

EFEITO DE NÍVEIS DE GESSO SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E  
QUÍMICAS DE UM SOLO ALUVIAL VÉRTICO HALOMÓRFICO E NO DESEN  
VOLVIMENTO DO ARROZ (Oryza sativa L.).

LÚCIA MARIA SILVEIRA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUA-  
EM AGRONOMIA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM SOLOS E NUTRIÇÃO  
DE PLANTAS COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO  
DO GRAU DE MESTRE  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ


FORTALEZA - 1988


Esta Dissertação foi apresentada como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca Setorial de Ciências e Tecnologia da referida Universidade.


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

  
LÚCIA MARIA SILVEIRA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM:

  
Prof. FERNANDO FELIPE FERREYRA H., Doutor  
Orientador

  
Prof. JOSE NELSON ESPÍNDOLA FROTA, Ph. D.

  
Prof. MARDÔNIO AGUIAR COELHO, Ph. D.

Aos meus pais RAIMUNDO e NILZA, pela  
dedicação e exemplo de vida e aos  
meus irmãos GRAÇA, SOCORRO, VALTER  
e FÁTIMA.

Ao meu esposo. PAULO pelo estímulo  
que me concedeu.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará, pelo treinamento recebido.

Ao Professor FERNANDO FELIPE FERREYRA HERNANDEZ, pela orientação e empenho no desenvolvimento do trabalho.

Ao Professor MARDÔNIO AGUIAR COELHO, pelo apoio e sugestões apresentadas durante a execução deste trabalho.

Ao Professor JOSÉ NELSON ESPÍNDOLA FROTA, pela revisão dos originais e sugestões apresentadas.

Aos demais Professores do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, pelos ensinamentos transmitidos.

Ao Professor FRANCISCO MARCUS BEZERRA, do Departamento de Engenharia Agrícola, pelas sugestões apresentadas durante a execução deste trabalho.

Ao Diretor do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, Professor FRANCISCO PESSOA FURTADO pelo apoio prestado.

À Professora NEIDE GOMES GARCIA da Universidade Estadual do Ceará pela amizade e estímulo.

Aos colegas de curso, pela amizade e pelo convívio alegre e sincero.

Ao Sr. ANTÔNIO LUIZ DE OLIVEIRA e a Sra. TERESINHA DE JESUS PINTO FARIAS, e aos demais Funcionários do Departamento de Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização do presente trabalho.

## CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
RESUMO .....	x
ABSTRACT .....	xi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Solos afetados por sais .....	3
2.2. Recuperação de solos afetados por sais através do uso de gesso.....	6
2.3. Cultura do arroz ( <u>Oryza sativa</u> L.) em solos afetados por sais .....	10
2.4. Infiltração da água em solos afetados por sais .....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	14
3.1. Solo .....	14
3.2. Cultura .....	14
3.3. Procedimento experimental .....	16
3.4. Parâmetros avaliados .....	18
3.4.1. No solo .....	18
3.4.2. Na planta .....	19
3.5. Delineamento estatístico .....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	21
4.1. Efeito do gesso sobre o pH, a condutividade elétrica e estabilidade de agregados .....	21

	Página
4.2. Efeito do gesso sobre o teor de sódio trocável, percentagem de sódio trocável e o grau de flocculação .....	26
4.3. Efeito do gesso sobre a velocidade de infiltração .....	29
4.4. Efeito do gesso sobre o volume do efluente e a lixiviação dos sais .....	33
4.5. Efeito do gesso sobre a cultura do arroz ..	35
5. CONCLUSÕES .....	43
6. LITERATURA CITADA .....	44

## LISTA DE QUADROS

QUADRO		Página
1	Características físicas e químicas do Solo Aluvial Vértico Halomórfico .....	15
2	Relação de tratamentos e quantidades de gesso aplicado .....	17
3	Efeito de níveis de gesso antes do cultivo, sobre o pH, condutividade elétrica (CE) e estabilidade de agregados .....	22
4	Efeito de níveis de gesso após o cultivo de arroz sobre o pH, condutividade elétrica (CE) e estabilidade de agregados (EA) .....	23
5	Efeito da aplicação de gesso no sódio trocável na percentagem de sódio trocável (PST) e grau de floculação .....	27
6	Efeito do gesso na velocidade de infiltração inicial do solo .....	32
7	Efeito principal do gesso na produção de matéria seca, altura, número de perfilho e teores de nutrientes da parte aérea do arroz .....	38
8	Produção de matéria seca, altura de planta, número de perfilho e teores de nutrientes na parte aérea do arroz, na combinação tratamento vs profundidade .....	39
9	Efeito principal do gesso no conteúdo de nitrogênio, fósforo, potássio e sódio da parte aérea do arroz .....	41

## QUADRO

## Página

10	Conteúdo de fósforo, nitrogênio, potássio e sódio da parte aérea do arroz na combinação tratamento vs. profundidade .....	42
----	---	----

## LISTA DE FIGURAS

FIGURAS		Página
1	Efeito de níveis de gesso na substituição do sódio trocável nas profundidades de 0 - 20 e 20 - 40cm .....	28
2	Efeito dos tratamentos com gesso sobre a velocidade de infiltração em função do tempo acumulado na amostra de 0 - 20cm .....	30
3	Efeito dos tratamentos com gesso sobre a velocidade de infiltração em função do tempo acumulado na amostra de 20 - 40cm .....	31
4	Efeito de níveis de gesso no volume de água percolada (A) e na lixiviação do sódio (B) do cálcio + magnésio (C) e dos sulfatos (D).	34

## RESUMO

Seis níveis de gesso foram utilizados com o objetivo de se estudar seus efeitos sobre as propriedades físicas e químicas de um solo Aluvial Vértico Halomórfico (salino-sódico) e no desenvolvimento do arroz, em casa-de-vegetação. Amostras de 2500g de solo das profundidades de 0-20 e 20-40cm foram tratadas com gesso, em quantidades equivalentes a 0, 50, 75, 100, 150 e 200% do sódio trocável do solo e incubadas com um conteúdo de umidade igual a 1/3 de atmosfera por 30 dias. Após a incubação, separou-se 500g de solo para análise e, nas 2000g restantes, fez-se a medida da velocidade de infiltração, plantando-se posteriormente o arroz. Durante o cultivo, foi coletado semanalmente o efluente, medindo-se o volume e determinando-se a condutividade elétrica (CE),  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ . As plantas foram coletadas aos 77 dias, quando mediu-se a altura, número de perfilhos, peso da matéria seca e analisado N, P, K e Na. No solo depois de cultivado foram determinados: pH (em água 1:2,5), condutividade elétrica, cátions trocáveis, valor T, PST, estabilidade de agregados e grau de floculação. O gesso produziu aumentos significativos na estabilidade de agregados, no grau de floculação e no volume de água percolada favorecendo a redução da condutividade elétrica da solução do solo. A substituição do sódio trocável foi proporcional ao nível de gesso aplicado até o nível G100, que resultou numa substituição de aproximadamente 78% de sódio trocável. O gesso exerceu leve efeito acidificante no solo e aumentou significativamente a produção de matéria seca. Os teores de nitrogênio e fósforo na matéria seca não foram afetados pelos níveis de gesso, enquanto que o teor de potássio aumentou e o do sódio diminuiu.

## ABSTRACT

Six levels of gypsum were used to study the effects on chemical and physical properties of a saline-sodic soil, cultivated with rice, under greenhouse conditions. The soil samples were collected at 0 - 20cm and 20 - 40cm depths from a aluvial vertic soil in the Experimental Farm of Universida de Federal do Cearā, in Pentecoste/CE. The gypsum was applied in amounts capable to replace 0, 50, 75, 100, 150 and 200% of the exchangeble soil sodium. Samples (2500g each) from each depth were put into plastic bags with added gypsum treatments, well mixtured and incubated with a 1/3atm moisture for 30 days. At the end of the incubation period, the mixture were dried and divided in two sets: 500g for analysis and 2000g to be cultivated with rice. Infiltration velocity was determined for pot soil before growing rice. The effluent was weekly collected and analysed to be determined electrical conductivity,  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ,  $Na^{+}$ ,  $K^{+}$  and  $SO_4^{2-}$  were determined. After 77 days from seeding, rice plants were harvested and measured height and shoot dry weight, tiller number and dry matter N, P, K and Na contents. It was also measured soil pH, electrical conductivity, exchangeble cations, T, ESP, aggregate stability and flocculation grade. Increases in aggregate stability, flocculation grade and percolated water volume were observed, favouring soil electrical conductivity reduction. Replacement of exchangeble sodium increased till gypsum level G100, equivalent to approximately 78% of exchangeble sodium. Gypsum addition increased dry matter production and showed a slightly acid soil reaction. Dry matter N an P contents were not affected by gypsum treaments, while K content increased and Na content decreased.

## 1. INTRODUÇÃO

Solos salino-sódicos ocorrem normalmente nas regiões áridas e semi-áridas com baixa precipitação e alta evaporação, condições encontradas em muitas áreas do Estado do Ceará. Esses solos caracterizam-se pelo excesso de sais solúveis e sódio trocável, constituindo um fator limitante à produção agrícola devido aos efeitos adversos dos sais solúveis diretamente sobre as plantas e do sódio trocável sobre as características físicas do solo e sobre as plantas.

Na região Nordeste do Brasil existem cerca de nove milhões de hectares de solos afetados por sais, correspondendo a 9,4% da área mapeada (PEREIRA, 1983). Nas áreas irrigadas, entre 20 e 25% dos solos se encontram afetados por sais, havendo predominância de solos sódicos e salino-sódicos. Estes dados, associados à necessidade de se aumentar a produtividade e a utilização de novas áreas, fazem com que o problema de solos afetados por sais venha merecendo cada vez mais atenção dos pesquisadores e do governo. 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 que venham a ter condições de serem explorados racionalmente.

Na recuperação de solos salino-sódicos recomenda-se a aplicação de sais solúveis de cálcio para remoção do excesso de sódio adsorvido, em especial o uso do gesso, e como medida complementar, o uso de cultivares resistentes. O arroz é a principal cultura utilizada em solos com excesso de sais em processos de recuperação nos países tropicais. Seu cultivo pode reduzir a salinidade do solo, pelas grandes quantidades de água requeridas para a irrigação ou inundação durante o período vegetativo da planta.

O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de estudar o efeito do gesso sobre as propriedades físicas e

químicas de um solo Aluvial Vértico Halomórfico e no desenvolvimento do arroz.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Solos afetados por sais

Os estudos sobre solos afetados por sais foram iniciados no fim do século XIX por HILGARD nos Estados Unidos e no início do nosso século por GEDROIZ na Rússia, SIGMONG na Hungria e HISSINK na Holanda (KELLEY, 1951 citado por PEREIRA, 1983). Atualmente existem em diversos países, principalmente em países com agricultura irrigada, unidades específicas estudando solos afetados por sais sob todos os aspectos, tendo em vista a sua grande importância agrícola. Para muitos historiadores a causa principal para o declínio ou mesmo o desaparecimento de muitas civilizações antigas foi o empobrecimento dos solos causado pela salinização (ALLISON, 1964).

Os problemas dos solos referentes ao excesso de sais e sódio trocável podem ser inerentes ao solo ou decorrente de irrigação continuada. Nas áreas irrigadas é comum o surgimento de salinidade provocada pelo uso da água de irrigação contendo concentrações elevadas de sais ou decorrente de práticas de manejo inadequadas como sistema de drenagem ineficiente, quantidade inadequada de água e uso indiscriminado e excessivo de fertilizantes (PECK, 1978; DAHIYA, 1977; McNEAL, 1976; LYERLY & LONGENECKER, 1962 e HAYWARD & WADLEIGH, 1949). A ocorrência de solos com problemas de sais existe em todas as partes do mundo. No chamado polígono das secas, que inclui nove Estados do Nordeste brasileiro, em todas as áreas irrigadas são encontradas solos afetados por sais (DUQUE, 1963).

Os solos afetados por sais e sódio, podem apresentar características bem diferenciadas, recebendo as seguintes denominações: solo salino, solo sódico e solo salino-só

dico (ALLISON, 1964).

Os solos salinos caracterizam-se pela apresentação de um alto teor de sais solúveis ( $CE > 4 \text{ mmhos/cm}$ ), baixos teores de sódio trocável ( $PST < 15$  ou  $RAS < 13$ ) e geralmente apresentam pH inferior a 8,5. Apresentam-se flocculados e sua condutividade hidráulica é igual ou maior do que a dos solos não salinos (BRUMBLA & ABROL, 1978). Estes solos são conhecidos como "solonchack", no sistema de classificação Russa, e como "alkali branco", na literatura inicial Anglo-Americana, por apresentarem frequentemente crostas brancas de sal na superfície, embora a presença dessas crostas não sejam determinantes para que o solo possa ser considerado salino (JURINAK, 1979; RICHARDS, 1974 e KODVA, 1973). Segundo PONNAMPERUMA (1979), a salinidade pode ocorrer, de modo geral, sob quaisquer condições físicas e químicas dos solos, podendo encontrar-se ampla variação nos teores e natureza dos sais e na distribuição lateral e vertical, no pH do solo, na natureza e no teor de argila e de matéria orgânica.

Os solos sódicos apresentam baixos teores de sais solúveis na solução do solo ( $CE < 4 \text{ mmhos/cm}$ ) e conteúdo de sódio trocável acima de 15% ( $PST > 15$  ou  $RAS > 13$ ), o pH geralmente é superior a 8,4 (RICHARDS, 1974). Os elevados teores de sódio trocável, podem elevar o pH a 10,0, provocando uma diminuição da disponibilidade de ferro, zinco, manganês e fósforo e toxidez de alumínio (JURINAK, 1979; BLACK, 1968 e JONES, 1961), além da precipitação dos cátions  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  como carbonatos devido a presença de íons  $\text{CO}_3^{2-}$  (BOWER & WILCOX, 1965; KELLEY, 1962 e EATON, 1950). Altos teores de sódio trocável também provocam a dispersão dos colóides que ao se movimentarem obstruem os poros, reduzindo drasticamente a condutividade hidráulica e a permeabilidade desses solos (CHEN & BANIN, 1976 e QUIRK, 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. A mudança destas características cria condições desfavoráveis para o desenvolvimento radicular, atividade microbiológica, in

duz a elevação do pH, provocando desequilíbrio nutricional para a maioria das plantas cultivadas (ZYISTRA & SALINAS, 1972 e BLACK, 1968) e dificultando o manejo do solo (ULRICH & KHANA, 1972). Estes solos foram denominados de "alkali preto" na literatura Anglo-Americana e correspondem aos "solonetz" no sistema de classificação Russa (RICHARDS, 1974 e KODVA, 1973).

Os solos salino-sódicos possuem excesso de sais solúveis e sódio trocável e são resultantes dos processos combinados de salinização e sodificação (PEREIRA, 1983). Segundo o US Salinity Laboratory Staff os solos salino-sódicos têm uma condutividade elétrica em extrato de saturação maior que 4mmhos/cm e percentagem de sódio trocável maior que 15 (RICHARDS, 1974). Para PEREIRA et alii, (1986) as características físicas dos solos salino-sódicos são semelhantes às dos solos salinos. Entretanto, se os sais solúveis são removidos, podem adquirir rapidamente as características dos solos sódicos. Isto ocorre após irrigações excessivas ou chuvas pesadas que conduzem ao carreamento dos solos solúveis para camadas inferiores do solo. Estes solos apresentam pH variando de ligeiramente ácidos e alcalino e complexo sortivo com alto teor de bases com predomínio de cálcio, magnésio e sódio em diferentes proporções (HAYWARD & WALEIGH, 1949).

Os sais solúveis do solo que contribuem efetivamente para a salinização e sodificação do solo, consistem em sua maioria nos cátions sódio, cálcio e magnésio e nos ânions cloreto, sulfato e bicarbonato e em menor quantidade os íons potássio, nitrato e carbonato. A fonte original e de certo modo a mais direta, da qual provêm estes sais, são os minerais primários que se encontram no solo e nas rochas expostas da crosta terrestre (DAKER, 1970). Durante o processo de intemperização química, que implica em hidrólise, hidratação, solução, oxidação e carbonatação, estes constituintes são liberados gradualmente e se tornam mais solúveis (ISRAELSEN & HANSEN, 1965). Esses sais ao serem transportados por água superficiais e subterrâneas, podem se acumular no solo quando as condições de clima e relevo são favoráveis. Deste

modo, altas taxas de evaporação e baixa precipitação, associadas às características do material de origem e as condições geomorfológicas e hidrológicas, condicionam a formação de solos com teores elevados de sais solúveis e sódio trocável (WHITEMORE, 1975).

A ocorrência de solos afetados por sais sob condições de aridez e semi-aridez, em várias partes do mundo, incluindo grande parte do Nordeste brasileiro, induziu pesquisadores ao desenvolvimento de métodos de análise visando a caracterização física e química desses solos e o estabelecimento de parâmetros para fins de classificação (OLIVEIRA & OLIVEIRA, 1984). A caracterização desses solos baseia-se na condutividade elétrica (CE) de extratos saturados a partir de pasta de solo, devido a sua relação com o teor de sais solúveis e na determinação da percentagem de sódio trocável (PST) ou da relação de adsorção de sódio (RAS) do extrato de saturação, por sua estreita correlação com a PST e na determinação do pH, empregado principalmente para diferenciação dos solos sódicos (McNEAL, 1976; WHITEMORE, 1975 e RICHARDS, 1974).

## 2.2. Recuperação de solos afetados por sais através do uso do gesso.

Para a recuperação de solos afetados por sais são necessários práticas especiais de manejo e as vezes a aplicação de corretivos químicos. A recuperação de solos salinos requer lavagem suficiente com água de boa qualidade para remoção do excesso de sais solúveis da zona radicular. Essa remoção pode ser afetada por drenagem ineficiente, baixa condutividade hidráulica, causada por camadas restritivas e pela falta de água de boa qualidade para lavagem. Na recuperação de solos salino-sódicos e sódico é necessário a substituição do sódio trocável pelo cálcio e posterior remoção por lixiviação. As dificuldades que podem ocorrer nesta remoção são as mesmas dos solos salinos, bem como da disponibilidade de reservas de cálcio e de sua incorporação no solo (BRESLER et alii, 1982 ;

OSTER & FRANKEL, 1980 e ABREU et alii, 1975). Dentre os corretivos que podem ser empregados consideram-se: os sais solúveis de cálcio (cloreto de cálcio e gesso), ácidos ou formadores de ácidos (ácidos sulfúricos, enxofre, sulfato de ferro e sulfato de alumínio), sais de cálcio de baixa solubilidade (clacáreo) e matéria orgânica (PEREIRA et alii, 1986; NAVARRO, 1979 e QUIRK, 1971). O emprego de um determinado corretivo depende principalmente da presença de carbonatos de metais alcalino-terrosos e de pH do solo (PIZARRO, 1978; PRATHER et alii, 1978 e RICHARDS, 1974). Os sais de cálcio para substituir os íons sódio no complexo de troca. Ácidos ou formadores de ácidos, dissolvem os carbonatos e bicarbonatos de cálcio e magnésio, fonte de cátions para substituir o sódio trocável. Os parâmetros físico-químicos utilizados para avaliar a eficiência dos corretivos são a taxa de diminuição da PST, pH do solo, a taxa de infiltração, a diminuição da condutividade elétrica e a condutividade hidráulica. A eficiência do corretivo pode ser definida também através da relação entre a quantidade de sódio substituído e a de cálcio adicionado, expresso em meq/100g de solo (SHAIMBERG et alii, 1982).

O gesso, corretivo de fácil aquisição e custo relativamente baixo, é o mais usado na recuperação de solos com problemas de sódio. Devido a sua solubilidade relativamente baixa (1 litro de água a 25°C dissolve apenas 2,6g de gesso) grandes quantidades de água devem ser adicionados ao solo para completa dissolução (MAGDOFF & BRESLER, 1973). Segundo RITCHEY et alii (1981), para dissolver uma quantidade de gesso que forneça 2000kg de  $Ca^{++}$  são necessários 226mm de água.

A quantidade de corretivo pode ser calculada em função de sódio trocável ou da necessidade de gesso, determinada diretamente do solo. A eficiência do gesso como corretivo depende das suas propriedades de dissolução. Alguns dos fatores que influenciam a taxa de dissolução do gesso são a área superficial ou tamanho das partículas de gesso, composição eletrolítica da solução do solo e velocidade da água durante o processo de lavagem (KEREN & O'CONNOR, 1982; OSTER & FRANKEL, 1980 e KEMPER et alii 1975). Segundo HIRA & SINGH

(1980), a velocidade de dissolução também depende da atividade de  $\text{Ca}^{++}$  na solução e da facilidade com que esse elemento desloca outros cátions do complexo de troca. O gesso tem uma solubilidade em água pura de 30meq/l, variando, em solos salinos, com a composição da solução. Em solos sódicos com pH menor que 8,5 a solubilidade pode ser de 35 a 40meq/l. Com pH maior que 9,0 e em presença de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  a solubilidade do gesso se reduz muito em função do tamanho das partículas. O conteúdo de água do solo, a forma de aplicação e a pureza do produto também tem influência na velocidade de reação (MATIAS FILHO, 1983).

Na recuperação de solos, ainda que as reações químicas sejam simples, os processos envolvem simultaneamente dissolução, troca de cátions e movimento de solutos e de água (ZARUBINA, 1979 e ABROL et alii, 1975). GLAS et alii (1979), tentou descrever a dissolução do gesso e movimento iônico por uma equação de proporção de primeira ordem em combinação com a equação de dispersão-propagante. A aplicação de modelos computadorizados tem permitido o estudo simultâneo de vários fatores que influenciam na recuperação de solos sódicos e selecionar melhor a fonte de  $\text{Ca}^{++}$ , como o gesso ou outras substâncias. ROBINS et alii (1980), usaram um modelo combinado de transporte químico de sais que incluíram precipitação e dissolução do calcáreo e do gesso durante o transporte e a troca de cátions.

A eficiência do gesso na recuperação de solos com problemas de sódio não atinge, em geral, as camadas mais profundas do perfil, provavelmente devido a concentração deste se reduzir e a do sódio passar a predominar, já que a troca  $\text{Ca} - \text{Na}$  ocorre só até onde a relação de adsorção de sódio atinge o equilíbrio com o sódio trocável inicial (OSTER & FRENKEL, 1980). A ação do gesso praticamente não vai além da profundidade na qual é misturado e dificilmente são observados efeitos favoráveis em profundidades maiores, mesmo com subsolagem (FERREYRA & COELHO, 1986; SILVA, 1978; EL MOWEIH et alii, 1976, LOVEDAY, 1976 e RASMUSSEN et alii, 1972).

GOWDA (1978), encontrou reduções no pH do solo tanto com baixas como com altas doses de gesso. SHETTY (1975),

constatou que o gesso foi eficiente na redução do pH de solos sódicos de textura franco-argilosa, porém o resultado foi melhor quando o gesso foi aplicado juntamente com outros corretivos como matéria orgânica. Segundo COALE et alii (1984), a redução do teor de sódio trocável e do pH é causada pela substituição do Na trocável pelo Ca e posterior remoção dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{OH}^-$  através da água de irrigação. Por outro lado KIEHL & FRANCO (1984), observaram que ao aplicarem 2t/ha de gesso tiveram inicialmente efeito acidificante no solo, após nove semanas o pH tornou-se quase igual ou até superior ao pH original.

Alguns pesquisadores visando melhorar a eficiência da ação do gesso, testaram sua aplicação em combinação com outros produtos químicos e orgânicos, que atuam como melhoradores das características físicas e químicas dos solos salino-sódicos. FREITAS (1983), estudou o efeito da aplicação do gesso, cloreto de cálcio e materiais orgânicos nas características de transmissão de água e na estrutura de um solo salino-sódico. Os corretivos químicos apresentaram efeito positivo mais pronunciado que os tratamentos com materiais orgânicos e, entre eles, o gesso mostrou ser o mais eficiente. SHETTY (1975), estudando a combinação gesso e bagaço da cana-de-açúcar, verificou que o gesso reduziu o pH e que em combinação com o sulfato de zinco, elevou a produtividade agrícola em solos salino-sódicos. MUSTAFA & ABDEL-MAGID(1981), verificaram que o gesso foi pouco eficiente na redução da PST, quando foi aplicado em solo salino-sódico argiloso, com predominância de montmorilonita. Do mesmo modo, LEFFELOAR & SHARMA (1977), encontraram que somente o gesso não foi suficiente para a recuperação de um solo salino-sódico, porém pode apressar o processo e melhorar a infiltração.

FERREYRA & COELHO (1986), estudaram o efeito do gesso e da aração mais subsolagem na produtividade do arraz, cultivado em um solo sódico. Verificaram que a condutividade elétrica aumentou após a aplicação de gesso e diminuiu gradualmente no decorrer do experimento, atribuindo esse comportamento à solubilização do gesso e à baixa taxa de infiltração

do solo. A aplicação de gesso também provoca mudanças no grau de floculação dos colóides, contribuindo para melhorar a estrutura e a permeabilidade do solo (KEREN & SHAINBERG, 1981; PEREIRA et alii, 1986 e LOVEDAY, 1976), sendo a substituição do sódio trocável pelo cálcio o principal responsável para sua estabilização (KEREN & O'CONNOR, 1982).

### 2.3. Cultura do arroz (Oryza sativa L.) em solos afetados por sais.

A maioria dos estudos de salinidade sobre o crescimento vegetal tem sido realizada com relação aos íons sódio e cloreto (ROBINSON, 1971). O arroz é uma cultura que apresenta capacidade de absorver sódio e cloreto mesmo em concentrações externas moderadas (FLOWERS & YEO, 1981; JHON et alii, 1977; KORKOR & ABDEL-AAL, 1974). Diversos estudos mostram que a salinidade afeta o crescimento da planta de arroz, em grau variável, em todos os estágios de desenvolvimento. O arroz é tolerante à salinidade durante a germinação, muito sensível no estágio de plântula (de 2 a 3 folhas), aumenta a resistência durante a fase vegetativa e torna-se sensível, novamente durante a fase de floração e mais tolerante durante a maturação (PRISCO, 1980; CASTRO & SABADO, 1977 e PEARSON, 1960). Diferença entre cultivares tolerantes e susceptíveis a salinidade em função da produção de matéria seca, foram encontradas por FAGERIA et alii (1981). Na realidade o efeito da salinidade além do estágio de desenvolvimento está relacionado com a concentração e a natureza do sal, duração de salinização e com a cultivar (FAGERIA, 1984).

O cultivo do arroz é comumente utilizado na recuperação de solos afetados por sais, pela grande quantidade de água requerida durante o período vegetativo (30.000 a 40.000m<sup>3</sup>/ha nas regiões áridas) reduzindo a salinidade, além de ser possível obter-se uma boa produção (PEARSON & AYERS, 1976).

A produtividade do arroz em solos sódicos após apli

cação de gesso tem mostrado resultados variáveis. GHEYI (1983), trabalhando com diferentes cultivares de arroz em solo sódico (São Gonçalo-PB), obteve um aumento da produtividade média de 32% e 40% para 30 e 60t/ha de gesso aplicados, respectivamente, enquanto que em outro solo sódico (Sumê-PB) a produtividade diminuiu 9% para 20t/ha de gesso aplicado. FERREYRA & COELHO (1986), combinando subsolagem e gesso, em solo sódico de baixa permeabilidade, encontraram aumento na produtividade do arroz com 6 a 12t/ha de gesso enquanto que com 18t/ha teve efeito depressivo na produtividade. A subsolagem associada à aplicação de gesso permitiu a elevação dos rendimentos com o emprego de quantidades relativamente pequenas de corretivos.

A salinidade afeta diretamente o crescimento de planta pelo aumento de pressão osmótica na solução do solo, pela acumulação de certos íons no tecido vegetal em concentrações tóxicas e alteração do estado nutricional da planta (BERNSTEIN, 1961). Aumentos na concentração dos sais diminui a disponibilidade de água para as plantas, pelo aumento do potencial osmótico, de modo que as plantas precisam de energia adicional para a retirada da água do solo, em relação a energia gasta em solos não afetados por sais (AYERS & WESTCOT, 1976). Segundo NORTHCOTE & SKENE (1972), os limites de concentração salina na superfície do solo, estabelecidos com NaCl que determina o desempenho de muitas culturas varia de 0,1% em solos de textura média a grossa e 0,2% em solos de textura argilosa, concentrações em que a CE do extrato de saturação se aproxima de 4mmhos/cm a 25°C. Se o solo superficial está livre de sais e o subsolo tem salinidade o limite aumenta de 0,3%.

#### 2.4. Infiltração da água em solos afetados por sais.

A infiltração é o processo pelo qual a água penetra no solo, através de sua superfície, verticalmente. É um fenômeno complexo, dependente de inúmeras variáveis relacionadas

às características físicas, químicas e morfológicas do solo, especialmente o conteúdo inicial de água no solo (REZENDE & SCALOPPI, 1985; BERNARDO, 1982; RANSEY, 1976). HILLEL (1971) sugeriu o termo infiltrabilidade para designar o fluxo que o perfil do solo pode absorver através, de sua superfície quando mantida em contato com a água, a pressão atmosférica. De acordo com BRESLER et alii (1982), a infiltração da água através do solo é extremamente importante do ponto de vista da salinidade do solo. A água e os sais podem infiltrar, acumular ou escoar. As duas últimas possibilidades são determinadas pela taxa de precipitação e sua taxa de infiltração do solo.

Os processos de infiltração e evaporação de solos sódicos e salino-sódicos são afetados pelo teor de sódio trocável e concentração da solução do solo. Ao se formar, na superfície do solo, uma camada endurecida, a taxa de infiltração será reduzida provocando encharcamento, aeração deficiente e grande perda de água por escoamento superficial e evaporação (COELHO, 1983).

VELAYUTHAM et alii (1977), trabalhando com solos sódico-argilosos tratados com gesso, observaram que a taxa de percolação melhorou nos primeiros 10 dias, baixou nos 20 dias seguintes 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 estudados, durante o período de recuperação, a percolação foi maior quanto ao teor de sais solúveis. Os resultados mostraram que a percolação nos solos sódicos foi de 1,5ml/h e nos salinos-sódicos de 18,7ml/h.

Na recuperação de um solo salino por lavagem, VALDIVIESO (1984) verificou que, a água percolada conferida por testes de infiltração, variou de 1,5 a 2mm/dia. Da água aplicada (em torno de 200mm), 50% perdeu-se através das fendas do solo. Cerca de 30% perdeu-se por evaporação no período de 15 dias que a água demorou para infiltrar-se, permanecendo uma lâmina de água sobre o solo. Assumindo-se que 5% são perdas por escoamento superficial, a eficiência de uso

de água de lavagem foi de 15%, obtendo-se uma desalinização até um nível de 50% dos teores iniciais.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Solo

O solo utilizado pertence a área DS<sub>1</sub> do perímetro irrigado da Fazenda Experimental da Universidade Federal do Ceará no Vale do Curu, no município de Pentecoste-CE. A fazenda se encontra a 110km de Fortaleza e está localizada entre os paralelos 3°45' e 4°00' latitude sul, entre os meridianos 39°15' e 39°30' a oeste de Greenwich, com altitude de 47m. O clima da região, de acordo com a classificação de KOEPPEN, é o semi-árido. Apresenta uma média anual de precipitação em torno de 900mm, com temperatura média anual de 26°C e umidade relativa de aproximadamente 73% (COELHO, 1971).

A área DS<sub>1</sub> pertence a uma unidade de solo aluvial eutrófico afetada por sais (salino-sódico). O solo foi classificado como Aluvial Vértico Halomórfico (Vertic Torrifluent) por COELHO (1971) e apresenta algumas características comuns a muitos solos irrigados do Nordeste. O lençol freático está entre 1 a 2m de profundidade. A textura fina (argila e argila siltosa) e a elevada percentagem de sódio trocável lhe confere uma permeabilidade muito baixa, limitando seu uso principalmente ao cultivo do arroz. As características físicas e químicas do solo são indicadas no Quadro 1.

#### 3.2. Cultura

Foi utilizado o arroz (Oryza sativa L.) cultivar IAC-125, cedido pelo Laboratório de Sementes do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará.

QUADRO 1 - Características físicas e químicas do solo Aluvial Vértico Halomórfico.

DETERMINAÇÃO	PROFUNDIDADE, cm	
	0 - 20	20 - 40
GRANULOMETRIA		
AREIA, %	12	13
SILTE, %	39	46
ARGILA, %	49	41
CLASSE TEXTURAL	ARGILA	ARG. SILTOSA
UMIDADE		
1/3 atm	37,8	35,5
15 atm	18,8	17,0
MATÉRIA ORGÂNICA, %	1,97	1,34
pH (1:2,5 em H <sub>2</sub> O)	6,9	6,8
CE <sub>25</sub> mmhos/cm	10,45	5,26
RAS, %	16,0	18,2
CÁTIONS TROCÁVEIS meq/100g		
Ca <sup>++</sup>	10,1	6,3
Ma <sup>++</sup>	7,7	9,9
Na <sup>++</sup>	6,28	5,91
K <sup>+</sup>	0,22	0,22
CTC, meq/100g	24,3	22,3
PST	25,9	26,5

### 3.3. Procedimento experimental

Foram coletadas amostras de solo das profundidades 0 - 20 e 20 - 40cm, as quais foram submetidas à secagem ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2mm de abertura de malha. Em seguida, foram procedidas as análises químicas e físicas para a sua caracterização.

Amostras de 2500g de solo, de ambas as profundidades, foram colocadas em sacos plásticos e aplicado gesso de acordo com os tratamentos, que consistiram de 6 doses equivalentes a 0, 50, 75, 100, 150 e 200% do sódio trocável do solo. As quantidades de gesso usadas para cada tratamento, nas duas profundidades, são indicados no Quadro 2.

Após a aplicação de gesso em três repetições, o solo foi homogeneizado e incubado com um conteúdo de umidade igual a 1/3 de atmosfera por 30 dias. Novamente as amostras foram secas ao ar e destorroadas, sendo então divididas em duas partes: 500g de solo para análise e 2000g para o cultivo do arroz em vaso.

Os vasos plásticos continham um tubo de escoamento na parte inferior para a coleta do efluente durante o cultivo. Para evitar perdas de solo e facilitar o escoamento da água, no fundo dos vasos foram colocados uma tela de nylon e papel de filtro. Em cada vaso foram transplantadas 3 mudas de arroz com 10 dias de idade. As plântulas utilizadas foram obtidas em sementeiras com substrato de areia. A irrigação foi realizada diariamente mantendo-se constante uma lâmina de água de 5cm. Após 10 dias do transplântio foi realizado um desbaste, permanecendo as duas plantas mais robustas de cada parcela.

A adubação foi uniforme para todos os tratamentos consistindo de 100-80-80ppm de NPK fracionada em duas doses, aplicadas aos 17 e 48 dias após o transplântio. O cultivo foi mantido durante 77 dias, após os quais se procedeu a colheita da parte aérea da planta.

QUADRO 2 - Relação de tratamentos e quantidade de gesso aplicada.

TRATAMENTO (1)	PROFUNDIDADE, cm			
	0 - 20		20 - 40	
	meq/100g	t/ha(2)	meq/100g	t/ha
0	0	0	0	0
G 50	3,14	8,10	2,96	7,60 6,60*
G 75	4,71	12,20	4,43	11,40
G100	6,28	16,20	5,91	15,30
G150	9,42	24,30	8,87	22,90
G200	12,56	32,40	11,82	30,50

(1) Quantidade de gesso equivalente a % do sódio trocável

(2) Considerando a massa do solo em 1ha x 20cm = 3000t.

### 3.4. Parâmetros avaliados

#### 3.4.1. No solo

A medida da infiltração foi realizada antes do plantio do arroz, em duas repetições, medindo-se a lâmina infiltrada diretamente nos vasos plásticos. Para a determinação, foi colocado um plástico fino na superfície do solo e encheu-se com água até uma determinada altura. Em seguida, retirou-se o plástico rapidamente e fez-se a primeira leitura com o auxílio de uma régua graduada presa ao vaso. As leituras do nível da água foram realizadas nos tempos de 1, 3, 5, 10, 15, 25, 35, 50, 65, 95, 125, 185 e 245 minutos até a estabilização. Sempre que o nível da água baixava 3mm procedia-se a novo reabastecimento até o nível inicial. O teste de infiltração permitiu encontrar as constantes numéricas para aplicação da equação de Kostiaikov (GHOSH, 1985). Os valores de tempo acumulado ( $t$ ) e lâminas infiltradas acumuladas ( $z$ ) foram analisadas através de regressão linear e as equações de infiltração acumulada ( $z=kt^a$ ) e a velocidade de infiltração ( $I=mt^h$ ) obtidas.

Para a coleta do percolado foram mantidos vidros sob cada vaso. A intervalos semanais foi medido o volume, acondicionado em frascos e feitas as seguintes determinações no laboratório: a condutividade elétrica, medida em ponte salina (RICHARDS, 1974);  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  determinado por titulação com EDTA; sódio e potássio por fotometria de chama, e os sulfatos por turbidimetria (MASSOUM & CONRFIELD, 1963). A quantidade de íons lixiviados foi estimada a partir do volume e concentração de íons no efluente.

Para a avaliação das modificações físicas e químicas ocorridas no solo, antes e depois do plantio, foram realizadas as seguintes determinações: pH em água (1:2,5) determinado potenciometricamente; condutividade elétrica (CE) do extrato de saturação medida em ponte salina; cátions solúveis no extrato de saturação, determinando-se o  $Ca^{2+}$  e  $Ca^{2+}$

+  $Mg^{2+}$  pelo método complexométrico e titulação do EDTA, estimando-se o  $Mg^{2+}$  por diferença; o sódio e o potássio por fotometria de chama. Os cátions trocáveis foram extraídos com acetato de amônia normal pH 7,0, empregando-se para as determinações os mesmos métodos indicados para os solúveis; o valor T (capacidade de troca de cátions) obtidos pela soma dos cátions trocáveis e percentagem de sódio trocável (PST), calculada pela fórmula  $100Na^+/T$  (EMBRAPA, 1979). A determinação da estabilidade de agregados foi realizada com prévio umedecimento por atomização e por tamização em água com peneira de 0,25mm de abertura de malha durante 4 minutos (PAULA & COELHO, 1982).

Depois do plantio do arroz também foi determinado o grau de floculação, através da relação argila total, menos argila dispersa em água/argila total x 100, determinando a argila pelo método da pipeta.

#### 3.4.2. Na planta

A altura de planta foi determinada por ocasião da colheita, sendo medida as duas plantas desde o solo até o ápice da folha maior.

O número de perfilhos foi observado na ocasião da colheita em todas as parcelas.

A matéria seca foi determinada após secagem à temperatura de  $65^{\circ}C$ , até peso constante.

Na matéria seca da parte aérea foram efetuadas as determinações de nitrogênio total pelo método de Kjeldahl, descrito por LOTT et alii (1956), em extrato nitroperclórico; o fósforo total foi determinado pelo método do vanadato molibdato, descrito por CHAPMAN & PRATT (1961); o potássio e o sódio por fotometria de chama. A absorção de nutrientes pela parte aérea foi calculada multiplicando-se o peso da matéria seca pela concentração.

### 3.5. Delineamento estatístico

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado com medidas repetidas para duas profundidades, seis níveis de gesso e três repetições em disposição fatorial (36 parcelas). Após a análise de variância as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade (MONTGOMERY, 1976. Para a análise de variância do grau de flocculação ao solo e teores de NPK e Na na planta, os dados foram transformados em  $\arcsen \sqrt{\bar{x}}$  por estarem em percentagem.

A análise estatística foi realizada pelo Laboratório de Estatística e Matemática Aplicada da Universidade Federal do Ceará.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1. Efeito do gesso sobre o pH, a condutividade elétrica e estabilidade de agregados.

O efeito da aplicação do gesso sobre os valores de pH, condutividade elétrica (CE) e estabilidade de agregados (EA) no solo antes e depois do cultivo do arroz pode ser verificado pelos dados dos Quadros 3 e 4. Verifica-se no Quadro 3, que antes do cultivo os níveis de gesso não provocaram alterações nos valores de pH para a profundidade 0-20cm. A pequena elevação que ocorreu em relação ao pH original parece incomum, não havendo qualquer fato que justifique o comportamento diferente ocorrido nessa profundidade. Na profundidade 20 - 40cm foi verificada ligeira redução do pH em função dos níveis de gesso aplicados com diferença estatística significativa entre o pH correspondente ao tratamento G200 e a testemunha. A acidificação pode ser atribuída à substituição do hidrogênio trocável pelo cálcio do gesso, aumentando a concentração de  $H^+$  na solução do solo, especialmente no sistema fechado onde se processou a incubação. Resultados semelhantes foram relatados por ROTH et alii (1986); KIEHL & FRANCO (1984); FREITAS (1983) e OLSEN & WATANAB (1979). Os valores de pH contidos no Quadro 4, após o cultivo do arroz, permitindo a percolação da água, apresentaram redução em comparação com a testemunha, nas duas profundidades, proporcional às doses de gesso. Diferenças estatísticas significativas no pH foram verificadas entre a testemunha e os tratamentos a partir de G75, em ambas as profundidades (de 0-20cm e de G100, na profundidade de 20 - 40cm). Reduções no pH de solos afetados por sais após aplicação de gesso e cultivo foram observadas por FERREYRA E COELHO (1986); COALE et alii (1984) e GOWDA (1978), os quais atribuem tais reduções à

QUADRO 3 - Efeito de níveis de gesso antes do cultivo, sobre o pH, condutividade elétrica (CE) e estabilidade de agregados (EA).

TRATAMENTO (1)	PROFUNDIDADE, cm					
	0 - 20			20 - 40		
	pH	CE	EA	pH	CE	EA
		mmhos/cm	%		mmhos/cm	%
0	7,0	9,5a <sup>(2)</sup>	0,6a	6,9b	4,7a	0,1a
G 50	7,1	12,0b	2,1a	6,8b	7,3b	0,3a
G 75	7,0	13,9b	2,2a	6,8b	9,3b	0,7a
G100	7,0	12,7b	5,5b	6,7ab	8,5b	1,2a
G150	7,0	13,5b	5,4b	6,6a	9,5b	1,7a
G200	7,0	13,0b	12,9c	6,5a	8,7b	1,9a
CV, %	0,84	11,70	5,58			

(1) Quantidade de gesso equivalente a % do sódio trocável.

(2) Valores seguidos de letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5%.

QUADRO 4 - Efeito de nı́veis de gesso apōs o cultivo de arroz sobre o pH, condutividade elētrica (CE) e estabilidade de agregados (EA).

TRATAMENTO (1)	PROFUNDIDADE, cm					
	0 - 20			20 - 40		
	pH	CE	EA	pH	CE	EA
	mmhos/cm %		mmhos/cm %			
0	7,0c <sup>(2)</sup>	3,3ab	0,4a	6,6d	4,3b	0,8a
G 50	6,9bc	2,8ab	2,8b	6,5cd	4,3b	1,8ab
G 75	6,7b	1,6a	5,6c	6,4bc	4,3b	3,5b
G100	6,4a	1,5a	6,1c	6,3b	1,6a	9,9c
G150	6,7b	3,4ab	9,0d	6,1a	1,2a	10,3c
G200	6,6ab	4,5b	14,4e	6,0a	1,9a	13,3d
CV, %	0,84	11,7	5,58			

(1) Quantidade de gesso equivalente a % do sōdio trocāvel.

(2) Valores seguidos de letras minūsculas iguais nōo diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5%.

substituição do sódio trocável pelo cálcio e posterior remoção dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{OH}^-$  por lixiviação. De acordo com PEREIRA et alii (1986) a redução nos valores de pH são reflexos da diminuição da PST.

A aplicação de gesso mantendo-se o sistema fechado, resultou na elevação da CE (Quadro 3). Em média, os valores de CE dos tratamentos com gesso foram 13,0 e 8,6mmhos/cm e na testemunha 9,5 e 4,7mmhos/cm nas amostras superficial e subsuperficial, respectivamente. Em ambas as profundidades os valores de CE nos tratamentos com gesso foram significativamente diferentes dos da testemunha, porém não houve diferença entre os níveis de gesso, o que pode ter sido devido à solubilização do gesso que manteve-se em equilíbrio com as condições de umidade fornecida ao solo. As diferenças entre as profundidades foram causadas pelos teores de sais contidos inicialmente nas amostras. O aumento médio da CE ocasionado pelo gesso foi de 3,5 e 3,9mmhos/cm, valores muito próximos aos fornecidos pela solubilização do gesso em água. A solubilização do gesso em água, à temperatura ordinária, é aproximadamente 0,25% - 30meq/l (RICHARDS, 1974), podendo variar com a composição e concentração eletrolítica do meio e com o grau de finura do gesso (MATIAS FILHO, 1983; HIRA et alii, 1981).

Nas amostras com gesso cultivadas com arroz, submetidas portanto à percolação da água durante o período de cultivo de 77 dias, foram verificadas reduções da condutividade elétrica (Quadro 4). Nas duas profundidades, a magnitude da redução da CE foi decrescente em relação ao nível de gesso aplicado, com excessão dos níveis 150 e 200, na profundidade 0 - 20cm, onde a CE atingiu valores maiores que o da testemunha, e dos níveis 50 e 75, na profundidade 20 - 40cm, onde os valores de CE foram iguais aos da testemunha. Nesses tratamentos o volume de água percolada não foi suficiente para lixiviação dos sais do solo e para a completa solubilização do gesso aplicado. Resultados semelhantes foram relatados por PEREIRA & SILVA (1978). Através da análise de variância, foi verificado não existir diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos com gesso e a testemunha na

profundidade 0 - 20cm, sendo o tratamento G100 o que mais reduziu a salinidade do solo (1,5mmhos/cm). Na profundidade de 20 - 40cm, os tratamentos G100, G150 e G200 apresentaram diferenças significativas no valor CE, quando comparada com a testemunha, reduzindo-a em torno de 80%. As maiores doses de gesso proporcionaram maior permeabilidade ao solo e, consequentemente, um maior volume de água percolada, resultando no decréscimo dos valores da condutividade elétrica pela lixiviação dos sais (VALDIVIESO, 1984; ALPHEN, 1983; FREITAS, 1933; MUSTAFA & ABDEL-MAGID, 1981; ALAWI et alii, 1980; PEREIRA & SILVA, 1978).

Os resultados das determinações da estabilidade dos agregados, constam nos Quadros 3 e 4. Através dos dados, verifica-se o efeito positivo do gesso sobre esta característica. Nas amostras antes do plantio (Quadro 3), apenas na profundidade de 0 - 20cm, as que receberam níveis de gesso iguais a G100, G150 e G200, apresentaram aumentos estatisticamente significativos da estabilidade de agregados. O tratamento G200 chegou a aumentar a EA em vinte vezes mais que a testemunha. Na profundidade 20 - 40cm o gesso aumentou a EA, no entanto, foram pouco expressivos e possivelmente ocasionados pelo limitado teor de umidade (1/3atm) em que se processou a incubação, não permitindo a solubilização completa do gesso prejudicando, consequentemente, a troca do sódio pelo cálcio no complexo sortivo. Já na totalidade dos tratamentos que incluíram a aplicação de gesso com incubação e o cultivo do arroz (Quadro 4), foram verificados aumentos significativos na estabilidade de agregados nas duas profundidades com excessão do tratamento G50, da profundidade 20 - 40cm. Tratando-se de um sistema aberto, com adição e percolação de água, houve, certamente, maior solubilização do gesso e troca do  $\text{Na}^+$  pelo  $\text{Ca}^{2+}$  no complexo sortivo do solo, resultando em aumentos expressivos da estabilidade de agregados. Os aumentos foram proporcionais aos níveis de gesso aplicados. Estes resultados estão de acordo com os apresentados por GIFFONI (1987); FREITAS (1983) e PADHI et alii (1965).

#### 4.2. Efeito do gesso sobre o teor de sódio trocável, porcentagem de sódio trocável e o grau de flocculação.

No Quadro 5 são apresentados os valores de sódio trocável (meq/100g), da PST e o grau de flocculação do solo após o cultivo do arroz. Foram verificados efeitos estatisticamente significativos da aplicação do gesso sobre os níveis de sódio trocável do solo nas duas profundidades. As reduções no nível de sódio trocável e na PST, em relação à testemunha, foram estatisticamente significativas e proporcionais aos níveis de gesso aplicados. O efeito do gesso na remoção do sódio trocável e, portanto, na correção do solo, é ilustrado na Figura 1. Verifica-se que os tratamentos testemunha sem gesso apresentaram substituição de 17 a 26% de sódio trocável, certamente causada pelo cálcio contido no adubo fosfatado (superfosfato simples). Nos tratamentos com gesso a substituição do  $\text{Na}^+$  pelo  $\text{Ca}^{2+}$  foi proporcional aos níveis de gesso aplicados até o nível G100, onde a substituição foi em torno de 75% nas duas profundidades. Esses resultados concordam com o indicado por OSTER & FRENKEL (1980), ao discutirem a química da recuperação dos solos sódicos com gesso e calcáreo, sugerindo que o requerimento de gesso para solos sódicos-calcáreos devem ser incrementados por um fator de 1,1 a 1,3, dependendo da porcentagem de sódio final desejada. A eficiência do gesso na redução do sódio trocável também são relatados por FREITAS (1983), KEREN & O'CONNOR (1982) PEREIRA & SILVA (1978), PADHI et alii (1965) e OVERSTREET et alii (1951).

A aplicação de gesso resultou em aumentos significativos do grau de flocculação, nas profundidades 0 - 20cm e 20 - 40cm, conforme se pode observar pelos dados do Quadro 5. Os aumentos foram proporcionais aos níveis de gesso aplicados nas duas profundidades e estatisticamente diferentes entre si, sendo mais expressivos na profundidade de 20-40cm, na qual o valor do grau de flocculação corresponde ao maior nível de gesso foi dez vezes maior que o da testemunha. A

QUADRO 5 - Efeito da aplicação de gesso no sódio trocável, na percentagem do sódio trocável e no grau de flocculação.

TRATAMENTO (1)	PROFUNDIDADE, cm					
	0 - 20			20 - 40		
	Na Trocável	PST	Grau de Flocculação	Na Trocável	PST	Grau de Flocculação
	meq/100g		%	meq/100g		%
0	3,82a <sup>(2)</sup>	17,5a	17,5e	5,02a	22,5a	4,0f
G 50	2,31b	10,6b	28,3d	3,33b	14,9b	19,9e
G 75	1,60bc	7,3c	33,6c	2,74b	12,3bc	23,0d
G100	1,26c	5,8cd	36,1b	1,76c	7,9cd	26,2c
G150	1,00c	4,6d	38,8ab	1,61c	7,2cd	29,4b
G200	1,01c	4,7d	39,4a	0,90c	4,0c	38,9a
CV, %	16,00	10,43	5,89			

(1) Quantidade do gesso equivalente a % do sódio trocável.

(2) Valores seguidos de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao 5%.

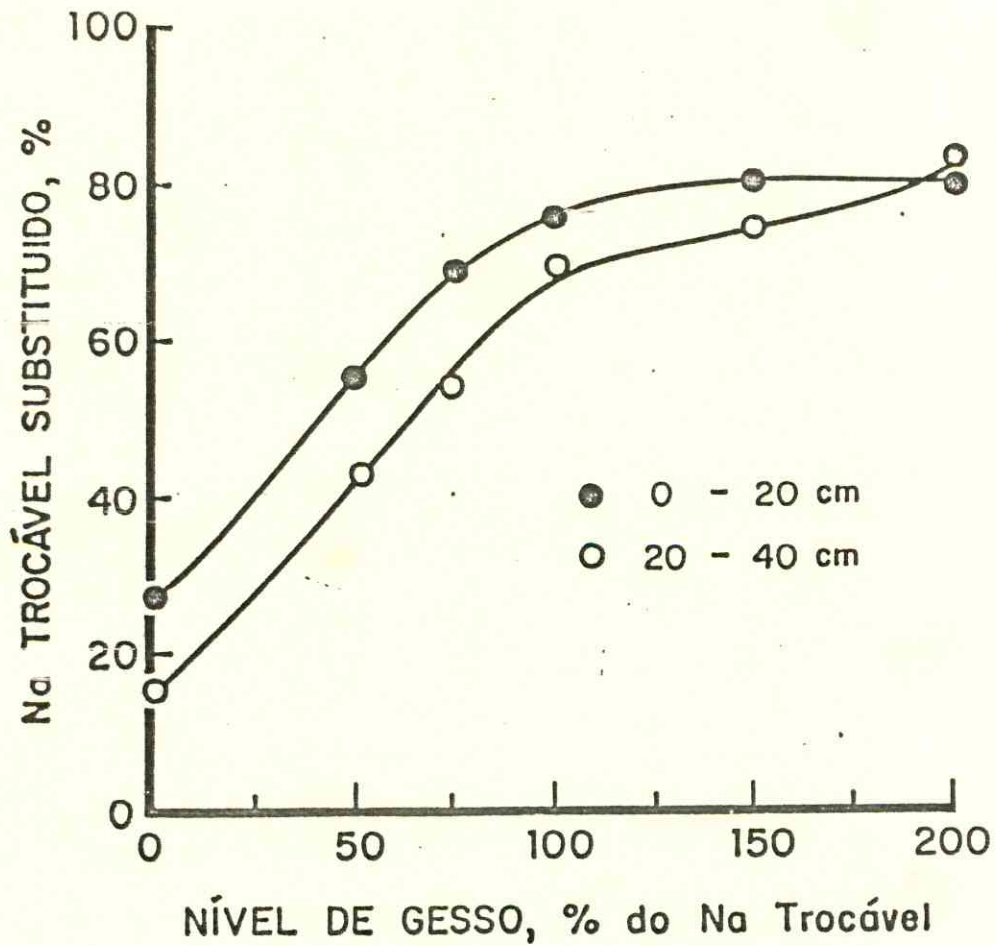


FIGURA 1 - Efeito de níveis de gesso na substituição do sódio trocável nas profundidades de 0-20 e 20-40cm.

substituição do sódio pelo cálcio, no complexo de troca, foi, certamente, a principal causa do aumento do grau de floculação. PEREIRA et alii (1986), HIRA et alii (1981), McNEAL et alii (1966) verificaram também efeitos significativos da aplicação do gesso sobre o grau de floculação.

#### 4.3. Efeito do gesso sobre a velocidade de infiltração

Os resultados dos testes de infiltração realizados através de leituras das lâminas infiltradas em vasos plásticos contendo amostras correspondentes aos seis tratamentos, nas profundidades de 0 - 20 e 20 - 40cm, são ilustradas nas Figuras 2 e 3. Nas amostras de ambas as profundidades foram verificados aumentos progressivos da velocidade de infiltração com os níveis de gesso aplicados. Na profundidade de 0 - 20cm observou-se que a testemunha (Figura 2), teve uma redução mais acentuada da velocidade de infiltração com o tempo em relação aos tratamentos com gesso. Certamente esse comportamento é causado pelo efeito do gesso sobre a redução do sódio trocável e aumento da estabilidade de agregados como indicado anteriormente.

Os valores médios da velocidade de infiltração inicial constam no Quadro 6, com os resultados da análise de variância. Verificou-se que os aumentos na velocidade de infiltração inicial foram altamente significativos nas duas profundidades. Na profundidade de 0 - 20cm, os valores correspondentes aos níveis G150 e G200 não diferiram estatisticamente entre si, mas foram significativamente diferentes dos correspondentes a testemunha e aos níveis G50, G75 e G100. O mesmo ocorreu na profundidade de 20 - 40cm, porém todos os tratamentos diferiram da testemunha, que apresentou velocidade de infiltração igual a zero. Aumentos na velocidade de infiltração resultantes da aplicação de gesso foram também observados por FREITAS (1983), HIRA et alii (1981), OSTER & FRENKEL (1980), KHOSLA et alii (1979) e YAHIA et alii (1975).

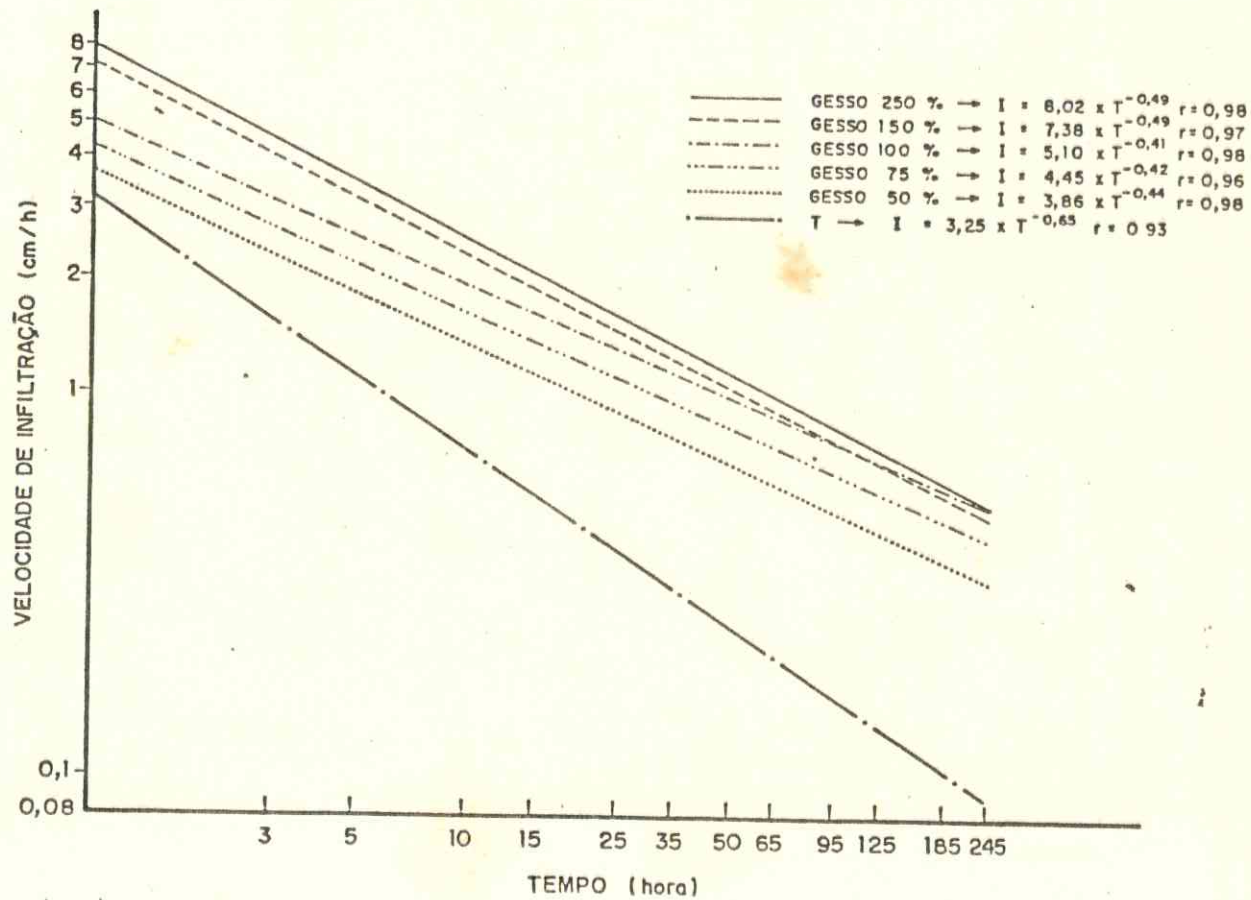


FIGURA 2 - Efeito dos tratamentos com gesso sobre a velocidade de infiltração, em função do tempo acumulado, na amostra de 0-20cm.

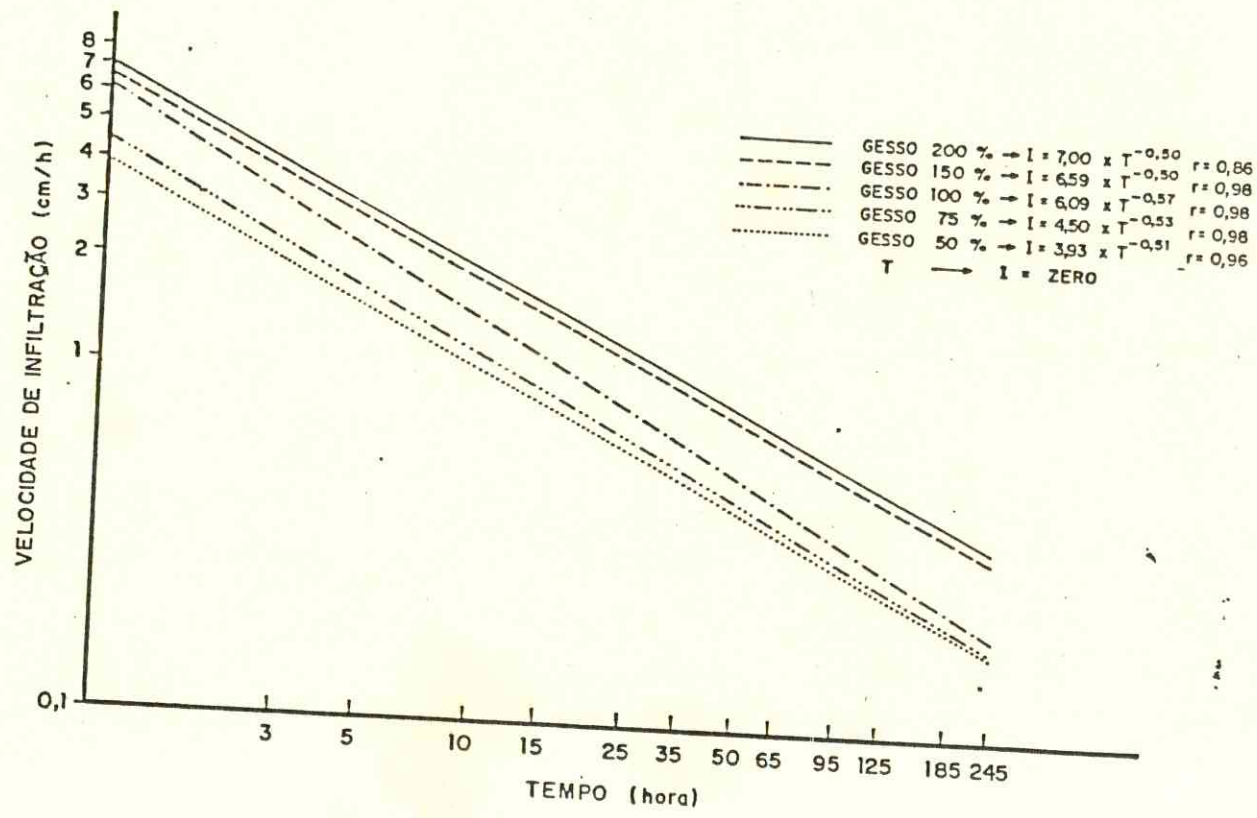


FIGURA 3 - Efeito dos tratamentos com gesso sobre a velocidade de infiltração, em função do tempo acumulado, na amostra de 20-40cm.

QUADRO 6 - Efeito do gesso na velocidade de infiltração inicial do solo.

TRATAMENTO <sup>(1)</sup>	PROFUNDIDADE, cm	
	0 - 20	20 - 40
	cm.h <sup>-1</sup>	
0	3,29a <sup>(2)</sup>	0,00a
G 50	3,86ab	3,93b
G 75	4,49ab	4,50bc
G100	5,10c	6,09cd
G150	7,38d	6,59d
G200	8,02d	7,00d

C.V. = 9,76%

(1) Quantidade de gesso equivalente a % de sódio trocável.

(2) Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

#### 4.4. Efeito do gesso sobre o volume do efluente e a lixiviação dos sais.

A influência dos níveis de gesso aplicados sobre o volume de água percolada e sobre a quantidade dos íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  lixiviados (meq/vasos), nos 77 dias de duração do experimento, é ilustrado na Figura 4.

Foram verificados aumentos no volume de água percolada proporcionais aos níveis crescentes de gesso nas duas profundidades, com exceção do nível G200 que resultou em menor volume de água percolada que o tratamento G150 (Figura 4A). Comparando-se as profundidades (Quadro 1) verifica-se que, embora com maior teor de argila na profundidade 0-20cm, o volume de água percolada foi superior ao da profundidade de 20 - 40cm em todos os tratamentos. Essas diferenças podem ser atribuídas principalmente, a maior concentração salina (CE = 10,4) apresentada pela profundidade 0 - 20cm a qual favoreceu o aumento na estabilidade de agregados e na velocidade de infiltração. Efeitos positivos da concentração salina sobre a permeabilidade do solo também foi observado por BRITO (1987); PARK (1980); McNEAL (1966) e QUIRK (1955). Os aumentos no volume percolado com os níveis de gesso, pode ser atribuída ao melhoramento das condições de transmissão de água no solo proporcionado pela substituição do sódio pelo cálcio do gesso (BRITO, 1987; FREITAS, 1983 e YAHIA et alii, 1975). A indicação de não ter havido total solubilização do gesso aplicado no nível G200 pode explicar o menor valor de água percolada neste tratamento em relação ao nível G150.

As curvas da quantidade de  $\text{Na}^+$  no efluente, constantes na Figura 4B, indicam ter ocorrido aumentos na lixiviação de sódio proporcionais aos níveis de gesso aplicados nas duas profundidades até o nível G150. No tratamento G200 ocorreu o mesmo fato constatado na variação do volume de água em função do nível de gesso aplicado (Figura 4A). A semelhança das curvas de concentração de  $\text{SO}_4^{2-}$  (Figura 4D em comparação com as Figuras 4A e 4B), reforça a indicação de que a solubi

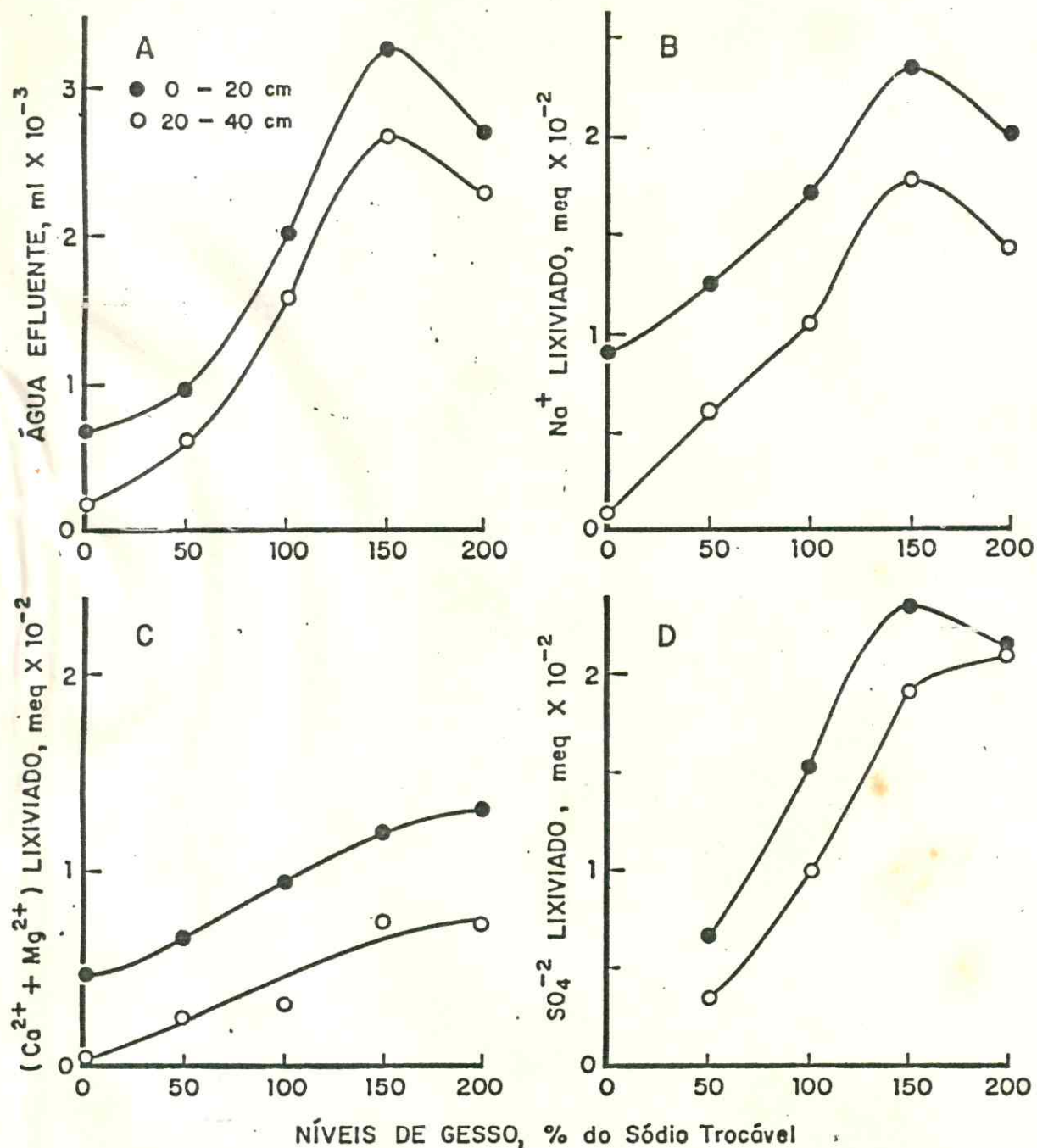


FIGURA 4 - Efeito de níveis de gesso no volume de água percolada (A) e na lixiviação do sódio (B), do cálcio + magnésio (C) e do sulfato (D).

lização do gesso não se processou totalmente no tratamento G200.

Os aumentos da quantidade de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  lixiviados (FIGURA 4C) foram também proporcionais aos níveis de gesso aplicados, nas duas profundidades. As diferenças nessas curvas foram provavelmente devidas ao fato da substituição do  $\text{Na}^+$  pelo  $\text{Ca}^{2+}$  ter ocorrido enquanto se processava a solubilização do gesso. Esses resultados concordam com os obtidos por ABROL & BHUMBLA (1973).

#### 4.5. Efeito do gesso sobre a cultura do arroz

Os efeitos dos tratamentos e da combinação tratamento vs. profundidade sobre a produção de matéria seca, altura de plantas, número de perfilhos e teores de nutrientes na parte aérea da cultura do arroz são apresentados nos Quadros 7 e 8. Os resultados dos mesmos efeitos sobre a absorção de N, P, K e Na pela planta se encontram nos Quadros 9 e 10, os quais incluem, também, o nível de significância estatística fornecido pela análise de variância e as diferenças estatísticas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os resultados referentes aos efeitos dos tratamentos com gesso sobre a produção de matéria seca da parte aérea, como pode-se observar no Quadro 7, mostram que o gesso aumentou a produção de matéria seca, sendo o tratamento G100 o que mais aumentou essa produção (9,99g). Foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos G75 e G100 e a testemunha, que apresentou o menor peso de matéria seca (7,56g). Já os tratamentos G50, G150 e G200 não diferiram estatisticamente da testemunha.

Comparando-se os resultados do Quadro 8, verifica-se que apenas na profundidade 0 - 20cm houve diferença estatística significativa entre os tratamentos com gesso e a testemunha. Nessa profundidade, a produção de matéria seca aumentou com o nível de gesso aplicado até o tratamento G100, diminuindo ligeiramente nos tratamentos com níveis superiores (G150

e G200). Quando comparadas as profundidades, observou-se diferenças estatísticas significativas entre as mesmas, sendo a profundidade 0 - 20cm a que teve maior produção de matéria seca. O aumento na produção de matéria seca pela aplicação de gesso, certamente foi devida a melhoria das condições físicas e químicas do solo, conforme resultados discutidos anteriormente. Para as diferenças estatísticas significativas encontradas entre as profundidades pode ter contribuído a maior atividade microbiológica, normalmente superior na camada superficial contribuindo, assim, no aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas, principalmente micronutrientes (ALEXANDER, 1977).

As diversas pesquisas realizadas para a recuperação de solos com problemas de sais utilizando o gesso como corretivo associado ao plantio do arroz, indicaram comportamento variável da cultura em relação à aplicação do gesso. AHETTY (1975), obteve incrementos na produção de matéria seca utilizando gesso, enquanto que PEREIRA & SILVA (1978) não encontraram diferenças entre tratamentos com e sem gesso, atribuindo esse fato à alta tolerância do arroz a solos afetados por sais. A tolerância à salinidade faz com que o arroz seja uma das principais culturas a ser empregada na recuperação de solos com problemas de sais (PEREIRA et alii, 1986).

A aplicação de gesso também elevou os valores de altura de plantas (Quadro 7), sendo que apenas o tratamento G75 apresentou diferença estatística significativa em relação a testemunha. A comparação dos dados de profundidade e a combinação profundidade vs. tratamento (Quadro 8) não mostrou diferença estatística significativa para a altura de plantas, embora a profundidade 0 - 20cm tenha apresentado uma maior produção de matéria seca.

O número de perfilhos foi o parâmetro que apresentou maior variação, não sendo encontradas diferenças estatísticas significativas entre tratamentos, profundidades e nem na combinação tratamento vs. profundidade (Quadro 7 e 8). Foi observada, entretanto, uma tendência à produção de maior número de perfilhos quanto maior a produção de matéria seca.

Esses resultados sugerem que a produção de matéria seca é o parâmetro mais adequado para a avaliação da diferença entre tratamentos.

Em relação aos teores de nutrientes na matéria seca da parte aérea do arroz, a percentagem de N e P não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre tratamentos (Quadro 7), profundidades e combinação tratamento vs. profundidades (Quadro 8) Quando os resultados foram expressos em quantidade de nutriente absorvido (mg/vaso) observou-se que tanto o N como P apresentaram diferenças estatísticas significativas entre tratamentos (Quadro 9), correspondendo as maiores absorções para os tratamentos G75 e G100. Esses tratamentos apresentaram maior produção de matéria seca e se diferenciaram estatisticamente da testemunha. Quando comparadas as profundidades e a combinação tratamento vs. profundidade (Quadro 10), verificou-se que o conteúdo de N na parte aérea apresentou diferença estatística significativa apenas entre profundidades, enquanto que o P apresentou diferença estatística em ambos.

A concentração de K na matéria seca mostrou uma tendência a aumentar com os níveis de gesso aplicados (Quadro 7), sendo que apenas os níveis G150 e G200 apresentaram diferenças estatísticas significativas em relação a testemunha. A concentração de K apresentou também diferenças estatísticas significativas entre profundidades, apresentando um maior valor na profundidade 20 - 40cm, onde a produção de matéria seca foi menor. Na combinação tratamento vs. profundidades (Quadro 8) não foram observadas diferenças estatísticas significativas. Em relação a absorção de K (Quadros 9 e 10) verifica-se que as maiores quantidades absorvidas estavam associadas com a maior produção de matéria seca, registrando-se diferenças estatísticas significativas entre os níveis de gesso e profundidades. O aumento na concentração de K com os níveis crescentes de gesso pode ser explicado em base da maior disponibilidade pela liberação de K trocável pelo cálcio do gesso e também devido a uma regulação fisiológica da planta em que a absorção de K é maior do que a de Na (GREENWAY & RANA MUNNS, 1980).

QUADRO 7 - Efeito principal do gesso na produção de matéria seca, altura, número de perfilho e teores de nutrientes da parte aérea do arroz.

TRATAMENTO	M.S.	ALTURA	Nº DE PERFILHO	N	P	K	Na
	(g)						
0	7,56c	32,33a	8,17	1,07	0,21	1,90a	0,54a
G 50	8,69abc	32,20a	8,00	0,96	0,23	1,89a	0,44ac
G 75	9,85ab	35,97b	9,33	1,08	0,22	2,16ab	0,36c
G100	9,99a	34,67ab	7,66	1,04	0,24	2,23ab	0,26b
G150	8,65abc	34,87ab	8,83	1,03	0,18	2,33b	0,22bd
G200	8,39bc	34,50ab	8,33	1,20	0,21	2,41b	0,19d
C.V.	11,78%	4,63%	8,12%	7,16%	11,45%	4,98%	7,46%

(1) Tratamentos seguidos de uma mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

QUADRO 8 - Produção de matéria seca, altura de planta, número de perfilho e teores de nutrientes na parte aérea do arroz, na combinação tratamento vs profundidade.

PROFUNDIDADE (cm)	TRATAMENTO	M.S (g)	ALTURA (cm)	Nº DE PERFILHO	N	P	K	Na
							%	
0 - 20	0	8,56a <sup>(1)</sup>	33,0	8,3	1,10	0,19	1,94	0,581
	G 50	10,49ab	33,4	7,3	1,01	0,18	1,83	0,464
	G 75	12,79bc	36,7	10,3	1,07	0,19	2,07	0,322
	G100	13,30c	35,0	7,6	0,95	0,22	2,05	0,260
	G150	10,46ab	35,0	9,7	0,99	0,18	2,23	0,194
	G200	10,04a	33,7	8,0	1,30	0,20	2,23	0,164
MÉDIA		10,94B	34,57A	8,8A	1,07A	0,19A	2,08A	0,33A
20 - 40	0	6,57	32,3	8,3	1,04	0,24	1,85	0,500
	G 50	6,88	33,0	8,6	0,91	0,28	1,94	0,409
	G 75	6,91	35,7	8,3	1,09	0,26	2,26	0,391
	G100	6,67	34,7	7,6	1,12	0,26	2,41	0,271
	G150	6,85	35,0	9,3	1,08	0,18	2,43	0,253
	G200	6,74	35,0	8,7	1,11	0,23	2,49	0,222
MÉDIA		6,80A	33,94A	8,4A	1,06A	0,24B	2,23B	0,34A
C.V		11,78%	4,63%	8,12%	7,16%	11,45%	4,98%	7,46%

(1) Tratamentos e médias seguidos de uma mesma letra não diferiram entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A concentração de Na, contrariamente ao K, mostrou uma tendência a diminuir com os níveis de gesso (Quadro 7), apresentando diferenças estatísticas significativas dos tratamentos com a testemunha a partir do nível G75. O sódio não mostrou diferenças estatísticas significativas entre profundidades e nem na interação tratamento vs. profundidade. A quantidade de sódio na parte aérea das plantas teve o mesmo comportamento da concentração de sódio, sendo que nesse caso houve diferença estatística significativa para tratamentos, profundidades e combinação tratamento vs. profundidade (Quadros 9 e 10). A diminuição na concentração e quantidade de sódio na parte aérea da planta com a aplicação de níveis crescentes de gesso são, certamente, devidas a lixiviação do sódio.

QUADRO 9 - Efeito principal do gesso no conteúdo de nitrogênio, fósforo, potássio e sódio da parte aérea do arroz.

TRATAMENTO	N	P	K	Na
	mg			
0	81,12a	15,87a	143,93a	41,15a <sup>(1)</sup>
G 50	84,13ab	19,00ab	154,13ab	38,37a
G 75	101,75b	20,98bc	211,05bc	34,05b
G100	99,48b	22,98c	217,57c	26,18c
G150	87,88ab	16,55a	197,37abc	18,18d
G200	97,33ab	19,03ab	205,57bc	15,22d
C.V	10,83%	18,01%	16,43%	14,12%

(1) Tratamentos seguidos de uma mesma letra não diferiram entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

QUADRO 10 - Conteúdo de fósforo, nitrogênio, potássio e sódio da parte aérea do arroz pela combinação tratamento vs profundidade.

PROFUNDIDADE (cm)	TRATAMENTO	mg			
		N	P	K	Na
0 - 20	0	93,2	15,9a	166,1	49,7c <sup>(1)</sup>
	G 50	105,4	19,0a	191,8	48,6c
	G 75	128,6	23,9ab	268,5	41,2bc
	G100	126,4	28,8b	272,2	34,3b
	G150	103,6	18,8a	233,6	20,3a
	G200	119,7	19,4a	232,2	15,7a
MÉDIA		112,86B	20,98B	227,4B	34,98B
20 - 40	0	68,5	15,80	121,7	32,6c
	G 50	62,8	19,0	116,5	28,1bc
	G 75	74,9	18,1	153,6	26,9bc
	G100	72,5	17,1	160,9	18,0ab
	G150	72,5	14,3	161,2	16,6a
	G200	75,0	18,6	178,9	14,7a
MÉDIA		71,04A	17,16A	149,1A	22,83A
C.V		10,83%	18,01%	16,4%	14,12%

(1) Tratamentos e médias seguidos de uma mesma letra não diferiram entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

## 5 . CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, podemos chegar às seguintes conclusões: o corretivo gesso influenciou os parâmetros de crescimento avaliados durante o cultivo do arroz, proporcionando maior altura de planta e maior produção de matéria seca, embora não tenha influenciado no número de perfilhos. A quantidade dos nutrientes N, P, K e Na absorvida pela planta apresentou diferenças entre níveis de gesso, enquanto que entre profundidades apenas o K e o Na apresentaram diferenças.

O gesso exerceu leve efeito acidificante no solo proporcional às doses aplicadas, sendo as reduções no pH da ordem de 0,5 unidades na maior dose (G200 ou 30ton/ha). Também foi verificada uma elevação da condutividade elétrica antes do cultivo, ocasionada pela solubilização do gesso e, após o cultivo, uma diminuição da CE pela lavagem dos sais.

O gesso proporcionou aumentos significativos na velocidade de infiltração, estabilidade de agregados e grau de flocculação, mostrando-se eficiência na substituição do sódio trocável. Tal substituição no solo foi proporcional às doses de gesso aplicadas até o nível G100, onde a substituição foi acima de 75%. Foram verificadas perdas de cálcio em quantidades equivalentes a 10 - 25% do cálcio aplicado no gesso através da água percolada.

## 6. LITERATURA CITADA

- ABREU, T.A.S.; MILLAR, A.A. & PEREIRA, J.R. Metodologia para o acompanhamento da evolução de problemas de sais em áreas irrigadas. DNOCS/ABID, III Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem, Fortaleza, 12p. 1975.
- ABROL, I.P. & BHUMBLA, D.R. Field studies on salt leaching in a highly saline-sodic. Soil Sci. 115: 429-433. 1973.
- \_\_\_\_\_.; DAHIYA, I.S. & BHUMBLA, D.R. On the method of determining gypsum requirement of soil. Soil Sci., 120(1): 30-36. 1975.
- ALAWI, B.J.; STROEHLEIN, J.L.; HANLON, E.A. Jr. & FURNER, F. Jr. Quality of irrigation water and effects of sulfuric acid and gypsum on soil properties and sudnggrass yields. Soil Sci. 129: 315-319, 1980.
- ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. 2nd. ed. John Wiley & Sons, New York, 467p. 1977.
- ALLISON, L.E. Salinity in relation to irrigation. Ad. Agron. 16: 139-180, 1964.
- ALPHEN, J.G. van. Rice in the reclamation of salt affected soils. Annual Report. ILRI. p.9-18, 1983.
- AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. Water quality for agriculture. Rome, FAO - Irrigation and Drainage Paper 29, 97p. 1976.
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária 463p. 1982.
- BERNSTEIN, L. Tolerance of plants to salinity. Proc. Amer. Soc. Civil Eng., 87: 1-12, 1961.
- BHUMBLA, D.R. and ABROL, I.P. Saline and Sodic Soils. In: Soil and Rice, IRRI. Los Baño. Philippines pp 729-738, 1978.

- BLACK, C.A. Soil Plant Relationships, 2ed. John Willey & Sons Inc. New York, USA 792p. 1968.
- BOWER, C.A. & WILCOX, L.V. Precipitation and solution of Calcium Carbonate in Irrigation Operations. Proc. Soil Sci. Soc. Am. Madison, 29: 93-94, 1965.
- BRESLER, E.; McNEAL, B.L. & CARTER, D.L. Saline and sodic soils. Springe-Verlag, Berlin Heidelberg, New York, 236p. 1982.
- BRITO, F.M. Efeito do gesso e da concentração salina da água na condutividade hidráulica do solo. Fortaleza, UFC 48p. Tese de Mestrado. 1987.
- CASTRO, R.V. & SABADO, S.R. Influence of varying levels of salt applied at diferent stages on growth and yield of rice. Grains J., 11 (3): 43-45, 1977.
- CHEN, Y. & BANIN, A. Scanning eletron microscopie (SEM) Observation of soil structure changes indecid-by sodium. Calcium exchange in relation to hydraulic condutivity. Soil Sci. 120: 428-436, 1976.
- CHAPMAN, H.D. & PRATT, P.F. Methods of analysis for soils plants and water. California, University Division of Agriculture Sci p. 161-174, 1961.
- COALE, F.J.; EVANGELOU, V.P. & GROVE, J.H. Effects of saline-sodic chemistry on soybeam mineral composition and stomatal resistence. J. Environ. Qual., 13 (4): 635-639, 1984.
- COELHO, M.A. Aspectos da água em solos sódicos e salino-sódicos. Cien. Agron. 14 (1/2): 61-68, Fortaleza, 1983.
- \_\_\_\_\_. Características de umidade de alguns solos de aluvião: Normais, Sódicos e Sódicos-Salinos. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1971.
- DAHIYA, I.S. Salt affected soils in India. II Theur Hazards to agricultural crops. Agriculture and Agro - Industries Journal, Bombay 10 (2) 11-26, 1977.

- DAKER, A. Irrigação e Drenagem 3: 245-431, Rio de Janeiro, 1970.
- DUQUE, G.J. Solo e água no polígono das secas 3ª ed. 306p. (DNOCS - Publicações, 154) Fortaleza, DNOCS, 1953.
- EATON, P.M. Significance of carbonates in irrigation water. Soil Sci., Baltimore, 69: 123-133, 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.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de Métodos de Análises de Solos. Rio de Janeiro, SCLCS, 1979.
- FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. & GHEYI, H.R. Avaliação de cultivares de arroz para tolerância a salinidade. Pesq. agropec. bras. Brasília, 16 (5): 677-681, set/out. 1981.
- \_\_\_\_\_. Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz. Rio de Janeiro, Ed. Campus; Goiânia: EMBRAPA, 1984.
- FERREYRA, F.F.H. & COELHO, M.A. Efeito de doses de gesso e subsolagem na produtividade de arroz em solo sódico. R. bras. Ci. Solo, 10: 157-161, 1986.
- FLOWERS, T.J. & YEO, A.R. Variability in the resistance of sodium chloride salinity within rice (Oryza sativa L.) varieties. New Phytol. 88: 363-373, 1981.
- FREITAS, J.A.D. Efeito de corretivos químicos e matéria orgânica sobre as características físicas e químicas de um solo salino-sódico. Fortaleza, UFC 72p. Tese de Mestrado. 1983.
- GHEYI, H.R. Recuperação e/ou utilização dos solos afetados por sais. Campina Grande UFPB - Deptº Eng. Agric. 9p. 1983.
- GHOSH, R.K. A note on LEWIS-KOSTIAKOU'S infiltration equation. Soil Sci., 139: 193-196, 1985.
- GIFFONI, V.L.R. Efeitos da matéria orgânica sobre o crescimento do arroz (Oryza sativa L) e propriedades físicas e químicas do solo. Fortaleza, UFC. 75p. Tese de Mestrado. 1987.

- GLAS, T.K.; KLUTE, A. & McWHORTER, D.B. Dissolution and transport of gypsum in soils. II - Experimental. Soil Sci. Am. J. 43: 268-273, 1979.
- GOWDA, S.T. Relative efficiency of gypsum and sulphur in reclaiming salt affected soils. Agric. Agroind. J. 11(6): 27-28. 1978.
- GREENWAY & RANA MUNNS. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Ann. Rev. Plant Phytol. 31: 149-190, 1980.
- HAYWARD, H.E. & WADLEIGH, C.E. Plant growth on saline and alkali soils. Adv. in Agronomy, 1: 1-38, 1949.
- HILLEL, D. Soil and Water physical principles and processes. Academic Press, New York, 1971.
- HIRA, G.S.; BAJWA, M.S. and SINGH, N.T. Prediction of water requirement for gypsum dissolution in sodic soils. Soil Sci 131: 353-358, 1981.
- \_\_\_\_\_. & SINGH, N.T. Irrigation water requirement for dissolution of gypsum in sodic soil. Soil Sci. Am. J. 44: 930-933, 1980.
- ISRAEISEN, O.W. and HANSEN, V.E. Principles y aplicaciones del reigo. Traducción. Ed. Reverte, S.A. Barcelona, 1965.
- JOHN, C.D.; LIMPINNTANA, V. & GREENWAY, H. Interation of salinity and anaerobiosis in barley and rice. J. Exp.Bot. 28: 133-141, 1977.
- JONES, L.H. Aluminum Uptake in plants. Plant Soil, 13: 297-310, 1961.
- JURINAK, J.J. Salt-Affected soils. Dept<sup>o</sup> Soil Sci. and biome teorology, U.S. Univ., Logan. (Syllobus), 1978.
- KELLEY, W.P. Alkali soils. Their formation, properties and reclamation, In: PEREIRA, J.R. Acidez e calagem no Brasil. Campinas, SBCS. p.127-143, 1983.
- KEMPER, W.D.; OLSEN, J. & DeMOOY, C.J. Dissolution rate of gypsum in flowing water. Soil Sci. Soc. Am. J. 39: 458-463, 1975.

- KEREN, R. & O'CONNOR, G.A. Gypsum dissolution and sodic soil reclamation as affected by water flow velocity. *Soil Sci. Am. J.* 46: 726-732, 1982.
- \_\_\_\_\_. & SHAIMBERG, I. The efficiency of industrial and mixed gypsum in reclamation of a sodic soil-rate of dissolution. *Soil Sci. Am. J.* 45: 103-107, 1981.
- 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.
- KIEHL, J.C. & FRANCO, O. Efeito do gesso industrial sobre alguns componentes da fertilidade do solo. *O solo, Piracicaba-SP* 76 (1): 11-16, Jan/jun., 1984.
- KODVA, V.A. Soil in relation to salinity irrigation and drainage. In: *Irrigation drainage and salinity*. Paris, FAO/UNESCO. Hutchison e Co. Ltda., p. 55-79, 1973.
- KORKOR, S.A. & ABDEL-AAL, R.M. Effect of total soil salinity and type of salts on rice crop. *Agricultural Research Review (Cairo)* 5: 273-278, 1974.
- LEFFELOAR P.A. & SHARMA, R.P. Leaching a high saline-sodic soil. *Journal of Hydrology* 32: 203-218, 1977.
- LOBATO, E. & RITCHEY, K.D. Manejo do solo visando a melhorar o aproveitamento da água. In: *Efeito do gesso industrial sobre alguns componentes da fertilidade do solo. O solo, Piracicaba-SP.* 76(1): 11-16, Jan/Jun., 1984.
- LOTT, W.L.; NERY, J.P.; GALLO, J.R.; MEDECALF, V.C. Leaf analysis technique in coffee research. *IBEC Res. Inst. Bul.* 9, 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: 361-371, 1976.
- LYERLY, P.J. & LONGENECKER, D.E. Salinity control in irrigation agriculture. In: *Recuperação de solos afetados por sódio através do uso do gesso. Anais do I Seminário sobre o uso do fosfogesso na agricultura, Brasília-DF.* 1986.

- MAGDOFF, F. & BRESLER, E. Evaluation of methods for reclaiming sodic soils. In: Physical aspects of soil, water and salts ecosystems. 4: 441-452. Berlin-Heidelberg. New York Springer, 1973.
- MASSOUMI, A. & CORNFIELD, A.H. A rapid method for determining sulphate in water extract of soil and plants. Analyst, Londres, 88: 321-332, 1963.
- MATIAS FILHO, J. Recuperação de solos salino-sódicos. In: Efeito de corretivos químicos e matéria orgânica sobre características físicas e químicas de um solo salino-sódico. Teses para concurso Prof. Titular. 72p. 1983.
- McNEAL, B.L. Managing salt-affected soil. Crops and soil Magazine, 12: 12-13, 1976.
- \_\_\_\_\_. & COLEMAN, N.T. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30: 308-312, 1966.
- MONTGOMERY, D.G. Analysis of Experiments - John Wiley sons 418p. 1976.
- MUSTAFA, M.A. & ABDEL-MAGID, E.A. The effects of irrigation interval, ureia-N and gypsum on salt redistribution in a highly saline-sodic montmorillonitic clay soil under forage sorgum. Soil Sci., 132: 308-315, 1981.
- NAVARRO, E.A. El ensalitramiento de los suelos bajo riego (Identificación, Control, Combate y Adaptación). Chapingo, colegio de post-graduados, 383. 1979.
- NORTHCOTE, K.H. and SKENE, J.K.M. Australian soils with saline and sodic properties. Soil publication n<sup>o</sup> 27 CSIRO, Austrália, 1972.
- OLIVEIRA, L.B. & OLIVEIRA, M.R.B. Caracterização de horizonte sálico em solos do perímetro irrigado de Moxotô - PE. Pesq. agropec. bras., Brasília, 19 (4): 499-505, maio 1984.
- OLSEN, S.R. & WATANABE, F.S. Interaction of added gypsum in alkaline soils with uptake of iron, molybdenum, man

- ganese and zinc by sorghum. Soil Sci. Soc. Am. J. 43:125-130, 1979.
- OSTER, J.D. & FRENKEL, H. The chemistry of the reclamation of sodic soils with gypsum and lime. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 41-45, 1980.
- OVESTREET, R.; MARTIN, J.C. and KING, H.M. Gypsum, sulfur and sulfuric acid for reclaiming an alkali soil of the fresno series. Hilgardia 21: 113-127, 1951.
- PADHI, V.C.; ODELL, R.T.; FEHRENBACHER, J.B. & SEIF, R. D. Effect of gypsum and atarch on water movement and sodium removal from solonetzic soils in Illinois. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29: 227-229, 1965.
- PARK, C.S. & O'CONNOR, G.A. Salinity effect on hydraulic properties of soils. Soil Sci. 130: 167-174, 1980.
- PAULA, J.L. & COELHO, M.A. Método para determinação da estabilidade de agregados em solos sódicos e salino-sódicos. R. bras. Ci. Solo. 6: 155-160, 1982.
- PEARSON, G.B. & AYERS, A.D. Rice as a crop for sal affected soil in process of reclamation. Rome, FAO - Irrigation and Drainage Paper 466, 43p. 1976.
- \_\_\_\_\_. Tolerance of crops to exchangeable sodium. USDA Information Bull 216. 4p. 1960.
- PECK, A.J. Salinization of non - Irrigated soils and associated streams: a review. Australian Journal of soil Research 16: 157-168, 1978.
- PEREIRA, J.R. Solos salinos e sódicos. In: Acidez e calagem no Brasil. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. p. 127-143, 1983.
- \_\_\_\_\_.; VALDIVIESO, C.R. & CORDEIRO, G.G. Recuperação de solos afetados por sódio através do uso do gesso. In: Anais do I Seminário sobre o uso do fosfogesso na agricultura. Brasília-DF, 1986.

- PEREIRA, Z.M.R. Possibilidade de uso de água salina na recuperação de solos sódicos do perímetro irrigado de São Gonçalo. Fortaleza, MINTER/DNOCS - ABID, p. 208-218, 1978.
- PEREIRA, E. & SILVA, F.J. Efeito dos diferentes níveis de gesso na correção de solos salinos-sódicos do perímetro irrigado de Poço da Cruz. Fortaleza, MINTER/DNOCS. ABIP, p.219-234, 1978.
- PIZARRO, F. Drenagem agrícola y recuperación de suelos salinos. Fortaleza, SUDENE/DNOCS, p.466, 1978.
- PONNAMPERUMA, F.N. Greenhouse screening for adverse soil tolerance, s.n.t. Paper presented at International Rice Research Conference, IRRI, Los Baños, Philippines, 16-20 April, 1979.
- PRATHER, R.J.; GOERTZEN, J.O.; RHOADES, J.D. & FRENKEL, H. Efficient amendment use in sodic soil reclamation. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 782-786, 1978.
- PRISCO, J.T. Alguns aspectos da fisiologia do "stress" salino. Revist. Brasil. Bot. 3: 85-94, 1980.
- QUIRK, J.P. Chemistry of saline soils and their physical properties. In: Salinity and water use. London, McMillan, 1971.
- \_\_\_\_\_. & SCHOFIELD, R.K. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. Journal of soil sci. 6: 163-178, 1955.
- RANSEY, M.K. Intake characteristics and flow resistance in irrigation furrows. Thesis presented to the University of Arizona in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of science, Tucson, USA, University of Arizona, 141p. 1976.
- RASMUSSEN, W.W.; MOORE, D.P. & ALBAN, L.A. Improvement of a solonchic (slick spot) soil by deep plowing, subsoiling and amendments. Proc. Soil Sci. Soc. Am., Madison, 36: 137-142, 1972.

- REVE, R.C. & DOERING, E.J. Field comparison of the high saltwater dilution method and conventional methods for reclaiming sodic soils. 6th. New Delhi Internl. Comm. on Irr. and Drainage, 1966.
- REZENDE, F.C. & SCALOPPI, E.J. Avaliação de métodos para de terminação das características de infiltração em sulcos. Pesq. Agropec. Bras., Brasília-DF. 20(2): 227-233. 1985.
- RICHARDS, L.A. Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. México, Limusa, 172p. 1974.
- RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. & SOUSA, D.M.G. Lixiviação de cálcio e crescimento de raízes em solos de cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 18., Salvador-BA p.96, 1981.
- ROBINSON, J.B. Salinity and the whole plant. In: Salinity and water use. New York, wiley Interscience, p. 193 -206, 1971.
- ROBINS, C.V.; WAGENET, R.J. & JURINAK, J.J. A combined salt transport - chemical equilibrium model for calcareous and gypsiferous soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:191-194,1980.
- ROTH, C.H.; PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; MEYER, B. & FREDE, estabilidade de agregados e infiltrabilidade de água em um Latossolo Roxo, cultivado com cafeeiro. R. bras. ci. solo; 10: 163-166, 1086.
- SHAIMBERG, I.; KEREN, R. & FRENKEL, H. Response of sodic soil to gypsum and calcium choride application. Soil Sci. Am. J. 46: 113-117, 1982.
- SHETTY, K.S. Reclamation of saline alkali soils with gypsum, pressmud and zinc sulphate. Indian J. Agropec. chem. 8 (1/2):253-256, 1975.
- SILVA, M.J. Efeito de diferentes métodos de recuperação de solo com problema de sódio sobre a produção e componentes da produção de arroz. Viçosa, UFV, Tese de Mestrado,1978.

- ULRICH, B. & KHANA, P.K. Desorption and dissolution of salts from soils as a function of soil: water ratio. Soil Sci., 114: 251-253, 1972.
- VALDIVIESO, C.R. Recuperação de solos salinos por lavagem no norte do Egito. Pesq. Agropec. Bras., Brasília-DF. 19 (10): 1247-1255, 1984.
- VELAYTHAM, 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 - 493, 1977.
- WHITEMORE, J. Saline and sodic soils. Logan, USA, 7p. 1975.
- YAHIA, T.A.; MIYAMOTO, S.; STROEHLEIN, J.L. Effect of surface applied sulfuric acid on water penetration in to dry calcareous and sodic soils. Proc. Soil Sci. Soc. Am., Madison, 39: 1201-1203, 1975.
- ZARUBINA, T.G. Effect of the rate of dissolution of phosphogypsum, gypsum, and calcium carbonate on sodium desorption from the adsorption complex. Pochuavedeniye. 5: 53-56, 1979.
- ZYLSTRA, G. & SALINAS, H. YAP. Salinidad y Drenaje en zonas bajo riego. Petrolina-PE. GEIDA/SUDENE. II/CIDIAT. 30p. 1972.