

ESTUDO DO PROCESSO DE SALINIZAÇÃO PARA INDICAR MEDIDAS DE PREVENÇÃO DE SOLOS SALINOS

Joaquim Alves de Lima Junior¹; André Luiz Pereira da Silva²

¹Professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharia da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA – Brasil.

joaquim.junior@ufra.edu.br

²Universidade Estadual Paulista – UNESP

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) – Brasil. andreengagronomo@gmail.com

RESUMO

Estudos sobre salinização são escassos, principalmente seus efeitos negativos da salinidade e os mesmos estão diretamente relacionados ao crescimento e rendimento das plantas e, em casos extremos, na perda total da cultura. O objetivo deste trabalho foi conjugar uma revisão de literatura sobre a salinização dos solos e discutir sobre técnicas importantes a serem utilizadas em áreas irrigadas a fim de se evitar ou minimizar os efeitos da salinidade. Pode ser verificado no presente estudo que as informações são escassas, necessitando de mais informações para o melhor embasamento teórico sobre o assunto e suas implicações.

PALAVRAS-CHAVE: salinidade, irrigação, degradação.

ABSTRACT

Studies on salinity are scarce, especially negative effects of salinity and they are directly related to growth and yield of plants and, in extreme cases, total loss of culture. The aim was to combine a review of literature on soil salinization and discuss important techniques to be used in irrigated areas in order to avoid or minimize the effects of salinity. It can be verified in this study that information is scarce, need more information to the best theoretical foundation on the subject and its implications.

KEYWORDS: salinity, irrigation, degradation.

1 INTRODUÇÃO

A salinização é um dos fenômenos crescentes em todo o mundo, principalmente em regiões áridas e semi-áridas, decorrente de condições climáticas e da agricultura irrigada. Diante do incremento da adição de fertilizantes via água de irrigação, quando esta tecnologia é utilizada sem nenhuma forma de manejo, torna-se um contribuinte intenso para o aumento de áreas com altas concentrações salinas.

Os efeitos negativos da salinidade estão diretamente relacionados ao crescimento e rendimento das plantas e, em casos extremos, na perda total da cultura. Pode, inclusive, prejudicar a própria estrutura do solo, pois a absorção de sódio pelo solo, proveniente de águas dotadas de elevados teores deste elemento, poderá provocar a dispersão das frações de argila e, conseqüentemente, diminuir a permeabilidade do solo.

Devido a estes problemas, a estimativa da FAO adverte que aproximadamente 50% dos 250 milhões de hectares irrigados no mundo já apresentam problemas de salinização e saturação do solo e que 10 milhões de hectares são abandonados anualmente em virtude desses problemas.

Os estudos científicos e algumas experiências localizadas têm demonstrado, no entanto, que práticas convencionais de redução de problemas decorrentes da salinidade são onerosas e, na maioria das vezes, inviáveis do ponto de vista econômico. Assim como, práticas alternativas de convivência ainda não estão disponíveis em grande escala para que se possa avaliar sua rentabilidade em termos econômicos e efeitos na melhoria da qualidade de vida do solo. Espécies adaptadas aos extremos de salinidade, em um futuro próximo, podem se constituir em alternativas viáveis para se conviver com os problemas da salinidade induzida e, incorporar os solos salinizados ao processo de produção agrícola (Cruciani et al., 2010).

Considerando a importância da prevenção de solos salinos objetivou-se conjugar uma revisão de literatura sobre a salinização dos solos e discorrer sobre técnicas importantes a serem utilizadas em áreas irrigadas a fim de se evitar ou minimizar os efeitos da salinidade.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 IMPORTÂNCIA DO CONTROLE SALINO NA AGRICULTURA IRRIGADA

Com o acelerado crescimento populacional mundial e a busca por melhor qualidade de vida das populações, surge, a cada dia, a necessidade de maior produção de alimentos. Com isso, expandiram-se as áreas agricultáveis em todo o mundo, impulsionando, então, o uso da irrigação, não só como complemento das necessidades hídricas das regiões úmidas, mas também como opção de tornar produtivas as regiões áridas e semi-áridas do planeta (Lopes et al., 2008).

A tecnologia da fertirrigação, conduzida irracionalmente, é a principal via antrópica relacionada com as altas concentrações de sais em áreas irrigadas.

A irrigação é um processo que altera os atributos físicos e químicos do solo, uma vez que as águas empregadas na irrigação, e as soluções utilizadas na fertirrigação contêm elevados teores de sais solúveis (Nunes Filho et al., 1991; Queiroz et al., 1997). A elevação dos teores salinos ocasiona o surgimento dos processos de salinidade e sodicidade no perfil do solo, a ponto de reduzir o crescimento das plantas e alterar a estrutura do solo.

De acordo com ONGLEY (2000), com a expansão das áreas irrigadas, crescem também os problemas de degradação dos recursos naturais (solo e água), principalmente aqueles relacionados à salinidade e à sodicidade do solo. Esses problemas ocorrem principalmente em regiões áridas e/ou semi-áridas, onde a precipitação anual não garante a lavagem dos sais acumulados. Assim, a lavagem dos sais na zona radicular deve ser conduzida para manter a concentração salina do solo em um nível aceitável (MEIRELES et al., 2003). Já em regiões onde a precipitação é relativamente alta, a estação chuvosa pode assegurar a lavagem dos sais (BEN-HUR et al., 2001; ANDRADE et al., 2004).

Pesquisadores como SMEDEMA & SHIATI (2002) afirmam que, mesmo em uma visão conservacionista, de três a cinco toneladas de sais são adicionadas por

hectare irrigado por ano, nas regiões secas do globo. SOUZA et al. (2000) reforçam que, em áreas irrigadas, o processo de salinização pode acontecer mesmo em solos com boas características, em especial nas situações em que não existe manejo de solo e água adequado. Na realidade, a concentração de sais nos solos irrigados apresenta relação direta com a precipitação total anual, com as características físicas do solo e com as condições de drenagem. Sob condições favoráveis, esses sais poderão voltar ao rio ou ao aquífero de origem (PEREIRA et al., 1986; BENCHUR et al., 2001).

Embora a intemperização dos minerais primários seja a fonte principal e direta de todos os sais solúveis encontrados no solo, raramente tem-se verificado acúmulo de quantidades suficientes de sais solúveis por meio desse fenômeno (salinização primária), uma vez que grande parte dos sais liberados são transportados pelas águas subterrâneas e/ou fluviais até os oceanos (PIZARRO, 1978). Para SILVA FILHO et al. (2000), HOLANDA & AMORIM (1997), LIMA (1997) e D'ALMEIDA et al. (2005), o processo de salinização dos solos pode não estar ligado diretamente à qualidade da água utilizada na irrigação, dependendo também das características físico-químicas do solo em seu estado natural e do manejo aplicado ao mesmo. Em estudos mais recentes, pesquisadores como CAUSAPÉ et al. (2004) e FENG et al. (2005) vêm identificando elevada adição de sais ao solo pelos fertilizantes químicos.

No Nordeste brasileiro, em torno de 30% das áreas irrigadas dos projetos públicos estão comprometidas com problemas de salinização (BERNARDO, 1997). D'ALMEIDA (2002) argumenta que, mesmo a irrigação sendo uma prática que data de milênios, a importância de informações sobre o manejo adequado, visando à preservação do meio ambiente, só começou a ser preocupante a partir do século passado, quando se observou acelerado crescimento populacional mundial e, a cada dia, aumentando a necessidade da produção de alimento.

3.2. PROBLEMAS DE SALINIDADE NA AGRICULTURA

3.2.1 Problemas sobre os solos

As três principais fontes naturais de sais no solo são o intemperismo mineral, a precipitação atmosférica e os sais fósseis (remanescentes dos ambientes marinhos e lacustres). Os sais também podem ser adicionados aos solos através de atividades humanas, incluindo o uso de águas de irrigação, salmouras altamente salinas ou resíduos industriais (BOHN et al., 1985; QUEIROZ et al., 1997).

Embora a principal fonte de todos os sais encontrados no solo seja a intemperização das rochas, raros são os exemplos onde esta fonte tenha provocado, diretamente, problemas de salinidade do solo (RICHARDS, 1954).

Em locais de clima semi-árido é comum a ocorrência de solos com elevadas concentrações de sais, sendo que alguns deles apresentam-se salinizados, independentes da ação do homem, ou seja, são salinos por natureza. Os solos salinos, segundo Santos (1995), apresentam como características físico-hídricas baixa permeabilidade, baixa condutividade hidráulica e instabilidade dos agregados. A salinização dos solos de áreas irrigadas ocorre principalmente, segundo Gheyi et al. (1997), ao uso de água de irrigação com alta concentração salina, elevação do lençol freático por causa do manejo inadequado de irrigação, ausência ou deficiência

de drenagem, elevação do lençol freático em decorrência da perda de água por infiltração nos canais e reservatórios e/ou acumulação de água de irrigação nas partes mais baixas do terreno.

A acumulação de sais na rizosfera prejudica o crescimento e desenvolvimento das culturas, provocando um decréscimo de produtividade e, em casos mais severos, pode levar a um colapso da produção agrícola. Isto ocorre em razão da elevação do potencial osmótico da solução do solo, por efeitos tóxicos dos íons específicos e alteração das condições físicas e químicas do solo (LIMA, 1998).

Os sais são transportados pelas águas de irrigação e depositados no solo, onde se acumulam à medida que a água se evapora ou é consumida pelas culturas. Os sais do solo e da água reduzem a disponibilidade da água para as plantas, a tal ponto que afetam os rendimentos das culturas. Nem todas as culturas respondem igualmente à salinidade, algumas produzem rendimentos aceitáveis a níveis altos de salinidade e outras são sensíveis a níveis relativamente baixos. Esta diferença deve-se à melhor capacidade de adaptação osmótica que algumas culturas tem, o que permite absorver, mesmo em condições de salinidade, maior quantidade de água (AYERS & WESTCOT, 1991).

Solos normais podem se tornar improdutivos se receberam sais solúveis em excesso devido a irrigações mal conduzidas com águas salinas. Mesmo com um bom controle da qualidade da água de irrigação (o que raramente é feito na prática) há um contínuo resíduo de sais no solo (SOUZA, 1995).

De acordo com Silva (1997), em vários perímetros irrigados, aproximadamente 25% da área irrigada encontra-se com problemas de salinidade e esta porcentagem poderá aumentar caso não sejam adotadas medidas preventivas urgentes.

No Nordeste brasileiro, característico de alta evapotranspiração e baixa precipitação, estima-se em mais de 9 milhões de hectares a área total ocupada pelos solos geneticamente salinos (planossolos, solonetz, solonchak e outros) (PEREIRA et al., 1985). No Nordeste semi-árido, as maiores incidências de áreas com salinização se concentram nas terras mais intensamente cultivadas com o uso da irrigação nos chamados Perímetros Irrigados.

Existem, fundamentalmente, duas técnicas de recuperação de solos afetados por sais, que são a lavagem dos sais e aplicação de melhoramentos químicos. Raramente se conseguem a recuperação de solos salinos e/ou sódicos com o emprego de uma técnica apenas. Para se ter um processo de recuperação bem sucedido, usa-se a aplicação de duas ou mais técnicas. A lavagem é, no momento, a técnica mais prática de eliminação de sais do solo, a qual consiste em se fazer passar através do perfil do solo uma certa quantidade de água capaz de carrear os sais presentes, e que deverão ser eliminados quer superficial ou subterraneamente, através de uma boa drenagem (SANTOS & HERNANDEZ, 1997).

A má drenagem também pode contribuir para elevação do lençol freático que, com o acúmulo de fertilizantes aplicados ao longo do tempo, apresenta concentração de sais elevada. Este fato ocorre muito em solos rasos irrigados em excesso, e desprovidos de sistema de drenagem. A ascensão de uma frente salina pode atingir o sistema radicular das plantas e provocar toxidez generalizada, ou específica de alguns íons como sódio, boro e cloreto. Este mecanismo dizimou a população da Mesopotâmia cerca de 2000 A.C., onde atualmente é o Iraque, entre os rios Tigre e Eufrates.

3.2.2 Tolerância das culturas à salinidade

A tolerância ao sal é um componente protoplasmático da resistência ao estresse salino. Nessa tolerância, está envolvido o grau em que o protoplasma (dependendo da espécie vegetal, do tecido e do vigor) pode tolerar um distúrbio no balanço iônico associado ao estresse salino, bem como sua capacidade de tolerar a toxicidade e os efeitos osmóticos do aumento da concentração de íons (LARCHER, 2000).

Algumas culturas, devido a melhor capacidade de adaptação osmótica, conseguem produzir satisfatoriamente, mesmo em meio salino. Esta capacidade de adaptação é muito útil e permite a seleção das culturas mais tolerantes, capaz de produzir rendimentos economicamente aceitáveis, quando não se pode manter a salinidade do solo abaixo do nível de tolerância das plantas tradicionalmente cultivadas. O nível máximo de salinidade média da zona radicular tolerável pelas plantas, sem qualquer efeito negativo no seu desenvolvimento e rendimento, é conhecido como salinidade limiar (SL) que normalmente é expressa em termos de CEes (GHEYI et al., 1991; AYERS & WESTCOT, 1999).

A resposta da planta à salinidade não depende apenas da concentração de sais. Portanto, num estudo rigoroso da tolerância da planta aos sais, deverá considerar, além da quantidade de sais solúveis totais, outros fatores que, freqüentemente, interferem na produção, tais como planta, solo e clima (FAGERIA, 1989).

Segundo Dias (2004), o comportamento das plantas com relação à salinidade pode variar de acordo com o seu estágio de desenvolvimento, embora não seja claro se isto é devido à susceptibilidade à salinidade em um determinado estágio de crescimento ou ao longo do período em que a planta ficou exposta ao substrato salino, ou a interação entre esses fatores.

Há um limite crítico de salinidade no qual as plantas deixam de crescer. Entretanto, antes que isto aconteça, o crescimento e o rendimento diminuem progressivamente com o aumento da salinidade. Com relação aos sintomas, de maneira geral, surge, inicialmente, clorose nas bordas das folhas que evolui para necrose, podendo levar a planta a morte. Outros sintomas observados são diminuição do crescimento e folhas e frutos pequenos (Pereira, 1998).

As plantas se comportam diferentemente em relação à salinidade. Algumas culturas podem tolerar concentrações relativamente elevadas de sais, outras são extremamente sensíveis. A tolerância varia não só com a concentração salina, mas, também, com práticas de manejo, clima e natureza e proporções relativas dos diversos íons na solução do solo (Fuller, 1967; Richards, 1969). Estes autores informam que, para condutividade elétrica (CEe) até $2,0 \text{ dS m}^{-1}$, normalmente não se observa nenhum efeito, a não ser em condições muito desfavoráveis; entre $2,0$ e $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ a produtividade de culturas relativamente não tolerantes como feijão, aipo, citros, abacate, já é afetada; acrescentando-se, ainda, a essa relação: banana, goiaba e manga. Entre $4,0$ e $8,0 \text{ dS m}^{-1}$, os rendimentos de muitas culturas como sorgo granífero, milho, mamona, soja, melão, uva são reduzidos; entre $8,0$ e $12,0 \text{ dS m}^{-1}$, somente culturas consideradas tolerantes produzem satisfatoriamente como

algodão, arroz, alfafa, beterraba de mesa, espinafre e figo (Ayers & Westcot, 1999). Na Tabela 1 estão os limites de tolerância de espécies hortícolas à salinidade.

Mass e Hoffman (1977) obtiveram uma relação linear entre a salinidade e os rendimentos das culturas, representada pela equação $Y = 100 - b (CEes - SL)$, onde Y corresponde à percentagem de rendimento potencial; SL é o nível de salinidade limiar da cultura, em $dS m^{-1}$; CEes é a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, em $dS m^{-1}$, expressando a condição de salinidade do solo; e “b”, a perda potencial de rendimento provocada pelo aumento unitário acima da condutividade elétrica do limiar de tolerância da cultura.

TABELA 1. Índices de Tolerância de algumas espécies à salinidade.

Culturas	Condutividade Elétrica do Extrato de solo saturado		
	Limite ($dS m^{-1}$)	Porcentagem de perdas (%)	Classificação
Abóbora	2,5	13,0	LS
Aipo	1,8	6,2	LS
Alface	1,3	13,0	LS
Aspargo	4,1	2,0	T
Batata	1,7	12,0	LS
Batata doce	1,5	11,0	LS
Beterraba	4,0	9,0	TN
Brócolis	2,8	9,2	LS
Cebola	1,2	16,0	S
Cenoura	1,0	14,0	S
Feijão	1,0	19,0	S
Milho doce	1,7	12,0	LS
Morango	1,0	33,0	S
Pimenta	1,5	14,0	LS
Repolho	1,8	9,7	LS
Tomate	2,5	9,9	LS

Fonte: VITTI et al. (1994); T: Tolerante; TN: Tolerância normal; LS: Baixa sensibilidade e S: Sensível.

3.3. PRINCIPAIS PARÂMETROS PARA AVALIAÇÃO DA SALINIDADE

Vários são os métodos existentes para avaliar a salinidade do solo, sendo os mais importantes o pH, a condutividade elétrica do extrato de saturação e a porcentagem de sódio trocável. Para avaliar o perigo de sodificação do solo pelo uso da água de irrigação utiliza-se outro índice chamado relação de adsorção de sódio (RAS). Esses métodos são descritos por (Cruciani (2010):

3.3.1 pH

O pH de uma solução aquosa é o logaritmo negativo da atividade do íon hidrogênio. É uma medida adimensional. O pH do solo é influenciado pela composição e natureza dos cátions trocáveis, composição e concentração dos sais solúveis e a presença ou ausência do gesso e carbonatos de cálcio e magnésio.

3.3.2 Condutividade elétrica do extrato de solução

A condutividade elétrica (CE) expressa a habilidade que um meio apresenta em conduzir uma corrente elétrica. Devido ao fato de que a CE de uma solução aquosa está intimamente relacionada com a concentração total de eletrólitos dissolvidos (solutos iônicos) na solução, ela é comumente usada como uma expressão da concentração total de sais dissolvidos de uma amostra aquosa, embora também seja afetada pela temperatura da amostra, pela mobilidade, valência e concentração relativa dos íons contidos na solução. A temperatura padrão para medição é de 25°C e sua unidade de medida é dada em miliohms por centímetro ou deciSiemens por metro, ambas numericamente equivalentes.

A determinação da CE geralmente envolve a medição da resistência elétrica da solução, a qual é inversamente proporcional a sua área seccional e diretamente proporcional ao seu comprimento. A magnitude da resistência medida depende, contudo, das características da célula condutivimétrica usada para conter a amostra de eletrodos. A CE de um solo pode ser determinada por meio de um extrato de uma pasta de solo saturado ou em suspensão mais diluída. Porém, para preparação da pasta de saturação, há necessidade de um bom adestramento técnico e certas precauções com a textura do solo.

3.3.3 Porcentagem de sódio trocável (PST)

Representa a porcentagem do sódio em relação aos demais cátions adsorvidos. Seu valor é dado conforme Equação 1.

$$PST = \frac{Na}{(Ca + Mg + Na + H + Al)} \times 100 \quad (1)$$

Segundo Pizarro (1978) os solos podem ser classificados como: a) não sódicos, <7; b) ligeiramente sódicos, entre 7-10; c) mediamente sódicos, entre 11-20; fortemente sódicos, entre 21-30; excessivamente sódicos, >30.

3.3.4. Relação de adsorção de sódio (RAS)

A RAS é um índice que expressa a possibilidade de que a água de irrigação provoque a sodificação do solo, no que depende a proporção do Na⁺ em relação aos demais cátions, em mmolc L⁻¹, expresso na Equação 2.

$$RAS = \frac{Na^+}{\left[\left(\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2} \right)^{0,5} \right]} \quad (2)$$

Considerando que há um equilíbrio entre formas solúveis e trocáveis de um determinado cátion, deve existir uma relação matemática entre RAS e a PST do solo de um determinado local. Desse modo, conhecendo-se essa relação, pode-se

estimar a PST de forma rápida e indireta na ausência dos resultados de análise do complexo sortivo. Segundo Richards (1954), para os solos do Oeste dos Estados Unidos obteve a seguinte Equação 3.

$$PST = \frac{100 \times (0,01475 \times RAS)}{1 + (0,01475 \times RAS)} \quad (3)$$

3.4. CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS AFETADOS POR SAIS

As classificações existentes para os solos afetados por sais encontram-se mais concreta nas literaturas russa, francesa e americana. Contudo, a classificação mais simples e mais prática tem sido a americana (Richards, 1954).

Esta classificação é baseada na concentração de sais solúveis (expressa por meio de CE) extraídos da solução do solo e da porcentagem de sódio trocável do solo (PST). A linha divisória entre os solos salinos e solos não salinos tem estabelecido o valor de 4 dS m⁻¹ para extratos de pasta saturada do solo. Entretanto, podemos encontrar plantas sensíveis a sais, que podem ser afetadas em solos cujo extrato de saturação apresenta CE entre 2 e 4 dS m⁻¹. O comitê de Terminologia da Sociedade Americana de Ciência do Solo tem recomendado baixar o limite entre os solos salinos e não salinos para 2 dS m⁻¹.

3.5 QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

A salinidade em áreas irrigadas ocorre em decorrência do uso de águas de qualidade inadequada, associado ao manejo do sistema solo-água-plantas e, qualquer que seja a sua fonte, a água utilizada na irrigação sempre contém sais, embora a quantidade e qualidade dos sais presentes variem bastante (MEDEIROS & GHEYI, 1994).

Nas últimas décadas foram estabelecidas diversas classificações de qualidade das águas para irrigação que, em geral, foram perdidas por serem muito generalistas, portanto pouco precisas, ou excessivamente restritivas, portanto não extrapoláveis a outras situações. De qualquer forma, nestas classificações se consideram comumente (1) o efeito da salinidade (expressa como condutividade elétrica, CE) sobre o rendimento das culturas, e (2) os efeitos combinados da salinidade (CE) e da sodicidade (expressa como Relação de Adsorção de Sódio, RAS) sobre a estabilidade estrutural dos solos. O efeito tóxico de alguns microelementos e os efeitos nutricionais deve ser considerado em certas circunstâncias (FAO, 1985 citado por ARAGÜES, 1994).

Bernardo et al. (2005) relaciona cinco parâmetros básicos para se analisar a água e determinar a sua qualidade para irrigação, são eles: a) concentração total de sais solúveis ou salinidade; b) proporção relativa de sódio em relação aos outros cátions ou capacidade de infiltração do solo; c) concentração de elementos tóxicos; d) concentração de bicarbonatos; e) aspecto sanitário.

As águas superficiais e subterrâneas são originadas das precipitações, sendo que estas se constituem na fonte natural de irrigação das explorações de sequeiro. A salinidade das águas pluviais é baixa, com uma CE da ordem de 0,010 dS m⁻¹ (MOLLE e CADIER, 1992), o que favorece a dispersão de partículas do solo causando problemas de infiltração (AYERS & WESTCOT, 1999).

Segundo Yaron (1973) citado por Blanco (1999) o teor de sais das águas superficiais é função das rochas predominantes nas nascentes, da zona climática, da natureza do solo em que a água flui e de poluições devido à atividade humana. Geralmente, as águas de zonas úmidas apresentam menor teor de sais do que as de zonas áridas, águas subterrâneas são mais salinas que as águas de rios e estas, próximas da foz, contêm mais sais do que as águas próximas à nascente; a concentração de sais nas águas de rios varia com a estação do ano, sendo maior no outono que na primavera. Numa determinada região, as águas contêm menos sais antes do desenvolvimento de projetos de irrigação (HOLANDA & AMORIM, 1997).

O problema de salinidade em áreas irrigadas torna-se agravado quando o balanço de sais revela uma maior entrada que saída, indicando um maior acréscimo de sais na área considerada (BIGGAR et al., 1984).

A qualidade da água para irrigação está relacionada com os seus efeitos prejudiciais ao solo e à cultura, requerendo, muitas vezes, técnicas especiais de manejo para compensar eventuais problemas associados com o seu uso. A adequação da água para irrigação depende tanto da própria qualidade, quanto de fatores relacionados com as condições de uso. Uma mesma qualidade de água pode ser considerada adequada para uma certa cultura ou solo, mas ser imprópria para outros. Portanto, é de extrema importância a avaliação da qualidade da água como medida preventiva dos processos de salinização gradativos, pelo acúmulo de sais oriundos de irrigações sucessivas. Além das características físico-químicas da água, outros fatores devem ser considerados e analisados em conjunto quando de sua avaliação e recomendação de uso para irrigação (AYERS e WESTCOT, 1999).

Os principais sais encontrados tanto no solo como na água são o cloreto de sódio (NaCl), o sulfato de magnésio ($MgSO_4$), o sulfato de sódio (Na_2SO_4), o cloreto de magnésio ($MgCl_2$) e o carbonato de sódio (Na_2CO_3). Tais sais podem ter sua solubilidade afetada em função de alguns fatores, como o pH e temperatura na fonte, razão por que esses fatores devem ser levados em consideração no estudo da qualidade das águas, principalmente quando se têm carbonatos e/ou bicarbonatos (ULZURRUN, 2000).

Silva Junior et al. (1999), analisando águas provenientes de diversas fontes nos Estados da Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte, concluíram que as águas do cristalino do Nordeste brasileiro possuem baixos níveis de sulfatos, carbonatos e potássio, além de constatarem a predominância de águas cloretadas sódicas independentes do nível de salinidade.

A qualidade da água de irrigação deve ser avaliada, principalmente com relação aos nutrientes (N, S, Ca, Mg, Cl, Fe e B), ao sódio, carbonatos, bicarbonatos, a salinidade e pH (Tabela 2).

Segundo Ayers & Westcot, (1999) não existe um limite fixo da qualidade das águas e seu uso é determinado pelas condições que controlam a acumulação dos sais e seus efeitos nos rendimentos das culturas. Como exemplo, pode ser citado o caso de diversos perímetros irrigados no Nordeste, onde se usa, normalmente águas com baixos teores de sais (CE entre 0,1 a 1,0 dS/m) e, mesmo assim, uma parte significativa destas áreas apresentam problemas graves de salinidade, devido ao manejo inadequado da irrigação e drenagem. Neste caso, a salinização do solo existe, não pela água utilizada na irrigação conter sais em excesso, mas devido a elevação do lençol freático provocado pela aplicação de lâminas excessivas de

água, perdas de água em canais de distribuição e drenagem deficiente (Cruciani, 2010).

TABELA 2. Problemas potenciais relacionados com a qualidade da água.

Característica	Nível de dano		
	Nenhum	Médio	Severo
pH	5,5 - 7,0	< 5,5 ou > 7,0	< 4,5 ou >8,0
C.E. (dS/m)	0,5 - 0,75	0,75 - 3,0	> 3,0
Totais sólidos solúveis (mg/L)	325 - 480	480 - 1920	> 1920
Bicarbonatos (mg/L)	< 40	40 - 180	> 180
Sódio (mg/L)	< 70	70 - 180	> 180
Cálcio (mg/L)	20 - 100	100 - 200	> 200
Magnésio (mg/L)	< 63	> 63	
RAS	< 3,0	3,0 - 6,0	> 6,0
Boro (mg/L)	< 0,5	0,5 - 2,0	> 2,0
Cloro (mg/L)	< 70	70 - 300	> 300
Flúor (mg/L)	< 0,25	0,25 - 1,0	> 1,0
Ferro (mg/L)	< 0,2	0,2 - 0,4	> 0,4
Nitrogênio (mg/L)	< 5,0	5,0 - 30,0	> 30

Fonte: Ribeiro 1999.

3.6 EFEITO DA SALINIDADE DE SOLOS EM AMBIENTE PROTEGIDO

Nos últimos anos, especialmente nos estados de São Paulo e Paraná, tem-se observado aumento no cultivo de hortaliças em ambiente protegido, cujas principais vantagens em relação aos demais sistemas de produção a céu aberto são: maior proteção contra a adversidade climática e possibilidade de produção na entressafra, aumento da produtividade e melhor qualidade dos produtos, além de maior eficiência no uso da água e dos fertilizantes (Stanghellini, 1993).

Segundo Dias et al., (2007) especifica que, apesar das vantagens da utilização do cultivo em ambiente protegido, coexiste o efeito negativo da salinização com maior intensidade de dano, principalmente nas regiões áridas e semi-áridas, onde os baixos índices de pluviosidade e a ocorrência de altas temperaturas provocam intensa evaporação da água e, com efeito, deposição de sais na superfície do solo ao longo do ano. De acordo com Dias (2004), um processo semelhante pode ocorrer nos cultivos protegidos, se medidas preventivas não forem tomadas, pois o uso intensivo da adubação, a falta de chuva ou irrigação para lixívia, o excesso de fertilizantes e a contínua evaporação da água do solo pode aumentar o teor de sais na solução do solo e prejudicar o rendimento das culturas. Neste sentido, o manejo nem sempre adequado da irrigação e da adubação, causas diretas da salinização, tornam-se mais graves sob ambiente protegido, uma vez que as chuvas, que poderiam corrigi-las, não adentram neste ambiente. Ainda, segundo o mesmo autor, afirma que a maioria dos casos do aumento da salinidade em ambiente protegido na região Sudeste do Brasil dá-se em função do excesso de fertilizantes aplicados via água de irrigação.

Dias (2001), estudando a evolução da salinidade de um Luvissole cultivado com melão fertirrigado, observou no período de maior exigência nutricional da cultura, incrementos de até 1,60 dS m⁻¹ na salinidade da água de irrigação proveniente da adição de adubos via fertirrigação; tal fato foi responsável, em parte,

pelos níveis altos de salinidade do solo quantificados aos 45 dias após a semeadura. Assim, no caso das estufas do Estado de São Paulo, a utilização de uma estratégia de controle da salinidade por intermédio da aplicação de lâminas de lixiviação, recomendada por Hoorn & Alphen (1994) não seria a prática de manejo mais adequado, visto que os sais acumulados no solo que seriam lixiviados seriam decorrentes de investimento de capital.

3.7 UTILIZAÇÃO RACIONAL DA FERTIRRIGAÇÃO EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Abrangem os sistemas de irrigação na qual a aplicação de água é feita diretamente no local de maior concentração das raízes, com pequena intensidade e alta frequência. No gotejamento são utilizadas vazões de 2 a 10 L.h⁻¹, a pressão recomendada geralmente é de 1 bar, e a água pode ser aplicada na superfície ou na subsuperfície (linhas e emissores enterrados). Na microaspersão a água é aplicada de forma pulverizada a uma pressão operacional de 2 bar, a vazão varia de 20 a 140 L.h⁻¹, havendo maior evaporação e arraste pelo vento. No entanto, a velocidade de fluxo da água nas tubulações e nos orifícios dos emissores é maior, condição que diminui a sedimentação das partículas sólidas e o risco de entupimento dos emissores (Vieira & Ramos, 1999).

Oliveira et al. (1996) citado por Zanin (2002), mostram o sistema de irrigação por gotejamento como a melhor opção de irrigação para cultivos em solos arenosos, que normalmente apresentam baixa retenção de água e alta capacidade de lixiviação dos adubos, o que normalmente leva a falta da água e de nutrientes para as plantas. A irrigação por gotejamento, por ser feita com maior frequência, permite que o volume de solo ocupado pelas raízes permaneça sem grandes variações de umidade.

Ademais, a irrigação localizada permite o controle da qualidade de água a ser fornecida às plantas e a manutenção da umidade do solo próxima à capacidade de campo, facilitando o manejo da fertirrigação e maximizando a utilização dos nutrientes pelas plantas. Por essas razões a irrigação localizada é o método mais adequado para a prática da fertirrigação, com a possibilidade de serem aplicados todos os nutrientes de que a planta necessita (Vieira & Ramos, 1999).

Vieira & Ramos (1999) ainda citam que o potencial da fertirrigação é mais elevado em regiões áridas e semi-áridas que em regiões úmidas, pois, em regiões com escassez de chuva, o desenvolvimento radicular concentra-se no bulbo molhado pelos emissores, maximizando o aproveitamento dos nutrientes. O uso de solução nutritiva em contato direto com grande parte do sistema radicular reduz sobremaneira a função do solo como fornecedor de nutrientes. Esta é a principal diferença em relação aos sistemas tradicionais e da irrigação por aspersão.

3.7.1 Recomendações para o preparo de soluções de fertilizantes

- Sempre encha o tanque com 50 a 75 % da água necessária na mistura;
- Adicione as soluções de fertilizantes na água, antes de adicionar os sólidos; o fluido adicional fornece mais calor, diminuindo problemas no caso de fertilizantes sólidos que abaixam a temperatura da solução;
- Sempre adicione as fontes sólidas lentamente, com circulação ou agitação, prevenindo assim a formação de agregados parciais ou totalmente insolúveis;

- Sempre misture ácido na água e não água no ácido;
- Quando utilizar cloro, adicione-o à água e não ao contrário;
- Nunca misture um ácido ou um fertilizante ácido com cloro, quando este estiver na forma líquida ou gasosa, como o hipoclorito de sódio, devido à formação de gases tóxicos a base de cloro. Nunca estoque ácido e cloro em um mesmo local;
- Não tente misturar amônia anidra ou aquamônia diretamente em qualquer tipo de ácido, pois a reação é imediata e violenta;
- Não misture soluções concentradas de fertilizantes diretamente em outra;
- Não misture composto contendo sulfato com outro contendo cálcio, pois ocorrerá a formação de gesso. Por exemplo, se injetarmos, ao mesmo tempo, nitrato de cálcio e sulfato de amônio na mesma água de irrigação haverá a formação de sulfato de cálcio (gesso), que possui solubilidade muito baixa. Ainda que o nitrato de cálcio seja muito solúvel e o sulfato de amônio tenha boa solubilidade, eles criam problemas quando misturados nos tanques, ou misturados na água de irrigação vindos de tanques diferentes, pois formam cristais de gesso que podem obstruir gotejadores e filtros;
- Sempre cheque o fornecedor sobre solubilidade e incompatibilidade do produto;
- Quando as soluções são aplicadas em dosagens muito pequenas e injetadas em diferentes locais da linha de irrigação, muitos problemas de incompatibilidade tendem a desaparecer. O teste da jarra é essencial para se decidir se soluções podem ser injetadas simultaneamente no sistema de irrigação;
- Nunca misturar fertilizantes contendo fósforo com outros que contenha cálcio sem antes efetuar o teste da jarra;
- Água pesada (apresenta quantidades relativamente elevadas de cálcio e magnésio) quando combinada com fosfatos e sulfatos formam substâncias insolúveis;
- Observar o efeito de uma solução de fertilizante sobre outros quando misturados no mesmo tanque;
- Ter segurança no preparo das soluções.

As recomendações acima foram extraídas de boletins informativos da empresa de fertilizantes Serrana®.

3.8 PRINCIPAIS PRÁTICAS CULTURAIS RECOMENDÁVEIS PARA PREVENÇÃO DA SALINIDADE

Na maioria dos casos, valores de condutividade elétrica acima de 0,7 dS m⁻¹ acarreta danos severos para uma extensa relação de plantas submetidas a regime de irrigação contínuo. Diante disso, alguns procedimentos destacados por Ayers & Westcot (1999) podem ser utilizados para reduzir os problemas de salinidade, dentre estes, os mais usuais são:

3.8.1 Necessidade de lixiviação

Quando a acumulação de sais é excessiva, ou quando se suspeita que vai alcançar este nível, os sais podem ser lixiviados, aplicando-se na zona radicular

mais água que a necessária às culturas, durante seu período de crescimento. Esta quantidade extra de água percola abaixo da zona radicular, removendo pelo menos uma parte dos sais acumulados. Este processo de lixiviação é fator básico no controle dos sais solúveis aplicados via água de irrigação (AYERS & WESTCOT, 1999). A longo prazo, a quantidade de sais removidos por lixiviação deve ser igual ou superior à dos sais aplicados com a água de irrigação, para evitar sua acumulação e concentração em níveis perigosos. Os fatores críticos no controle de sais são a quantidade de água necessária para a lixiviação e o momento oportuno de sua aplicação.

A necessidade de lixiviação (NL) é a fração de água aplicada com irrigação que deve atravessar a zona radicular para manter os sais a um nível determinado.

Para estimar a NL, necessita-se conhecer tanto a salinidade da água de irrigação como a salinidade tolerada pela cultura e solo. A salinidade da água de irrigação pode ser medida diretamente, em termos de condutividade elétrica (CEa) ou obtê-la em laboratório. A salinidade tolerada pela cultura pode ser estimada utilizando-se as tabelas nas quais a salinidade tolerada é a salinidade média da água contida na zona radicular, representada pela salinidade do extrato (CEes).

A NL pode ser obtida conforme Equação 4:

$$NL = \frac{CEa}{(5 \times CEes - CEa)} \quad (4)$$

Em que:

NL = necessidade de lixiviação mínima que se necessita para controlar os sais dentro do limite de tolerância das culturas, empregando-se métodos comuns de irrigação por superfície.

CEa = salinidade da água de irrigação, em $dS m^{-1}$

CEes = salinidade do extrato de saturação do solo, em $dS m^{-1}$, que representa a salinidade tolerável por determinada cultura.

Recomenda-se que nos cálculos com a Equação 4 se utilizem valores de CEes correspondentes ao potencial de rendimento mínimo de 90%; igualmente, recomenda-se que, para águas de salinidade moderada alta ($CEa > 1,5 dS m^{-1}$) selecione-se o valor da CEes correspondente ao valor de 100%, já que o controle de salinidade é decisivo para se obter bons rendimentos. A lâmina de irrigação pode ser obtida através da Equação 5.

$$LA = \frac{ETc}{(1 - NL)} \quad (5)$$

Sendo:

LA = lâmina de irrigação ($mm \text{ ano}^{-1}$)

ETc = evapotranspiração da cultura ($mm \text{ ano}^{-1}$)

NL = necessidade de lixiviação

A lixiviação pode ser praticada a cada irrigação, intercalada ou mesmo em cada período seco (estação) ou em intervalos ainda maiores.

Nos cálculos das necessidades de lixiviação, deve-se levar em conta as chuvas. A água da chuva que se infiltra e se armazena na zona radicular (chuva efetiva) satisfaz total ou parcialmente a demanda da evapotranspiração; por outro

lado, a água de chuva que atravessa a zona radicular e percola até as maiores profundidades, pode satisfazer o total ou parte das necessidades de lixiviação. A chuva é eficaz para lixiviar os sais da zona radicular, devido a sua uniformidade de aplicação e a ausência quase total de sais ($CE < 0,05 \text{ dS m}^{-1}$); por outro lado, a lixiviação é mais eficiente quando a intensidade de chuva é menor que a velocidade de infiltração da água.

3.8.2 Escolha do método de irrigação

Os métodos de irrigação afetam a eficiência de aplicação da água e a salinidade. Os sistemas de irrigação por inundação e aspersão são projetados de forma que distribuam a água uniformemente sobre a área irrigada, produzindo um perfil de salinidade, no qual a maior parte dos sais se acumula na parte inferior da zona radicular. Já os sistemas de irrigação por sulco e por gotejamento aplicam água somente em uma parte da superfície do terreno. Em irrigações por sulco, os sais, além de aumentarem com a profundidade, acumulam-se nas partes do solo não alcançado pela água e parte dos sais se deslocam com a água capilar até os pontos mais altos, onde se acumulam por efeito da evaporação, enquanto outra é lixiviada a maiores profundidades, juntamente com a água gravitacional. Na irrigação por gotejamento, os sais se acumulam na periferia do solo molhado por um emissor d'água.

A uniformidade da profundidade da lâmina de irrigação aplicada pelos sistemas de irrigação por superfície é função da velocidade e do tempo de infiltração. Dentro da mesma área, a velocidade de infiltração varia com as diferenças de textura e estrutura do solo, como também com as diferenças em compactação e composição química. O tempo de infiltração, por outro lado, é afetado pela distância entre o ponto em consideração e a fonte de água, pelos aspectos físicos que retardam seu deslocamento superficial como, por exemplo, densidade de plantio e outros, e pelo próprio projeto do sistema. Em geral, o tempo de infiltração na cabeceira das áreas irrigadas por estes métodos é maior do que na parte baixa onde, conseqüentemente, a lâmina aplicada é também menor. A distribuição superficial da água é afetada pelas irregularidades do terreno, sendo os pontos altos os que recebem menos água.

Os sistemas convencionais de irrigação por aspersão são mais apropriados para se aplicar lâminas grandes, apresentando maior dificuldade e menor eficiência na aplicação de lâminas menores (80 a 100 mm) razão por que as irrigações freqüentes, necessárias para reduzir os possíveis estados de escassez da água nas plantas tendem a ser menos eficientes e criam problemas de drenagem; ao contrário, os sistemas de irrigação por aspersão e gotejamento prestam-se melhores à prática de irrigação freqüentes.

Nos sistemas de irrigação localizada, os sais se encontram na superfície do solo e na periferia da massa molhada pelos emissores. Esta acumulação de sais aumenta com o tempo e pode constituir sério perigo. Assim, por exemplo, estes sais podem ser deslocados pelas chuvas até as raízes das plantas ou, no caso de culturas anuais, podem afetar as novas plantas quando estas são semeadas sem prévia lixiviação. Para se evitar este deslocamento de sais até as raízes, é recomendável continuar com a irrigação durante o período chuvoso, até que uma precipitação suficiente (5 a 100 mm) tenha lixiviado os sais abaixo das raízes. Com a irrigação por gotejamento com águas de boa qualidade, pode-se obter rendimentos

comparáveis, ou ligeiramente superiores aos rendimentos conseguidos com outros sistemas; no entanto, quando se utilizam águas mais salinas ($CEa > 1,0 \text{ dS m}^{-1}$) os rendimentos são freqüentemente superiores, dado pela alta freqüência de aplicação oferecidos pelos sistemas de irrigação localizados.

3.8.3 Drenagem subterrânea

A falta de adequada drenagem superficial e a presença de lençol freático pouco profundo, agravam os problemas de salinidade e complicam seu controle.

Freqüentemente, a presença de nível de lençol freático pouco profundo está associada à presença de solo de baixa permeabilidade, como camada de argila pesada ou a presença da rocha matriz. O excesso de água é derivado, freqüentemente, de irrigações excessivas, de filtrações provenientes de terras mais elevadas e/ou de vazamento de águas dos canais. Ao se irrigar um solo de drenabilidade deficiente a nula e em regiões de baixa precipitação, este se torna salino em um período de tempo bastante curto, porque as plantas removem basicamente a água enquanto que a maior parte dos sais acaba sendo retidas.

A forma mais eficaz de se controlar a salinidade resultante de lençóis freáticos pouco profundos é mediante um sistema de drenagem que permita rebaixar o nível das águas e mantê-lo estável a esta profundidade. Deve-se aplicar a drenagem sempre que se explorar terras novas e é essencial para assegurar o êxito, a longo prazo, de todos os projetos de irrigação. Tem-se que prever os problemas de drenagem e formular sua solução imediata ou futura por antecipação. Uma vez estabelecida a drenagem adequada, os problemas de salinidade podem ser controlados por meio de manejo eficiente de irrigação. O tema drenagem, incluindo suas necessidades, estudos de campo e projetos, é tratado, entre outras, nas seguintes publicações: Dieleman & Trafford (1976) e Dieleman et al. (1980).

3.8.4 Adubação

Os fertilizantes naturais e químicos e os corretivos contêm concentrações altas de muitos sais solúveis. Quando são colocados nas proximidades das sementes ou plantas, esses produtos provocam ou intensificam os problemas de salinidade e/ou toxicidade; por exemplo, uma aplicação de nitrogênio de 50 kg/ha (250 kg/ha de sulfato de amônia) espalhado uniformemente sobre a superfície de um hectare, não causaria problema de salinidade, enquanto que, se colocasse junto com a semente, provavelmente provocaria redução na germinação ou no desenvolvimento das plantas e conseqüentemente redução de rendimentos.

As plantas, na fase inicial de desenvolvimento, são sensíveis a salinidade e requerem pouca fertilização; portanto, pode-se aplicar pequena quantidade de fertilizantes antes ou no momento da semeadura e o resto em uma ou mais aplicações, entre a emergência e a fase de crescimento vigoroso. Na adubação deve-se considerar a aplicação de fertilizantes com índices baixos de sais. Quanto mais baixo for o índice de salinidade de um fertilizante, menor será o perigo de queimadura nas folhas e de danos nas plantas jovens. Considera-se, geralmente,

que um aumento do nível de fertilização acima do necessário para o ótimo desenvolvimento, não afeta a tolerância das plantas à salinidade; mas se a salinidade e a baixa fertilidade limitam a produção, a correção de uma ou ambas provocará aumento no rendimento da cultura; entretanto, se a fertilidade é adequada e a salinidade é o fator limitante, a adubação não provocará aumento nos rendimentos nem melhorará a tolerância a salinidade.

3.8.5 Manejo agrônômico

Aração profunda pode redistribuir sais no perfil do solo. A prática deveria ser avaliada em uma pequena área antes de arar a área completa. Camadas de solo pouco permeável que impede o movimento de água através da zona radicular pode ser distribuída através da subsolagem. No entanto, seu efeito é temporário permanecendo de um a dois anos.

A aplicação de esterco, resíduos de colheitas no solo, favorecem a estruturação do solo e melhoram a infiltração da água. Os resíduos podem ser deixados como cobertura na superfície ou incorporados. Quando aplicados na superfície “mulch”, reduzem a ascensão de água e o movimento de sais nos solos salinos e facilitam a lixiviação pelas chuvas. Para que as incorporações sejam eficientes, são necessárias adições de grandes volumes nos primeiros 15 cm, de maneira que controlem a quantidade de água infiltrada em um tempo determinado (Ayers & Westcot, 1999). Os efeitos também são temporários.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante a necessidade de desenvolvimento de pesquisas regionalizadas sobre a salinidade dos solos, para melhor compreensão das bases genéticas, bioquímicas e fisiológicas da tolerância dos sais.

A carência de conhecimento da aplicação dos fertilizantes via água de irrigação de forma racional por parte dos agricultores é uma realidade que necessita ser enfocada com maior rigor pelas instituições de ensino, pesquisa e extensão.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÜES, R. Agricultura de regadío, calidad del agua y flujos de retorno. In: Symposium Nacional Presente y Futuro de los Regadíos Españoles. Madrid: CEDEXMOPTMA.1994. 18p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Trad. H. R. GHEYI et al., Campina grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO: irrigação e Drenagem, 29).

BEN-HUR, M.; LI, F.H.; KEREN, R.; RAVINA, I.; SHALIT, G. Water and salt distribution in a field irrigated with marginal water under high water table conditions. **Soil Science American Journal**, Madison, v.65, n.1, p.191-8, jan. 2001.

BERNARDO, S. **Impacto ambiental da irrigação no Brasil**. In: SILVA, D.D. da; PRUSKI, F.F. (Ed.). Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura. Viçosa: MMA/SRH/ABEAS/UFV, 1997. 252 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7 ed. Viçosa: Ed. UFV. 2005. 611p.

BIGGAR, J.W.; ROLSTON, D.E.; NIELSOEN, D.R. Transport of salts by water. **California Agriculture**, v.38, n.10, p.10-11. 1984.

BLANCO, F. F. **Tolerância do pepino enxertado à salinidade em ambiente protegido e controle da salinização do solo**. ESALQ: Piracicaba – SP. 1999. 104p (Dissertação de Mestrado).

BOHN, H.L.; McNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A. **Soil Chemistry**. New York, John Willey & Sons, 1985. 341p.

CAUSAPÉ, J.; QUÍLEZ, D.; ARAGUÉS, R. Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level II. Salt and nitrate loads in irrigation return flows. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.70, n.3, p.211-18, dez. 2004.

CRUCIANI, D. E. **Prevenção de solos à salinização**. Disponível em: <http://www.irrigarte.hpg.ig.com.br/Salinidade.htm>. Acesso em 05 jan. 2010.

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

D'ALMEIDA, D.M.B.A.; ANDRADE, E.M.; MEIRELES, A.C.M. Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, Ceará. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.615-21, 2005.

DIAS, N. S. **Evolução da salinidade de um solo Luvissole cultivado com melão irrigado por gotejamento**. 2001.72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UFPB, Campina Grande.

DIAS, N. S. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado sob ambiente protegido. Piracicaba: ESALQ/USP. 2004. 110p. (Tese de Doutorado).

DIAS, N. S.; DUARTE, S.N.; TELES FILHO, J.F.; YOSHINAGA, R. T. Salinização do solo por aplicação de fertilizantes em ambiente protegido. Irriga, Botucatu, v.12, n.1, p.135-143, jan/mar. 2007.

DIELEMAN, P.J. et al. Elementos para el projeto de drenaje. Roma, FAO, 1980. 52p. (Estúdios FAO: Riego e Drenaje, 38).

DIELEMAN, P.J.; TRAFFORD, B.D. Ensayos de drenaje. Roma, FAO, 1980. 52p. (Estúdios FAO: Riego e Drenaje, 28).

FAGERIA, N.K.; GHEYI, H.R. Melhoramento genético das culturas e seleção de cultivares. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. (Eds.). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. Cap. 11, p. 363-383.

FENG, Z.Z.; WANG, X.K.; FENG, Z.W. Soil N and salinity leaching after the autumn irrigation and its impact on groundwater in Hetao Irrigation District, China. Agricultural Water Management, Amsterdam, v.71, n.1, p.131-43, 2005.

FULLER, W. H. Water soil and crop management, principles for the control of salts. Tucson: University of Arizona. 1967. 21 p. (University of Arizona. Bulletin, A – 23).

GHEYI, H. R., QUEIROZ, J. E., MEDEIROS, J. F. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Paraíba : UFPB, 1997.

GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F.; BATISTA, M.A.F. Prevenção, manejo e recuperação dos solos salinos e sódicos. Curso de Especialização em Irrigação e Drenagem. Mossoró: ESAM, 1991. 56p. Apostila.

HOLANDA, J.S.; AMORIM, J.R.A. Qualidade da água para irrigação In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. de (Ed.). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, 1997. cap. 5, p.137-69.

HOORN, J. W.; ALPHEN, J.G. Salinity control. In: RITZEMA, H.P. (ed.). Drainage Principles and applications. Wageningen: ILRI, 1994. P. 533 – 600. (Publication, 16).

LARCHER, W. Ecofisiologia Vegetal. Tradução: PRADO, C.H.B.A; FRANCO. A.C. São Carlos, RiMa, 2000. 533p.

LIMA, L.A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. de (Ed.). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, 1997. p.113-33.

LIMA, V. L. A. Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em condições de lisímetro de drenagem. 1998. 87 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

LOPES, J. F. B; ANDRADE, E. M; CHAVES, L. C. G. IMPACTO DA IRRIGAÇÃO SOBRE OS SOLOS DE PERÍMETROS IRRIGADOS NA BACIA DO ACARAÚ,

CEARÁ, BRASIL. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.28, n.1, p.34-43, jan /mar. 2008.

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G.J. Crop salt tolerance: current assessment. Journal of the Irrigation and Drainage Division. v.103, n.2, p.115-134, 1977

MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R. A qualidade da água de irrigação. Campina Grande: UFPB, 1994. 60p.

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, Ceará. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v.34, n.2, p.207-12, ago./dez. 2003.

MOLLE, F.; CADIER, E. Manual do pequeno açude. Recife: SUDENE/DPG/PRN/DPP/APR, 1992. 523p.

NUNES FILHO, J.; GUERRA, C.A.M.; SOUZA, A.R.; SÁ, V.A. L.; SOARES, M.J.C.C. Qualidade da água de açudes, para fins de irrigação no sertão de Pernambuco. ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília, n.44, p.35-39, 1991.

ONGLEY, E.D. Controle da poluição da água pelas atividades agrícolas. Tradução de GHEYI, H.R.; DAMASCENO, F.A.V.; BRITO, L. T. de L. Campina Grande: UFPB, 2000. 92 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 55).

PEREIRA, J.R.; VALDIVIESO, C.R.; CORDEIRO, G.G. Recuperação de solos afetados por sódio através do uso de gesso. In: SEMINARIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, Brasília, 1985. Brasília, p. 85-105.

PEREIRA, J.R. Solos afetados por sais. In: recomendação de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª Aproximação. Emp. de pernambucana de pesquisa agropecuária. 1998. p. 75 – 82.

PEREIRA, O.J.; MATIAS FILHO, J.; ANDRADE, E.M. Variação do teor de sais no solo irrigado por aspersão e ação da chuva na sua lixiviação. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v.17, n.1, p.61-5, jun. 1986.

PIZARRO, F. Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos. Madrid: Editorial Agrícola Española, 1978. 525 p.

PIZARRO, D. Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos. Madrid, Ed. Agrícola Española, 1978. 520p.

QUEIROZ, J.E.; GONÇALVES, A.C.; SOUTO, J.S.; FOLEGATTI, M.V. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997. Campina Grande. Anais... Campina Grande: UFPB/SBEA. 1 CD.

QUEIROZ, J.E.; GONÇALVES, A.C.; SOUTO, J.S.; FOLEGATTI, M.V. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In.: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS,

J.F. (Eds). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. Cap. 3. p. 69-111.

RIBEIRO, A. C; ALVAREZ, V. H.; GUIMARÃES, P. T. G. Comissão de fertilidade do solo de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação, Viçosa, MG, 1999 p.359.

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

SANTOS, R.V.; HERNANDEZ, F.F.F. Recuperação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.M. (eds.). Manejo e Controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. Cap. 10, p.319-361.

SANTOS, R. V. Correção de um solo salino-sódico e absorção de nutrientes pelo feijoeiro *Vigna* (*Vigna unguiculata* L. Walp). Piracicaba, 1995. (Tese de Doutorado) - ESALQ.

SILVA, Ê. F. de F. Avaliação da eficiência de diversos produtos na recuperação de um solo salino-sódico e seus efeitos na cultura de arroz (*Oryza sativa* L.). Campina Grande, PB, 1997. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal da Paraíba.

SILVA FILHO, S.B.; CAVALCANTE, L.F.; OLIVEIRA, F.A.; LIMA, E.M.; COSTA, J.R.M. Monitoramento da qualidade da água e acúmulo de sais no solo pela irrigação. Irriga, Botucatu, v.5, n.2, p.112-15, maio/ago. 2000.

SILVA JUNIOR, L.G.A.; GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v.3, n.1, p.11-17, 1999.

SMEDEMA, L.K.; SHIATI, K. Irrigation and salinity: a perspective review of the salinity hazards of irrigation development in the arid zone. Irrigation and Drainage Systems, Amsterdam, v.16, n.2, p.161-74, maio. 2002.

SOUZA, M. R. de. Comportamento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. CV Eriparza) submetido a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. 1995. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

STANGHELLINI, C. Evapotranspiration in greenhouse with special reference mediterranean conditions. Acta Horticulture. Wageningen, n. 335, p. 296-304, 1993.

ULZURRUN, M.D.D. Salinidad e alcalinidad del suelo em relación com el riego de drenaje. In: V MÁSTER INTERNACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE. Madrid: CENTERMAPYA, 161p. 2000.

VIEIRA, R. F.; RAMOS, M. M. Fertirrigação. In: RIBEIRO, A. C; ALVAREZ, V. H.; GUIMARÃES, P. T. G. Comissão de fertilidade do solo de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5º Aproximação. Viçosa. 1999, p.111- 130.

VITTI, G. C., BOARETTO, A. E., Fertilizantes fluidos. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE FERTILIZANTES FLUIDOS. Piracicaba: Potafós. 1993. 1994.

ZANINI, J.R; VILLAS BOAS, R.L; FEITOSA FILHO, J.C. Uso e manejo da fertirrigação e hidroponia. Jaboticabal, UNESP. 2002. p.65.