

RECUPERAÇÃO DE SOLOS AFETADOS POR SÓDIO ATRAVÉS DO USO DE GESSO¹

José Ribamar Pereira²

Carlos R. Valdivieso³

Gilberto Gomes Cordeiro²

RESUMO - Solos afetados por sais e sódio ocorrem normalmente nas regiões semi-áridas e áridas devido à alta evaporação, baixa pluviosidade e outros fatores, como topografia, má drenagem e existência de lençol freático. Em áreas irrigadas, além desses fatores, outros, como qualidade da água, formação ou elevação do lençol freático e manejo inadequado do solo e água, estão, isoladamente ou em conjunto, envolvidos no processo de salinização e sodificação dos solos irrigados. Com base nos parâmetros pH, condutividade elétrica do extrato de saturação (CEe) e percentagem de sódio trocável (PST), distinguem-se três classes de solos afetados por sais e sódio: salino, sódico e salino-sódico. Solo salino tem $\text{pH} < 8,5$ $\text{CEe} > 4,0$ mmhos/cm e $\text{PST} < 15$; solo sódico tem $\text{pH} > 8,5$ $\text{CEe} < 4,0$ mmhos/cm e $\text{PST} > 15$; e solo salino-sódico quando $\text{pH} < 8,5$ $\text{CEe} > 4,0$ mmhos/cm e $\text{PST} > 15$.

No Brasil, os solos afetados por sais ocorrem em maior extensão na região semi-árida do Nordeste. O mapeamento de solos dos estados do Ceará à Bahia mostrou a existência de 91.115 km² de solos com estas características, correspondendo a 9,40% da área mapeada. Nas áreas irrigadas, 25% dos solos estão, de certo modo, comprometidos com problemas de excesso de sais solúveis e sódio trocável, havendo predominância de solos sódicos e salino-sódicos.

O aproveitamento racional de solos afetados por sais e sódio requer que o excesso de sais solúveis e/ou sódio trocável seja eliminado. Para isso, é necessário o estabelecimento de um sistema de drenagem e a existência de água, suficiente e de boa qualidade, que permitam a lixiviação dos sais solúveis. No caso específico de solos sódicos e salino-sódicos, a remoção do excesso de sódio adsorvido é feita com corretivos, principalmente gesso, em quantidades que podem ser calculadas em função da percentagem de sódio trocável e da necessidade de gesso, determinadas diretamente no solo, e também através de dados experimentais, obtidos em laboratório ou no campo.

¹ Apresentado no Seminário sobre uso do fosfogesso na agricultura. Brasília, 11 a 12 de junho de 1985.

² Pesquisadores da EMBRAPA/Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Caixa Postal 23, CEP 56300 Petrolina, PE.

³ Técnico do Convênio IICA/EMBRAPA, Caixa Postal 23, CEP 56300 Petrolina, PE.

1. INTRODUÇÃO

O excesso de sais e sódio, encontrado em solos das regiões semi-áridas e áridas, constitui um dos fatores limitantes da produção agrícola devido aos efeitos adversos dos sais solúveis diretamente sobre as plantas, e do sódio trocável sobre as características físicas do solo e plantas. A necessidade do incremento da produção de alimentos, através do aumento da produtividade e utilização de novas áreas nessas regiões, vem merecendo atenção em muitos países. Entretanto, o aproveitamento racional dos solos com excesso de sais e sódio está condicionado à recuperação, através de corretivos e técnicas apropriadas de manejo, de modo a deixá-los em condições de serem explorados racionalmente.

Muitos dos problemas relacionados com excesso de sais e sódio trocável são inerentes ao solo no estado virgem. Outros, entretanto, aparecem após terem sido irrigados. Assim, nas áreas irrigadas, é comum o surgimento de salinidade provocada pela água de irrigação contendo concentrações elevadas de sais, ou decorrente de práticas de manejo, que não visam a conservação da capacidade produtiva dos solos, como sistema de drenagem ineficiente, quantidade inadequada de água e uso indiscriminado e excessivo de fertilizantes (Hayward & Wadleigh 1949, Lyerly & Longenecker 1962, McNeal 1976).

O objetivo deste trabalho é analisar os aspectos relacionados com o excesso de sódio trocável nos solos e a solução desse problema através do uso de corretivos, principalmente gesso, além de medidas complementares, com base em resultados experimentais tanto de campo como de laboratório, obtidos por pesquisadores de diversos países, inclusive do Brasil.

2. SOLOS AFETADOS POR SAIS E SÓDIO

2.1. Origem

A acumulação de sais e sódio nos solos é um fenômeno observado sob condições de aridez. A alta taxa de evaporação e baixa precipitação, associadas às características do material de origem e às condições geomorfológicas e hidrológicas, condicionam a formação de solos com teores elevados de sais solúveis e sódio trocável (Whitemore 1975).

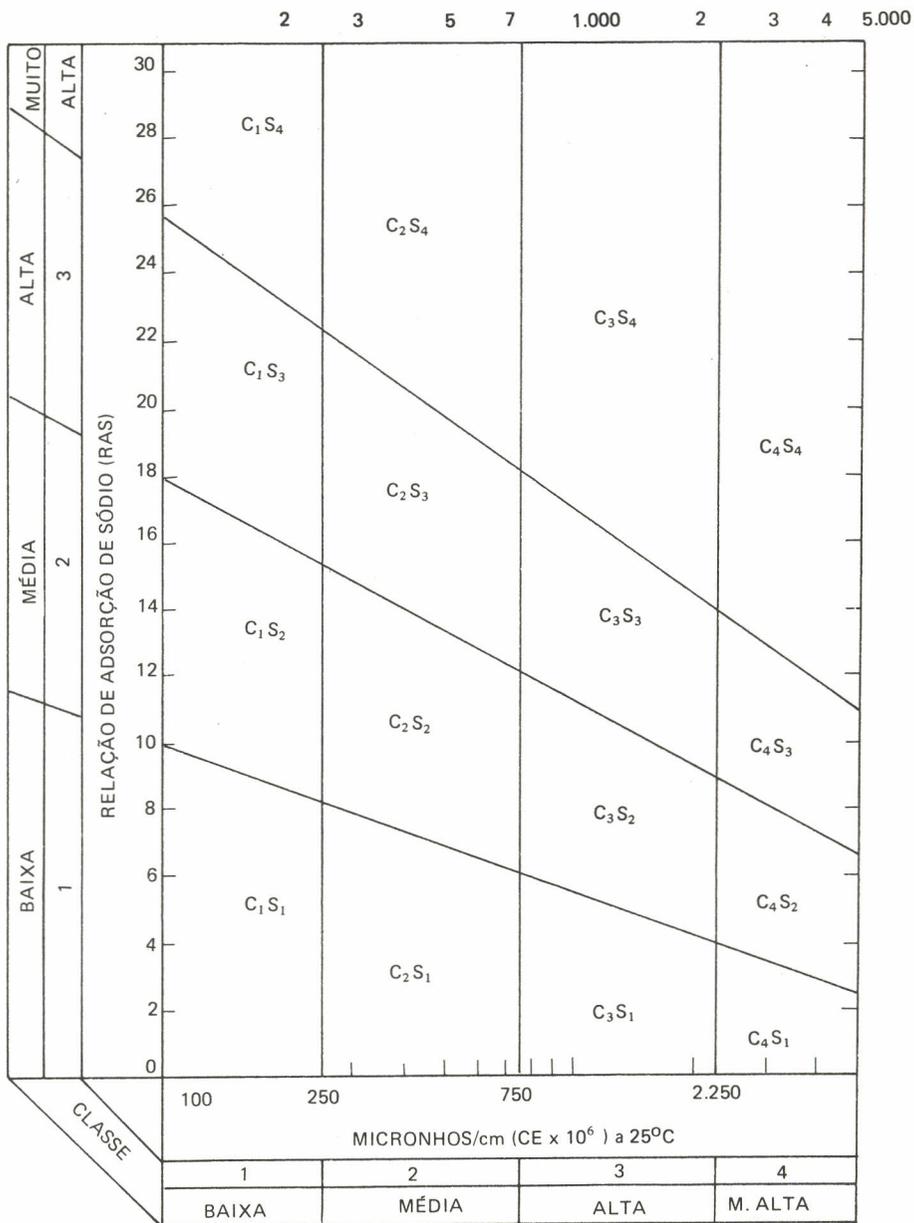
Solos afetados por sais e sódio ocorrem principalmente em áreas planas, deltas e bacias fechadas, onde quase sempre a drenagem é deficiente (Kovda et al. 1973). Geralmente, são formados de materiais transportados, muitas vezes já bastante intemperizados. Raramente, são formados no local de intemperização das rochas. De acordo com Kelley (1951) e Kovda (1973), parte significativa dos solos do mundo afetados por sais é de origem aluvional.

A fonte de todos os componentes dos sais que se encontram no solo, são os minerais das rochas expostas da superfície terrestre. Nos processos de intemperização química que incluem hidrólise, hidratação, solubilização, oxidação e carbonatação, liberam gradualmente os componentes dos sais para as águas (Wilcox 1948). Portanto, problemas de sais e sódio que afetam a agricultura, sob irrigação, são trazidos pelas águas superficiais e subterrâneas que, no seu movimento, horizontal e vertical, transportam os sais. Os sais solúveis que contribuem efetivamente para a salinização e sodificação do solo, consistem principalmente de várias proporções dos cátions: cálcio, magnésio e sódio, e dos ânions: cloreto, sulfato de bicarbonato. Em menores quantidades, podem ser encontrados os íons, potássio, nitrato e carbonato. Os solos afetados por sais e sódio podem apresentar características bem diferenciadas, resultantes da ação dos diversos fatores de formação e recebem as denominações de: solo salino, solo sódico e solo salino-sódico (Allison 1964).

Em áreas irrigadas, o aparecimento de solos com teores elevados de sais solúveis e sódio trocável está condicionado, principalmente, a fatores, como concentração e composição dos sais da água de irrigação, existência ou formação de lençol freático, características físicas e químicas do solo e manejo do solo e água. Em função da concentração de sais na água de irrigação e proporção entre os mesmos, pode ocorrer tanto acumulação de sais como de sódio trocável ou ambos (Thorne & Thorne 1954, Lewis & Juve 1956). O aumento nas concentrações de sais e sódio trocável pode ocorrer nos solos sob irrigação, mesmo com água de boa qualidade. Isto porque toda a água de irrigação contém sais solúveis, em maior ou menor quantidade que, dependendo das condições, podem ficar acumulados no solo e, com o tempo, atingir níveis que limitam o desenvolvimento das plantas. Desde que o solo tenha uma boa drenagem interna, qualquer aumento no teor de sais solúveis e sódio trocável deve ser atribuído à presença destes, na água de irrigação.

As águas usadas na irrigação são de diferentes origens e apresentam condutividade elétrica (CE) que varia de 0,08 a mais de 5.500 mmhos/cm (50 a 3.500 ppm) e relação de adsorção de sódio (RAS) até mais de 30. Tomando como base a CE, as águas podem ser classificadas como de baixa (C_1), média (C_2), alta (C_3) e muito alta salinidade (C_4). Quanto à RAS, classificam-se em baixa (S_1), média (S_2), alta (S_3) e muito alta (S_4), em todas as combinações possíveis desses dois componentes (Fig. 1), abrangendo desde a água que pode ser usada sem restrições até água que não é apropriada para irrigação, em condições ordinárias (Wilcox et al. 1954).

Água com alta proporção de sódio em relação ao cálcio e magnésio pode resultar em solo sódico, porque o sódio desloca o cálcio e o magnésio adsorvidos, causando a dispersão de colóides (Allison 1964, Fuller 1967). Na avaliação da qualidade de águas para irrigação, em relação ao perigo de sódio, considera-se além da RAS o carbonato de sódio residual (CSR), definido pela seguinte equação: $(CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{++} + Mg^{++})$, expresso em meq/L (Eaton 1950). De acordo com Wilcox



PERIGO DE SALINIZAÇÃO

FIG. 1. Diagrama para classificação de águas para irrigação.

et al. (1954) água com CSR até 1,5 meq/L é considerada marginal e acima de 2,5 meq/L não é adequada para irrigação. No caso de excesso de $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$, com a evapotranspiração, a solução do solo fica mais concentrada e parte do Ca^{2+} e Mg^{2+} da solução e adsorvido precipita como carbonatos, permanecendo no solo carbonato de sódio solúvel e sódio adsorvido nos colóides que aumentam com o tempo, provocando a dispersão dos colóides (Zylstra & Salinas 1974, Ayers & Westcott 1976, Kamphorst & Bolt 1978).

No caso específico do Nordeste, as águas usadas na irrigação são provenientes de rios e açudes, apresentando, com algumas exceções, valores para CE abaixo de 60% (Mello et al. 1976), não oferecendo, portanto, perigo iminente de salinização ou alcalinização, desde que haja um sistema de drenagem na área e práticas adequadas de manejo. Se estas e outras medidas não forem observadas, poderá haver, em curto espaço de tempo, comprometimento da capacidade produtiva dos solos irrigados. Esta situação já vem sendo observada com certa intensidade.

2.2. Caracterização e classificação

Solos afetados por sais contêm sais solúveis e/ou sódio trocável em quantidades suficientes para reduzir ou interferir no desenvolvimento e, conseqüentemente, na produtividade das culturas (Kelley 1951, Black 1968, Kovda 1973). A classificação dos solos afetados por sais é baseada no pH, condutividade elétrica do extrato de saturação (CEe) e percentagem de sódio trocável (PST). O solo é considerado salino quando tem $\text{pH} < 8,5$, $\text{CEe} > 4,0$ mmhos/cm e $\text{PST} < 15$; salino-sódico quando tem o $\text{pH} < 8,5$, $\text{CEe} > 4,0$ mmhos/cm e $\text{PST} > 15$; e sódico quando tem $\text{pH} > 8,5$, $\text{CEe} < 4,0$ mmhos/cm e $\text{PST} > 15$. Esta classificação, baseada nos parâmetros acima, é empírica. Não fundamenta-se, portanto, em critérios pedogenéticos, mas em práticas de manejo e comportamento das culturas nestes solos.

2.2.1. Solos salinos

Solos salinos se caracterizam por apresentarem concentrações elevadas de sais solúveis. Os teores de sais de sódio são relativamente mais baixos do que os sais de cálcio e magnésio; por essa razão, a PST nestes solos é sempre inferior a 15. Além dos sais prontamente solúveis, encontram-se, às vezes, sais de baixa solubilidade, como $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaCO_3 e MgCO_3 que, dependendo das quantidades, podem também interferir no desenvolvimento das plantas (Richards 1954, Bower et al. 1968). Devido ao movimento ascendente de sais e evaporação intensa, pode surgir uma crosta branca de sais na superfície desses solos correspondendo aos descritos por Gedroiz, na Rússia, como Solonchack, e por Hilgard, nos Estados Unidos, como álcali branco (Kelley 1951).

2.2.2. Solos sódicos

Solos sódicos apresentam baixos teores de sais solúveis, mas contêm sódio trocável acima de 15%. Além do efeito do sódio sobre o solo e as plantas, o pH elevado, normalmente entre 8,5 e 10,00, pode provocar diminuição da disponibilidade de ferro, zinco, manganês e fósforo e toxidez de alumínio (Jones 1961, Black 1968).

O efeito do sódio é mais sobre o solo, causando a dispersão dos colóides e diminuição da permeabilidade, dificultando o manejo e afetando o crescimento das plantas devido à baixa penetração da água e aeração deficiente (Ulrich & Khana 1972). A argila que se dispersa devido ao sódio tem parte transportada para baixo, dando origem à estrutura colunar típica dos solos sódicos (Hoorn 1971). Uma outra característica desses solos é a coloração escura do horizonte superficial, decorrente da solubilização e precipitação da matéria orgânica dispersa que se deposita em decorrência da evaporação. Estes solos foram denominados de Solonetz pelos russos e de álcali negro por Hilgard, nos Estados Unidos (Kelley 1951).

Ocorre, às vezes, que o horizonte superficial de alguns solos sódicos, com PST > 15, tem pH ácido devido a íons H^+ presentes. Entretanto, apresenta características físicas de solos sódicos (Richards 1954).

2.2.3. Solos salino-sódicos

Solos salino-sódicos caracterizam-se pelo excesso de sais solúveis e sódio trocável e são resultantes dos processos combinados de salinização e sodificação (Kelley 1951). Normalmente, as características físicas destes solos são semelhantes às dos solos salinos. Entretanto, se os sais solúveis são removidos, podem adquirir rapidamente as características de solos sódicos. Isto ocorre após irrigações excessivas ou chuvas pesadas que conduzem ao arrastamento dos sais solúveis para camadas inferiores do solo. À medida que a concentração de sais solúveis diminui, parte do Na^+ adsorvido se hidrolisa formando NaOH que reage com CO_2 do meio dando origem a Na_2CO_3 . Segundo Allison (1964), em qualquer um dos casos, o pH se eleva e os colóides se dispersam dificultando, assim, o movimento de ar e água e, por conseguinte, o manejo e o desenvolvimento radicular.

3. SOLOS AFETADOS POR SAIS NO BRASIL

Na região semi-árida do Nordeste o déficit hídrico atinge mais de 2.000 mm por ano, favorecendo, assim, a acumulação de sais solúveis e sódio. De acordo com a revisão realizada por Pereira (1983), no levantamento de solos dos estados da Bahia ao Ceará totalizando 1.110.000 km^2 na escala de 1:500.000, foram delimitadas

áreas correspondentes a 91.115 km² de solos afetados por sais, representando 9,4% da área mapeada desses estados. A Tabela 1 mostra a distribuição desses solos por estado estando incluídos: Planossolos Solódicos, Solonetz Solodizados, Solonchack, Solonchack Solonéticos, Solos Halomórficos, isto sem considerar as inclusões que são comuns em todo Semi-Árido, encontrando-se aí as áreas com problemas de sais e sódio dos perímetros irrigados em operação e solos aluvionais dos vales dos rios com grande parte irrigados (Mello et al. 1967). Nestes solos já se observa um processo de salinização em andamento, acompanhado de sódio no complexo de troca. Segundo Goes (1977), 25% dos solos irrigados no Nordeste estão afetados por sais e sódio.

As fontes de água para irrigação do Nordeste são açudes e rios, sendo, de uma maneira geral, de boa qualidade (Mello et al. 1967), variando de C₁ a C₂ e de S₁ a S₂. A mais importante fonte é o rio São Francisco, cuja água contém baixos teores de sais sendo classificada como C₁S₁. Em alguns casos, são usadas águas de poços que, não raro, apresentam concentrações elevadas de sais, chegando mesmo a limitar seu uso para irrigação (Valdivieso & Cordeiro s.d.). As águas subterrâneas, devido ao embasamento cristalino predominante em todo o Semi-Árido, não ocorrem

TABELA 1. Áreas de solos afetados por sais em sete estados do Nordeste, segundo o Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos.

Solo	Estado							Total
	CE	RN	PB	PE	AL	SE	BA	
	Km ²							
Planossolo Solódico	12.708	3.690	944	5.165	3.370	2.098	30.516	58.491
Solonetz Solodizado	8.436	4.064	2.769	2.654	393	1.013	5.161	24.490
Solonchack Solonético	450	837	-	-	-	-	-	1.287
Halomórfico	18	-	-	-	-	-	-	18
Outros	1.645	-	-	-	120	520	4.544	6.829
Total	23.257	8.591	3.713	7.819	3.883	3.681	40.221	91.115
%	15,5	16,2	6,6	8,8	14,0	16,5	9,7	-

em grandes quantidades, sendo encontradas em aquíferos localizados e geralmente considerados marginais para irrigação.

Além dos solos afetados por sais nessa região, é comum a existência de solos com pH 7,0 tais como os brunos não-cálcicos, vertissolos e solos aluvionais. Estes solos podem apresentar problemas em relação ao uso, principalmente devido à imobilização de nutrientes como ferro, zinco, manganês e fósforo.

Ainda segundo Mello et al. (1967), os solos das áreas irrigadas no Nordeste são, na maioria, de origem aluvional, apresentando grandes variações nas características químicas e físicas, tanto horizontal como verticalmente. Geralmente, são de

boa fertilidade, mas apresentam problemas de drenagem. Devido às condições locais, parte desses solos já apresentava problemas de sais e sódio, quando da instalação dos projetos. Em face dessa situação, medidas corretivas e preventivas devem ser tomadas, a fim de que o problema não venha se agravar em futuro próximo.

4. CORREÇÃO DE SOLOS COM EXCESSO DE SÓDIO

Práticas adequadas de manejo, visando a recuperação de solos com excesso de sódio trocável ou com o objetivo de evitar o aumento da PST, em níveis que dificultam ou mesmo impeçam sua utilização para agricultura, são feitas normalmente levando em consideração as características físicas e químicas do solo, clima, qualidade de água, métodos e frequência de irrigação, sistema de drenagem, preparo do solo, incorporação de resíduos orgânicos, uso de fertilizantes e manejo de cultura, tanto em solos normais, com irrigação, como na recuperação de solos afetados por sais e sódio (Fuller 1979). No caso de solos com excesso de sódio, a recuperação consiste na adição de corretivos e adoção de práticas apropriadas de manejo.

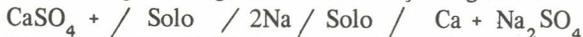
4.1. Uso de corretivos

Na recuperação de solos afetados por sódio são usados vários tipos de corretivos, como gesso, enxofre, sulfato de alumínio, cloreto de cálcio, ácido sulfúrico. Entretanto, o gesso é o produto mais usado por ter custo mais baixo. No caso de solos contendo carbonatos e bicarbonatos, normalmente são usados produtos que, através de reações no solo, formem Na_2SO_4 . Entre esses produtos o mais comum é o enxofre.

A quantidade do corretivo é calculada em função do sódio trocável ou em função de necessidade de gesso (NG), determinada diretamente no solo (Richards 1954). A recuperação de solo com excesso de sódio é uma prática difícil e onerosa que exige conhecimento das características do solo e do corretivo, e da água a serem usadas, a fim de propiciar a eliminação dos sais que vão se formar como resultado das reações do corretivo no solo. Estes aspectos devem ser considerados conjuntamente, se maior eficiência for desejada no manejo de solos sódicos.

No Brasil, o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é encontrado em grande quantidade na serra do Araripe, nos Estados de Pernambuco e Ceará, centro da região semi-árida. Atualmente, com o desenvolvimento da indústria de fertilizantes fosfatados, grandes quantidades de gesso são liberadas como subproduto, denominado fosfogesso, que pode ser usado na recuperação de solos com excesso de sódio. Somente no ano de 1984, foram produzidas, pela indústria de fertilizantes, 480.000 t desse material.

No solo, o gesso reage conforme a reação seguinte:



No solo o íon Ca^{++} desloca o íon Na^+ do complexo de troca formando Na_2SO_4 que é levado para baixo pela água e, finalmente, para os drenos. Para recuperação de solos, tanto salinos como sódicos ou salino-sódicos, é necessário que a área disponha de um sistema de drenagem em funcionamento, capaz de receber todo o excesso de água adicionado ao solo, quer seja para fins de irrigação ou para eliminação de sais solúveis.

Quando o gesso é adicionado ao solo, ocorre uma reação de troca entre o cálcio solúvel do gesso e o sódio trocável. Assim, o teor de cálcio decresce à medida que a lei de ação das massas favorece a substituição, isto é, até o equilíbrio (Hira et al. 1980). Este processo de troca, promovido pela adição de gesso no solo, é descrito pelas equações de Kerr e Gapon (Fassbender 1975).

Na medida em que a solução do solo, contendo cálcio, avança para maiores profundidades no perfil, a concentração deste se reduz e a do sódio passa a predominar, já que a troca Ca-Na ocorre só até onde a relação de adsorção de sódio atingir o equilíbrio com o sódio trocável inicial (Oster & Frenkel 1980).

O gesso adicionado ao solo incrementa, inicialmente, a concentração electro-lítica da solução com a liberação dos íons cálcio e sulfato (Schaimberg et al. 1982). Muitos autores atribuem a este fato a resposta inicial do gesso, conforme relata Lovesay (1976).

4.2. Solubilidade e atividade do gesso

A eficiência do gesso na recuperação de solos sódicos depende da solubilidade que, por sua vez, é função da composição electrolítica da solução do solo, área superficial das partículas e velocidade da água durante o processo de lavagem (Oster & Frenkel 1980, Keren & O'Connor 1982). A solubilidade do gesso, a temperaturas ordinárias, é de 0,25%. Entretanto, esta solubilidade aumenta à medida que aumenta a PST (Richards 1954).

Hira & Singh (1980) relatam que a concentração de sulfato da fração efluente de colunas de solo tratadas com gesso decresceu com o incremento de PST do solo, indicando solubilidade maior do gesso a valores altos de PST. A equação de resposta encontrada pelos mesmos autores para avaliar a quantidade de gesso dissolvido em mg/l (y), foi a seguinte:

$$Y = 1,8 + 0,186 \text{ PST} \quad (r = 0,98)$$

De acordo com Hira et al. (1980), a solubilidade do gesso aumenta com o grau de finura, numa média de 0,42% a 2% para grânulos de diâmetros situados na faixa entre 0,5 e 2,0 mm a menos de 0,1 mm, respectivamente. Como a área superficial das partículas de gesso é maior quanto menor o tamanho dos grãos, consequen-

temente, será maior o contato com o sistema solo-água. Isto, por sua vez, significa mais cálcio disponível por unidade de volume de água para a troca de cátions.

Conforme foi descrito, a eficiência do gesso está condicionada à granulometria e à quantidade de água a ser aplicada. Richards (1954) recomenda que 85% do material deve passar em peneira de malha 100. Dados experimentais, relatados pelo mesmo autor, demonstram que, para dissolver 9,9 a 12,4 t/ha de gesso com tal granulometria, seriam necessários de 900 a 1.200 mm de água. Ainda sobre o assunto, Hira et al. (1980) informam, baseados em trabalho experimental, que a lâmina de água necessária para dissolver o gesso aplicado ao solo caiu de 1.200 mm para 250 mm quando o tamanho das partículas passou de 2,5 a 2,0 mm para 0,1 mm. Usando um modelo de simulação para programa de computadores, Dutt et al. (1972) encontraram que 520 a 720 mm de água eram necessários para dissolver 16,5 a 23,9 t/ha de gesso, quando aplicado na superfície do solo.

4.3. Efeito de gesso nas características físico-químicas dos solos com excesso de sódio

O gesso, ou outro corretivo similar, usado para correção de solos contendo excesso de sódio, pode promover a floculação dos colóides, contribuindo para melhor estruturação do solo. Isto é conseguido como efeito da substituição do cátion dissociador sódio pelo cátion divalente cálcio, liberado pelo corretivo adicionado.

A quantidade de sódio removido ou a taxa de decréscimo da PST e o pH do solo são parâmetros físico-químicos utilizados para avaliar a eficiência do corretivo no melhoramento de solos com excesso de sódio. Da mesma forma, a taxa de infiltração e a condutividade hidráulica são também parâmetros físicos que podem ter o mesmo objetivo em relação às características físicas do solo. A eficiência do corretivo pode ser definida também através da relação entre a quantidade de sódio substituído e a de cálcio adicionado, expressos como meq/100 g de solo (Schaimberg et al. 1982).

Os resultados experimentais referidos na literatura sobre recuperação de solos com excesso de sódio são bastante variados. Assim, no Egito, vários pesquisadores concluíram que as propriedades físicas desfavoráveis destes solos, e conseqüente baixa produtividade das culturas, eram melhoradas rapidamente com a aplicação do gesso complementado principalmente com medidas de drenagem (El Mowelhi et al. 1976). Estes mesmos autores, trabalhando com solos argilosos com predominância de montmorilonita, observaram melhorias na agregação das partículas e na taxa de infiltração logo nos seis primeiros meses. Shetty (1975) achou que o gesso foi eficiente na redução do pH de solos sódicos de textura barro-argilosa, porém o resultado foi melhor quando o gesso foi aplicado juntamente com outros corretivos como matéria orgânica.

Resultados relatados pelo Central Soil Salinity Research Institute (1979), na Índia, mostram acentuado decréscimo da PST em função de crescentes níveis de gesso, aplicado após a ocupação do solo com diversas culturas (Tabela 2).

Normalmente, os solos sódicos têm pH elevado (> 8,5), devido à predominância do sódio no complexo de troca. A diminuição da PST implica, portanto, abaixamento do pH. Através dos dados da Tabela 3, observa-se uma diminuição do pH em função de diferentes níveis de gesso aplicados ao solo, dados estes que refletem o grau de eficiência dos tratamentos sobre a recuperação do solo.

Velayutham et al. (1977), trabalhando com solos argilo-sódicos tratados com gesso, observaram que a taxa de percolação melhorou nos primeiros dez dias, baixou nos seguintes 20 dias e novamente melhorou 30 dias após a aplicação do gesso. Acompanhando esses resultados, foram observadas variações do coeficiente de dispersão, que estão intimamente relacionados com a PST. Nos solos por eles estuda-

TABELA 2. Efeito da aplicação de gesso na PST do solo em diferentes intervalos de tempo.

Gesso t/ha*	Após dhaincha Out. 1970		Após trigo Abril 71		Após arroz Nov. 71		Após arroz Nov. 72		Após trigo Abril 73	
	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30
Testemunha	84,5	95,0	87,0	94	50,0	63,0	20,5	62,0	20,0	67
7,5	52,0	87,0	67,0	87	29,5	63,0	17,5	71,0	9,5	34
15,0	37,5	82,5	33,0	83	25,5	56,0	6,0	44,0	8,0	25
22,5	17,5	83,5	15,5	64	16,0	32,5	2,5	24,5	2,5	17
30,0	17,5	43,5	14,0	57	12,5	36,0	2,5	18,5	6,0	19

* Aplicado a 15 cm de profundidade.

Fonte: Central Soil Salinity Research Institute (1979).

TABELA 3. Efeitos de diferentes níveis de gesso sobre o pH do solo após a ocupação do solo com diversos cultivos.

Gesso* T/ha	pH			
	<i>Brassica campestris</i> var. <i>Toria</i>	<i>B. campestris</i> var. <i>Brown sarson</i>	<i>B. juncea</i>	<i>Eruca sativa</i>
Test.	10,3	10,3	10,1	10,2
6,25	9,7	9,9	9,7	9,8
12,50	9,5	9,5	9,6	9,6
18,75	9,4	9,2	9,1	9,2
25,00	8,8	9,0	9,0	8,9

* Aplicado a 15 cm de profundidade.

Fonte: Central Soil Salinity Research Institute (1982).

dos, durante o período de recuperação, a percolação foi maior quando o teor de sais solúveis era apreciável. Os resultados mostraram que a percolação nos solos alcalinos foi de 1,5 ml/h e nos salino-sódicos, de 18,7 ml/h.

Por outro lado, Mustafa & Abdel-Magid (1981) acharam que não foi significativo o efeito do gesso na redução da PST de solos altamente salino-sódicos argilosos com predominância da montmorilonita. Do mesmo modo, Leffelaar & Sharma (1977), citados por Khosla et al. (1979), afirmaram que somente o gesso, em si, não é suficiente para desodificação dos solos, porém pode apressar o processo e melhorar a infiltração, talvez agindo como uma fonte contínua de cálcio solúvel.

Nos solos argilosos da Austrália, onde valores de PST de 5 a 6 são considerados limites de diferença entre solos com e sem problemas de sódio, Loveday (1976), num trabalho com diferentes doses de gesso, observou, no início, uma elevação da permeabilidade da camada de 0 a 20 cm 20 vezes a original e um efeito final de duas ou três vezes o original.

Na Índia, Chawla & Abrol (1980), trabalhando com colunas de solo, observaram aumento da permeabilidade com o tempo e afirmaram que a magnitude do incremento e tempo requerido para atingir a permeabilidade máxima, era maior conforme a granulometria do gesso. Os mesmos autores afirmam que a alta permeabilidade do solo correspondeu à alta solubilidade e reatividade das frações finas de gesso que provocaram concentração electrolítica inicial mais alta e maior deslocamento do sódio.

Em solos barro-arenosos e barrentos, Mehta et al. (1980) observaram permeabilidade de 0,0015 cm/h nos solos não recuperados, e 0,0064; 0,0452; 0,0816 e 0,1460 cm/h, um, dois, três e quatro anos após o tratamento com gesso como principal medida de recuperação, respectivamente.

4.4. Profundidade e tempo de ação do gesso

A eficiência do gesso na recuperação de solos com problemas de sódio não parece, em geral, atingir camadas profundas do perfil do solo. Assim, El Mowelhi et al. (1976) observaram que a zona de ação do gesso como melhorador, praticamente, não se estendia além da profundidade onde era colocado.

Loveday (1976) informa que a troca de cátions é mais efetiva na camada superficial de 0 a 15 cm ou 0 a 20 cm, na qual o gesso é misturado; dificilmente são observados efeitos em profundidades maiores, mesmo com subsolagem, conforme relata Silva (1978), em trabalhos realizados no perímetro irrigado de São Gonçalo, PB. Em maiores profundidades, o gesso permanece sem dissolver devido à penetração limitada de umidade, conforme relata Rasmussen et al. (1972), podendo, inclusive, ocorrer uma inversão, aumentando o teor de sódio adsorvido resultante da lixiviação do sódio das camadas superiores e do baixo teor de cálcio em solução, como observado por Loveday (1976). Com relação ao tempo de ação do gesso,

Alawi et al. (1980) constataram que a eficiência do gesso desaparecia no segundo ano devido, provavelmente, à precipitação do cálcio solúvel, fato este que foi atribuído à baixa quantidade de gesso usada. Loveday (1976) achou efeito residual do gesso permanecendo até o terceiro ano após a incorporação; Rasmussen et al. (1972) igualmente observaram efeitos até o quarto ano.

4.5. Métodos de aplicação de gesso e medidas complementares

O gesso pode ser aplicado na superfície do solo, de preferência úmido, após uma irrigação, e lixiviado com uma lâmina de água de 50 a 70 mm, mantida na superfície por um período de 30 dias antes da sementeira de cultura tolerante à sodicidade (Abrol et al. 1973, Pates et al. 1980).

Outra forma de aplicação do gesso é incorporando-o e misturando-o efetivamente ao solo, seja na camada superficial ou em maiores profundidades. Resultados satisfatórios foram obtidos por Abrol et al. (1973) misturando doses pequenas na camada de 0 a 10 cm. Doses maiores na camada de 0 a 20 cm não foram significativas e não justificaram o maior custo.

O gesso pode também ser aplicado já diluído na água de irrigação. Entretanto, dada a sua baixa solubilidade, é necessário grande volume de água, pois, de outra forma, seria necessário tempo para conseguir aplicar a dose apropriada. O gesso diluído aumenta a relação cálcio: sódio da água de irrigação, favorecendo a substituição do sódio trocável resultando na modificação das propriedades físicas e químicas do solo e, finalmente, o processo de recuperação (Molen 1979).

4.6. Atividade do gesso em combinação com outros corretivos

Em nível experimental, alguns pesquisadores, com a finalidade de melhorar a eficiência da ação do gesso, testaram a aplicação deste corretivo em combinação com outros produtos químicos e orgânicos, que atuam como melhoradores das características físicas e/ou químicas dos solos sódicos.

O gesso, em combinação com o ácido sulfúrico correspondendo a 25% do equivalente de Na^+ a ser substituído, mostrou ter efetiva ação residual (Azevedo et al. 1983). Em combinação com subproduto da indústria açucareira (25 t/ha), o gesso resultou ser um ótimo tratamento na redução do pH e, juntamente com sulfato de zinco (2,0 t/ha), mostrou ser uma boa combinação para obtenção de alta produtividade agrícola em solos salino-sódicos (Shetty 1975). Segundo Velayutham et al. (1980), gesso combinado com matéria verde (5 t/ha), bem misturada ao solo, contribuiu para redução do coeficiente de dispersão e melhorou a percolação dos solos. Na decomposição da matéria orgânica há liberação de ácidos orgânicos que aumentam a solubilidade do gesso.

Em experimentos de campo, Patel et al. (1980) concluíram que o gesso, por si só, não teve efeito significativo na produtividade, mas, quando combinado com adubos, principalmente nitrogenados e esterco, os resultados podem ser satisfatórios, conforme informa Gheyi (1983).

Medidas complementares à aplicação do gesso, como a aração profunda e subsolagem, ajudam a incorporação em profundidades maiores, favorecendo a permeabilidade do solo para a penetração da água (FAO 1973).

Por outro lado, drenagem artificial e lavagem são medidas hidrotécnicas de melhoramento muito necessárias para garantir o sucesso do processo na recuperação de solos sódicos e, também, a única maneira prática de impedir a ressalinização. Em trabalhos experimentais, El Mowelhi et al. (1976) obtiveram melhores resultados quando combinaram drenagem e subsolagem à aplicação do gesso, afirmando que o uso de mais de um tratamento acelerava o processo de recuperação dos solos. Silva (1978), entretanto, não obteve diferenças significativas na melhoria das características químicas de solos sódicos, com e sem subsolagem. O efeito do gesso em ambos os casos não passou dos 20 cm superficiais. Igualmente, Rasmussen et al. (1972) concluíram que a subsolagem em combinação com o gesso é muito mais eficiente que o tratamento só com gesso, e que a subsolagem somente não é eficiente para correção de solos afetados por sódio.

4.7. Requerimentos e recomendações

A quantidade de gesso necessária para a correção de solos sódicos depende da quantidade de sódio adsorvido (PST) e da capacidade de troca de cátions (CTC). Analiticamente, a necessidade de gesso pode ser determinada assumindo uma substituição quantitativa para reduzir a PST a um nível desejado (Richards 1954). A relação a ser usada dentro desse critério é a seguinte:

$$NG = 0,00086 \cdot Dap (PST_1 - PST_2) \cdot CTC \cdot P$$

NG = necessidade de gesso em t/ha

Dap = densidade aparente

PST₁ = percentagem de sódio trocável inicial

PST₂ = percentagem de sódio trocável final

CTC = capacidade de troca de cátions

P = profundidade do solo

equivalente grama do gesso = 86,09 g

Um método de laboratório mundialmente utilizado para determinar a necessidade de gesso é o método de Schoonover, descrito por Richards (1954). O método é muito útil especialmente quando se desconhece a PST e a CTC. No entanto, Chauhan & Chaunan (1979) demonstraram que o método superestima o requerimento de gesso por considerar o efeito dos carbonatos ($CO_3^{=}$ + HCO_3^{-}) precipitados, quando em contato com o cálcio de gesso dissolvido. Por outro lado, do cálcio

envolvido na troca correspondendo a 40-50% do gesso aplicado, só 50% a 65% substitui em Na^+ , o resto substitui Mg^{++} , resultando em uma eficiência de 20% a 33% do gesso aplicado (Loveday 1976). Para a recuperação de solos sódico-calcários, a correção do requerimento de gesso, em relação à eficiência da reação, varia de 1,14 a 1,13, conforme o nível de sódio trocável final desejado (Oster & Frenkel 1980). Isto explica o fator de correção de 1,25, recomendado por Richards (1954), para corrigir a falta de substituição quantitativa.

Diferentes pesquisadores realizaram trabalhos para observar a eficiência do gesso aplicado em diferentes doses. Em laboratório, trabalhando com vasos, Velayutham et al. (1977) conseguiram melhorar a percolação com a aplicação do equivalente a 5 t/ha de gesso. Em campos experimentais, Shetty (1975) reduziu o pH de 9,2 a 8,3 com a aplicação de 5 t/ha de gesso, e El Mowelhi et al. (1976) obtiveram resultados satisfatórios com a aplicação de 29,7 t/ha em combinação com medidas de drenagem e subsolagem a 0,40 m de profundidade.

A aplicação de gesso, em nível experimental, em doses de 15 t/ha incorporados nos 15 cm superficiais de solo (Silva 1978) e em doses de 13 t/ha e 26 t/ha incorporados na camada de 30 cm (Pereira et al. 1981) em solos aluvionais argilo-sódicos mal drenados perímetros irrigados de São Gonçalo, PB, e Moxotó, PE, respectivamente, teve efeitos positivos apenas nos 10 cm superficiais de solo. Em um outro trabalho, no perímetro irrigado de São Gonçalo, PB, com gesso incorporado na camada de 0 a 20 cm, a ação efetiva do corretivo, após um ano, só foi verificada nos primeiros 5 cm (Azevedo et al. 1983).

Em experimentos em vasos, Kanwar & Chawla (1963), citados por Patel et al. (1980), concluíram que a aplicação de quantidades de gesso superiores a 30% do requerimento mostrou não ser necessária. O mesmo Patel (1980) achou melhores resultados com 50% e 75% dos requerimentos de gesso associados a uma adequada fertilização e que 50% do requerimento de gesso seria suficiente para empreender um programa efetivo de recuperação de solos afetados por sódio.

5. RESPOSTA DAS CULTURAS À APLICAÇÃO DO GESSO EM SOLOS COM EXCESSO DE SÓDIO

O comportamento de algumas culturas em solos sódicos, tratados com gesso, tem sido observado em experiências por diversos pesquisadores. Resultados obtidos na União Soviética com diferentes doses de gesso, reportados em FAO (1973), aplicados a solos Solonetz, indicaram a obtenção de produtividade de mais de 300% de trigo e aveia. Com o uso do gesso, porém, os incrementos da produtividade não foram significativamente diferentes em função dos níveis correspondentes a 12,5; 25,0; e 37,5 t/ha de gesso aplicado.

As culturas se comportam de modo diferente em relação ao excesso de sódio (Richards 1954). Algumas são essencialmente tolerantes e, portanto, podem ser

usadas na fase de recuperação de solos com problemas de sódio compensando, assim, logo no início, parte dos custos efetuados com o objetivo de recuperação.

O arroz é a principal cultura utilizada em solos com excesso de sódio em processo de recuperação nos países tropicais. Entretanto, os resultados experimentais do comportamento desta cultura, em relação à aplicação do gesso, são dos mais variados, dependendo das condições locais, variedade, e preparo do solo. Shetty (1975) obteve incremento na produtividade de mais de 400% utilizando gesso. Mehta et al. (1980), aplicando gesso em quantidade correspondente a NG, na superfície do solo, e misturando aos 10 cm superficiais juntamente com 150 kg/ha de nitrogênio e 50 kg/ha de sulfato de zinco, obtiveram sucessivos incrementos de produtividade do arroz nos quatro anos posteriores à aplicação, correspondendo a 2,81; 3,06; 3,32; e 3,58 t/ha de arroz do primeiro ao quarto ano, respectivamente.

No Nordeste brasileiro, Gheyi (1983), trabalhando com diferentes variedades de arroz, obteve, em solos sódicos do perímetro irrigado de São Gonçalo, PB, incremento de produtividade média de 32% e 40% para 30 e 60 t/ha de gesso aplicado, respectivamente. Entretanto, em outro solo sódico, do perímetro irrigado de Sumé, PB, foi encontrado, para o gesso ao nível 20 t/ha, um efeito depressivo sobre a produtividade de 9% (Tabela 4). Em outro trabalho desenvolvido por Silva (1978), envolvendo gesso e outros tratamentos sobre o rendimento do arroz em solo sódico com PST de 22%, não houve diferença de produtividade (Tabela 5). A não-resposta do gesso nos dois casos pode ter sido ocasionada por problemas na aplicação, manejo de água nas parcelas, ou outros fatores. Em experimentos com solo sódico do perímetro irrigado de Moxotó, PE, Pereira et al. (1981) não obtiveram incremento de produtividade do arroz em um solo com PST de 53%, em função do gesso aplicado nos níveis correspondentes a 13,0 e 26,0 t/ha e incorporado até a profundidade de 30 cm (Tabela 6).

TABELA 4. Efeito do tratamento com gesso nos perímetros irrigados de São Gonçalo, PB, e Sumé, PB, sobre o rendimento (t/ha) de três variedades de arroz.

Variedade	São Gonçalo			Sumé	
	Gesso (t/ha)				
	0	30	60	0	20
IR 2053-436-1-2	4,31	6,70	6,99	5,97	5,48
IR 2058-78-1-3-2-3	4,79	6,32	7,29	6,37	4,98
Pokkali	2,33	5,26	6,62	4,82	5,38

Fonte: Gheyi (1983).

Ainda com relação ao efeito do corretivo gesso sobre o rendimento das culturas, trabalhos desenvolvidos na Índia (Central Soil Salinity Research Institute 1981), mostram que algumas espécies, principalmente de gramíneas forrageiras, não responderam satisfatoriamente à aplicação de gesso (Tabela 7). Outras, entretanto, como as leguminosas, mostraram um efeito bem nítido (Tabela 8). Estes resultados podem ser atribuídos aos diferentes graus de tolerância dessas culturas à sodicidade do solo.

TABELA 5. Médias de produção de arroz em casca, em kg/ha, em função dos métodos de recuperação e dos sistemas de preparo do solo.

Método de recuperação	Subsolagem	Preparo tradicional
Lavagem	3,239	1,958
Matéria orgânica+ lavagem	2,433	2,085
Matéria orgânica+ gesso+ lavagem	1,986	2,190
Gesso* + lavagem	1,898	2,126

Fonte: Silva (1978).

TABELA 6. Rendimento médio de arroz com casca, em solo sódico, em função de tratamentos com gesso.

Tratamentos t/gesso	Produção de arroz com casca kg/ha
0	1.320
13	1.258
26	1.286

Fonte: Pereira et al. (1980).

TABELA 7. Rendimento de capim-verde e forrageiras (leguminosas) em solo sódico com pH 10,5, em função de diferentes tratamentos com gesso.

Gesso	Karnal grass	<i>Panicum leavifolium</i>	Blue panic	Rhodes grass	Coostal Bermuda
	t/ha				
0	29,5	44,6	58,9	51,9	19,8
5,2	30,2	58,9	64,0	56,5	19,1
10,4	32,2	66,3	64,1	62,4	24,6

Fonte: Central Soil Salinity Research Institute (1981).

TABELA 8. Rendimento de capim-verde e forrageiras leguminosas em solo sódico, em função de diferentes tratamentos com gesso.

Gesso	<i>Triflorium alexandrium</i>	<i>Triflorium resupinatum</i>	<i>Medicago sativa</i>
	t/ha		
5	6,7	22,8	0,0
10	25,4	46,5	8,1
15	59,5	71,9	22,8
20	70,5	75,1	38,4
25	85,7	79,6	34,4

Fonte: Central Soil Salinity Research Institute (1981).

6. REFERÊNCIAS

- ABROL, I.P.; DARGAN, K.S. & BHUMBLA, D.R. **Reclaiming alkali soils**. Karnal, Central Soil Salinity Research Institute, 1973. 58p. (ICAR Boletim, 2).
- AHMAD, B.; KEMPER, W.D.; HAIDER, G. & NIAZI, M.A. Use of gupsum stones to lower the sodium adsorption ratio of irrigation water. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, **43**:698-702, 1979.
- ALAWI, B.J.; STROEHLEIN, J.L.; HANLON JÚNIOR, E.A. & TURNER JÚNIOR, F. Quality of irrigation water and effects of sulfuric acid and gypsum on soil properties and sudangress yields. **Soil Sci.**, **129**:315-9, 1980.
- ALLISON, L.E. Salinity in relation to irrigation. **Adv. Agron.**, **16**:139-80, 1964.
- AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture**. Roma, FAO, 1976. 95p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 29).
- AZEVEDO, N.C.; AZEVEDO, H.M. & GHEYI, H.R. **Influência de diversos tratamentos nas propriedades físico-hídricas e químicas de um solo salino-sódico**. I. Infiltração e condutividade hidráulica. s.l., s. ed., 1983. n.p.
- BLACK, C.A. **Soil plant relationships**. New York, J. Wiley, 1968. 790p.
- BOWER, C.A.; OGATA, G. & TUCKER, J.M. Sodium hazard of irrigation waters as influenced by leaching fraction and by precipitation of CaCO₃. **Soil Sci.**, **106**: 29-34, 1968.
- CHAWLA, K.L. & ABROL, I.P. The fineness of gypsun and reclamation of sodic soils. In: INTERNATIONAL SUMPOSIUM ON SALT AFFECTED SOILS, Karnal, India, 1980. **International Symposium on Salt affected Soils**; principles and practices for reclamation and management. Karnal, Central Soil Salinity Research Institute, 1980. p.339-47.
- CENTRAL SOIL SALINITY RESEARCH INSTITUTE, Karnal, India. Agronomy. In: _____ . **A decade of research**. Karnal, 1979. cap. 6, p.67-79.

- CENTRAL SOIL SALINITY RESEARCH INSTITUTE, Karnal, India. **Annual report 1981**. Karnal, 1982. p.64-9.
- CHAUHAN, R.P.S. & CHAUHAN, C.P.S. A modification to Schoonover's methods of gypsum requirements determination of soil. **Aust. J. Soil Res.**, **17**:367-70, 1979.
- DUTT, G.R.; TERKELTOUB, R.W. & RAUSCHLOLB, R.S. Prediction of gypsum and leaching requirements for sodium-affected soils. **Soil Sci.**, **114**:93-103, 1972.
- EATON, E.M. Significance of carbonates in irrigation waters. **Soil Sci.**, **69**:123-33, 1950.
- EL MOWELHI, N.M.; SHARAF EL-DIN, F. & BADAWI, R.M. Effect of drainage, subsoiling and gypsum application on improving sodic soils of Egypt. **Agric. Res. Rev.**, **54**:9-20, 1976.
- FAO, Roma, Itália. **Irrigation, drainage and salinity**; an international source book. Roma, FAO/UNESCO, 1973. 509p.
- FASSBENDER, N.W. **Química de suelos**. Turrialba, IICA/OEA, 1975. 379p.
- FULLER, W.H. Management of saline soils. **Outlook Agric.**, **10**:13-20, 1979.
- FULLER, W.H. **Water, soil, and crop management**; principles for the control of salts. Tucson, Univ. of Arizona, 1967. 21p. (Bulletin, A-43).
- GHEYI, H.R. **Recuperação e/ou utilização dos solos afetados por sais**. Campina Grande, UFPB - Dep. Eng. Agríc., 1983, 9p.
- GÓES, E.S. **Problemas de salinidade e drenagem em projeto de irrigação do Nordeste e a ação da pesquisa com vistas a seu equacionamento**. Recife, SUDENE, 1977. 20p.
- HAYWARD, H.E. & WALDLEIGH, C.E. Plant growth on saline and alkali soils. **Adv. Agron.**, **1**:1-38, 1949.
- HIRA, G.S. & SINGH, N.T. Irrigation water requirement for dissolution of gypsum in sodic soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, **44**:930-3, 1980.
- HIRA, G.S.; SINGH, N.T. & SINGH, R. Water requirements during the reclamation of sodic soils with gypsum. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SALT AFFECTED SOILS, Karnal, India, 1980. **International Symposium on Salt Affected Soils**; principles and practices for reclamation and management. Karnal, Central Soil Salinity Research Institute, 1980. p.322-9.
- HOORN, J.W. Van Quality of irrigation water, limits on use and prediction of long term effects. In: REGIONAL SEMINAR ON METHODS OF AMELIORATION OF SALINE AND WATERLOGGED SOILS, Baghdad, Iraq, 1970. **Salinity Seminar Baghdad**; report. Rome, FAO, 1971. p.171-48, (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 7).
- JONES, L.H. Aluminum uptake in plants. **Plant Soil**, **13**:297-310, 1961.
- KAMPHORST, A. & BOLT, G.N. Saline and sodic soils. In: Bolt, G.H. & BRUGGEWERT, M.G.E., ed. **Soil chemistry**. Wageningen, Elsevier, 1978. p.221-91.

- KELLEY, W.P. **Alkali soils**; their formation, properties and reclamation. New York, Reinhold, 1951. 234p. (ACS. Monograph, 111).
- KEREN, R. & O'CONNOR, G.A. Gypsum dissolution and sodic soil reclamation as affected by water flow velocity. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, **46**:726-32, 1982.
- KHOSLA, B.K.; GUPTA, R.K. & ABROL, I.P. Salt leaching and the effect of gypsum application in a saline-sodic soil. **Agric. Water Manage.**, **2**:193-202, 1979.
- KOVDA, V.A. Soil in relation to salinity irrigation and drainage. In: IRRIGATION drainage and salinity. Paris, FAO/UNESCO, 1973. p.55-79.
- LEWIS, G.C. & JUVE, R.L. Some effects of irrigation water quality on soil characteristics. **Soil Sci.**, **81**:125-37, 1956.
- LOVEDAY, J. Relative significance of electrolyte and cation exchange effects when gypsum is applied to a sodic clay soil. **Aust. J. Soil. Res.**, **14**:361-71, 1976.
- LYERLY, P.J. & LONGENECKER, D.E. **Salinity control in irrigation agriculture**. College Station, Texas Agric. Exp. Stn., 1962. 19p. (Texas Agric. Exp. Stn. Bull., 876).
- MCNEAL, B.L. Managing salt-affected soil. **Crops Soils Mag.**, **12**:12-3, 1976.
- MEHTA, K.K.; YADAV, J.S.P. & SHARMA, D.P. Effect of gypsum on the reclamation of alkali soils and crops growth in the farmer fields in Karnal district of Haryana. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SALT AFFECTED SOILS, Karnal, India, 1980. **International Symposium on Salt Affected Soils**; principles and practices for reclamation and management. Karnal, Central Soil Salinity Research Institute, 1980. p.525-31.
- MELLO, F.E. de S.; BEZERRA, G.E. & GURGEL, E.A. **Estudo de solos nos vales do Nordeste para fins de irrigação - 13**. Fortaleza, DNOCS, 1967. p.7-38.
- MOLEN, W.H. Van der. Salt balance and leaching requirement. In: INTERNATIONAL INSTITUTE OF LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT, Wageningen, Holanda. **Drainage principles and applications**; theories of field drainage and watershed runoff. 2. ed. Wageningen, 1979. v.2, p.59-100. (ILRI. Publication, 16).
- MUSTAFA, M.A. & ABDEL-MAGID, E.A. The effects of irrigation interval, urea-N and gypsum on salt redistribution in a highly saline-sodic montmorillonitic clay soil under forage sorghum. **Soil Sci.**, **132**:308-15, 1981.
- OSTER, J.D. & FRENKEL, H. The chemistry of the reclamation of sodic soil with gypsum and lime. **Soil Sci. Am.**, **44**:41-15, 1980.
- PATEL, M.M., MEHTA, P.M. & PANDYA, H.G. Effect of nutrients and gypsum on crop yields and on amelioration of a saline-sodic soil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SALT AFFECTED SOILS, Karnal, India, 1980. **International Symposium on Salt Affected Soils**; principles and practices for reclamation and management. Karnal, Central Soil Salinity Research Institute, 1980. p.447-50.

- PEREIRA, E. & FURTADO, J. da S. Efeito de diferentes níveis de gesso na correção de solos salino-sódicos do perímetro irrigado de Poço da Cruz. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 3., Fortaleza, CE, 1977. **Anais . . . Fortaleza, DNOCS/ABID, 1977. v.3., p.219-34.**
- PEREIRA, J.R. Solos salino-sódicos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15. e SIMPÓSIO SOBRE ACIDEZ E CALAGEM NO BRASIL, Campinas, SP, 1983. **Anais . . . Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p.127-43.**
- RASMUSSEN, W.W.; MOORE, D.P. & ALBAN, L.A. Improvement of a solonetzic (slick-spot) soil by deep plowing, subsoiling, and amendments. **Soil Sci. Soc. Am. Proc., 36:137-42, 1972.**
- RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington, USDA, 1954. 160p. (USDA Handbook, 60).
- SCHAIMBERG, I.; KEREN, R. & FRENKEL, H. Response of sodic soils to gypsum and calcium chloride application. **Soil Sci. Soc. Am. J., 46:113-7, 1982.**
- SHETTY, K.S. Reclamation of saline alkali soils with gypsum, pressmud and zinc sulphate. **Indian J. Agric. Chem. 8(1/2):253-6, 1975.**
- SILVA, M.J. **Efeito de diferentes métodos de recuperação num solo com problema de sódio no projeto de irrigação de São Gonçalo, PB.** Viçosa, UFV, 1978. 54p. Tese Mestrado.
- THORNE, D.W. & THORNE, J.P. Changes in composition of irrigated Soils as related to the quality of irrigation waters. **Soil Sci. Soc. Am. Proc., 18:92, 1954.**
- ULRICH, B. & KHANA, P.K. Desorption and dissolution of salts from soils as a function of soil: water ratio. **Soil Sci., 114:251-3, 1972.**
- VALDIVIESO, S.C.R. & CORDEIRO, G.G. **Perspectivas do uso de águas subterâneas do embasamento cristalino no Nordeste semi-árido do Brasil.** Petrolina, EMBRAPA-CPATSA, s.d. 23p. Prelo.
- VELAYUTHAM, A.; RAJ, D. & LOGANATHAN, S. Physical properties of soils and indices of salinity and alkali in relation to ease of reclamation. **Mysore J. Agric. Sci., 11:489-93, 1977.**
- WHITEMORE, J. **Saline and sodic soils.** s.l., s. ed., 1975. 7p. Mimeografado.
- WILCOX, L.V. **The quality of water for irrigation use.** Washington, USDA, 1948. 32p. (USDA. Technical Bulletin, 962).
- WILCOX, L.V.; BLAIR, G.Y. & BOWER, C.A. Effect of bicarbonate on suitability of water for irrigation. **Soil Sci., 77:259-66, 1954.**
- ZYLSTRA, G. & SALINAS, Y. **Calidad del agua de riego.** Petrolina, s. ed., 1974. 10p.
- PEREIRA, E.; SILVA, J.F. da; D'ALMEIDA, A.N. & LEAL, M.C. Recuperação de solo salino-sódico no perímetro irrigado Moxotó, PE. In: BRASIL. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Diretoria Regional. **Experimentação em áreas irrigadas; relatório anual.** s.l., 1980.