequeiro. Nesta condição a concentração de 56 mmol_c L⁻¹, proporcionada pela aplicação de L₀, provavelmente contribuiu para a superioridade da concentração residual deste cátion em solução após a aplicação das lâminas de lixiviação.

Pela observação da Tabela 14 pode ser constatada a influência do fator lâminas de lixiviação dentro de cada uma das condições de exploração agrícola para os resultados de CE, das concentrações de cátions solúveis e da RAS da camada 30-60 cm. Para a condição de sequeiro pode ser observada que a aplicação das lâminas de lixiviação influenciou o comportamento de CE, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e da RAS.

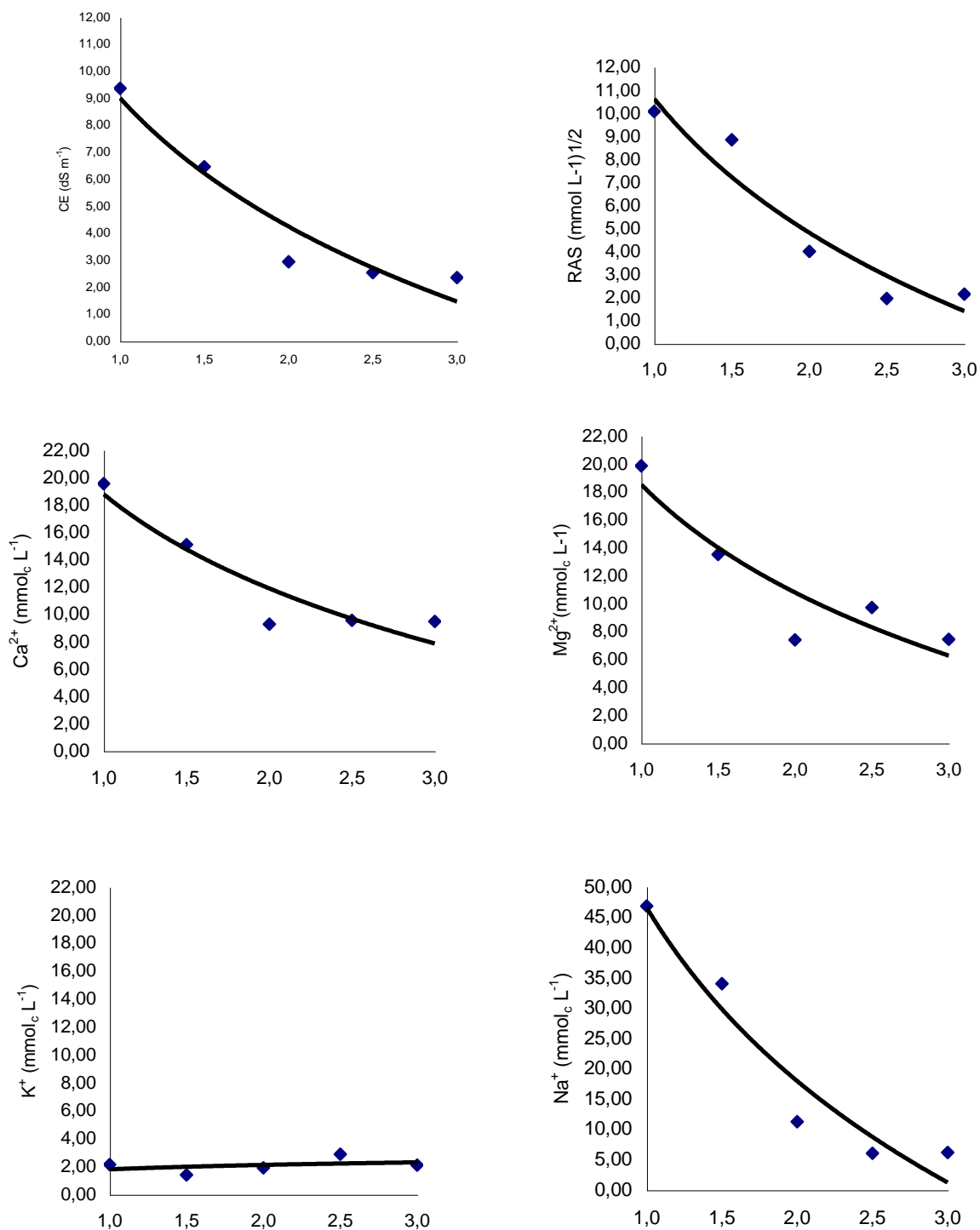
Tabela 14 Influência do fator lâminas de lixiviação dentro das condições de exploração agrícola para os resultados de CE, dos cátions solúveis e da RAS

Condição	Camada (cm)	Valor F					
		CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	RAS
Sequeiro	30-60	78,25 **	30,46 **	27,01 **	92,69 **	2,09 ^{ns}	74,62 **
Irrigado	30-60	82,02**	40,86**	4,32 ^{NS}	81,08 **	10,39 **	60,82 **

(*) Significativo a 5%, (**), a 1% de probabilidade e (ns) Não significativo

Na Figura 7 pode ser verificada a tendência dos valores relativos à CE, às concentrações dos cátions solúveis e aos valores da RAS em função das lâminas de lixiviação dentro do fator condição de exploração agrícola de sequeiro.

Para o modelo, o aumento dos níveis das lâminas de lixiviação resultou em redução dos valores de CE, das concentrações de Ca²⁺, Mg²⁺ e de Na⁺, bem como dos valores da RAS. Os maiores coeficientes de regressão foram obtidos para as variáveis CE, Na⁺ e RAS, com valores superiores a 0,90.



Lâminas de lixiviação (VP)

Figura 7 Influência das lâminas de lixiviação dentro da condição de sequeiro sobre as características químicas na camada 30-60 cm:

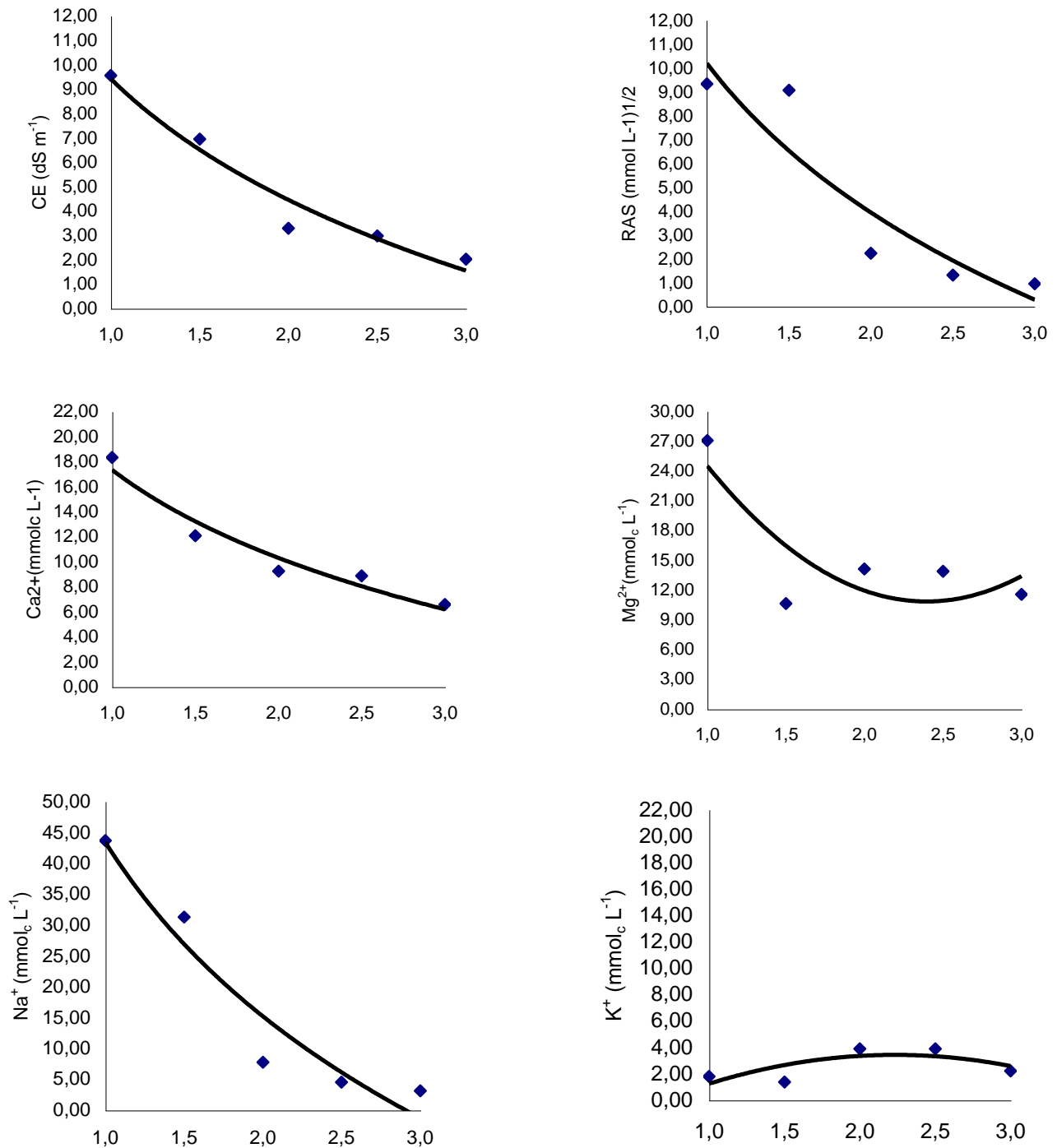
$CE = 9,01 - 6,86^{**} \ln(VP)$, $R^2 = 0,82$; $RAS = 10,64 - 8,40^{**} \ln(VP)$, $R^2 = 0,77$;
 $Ca^{2+} = 18,80 - 9,95^{**} \ln(VP)$, $R^2 = 0,73$; $Mg^{2+} = 18,54 - 11,16^{**} \ln(VP)$, $R^2 = 0,69$;
 $Na^+ = 46,59 - 41,28^{**} \ln(VP)$, $R^2 = 0,79$; $K^+ = 1,80 + 0,46^{ns} \ln(VP)$, $R^2 = 0,07$.
 (ns – não significativo, * e **, significativo a 5 e 1%, respectivamente)

Dentro da condição de sequeiro, a aplicação de lâmina de lixiviação equivalente a 2,0 VP resultou em valor de CE inferior a 4,00 dS m⁻¹, ou seja foi capaz de corrigir a salinidade do solo da camada de 30-60 cm. Esta lâmina de lixiviação também proporcionou redução de 53%, 62%, 76% e de 49% dos respectivos valores das concentrações de Ca²⁺, de Mg²⁺, de Na⁺ e de K⁺ resultantes da aplicação da lâmina equivalente a 1,0 VP.

O comportamento dos valores da RAS foi bastante similar ao observado para as concentrações de Na⁺ solúvel. A maior redução dos valores da RAS foi verificada pela aplicação da lâmina de 2,0 VP, sendo de aproximadamente 60% em relação ao valor obtido após a aplicação de 1,0 VP.

A tendência dos valores relativos à CE, às concentrações de Ca²⁺, de Mg²⁺, de Na⁺, de K⁺ e aos valores da RAS em função das lâminas de lixiviação dentro do fator condição irrigada de exploração agrícola pode ser observada na Figura 8. As variáveis dependentes CE, RAS, concentração de Ca²⁺, de Na⁺ e de K⁺ foram influenciadas pela aplicação das lâminas de lixiviação. Com o incremento das lâminas de lixiviação ocorreu redução dos valores de CE, da RAS, das concentrações de Ca²⁺ e de Na⁺ e em aumento de K⁺.

Este aumento da concentração do íon K⁺ solúvel pode ter sido influenciado pela dessorção do potássio ocluso em pequena proporção de argila 2:1 presente no solo, pois estudos realizados por Ferreira (1995) para um solo de textura arenosa da Bacia do Jatobá, no município de Petrolândia (PE), constatam pela análise mineralógica na fração silte presença de interstratificação irregular de montmorilonita-vermiculita, caulinita e mica. O mesmo autor indicou na fração argila a ocorrência de mica, interstratificação irregular de mica-montmorilonita e clorita-vermiculita. Naidu & Rengasamy (1995) demonstraram que um constante suprimento de potássio é assegurado na solução do solo, por causa da presença de mica na composição mineralógica dos solos afetados por sais. Foi verificado por Araújo et al. (2003) a possibilidade de remoção do potássio não trocável de agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico típico, tendo sido também constatada por análise mineralógica a presença de illita.



Lâminas de lixiviação (VP)

Figura 8 Influência das lâminas de lixiviação dentro da condição irrigada sobre as características químicas na camada 30-60 cm:

$$CE = 9,33 - 6,85^{**} \ln(VP), \quad R^2 = 0,86; \quad RAS = 10,17 - 8,88^{**} \ln(VP), \quad R^2 = 0,72;$$

$$Ca^{2+} = 17,04 - 9,11^{**} \ln(VP), \quad R^2 = 0,71; \quad Mg^{2+} = 55,16 - 39,06^{ns}(VP) - 8,67(VP)^2, \quad R^2 = 0,67;$$

$$Na^+ = 43,29 - 40,21^{**} \ln(VP), \quad R^2 = 0,79; \quad K^+ = -2,96 + 5,38^{**}(VP) - 1,21(VP)^2, \quad R^2 = 0,49.$$

(ns – não significativo, * e **, significativo a 5 e 1%, respectivamente)

4.2.3.2 Argila dispersa em água (ADA) e grau de dispersão (GD)

a) Camada 0-30 cm

Na Tabela 15 pode ser verificada a alteração dos valores de GD e da ADA para a camada 0-30 cm após o processo de lixiviação da coluna de solo. Pode ser verificado que ocorreu pequena tendência de aumento da concentração da argila dispersa e conseqüentemente do grau de dispersão do solo saturado, quando submetido à lixiviação.

Tabela 15 Argila dispersa em água (ADA) e grau de dispersão (GD) no estado de saturação (L_0) e após a lixiviação na camada 0-30 cm do solo

Estado do solo na camada 0-30 cm	ADA	GD
Sequeiro	-----g kg ⁻¹ -----	----- (%) -----
Saturado (L_0)	54,50	55,84
Lixiviado	60,00	62,20
Sob Irrigação	-----g kg ⁻¹ -----	----- (%) -----
Saturado (L_0)	53,25	52,52
Lixiviado	57,75	63,57

Para a argila dispersa em água a variação entre os valores obtidos para o solo saturado e lixiviado foi de 5,50 g kg⁻¹ na condição de solo de sequeiro e de 4,50 g kg⁻¹ na condição de solo da área irrigada. Para o grau de dispersão a variação foi de 6,36 % para solo da área de sequeiro e de 11,05% para o solo coletada da área irrigada. Embora sejam observados trabalhos em que se verifica o efeito da diluição da solução eletrolítica sobre a concentração da argila dispersa em água (Mace & Amrhein, 2001; Minhas et al., 1999), parece não ter ocorrido relação entre a redução da CE, avaliada pelos valores do solo saturado e lixiviado, e a tendência de aumento da dispersão das argilas. Por outro lado, a dispersão pode ser influenciada pela concentração de íons solúveis como Na⁺ e Fe²⁺ solúveis (Boivin et al., 2004). Neste sentido, Minhas et al. (1999) verificaram que a lixiviação parcial dos sais do solo pode provocar alteração no balanço entre CE e RAS, possibilitando início de dispersão de argilas e posterior transporte para as camadas inferiores.

É possível que os valores de CE de 11,63 dS m⁻¹ e de 7,63 dS m⁻¹ para o estado de saturação do solo na condição de sequeiro e irrigada, respectivamente, possam ter influenciado nestes resultados, retardando a dispersão das argilas durante o processo de lixiviação dos sais da camada 0-30 cm do solo.

Pela observação da Tabela 16, pode-se verificar que a condição de exploração agrícola não influenciou o comportamento da argila dispersa em água nem o grau de dispersão após a lixiviação da camada 0-30 cm da coluna de solo. Da mesma forma, foi constatado que o fator lâminas de lixiviação não influenciou o comportamento das características físicas avaliadas tanto dentro da condição de sequeiro quanto dentro da condição irrigada (Tabela 17).

Tabela 16 Médias da condutividade elétrica da pasta saturada do solo, dos cátions solúveis e da relação de adsorção do sódio na camada 0-30 cm solo após lixiviação

Condição	ADA	GD
	-----g kg ⁻¹ -----	-----(%)-----
Sequeiro	60,00 A	62,20 A
Irrigação	57,75 A	52,52 A
CV (%)	6,00	7,00

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si, conforme teste F a 1% de probabilidade

Tabela 17 Influência do fator lâminas de lixiviação dentro das condições de exploração agrícola para os resultados de ADA e de GD na camada 0-30 cm.

Fator de variação	Valor F	
	ADA	GD
Lâminas de lixiviação dentro da condição de sequeiro	0,21 ns	0,05 ns
Lâminas de lixiviação dentro da condição irrigada	0,26 ns	0,18 ns

(*) Significativo a 5%, (**), a 1% de probabilidade e (ns) Não significativo

b) Camada 30-60 cm

A variação entre os valores de GD e da ADA da camada 30-60 cm para o solo saturado e para o lixiviado pode ser observada na Tabela 18. Para a condição de sequeiro foi verificada uma pequena tendência de redução da ADA e do GD e para a condição irrigada uma forte tendência de aumento.

Tabela 18 Argila dispersa em água (ADA) e grau de dispersão (GD) no estado de saturação (L₀) e após a lixiviação da camada 30-60 cm do solo

Estado do solo na camada 0-30 cm	ADA	GD
	-----g kg ⁻¹ -----	-----(%)-----
Sequeiro		
Saturado (L ₀)	68,88	69,23
Lixiviado	58,75	58,35
Sob Irrigação		
Saturado (L ₀)	23,25	22,66
Lixiviado	63,50	61,15

Para a condição de sequeiro, a variação da CE na camada inferior do solo foi de 2,42 dS m⁻¹ após a saturação e de 5,91 dS m⁻¹ após a lixiviação. Para a condição

irrigada, a variação foi caracterizada pelo valor de CE de 10,82 dS m⁻¹ durante o estado de saturação e de 6,69 dS m⁻¹ para o solo lixiviado. Tal comportamento parece ser similar à tendência dos valores verificados para a argila dispersa em água e para o grau de dispersão na camada 30-60 cm.

Para o solo na condição de sequeiro, o deslocamento dos sais solúveis da camada 0-30 cm durante o processo de lixiviação e mistura aos presentes na camada subsequente possivelmente não só tenha retardado a dispersão das argilas como também tenha contribuído para estabelecimento de um provável equilíbrio, o que resultou na pequena tendência de redução dos valores da ADA e do GD. Já a redução da CE para valor correspondente a 6,69 dS m⁻¹ ocorrida na camada inferior da coluna do solo da área irrigada parece ter colaborado para o aumento dos valores de ADA e de GD.

No estado de solo lixiviado, pode ser observado na Tabela 19 a não influência por parte do fator condição de exploração agrícola para duas as características físicas. É possível que as concentrações residuais de sais solúveis, cujos valores de CE verificados após a lixiviação dos solos da condição de sequeiro e da área sob irrigação, iguais, respectivamente, a 5,91 dS m⁻¹ e a 6,69 dS m⁻¹ tenham colaborado para a nulidade do fator condição de exploração agrícola.

Tabela 19 Médias de ADA e de GD na camada 30-60 cm solo após lixiviação

Condição	ADA	GD
	g kg ⁻¹	(%)
Sequeiro	58,75 A	58,35 A
Irrigação	63,50 A	61,15 A
CV (%)	11,72	23,66

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si, conforme teste F a 1% de probabilidade

A aplicação das lâminas de lixiviação interferiu no comportamento da ADA e de GD dentro da condição de sequeiro e da condição irrigada (Tabela 20). O comportamento das variáveis pode ser observado nas Figuras 9 e 10.

Tabela 20 Influência do fator lâminas de lixiviação dentro das condições de exploração agrícola para os resultados de ADA e de GD na camada 30-60 cm.

Fator de variação	Valor F	
	ADA	GD
Lâminas de lixiviação dentro da condição de sequeiro	30,54 **	24,75 **
Lâminas de lixiviação dentro da condição irrigada	29,17 **	11,15 **

(*) Significativo a 5%, (**), a 1% de probabilidade e (ns) Não significativo

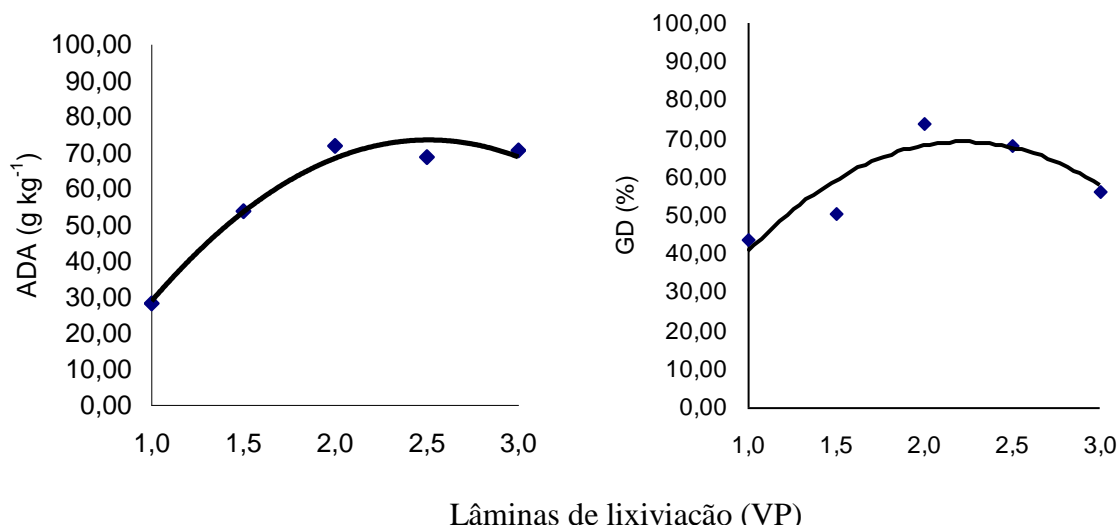


Figura 9 Influência das lâminas de lixiviação dentro da condição de sequeiro sobre as características químicas na camada 30-60 cm:

ADA = $55,16 - 39,06^{**}(VP) - 8,67 (VP)^2$, $R^2 = 0,87$; GD = $- 2,96 + 5,38^{**}(VP) - 1,21 (VP)^2$, $R^2 = 0,80$.
(ns – não significativo, * e **, significativo a 5 e 1%, respectivamente)

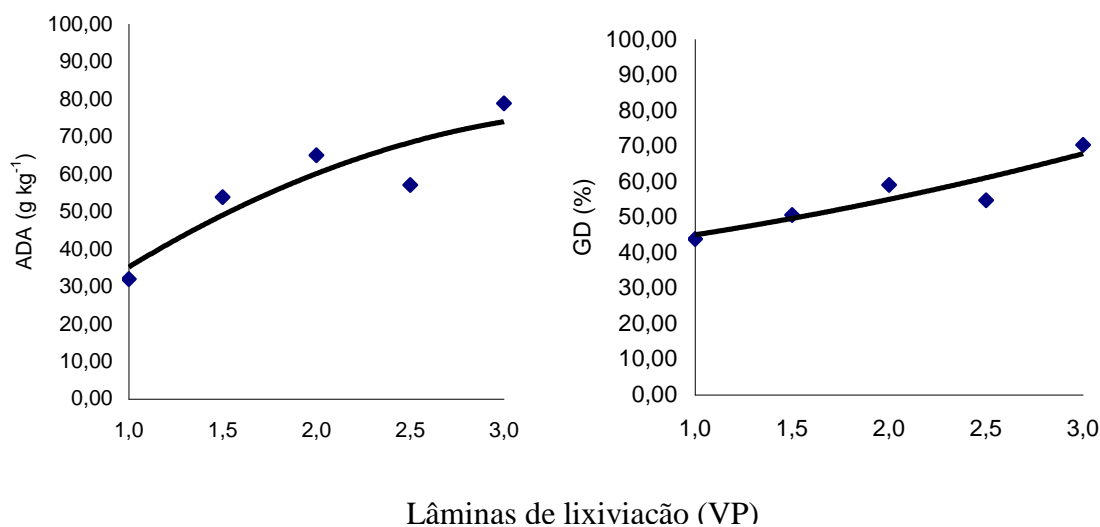


Figura 10 Influência das lâminas de lixiviação dentro da condição de sequeiro sobre as características químicas na camada 30-60 cm:

ADA = $-50,00+98,57^{**}(VP)-19,64 (VP)^2$, $R^2 = 0,82$; GD = $- 50,59 +100,46^{**}(VP)-20,44 (VP)^2$, $R^2 = 0,46$.
(ns – não significativo, * e **, significativo a 5 e 1%, respectivamente)

O aumento dos níveis das lâminas de lixiviação resultou em incremento dos valores da concentração de argila dispersa e do grau de dispersão, tanto para o solo coletado da área de sequeiro quanto para o cultivado sob irrigação.

A aplicação de lâminas de lixiviação de até 2,0 VP proporcionou os maiores incrementos de ADA e de GD dentro da condição de sequeiro. Para a condição irrigada e considerando-se os resultados obtidos, ocorreu tendência de aumento dos valores obtidos até aplicação de 2,0 VP, seguida de pequena redução dos valores

em função da aplicação de 2,5 VP e posterior aumento ao se aplicar a maior lâmina de lixiviação. Portanto, a maior atividade de dispersão de argila na camada 30-60 cm do solo foi verificada pela aplicação da lâmina de lixiviação de 2,0 VP para a condição de sequeiro e de 3,0 VP para a irrigada.

4.2.3 Condutividade elétrica da água de drenagem (CE_{ad})

A relação entre as lâminas de lixiviação e os valores das condutividades elétricas, ajustada pelo modelo, indicou redução da concentração de sais solúveis da água de drenagem com o aumento das lâminas de lixiviação aplicadas no solo com espessura de 60 cm acondicionado na coluna de PVC (Figura 11).

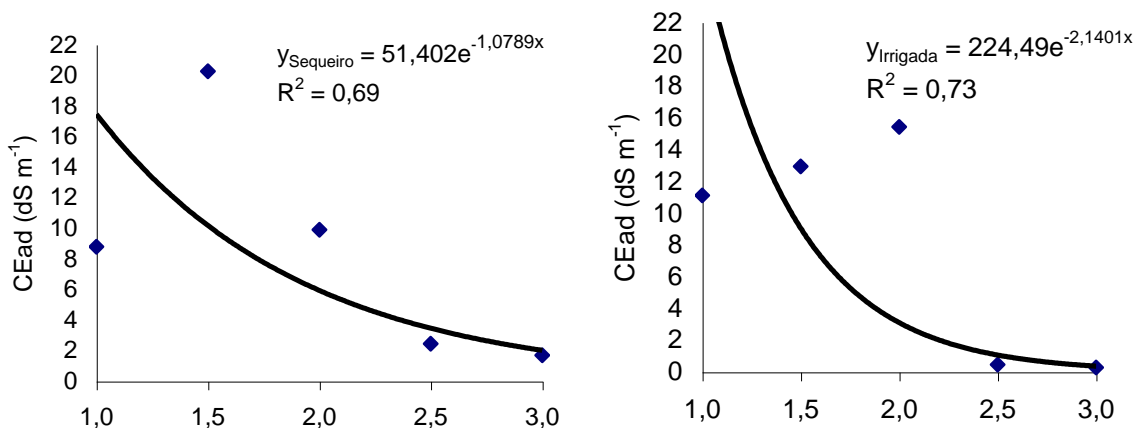


Figura 11 Condutividade elétrica da água de drenagem em função da aplicação das lâminas de lixiviação sobre camada de 0-60 cm na condição de solo coletado da área de sequeiro e da irrigada (** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F).

A aplicação das lâminas equivalentes a 1,0, 1,5 e 2,0 VP resultou em água de drenagem com elevada concentração de sais solúveis, não sendo recomendável para reuso agrícola. Resultados similares foram verificados por Barros et al. (2007), trabalhando com aplicação de lâmina de lixiviação de 1,50 VP e gesso para correção de um Neossolo Flúvico salino-sódico do perímetro irrigado de Custódia – PE.

O maior incremento da concentração de sais para água de drenagem, dentro da condição de sequeiro, foi obtido com a aplicação de lâmina de 1,5 VP. O efeito da lâmina de 2,0 VP foi de redução do valor da condutividade elétrica do drenado. A partir de 2,5 VP, foi constatada tendência aproximadamente constante da concentração de sais solúveis.

Para a condição irrigada e considerando-se os valores reais obtidos, a lixiviação com lâmina de 1,0 VP contribuiu para o maior incremento do valor da CEad. Os resultados obtidos no presente trabalho são similares aos de Sampaio & Ruiz (1996) em que a aplicação de lâmina fracionada de 1,25 volumes de poros reduziu a maior parte dos sais no perfil de lixiviação de quatro amostras de solos salino-sódicos coletados em Caicó (RN).

Ainda para a condição irrigada, com o emprego de lâmina igual ou superior a 2,5 VP foi obtida água de drenagem com o menor valor de condutividade elétrica. Entretanto Barros et al. (2005) obtiveram redução da concentração elétrica do efluente a partir do emprego de lâmina equivalente a 1,0 VP, aplicada de forma intermitente, em amostras de Neossolos Flúvicos salino-sódicos.

A água de drenagem resultante da aplicação de lâmina de lixiviação de 2,50 VP, sobre camada de 0-60 cm do solo da área irrigada acondicionado na coluna, apresentou CEad igual a $0,47 \text{ dS m}^{-1}$ e a correspondente à lâmina de 3,00 VP resultou em drenado com CEad de $0,28 \text{ dS m}^{-1}$. Esses valores podem ser agrupados dentro da classe C2, segundo classificação proposta por Richards (1954), podendo ser reutilizadas como água de irrigação, em solos permeáveis (Medeiros et al, 2003).

O bombeamento da água subterrânea e seu emprego para irrigação representam uma alternativa para agricultura na região Nordeste. No caso dos pequenos produtores do DIPAS, pode constituir-se em vantagem, pois foi verificado que a água subterrânea da maioria dos poços tubulares de Jatobá, município vizinho a Petrolândia, apresentou água classificada como salobra ou salina (Mascarenhas et al., 2005). Em Serra Talhada (PE), foi constatada que a água dos principais poços e reservatórios utilizados no perímetro irrigado de Cachoeira II apresenta tendência de valores superiores a $0,50 \text{ dS m}^{-1}$ entre os meses de junho e março, isto é, durante o final da época de estiagem e todo o inverno (Fernandes et al, 2007). A água da classe C2 pode ser usada quando houver uma lixiviação moderada de sais e se utilizar o cultivo de plantas moderadamente tolerante aos sais, sem necessidade de práticas especiais de controle de salinidade (Holanda & Amorim, 1997).

5. CONCLUSÕES

1. Existe aumento do risco de sodicidade na camada 0-30 cm da área de sequeiro, com a redução da precipitação pluviométrica;
2. A lâmina de lixiviação equivalente a 1,5 VP, aplicada por inundação de forma contínua, corrigiu a salinidade e proporcionou a menor dispersão de argila, na camada de 0-30 cm do solo tanto para condição de sequeiro como para a irrigada;
3. A aplicação da lâmina de lixiviação igual a 2,0 VP resultou em correção de salinidade na camada de 30-60 cm, mas provocou aumento de argila dispersa para o solo das duas áreas estudadas;
4. A água de drenagem resultante da aplicação de lâminas de 2,50 e 3,00 VP em área irrigada apresentou baixa concentração de sais, expressa pela condutividade elétrica (CE_{ad} de 0,47 e de 0,28 $dS\ m^{-1}$).
5. A lâmina de 1,5 VP, apesar de ter corrigido a salinidade na camada 0-30 cm e provocado a menor dispersão da argila na camada 30-60 cm, resultou em água de drenagem imprópria para reuso devido à elevada concentração de sais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR NETTO, A.O.; GOMES, C.C.S.; LINS, C.C.V.; BARROS, A.C.; CAMPECHE, L.F.S.M.; BLANCO, F.F. Características químicas e salino-sodicidade dos solos do Perímetro Irrigado Califórnia, SE, Brasil. **Ciência Rural**, v.37: 1640-1645 2007.

AGUIAR NETTO, A.O.; MACHADO, R.; BARRETO, M.C.V. Diagnóstico do processo de salino-sodificação no perímetro irrigado Jabiberi-SE. **Irriga**,11: 448-459, 2006.

AHAMAD, S.; GHAFOR, A.; AZIZ, M.A.; AKHTAR, E. Chemistry of leachates collected during phytoremediation of calcareous saline-sodic soil with sesbania (*Sesbania aculeate*). **Pakistan Journal of Biological Sciences**, 6: 1454-1458, 2003.

ALENCAR, R.D.; PORTO FILHO, F.Q.; MEDEIROS, J.F.; HOLANDA, J.S.; PORTO, V.C.N.; FERREIRA NETO, M. Crescimento de cultivares de melão amarelo irrigados com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 7: 221-226, 2003.

ALVES, A.N.; SOARES, F.A.L.; SILVA, F.V.; GHEYI, H.R.; FERNANDES, P.D.; OLIVEIRA, F.H.T.; TRAVASSOS, K.D. Crescimento de duas variedades de bananeira irrigadas sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 9 (Suplemento): 379-386, 2005.

AMARAL, F.C.S.; PARAHYBA, R.B.V.; SILVA, F.H.B.B.; LEITE, A. P.; BATISTA, M.J.; BARROS, J.C. **Caracterização pedológica e estudos de drenabilidade dos perímetros de irrigação Brígida, Caraíbas e Apolônio Salles, Estado de Pernambuco** – Dados eletrônicos – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007, 68 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Solos; 116).

ANDRADE, E.M.; D'ALMEIDA, D.M.B.A.; 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**, 35: 9-16, 2004.

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**, 33: 5-12, 2002.

ARAÚJO, C.A.S.; RUIZ, H.A.; SILVA, D.J.; FERREIRA, P.A.; ALVAREZ, V.H.; BAHIA FILHO, A.F.C. Eluição de magnésio, cálcio e potássio de acordo com o tempo de difusão em colunas com agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico típico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27: 231-238, 2003.

ARAÚJO FILHO, J.R.; GHEYI, H.R.; AZEVEDO, N.C.; SANTOS, J.G.R. Efeitos da salinidade no crescimento e no teor de nutrientes em cultivares de bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 19: 417-422, 1995.

AZEVEDO, A.C.; BONUMÁ, A.S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em latossolos. **Ciência Rural**, 34: 609 - 617, 2004.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. 2ª ed. Trad. GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F.; DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande, UFPB, 1999. 218 p. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29.

BARROS, M. DE F.C. **Recuperação de solos salinos sódicos pelo uso de gesso de jazida e calcário**. Viçosa, UFV, 2001, 87 p. Tese Doutorado.

BARROS, M. DE F.C.; SANTOS, P.M.; MELO R.M. FERRAZ, F.B. Avaliação de níveis de gesso para correção de sodicidade de solos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 1: 17 – 21, 2006.

BARROS, M. DE F.C.; SANTOS, P.M.; SILVA, A.J. Recuperação de solos afetados por sais usando água de qualidade inferior. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 9(Suplemento): 310-313, 2005.

BARROS, M. DE F.C.; WANDERLEY, R.A.; GONÇALVES, I. V.C.; OLIVEIRA, H.S; VIANA, M.R. Influência da aplicação de níveis de gesso sobre a qualidade da água de drenagem. In: **Anais do Workshop Manejo e Controle**

da Salinidade na Agricultura Irrigada. Convivência em Busca da Sustentabilidade, 2007, Campina Grande, CD ROM.

BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V. Recuperação de solo salinizado após cultivo em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 5: 76-80, 2001.

BOIVIN, P.; SAEJIEW, A.; GRUNBERGER, O; ARUNIN, S.; Formation of soils with contrasting textures by translocation of clays rather than ferrolysis in flooded rice fields in Northeast Thailand. **European Journal of Soil Science**, 55, 713-724, 2004.

BOYOUCOS, G.Y. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. **Agronomic Journal**, 54, 454-455, 1962.

BRONICK, C.J.; LAO, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, 124, 3–22, 2005.

CAVALCANTE, L.F.; CAVALCANTE, I.H.L.; PEREIRA, K.S.N.; OLIVEIRA, F.A.; GONDIM, S.C.; ARAÚJO, F.A. Germination and initial growth ao guava plants irrigated saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 9: 515-519, 2005.

CARVALHO, R.M.C.M.O.; SOBRAL, M.C.; SILVA, M.M. Manejo de salinidade em perímetros irrigados no semi-árido pernambucano. In: **Anais do Workshop Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada. Convivência em Busca da Sustentabilidade**, 2007, Campina Grande, CD ROM.

CHAVES, L.C.G.; ANDRADE, E.M.; CRISOSTOMO, L.A.; NESS, R.L.L.; LOPES, J.F.B. Risco de degradação em solo irrigado do Distrito de Irrigação do Perímetro Araras Norte, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, 37, 292-298, 2006.

CORDEIRO, G.G.; MANSEFU, A.R. **Degradação por terras por salinidade no Nordeste do Brasil e medição instrumental da salinidade.** Petrolina,

PE: Embrapa Semi-Árido, 2001, 32 p. (Embrapa Semi-Árido. Documentos; 175).

CORWIN, D.L.; RHOADES, J.D.; SIMUNEK, J. Leaching requirement for soil salinity control: steady-state versus transient models. **Agricultural water management**, 90: 165-180, 2007.

COSTA, J.R.M.; LIMA, C.A.A.; LIMA, E.D.P.; CAVALCANTE, L.F.; OLIVEIRA, F.K.D. Caracterização dos frutos de maracujá amarelo irrigados com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 5: 143-146, 2001.

COSTA, A.R.F.C.; TORRES, S.B.; OLIVEIRA, F.N.; FERREIRA, G.S. Emergência de plântulas de melão em diferentes níveis d salinidade da água de irrigação. **Revista Caatinga**, 21: 2008.

D'ALMEIDA, D.M.B.A.; ANDRADE, E.M.; MEIRELES, A.C.M.; NESS, R.L.L. Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, Ceará. **Engenharia Agrícola**, 25: 615-621, 2005.

DAVID, R.; DIMITRIOS, P.; Diffusion and cation exchange during the reclamation of saline-structured soils. **Geoderma**, 107: 271-279, 2002.

DIAS, N.S.; DUARTE, S.N.; MEDEIROS, J.F.; TELES FILHO, F. Salinidade e manejo da fertirrigação em ambiente protegido. I. Efeitos sobre o crescimento do meloeiro. **Irriga**, 11: 208-218, 2006.

DUARTE, S.N.; DIAS, N.S.; TELES FILHO, J.F. Recuperação de um solo salinizado devido a excesso de fertilizantes em ambiente protegido. **Irriga**, 12: 422-428, 2007.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro. **Centro Nacional de Pesquisa de Solo**, 1997. 212 p.

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. Melhoramento genético de plantas e seleção de cultivares. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. DE. (ed.)

Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997, p.363-383.

FAHMA. PLANEJAMENTO E ENGENHARIA AGRÍCOLA. **Plano diretor de recursos hídricos das bacias de afluentes do rio São Francisco em Pernambuco. Relatório de andamento. Anexo IV. Estudos de geologia, geomorfologia e recursos minerais.** Recife, 1998, 18 p.

FERNANDES, J.G.; FREIRE, M.B.G.S.; CUNHA, J.C.; GALVÍNCIO, J.D.; SANTOS, P.R. Avaliação das águas utilizadas no Perímetro Cachoeira II, Serra Talhada - PE, Brasil. In: **Anais do Workshop Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada. Convivência em Busca da Sustentabilidade**, 2007, Campina Grande, CD ROM.

FÉRNANDEZ-GÁLVEZ, J.; BARAHONA, E. Changes in soil water due to kneading. **Agricultural Water Management**., 76: 53 – 61, 2005.

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-SBEA, 1997, p. 37-68.

FERREIRA, P.A.; MOURA, R.F.; SANTOS, D.B.; FONTES, P.C.R; MELO, R.F. Efeitos da lixiviação e salinidade da água sobre um solo salinizado cultivado com beterraba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**,10: 570–578, 2006.

FERREIRA, S.R.M. **Colapso e expansão de solos naturais não saturados devido à inundação.** Rio de Janeiro, COOPE/UFRJ, 1995, 379 p. Tese Doutorado.

GHIBERTO, P.J.; PILATTI, M.A.; IMHOFF, S.; ORELLANA, J.A. Hydraulic conductivity of Mollisolls irrigated with sodic-bicarbonated waters in Santa Fe (Argentina). **Agricultural Water Management**, 88: 192-200, 2007.

GIREVE, C.M.; SUAREZ, D.L. Purslane (*Portulaca oleracea* L): a halophytic crop for drainage water reuse systems. **Plant and Soil**, 197: 277-283, 1997.

GOMES, E.W.G.; WILLADINO, L.; MARTINS, L.S.S.; CAMARA, T.R. Variedades de bananeira tratadas com água salinizada em fase inicial de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 9 (Suplemento): 31-36, 2005.

GONDIM, A.R.O.; MEDEIROS, J.F.; CARMO, G.A.; PEREIRA, F.H.F.; GHEYI, H.R.; TAVARES, J.C. Produtividade de banana submetida a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 10: 38-42, 2006.

HOLANDA, J.S.; AMORIM, J.R.A.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-SBEA, 1997, p. 137-169.

HOLANDA, J.S.; VITTI, G.C.; SALVIANO, A.A.C.; MEDEIROS, J.D.F.; AMORIM, J.R.A. Alterações nas propriedades químicas de um solo aluvial salino-sódico decorrentes da subsolagem e do uso de condicionadores. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22: 387-394, 1998.

HALUGALLE, N.R.; FRIEND, J.J.; KELLY, R. Some physical and chemical properties of hardsetting Alfisols can be affected by trickle irrigation. **Irrigation Science**, 21: 103-113, 2002.

KOLAHCHI, Z.; JALALI, M. Effect of water quality on the leaching of potassium from sandy soil. **Journal of Arid Environments**, 68: 624-639, 2007.

LADO, M.; PAZ, A.; BEN-HUR, M. Organic Matter and aggregate-size interactions in saturated hydraulic conductivity. **Soil Science Society American Journal**, 68: 234-241, 2004.

LAEGDSMAND, M.; JONGE, L.W.; MOLDRUP, P. Leaching of colloids and dissolved organic matter from columns packed with natural soil aggregates. **Soil Science**, 170: 13 – 27, 2005.

LIMA, L.A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: Gheyj, H. R.; Queiroz, J. E.; Medeiros, J. F. de. (ed.) **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997, p. 113-136.

MACE, J.E.; AMRHEIN, C. Leaching and reclamation of soil irrigated with SAR waters. **Soil Science Society American Journal**, 65: 199-204, 2001.

MANZATTO, C.V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J.R.R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 174 p, 2002.

MASCARENHAS, J.C.; BELTRÃO, B.A.; SOUZA JUNIOR, L.C.; GALVÃO, M.J.T.G.; PEREIRA, S.N.; MIRANDA, J.L.F. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Jatobá, Estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 11 p, 2005.

MEDEIROS, J.F.; LISBOA, R.A.; OLIVEIRA, M.; SILVA JÚNIOR, M.J.S.; ALVES, L.P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 7: 469-472, 2003.

MEIRELES, A.C.M.; ANDRADE, E.M.; CRUZ, M.G.M.; LEMOS FILHO, L.C.A. Avaliação do impacto da fertirrigação em cambissolos na Chapada do Apodi, CE. **Revista Ciência Agronômica**, 34: 207–212, 2003.

MELO, R.M.; BARROS, M.F.C.; SANTOS, P.M.; ROLIM, M.M. Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 12: 376-380, 2008.

MESQUITA, M.G.B.F.; MORAES, S.O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, 34: 963-969, 2004.

MINHAS, P.S.; SING, Y.P.; CHHABBA, D.S.; SHARMA, V.K. Changes in hydraulic conductivity of soils varying in calcite content under cycles of irrigation with saline-sodic and simulated rain water. **Irrigation Science**, 18: 199-203, 1999.

MOURA, R.F. **Lixiviação em material de solo salinizado do Perímetro Irrigado do Projeto Gorutuba – MG**. UFV. Viçosa, 1989. 68 p. Dissertação Mestrado.

NAIDU, R.; RENGASAMY, P. Ion interactions and constraints to plant nutrition in Australian sodic soils. In: NAIDU, R.; SUMNER, M.E.; RENGASAMY, P. **Australian sodic soils. Distribution, properties and management**. Australia, CISRO: 1995, p. 127-135. (Papers and results from the First National Conference and Workshop on Sodic Soils in Adelaide from 9 to 13 November 1992).

NEAMAN, A.; SINGER, A. The effects of palygorskite on chemical and physico-chemical properties of soils: a review. **Geoderma**,123: 297 – 303, 2004.

OLIVEIRA, L.B.; RIBEIRO, M.R.; FERREIRA, M.G.V.X.; LIMA, J.F.W.F.; MARQUES, F.A. Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.10, p.1477-1486, 2002.

OLIVEIRA, M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997, p. 1-35.

OLIVEIRA, M.; RESENDE, M. Os solos aluviais eutróficos (Fluvents) no baixo Açu-RN e a adoção de altos insumos: problemas e perspectivas. **Revista Caatinga**, 7: 220-225, 1990.

ÖZTÜRK, H.S.; ÖZKAN, L. Effects of evaporation and different flow regimes on solute distribution in soil. **Transport in Porous Media**, 56: 245 - 255, 2004.

PANNELL, D.J.; EWING, M. Managing secondary dryland salinity: options and challenges. **Agricultural Water Management**, 80:41-56, 2006.

PARAHYBA, R.B.V.; SILVA, F.H.B.B.; SILVA, F.B.R.S.; ARAÚJO FILHO, J.C.; LOPES, P.R.C.; SILVA, D.F.; LIMA, P.C. **Diagnóstico agroambiental do**

município de Petrolândia – Estado de Pernambuco. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004, 25 p. (Embrapa Solos. Circular Técnica, 29)

PEINEMANN, N.; GUGGENBERG, G.; ZECH, W. Soil organic matter and its lignin component in surface horizons of salt-affected soils of the Argentinian Pampa. **Catena**, 60: 113-128, 2005.

PORTO FILHO, F.Q.; MEDEIROS, J.F.; SOUSA NETO, E.R.; GHEYI, H.R.; MATOS, J.A. Viabilidade da irrigação do meloeiro com águas salinas em diferentes fases fenológicas. **Ciência Rural**, 36: 453-459, 2006.

PROJETEC PROJETOS TÉCNICOS LTDA. **Reassentamento da população do lago de Itaparica. Projeto de irrigação Apolônio Salles. Estudos pedológicos detalhado. Volume I, texto: Levantamento detalhado de solo e classificação de terras para irrigação.** Recife, 1987, 121 p.

RENGASAMY, P. World salinization with emphasis on Australia. **Journal of Experimental Botany**, Salinity Special Issue: 1-7, 2006.

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A; MASHALI, A.M. **The use of saline waters for crop production.** Rome: FAO, 1992, 133 p. Irrigation and Drainage Paper 48.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington: U.S. Department of Agriculture, 1954, 160 p. Handbook 60.

RUIZ, H.A.; SAMPAIO, R.A.; OLIVEIRA, M.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamentos da lâmina de lixiviação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39: 1119-1126, 2004.

RUIZ-VERA, V.M.; WU, L. Influence of sodicity, mineralogy, prewetting rate, and their interaction on aggregate stability. **Soil Science Society American Journal**, 70: 1825-1833, 2006.

SAMPAIO, R.A.; RUIZ, H.A. Características das soluções drenadas na recuperação de solos salino-sódicos com lixiviações parceladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 20: 13 – 20, 1996.

SANTOS, R.V.; HERNANDEZ, F.F.F. Recuperação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997, p. 319-362.

SHARMA, S.K.; MANCHANDA, H.R. Influence of leaching with different amounts of water desalinization and permeability behaviour of chloride and sulphate-dominated saline soils. **Agricultural Water Management**, 31: 225–235, 1996.

SHIROKOVA, Y; FORKUTSA, I.; SHARAFUTDINOVA, N. Use of electrical conductivity instead of soluble salts for soil salinity monitoring in Central Asia. **Irrigation and Drainage Systems**, 14: 199 – 205, 2000.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo na coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de Fe, Si e Al em solo de tabuleiro costeiro de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29: 447-457, 2005.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V.; LIMA, J.F.W.F. Efeitos de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29: 833 – 842, 2005.

SILVA, E.F.N.; DUATE, S.N.; COELHO, R.D. Salinização dos solos cultivados sob ambientes protegidos no Estado de São Paulo. In: Folegatti, M.V. **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999, p. 267-277.

SILVEIRA, K.R.; RIBEIRO, M.R.; OLIVEIRA, L.B.; HECK, R.J.; SILVEIRA, R.R. Gypsum saturated water to reclaim alluvial saline sodic and sodic soils. **Scientiae Agrícola**, 65: 69-76, 2008.

SOARES, F.A.L.S.; GHEYI, H.R.; VIANA, S.B.A.; UVEDA, C.A.; FERNANDES, P.D. Water salinity and initial development of yellow passion fruit. **Scientia Agrícola**, 59: 491-497, 2002.

SOBRAL, M.C.M.; CARVALHO, R.M.C.M.O.; SILVA, M.M.; MELO, G.L. Uso e ocupação do solo no entorno de reservatórios no semi-árido brasileiro como fator determinante da qualidade da água. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30., 2006, Anais. Punta del Este, AIDIS, 2006, CD-ROM

SUDENE – SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Dados pluviométricos mensais do Nordeste: Estação Pernambuco.** Recife, 1990, 363 p. (Série Pluviométrica, nº 6).

SUMNER, M.E. Sodic soils: News perspectives. In: NAIDU, R.; SUMNER, M.E.; RENGASAMY, P. **Australian sodic soils. Distribution, properties and management.** Australia, CISRO: 1995, p. 1 – 34. (Papers and results from the First National Conference and Workshop on Sodic Soils in Adelaide from 9 to 13 November 1992).

TÁVORA, F.J.A.F.; FERREIRA, R.G.; HERNANDEZ, F.F.F. Crescimento e relações hídricas de goiabeira submetidas a estresse salino com NaCl. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 23: 441-446, 2001.

VALLADARES, G.S.; FARIAS, A.L.L. SIG na análise do risco de salinização na bacia do rio Coruripe, AL. **Engevista**, 6: 86-98, 2004.

ANEXO

ANEXO I**Descrição de perfil representativo do solo**

CLASSIFICAÇÃO: NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico A fraco fase caatinga hiperxerófila relevo plano.

LOCALIZAÇÃO: Projeto Apolônio Salles – Petrolândia. Lote D1, situado no setor D lote 1, quadra 1. Coordenadas: 0582736/9008606.

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE: Trincheira localizada em um topo aplainado na parte mais alta com um declive de 0-1%.

LITOLOGIA E CRONOLOGIA: Devoniano Inferior – Formação Inajá.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos areno-argilosos derivados da decomposição de siltito-argilitos.

PEDREGOSIDADE: Ausente.

ROCHOSIDADE: Ausente.

RELEVO LOCAL: Plano

RELEVO REGIONAL: Plano

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Caatinga hiperxerófila.

USO ATUAL: Cultura de coqueiro.

CLIMA: BSs'h' Clima muito quente, semi-árido, tipo estepe.

DESCRITO E COLETADO POR: Roberto B.V. Parahyba, Aldo Pereira Leite e Flávio H. B. da Silva.

Descrição morfológica

Ap 0-10 cm; bruno-amarelo-escuro (10YR 4/4, úmida), bruno-amarelado (10YR 5/6, seca); areia; grãos simples; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.

C1 10-20 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6, úmida), bruno-amarelo (10YR 5/6, seca); areia franca; grãos simples com partes com formação incipiente de blocos subangulares que se desfaz em grãos simples; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição clara e ondulada (14 a 20 cm).

C2 20-40 cm; bruno-forte (7,5YR 5/8, úmida), bruno-forte (7,5YR 4/6, seca); areia-franca; grãos simples e com partes em muito fraca, pequena e muito pequena, blocos subangulares que se desfaz em grãos simples; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição difusa.

C3 40-85 cm; bruno-forte (7,5YR 5/8, úmida); textura areia-franca; muito fraca, muito pequena e pequena blocos subangulares; muito friável, não plástica e não pegajosa, com aspecto de maciço; transição difusa e plana.

C4 85-125 cm; bruno-forte (7,5YR 5/7, úmida); textura areia-franca; não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.

C5 125-160 cm+; bruno-forte (7,5YR 5/7, úmida) e com partes bruno-oliváceo-claro (2,5Y 5/6, úmida); areia-franca; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso.

RAÍZES: Poucas, finas fasciculares nos horizontes Ap e C2 e muitas médias e finas fasciculares nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES: - A partir de 40 cm de profundidade o solo se encontra úmido, dificultando a descrição.

- O lençol freático encontra-se a 1,20 m de profundidade.
- O excesso de água de irrigação forma lençol freático.
- A partir do C4 o solo está saturado.
- O solo tem um aspecto de latossolo textura média.
- Intensa atividade biológica (formigueiro) em toda a área.
- Nos horizontes onde a umidade estava elevada não se verificou nem a estrutura nem a consistência seca (C4 e C5).
- Indicação do processo de gleização nos horizontes continuamente saturados devido à elevação do lençol freático originado da irrigação mal utilizada.