

Causas e conseqüências do processo de salinização dos solos Causes and consequences of the process of soil salinization

Alceu Pedrotti¹, Rogério Moreira Chagas², Victor Callegari Ramos³, Ana Paula do Nascimento Prata⁴, Ariovaldo Antônio Tadeu Lucas⁵ e Pricila Barbosa dos Santos⁶

¹Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Prof. Associado do Departamento de Engenharia Agrônômica, UFS, São Cristóvão, SE, Brasil

²Eng. Agrônomo, Laboratório de Fitorremediação de Solos (Lafito), UFS, São Cristóvão, SE, Brasil

³Graduando em Engenharia Agrônômica, Departamento de Engenharia Agrônômica, UFS, São Cristóvão, SE, Brasil

⁴Doutora em Botânica, Prof. Adjunto do Departamento de Ciências Biológicas, UFS, São Cristóvão, SE, Brasil

⁵Doutor em Ecologia Aplicada, Professor do Departamento de Engenharia Agrícola, UFS, São Cristóvão, SE, Brasil

⁶Graduanda em Ciências Biológicas, Departamento de Ciências Biológicas, UFS, São Cristóvão, SE, Brasil

Resumo

O processo de salinização dos solos é típico de regiões áridas e semiáridas, geralmente resultantes da associação da formação geológica predominante na paisagem, má distribuição das chuvas, drenagem deficiente e exploração agrícola inadequada. A exploração dos recursos naturais com o uso de técnicas inadequadas tem favorecido o aumento do grau de degradação dos solos que, por afetarem a produção agrícola e o meio ambiente, causam uma série de problemas de ordem social e política. Uma área pode permanecer salinizada durante anos, com nível baixo ou moderado de salinidade, sem que o problema seja detectado. Um aumento adicional no teor de sal pode causar abandono da terra agrícola em poucos anos, pois altos valores de sais no solo causam alterações nas características químicas e físicas dos solos e retarda ou impede o crescimento das plantas, principalmente devido ao aumento do potencial osmótico e toxidez indireta de determinados elementos. Estratégias como o uso de plantas extratoras, o uso de corretivos como o gesso agrícola e o uso de técnicas para melhorar a drenagem do solo, são adotadas para recuperação de áreas degradadas pelo excesso de sais, e que quando aplicadas em conjunto podem minimizar os efeitos deletérios do excesso de sais no solo.

Palavras-chave: Degradação do solo, excesso de sais, fitorremediação, solos halomórficos.

Abstract

The process of soil salinization is typical of arid and semi-arid regions, often resulting from the combination of geological formation predominant in the landscape, poor distribution of rainfall, poor drainage and inadequate farm. The exploitation of natural resources with the use of inadequate techniques has favored the increase of the degree of degradation, because they affect agricultural production and the environment, causing a number of problems of social and political order. One area can remain saline during years with low or moderate salinity, unless the problem is detected. A further increase in the salt content can cause cessation of agricultural land in a few years since higher amounts of salts in the soil cause changes in the physical characteristics of the soils and slows or prevents the growth of plants, mainly due to increased osmotic potential and indirect toxicity of certain elements. Strategies such as the use of extracting plants, the use of gypsum and lime as the use of techniques to improve drainage of the soil, are adopted for reclamation by excess salts, and that when applied together can minimize the deleterious effects of excess salts in soil.

Keywords: Soil degradation, excess salts, phytoremediation, halomorphics soils.

1 Introdução

O crescimento populacional e a pressão econômica para produção de alimentos têm contribuído sensivelmente para expansão da área de solos degradados por salinidade e sodicidade, possivelmente, em consequência do uso inadequado de terras marginais e do manejo inadequado da irrigação e do solo (RIBEIRO *et al.*, 2003). Um dos grandes desafios da humanidade é tornar as atividades de exploração dos recursos naturais sustentáveis. Atualmente são evidentes os problemas de degradação dos solos relacionados com atividades antrópicas. Um solo se degrada quando são modificadas as suas características físicas, químicas e biológicas. O desgaste pode ser provocado por esgotamento, desmatamento, erosão, compactação, salinização e desertificação (MAJOR & SALES, 2012). De acordo com Kobiyama *et al.* (2001) isso acontece em decorrência da adoção de técnicas de exploração dos recursos naturais inadequadas à manutenção do meio ambiente.

Apesar de haver diferentes tipos de práticas de uso da terra, o resultado final geralmente é sempre negativo ao meio ambiente por apresentarem um mesmo objetivo que é o atendimento imediato da demanda mundial por recursos naturais (FOLEY *et al.*, 2005). Cooper (2008) enfatiza que a degradação do solo, por afetar diretamente a produção agrícola e o meio ambiente, causa instabilidade social e política, reduz a área de remanescentes florestais, acelera a exploração de terras marginais e frágeis, aumenta a poluição dos mananciais e a emissão de gases que provocam efeito estufa.

Avaliando o grau de degradação dos solos no mundo, atualmente pode ser apresentada a seguinte classificação: 8,0% moderadamente degradados; 10% em recuperação; 25% degradados; e 36% apresentam-se estáveis ou levemente degradados. Os outros 20% representam áreas sem cobertura vegetal (18%) ou cobertas por água (2,0%). A degradação do solo nesse caso estaria relacionada com práticas agrícolas intensivas que provocaram grave degradação ambiental, incluindo perda da biodiversidade e poluição de mananciais superficiais e subterrâneos devido ao uso intenso de fertilizantes e pesticidas nas lavouras (FAO, 2011).

Considerando apenas a salinização como fator de degradação, estima-se que aproximadamente 7,0% de toda superfície terrestre apresenta-se salinizada seja, devido a processos naturais intrínsecos ao próprio solo da região de ocorrência ou causadas por atividades antrópicas (SZABOLCS, 1979; DUDAL & PURNELL, 1986; JAIN *et al.*, 1989; GUPTA & ABROL 1990; AHMED & QAMAR, 2004), com uma superfície de 9.500.000 km², distribuídos na Austrália, Ásia, América do Sul e África. No Brasil solos salinos e sódicos ocorrem no Rio Grande do Sul, na região do Pantanal Mato-grossense e, com predomínio na região semiárida do Nordeste (RIBEIRO *et al.*, 2003). Além de se caracterizar como um grave problema ambiental, a elevada concentração de sais no solo causa perdas consideráveis para agricultura mundial ou por causar perdas em cultivos já estabelecidos ou por inviabilizar a exploração de novas áreas agricultáveis (FLOWERS, 2004; MUNNS *et al.*, 2006).

A salinidade é uma condição do solo que ocorre principalmente nas regiões áridas e semiáridas do mundo. A precipitação pluviométrica limitada nessas regiões, associada à baixa atividade bioclimática, menor grau de intemperização, drenagem deficiente e a utilização de água de má qualidade, conduzem à formação de solos com alta concentração de sais (HOLANDA *et al.*, 2007).

O aumento da área de terras apresentando problemas com salinização em regiões áridas e semiáridas tem se tornado motivo de grande preocupação, principalmente por se concentrar em áreas irrigadas que receberam altos investimentos em infraestrutura para sua implantação. O emprego da irrigação sem um manejo adequado e com as condições de drenagem deficientes contribuem para que o processo de salinização seja acelerado, podendo atingir níveis prejudiciais à maioria das culturas em um espaço de tempo relativamente curto (HOLANDA *et al.*, 2001).

No entanto, há uma necessidade em se definir de forma específica níveis de salinidade e sodicidade que atenda satisfatoriamente a todas as situações agrônomicas (RIBEIRO *et al.*, 2003). Diferentes estratégias são adotadas para recuperação de áreas que apresentam elevadas concentração de

sais, tais como: uso de plantas extratoras, uso de corretivos como o gesso agrícola, uso de técnicas para melhorar a drenagem do solo, etc. Em geral, os resultados mais satisfatórios ou mais eficientes são alcançados, quando são aplicadas técnicas combinadas de recuperação de tais áreas afetadas pela presença dos sais.

Diante da relevância do tema acima exposto para o Brasil, em particular para a região Nordeste, o presente trabalho, baseado em levantamento bibliográfico, objetivou apresentar as causas e consequências do excesso de sais no solo, e as possíveis estratégias de recuperação de solos degradados pelo excesso de sais.

2 Processo de Salinização dos Solos

A salinização do solo é um problema que vem crescendo em todo o mundo. Estima-se existir cerca de 1 a 5 bilhões de hectares de solos afetados por sais, com grande parte de todas as áreas irrigadas do mundo sofrendo com a redução da produção devido ao excesso de sais no solo (RIBEIRO *et al.*, 2003; SOUSA, 2007). Solos afetados por sais são principalmente encontrados em climas áridos e semiáridos, em mais de 100 países em todos os continentes, com exceção da Antártida. No Brasil o problema é verificado em todo país, acontecendo especialmente na região Nordeste, onde aproximadamente 25% das áreas irrigadas foram salinizadas (GHEYI, 2000).

A origem dos problemas de salinidade se confunde com a própria formação dos solos, que é um produto da intemperização das rochas, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos, mediante a ação de fatores como clima, relevo, organismos vivos e o tempo (RIBEIRO *et al.*, 2003; DIAS, 2004). A salinidade é um problema que atinge cerca de 45 milhões (19,5%) dos 230 milhões de hectares da área irrigada do globo terrestre. O excesso de sais limita severamente a produção agrícola principalmente nas regiões áridas e semiáridas, onde cerca de 25% da área irrigada encontra-se salinizada (FAO, 2000).

A salinização induzida pelo homem é mais perceptível em ambientes de elevada evapotranspiração e baixa precipitação pluviométrica no curso do ano, manifestando-se de forma mais acentuada nessas áreas em decorrência do manejo inadequado da irrigação, onde o controle da drenagem não é feito ou feito de forma ineficiente (OLIVEIRA, 1997). No Nordeste semiárido atualmente há grandes áreas com solos salinizados, devido à natureza física e química dos solos, ao déficit hídrico e à elevada taxa de evaporação, com maior incidência do problema nas terras mais intensamente cultivadas com o uso da irrigação, nos polos de agricultura irrigada (SILVA *et al.*, 2011).

Os solos afetados por sais, também conhecidos por solos halomórficos ou solos salinos e sódicos, são solos desenvolvidos em condições imperfeitas de drenagem, que se caracterizam pela presença de sais solúveis, sódio trocável ou ambos, em horizontes ou camadas próximas à superfície. Quando a concentração de sais se eleva ao ponto de prejudicar o rendimento econômico das culturas, diz-se que tal solo está salinizado (RIBEIRO, 2010; MAJOR & SALES, 2012).

A gênese de solos salinos tem uma alta relação tanto com a formação geológica predominante na paisagem como com a drenagem. Logo, a origem dos problemas de salinidade se confunde com a própria formação dos solos (RIBEIRO *et al.*, 2003; FIGUEIRÊDO, 2005). Daker (1988) destaca que os sais resultantes dos minerais primários, encontrados nos solos e nas rochas, são transportados pelas águas e armazenados nos solos acumulando-se à medida que a água é evaporada ou consumida pelas culturas, originando o processo de salinização.

Durante a intemperização dos minerais primários, que compõem a rocha ou o material de origem do solo, através de processos físicos, químicos e biológicos mediados pela ação de fatores como clima, relevo, organismos vivos e o tempo, os sais solúveis que constituem as rochas são liberados dando início à formação do solo (RICHARDS, 1954).

Entretanto, a decomposição de minerais primários *in situ*, raramente provoca acúmulo de sais no solo em níveis prejudiciais ao desenvolvimento vegetal. Para formação de solos afetados por sais, estes são geralmente transportados pela água, que é o principal agente transportador (WANDERLEY, 2009).

O excesso de sais solúveis na solução do solo é resultado de uma combinação de fatores: climáticos (baixo índice pluviométrico e elevada taxa de evapotranspiração), edáficos (baixa capacidade de

lixiviação dos sais e presença de camadas impermeáveis) e de manejo do solo (irrigação com águas salinizadas, excesso de água de irrigação, uso excessivo de agroquímicos etc) (GHAFOR *et al.*, 2004; QADIR & OSTER, 2004; RIBEIRO, 2010).

No seu processo de salinização, ocorre a transformação dos minerais primários, ricos em cátions como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , em minerais de argila do tipo 2:1, principalmente montmorilonita. Em locais de clima semiárido esta transformação, embora lenta devido aos longos períodos sem chuvas, libera da estrutura cristalina dos minerais parte destes cátions e contribui para a manutenção de suas concentrações em níveis relativamente elevados, tanto no complexo de troca quanto na solução do solo. Nos períodos secos estes cátions afloram à superfície dos agregados do solo, principalmente na camada mais superficial, chegando a formar uma crosta de sais cristalizados (HOLANDA *et al.*, 2001).

O processo de salinização envolve a concentração de sais solúveis na solução do solo e resulta na formação dos solos salinos, que resulta da acumulação de sais solúveis de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ nos horizontes do solo. Ressaltando que, os principais sais encontrados são: cloretos e sulfatos de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , sendo que, os carbonatos e nitratos são encontrados em quantidades reduzidas. Como destaque deve ser lembrado que em razão do excesso de sais e da ausência de quantidades relevantes de Na, os solos salinos são floculados e não apresentam limitação, devido a permeabilidade. Os solos salino-sódicos são formados quando a Percentagem de Sódio Trocável (PST) atinge valores maiores ou iguais a 15%, e os níveis de salinidade permanecem altos, com uma condutividade elétrica (CE) $\geq 4,0$ dS.m⁻¹. O processo de solonização promove a formação de solos sódicos, e é constituído por dois subprocessos: sodificação e dessalinização. A sodificação, primeira etapa, é o processo de passagem do íon Na^+ da solução do solo para o complexo de troca, formando os solos denominados de salino-sódicos, enquanto a dessalinização, etapa final, promove a lavagem dos sais solúveis, resultando na formação de solos unicamente sódicos (RIBEIRO *et al.*, 2003; RIBEIRO, 2010).

Os sais, resultantes do processo de intemperização, podem ser carregados para horizontes inferiores, mediante percolação, e então depositados nas águas subsuperficiais, ou levados a lugares distantes por escoamento superficial. Entretanto, em regiões de clima árido e semiárido, por apresentarem déficit hídrico não há condições favoráveis para que ocorra lixiviação. Com a evaporação superando e muito a precipitação, a drenagem dos sais solúveis é deficiente, o que contribui para a acumulação desses sais no perfil e na superfície do solo, resultando em solos afetados por sais (AYERS & WESTCOT, 1991; WANDERLEY, 2009).

A concentração elevada de sais no solo é um fator limitante ao desenvolvimento das plantas, e que pode ocorrer em função de características naturais do próprio ambiente, ou pode ser decorrente das atividades humanas. A salinização natural dos solos pode ocorrer pela intemperização das rochas e pela deposição de sais provenientes dos oceanos pela ação das chuvas e dos ventos, sendo denominada de salinização primária (RICHARDS, 1954; NEUMANN, 1997; RIBEIRO *et al.*, 2009; MUNNS, 2012).

A salinização é denominada secundária quando a elevação na concentração de sais no solo é resultante de alguma atividade antrópica, geralmente associada ao desmatamento, ao excesso de água de irrigação, ao padrão de qualidade da água de irrigação abaixo do recomendado, uso de adubos químicos e sistemas de drenagem ineficientes (WILLIAMS, 1987; NEUMANN, 1997; RIBEIRO *et al.*, 2003; MUNNS, 2012).

Os fatores diretamente responsáveis pela salinização dos solos em áreas irrigadas são o 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 (GHEYI *et al.*, 1997).

Sem um manejo adequado de água-solo-salinidade, a irrigação tem levado a salinização e sodificação de extensa área semiárida do Nordeste brasileiro, aproximadamente 25% das áreas irrigadas dessa região encontra-se salinizada (GHEYI, 2000; BARROS *et al.*, 2005). Embora o sal não é nem mutagénico ou carcinogénico, e não é geralmente considerado tóxico para os animais, existem numerosos efeitos ambientais associados com o excesso de sal no solo. Estes incluem a degradação das

propriedades químicas e físicas do solo, a qualidade das águas subterrâneas e diminuição do crescimento de plantas prejudicada (GHEYI *et al.*, 1997; QADIR *et al.*, 2003).

Outro fator também responsável pela indução da salinidade é a aplicação excessiva de fertilizantes com índice salino elevado, tais como cloreto de potássio, nitrato de amônia e formulações comerciais, de forma indiscriminada e excessiva, que pode induzir a um incremento da pressão osmótica na solução do solo, prejudicando a germinação das sementes e o desenvolvimento de plantas muito jovens (FIGUEIRÊDO, 2005; WANDERLEY, 2009).

No semiárido nordestino, outro agravante é o despejo no solo de rejeitos ou subprodutos de dessalinizadores sem nenhum tratamento prévio, propiciando alto acúmulo de sais nas camadas superficiais dos terrenos onde são instalados os equipamentos. A dessalinização por processo de osmose reversa, técnica de purificação de água de poços altamente salina imprópria para consumo humano e animal, produz em média 50% de água potável e 50% de rejeito salino, apresentando baixa qualidade e altos riscos ambientais (PORTO *et al.*, 2001; PORTO *et al.*, 2004; WANDERLEY, 2009).

A água residuária de dessalinizadores é descartada geralmente nos cursos d'água ou diretamente no solo, comprometendo assim as fontes de água superficiais e subterrâneas, alterando as propriedades físicas e químicas do solo, e afetando direta e indiretamente a fauna e a flora da região (DIAS *et al.*, 2010). No solo especificamente, o sódio dos sais substitui o cálcio adsorvido no complexo de troca, causando a dispersão dos colóides do solo, e conseqüentemente, contribuindo para redução da condutividade hidráulica do solo (IYYAS *et al.*, 2000).

Desta forma, o maior efeito dos efluentes de reatores biológicos de tratamento de esgotos nas propriedades físicas e hidráulicas do solo está relacionado à sua salinidade e sodicidade, que podem provocar alterações em suas propriedades físico-hídricas, dentre elas a condutividade hidráulica e porosidade total; responsáveis pelo movimento e armazenamento da água no solo (QUIROZ, 2009).

3 Efeitos do Excesso de Sais no Solo e na Planta

O impacto econômico da salinização não é fácil de avaliar, por causa da relação não linear entre salinização e produtividade. Logo, a salinização pode permanecer sem ser detectada durante anos com níveis moderados de salinidade, enquanto um aumento adicional pode causar abandono da terra agrícola em poucos anos. Diante disso, uma das ferramentas mais importantes é o monitoramento da condutividade elétrica do solo em sistemas de produção, que permite de forma simples e eficiente adequações que evitem a ocorrência de processos de salinização do solo e perdas na quantidade e qualidade da produção (QUEIROZ *et al.*, 2009; MAJOR & SALES, 2012).

As propriedades físicas dos solos, tais como, estrutura do solo, estabilidade dos agregados, dispersão das partículas, permeabilidade e infiltração, são muito influenciadas pelos tipos de cátions trocáveis presentes no solo (SHAINBERG & OSTER, 1978). Enquanto a acumulação de sais solúveis torna o solo floculado, friável e bem permeável, o aumento do sódio trocável poderá torná-lo adensado, compacto em condições secas, disperso e pegajoso em condições molhadas (GHEYI *et al.*, 1991; DIAS & BLANCO, 2010).

A predominância de cátions monovalentes, especialmente o sódio, promove um aumento na espessura da dupla camada iônica difusa, aumentando consideravelmente a expansão das partículas de argila (FASSBENDER & BORNEMISZA, 1987), acarretando em dispersão das mesmas, formando camadas impermeáveis, dificultando o movimento de ar e de água no solo. DIAS & BLANCO (2010) afirmam que se houver exagero na expansão da argila, ocorrerá a fragmentação das partículas e, conseqüentemente, modificações na estrutura do solo. Esse rompimento de agregados do solo é indesejável, visto que causa grande impacto ambiental por também liberar de forma excessiva, nutrientes e biocidas utilizados na agricultura (MOURA FILHO & BUOL, 1976; GHADIRI & ROSE, 1991). Além disso, o efeito de expansão, dispersão e migração das partículas de argila nos poros condutores interferem na condutividade hidráulica e na permeabilidade do solo à água (RHOADES & INGVALSON, 1969; SHAINBERG & LETEY, 1984; ANDRADE & CRUCIANI, 1996).

Geralmente, essas alterações na estrutura dos solos ocorrem quando a PST é superior a 15% (RICHARDS, 1954), e segundo Albuquerque *et al.* (2002) solos com elevada PST são mais suscetíveis

ao selamento superficial e erosão hídrica. O valor da PST, no entanto, pode variar em função da qualidade da irrigação, do tipo de mineral de argila predominante, e do grau de salinidade do solo (RIBEIRO, 2010). Holanda *et al.* (2001) enfatizam a importância de se detectar precocemente problemas de salinidade em solos nos quais existem cultivos irrigados, verificando-se alterações químicas através de análises que indiquem uma eventual elevação da PST, bem como a relação deste cátion com outros do complexo sortivo, dada pela Razão de Adsorção de Sódio (RAS).

Uma das causas dessas modificações nas propriedades físico-hídricas dos solos é o fenômeno conhecido como dispersão química que apresenta relação de dependência com a PST e com a concentração eletrolítica da solução do solo (AGASSI *et al.*, 1981). Quanto maior a concentração de sódio no solo e mais baixa for a concentração de eletrólitos, maior será a dispersão das argilas e mais elevada será a viscosidade da água, fatores que juntos contribuem infinitamente para redução da condutividade hidráulica e permeabilidade do solo (KEREN *et al.*, 1988), e consequentemente da taxa de infiltração de água no solo.

Da mesma forma que a salinidade afeta o solo, há também reflexos dos seus efeitos nas plantas. A salinidade afeta as culturas de duas maneiras: pelo aumento do potencial osmótico do solo, quanto mais salino for um solo, maior será a energia gasta pela planta para absorver água e com ela os demais elementos vitais; pela toxicidade de determinados elementos, principalmente sódio, boro, bicarbonatos e cloretos, que em concentração elevada causam distúrbios fisiológicos nas plantas (BATISTA *et al.*, 2002). Além disso, há um grave desequilíbrio nutricional em virtude da significativa alteração nos processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes na planta, por exemplo, o excesso de Na inibe a absorção de nutrientes, como o K e Ca (MUNNS & TERMAAT, 1986; RIBEIRO *et al.*, 2003; VIANA *et al.*, 2004; FARIAS *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2009). Nesse contexto, os valores de pH elevados nos solos também reduzem a disponibilidade de muitos micronutrientes. Nesses solos salinizados encontra-se deficiência de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) (TAN, 1993).

Quando a concentração de sais no solo é superior ao tolerado pela planta, seu crescimento é diretamente comprometido em virtude basicamente de dois processos: redução da absorção de água resultante do efeito osmótico ou déficit hídrico; e elevada concentração de íons no fluxo transpiratório que causa injúrias nas folhas (MUNNS, 2005). Santos (2006) destaca que a redução da taxa de crescimento das plantas sob estresse salino ocorre de forma mais acentuada nos tecidos jovens, afetando os mecanismos de divisão e expansão celular nos pontos de crescimento da planta.

A elevada concentração de sais na rizosfera provoca a redução da permeabilidade das raízes à água, tendo como consequência direta o estresse hídrico (TÁVORA *et al.*, 2005). De acordo com O'Leary (1975) isso provoca o fechamento dos estômatos para reduzir as perdas de água por transpiração, reduzindo consequentemente a taxa fotossintética afetando assim o desenvolvimento das plantas ao longo do seu ciclo.

A concentração elevada de sais no solo, seja de origem primária ou secundária, condiciona um ambiente hostil à maioria das plantas. As plantas adaptadas a ambientes salinos são denominadas de halófitas, podendo sobreviver em ambientes onde a concentração de NaCl é superior a 200 mM (equivalente a condutividade elétrica no extrato de saturação do solo de aproximadamente 20 dS.m⁻¹), e representam aproximadamente 1,0% de toda flora (FLOWERS & COLMER, 2008).

As plantas sensíveis ou hipersensíveis à salinidade, ou que estão mais adaptadas a ambientes não salinos, são denominadas de glicófitas, e representam a maioria das culturas existentes (LARCHER, 2000; YOKOI *et al.*, 2002; WILLADINO & CAMARA, 2010). Quase a totalidade das plantas assim classificadas apresenta algum tipo de comprometimento de alguma fase do seu ciclo quando a concentração de NaCl supera 40 mM, equivalente a condutividade elétrica no extrato de saturação do solo de aproximadamente 4,0 dSm⁻¹ (RIBEIRO *et al.*, 2007; MUNNS & TESTER, 2008).

Entre as estratégias bioquímicas utilizadas pelas plantas halófitas, como resposta aos danos causados pelo excesso de sal no solo, incluem-se a acumulação ou exclusão seletiva de íons; o controle da entrada de íons pelas raízes e transporte para as folhas; a compartimentalização de íons a nível celular pelos vacúolos, e estrutural pelas folhas; síntese de osmólitos; alterações nas vias fotossintéticas; modificações nas estruturas das membranas; indução de hormônios e de enzimas

antioxidantes. Esses mecanismos proporcionam um manejo mais eficiente dos solutos (MUNNS, 2002; ESTEVES & SUZUKI 2008; MUNNS & TESTER, 2008; NAWAZ *et al.*, 2010; MUDGAL *et al.*, 2010).

As plantas glicófitas também apresentam o mecanismo de regulação osmótica celular, contudo são incapazes ou pouco eficientes na compartimentalização dos íons inorgânicos, apresentando assim elevada concentração de sais no tecido fotossintetizante quando submetidas à condição de estresse salino (MUNNS, 2002).

A alta salinidade e o elevado teor de sódio trocável do solo afetam a germinação e a densidade das culturas, limitando a sua produtividade bem como seu desenvolvimento vegetativo. Nos casos mais graves, causa sérios problemas de ordem econômica, com a morte generalizada das plantas, pois tais solos se tornam inaptos para agricultura, sendo então descartados do sistema de produção, tornando-se desertos salinos (BARROS *et al.*, 2005; FERNANDES *et al.*, 2008; MAJOR & SALES, 2012).

4 Recuperação de Solos Salinizados

O termo “recuperação de solos salinizados” refere-se a métodos ou técnicas que são utilizadas com o propósito de remover os sais solúveis da zona radicular das plantas, incluindo assim as seguintes práticas: remoção mecânica, lavagem e lixiviação (ABROL *et al.*, 1988). Barros *et al.* (2004) acrescentam ainda que o termo também refere-se à diminuição do teor de sódio trocável através do seu deslocamento do complexo de troca pelo cálcio antes do processo de lixiviação.

Muitos países em desenvolvimento enfrentam sérios problemas com a poluição do solo e, principalmente, com toda problemática relacionada com a recuperação desses solos que, entre outros fatores, é extremamente dependente da situação socioeconômica de cada país (AGUIAR, 2006). A salinização dos solos apresenta impactos ambientais e econômicos, visto que reduz a produção agrícola, causa geralmente o abandono da área afetada, trazendo conseqüentemente prejuízos à economia regional (MELO *et al.*, 2008). A recuperação desses solos é imprescindível para que eles sejam reincorporados ao sistema produtivo (MELO *et al.*, 2008; TAVARES FILHO *et al.*, 2012).

Solos afetados por sais são caracterizados pela presença de sais solúveis ou sódio trocável, ou ambos, suficientes para restringir o crescimento de plantas, necessitando medidas especiais de remediação e práticas de manejo que dependem de um entendimento dos processos físico-químicos que ocorrem à medida que a água se move dentro do solo e desloca os sais (LEAL, 2005).

A recuperação de solos degradados por sais exige estudos e se baseia principalmente nas técnicas de: irrigação, lixiviação, correção, gessagem, pousio, uso de plantas resistentes a sais, todas associadas às práticas de drenagem adequadas (OLIVEIRA, 1999; RIBEIRO *et al.*, 2003).

As técnicas para recuperação de solos salinizados podem ser fundamentais ou auxiliares. As primeiras são a lavagem dos sais e a aplicação de melhoradores químicos. Já as últimas, são aquelas aplicadas para tornar as fundamentais mais eficientes porque agem diretamente sobre as propriedades do solo, sendo citadas: aração profunda, subsolagem e aplicação de resíduos orgânicos (CAVALCANTE *et al.*, 2010).

Torna-se importante destacar que algumas práticas culturais podem auxiliar na recuperação de solos salinizados, tais como: utilização de espécies herbáceas com raízes profundas; uso de gramíneas com grande densidade de radículas que permitem aumentar a porosidade do solo; formação de cobertura morta na superfície do solo e, ou, a incorporação desta matéria orgânica ao solo; e adubação verde (HOLANDA *et al.*, 2001).

A recuperação dos solos degradados por sais não tem se mostrado eficiente quando aplicada uma só técnica de recuperação isoladamente. O sucesso de tais ações é muito mais expressivo quando são combinadas duas ou mais técnicas, simultaneamente (CAVALCANTE *et al.*, 2010). Holanda *et al.* (2001) destacam que o monitoramento do solo com análises químicas e físicas é fundamental para detecção precoce da salinização do solo e imprescindível para elevar a eficiência das práticas de recuperação adotadas.

As técnicas de recuperação de solos afetados por sais são de fundamental importância, uma vez que possibilitam o retorno deles ao processo de produção. Entretanto, o processo convencional de recuperação exige alto investimento, o que nem sempre é possível, principalmente quando se trata de

agricultura de baixos insumos. Dessa forma, a fitorremediação surge como uma alternativa não agressiva ao ambiente, de baixo custo, para recuperação de solos salinos, podendo propiciar a reabilitação de tais solos.

Dentre as técnicas de recuperação de solos salino-sódicos, a aplicação de corretivos químicos e a lavagem do solo são bastante utilizadas, por atuarem diretamente na correção dos problemas desses solos em relação às plantas. As demais técnicas ou práticas utilizadas são consideradas auxiliares tais como: drenagem, aração, aplicação de resíduos orgânicos, sistematização e nivelamento, etc, por agirem indiretamente sobre algumas propriedades do solo que facilitam a recuperação. No processo de recuperação, comumente são utilizadas várias dessas técnicas, de forma simultânea ou sucessiva.

5 Como evitar e controlar a salinização

Os problemas de salinização em solos são conhecidos há muito tempo, mas sua magnitude e intensidade têm aumentado, resultando na expansão alarmante da área de solos degradados por salinidade e sodicidade. Estes problemas são consequências do uso de terras marginais e do manejo inadequado da irrigação, e apesar da expansão de áreas com esses problemas, procedimentos de recuperação ainda são pouco utilizados (SOUSA, 2007).

Os efeitos da salinidade e sodicidade nos solos podem afetar adversamente o balanço ecológico de uma área. Entre os impactos causados nesses solos pode-se citar: baixa produtividade agrícola e altos custos de produção; aumento do escoamento superficial e das enchentes; pequena recarga dos aquíferos; desbalanço ecológico; piora nos índices de saúde pública; dentre outros (RIBEIRO *et al.*, 2009).

Assim, práticas de manejo que sejam mais apropriadas para controlar a salinidade dos solos em longo prazo são de fundamental importância em um programa de cultivo em solos afetados por sais, principalmente visando sua sustentabilidade e alternativas de uso e recuperação (LEAL *et al.*, 2008).

Todo solo situado em regiões climáticas caracterizadas por baixas precipitações e altos déficits hídricos climáticos, e que ao mesmo tempo possua drenabilidade deficiente a nula, apresenta forte tendência a se tornar salino num curto período de tempo, principalmente pelo de as plantas ali cultivadas somente remover a água do solo, ficando a maior parte dos sais retidos no solo, sendo necessária para reverter a situação a aplicação de técnicas de drenagem artificial (BATISTA *et al.*, 2002).

Em solos afetados por sais, são alcançados resultados promissores de recuperação com a instalação de um sistema adequado de drenagem subterrânea e utilização de lâminas de lavagens de recuperação, ou mesmo deixando-se que se recupere naturalmente pela lavagem causada pelas águas das chuvas (BATISTA *et al.*, 2002; DUARTE *et al.*, 2007). Em se tratando de solos argilosos, estudos mostram que a lavagem através de inundação por período longo é menos eficiente que quando são feitos inundações periódicas, onde o solo é inundado por certo período de tempo e a seguir deixado secar. Este processo tende a promover uma melhoria na estrutura do solo com melhoria da condutividade hidráulica (BATISTA *et al.*, 2002).

Os solos salino-sódicos têm estrutura e aparência que os deixam semelhantes aos solos salinos. Para recuperação dos primeiros, é necessário forçar a substituição do excesso de sódio trocável pelo cálcio, e posterior eliminação por lixiviação (BARROS *et al.*, 2005). Nesses solos o excesso de sais deve ser removido utilizando-se as técnicas de remoção em conjunto, aplicando-se corretivos e lâminas de lavagens, visto que se o excesso de sais solúveis for apenas lavado, a porcentagem de sódio trocável aumentará e, como consequência, o solo poderá se tornar sódico e ter sua estrutura destruída (BATISTA *et al.*, 2002).

Em solos sódicos há necessidade de instalação de drenos subterrâneos, aplicação de corretivos que provoquem uma recuperação na estrutura do solo, e também aplicação de lâminas de lavagens, principalmente de parte do sódio existente no solo. Diversos compostos químicos são adotados na recuperação de solos classificados como sódicos, dependendo da disponibilidade no mercado, do preço, da eficiência do produto e do tipo de solo e seus componentes químicos. São agrupados em três grupos: a) Sais de cálcio solúveis (cloreto de cálcio, CaCl_2) e gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), b) Ácidos ou

formadores de ácido: enxofre, ácido sulfúrico, sulfato de ferro ou alumínio e óxido de cálcio, c) Sais de cálcio de baixa permeabilidade: carbonato de cálcio e, derivados de fábrica de açúcar. Os produtos mais comumente empregados para substituir o sódio do complexo do solo por cálcio são o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e o enxofre (ABROL *et al.*, 1988; BATISTA *et al.*, 2002).

5.1 Drenagem

A drenagem com fins agrícolas ou de recuperação ambiental tem como finalidade propiciar às raízes das plantas condições favoráveis de umidade, aeração e balanço de sais, e seu objetivo é o de criar um ambiente favorável para o crescimento de plantas e preservar as propriedades físicas e químicas do solo (FERREIRA, 2001; BATISTA *et al.*, 2002). Almeida *et al.* (2001) destaca que, quando o solo não apresenta boas condições de drenagem natural é necessária a aplicação de técnicas de drenagem artificial não somente para melhorar as características físico-hídricas do solo, mas principalmente para facilitar a remoção dos sais solúveis e impedir a sua acumulação em níveis tóxicos às plantas.

A drenagem possibilita aumentar o número anual de dias favoráveis à mecanização das operações agrícolas, além de proporcionar ambiente adequado para desenvolvimento radicular das plantas. A drenagem excessiva é indesejável, porque ela reduz a quantidade de água disponível no solo para o cultivo e aumenta a lixiviação de nutrientes fertilizantes que contaminam as águas subterrâneas e os cursos, aumentando o investimento por unidade de área (SKAGGS, 1981).

De acordo com Macêdo *et al.* (2007) o sistema de drenagem deve ser dimensionado para lidar com o fluxo de água da lixiviação, o que é necessário para manter a salinidade da água do solo dentro dos limites pré-determinadas e para controlar a profundidade da água subterrânea.

O uso inadequado das técnicas de irrigação e drenagem em áreas sensíveis ao processo de salinização natural pode proporcionar, ao longo do tempo, a expansão de áreas com problemas de sais e sódio trocável, resultando quase sempre no abandono de lotes em perímetros irrigados, o que resulta em sérios problemas de ordem social e econômica (TAVARES FILHO *et al.*, 2012).

Existem dois tipos de drenagem, a superficial e a subterrânea. Enquanto a drenagem superficial visa à remoção do excesso de água da superfície do solo ou piso construído, a drenagem subterrânea visa à remoção do excesso de água do solo até uma profundidade predeterminada, proporcionando condições favoráveis de umidade, aeração e manejo agrícola (BATISTA *et al.*, 2002; SILVA & PARFITT, 2004).

Cruciani (1989) destaca que, quando a drenagem superficial é aplicada em áreas de relevo não acidentado, deve-se ter especial atenção com a rapidez com que a operação se processa, já em áreas com relevo mais acidentado o problema está na interceptação do escoamento superficial e eliminação do excesso sem potencializar os efeitos negativos da erosão.

A drenagem superficial opera através de uma rede de canais abertos no terreno, enquanto que a subterrânea é efetuada por um sistema de canais e drenos tubulares enterrados para os quais a água percola por gravidade (CRUCIANI, 1989). Por tanto, no primeiro método utilizam-se valetas ou drenos a céu aberto que apresenta a dupla finalidade de coletar e transportar águas de drenagem superficial. Por apresentarem maior velocidade de escoamento, são mais favoráveis à drenagem superficial; apesar de ter um custo de instalação mais baixo, segundo Luthin (1973) tem algumas desvantagens, necessita de manutenção constante, além de dificultar o trabalho com maquinário agrícola.

A drenagem subterrânea tem como objetivo rebaixar o lençol freático através da remoção da água gravitacional, localizada nos macroporos do solo. Propicia, em áreas agrícolas, melhores condições para o desenvolvimento das raízes das plantas cultivadas. Em regiões semiáridas e semiúmidas evita o encharcamento e também a salinização de solos irrigados (LUTHIN, 1973).

É importante salientar que tanto para a drenagem superficial quanto para a drenagem subterrânea, é necessária a existência de ponto de descarga próximo, sendo que as condições de acesso e distância a esse ponto podem inviabilizar a implantação de sistema de drenagem de determinada área (LUTHIN, 1973).

Holanda *et al.* (2001) afirma que é necessário que seja aplicada lâmina de irrigação adequada, associada a um processo de drenagem, visando eliminar o excesso de sais. É fundamental o monitoramento das áreas com análises físicas e químicas que permitam detectar a salinização ainda na sua fase inicial, visto que nesta, a aparência do solo e o comportamento das culturas é semelhante aos de um solo sem problemas.

Para potencializar a eficiência de um sistema de drenagem, previamente à construção dos drenos, sejam superficiais ou subterrâneos, deve ser elaborado minucioso diagnóstico sobre a área afetada, levando-se em consideração principalmente dados sobre tipos de solo, regime pluviométrico, águas superficiais e subterrâneas, sendo para tanto necessário o levantamento de dados da área por meio de fotografias aéreas, mapas topográficos e de solos, e dados de clima, cultivos etc (LIMA *et al.*, 2010).

5.2 Uso de corretivos

Na região do semiárido nordestino, onde a disponibilidade de água para a lavagem do solo é escassa, a combinação de cultivo de espécies fitorremedadoras juntamente com o gesso, pode ser promissora na remoção dos sais do solo. O aumento da concentração da solução do solo resultante da aplicação do emplastro pode contribuir substancialmente para fitoextração aumentada de Na^+ , mesmo com a aplicação de baixos níveis de irrigação. A correção dos solos salino-sódicos e sódicos requer que o excesso de sódio trocável seja substituído pelo cálcio e que o produto dessa reação seja removido da zona radicular, por lixiviação (BARROS *et al.*, 2005; LEAL *et al.*, 2008).

A eficiência do gesso depende de sua dissolução, a qual é influenciada por diversos fatores, principalmente pela forma de aplicação e pela granulometria do corretivo (BARROS *et al.*, 2005). O uso de condicionadores químicos, especialmente o gesso, de baixo custo, parece ser a forma mais prática de recuperação de solos salino-sódicos (OLIVEIRA *et al.*, 2002; RUIZ *et al.*, 2004).

A quantidade de gesso necessária para à recuperação dos solos salino-sódicos e sódicos pode ser determinada por um teste de laboratório envolvendo o equilíbrio entre o solo e uma solução saturada de gesso ou pode ser calculada em função da PST que se deseja substituir, da capacidade de troca de cátions do solo e da profundidade do solo a ser recuperada (BARROS *et al.*, 2006).

Apesar da grande divulgação do uso do gesso junto com lâmina de irrigação como técnica de recuperação de solos sódicos e salino-sódicos, esta poderá ser ineficiente se a lixiviação dos sais solúveis e do Na^+ trocável forem restringidos por uma baixa permeabilidade no perfil do solo graças aos altos teores de argila/silte e à matriz do solo dispersa (QADIR *et al.*, 1998).

O teor excessivo de Na^+ no solo causa dispersão das argilas, interferindo nas propriedades físicas do solo, tais como: porosidade, estrutura e condutividade hidráulica. A adição de sulfato de cálcio contribui para a melhoria dessas propriedades, graças à substituição do Na^+ trocável por Ca^{2+} (IYYAS *et al.*, 1997; SANTOS & HERNANDEZ, 1997; QADIR *et al.*, 1998; FREIRE, 2001).

Na busca de alternativas para despoluir áreas contaminadas, tem-se optado por soluções que englobam: eficiência na descontaminação, simplicidade na execução, tempo demandado pelo processo e menor custo. Nesse contexto, cresce o interesse pela utilização da biorremediação, caracterizada como uma técnica que tem como função descontaminar solo e água por meio da utilização de organismos vivos, como microrganismos e plantas, e dentro da biorremediação insere-se a fitorremediação (PIRES *et al.*, 2003). O uso de plantas como agentes despoluidores tem despertado interesse crescente. Solos que anteriormente eram considerados inaptos ao cultivo de espécies agrícolas, em razão dos elevados níveis de determinadas substâncias tóxicas, podem tornar-se novamente agricultáveis, com o uso de fitorremediadores (ASSIS *et al.*, 2010).

5.3 Uso de plantas halófitas ou tolerantes à salinidade do solo

A fitorremediação é uma estratégia eficaz para solos salino-sódicos, com desempenho comparável ao uso de produtos químicos corretivos. Para o sucesso da fitoextração de sais no solo, as plantas devem ser tolerante a excesso de sais e de elevada produção de biomassa nesta condição. Além disso, deve acumular altos níveis de sais na parte aérea, com o objetivo de tornar possível a remoção de sais com a colheita das plantas (ZHU, 2002; QADIR *et al.*, 2007). Esta técnica é influenciada pela estrutura

do solo, textura e teor de matéria orgânica, disponibilidade de água e de oxigênio, temperatura, concentração de nutrientes, radiação solar e pelos processos de degradação (volatilização, evapotranspiração, fotomodificação, hidrólise, lixiviação e biotransformação do contaminante) (AGUIAR, 2006).

Para o sucesso da fitorremediação de sais em solos salino-sódicos, as plantas devem apresentar tolerância ao excesso de sais e alta produção de biomassa nessa condição. Além disso, devem acumular elevados teores de sais na parte aérea, visando possibilitar a remoção dos sais com a colheita das plantas (LEAL *et al.*, 2008). A sensibilidade à existência de maiores ou menores teores de sais no solo é uma característica de cada tipo de planta. Algumas toleram concentrações altas como a cevada e o algodão, enquanto que outras, como o feijão e a cenoura, são bastante sensíveis, mesmo a teores baixos (BATISTA *et al.*, 2002). No entanto, encontram-se algumas espécies capazes de melhorar as condições de solos afetados por sais, como é o caso da Algaroba (*Prosopis juliflora*) e da Atriplex (*Atriplex sp.*) (RIBEIRO *et al.*, 2003).

No Brasil, espécies fitorremediadoras ainda não são exploradas comercialmente por falta de capacitação técnica, de conhecimento do mercado e por serem as espécies conhecidas de plantas hiperacumuladoras originárias de regiões de clima temperado, não adaptadas às condições tropicais (PEREIRA, 2005). Entretanto, a seletividade é apenas o primeiro passo para se identificar espécies fitorremediadoras, devendo-se comprovar se elas efetivamente diminuem os níveis do contaminante, ou simplesmente o toleram (PIRES *et al.*, 2006).

Antes da implantação de programas de fitorremediação, as características físico-químicas do solo e do contaminante devem ser conhecidas, bem como sua distribuição na área. Qualquer fator que venha a interferir negativamente no desempenho das plantas fitorremediadoras deve ser controlado ou minimizado, para favorecer sua atuação descontaminante (PIRES *et al.*, 2003).

O uso de espécies ou cultivares adaptadas às condições de solos salinizados pode ser uma estratégia promissora para melhorar a produção de alimentos. Nesse sentido, grande ênfase tem sido dada às pesquisas que tratam de aspectos fitotécnicos, tais como modificação das condições de cultivo e melhor manejo do ambiente em que as plantas são cultivadas e aumento da tolerância das culturas à salinidade, através da seleção e melhoramento genético e de domesticação de espécies selvagens (LACERDA *et al.*, 2003).

6 Considerações finais

As ações de monitoramento, prevenção e recuperação devem estar juntas para minimizar os efeitos deletérios do excesso de sais no solo, evitando assim a perda de solos agricultáveis e elevando-se a possibilidade de expansão de atividades agrícolas para áreas naturalmente salinizadas.

A aplicação de gesso e calcário agrícola ainda tem se mostrado ser a ferramenta mais eficaz para redução da concentração de sódio no solo elevando com certa rapidez os teores de bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}), principalmente Ca^{2+} que substitui o Na^{+} trocável e reduz drasticamente a sodicidade através da melhoria das propriedades físico-hídricas do solo, favorecendo assim a lixiviação dos sais e a sua retirada do sistema solo.

A utilização de plantas fitoextratoras tem apresentado bom potencial na redução da concentração de sais do solo. Contudo, essa estratégia somente se torna eficaz se houver também melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que ocorre quando o uso das fitoextratoras precede a aplicação de algum tipo de corretivo químico, por exemplo, o gesso, que torna o ambiente mais favorável ao pleno desenvolvimento da espécie utilizada, decorrente da estruturação dos solos. Isso mostra que por mais que se tenha na literatura especializada relatos de experimentos que apresentam resultados promissores, deve-se avançar mais ainda nas pesquisas para assim encontrar espécies que demonstrem todo seu potencial fitorremediador em condições de campo e não somente em ambientes controlados.

A degradação dos solos é um dos efeitos negativos da exploração dos recursos naturais que mostra como as atividades antrópicas na maioria das vezes excedem o limite de suporte do meio ambiente. Desmatamento, uso excessivo de adubos químicos, aplicação de lâmina de irrigação incorreta, são

algumas das práticas agrícolas que se não forem adequados a cada tipo de solo, para que seus impactos sejam atenuados, comprometem a exploração sustentável dos recursos naturais.

Aspectos relacionados à questão da salinização dos solos devem nortear a pesquisa no sentido de identificar os fatores predisponentes, as condições adversas e buscar alternativas viáveis e adaptáveis à realidade econômica da região afetada.

Referências

- ABROL, I. P.; YADAV, J. S. P.; MASSOUD, F. I. **Salt-affected soils and their management**. United Nations, Rome, FAO Soils Bull. 39. 1988.
- AGASSI, M.; SHAINBERG, I.; MORIN, J. 1981. Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.45, p.848-851.
- AGUIAR, C. R. C. 2006. **Desempenho de Soja e Braquiária na Fitorremediação de Solos Contaminados com Petróleo**. 109f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- AHMED, M.; QAMAR, I. A. 2004. Rehabilitation and Productive use of Salt affected Lands through Afforestation. **Science Vision**. v.9, n.1, p.178-191.
- ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; FONTANA, E. C.; COSTA, F. S.; RECH, T. D. 2002. Propriedades físicas e químicas de solos Incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. **R. Bras. Ci. Solo**, v.26, n.4, p.1065-1073.
- ALMEIDA, D. M.; COSTA, R. N. T.; SAUNDERS, L. C. U.; MATIAS FILHO, J. 2001. Análise comparativa de envoltórios para drenos tubulares em condições de fluxo não-permanente. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.5, n.1, p.10-15.
- ANDRADE, L. N. V.; CRUCIANI, D. E. 1996. Condutividade hidráulica no processo de eluição em um solo bruno-não-cálcico. **Sci. agric**. v.53 n.1, p.43-50.
- ASSIS, R. L.; PROCÓPIO, S. O.; CARMO, M. L.; PIRES, F. R.; FILHO, A. C.; BRAZ, G. B. P. 2010. Fitorremediação de Solo Contaminado com Herbicida Picloram por Plantas de Capim Pé de Galinha Gigante. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.11, p.1131-1135.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. 1991. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande, PB: UFPB, 218p.
- BARROS, M. F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ V., V. H.; RUIZ, H. A. 2005. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do Estado de Pernambuco. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.9, p.320-326.
- BARROS, M. F. C.; FONTES, M. P. F.; RUIZ, H. A.; ALVAREZ, V. V. H. 2004. Recuperação de solos afetados por sais no Nordeste do Brasil pela aplicação de gesso de jazida e calcário. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.8, n.1, p.59-64.
- BARROS, M. F. C.; SANTOS, P. M.; MELO, R. M.; FERRAZ, F. B. 2006. Avaliação de Níveis de Gesso Para Correção da Sodicidade de Solos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.1, n.1, p.17-21.
- BATISTA, M. J.; NOVAES, F.; SANTOS, D. G.; SUGUINO, H. H. 2002. **Drenagem como Instrumento de Dessalinização e Prevenção da Salinização de Solos**. 2.ed., rev. e ampliada. Brasília: CODEVASF, 216p.
- CAVALCANTE, L. F.; SANTOS, R. V.; FERREYRA, F. F. H.; GHEYI, H. R.; DIAS, T. J. 2010. Recuperação de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza, INCTSal, p.423-448.
- COOPER, M. 2008. **Degradação e Recuperação de Solos**. Piracicaba, 31p.

- CRUCIANI, D. E. 1989. **A Drenagem na Agricultura**. 4 ed. São Paulo: Nobel, 337p.
- DAKER, A. 1988. **A água na agricultura: Irrigação e drenagem**. 7 ed. Rio de Janeiro, RJ: Freitas Bastos, 543p.
- DIAS, N. S.; LIRA, R. B.; BRITO, R. F.; SOUSA NETO, O. N.; FERREIRA NETO, M.; OLIVEIRA, A. M. 2010. Produção de melão rendilhado em sistema hidropônico com rejeito da dessalinização de água em solução nutritiva. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.7, p.755-761.
- DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. 2010. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza, INCTSal, p.129-141.
- DUDAL, R.; PURNELL, M. F. 1986. Land Resources: salt affected soils. **Reclamation and Revegetation Research**, v.5, p.1-10.
- DUARTE, S. N.; DIAS, N. S.; TELES FILHO, J. F. 2007. Recuperação de um solo salinizado devido ao excesso de fertilizantes em ambiente protegido. **Irriga**, v.12, n.3, p.422-428.
- ESTEVES, B. S.; SUZUKI, M. S. 2008. Efeitos da Salinidade Sobre as Plantas. **Oecol. Bras.**, v.12, n.4, p.662-679.
- FARIAS, S. G. G.; SANTOS, R. S.; FREIRE, A. L. O.; SILVA, R. B. 2009. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Steud) em solução nutritiva. **R. Bras. Ci. Solo**, v.33, n.5, p.1499-1505.
- FASSBENDER, H. W.; BORNEMISZA, E. 1987. **Química dos suelos com énfasis em suelos de América Latina**. 2 ed., San José: IICA, 420p.
- FERNANDES, C. A. D.; FILGUEIRA, M. A.; MARINHO, E. 2008. Estudos Preliminares do “Deserto Salino” e sua Influência na Poluição do Ar na Cidade de Mossoró/RN. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Mossoró, Brasil. v.1, n.3, p.152-163.
- FERREIRA, P. A. Drenagem. In: Curso de engenharia de irrigação. 2001. **Módulo XI**. Brasília: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior. 167p.
- FIGUEIRÊDO, A. F. R. 2005. **Análise do risco de salinização dos solos da bacia hidrográfica do Rio Colônia – Sul da Bahia**. 84 f. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus.
- FLOWERS, T. J. 2004. Improving crop salt tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v.55, n.369, p.307-319.
- FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. 2008. Salinity tolerance in halophytes. **New Phytologist**, v.179, n.4, p.945-963.
- FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. K. 2005. Global consequences of land use. **Science**, v.309, n.5734, p.570-574.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2011. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture**. Roma: FAO. 50p.
- FREIRE, M. B. G. S. 2001. **Saturação por sódio e qualidade da água de irrigação na degradação de propriedades físicas de solos no Estado de Pernambuco**. 66f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- GHADIRI, H.; ROSE, C. W. 1991. Sorbed chemical transport in overland flow: I. A nutrient and pesticide enrichment mechanism. **Journal of Environmental Quality**, v.20, n.3, p.628-633.

- GHAFOOR, A.; QADIR, M.; MURTAZA, G. 2004. **Salt Affected Soils: Principle of Management** (1st Ed.) Institute of Soil and Environmental Sciences, Uni. Agric. Faisalabad.
- GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; BATISTA, M. A. F. 1991. **Prevenção, manejo e recuperação de solos salinos e sódicos**. Mossoró: ESAM, 70p.
- GHEYI, H. R. 2000. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T.; ASSIS, J. R.; R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Eds.). **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.329-345.
- GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. 1997. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 383p.
- GUPTA, R. K.; ABROL, I. P. 1990. Sal-affected soils: their reclamations an management for crop production. **Advances in Soil Science**, v.11, p.223-288.
- HOLANDA, A. C.; SANTOS, R. V.; SOUTO, J. S.; ALVES, A. R. 2007. Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em ambientes degradados por sais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, n.1, p.39-50.
- HOLANDA, F. S. R.; MARCIANO, C. R.; PEDROTTI, A.; AGUIAR, J. F. de; SANTOS, V. P. 2001. Recuperação de áreas com problemas de salinização. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 210, p. 57-61.
- IYYAS, M.; QURESHI, R. H.; QADIR, M. A. 1997. Chemical changes in a saline-sodic soil after gypsum application and cropping. **Soil Technol.**, v.10, n.3, 247-260.
- IYYAS, M., MILLER, R. W., QURESHI, R. H. 1993. Hydraulic conductivity of saline-sodic soil after gypsum application and cropping. **Journal of the Soil Science Society of America**, v. 57, n.6, p.1580-1585.
- JAIN, P. K.; PALIWAL, K.; DIXON, R. K.; GJERSTAD, D. H. 1989. Improving productivity of multipurpose tree on substandard soil in India. **J. For.**, v.87, n.4, p.38-42.
- KEREN, R.; SHAINBERG, I.; KLEIN, E. 1988. Settling and flocculation value of sodium-montmorillonite particles in aqueous media. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 52:76-80.
- KOBIYAMA, M.; MINELLA, J. P. G.; FABRIS, R. 2001. Áreas degradadas e sua recuperação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.210, p.10-17.
- LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; CANO, M. A. O.; RUIZ, H. A.; PRISCO, J. T. 2003. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.49, n.2, p.107-120.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000. 531p.
- LEAL, I. G.; ACCIOLY, A. M. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, M. B. G. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; FERREIRA, F. L. 2008. Fitorremediação de Solo Salino Sódico por *Atriplex nummularia* e Gesso de Jazida. **R. Bras. Ci. Solo.**, v.32, n.3, 1065-1072.
- LIMA, V. A.; FARIAS, M. S. S.; BORGES JÚNIOR, J. C. F. 2010. Drenagem agrícola no manejo dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza, INCTSal, p.369-382.
- LUTHIN, J. N. 1973. **Drainage engineering**. New York: Robert E. Engineering. 250p.
- MACÊDO, L. S.; SOUSA, M. R.; MORRILL, W. B. B. 2007. Drenagem para Controle da Salinidade. **Tecnol. & Ciên. Agropec.**, João Pessoa, v.1., n.2, p.69-71.
- MAJOR, I.; SALES, J. C. 2012. **Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em <<http://www.fdr.com.br/mudancasclimaticas/index.php>> acessado em 16 de junho de 2012.

- MELO, M. R.; BARROS, C. F. M.; SANTOS, M. P.; ROLIM, M. M. 2008. Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.12, n.4, p.376-380.
- MOURA FILHO, W.; BUOL, S. W. 1976. Studies of a Latosol Roxo (Eutrústox) in Brazil: micromorphology effect on ion release. **Experientiae**, v.21, n.8, p.161-177.
- MUDGAL, V.; MADAAN, N.; MUDGAL, A. 2010. Biochemical mechanisms of salt tolerance in plants: A review. **Int. J. Bot.**, v.6, n.2, p. 136-143.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. 2002. **Plant, Cell and Environment**, v.25, n.2, p.239-250.
- MUNNS, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. **New Phytologist**, v.167, n.3, p.645-663.
- MUNNS, R. The impact of salinity stress. **Plantstress**. Virtual article. Disponível em: http://www.plantstress.com/Articles/salinity_i/salinity_i.htm. Acesso em: 26 jul. 2012.
- MUNNS, R.; RICHARD, A. JAMES, R. A.; LAUCHLI, A. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. **Journal of Experimental Botany**, v.57, n.5, p.1025-1043.
- MUNNS, R.; TERMAAT, A. 1986. Whole plant responses to salinity. **Austr. J. Plant Physiol.**, v.13, n.1, p.143-160.
- MUNNS, R.; TESTER, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. **Annu. Rev. Plant Biol.** v.59, p.651-681.
- NAWAZ, N. HUSSAIN, K.; MAJEED, A.; KHAN, F.; AFGHAN, S.; ALI, K. 2010. Fatality of salt stress to plants: Morphological, physiological and biochemical aspects. **Afr. J. Biotechnol.**, v.9, n.34, p. 5475-5480.
- NEUMANN, P. 1997. Salinity resistance and plant growth revisited. **Plant, Cell & Environment**, v.20, p.1193-1198.
- O'LEARY, J. W. 1975. High humidity overcomes lethal levels of salinity in hydroponically grown salt-sensitive plants. **Plant and Soil**, v.42, n.3, p.717-721.
- OLIVEIRA, L. B. DE; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, M. G. V. X.; LIMA, J. F. W. F.; MARQUES, F. A. 2002. Inferências pedológicas aplicadas ao Perímetro Irrigado de Custódia, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1477-1486.
- OLIVEIRA, M. 1997. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: GUEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (Ed.) **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, cap.1, p.1-35.
- PEREIRA, B. F. F. 2005. **Potencial Fitorremediador das Culturas de Feijão-De-Porco, Girassol e Milho Cultivadas em Latossolo Vermelho Contaminado com Chumbo**. 68f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas.
- PIRES, F. R.; PROCÓPIO, S. O.; SOUZA, C. M.; SANTOS, J. B.; SILVA, G. P. 2006. Adubos Verdes na Fitorremediação de Solos Contaminados com o Herbicida Tebuthiuron. **Revista Caatinga**, v.19, n.1, p.92-97.
- PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA, L. R. 2003. Fitorremediação de Solos Contaminados com Herbicidas. **Planta Daninha**, v.21, n.2, p.335-341.
- PORTO, E. R.; ARAÚJO, O.; ARAÚJO, G. G. L.; AMORIM, M. C. C.; PAULINO, R. V.; MATOS, A. N. B. 2004. **Sistema de produção integrado usando efluentes da dessalinização**. Petrolina: Embrapa Semiárido. 28p. (Documentos, 187).

- PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C.; SILVA JÚNIOR L. G. de A. 2001. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.5, n.1, p.111-115.
- QADIR, M.; OSTER, J. D. 2004. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. **Sci Total Environ.**, v.323, n.1-3, p.1-19.
- QADIR, M.; OSTER, J. D.; SCHUBERT, S.; NOBLE, A. D.; SAHRAWAT, K. L. 2007. Phytoremediations of sodic and salinesodic soils. **Adv. Agron.**, v.96, p.197-247.
- QADIR, M.; QURESHI, R. H.; AHMAD, N. 1998. Horizontal flushing: A promising ameliorative technology for hard saline-sodic and sodic soils. **Soil Till. Res.**, v.45, p.119-131.
- QADIR, M.; STEFFENS, D.; YAN, F.; SCHUBERT, S. 2003. Sodium Removal from a Calcareous Saline-Sodic Soil through Leaching and Plant Uptake During Phytoremediation. **Land Degradation and Development**, v.14, p.301-307.
- QUEIROZ, S. O. P.; TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E. 2009. Metodologia Para Avaliação da Salinidade do Solo em Ambiente Protegido. **Irriga**, v.14, n.3, p.383-397.
- QUIROZ, H. C. T. 2009. **Potencial fitorremediador da *Atriplex nummularia* em solos salinizados e sodificados pelo reúso de efluentes de esgotos tratados na agricultura**. 2009. 83f. (Dissertação de mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- RHOADES, J. D.; INGVALSON, R. D. 1969. Macroscopic swelling and hydraulic conductivity properties of four vermiculitic soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.33, p.364-370.
- RIBEIRO, J. S.; LIMA, A. B.; CUNHA, P. C.; WILLADINO, L.; CÂMARA, T. R. O. 2007. Estresse abiótico em Regiões Semiáridas: Respostas Metabólicas das Plantas. In: MOURA, A. N.; ARAUJO, E. L.; ALBUQUERQUE, U. P. (orgs.) **Biodiversidade, potencial econômico e processos eco-fisiológicos em ecossistemas nordestinos**, Recife: Comunigraf. 361p.
- RIBEIRO, M. R.; BARROS, M. F. C.; FREIRE, M. B. G. S. 2009. Química dos solos salinos e sódicos. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (eds.). **Química e mineralogia do solo. Parte II – Aplicações**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.449-484.
- RIBEIRO, M. R. 2010. Origem e Classificação dos Solos Afetados por Sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza, INCTSal. p.11-19.
- RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. A. 2003. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: CURTI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ, V. H. (eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.165-208.
- RICHARDS, L. A. 1954. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington D.C., U.S. Salinity Laboratory. 160p. (USDA Agriculture Handbook, 60).
- RUIZ, H. A.; SAMPAIO, R. A.; OLIVEIRA M. de; VENEGAS, V. H. A. 2004. Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. **Pesq. agropec. bras.**, v.39, n.11, p.1119-1126.
- SANTOS, P. R. 2006. **Germinação, vigor e crescimento de duas cultivares de feijoeiro em soluções salinas**. 48 f. Dissertação (Mestrado em Solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- SANTOS, R. V.; HERNANDEZ, F. F. F. 1997. Recuperação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. de (eds.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: SBEA, cap.10, p.337-356.

- SHAIBERG, I.; OSTER, J. D. 1978. **Quality of irrigation water**. Bet dagon: International Irrigation Center, 1978. 65p.
- SHAINBERG, I.; LETEY, J. 1984. Response of soils to sodic and saline conditions. **Hilgardia**, v. 52, p.1-57.
- SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B. 2004. **Drenagem superficial para diversificação do uso dos solos de várzea do Rio Grande do Sul**. Circular Técnica nº 40. Pelotas: EMBRAPA, 10p.
- SILVA, E. N.; SILVEIRA, J. A. G.; RODRIGUES, C. R. F.; DUTRA, A. T. B.; ARAGÃO, R. M. 2009. Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-mansô sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agrônômica**, v.40, n.2, p.240-246.
- SILVA, J. L. A.; ALVES, S. S. V.; NASCIMENTO, I. B.; SILVA, M. V. T.; MEDEIROS, J. F. 2011. Evolução da salinidade em solos representativos do Agropólo Mossoró-Assu cultivado com meloeiro com água de diferentes salinidades. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.7, n.4, p.26-31.
- SKAGGS, R. W. 1981. **DRAINMOD - Reference report: Methods for design and evaluation of drainage-water management systems for soils with high water tables**. Raleigh: USDA-SCS, 329p.
- SOUSA, C. H. C. 2007. Análise da tolerância a salinidade em plantas de sorgo, feijão de corda e algodão. Fortaleza. 73f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- SZABOLCS, I. 1979. **Review of research on salt affected soils**. Paris: UNESCO. 137p.
- TAN, K. H. 1992. **Principles of soil chemistry**. 2.ed. New York. 362p.
- TAVARES FILHO, A. N. T.; BARROS, M. F. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, E. F. F. 2012. Incorporação de Gesso Para Correção da Salinidade e Sodicidade de Solos Salino-Sódicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, Brasil. v.16, n.3, p.247-252.
- TÁVORA, F. J. A. F.; FERREIRA, R. G.; HERNANDEZ, F. F. F. 2001. Crescimento e relações hídricas em plantas de goiabeira submetidas a estresse salino com NaCl. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23, n.2, p.441-446.
- VIANA, S. B. A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; CARNEIRO, P. T. 2004. Índices morfofisiológicos e de produção de alface sob estresse salino. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.8, n.1, p.23-30.
- WANDERLEY, R. A. 2009. **Salinização de solos sob aplicação de rejeito de dessalinizadores com e sem adição de fertilizantes**. 52 f. (Dissertação de Mestrado) – Universidade de Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. 2004. Origen y naturaleza de los ambientes salinos. In: REIGOSA, M. J. PEDROL, N.; SÁNCHEZ, A. (eds). **La ecofisiología vegetal una ciencia de síntesis**. Madri: Editora Thompsom, cap.10, p.303-330.
- WILLIAMS, W. D. 1987. Salinization of rivers and streams: an important environmental hazard. **Ambio**. v.16, p.180-185.
- YOKOI, S.; BRESSAN, R. A.; HASEGAWA, P. M. 2002. Salt stress tolerance of plants. **Jircas Working Report**, Ishigaki, v. 1, p. 25-33.
- ZHU, J. K. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. **Annual Review of Plant Biology**, Oxford, v.53, n.1, p.247-273.