

EFEITO DE CORRETIVOS QUÍMICOS E MATÉRIA ORGÂNICA SOBRE
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM SOLO
SALINO-SÓDICO

I 0604000-4
C 5010100-5

Solo
Recuperação
do solo
Tratamento
do solo

JOSÉ DE ARIMATÉIA DUARTE DE FREITAS

C382655

SAU

BCT/UFG CATIVO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE

T 631.4
F9362 T631.4
F9362
1983

UFC/BU/BCT 03/11/1997



R673170 Efeito de corretivos químicos e
C382655 matéria
T631.4 F936e

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 em cuja Biblioteca Central encontra-se à disposição dos interessados.

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

José de Arimatéia Duarte de Freitas

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 16/12/83

Prof. Mardônio Aguiar Coelho
- Orientador -

Prof. Fernando Felipe Ferreyra
Hernandez

Prof. José Jackson Lima Albuquerque

À minha mãe, ALICE
pelo sacrifício em meu favor

Aos meus irmãos, AUTA e JÚNIOR
pelo incentivo

À minha esposa, AÍLA
pelo estímulo que me concede

À minha filha, MARIA ALICE

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura de Mossoró, pela oportunidade concedida para realização do Mestrado.

Ao Professor Mardônio Aguiar Coelho, pela orientação e empenho no desenvolvimento do trabalho.

Ao Professor Visitante Fernando Felipe Ferreyra Hernandez, pelo apoio e sugestões apresentadas durante a execução deste trabalho.

Ao Professor José Jackson Lima Albuquerque, pela orientação valiosa nas análises estatísticas.

À Universidade Federal do Ceará, pelo treinamento recebido.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas de estudo.

Aos colegas de curso, na pessoa de Raimundo Nonato de Assis Júnior, pela amizade e incentivo.

Aos funcionários do Departamento de Ciências do Solo, nas pessoas de Maria Itamar Mendes Carneiro e Antonio Luís de Oliveira, pela colaboração.

Aos professores, pela assistência e transmissão de conhecimentos.

A todos aqueles que, de algum modo, contribuíram para a realização deste trabalho.

CONTEÚDO

	Página
<u>LISTA DE TABELAS</u>	vii
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	ix
<u>RESUMO</u>	x
<u>ABSTRACT</u>	xii
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>REVISÃO DA LITERATURA</u>	3
2.1 - <u>Recuperação de solos com problemas de sais e sódio</u>	3
2.1.1 - Métodos químicos	3
2.1.2 - Métodos hidrotécnicos	6
2.1.3 - Métodos biológicos	13
2.1.4 - Métodos físicos	15
3 - <u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	17
3.1 - <u>Solo</u>	17
3.2 - <u>Procedimento experimental</u>	19
3.3 - <u>Procedimento estatístico</u>	23
4 - <u>RESULTADOS</u>	24
4.1 - <u>Efeito de corretivos e matéria orgânica sobre a condutividade hidráulica</u>	24
4.2 - <u>Efeito de corretivos e matéria orgânica sobre a estabilidade de agregados</u>	27
4.3 - <u>Efeito de corretivos e matéria orgânica sobre a velocidade de infiltração</u>	30
4.4 - <u>Efeito da concentração de soluções eletrolíticas sobre a condutividade hidráulica</u>	34

4.5 - <u>Efeito dos tratamentos sobre algumas caracte- rísticas químicas</u>	37
4.5.1 - pH	37
4.5.2 - Condutividade elétrica	39
4.5.3 - Cátions trocáveis	41
4.5.4 - Matéria orgânica	50
5 - <u>DISCUSSÃO</u>	52
6 - <u>CONCLUSÕES</u>	56
7 - <u>LITERATURA CITADA</u>	58
8 - <u>APÊNDICE</u>	66

LISTA DE TABELAS

TABELAS		Página
1	Algumas características físicas e químicas das amostras de solo estudadas	18
2	Tratamentos com corretivos e matéria orgânica aplicados às amostras coletadas nas profundidades de 0-25 e 25-50cm ...	21
3	Valores médios de condutividade hidráulica do solo saturado $K(\text{cm.h}^{-1})$ e de $\log 100K$ nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.	25
4	Valores médios de estabilidade de agregados entre 2,0 e 0,25mm nas profundidades de 0-25 e 25-50cm	28
5	Valores médios de velocidade de infiltração nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.	31
6	Valores médios de condutividade hidráulica (K) obtidos com o uso de soluções salinas nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.	35
7	Valores médios de pH nas profundidades de 0-25 e 25-50cm	38
8	Valores médios de condutividade elétrica nas profundidades de 0-25 e 25-50cm ...	40
9	Valores médios de cálcio trocável nas profundidades de 0-25 e 25-50cm	42

TABELAS

Página

10	Valores médios de magnésio trocável nas profundidades de 0-25 e 25-50cm	44
11	Valores médios de potássio trocável nas profundidades de 0-25 e 25-50cm	46
12	Valores médios de sódio trocável nas profundidades de 0-25 e 25-50cm	48
13	Valores médios de porcentagem de sódio trocável nas profundidades de 0-25 e 25-50cm	49
14	Valores médios de porcentagem de matéria orgânica nas profundidades de 0-25 e 25-50cm	51

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS		Página
1	Efeito dos tratamentos com gesso, cloreto de cálcio e matéria orgânica sobre a condutividade hidráulica nas amostras de 0-25 e 25-50cm	26
2	Efeito dos tratamentos com corretivos e matéria orgânica sobre a estabilidade de agregados nas amostras de 0-25 e 25-50cm.	29
3	Efeito dos tratamentos com corretivos sobre a velocidade de infiltração nas amostras de 0-25cm (A) e 25-50cm(B). Velocidade de infiltração na testemunha aproximadamente igual a zero	32
4	Efeito dos tratamentos com matéria orgânica sobre a velocidade de infiltração nas amostras de 0-25cm(A) e 25-50cm(B). Velocidade de infiltração na testemunha aproximadamente igual a zero	33
5	Efeito da concentração de diversas soluções eletrolíticas sobre a condutividade hidráulica determinada nas amostras de 0-25 e 25-50cm	36

RESUMO

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de estudar o efeito de corretivos químicos e matéria orgânica sobre características físicas e químicas de um solo salino-sódico (Vertic torrifluent) localizado na Fazenda Experimental da UFCE em Pentecoste-CE, tendo em vista a verificação da eficiência dos corretivos como primeira etapa da experimentação visando o desenvolvimento de técnicas de recuperação desses solos.

Para a realização do experimento foram coletadas amostras nas profundidades de 0-25 e 25-50cm, submetidas aos seguintes tratamentos: gesso e cloreto de cálcio, em quantidades calculadas para substituir 50, 100, 150 e 200% do sódio trocável e palha de carnaúba, casca de arroz e feno de feijão de porco, na proporção de 1% em peso, foram misturados a duplicatas de amostras, as quais foram incubadas em condições controladas de temperatura e umidade (27°C e 1/3atm) por período de 60 dias.

O experimento foi realizado em colunas de solo, obedecendo a delineamento inteiramente casualizado com duas repetições, procedendo-se a análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

As características de transmissão de água, estabilidade de agregados, teor de sódio e sais solúveis do solo estudado foram sensivelmente modificadas pelos tratamentos com corretivos químicos, observando-se que os melhores resultados corresponderam às maiores dosagens de corretivos. O gesso produziu efeitos mais intensos do que o cloreto de cálcio. Não foram verificadas diferenças acentuadas entre

os tratamentos com matéria orgânica. A aplicação de soluções eletrolíticas concentradas incrementou acentuadamente a capacidade de transmissão da água no solo, indicada pelo aumento da condutividade hidráulica do solo saturado.

A magnitude relativa dos resultados será de utilidade no planejamento de experimentos in situ visando o manejo e recuperação desses solos.

ABSTRACT

To study the effects of chemical amendments and organic matter on physical and chemical characteristics of a saline-sodic soil (Vertic torrifluvents), located in the University of Ceará Experimental Farm at Pentecoste, Ceará, Brazil, samples were collected in depths of 0-25cm and 25-50cm and submitted to the following treatments: gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) and calcium chloride ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) in rates calculated to substitute 50, 100, 150 and 200% of exchangeable sodium; organic residues - rice (*Oryza sativa* Linn.), carnaúba (*Copernicia cerifera* (Arr. Cam.) Mart.) and feijão de porco (*Canavalia ensiformis* DC.) were applied at the rate of 1%. The samples treated were incubated in controlled conditions of temperature and moisture (27°C and 1/3 bar) for 60 days.

The experiment was conducted in soil columns and according to a complete random scheme with two replications. Means were compared applying Tukey test at the 0,05 probability level.

Treatments resulted in significant differences on the values of the water transmission characteristics, aggregate stability, exchangeable sodium and soluble salts, in relation to the untreated soil, being the effects proportional to the amount of amendment used. Chemical amendments were more effective than organic matter and among amendments gypsum was more effective than calcium chloride. No significant differences were detected among organic matter treatments. Application of concentrated electrolyte solutions increased saturated hydraulic

conductivity of the soil. It is expected that the results obtained would be useful in planning and conducting field experimentation on management and reclamation of saline-sodic soils.

1 - INTRODUÇÃO

Os solos salino-sódicos se encontram principalmente em zonas de clima árido ou semi-árido, onde os sais solúveis, originalmente presentes nos materiais do solo e os formados pela intemperização de minerais, em decorrência das condições edafo-climáticas locais estão concentrados nos solos. A medida que a solução desse solo se concentra em consequência da evapotranspiração, os limites de solubilidade dos sais de cálcio e magnésio quase sempre são superados ocorrendo então sua precipitação, causando o correspondente aumento nas proporções relativas de sódio. Sob tais condições, parte do cálcio e do magnésio trocáveis são substituídos pelo sódio e este passa a estar presente em proporções prejudiciais às características do solo.

Com esse aumento nas proporções relativas de sódio trocável, os colóides destes solos tendem a estar mais dispersos, originando uma baixa permeabilidade do solo à água e ao ar, criando condições adversas ao desenvolvimento das plantas e às operações de preparo e cultivo do solo. Entretanto, os efeitos da porcentagem de sódio trocável sobre as propriedades físicas do solo estão condicionados a outros fatores, como distribuição de tamanho das partículas, superfície específica e tipo de mineral argiloso, conteúdo de matéria orgânica e sais solúveis.

A modificação dos equilíbrios físicos e químicos de solos normais pela aplicação de sistemas de irrigação e consequentes mudanças no uso e manejo do solo pode acelerar o processo de salinização e sodificação.

Os solos salino-sódicos apresentam problemas que requerem a aplicação de medidas especiais e práticas adequa-

das de manejo. A recuperação destes solos tem como objetivo principal o melhoramento de suas características físicas, propiciando melhores condições de infiltração e movimento da água através do perfil, pela substituição do sódio no complexo de troca por cátions divalentes, especialmente cálcio e a remoção daquele com a consequente redução da porcentagem de sódio trocável.

Os experimentos em colunas de solo normalmente precedem os estudos de recuperação de solos no campo. São úteis na verificação dos efeitos da aplicação de corretivos, no cálculo das quantidades de água de lixiviação e na determinação de mudanças nas características físicas e químicas do solo. Apresentam menor custo e resultados mais imediatos que os experimentos de campo e fornecem informações valiosas acerca da eficiência dos corretivos a serem testados em condições de campo.

O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de verificar o efeito de dois corretivos e três tipos de matéria orgânica sobre propriedades de transmissão da água, estabilidade de agregados, teor de sódio e de sais solúveis de um solo salino-sódico, tendo em vista a verificação da eficiência desses métodos, como base para estudos posteriores de campo.

2 - REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - Recuperação de solos com problemas de sais e sódio

Existem, presentemente, diversos métodos por meio dos quais se procura promover a recuperação dos solos com problemas de sais e sódio. Os métodos de recuperação são distribuídos em quatro grupos: métodos químicos, métodos hidro-técnicos, métodos biológicos e métodos físicos.

2.1.1 - Métodos químicos

Consistem em incorporar ao solo substâncias com a finalidade de solubilizar o cálcio existente ou adicioná-lo diretamente em forma solúvel, caso não exista, para proporcionar a substituição do sódio pelo cálcio no complexo de troca, com o fim de obter a floculação dos colóides do solo, proporcionando aumento na penetrabilidade da água e do ar no solo (ALPEROVITCH & SHAINBERG, 1973; MATIAS FILHO, 1980).

Os corretivos químicos que se aplicam aos solos são de três tipos: (1) Sais solúveis de cálcio, como o cloreto de cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); (2) Ácidos ou formadores de ácidos, como o enxofre (S), ácido sulfúrico (H_2SO_4), sulfato ferroso (FeSO_4), sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) e polisulfeto de cálcio (CaS_5) e (3) Sais de cálcio de baixa solubilidade, como a calcita (CaCO_3) e a dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) (PIZARRO, 1978).

A escolha do corretivo químico que se vai aplicar a um solo depende das características do solo (especialmente

a presença de carbonatos de metais alcalino-terrosos e o pH), do tempo desejado para a recuperação e de limitações econômicas (PRATHER et alii, 1978). Considerando-se a resposta dos solos com problemas de sódio a diversos tipos de corretivos, pode-se estabelecer três grupos de solos: (1) Solos que contêm carbonatos de metais alcalino-terrosos; (2) Solos que não contêm carbonatos de metais alcalino-terrosos e cujo pH é maior que 7,5 e (3) Solos que não contêm carbonatos de metais alcalino-terrosos e cujo pH é menor que 7,5 (RICHARDS, 1974).

Quaisquer dos sais solúveis de cálcio e dos ácidos ou formadores de ácidos podem ser utilizados em solos do primeiro grupo. Nos solos que não contêm carbonatos de metais alcalino-terrosos, não é recomendável usar ácidos ou substâncias formadoras de ácidos devido à redução produzida no seu pH. Nos solos do último grupo pode-se empregar a cal e a dolomita, o que não é recomendável para o segundo grupo, já que a solubilidade desses corretivos é muito baixa em valores elevados de pH. Em uma solução saturada com CaCO_3 de pH 6,21 a solubilidade do CaCO_3 é de 19,3meq/l, ao passo que em idêntica solução com pH 10,12 a solubilidade do CaCO_3 é de 0,36meq/l (PIZARRO, 1978).

A velocidade de reação dos sais solúveis de cálcio depende da solubilidade dos mesmos. O gesso tem uma solubilidade em água pura de 30 meq/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 NaCO_3 , a solubilidade do gesso se reduz grandemente, dependendo 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, 1980).

O gesso, pela fácil aquisição e custos relativamente baixos é o corretivo mais frequentemente usado na recuperação de solos com problemas de sódio. Porém, em virtude de

sua baixa solubilidade, grandes quantidades de água devem ser adicionadas ao solo para completa dissolução. Além disso, algumas vezes a condutividade hidráulica dos solos sódicos é muito baixa e isso pode também implicar em aumento do tempo necessário para recuperação (OVERSTREET et alii, 1951; ALPEROVITCH & SHAINBERG, 1973; MAGDOFF & BRESLER, 1973; QUIRK & SCHOFIELD, 1955). A incorporação do gesso ao solo antes da aplicação da água de lavagem permite completa dissolução ou reação (MAGDOFF & BRESLER, 1973).

Vários trabalhos têm sido realizados com o gesso, aplicado isoladamente ou associado a materiais orgânicos inertes acompanhados, evidentemente, da aplicação de lâminas de água de variada magnitude. KELLEY, citado por McNEAL et alii (1966) observou que a aplicação de gesso produziu redução significativa no teor de sódio de um solo sódico. PADHI et alii (1965) testaram o efeito do gesso e fécula de batata e combinações desses corretivos sobre o movimento de água e remoção do sódio de solo solonético e observaram melhores resultados com a aplicação de 8ton/hectare de gesso e combinação de 20ton/hectare de gesso e 12ton/hectare de fécula. ABROL & BHUMBLA (1973) concluíram que a adição de gesso aumentou a eficiência de lixiviação em solo salino - sódico franco-argiloso.

O cloreto de cálcio, dada sua alta solubilidade, é o mais efetivo corretivo do solo, especialmente quando combinado à água de irrigação. Entretanto, o custo elevado torna o seu uso limitado (ALPEROVITCH & SHAINBERG, 1973; MAGDOFF & BRESLER, 1973).

A aplicação de cloreto de cálcio na forma de soluções diluídas produzem, de acordo com cálculos feitos por MAGDOFF & BRESLER (1973) maior substituição do sódio trocável. Entretanto, a taxa de infiltração da solução de recuperação é também reduzida com a diluição, mais água é necessária para lavagem do excesso de sais e a diluição mecânica da solução concentrada é dispendiosa. ALPEROVITCH & SHAINBERG

(1973) observaram que soluções concentradas de cloreto de cálcio resultaram em maiores valores de condutividade hidráulica, maior eficiência de lixiviação de sais e substituição de sódio trocável em solo sódico de textura muito argilosa. PRATHER et alii (1973) verificaram que o cloreto de cálcio apresentou efeito mais pronunciado que o ácido sulfúrico e gesso sobre a velocidade de infiltração e condutividade hidráulica de solos sódicos calcáreos.

De acordo com OVERSTREET et alii (1951), em solos sódicos contendo suficientes quantidades de calcáreo, a aplicação de enxofre elementar e de ácido sulfúrico são procedimentos usuais no processo de recuperação. Após a conversão do enxofre em ácido sulfúrico, através da ação de microorganismos do solo, estes dois corretivos são teoricamente equivalentes, exceto no tempo requerido para a oxidação biológica do enxofre. OVERSTREET et alii (1951) observaram a superioridade do ácido sulfúrico sobre o gesso e deste sobre o enxofre na recuperação de solos sódicos calcáreos. AZEVEDO et alii (1982) verificaram efeito semelhante em estudo comparativo de corretivos aplicados a solo salino-sódico. YAHIA et alii (1975) verificaram que o ácido sulfúrico foi mais eficiente que o gesso no aumento da penetração de água em solos sódicos calcáreos.

2.1.2 - Métodos hidrotécnicos

Consistem em manejar a quantidade, qualidade química e forma de aplicação das águas disponíveis, de modo a manter os sais solúveis e os íons trocáveis a um nível que não afetem direta ou indiretamente o desenvolvimento das culturas.

Os sais solúveis são transportados pela água que se movimenta através do solo. Assim, o controle do movimento de sais no solo depende do controle do movimento da água

(CARTER & FANNING, 1964). A eficiência da lavagem depende da quantidade de água de percolação, da profundidade do lençol freático, da qualidade da água de lavagem, da permeabilidade e da concentração inicial de sais do solo (FANNING & CARTER, 1963; ISRAELSEN & HANSEN, 1962; NIELSEN & BIGGAR, 1962; RICHARDS, 1974). Os métodos atuais para a recuperação de solos com problema de sais requerem lavagens com grandes quantidades de água de irrigação de boa qualidade (CARTER & FANNING, 1964; ABROL & BHUMBLA, 1973; KELLER & ALFARO, 1966). Uma regra geral é que uma lâmina de 15cm de água lixiviará 80% dos sais solúveis de uma camada de 15cm do solo (RICHARDS, 1974). Assim, a quantidade de água necessária para lavagem de uma camada de 60cm de uma grande área frequentemente excede a disponibilidade. Além disso, alguns solos não podem ser lavados com grandes quantidades de água porque isso poderia resultar em elevação do lençol freático e problemas de drenagem. Assim, qualquer técnica que aumente a eficiência de lixiviação pode facilitar a recuperação de solos com problemas de sais em áreas onde as práticas usuais não podem ser empregadas.

Estudos de deslocamento miscível feitos por BIGGAR & NIELSEN (1963); NIELSEN & BIGGAR (1961); NIELSEN & BIGGAR (1962) evidenciaram que o grau de saturação e a taxa de movimento de água em um dado solo afetam o transporte de sais através do solo. Estudos realizados em colunas de solo por KELLER & ALFARO (1966) mostraram que pequenas reduções no conteúdo de água do solo durante a lavagem aumentaram a eficiência de remoção de sais do solo. MILLER *et alii* (1963) em estudo de campo, verificaram que a aplicação intermitente de 600mm de água produziu um efeito na lixiviação de sais comparável ao obtido pela aplicação contínua de uma lâmina de 900mm de água. NIELSEN *et alii* (1966) demonstraram que a aplicação de 250mm de água por aspersão reduziu a salinidade de 60cm do solo ao mesmo nível da aplicação de 750mm de água por inundação. ABROL & BHUMBLA (1973) concluíram, entretanto, que maior eficiência de lixiviação de um

solo salino-sódico franco-argiloso seria obtida por inundação contínua adicionando-se gesso.

A cobertura da superfície do solo com material orgânico inerte (mulch) diminui a taxa de evaporação da água aumentando, conseqüentemente, a eficiência de lixiviação de sais (McCALLA & ARMY, 1961). FANNING & CARTER (1963) verificaram que a aplicação de 74ton/hectare de resíduo de caroço de algodão em cobertura facilitou, em área não irrigada, a recuperação de solo salino pela chuva, sugerindo que pequenas chuvas intermitentes lixiviaram sais de áreas cobertas com mulch por processos de deslocamento miscível (NIELSEN & BIGGAR, 1962), que a evaporação foi reduzida grandemente pelo resíduo de caroço de algodão e que pouco ou nenhum sal se acumulou entre as chuvas.

Em solos sódicos contendo suficiente quantidade de carbonatos de metais alcalino-terrosos, a simples aplicação de água de irrigação promove a remoção do íon sódio adsorvido e sua substituição pelo íon cálcio (OVERSTREET et alii, 1951). AMEMIYA et alii (1956) observaram uma redução significativa nos teores de sais solúveis e sódio trocável de um solo salino-sódico calcáreo com o tratamento de lavagem exclusivamente, enquanto que a aplicação de gesso teve pouco ou nenhum efeito. Resultados semelhantes foram encontrados por REEVE et alii (1955) que observaram uma acentuada redução no conteúdo de sódio trocável de um solo sódico calcáreo, de textura franco-argilosa simplesmente pela lavagem com água.

Um método que oferece possibilidade de aumentar e manter a condutividade hidráulica de solos originariamente de baixa permeabilidade faz uso da elevada concentração eletrolítica da água para produzir efeito floculante e manter uma permeabilidade substancialmente elevada e, ao mesmo tempo, o elevado conteúdo de sais da água pode servir como fonte de cátions divalentes para substituição do sódio (QUIRK & SCHOFIELD, 1955; RAHMAN et alii, 1974). O sucesso desse

método depende de um incremento na condutividade hidráulica com aumento na concentração eletrolítica da água e posterior remoção de sais com decréscimo na concentração, mantendo-se, entretanto, o aumento na condutividade hidráulica (RAHMAN et alii, 1974). REEVE & DOERING, citados por RAHMAN et alii (1974) fizeram uma comparação no campo entre o método de diluição de solução de elevada concentração salina e os métodos convencionais para recuperação de solos sódicos. Eles verificaram que o método de diluição de solução com alta concentração de sais é mais efetivo e prático que os métodos convencionais para recuperação de solos sódicos. REEVE & TOMADDONI (1965) realizaram experimentos com soluções de altas concentrações eletrolíticas e mostraram que valores de condutividade hidráulica em laboratório podem ser relacionados com resultados obtidos no campo.

A utilização de reações de troca de íons no solo é de importância fundamental na compreensão de processos que ocorrem no sistema solo-água. Reações de troca de cátions são usadas para prever mudanças nos valores de PST com aplicação de águas de irrigação de composições conhecidas. Equações que correlacionam a composição dos cátions trocáveis e solúveis de muitos solos de regiões áridas têm sido adotadas (RICHARDS, 1974). BOWER (1959) e REEVE & BOWER (1960) mostraram que é necessário obter equilíbrio iônico entre solo e água de irrigação para demonstrar o efeito da concentração eletrolítica da água sobre a porcentagem de sódio trocável do solo.

Diversos autores (BROOKS et alii, 1956; FIREMAN, 1944; FIREMAN & BODMAN, 1939; QUIRK & SCHOFIELD, 1955; REEVE et alii 1954; McNEAL & COLEMAN, 1966) têm estudado o efeito de íons trocáveis e/ou qualidade da água sobre a permeabilidade do solo. Em todos os casos, com água de baixa concentração eletrolítica, a permeabilidade decresceu com aumento do sódio trocável. Além disso, quando a concentração eletrolítica foi aumentada, a permeabilidade a um dado conteúdo

de sódio trocável aumentou. COLLIS-GEORGE & SMILES (1963) observaram que igualmente ao aumento do conteúdo de sódio adsorvido, a concentração total de cátions necessária para flocular a suspensão de colóides do solo também aumentou.

QUIRK & SCHOFIELD (1955) mostraram que a condutividade hidráulica de um determinado solo pode ser mantida frequentemente a altos valores de porcentagem de sódio trocável, com a condição de que a concentração eletrolítica da água de irrigação esteja acima de um nível crítico. FIREMAN & BODMAN (1939) mostraram que uma permeabilidade satisfatória pode ser mantida em um solo com porcentagem de sódio trocável igual a 30 pelo uso de água de elevada concentração eletrolítica. LUNIN & BATCHEINER (1960) concluíram que o valor da RAS de soluções salinas é um importante fator na determinação da quantidade de sódio adsorvido, mas é modificado pela concentração da solução. McNEAL & COLEMAN (1966) observaram que aumentando a RAS e diminuindo a concentração eletrolítica da solução do solo verificava-se decréscimo na permeabilidade do solo. PARK & O'CONNOR (1980) observaram que a adição de água de boa qualidade a solos previamente equilibrados com soluções salino-sódicas podem ter sérios efeitos sobre a permeabilidade do solo, especialmente em solos de textura fina. FIREMAN & BODMAN (1939) observaram que um solo franco-argiloso contendo, predominantemente, argila caulinita teve maior permeabilidade que um solo similar contendo, predominantemente, argila montmorilonita. CHRISTENSON & FERGUSON (1966) observaram que um solo montmorilonítico tem maior capacidade de reação à mesma ou menor concentração de sódio que um solo caulinitico. McNEAL *et alii* (1966) observaram efeitos menos pronunciados da caulinita na diminuição da condutividade hidráulica de solos sódicos.

FELHENDER *et alii* (1974) mediram a condutividade hidráulica de dois solos em função da RAS e da concentração salina da solução de percolação e concluíram que a variação nos valores da condutividade hidráulica dos solos, conside-

radas as mesmas condições sódicas, depende do potencial de dispersão de suas argilas. A dispersão de argilo-minerais ocorre somente se a concentração salina da solução percolante estiver abaixo da concentração crítica referente ao valor de floculação (OSTER et alii, 1980). VELASCO-MOLINA et alii (1971) observaram que solos montmoriloníticos e micáceos se dispersaram mais em soluções salinas diluídas a baixos valores de RAS que solos caulíníticos-haloysíticos ricos em óxidos de ferro.

A importância da dispersão afetando a permeabilidade do solo foi também observada por RHOADES & INGVALSON (1969) os quais concluíram que a dispersão, mais que a expansão, foi o processo operativo que diminuiu a permeabilidade em solos vermiculíticos. Similarmente, FRENKEL et alii (1978) concluíram que a obstrução dos poros do solo pela argila dispersa é a principal causa da redução da condutividade hidráulica em solos montmoriloníticos, vermiculíticos e caulíníticos na faixa de PST menor que 20. SHAINBERG et alii (1971) e PUPISKY & SHAINBERG (1979) sugeriram que a obstrução de poros como resultado da dispersão e movimento de argila pode ter sido o principal mecanismo responsável pela redução na permeabilidade quando solos de baixa PST foram lixiviados com solução salina diluída. A expansão foi considerada o principal mecanismo em solos com altos valores de PST. FELHENDER et alii (1974) observaram dispersão mais pronunciada de argilas em solos com baixo conteúdo de silte que em solos com PST e mineralogia de argila semelhantes, mas com alto conteúdo de silte. EMERSON & BAKKER (1973) sugeriram que a dispersão de argilas é favorecida quando ocorre uma abrupta redução na concentração de sais da solução do solo até um valor inferior àquele no qual as partículas permanecem floculadas, criando um alto gradiente de concentração entre a solução diluída dos macroporos e a solução mais concentrada dos microporos dentro dos agregados, sendo esse gradiente salino a causa do movimento osmótico da água para o interior dos agregados e sua conseqüente destruição.

Muitas argilas quando umedecidas de forma controlada aumentam seu volume de 30 a 40% e tal expansão surge principalmente da hidratação. A expansão das argilas saturadas predominantemente com cálcio não é afetada pela concentração eletrolítica (AYLMORE & QUIRK, citados por QUIRK, 1973). As argilas quando saturadas com sódio são, de forma contrária, sensíveis à concentração eletrolítica e na presença de soluções diluídas pode sofrer grande aumento em seu volume.

Como critério geral de risco de sodificação, águas com valores de RAS variando de 6-16 são satisfatórias, dependendo da mineralogia de argila, se a concentração salina da água de irrigação excede 5meq/l (AYERS & WESTCOT, citados por PARK & O'CONNOR, 1980). Esse critério tem sido, entretanto, questionado (OSTER & SCHROER, 1979) em relação a condição prática de irrigar-se alternadamente com água salina e água de muito boa qualidade. Aplicações intermitentes de água de boa qualidade, como a de chuva, pode baixar a concentração eletrolítica além do valor crítico de floculação do solo (FRENKEL et alii, 1978). Além disso, valores críticos variam de solo para solo e não podem geralmente ser previstos sem testes empíricos, mesmo para solos com conteúdo e tipo de argila semelhantes (McNEAL & COLEMAN, 1966; RHOADES & INGVALSON, 1969; FRENKEL et alii, 1978).

A despeito da importância da dispersão na redução da permeabilidade de solos com problemas de sódio, não existem hipóteses adequadas que expliquem porque alguns solos são mais susceptíveis à dispersão das argilas que outros, quando lixiviados com água de boa qualidade. A diferença no efeito do sódio trocável em solos com problemas de sódio, similares em propriedades como textura e mineralogia de argila após lixiviação com água muito diluída está na sua diferente capacidade de liberar sais por intemperismo de minerais (SHAINBERG et alii, 1981). Os cátions trocáveis e aqueles contidos na estrutura dos minerais são liberados como resultado da hidrólise e intemperismo. RHOADES et alii (1968)

ênfatizou a importância das reações do intemperismo de solos minerais no perigo de sodificação de certos tipos de águas de irrigação e da necessidade de considerar esse fenômeno na avaliação da qualidade da água. RHOADES (1968) mostrou que solos de zonas áridas liberam quantidades apreciáveis de cálcio e magnésio para a solução e concluiu que a dissolução de plagioclásios, feldspatos, hornblenda e outros minerais máficos contribuem para a liberação de sais (RHOADES, 1968; 1972; RHOADES et alii, 1968). A concentração de sais na solução de solos que não contém minerais prontamente intemperizáveis estaria abaixo de uma concentração crítica (o valor de floculação) e os solos seriam mais susceptíveis à dispersão da argila (SHAINBERG et alii, 1981). SHAINBERG et alii (1981) concluíram que a susceptibilidade de um solo ao sódio trocável quando lixiviado com soluções de baixa concentração eletrolítica depende da concentração de eletrólitos na solução do solo e essa concentração é frequentemente afetada pela dissolução e hidrólise dos minerais do solo.

2.1.3 - Métodos biológicos

Os métodos biológicos se baseiam na incorporação de resíduos orgânicos ao solo e/ou estabelecimento de plantas tolerantes a sais, com a finalidade de melhorar as condições de permeabilidade e, conseqüentemente, a lixiviação de sais solúveis e sódio existentes. DEMOLON & HENIN (1932) verificaram ser a matéria orgânica coloidal mais efetiva que a argila coloidal na estabilização dos agregados. QUIRK & PANNABOKKI, citados por QUIRK (1973) demonstraram que a matéria orgânica estabiliza os agregados do solo, fortalecendo os macroporos. DETTMANN & EMERSON, citados por QUIRK (1973) observaram elevada eficiência da matéria orgânica como agente cimentante, frequentemente quando o solo é saturado com sódio. TISDALL et alii (1978) verificaram aumento na taxa de infiltração e na permeabilidade de um solo franco-

arenoso com adição de matéria orgânica, relacionando-se tal fato diretamente com a estabilidade de agregados.

O uso de esterco, especialmente o de bovinos tem se constituído em auxiliar efetivo no processo de recuperação, notadamente quando combinado aos métodos químicos. Entretanto, a aplicação de matéria orgânica na forma de esterco contendo grandes quantidades de cátions monovalentes pode, segundo TIARKS *et alii* (1974), afetar adversamente a estrutura do solo. O grande inconveniente de seu uso se reflete nas grandes quantidades a serem aplicadas para que seu efeito se manifeste.

Entre os resíduos de colheita que mais comumente são usados no processo de recuperação estão, em primeiro lugar, os derivados de cana de açúcar, bem como a casca de arroz e palhas de carnaúba e gramíneas em geral. Quando se emprega palha ou bagaço, recomenda-se picá-los em pequenos pedaços antes de incorporá-los ao solo, eliminando dos mesmos os materiais lenhosos que por ventura contenham, e adição de nitrogênio para acelerar sua decomposição (MATIAS FILHO, 1980).

A introdução de culturas como prática auxiliar dos métodos químicos e hidrotécnicos é frequentemente empregada, se bem que, em casos especiais, tenha sido responsável pela recuperação do solo. Tem sido observado que o crescimento de plantas exerce efeito benéfico nas propriedades dos solos sódicos (OVERSTREET *et alii*, 1951; OVERSTREET *et alii*, 1955; RICHARDS, 1974). Uma explicação comum para esse fenômeno tem sido a de que maior quantidade de cálcio solúvel ocorre em solos cultivados devido a uma maior solubilidade do CaCO_3 na presença do CO_2 desprendido pelas raízes das plantas. Entretanto, GOERTZEN & BOWER (1958) e McNEAL *et alii* (1966) concluíram que os efeitos benéficos do crescimento das plantas sobre a recuperação de solos sódicos resultam principalmente da ação física das raízes na melhoria da permeabilidade do solo e conseqüente lixiviação.

A remoção do sódio trocável de solos calcáreos é, às vezes, completada simplesmente pelo cultivo de plantas tolerantes ou aplicação de resíduos orgânicos. A eficiência desses materiais é devida à produção de ácido carbônico através da respiração das raízes das plantas ou através da decomposição da matéria orgânica pelos microorganismos do solo. A importância deste processo de recuperação depende grandemente da concentração de CO_2 na atmosfera do solo (OVERSTREET *et alii*, 1951). Usualmente este tipo de recuperação é um processo lento.

2.1.4 - Métodos físicos

Consistem em submeter o solo a um tratamento mecânico com o propósito de aumentar a permeabilidade do solo. Modificação do perfil do solo, pela destruição de camadas impermeáveis, mistura de horizontes de diferentes texturas e incorporação de areia aos solos de textura fina, tem sido proposta como um meio de recuperação de solos salino-sódicos e solos com hardpans ou claypans no subsolo (ELK & TAYLOR, 1969; RASMUSSEN *et alii*, 1972; RASMUSSEN & McNEAL, 1973; CARY & RASMUSSEN, 1979).

Vários métodos têm sido imaginados e sugeridos para o revolvimento mecânico, alterando radicalmente as condições do perfil do solo, incluindo cultivo em profundidade, aração profunda e subsolagem (RASMUSSEN *et alii*, 1972), sendo, entretanto a aração profunda o meio mais prático de modificação significativa e econômica de condições adversas de um perfil de solo (RASMUSSEN & McNEAL, 1973).

De acordo com RASMUSSEN & McNEAL (1973) o sucesso desses métodos depende da mistura de materiais calcáreos, argilosos ou gipsíticos do subsolo com materiais dos horizontes superiores para promover uma condição física mais favorável para o movimento da água e proporcionar uma fonte

de cálcio para substituição do sódio trocável no perfil. Se a concentração de sais da solução de lixiviação não é mantida suficientemente alta durante o processo de recuperação, ou se a PST não é reduzida suficientemente pela mistura, o solo se dispersará devido à presença de sódio trocável em excesso. Igualmente, a condutividade hidráulica do solo decrescerá substancialmente.

Recentes trabalhos desenvolvidos por REICOSKY et alii (1976); HEILMAN & GONZOLEZ (1973); RASMUSSEN et alii (1972); ELK & DAVIS (1971) e UNGER (1970), mostraram que o aumento da profundidade de revolvimento pode melhorar as condições físicas e químicas dos solos, criando, assim, condições mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas. CARY & RASMUSSEN (1979) observaram que revolvimento do perfil de um solo franco-siltoso facilitou o aprofundamento do sistema radicular de cultivos, melhorando as relações entre crescimento de plantas e disponibilidade de água. SILVA (1978) testou o efeito de dois diferentes sistemas de preparo do solo associados a diferentes métodos de recuperação de solos com problemas de sódio sobre a produção de arroz e observaram que a produção mais elevada foi obtida no solo submetido ao tratamento de subsolagem e lavagem.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Solo

Foi selecionado para o estudo proposto um solo de aluvião localizado na área do Perímetro Irrigado da Fazenda Experimental do Vale do Curu, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, município de Pentecoste, Ceará.

O município de Pentecoste tem as seguintes coordenadas geográficas: 3°45' de latitude sul e 39°15' de longitude WG. De acordo com a classificação de Koppen, apresenta clima tipo Aw' tropical chuvoso (quente e úmido) com ocorrência de chuvas de verão e precipitação máxima de outono, com temperatura e precipitação pluviométrica médias anuais de 26,8°C e 699mm, respectivamente, computado o período de 1966 a 1970 (LIMA & MOREIRA, 1973).

O solo amostrado pertence a uma unidade de solo Aluvial Eutrófico, classificado como salino-sódico (Vertic torrifluvent) por COELHO (1971), e apresenta características de drenagem, níveis de sais solúveis e sódio trocável representativos das áreas problema de projetos de irrigação no Nordeste do Brasil.

Os dados de características físicas apresentados por COELHO (1981) relativos a um perfil de solo da mesma unidade amostrada são mostrados na Tabela 1 e permitiram verificar que as duas amostras apresentam classificação textural Argila Siltosa, baixo grau de flocculação, predominando argilo-mineral do tipo 2:1.

TABELA 1 - Algumas características físicas e químicas das amostras de solo estudadas.

Amostra	Comp. Granulométrica			Grau de Floculação (%)	Argilo-mineral predominante	Umidade (%)		Matéria Orgânica (%)	
	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)			1/3 Atm	15 Atm		
0-25cm	9,0	48,7	42,3	5,0	Vermiculita	33	15	2,6	
25-50cm	13,4	42,5	44,1	0,0	Vermiculita	33	13	2,1	
Complexo sortivo (meq/100g)									
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	S	T	V	PST
13,60	11,38	0,47	5,53	0,00	0,00	30,98	30,98	100	17,85
11,81	9,23	0,40	8,58	0,00	0,00	30,02	30,02	100	28,58
pH (H ₂ O)	CE (mmhos/cm)	Extrato de saturação (meq/l)							SO ₄ ⁼
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	
6,90	9,80	30,00	12,00	0,37	77,65	1,00	1,25	115,43	2,34
6,80	4,80	10,60	4,00	0,27	36,18	1,50	2,25	45,46	2,04

Os dados referentes às características químicas das duas amostras de solo estudadas, apresentadas na Tabela 1, mostram altos valores de capacidade de troca de cátions, de soma de bases trocáveis, de porcentagem de saturação de bases, de sais solúveis e porcentagem de sódio trocável, sendo observada ainda baixa porcentagem de matéria orgânica e uma reação próxima à neutralidade.

3.2 - Procedimento Experimental

Com o objetivo de testar o efeito de corretivos e matéria orgânica em características do solo em estudo, foram coletadas amostras nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

No laboratório, as amostras foram submetidas a secagem ao ar, após o que foram destorroadas e passadas em peneira de 2mm de abertura de malha, sendo, em seguida, procedida análise química para a sua devida caracterização.

Sub-amostras de 1500g foram colocadas em depósitos plásticos e submetidas aos seguintes tratamentos: dois corretivos-gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e cloreto de cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) - em quantidades suficientes para substituir 50, 100, 150 e 200% de sódio trocável do solo e três tipos de matéria orgânica - palha de carnaúba, casca de arroz e feno de feijão de porco, moídos e passados em tamis de 0,42mm, aplicados na proporção de 1% em peso, sendo os dois primeiros testados com e sem adição de nitrogênio, em forma de uréia, na proporção de 60kg do elemento por hectare para favorecer a mineralização da matéria orgânica. O gesso e matéria orgânica foram misturados uniformemente ao solo e o cloreto de cálcio, aplicado na forma de solução.

Após a incorporação, as sub-amostras de solo foram incubadas por um período de 60 dias e mantidas em condições controladas de umidade (conteúdo de água em torno de 1/3atm)

e temperatura (27°C), após o que foram novamente secos ao ar e peneirados, ficando assim prontos para as determinações. Características dos tratamentos e símbolos de identificação são apresentados na Tabela 2.

Com a finalidade de verificar o efeito dos diversos tratamentos sobre a velocidade de infiltração do solo em estudo, foram preparadas colunas de solo de 10cm de altura com densidade de $1,2\text{g/cm}^3$ em percoladores de vidro. Uma lâmina de 2cm de água de torneira foi aplicada inicialmente às colunas e o reabastecimento de água realizado quando necessário. A velocidade de infiltração foi calculada com valores de lâmina infiltrada obtidos durante um período de sete horas (FERNANDEZ *et alii*, 1971).

A condutividade hidráulica das amostras submetidas aos diversos tratamentos foi determinada em blocos de solo de 277cm^3 , contidos em cilindros de alumínio, com densidade de $1,2\text{g/cm}^3$, utilizando-se permeâmetro com carga de 2,54cm e água de torneira ($\text{CE} = 0,5\text{mmhos/cm}$) (RICHARDS, 1974).

Após a determinação da condutividade hidráulica os blocos de solo foram secos ao ar, destorroados e passados em peneiras de 2,0 e 1,0mm e a parte remanescente na peneira de 1mm utilizada na determinação da estabilidade de agregados com umedecimento prévio por atomização e tamisação em água com peneira de 0,25mm durante quatro minutos (PAULA & COELHO, 1982).

As modificações químicas ocorridas nas amostras submetidas aos diversos tratamentos foram determinadas (em partículas menores que 2,0mm) nas amostras utilizadas anteriormente para determinação da condutividade hidráulica. O pH foi determinado potenciométricamente, empregando-se uma relação solo-água 1:2,5; os cátions trocáveis foram extraídos com acetado de amônia normal pH 7, determinando-se o cálcio e magnésio por titulação com EDTA e sódio e potássio por fotometria de chama (USDA, 1967); hidrogênio e alumínio per

TABELA 2 - Tratamentos com corretivos e matéria orgânica aplicados às amostras coletadas nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Tratamentos	Símbolo	Quantidade aplicada	
		0-25cm	25-50cm
		Ton/ha	
Testemunha	T	0,0	0,0
Gesso (50%)*	G-50	7,0	11,0
Gesso (100%)	G-100	14,0	22,0
Gesso (150%)	G-150	21,0	33,0
Gesso (200%)	G-200	28,0	44,0
Cloreto de cálcio (50%)	CL-50	6,0	9,5
Cloreto de cálcio (100%)	CL-100	12,0	19,0
Cloreto de cálcio (150%)	CL-150	18,0	28,5
Cloreto de cálcio (200%)	CL-200	24,0	38,0
Palha de carnaúba	PC	30,0	30,0
Palha de carnaúba + nitrogênio	PC+N	30,0	30,0
Casca de arroz	CA	30,0	30,0
Casca de arroz + nitrogênio	CA+N	30,0	30,0
Feno de feijão de porco	FL	30,0	30,0

(*) Refere-se à quantidade de corretivo químico necessária para substituir 50, 100, 150 e 200% do sódio trocável do solo.

mutáveis, extraídos com acetato de cálcio normal pH 7 e titulada a acidez resultante pelo NaOH 0,1N, usando-se fenolftaleína como indicador, subtraindo-se dos cátions extraídos os cátions solúveis; valor T (capacidade de permuta de cátions) obtida pela soma dos cátions trocáveis; porcentagem de sódio trocável (PST), calculada pela fórmula $100Na^+ / T$; teor de matéria orgânica, pelo carbono orgânico determinado por oxidação, de acordo com procedimento proposto por Tiurin e modificado por VETTORI (1969); condutividade elétrica (CE) determinada no extrato de saturação e medida em ponte salina solubridge (RICHARDS, 1974); cátions solúveis, determinados no extrato de saturação, empregando-se os mesmos métodos indicados para os trocáveis.

Com o objetivo de verificar o efeito da concentração de diversas soluções eletrolíticas sobre a condutividade hidráulica foram preparadas colunas de solo de 10cm de altura com densidade = $1,26g/cm^3$ em percoladores de vidro. Foram utilizadas soluções salinas com as seguintes concentrações: 12.350mg/l (207,4meq/l), 6.175mg/l (103,7meq/l), 3.088mg/l (51,9meq/l), 1.544mg/l (25,9meq/l), 772mg/l (13meq/l), de cloreto de cálcio + cloreto de sódio preparadas por diluição, a partir da solução de maior concentração para a obtenção de valores de RAS iguais a 40, 30, 20, 15 e 10, respectivamente. Inicialmente as colunas de solo foram saturadas com a solução eletrolítica mais concentrada, procedendo-se posteriormente a determinação da condutividade hidráulica mantendo-se uma lâmina constante de 6,5cm das soluções de tratamento sobre a coluna. As diversas soluções foram aplicadas em ordem decrescente de concentração e RAS sobre a mesma coluna. Após a aplicação da solução de concentração mais baixa foi usada água destilada, sendo substituída em seguida pela solução usada inicialmente, de concentração iônica mais elevada. O tempo utilizado na determinação da condutividade hidráulica para cada solução foi de seis horas.

3.3 - Procedimento estatístico

Na avaliação dos efeitos dos diversos tratamentos utilizou-se um delineamento inteiramente ao acaso, com duas repetições, procedendo-se a análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey, ao nível fiducial de 5% de probabilidade (ALBUQUERQUE, 1979). Os dados de condutividade hidráulica foram transformados em $\log 100K$ (MASON et alii, 1957).

4 - RESULTADOS

4.1 - Efeito de corretivos e matéria orgânica sobre a condutividade hidráulica

Os valores médios de condutividade hidráulica determinados nas amostras submetidas aos tratamentos com corretivos e matéria orgânica são comparados estatisticamente na Tabela 3 e a magnitude relativa desses valores é ilustrada na Figura 1. Nos tratamentos com corretivos o aumento das doses empregadas provocou aumento no valor desta característica em ambas as amostras estudadas, com exceção do tratamento CL-150 na amostra de 25-50cm que produziu valores inferiores ao CL-100. Em alguns casos, os maiores incrementos relativos foram obtidos com a dose mais baixa empregada. Os aumentos nos níveis de corretivos aplicados não resultaram em aumentos proporcionais na condutividade hidráulica.

A análise de variância indicou que os corretivos provocaram aumentos significativos na condutividade hidráulica, ao contrário dos tratamentos com matéria orgânica, excetuando-se os tratamentos CL-50 e Cl-100 na amostra de 0-25cm. Não foram observadas diferenças significativas entre as dosagens de cada corretivo. Considerando-se as duas amostras estudadas, para a mesma quantidade de corretivo aplicada, os tratamentos com gesso e cloreto de cálcio diferiram significativamente somente na menor dosagem empregada, onde o G-50 apresentou valores de condutividade hidráulica superiores ao CL-50 na amostra de 25-50cm. A amostra de 0-25cm apresentou valores de condutividade hidráulica inferiores aos da amostra de 25-50cm para a mesma dosagem de corretivo empregada, com exceção dos valores obtidos com os

TABELA 3 - Valores médios de condutividade hidráulica do solo saturado K (cm.h^{-1}) e de $\log 100K$ nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Tratamentos	Profundidade			
	0-25cm		25-50cm	
	K	$\log 100K$	K	$\log 100K$
	cm.h^{-1}		cm.h^{-1}	
T	0,001	-1,00 d*	0,001	-1,00 e*
G-50	0,05	0,69 abc	0,18	1,26 a
G-100	0,11	1,03 ab	0,19	1,28 a
G-150	0,12	1,08 ab	0,20	1,30 a
G-200	0,16	1,21 a	0,23	1,36 a
CL-50	0,02	0,23 abcd	0,02	0,30 bc
CL-100	0,03	0,30 abcd	0,05	0,69 ab
CL-150	0,05	0,70 abc	0,04	0,60 ab
CL-200	0,08	0,90 abc	0,11	1,04 ab
PC	0,003	-0,65 d	0,03	0,24 bcd
PC+N	0,001	-1,00 d	0,02	0,30 bc
CA	0,01	-0,35 cd	0,004	-0,61 de
CA+N	0,001	-1,00 d	0,01	-0,50 cde
FL	0,007	-0,19 bcd	0,004	-0,55 cde
DMS (5%)		1,32		0,88

(*) Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente ao nível fiducial de 5%.

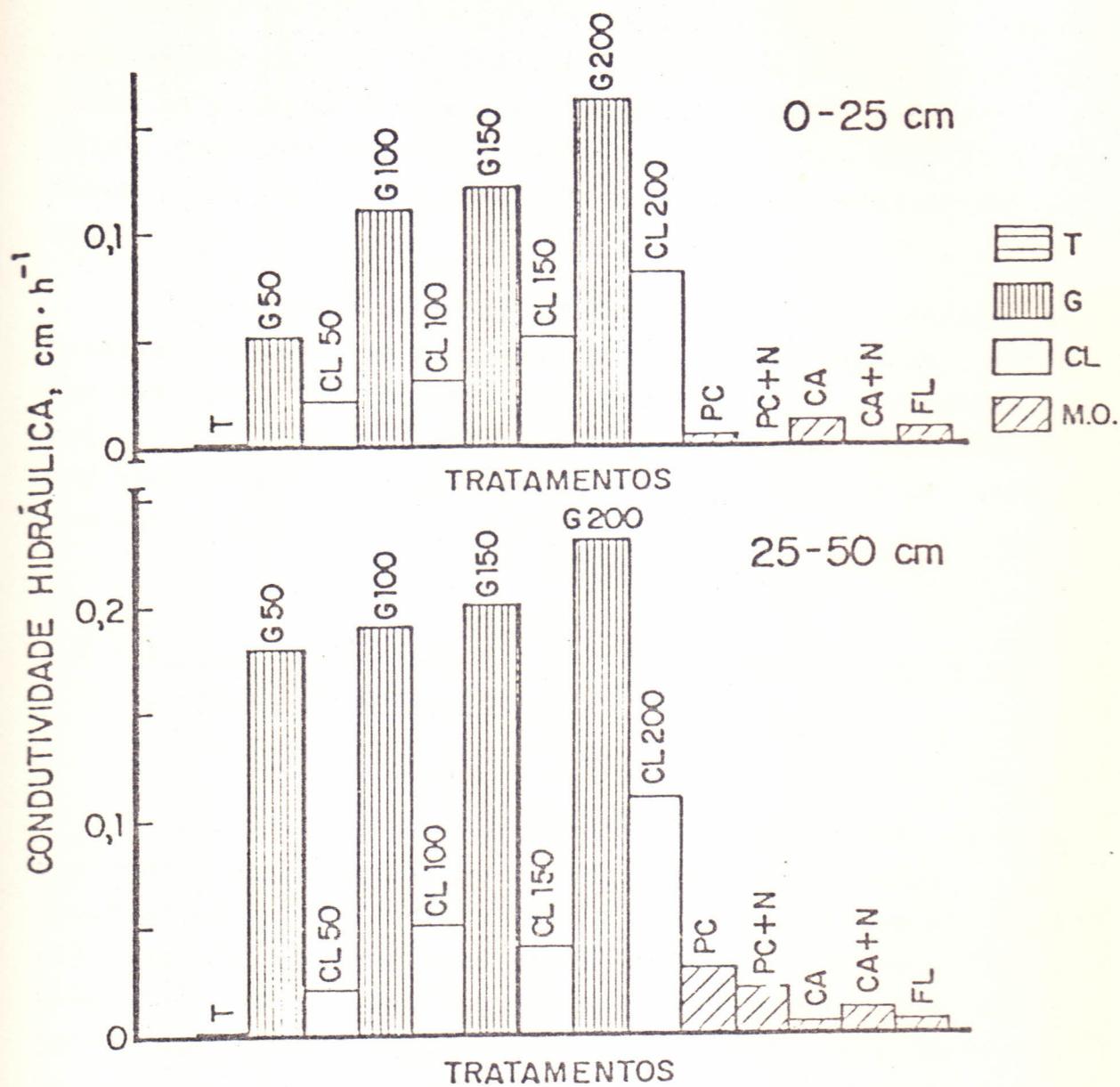


FIGURA 1 - Efeito dos tratamentos com gesso, cloreto de cálcio e matéria orgânica sobre a condutividade hidráulica nas amostras de 0-25 e 25-50cm.

tratamentos CL-50 e CL-150. Os tratamentos com gesso resultaram em valores médios superiores àqueles com cloreto de cálcio nas duas amostras, sendo que na amostra de 25-50cm foram verificadas as diferenças mais pronunciadas entre os dois corretivos.

Na amostra de maior profundidade, com o emprego de matéria orgânica, os tratamentos PC e PC+N causaram aumentos significativos em relação à testemunha, apresentando, entretanto, valores sempre inferiores aos dos corretivos. Dos materiais orgânicos testados, somente PC+N e CA diferiram entre si na amostra de 25-50cm.

4.2 - Efeito de corretivos e matéria orgânica sobre a estabilidade de agregados

Na Tabela 4 são comparados estatisticamente os valores médios de estabilidade de agregados determinados nas amostras submetidas aos tratamentos com corretivos e matéria orgânica e a magnitude relativa desses valores é ilustrada na Figura 2. Nos tratamentos com corretivos, o aumento das doses empregadas provocou aumento no valor desta característica em ambas as amostras estudadas, com exceção do tratamento CL-200 na amostra de 0-25cm e G-100 na amostra de 25-50cm, que produziram valores inferiores, respectivamente, ao CL-150 e G-50. Os maiores incrementos relativos foram obtidos com as doses mais elevadas empregadas. Os aumentos nos níveis de corretivos aplicados não conduziram a aumentos proporcionais na estabilidade de agregados.

A análise de variância indicou que apenas os tratamentos com maiores dosagens de corretivos causaram aumentos significativos na estabilidade de agregados, com exceção do tratamento G-50 na amostra de 25-50cm. Nas duas amostras estudadas, para a mesma quantidade de corretivo aplicada, os tratamentos com gesso e cloreto de cálcio diferiram signifi

TABELA 4 - Valores médios de estabilidade de agregados entre 2,0 e 0,25cm nas profundidades de 0-25cm e 25-50cm.

Tratamentos	Profundidade	
	0-25cm	25-50cm
	%	
T	9 d*	20 d*
G-50	10 cd	33 abc
G-100	11 cd	30 abcd
G-150	13 cd	37 a
G-200	21 ab	38 a
CL-50	9 d	20 d
CL-100	14 bcd	21 cd
CL-150	23 a	34 ab
CL-200	17 abc	36 ab
PC	13 cd	29 abcd
PC+N	11 cd	30 abcd
CA	17 abc	26 bcd
CA+N	9 d	24 bcd
FL	16 abcd	21 cd
DMS (5%)	7,12	12,64

(*) Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente ao nível fiducial de 5%.

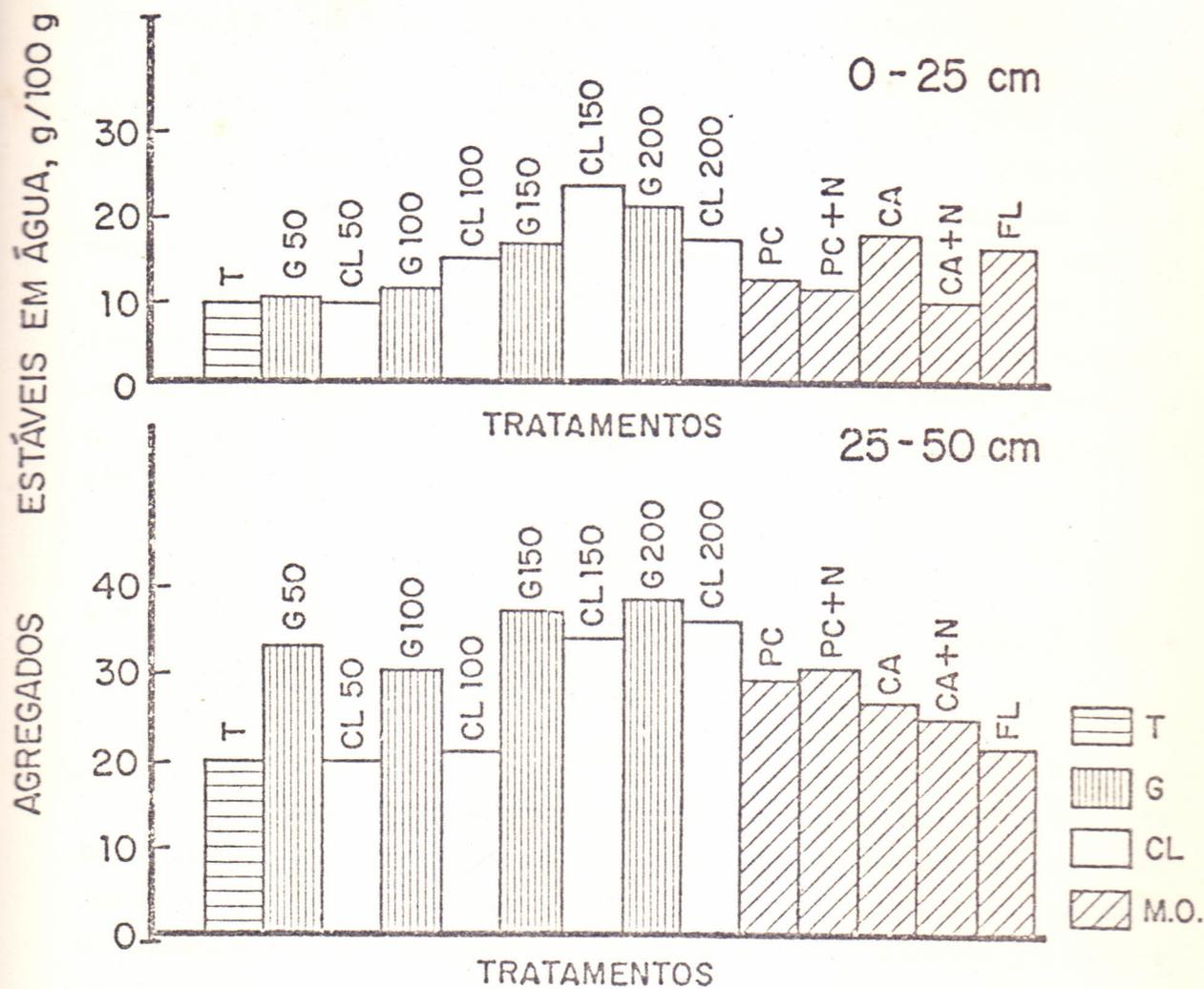


FIGURA 2 - Efeito dos tratamentos com corretivos e matéria orgânica sobre a estabilidade de agregados nas amostras de 0-25 e 25-50cm.

cativamente apenas na menor dosagem empregada onde o CL-50 apresentou valores de estabilidade de agregados superiores ao G-50. A amostra de 0-25cm apresentou valores de estabilidade de agregados inferiores aos da amostra de 25-50cm para as mesmas dosagens de corretivos empregadas. Os tratamentos com gesso resultaram em valores médios superiores aos observados com cloreto de cálcio e estes aos tratamentos com matéria orgânica nas duas amostras estudadas. Na amostra de 25-50cm foram verificadas as diferenças mais pronunciadas entre os dois corretivos. Os materiais orgânicos testados não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si.

4.3 - Efeito de corretivos e matéria orgânica sobre a velocidade de infiltração

Os valores médios de velocidade de infiltração de terminados nas amostras submetidas aos tratamentos com corretivos e matéria orgânica são comparados estatisticamente na Tabela 5 e a magnitude relativa desses valores é ilustrada nas Figuras 3 e 4. Nelas pode se observar um aumento da velocidade de infiltração com os incrementos nas doses de corretivos em ambas as amostras estudadas, sendo que os maiores incrementos relativos foram obtidos com a dose mais baixa empregada. Os aumentos nos níveis de corretivos aplicados não produziram aumentos proporcionais na velocidade de infiltração.

A análise de variância mostrou que os tratamentos produziram aumentos significativos na velocidade de infiltração, com exceção do tratamento CL-50 na amostra de 25-50cm. Nessa amostra, comparando-se as doses de corretivos, observou-se diferença significativa entre velocidade de infiltração do tratamento G-200 em relação ao G-50 e G-100 e do G-150 em relação ao G-50. Na amostra de 25-50cm apenas o

TABELA 5 - Valores médios de velocidade de infiltração nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Tratamentos	Profundidade	
	0-25cm	25-50cm
cm.h ⁻¹		
T	0,005 f*	0,07 g*
G-50	1,56 cd	1,72 def
G-100	2,06 bc	2,30 bcdef
G-150	2,67 ab	2,63 abcde
G-200	3,02 a	3,75 a
CL-50	0,87 e	1,26 fg
CL-100	1,35 de	1,53 def
CL-150	1,75 cd	1,95 cdef
CL-200	1,87 cd	2,71 abcd
PC	1,80 cd	2,98 abc
PC+N	1,97 cd	3,16 ab
CA	1,59 cd	1,55 def
CA+N	1,40 cde	1,81 cdef
FL	1,37 de	1,48 ef
DMS (5%)	0,68	1,20

(*) Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente ao nível fiducial de 5%.

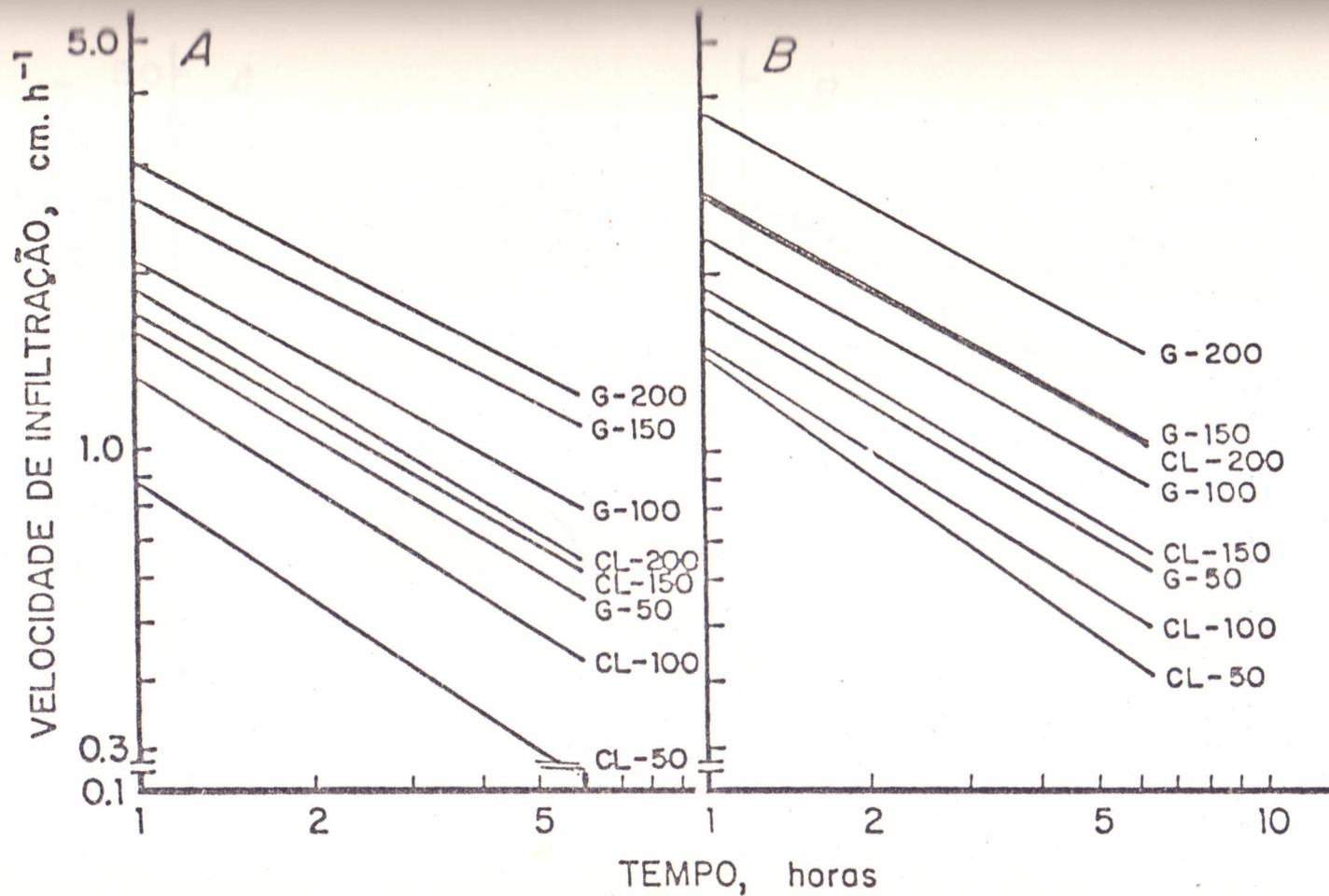


FIGURA 3 - Efeito dos tratamentos com corretivos sobre a velocidade de infiltração nas amostras de 0-25cm (A) e 25-50cm(B). Velocidade de infiltração na testemunha aproximadamente igual a zero.

BSCTH

R673170.

~~6211185~~

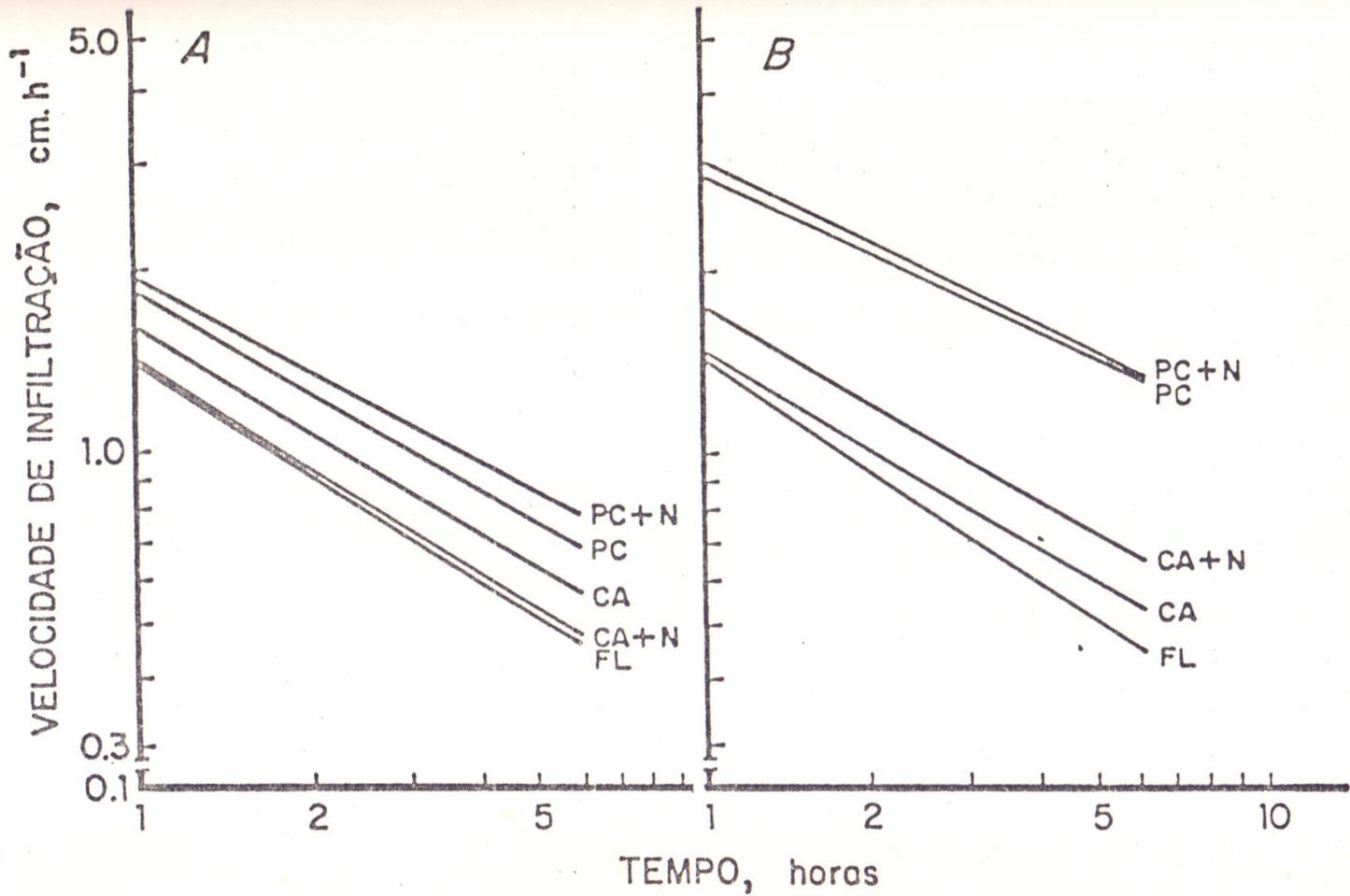


FIGURA 4 - Efeito dos tratamentos com matéria orgânica sobre a velocidade de infiltração nas amostras de 0-25cm(A) e 25-50cm(B). Velocidade de infiltração na testemunha aproximadamente igual a zero.

tratamento G-200 diferiu significativamente dos tratamentos com menores dosagens. Em ambas as amostras estudadas, quando o cloreto de cálcio foi aplicado houve diferença significativa entre os tratamentos CL-200 e CL-50. Na amostra de 25-50cm o tratamento CL-150 também diferiu significativamente do CL-50. Os tratamentos com gesso resultaram em valores médios superiores aos observados com matéria orgânica e estes aos tratamentos com cloreto de cálcio. Para a mesma quantidade de corretivo aplicada, os tratamentos com gesso e cloreto de cálcio diferiram significativamente em todas as dosagens empregadas na amostra de 0-25cm, não se observando nenhuma diferença significativa na amostra de 25-50cm. Na amostra de menor profundidade foram verificadas as diferenças mais pronunciadas entre os dois corretivos, sendo que a amostra de 0-25cm apresentou valores de velocidade de infiltração inferiores à amostra de 25-50cm para a mesma dosagem de corretivo empregada. Na amostra de maior profundidade, comparando as velocidades de infiltração com o emprego de materiais orgânicos, a análise de variância mostrou diferença apenas nos tratamentos PC e PC+N em relação aos demais.

4.4 - Efeitos da concentração de soluções eletrolíticas sobre a condutividade hidráulica

Os valores de condutividade hidráulica em função de diferentes níveis de concentração eletrolítica nas duas amostras de solo estudadas são apresentados na Tabela 6. Nela pode se observar que os valores mais elevados de condutividade hidráulica foram obtidos pelo uso de soluções salinas mais concentradas. A amostra de 0-25cm apresentou valores de condutividade hidráulica superiores à amostra de 25-50cm para o mesmo nível de concentração eletrolítica nos três níveis mais elevados. Nas duas amostras estudadas, a reintrodução da solução de concentração iônica mais elevada

TABELA 6 - Valores médios de condutividade hidráulica (K) obtidos com o uso de soluções salinas nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Concentração da solução (meq/l)	Profundidade	
	0-25cm	25-50cm
	cm.h ⁻¹	
207,4	0,17	0,11
103,7	0,16	0,08
51,9	0,13	0,07
25,9	0,02	0,03
13,0	0,02	0,02
0,0	0,00	0,00
207,4	0,00	0,00

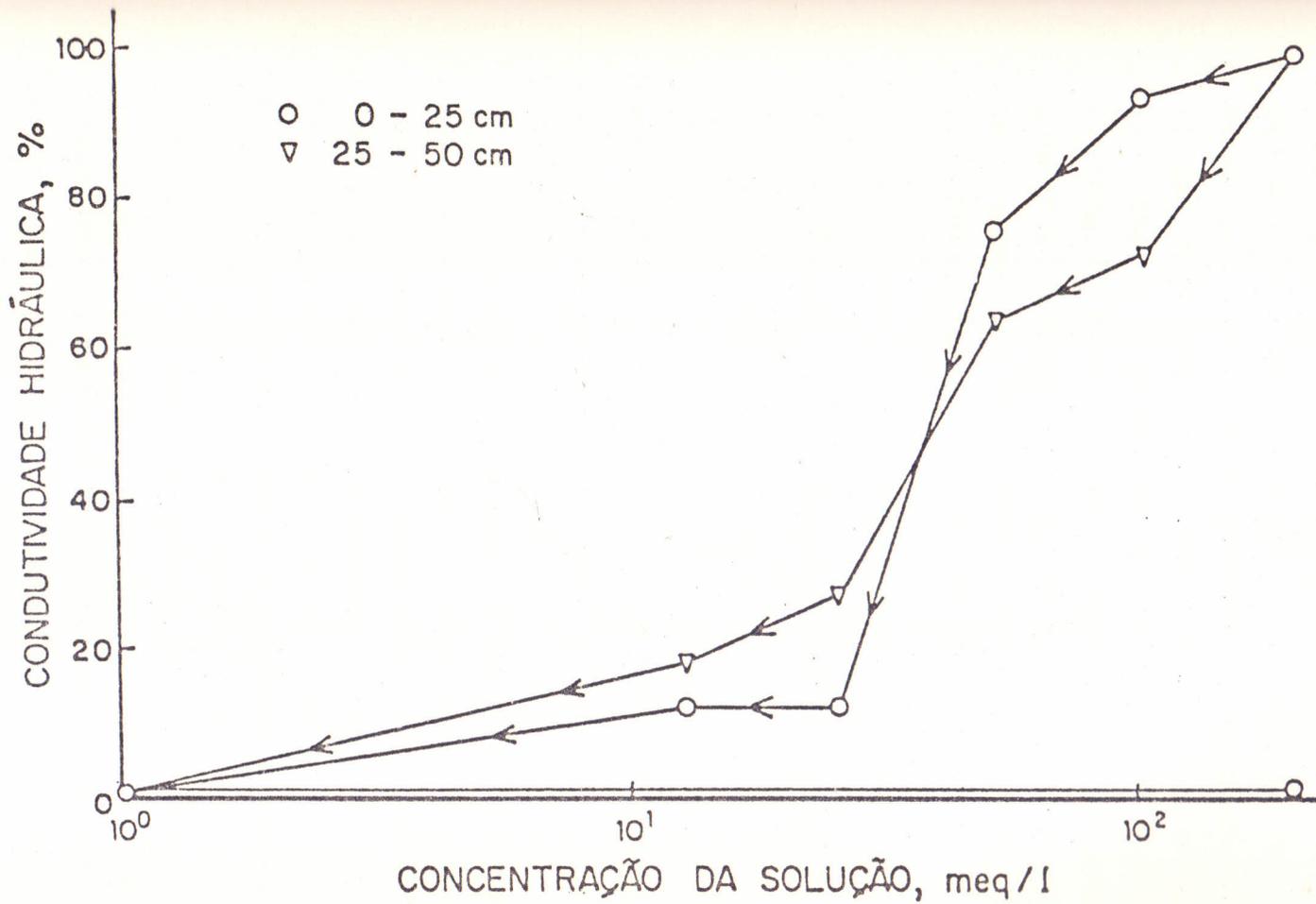


FIGURA 5 - Efeito da concentração de diversas soluções eletrolíticas sobre a condutividade hidráulica determinada nas amostras de 0-25 e 25-50cm.

após a aplicação de água destilada não produziu qualquer elevação nos valores de condutividade hidráulica. Na Figura 5 são apresentados os valores de condutividade hidráulica relativa obtidos pela aplicação dessas soluções. Tomando-se como base a solução eletrolítica mais concentrada (12.350mg/l) que correspondeu ao maior valor de condutividade hidráulica nas duas amostras, as soluções de 6.175mg/l, 3.087mg/l, 1.544mg/l, 772mg/l e água destilada produziram reduções na condutividade hidráulica de 6, 24, 88, 88 e 100% respectivamente, na amostra de 0-25cm e de 27, 36, 73, 82 e 100%, respectivamente, na amostra de 25-50cm.

4.5 - Efeito dos tratamentos sobre algumas características químicas

4.5.1 - pH

Os valores médios de pH e as diferenças significativas entre esses valores relativos às amostras submetidas aos tratamentos são apresentados na Tabela 7. A análise de variância indicou que na amostra de 0-25cm os tratamentos FL e G-200 e na amostra de 25-50cm o tratamento CL-150 produziram, respectivamente, elevações e reduções significativas nos valores dessa característica em relação à testemunha. Para a mesma quantidade de corretivo aplicada, os tratamentos com gesso e cloreto de cálcio diferiram significativamente apenas nas dosagens de 150 e 200% onde o G-150 e G-200 apresentaram valores de pH superiores ao CL-150 e CL-200 na amostra de 25-50cm. Na amostra de 0-25cm não foram observadas diferenças significativas entre as dosagens empregadas. Os tratamentos com cloreto de cálcio resultaram em valores médios inferiores àqueles com gesso e matéria orgânica, sendo observadas na amostra de 25-50cm as diferenças mais pronunciadas entre os corretivos. Não foi verifica

TABELA 7 - Valores médios de pH obtidos nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Tratamentos	Profundidade	
	0-25cm	25-50cm
T	6,9 b*	6,8 abc*
G-50	7,1 ab	6,8 abc
G-100	7,1 ab	6,8 abc
G-150	7,2 ab	6,8 abc
G-200	7,3 a	7,0 a
CL-50	7,1 ab	6,7 abcd
CL-100	7,1 ab	6,6 bcd
CL-150	7,0 ab	6,4 d
CL-200	7,1 ab	6,6 bcd
PC	7,2 ab	6,9 ab
PC+N	6,9 b	6,7 abcd
CA	7,1 ab	6,9 ab
CA+N	6,9 b	6,5 cd
FL	7,3 a	7,0 a
DMS (5%)	0,32	0,32

(*) Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente ao nível fiducial de 5%.

da relação direta entre variação do pH e a dosagem de corretivo aplicada. Nos tratamentos com matéria orgânica, os valores de pH foram significativamente inferiores naqueles com adição de nitrogênio em relação ao tratamento FL na amostra de 0-25cm e aos tratamentos CA, PC e FL na amostra de 25-50cm.

4.5.2 - Condutividade elétrica

Os valores médios de condutividade elétrica obtidos e as diferenças significativas encontradas entre eles nas amostras submetidas aos tratamentos com corretivos e matéria orgânica são mostrados na Tabela 8. A análise de variância mostrou diferenças significativas entre os valores desse parâmetro nas amostras submetidas aos diversos tratamentos e da testemunha, exceção feita, na amostra de 25-50cm aos tratamentos G-50, G-100, G-150, CA, CA+N e FL. Os corretivos produziram valores médios de condutividade elétrica superiores à matéria orgânica, apresentando o gesso incrementos superiores aos do cloreto de cálcio. As diferenças mais pronunciadas entre os dois corretivos foram observadas na amostra de 25-50cm. Para os corretivos, a condutividade elétrica aumentou com a quantidade aplicada, com exceção dos tratamentos G-200 e CL-200 na amostra de 0-25cm e G-150, G-200 e CL-200 na amostra de 25-50cm. Na amostra de menor profundidade, comparando-se as doses de gesso, observou-se diferença significativa entre o tratamento G-200 em relação aos demais, enquanto que na amostra de maior profundidade, os tratamentos G-50 e G-100 diferiram significativamente de G-150 e G-200.

Foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os valores correspondentes às diversas dosagens de cloreto de cálcio em ambas as amostras estudadas. Para a mesma quantidade de corretivo aplicada, os tratamentos com gesso e cloreto de cálcio diferiram significativamente

TABELA 8 - Valores médios de condutividade elétrica nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Tratamentos	Profundidade	
	0-25cm	25-50cm
	mmhos.cm ⁻¹	
T	9,8 h*	4,8 fg*
G-50	13,9 de	5,4 ef
G-100	14,5 d	5,4 ef
G-150	14,5 d	4,2 gh
G-200	4,9 i	4,0 h
CL-50	14,3 d	8,3 d
CL-100	16,3 b	9,1 c
CL-150	19,0 a	14,1 a
CL-200	15,5 c	9,8 b
PC	13,0 fg	4,0 h
PC+N	13,3 ef	5,6 e
CA	12,5 g	4,2 gh
CA+N	12,7 fg	5,3 ef
FL	12,5 g	4,5 gh
DMS (5%)	0,68	0,68

(*) Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente ao nível fiducial de 5%.

mente em todas as dosagens empregadas nas duas amostras, com exceção da menor dosagem na amostra de 0-25cm. Entre os materiais orgânicos, o tratamento PC+N diferiu significativamente de CA e FL na amostra de 0-25cm e, na amostra de 25-50cm, os dois tratamentos com adição de nitrogênio apresentaram valores de condutividade elétrica significativamente superiores aos tratamentos PC, CA e FL.

4.5.3 - Cátions trocáveis

Nas Tabelas 9, 10, 11, 12 e 13 são apresentados os valores médios de cátions trocáveis e porcentagem de sódio trocável e a comparação estatística entre esses valores correspondentes à aplicação dos tratamentos nas amostras estudadas.

A análise de variância dos dados apresentados na Tabela 9 indicou que os corretivos provocaram aumentos significativos nos valores de cálcio trocável, enquanto que os tratamentos com matéria orgânica produziram reduções significativas nos valores desse parâmetro em relação à testemunha em ambas as amostras estudadas, exceção feita, na amostra de 25-50cm, ao tratamento FL. Nos tratamentos com corretivos o aumento das doses empregadas provocou aumento no valor desta característica, excetuando-se o tratamento CL-150 que apresentou valores inferiores ao CL-100, com diferenças significativas entre dosagens, excluindo-se, na amostra de 0-25cm os tratamentos CL-50, CL-100 e CL-150 que não diferiram entre si. Para a mesma quantidade de corretivo aplicada, os tratamentos com gesso e cloreto de cálcio diferiram significativamente em todas as dosagens nas duas amostras estudadas. Os tratamentos com gesso resultaram em valores médios superiores àqueles com cloreto de cálcio nas duas amostras. Na amostra de 25-50cm foram verificadas as diferenças mais pronunciadas entre os corretivos. Os trata

TABELA 9 - Valores médios de cálcio trocável nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Tratamentos	Profundidade	
	0-25cm	25-50cm
meq/100g		
T	13,60 g [*]	11,81 i [*]
G-50	15,55 e	14,75 f
G-100	21,86 b	20,95 c
G-150	21,40 c	24,83 b
G-200	28,92 a	32,31 a
CL-50	14,13 f	13,63 h
CL-100	14,34 f	14,50 g
CL-150	14,11 f	15,57 e
CL-200	16,15 d	16,02 d
PC	12,67 h	11,25 j
PC+N	11,81 j	10,22 n
CA	12,66 h	10,91 m
CA+N	12,24 i	11,02 l
FL	12,62 h	11,87 i
DMS (5%)	0,32	0,104

(*) Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente ao nível fiducial de 5%.

mentos com matéria orgânica apresentaram valores de cálcio trocável sempre inferiores aos dos corretivos. Foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos com matéria orgânica, exceção feita, na amostra de 0-25cm, aos tratamentos PC, CA e FL que não diferiram entre si.

Os dados apresentados na Tabela 10 revelam que os tratamentos produziram reduções significativas nos valores de magnésio trocável em relação à testemunha, com exceção do tratamento G-50. Nos tratamentos com corretivos o aumento das doses empregadas provocou redução no valor desta característica, excetuando-se o tratamento CL-150 nas duas amostras estudadas, com diferenças significativas entre dosagens em ambas as amostras, excluindo-se, na amostra de 0-25cm, o tratamento G-100 e G-150, CL-50 e CL-150, CL-100 e CL-150 e CL-200 que não diferiram entre si, respectivamente. Para a mesma quantidade de corretivo aplicada, os tratamentos com gesso e cloreto de cálcio diferiram significativamente em todas as dosagens empregadas nas duas amostras, com exceção das dosagens 50 e 100% na amostra de 0-25cm. Com o emprego da matéria orgânica, foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre todos os tratamentos, com exceção do PC que não diferiu de CA+N e CA que não diferiu de FL na amostra de 0-25cm. Os tratamentos com gesso resultaram em valores médios inferiores àqueles com cloreto de cálcio nas duas amostras, com diferenças mais pronunciadas na amostra de 0-25cm. Os tratamentos com matéria orgânica apresentaram valores de magnésio trocável quase sempre superiores aos dos corretivos.

Com relação ao potássio trocável, pode se observar na Tabela 11 que na amostra de 0-25cm as reduções observadas nos seus valores não foram significativas em relação à testemunha, enquanto que na amostra de 25-50cm todos os tratamentos produziram reduções significativas nos valores desse parâmetro, com exceção do CA, CA+N e FL. Os tratamentos

TABELA 10 - Valores médios de magnésio trocável nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Tratamentos	Profundidade	
	0-25cm	25-50cm
meq/100g		
T	11,38 a*	9,23 b*
G-50	8,00 cd	9,31 b
G-100	6,20 gh	8,72 c
G-150	5,60 h	6,33 h
G-200	4,91 i	5,92 i
CL-50	7,48 de	6,25 h
CL-100	6,79 fg	5,61 e
CL-150	7,13 ef	5,73 j
CL-200	6,34 g	5,46 m
PC	8,03 cd	9,45 a
PC+N	7,29 ef	8,49 d
CA	9,07 b	7,36 e
CA+N	8,31 c	6,82 g
FL	9,06 b	6,94 f
DMS (5%)	0,630	0,096

(*) Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente ao nível fiducial de 5%.

FL, PC e PC+N na amostra de menor profundidade e PC e PC+N na amostra de maior profundidade provocaram elevação nos valores dessa característica, sendo que os três últimos tratamentos diferiram significativamente da testemunha. Nos tratamentos com corretivos não se verificou relação direta entre valores de potássio trocável e dosagem de corretivo aplicada e não foram observadas diferenças significativas entre dosagens, exceção feita, na amostra de 25-50cm, ao tratamento G-50 que diferiu de G-100, G-150 e G-200. Para a mesma quantidade de corretivo aplicada, os tratamentos com gesso e cloreto de cálcio diferiram significativamente apenas na menor dosagem empregada na amostra de 25-50cm, onde o CL-50 apresentou valor de potássio trocável superior ao G-50. Com o emprego da matéria orgânica, na amostra de 0-25cm, os tratamentos PC, CA+N e FL; CA, CA+N e FL; CA+N e FL não diferiram entre si, respectivamente e, na amostra de 25-50cm foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre esses tratamentos, excetuando-se os tratamentos CA, CA+N e FL que não diferiram entre si. Os tratamentos com gesso resultaram em valores médios superiores àqueles com cloreto de cálcio na amostra de menor profundidade e inferiores na de maior profundidade, sendo que as diferenças mais pronunciadas entre os corretivos foram observadas na amostra de 0-25cm. Os tratamentos com matéria orgânica apresentaram valores de potássio trocável sempre superiores aos dos corretivos.

Os dados contidos na Tabela 12 indicaram que os tratamentos produziram reduções significativas nos valores de sódio trocável em relação à testemunha em ambas as amostras. Nos tratamentos com corretivos, foram observadas diferenças entre dosagens, sendo o tratamento G-200 estatisticamente superior ao G-100 e G-50; CL-200 ao CL-100 e CL-50 e CL-150 ao CL-50 na amostra de 0-25cm. Na amostra de 25-50cm, apenas os tratamentos G-50 e G-100 não diferiram entre si. Os tratamentos com gesso na amostra de 0-25cm e os tratamentos com cloreto de cálcio na amostra de 25-50cm resultaram

TABELA 11 - Valores médios de potássio trocável nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Tratamentos	Profundidade	
	0-25cm	25-50cm
meq/100g		
T	0,47 bcd [*]	0,40 c [*]
G-50	0,44 cd	0,21 f
G-100	0,40 cd	0,34 de
G-150	0,41 cd	0,31 e
G-200	0,44 cd	0,32 e
CL-50	0,43 cd	0,32 e
CL-100	0,39 d	0,32 e
CL-150	0,39 d	0,31 e
CL-200	0,40 cd	0,31 e
PC	0,54 b	0,47 b
PC+N	0,64 a	0,56 a
CA	0,43 cd	0,38 cd
CA+N	0,45 bcd	0,39 cd
FL	0,49 bc	0,38 cd
DMS (5%)	0,096	0,060

(*) Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente ao nível fiducial de 5%.

em valores médios inferiores de sódio trocável. Para os corretivos, o valor de sódio trocável decresceu com o aumento nas quantidades aplicadas, com exceção do tratamento G-100 que apresentou valores superiores ao G-50 nas duas amostras estudadas. As diferenças mais pronunciadas entre corretivos foi observada na amostra de maior profundidade. Para a mesma quantidade de corretivo aplicada, os tratamentos com gesso e cloreto de cálcio diferiram significativamente apenas nas dosagens de 100, 150 e 200% na amostra de 25-50cm. Com o emprego de materiais orgânicos, foram observadas diferenças significativas entre os valores de sódio trocável do tratamento FL em relação ao PC, PC+N e CA; do tratamento CA+N em relação ao PC e CA e do tratamento PC+N em relação ao CA.

A relação entre o teor de sódio trocável e capacidade de troca catiônica do solo expressa a sua porcentagem de sódio trocável (PST) cujos valores médios calculados para as duas amostras são apresentados na Tabela 13. A análise de variância indicou que, nas duas amostras, os tratamentos produziram reduções significativas nos valores de PST em relação à testemunha. Nos tratamentos com corretivos, o G-200 diferiu de G-50 e G-100 e GL-100 de CL-50 na amostra de 0-25cm, enquanto que na amostra de 25-50cm, os tratamentos G-200 e G-150 diferiram de G-100 e G-50, CL-200 de CL-100 e CL-50 e CL-100 de CL-50. O gesso produziu valores médios de PST inferiores aos do cloreto de cálcio e estes aos da matéria orgânica. Para os corretivos a PST decresceu com o aumento nas quantidades aplicadas, excetuando-se o CL-150 que produziu valores superiores ao CL-100 na amostra de 0-25cm. Para a mesma quantidade de corretivo aplicada os tratamentos com gesso e cloreto de cálcio diferiram significativamente na dosagem 50% na amostra de 0-25cm e 150 e 200% nas duas amostras. Não foram observadas diferenças significativas entre os valores de PST dos tratamentos, com os materiais orgânicos testados, exceção feita aos tratamentos com adição de nitrogênio que diferiram do tratamento CA.

TABELA 12 - Valores médios de sódio trocável nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Tratamentos	Profundidade	
	0-25cm	25-50 cm
	meq/100g	
T	5,53 a*	8,58 a*
G-50	2,62 bc	1,91 e
G-100	2,65 bc	1,93 e
G-150	2,45 cde	1,13 i
G-200	2,19 ef	0,97 j
CL-50	2,80 b	1,90 e
CL-100	2,59 bcd	1,61 f
CL-150	2,29 def	1,45 g
CL-200	2,11 f	1,31 h
PC	2,84 b	2,69 b
PC+N	2,68 bc	2,35 d
CA	2,66 bc	2,71 b
CA+N	2,62 bc	2,45 cd
FL	2,77 b	2,56 c
DMS (5%)	0,32	0,12

(*) Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente ao nível fiducial de 5%.

TABELA 13 - Valores médios de porcentagem de sódio trocável (PST) nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Tratamentos	Profundidade	
	0-25cm	25-50cm
	%	
T	18,0 a*	29,0 a*
G-50	9,5 cdef	8,0 d
G-100	8,5 efg	6,5 def
G-150	8,0 fg	3,0 g
G-200	6,5 g	3,0 g
CL-50	12,0 b	8,0 d
CL-100	9,0 def	7,0 de
CL-150	10,5 bcde	6,0 ef
CL-200	9,0 def	5,0 f
PC	11,5 bc	11,5 bc
PC+N	12,0 b	10,0 c
CA	11,0 bcd	12,5 b
CA+N	11,0 bcd	10,5 c
FL	11,0 bcd	11,5 bc
DMS (5%)	2,28	1,68

(*) Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente ao nível fiducial de 5%.

4.5.4 - Matéria orgânica

Os teores médios de matéria orgânica das amostras submetidas aos tratamentos com corretivos e matéria orgânica são mostrados na Tabela 14. Nas duas amostras estudadas, a análise de variância mostrou que os tratamentos com o emprego de materiais orgânicos produziram elevação significativa nos valores desse parâmetro em relação à testemunha, com exceção do tratamento FL na amostra de 25-50cm. Nos tratamentos com corretivos não foram observadas diferenças significativas. Com o emprego de materiais vegetais, o tratamento FL diferiu dos demais tratamentos nas duas amostras estudadas e na amostra de 25-50cm o tratamento CA+N diferiu de PC, PC+N e CA. Os tratamentos com gesso resultaram em valores médios inferiores àqueles obtidos com cloreto de cálcio na amostra de menor profundidade e superiores na amostra de maior profundidade, com diferenças mais pronunciadas na amostra de 25-50cm. Os tratamentos com matéria orgânica apresentaram valores superiores aos dos tratamentos com corretivos.

TABELA 14 - Valores médios de porcentagem de matéria orgânica nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Tratamentos	Profundidade	
	0-25cm	25-50cm
	%	
T	2,56 c*	2,10 d*
G-50	2,55 c	2,09 d
G-100	2,56 c	2,10 d
G-150	2,59 c	2,10 d
G-200	2,60 bc	2,11 d
CL-50	2,52 c	2,10 d
CL-100	2,50 c	2,13 d
CL-150	2,51 c	2,08 d
CL-200	2,57 c	2,11 d
PC	2,87 a	2,37 bc
PC+N	2,94 a	2,34 bc
CA	2,91 a	2,45 b
CA+N	2,86 a	2,67 a
FL	2,71 b	2,20 cd
DMS (5%)	0,12	0,20

(*) Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente ao nível fiducial de 5%.

5 - DISCUSSÃO

Os resultados obtidos indicaram que os tratamentos com corretivos químicos superaram aqueles com matéria orgânica na melhoria da condutividade hidráulica, estabilidade de agregados e velocidade de infiltração. Resultados semelhantes foram observados por PADHI et alii (1965). Os corretivos aplicados a solos afetados por sódio ao se solubilizam deslocam o sódio do complexo de troca e baixam a PST o que, por sua vez, aumenta a estabilidade dos agregados e a penetração de água no solo (RICHARDS, 1974; YAHIA et alii, 1965). Efeitos mais pronunciados dos corretivos foram observados pela aplicação de doses mais elevadas, o que está de acordo com resultados de PADHI et alii (1965) e ALPEROVITCH & SHAINBERG (1973) e estão relacionados à adição de maiores quantidades de cálcio disponível para o deslocamento do sódio. O incremento na penetração de água resultante de tratamentos com corretivos foi maior para a amostra com maior PST, o que também foi observado por RICHARDS (1974) e YAHIA et alii (1975). As diferenças entre valores obtidos com os dois corretivos não foram significativas devido, provavelmente, ao aumento da eficiência do gesso causado pela mistura uniforme do corretivo ao solo (MAGDOFF & BRESLER, 1973; YAHIA et alii, 1975; PRATHER et alii, 1978). Os resultados pouco expressivos obtidos com os tratamentos com matéria orgânica foram, provavelmente, devidos ao curto período de duração do experimento e à inibição da ação dos microorganismos que produzem a sua decomposição decorrente das condições severas de salinidade das amostras estudadas (OVERSTREET et alii, 1951; ALEXANDER, 1961). Os aumentos nos valores da condutividade hidráulica e velocidade de infiltração provocados pelos dois corretivos, apesar de significativos nas doses mais elevadas, foram pouco expressivos na melhoria

das condições de transmissão de água quando considerados os valores absolutos. A baixa concentração salina ($CE=0,5\text{mmhos/cm}$) da água utilizada no experimento provavelmente influenciou nos valores observados, uma vez que solos mesmo com níveis reduzidos de sódio trocável podem apresentar alta susceptibilidade a mudanças na condutividade hidráulica com aplicações de água de boa qualidade (SHAINBERG et alii, 1981). O argilo-mineral predominante no solo estudado deve ser também considerado na constatação dos resultados. De acordo com FELHENDER et alii (1974) a variação na condutividade hidráulica do solo devida ao sódio trocável depende da susceptibilidade de seus argilo-minerais à dispersão. RHOADES & INGVALSON (1969) verificaram que essas variações em solos onde predomina a vermiculita são provocadas mais pelo processo de dispersão que pela expansão dos colóides. Os valores de estabilidade de agregados obtidos indicaram que não houve melhoria sensível na floculação do solo por efeito dos corretivos e da matéria orgânica, resultados provavelmente devidos ao curto período de duração do experimento, à incompleta decomposição da matéria orgânica e à insuficiente lixiviação de sais solúveis decorrente da baixa permeabilidade do solo à água.

As quantidades de sódio removidas indicadas pela redução nos valores de sódio trocável, guardaram estreita relação com a condutividade hidráulica nas amostras estudadas o que está de acordo com McNEAL et alii (1966). As diferenças entre tratamentos foram devidas à taxa na qual a água de lixiviação passou através do solo, o que, por sua vez, está diretamente relacionada à quantidade de cálcio adicionada (PRATHER et alii, 1978; ABROL & BHUMBLA, 1973; PADHI et alii, 1965; ALPEROVITCH & SHAINBERG, 1973; McNEAL et alii, 1966; OVERSTREET et alii, 1951). Os corretivos promoveram mais intensa remoção do sódio trocável e conseqüente redução na PST que os tratamentos com matéria orgânica (PADHI et alii, 1965). Os tratamentos com gesso foram mais eficientes na remoção do sódio que os tratamentos com cloreto de

cálcio. A remoção do sódio das amostras tratadas com matéria orgânica foi realizada por fluxo de massa, consequência da passagem de água no solo (OVERSTREET et alii, 1951; OVERSTREET et alii, 1955; GOERTZEN & BOWER, 1958; McNEAL et alii, 1966). As amostras tratadas com maiores quantidades de corretivos apresentaram menores valores de magnésio e potássio trocáveis e de condutividade elétrica, em consequência da maior condutividade hidráulica e da passagem de maior volume de água através do solo, permitindo uma mais intensa lavagem dos sais. Com relação ao cálcio, entretanto, essas amostras apresentaram valores tanto maiores quanto maior a dosagem de corretivo aplicada, em razão da maior solubilização de compostos desse elemento por ação da água de lavagem ou da solução extratora utilizada na determinação. Alguns dos tratamentos com matéria orgânica apresentaram valores de cátions trocáveis e condutividade elétrica mais elevados que a testemunha, podendo isto ser atribuído ao fato de que a adição de matéria orgânica aumentou a capacidade de troca de cátions do solo e, pela sua mineralização, o teor de sais do solo, para o que pode também ter contribuído a água usada na lavagem que, apesar de sua boa qualidade, elevou a concentração salina do solo. A variabilidade inerente ao solo pode também ter contribuído para a diferença entre os valores observados. Os tratamentos produziram mudanças pouco expressivas nos valores de pH. A redução nos valores de pH observada nos tratamentos com adição de nitrogênio foi provavelmente devida a uma maior decomposição dos materiais orgânicos utilizados (MATIAS FILHO, 1980) ou ao poder acidificante do fertilizante nitrogenado utilizado (MALAVOLTA, 1979).

O uso de soluções de alta concentração eletrolítica aumentou consideravelmente a condutividade hidráulica das amostras de solo estudadas (RAHMAN et alii, 1974). Entretanto, a estrutura estável que teria sido desenvolvida no início do experimento pela aplicação de solução salina de alta concentração sofreu deterioração resultante da aplicação de

soluções mais diluídas (RAHMAN et alii, 1974). As maiores reduções na condutividade hidráulica foram associadas com os mais baixos níveis de concentração eletrolítica, observando-se um valor nulo de condutividade hidráulica com a aplicação de água destilada. Quanto mais diluída a solução aplicada, mais intensos foram os efeitos do sódio trocável (SHAINBERG et alii, 1969). Embora tenha ocorrido expansão de argila em todas as colunas após a introdução de água destilada, não parece que esta tenha tido um papel dominante no decréscimo da permeabilidade. A expansão é maior em solos com alta PST (SHAINBERG et alii, 1971; PUPISKY & SHAINBERG, 1979). A solução salina mais concentrada, usada no início do experimento foi reintroduzida nas colunas para avaliar a reversibilidade na redução da condutividade hidráulica. Se a expansão isoladamente fosse responsável pelo decréscimo na condutividade hidráulica do solo após lixiviação com água de boa qualidade, o decréscimo poderia ser esperado como sendo reversível (McNEAL & COLEMAN, 1966) e a aplicação de solução salina concentrada reduziria a expansão, aumentando a condutividade hidráulica, o que não foi observado no decorrer do experimento. A natureza irreversível das mudanças na condutividade hidráulica sugere que a dispersão foi o mecanismo dominante na redução da condutividade hidráulica (SHAINBERG et alii, 1981). A predominância de poros pequenos e a tortuosidade no solo estudado podem ter contribuído também para sua maior susceptibilidade à obstrução dos poros por deposição de partículas e por expansão da argila, resultando na diminuição da taxa de transmissão de água (McNEAL & COLEMAN, 1966). Os valores de condutividade hidráulica obtidos pela aplicação de soluções eletrolíticas, apesar de significativos nas soluções mais concentradas foram, como aconteceu com a aplicação de corretivos, pouco expressivos na melhoria das condições de transmissão de água quando considerados os valores absolutos.

6 - CONCLUSÕES

Nas condições em que foi realizado o estudo, a interpretação e discussão dos resultados obtidos permitiu as seguintes conclusões:

As características de transmissão de água e estabilidade de agregados do solo estudado foram melhoradas acentuadamente pelos tratamentos com corretivos químicos, sendo os melhores resultados produzidos pela aplicação de maiores dosagens de corretivos. O gesso produziu efeitos mais pronunciados do que o cloreto de cálcio. A matéria orgânica não foi efetiva e não foi observada diferença acentuada entre os diversos materiais orgânicos testados e a adição de nitrogênio aos tratamentos com palha teve pouco ou nenhum efeito na ação desses materiais sobre os parâmetros estudados.

A aplicação de soluções eletrolíticas concentradas incrementou acentuadamente a capacidade de transmissão de água no solo, sendo obtidas sensíveis elevações na sua condutividade hidráulica.

Os teores de sódio e de sais solúveis das duas amostras utilizadas no experimento foram sensivelmente modificados por ação dos dois corretivos, sendo também os melhores resultados obtidos pela aplicação de maiores dosagens, com o gesso, produzindo igualmente efeitos mais pronunciados que o cloreto de cálcio. Os diversos materiais orgânicos testados tiveram pequeno efeito sobre essas características.

A melhoria da condição física do solo, apesar de significativa com a aplicação das doses mais elevadas de cor

retivos, foi pouco expressiva quando considerados os valores absolutos resultantes. Os resultados levam também à conclusão de que os estudos pertinentes à recuperação de solos salino-sódicos no Nordeste brasileiro devem ser intensificados para o desenvolvimento de métodos de prevenção, controle e recuperação adequados às suas condições de solo e clima e aos recursos materiais disponíveis e da fixação de limites de características da dinâmica da água e parâmetros químicos que permitam avaliar a viabilidade econômica da recuperação desses solos.

A magnitude relativa desses resultados pode ser usada como um indicador dos efeitos dos diversos tratamentos comparados na experimentação em condições naturais.

7 - LITERATURA CITADA

- ABROL, I.R. & BRUMBLA, D.R. Field studies on salt leaching in a highly saline-sodic soil. Soil Science, 115(6): 429-433, 1973.
- ALBUQUERQUE, J.J.L. Estatística experimental. Mimeografado UFCE, 115p. Fortaleza, 1979.
- ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. John Wiley & Sons, New York, 1961, 139-162.
- ALPEROVITCH, N. & SHAINBERG, I. Reclamation of Alkali soils with CaCl₂ solutions. In: A. Hada et alii (ed.). Physical aspects of soil water and salts in ecosystems. Vol. 4, Springer-Verlag Berlim, 1973, 431-440.
- AMEMIYA, M.; ROBINSON, C.W. & COWLWY, E.W. Reclamation of a Saline-alkaline soil in the Upper Colorado River Basin. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20(3):423-426, 1956.
- AZEVEDO, N.C.; AZEVEDO, H.M. & GHEYE, H.R. Influência de diversos tratamentos na infiltração e condutividade hidráulica de um solo salino-sódico. XII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Resumos, 47p. 1982.
- BIGGAR, J.W. & NIELSEN, D.R. Miscible displacement: V. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27:623-627. 1963.
- BOWER, C.A. Cation exchange in soils affected by sodium salts. Soil Science 88:32-35, 1959.
- BROOKS, R.H.; BOWER, C.A. & REEVE, R.C. The effect of various exchangeable cations upon the physical condition of soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20:325-327, 1956.
- CARTER, D.L. & FANNING, C.D. Combining surface mulches and periodic water applications for reclaiming Saline soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30:564-567, 1964.

- CARY, J.W. & RASMUSSEN, W.W. Response of three irrigated crops to deep tillage of a semiarid silt-loam. Soil Sci. Soc. Am. J. 43:574-577, 1979.
- CHRISTENSON, D.R. & FERGUSON, H. The effect of interactions of salts and clays on unsaturated water flow. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30:549-552, 1966.
- COELHO, M.A. Características de umidade de alguns solos de aluvião: normais, sódicos e sódico-salinos. Rio de Janeiro, UFRJ, 113p. Tese de Mestrado, 1971.
- _____. Caracterização de solos com problemas de sais. In: Relatório de Pesquisa do Convênio CNPq - FCPC - Dessalinização. Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura, Fortaleza, 1981. Mimeografado.
- COLLIS-GEORGE, N. & SMILES, D.E. An examination of cation balance and moisture characteristic methods of determining the stability of soil aggregates. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 13:21-32, 1963.
- DEMOLON, A. & HENIN, S. Recherches sur la structure des limons et la synthese des aggregates. Soil Res. 3:1-9, 1932.
- ELK, H.V. & DAVIS, R.G. Profile modification and root yield distribution and activity. Agronomy Journal 63:934-937, 1971.
- ELK, H.V. & TAYLOR, H.M. Profile modification of a slowly permeable soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33:779-783, 1969.
- EMERSON, W.W. & BAKKER, A.C. The comparative effect of exchangeable Ca, Mg and Na on some physical properties of red brown earth subsoils; 2. The spontaneous dispersion of aggregates in water. Aust. J. Soil Res. 11:151-157, 1973.
- FANNING, C.D. & CARTER, D.L. The effectiveness of a cotton bur mulch and a ridge-furrow system in reclaiming saline soils by rainfall. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27:703-706, 1963.

- FELHENDER, R.; SHAINBERG, I. & FRENKEL, H. Dispersion and hydraulic conductivity of soils in mixed solutions. Int. Congr. Soil Sci. Trans. 10th (Moscow) 1:103-112, 1974.
- FERNANDEZ, P.C.; LUQUE, J.A. & PAOLONI, J.D. Analisis de la infiltración y su aplicación para diseños de riego en el Valle Inferior del Rio Colorado. Revista de Investigaciones Agropecuarias, Série 3, Clima y Suelo, Vol. VIII nº 1, 1971.
- FIREMAN, M. & BODMAN, G.B. The effect of saline irrigation water upon the permeability and base status of soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 4:71-77, 1939.
- FIREMAN, M. Permeability measurements on disturbed soil samples. Soil Science 58:337-353, 1944.
- FRENKEL, H.; GOERTZEN, J.O. & RHOADES, J.D. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42:32-39, 1978.
- GOERTZEN, J.O. & BOWER, C.A. Carbon dioxide from plant roots as a factor in the replacement of adsorbed sodium in calcareous soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22:36-37, 1958.
- HEILMANN, M.D. & GONZOLEZ, C.L. Effect of narrow trenching in harlinger clay soil on plant growth, rooting depth and salinity. Agronomy Journal 65:816-819, 1973.
- ISRAELSEN, O.W. & HANSEN, V.E. Irrigation - Principles and Practices. 3rd ed. John Wiley and Sons. New York, 1962.
- KELLER, J. & ALFARO, J.F. Effect of water applications rate on leaching. Soil Science 102:107-115, 1966.
- LIMA, F.A.M. & MOREIRA, E.G.S. Levantamento detalhado de solos da Fazenda Experimental da Escola de Agronomia no Vale do Curu (Parte Alta) - Segunda aproximação. Mimeografado. Fortaleza, p.4-6, 1973.

- LUNIN, J. & BATHEINER, A.R. Cation exchanges. II, Acid soils upon treatments with saline solutions, *Trans. Inter. Cong. Soil Sci.* 1:507-515, 1960.
- MAGDOFF, F. & BRESLER, E. Evaluation of methods for reclaiming sodic soils. In: A. HADA et alii (ed.), *Physical aspects of soil, water and salts in ecosystems*. Vol. 4, 441-452. Berlin-Heidelberg-New York Springer, 1973.
- MALAVOLTA, E. ABC da Adubação. Editora Agronômica CERES Ltda. São Paulo, 256p, 4^a ed., 1979.
- MASON, D.P.; LUTZ, J.F. & PETERSON, R.G. Hydraulic conductivity as related to certain soil groups - sampling errors involved. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 21:544-560, 1957.
- MATIAS FILHO, J. Recuperação de solos salino-sódicos. Fortaleza, UFCE, 62p. Tese de Professor Titular, 1980.
- McCALLA, T.M. & ARMY, T.J. Stubble mulch farming. *Adv. Agron.* 13:125-196, 1961.
- McNEAL, B.L.; PEARSON, G.A.; HATCHER, J.T. & BOWER, C.A. Effect of rice culture on the reclamation of sodic soils. *Agronomy Journal* 38:438-440, 1966.
- McNEAL, B.L. & COLEMAN, N.T. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 30:308-312, 1966.
- MILLER, R.J.; BIGGAR, J.W. & NIELSEN, D.R. Chloride displacement in Panoche clay loam in relation to water movement and distribution. *Water Resources Res.* 1:63-75, 1963.
- NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Miscible displacement in soils. I. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 25:1-5, 1961.
- _____ & BIGGAR, J.W. Miscible displacement. III Theoretical considerations. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 26:216-222, 1962.

- NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. & LUTHIN, J.N. Desalinization of soils under controlled unsaturated flow conditions. 6th Intern Congress. Irrig. Drain. New Delhi, 15-24p, 1966.
- OSTER, J.D. & SCHROER, F.M. Infiltration as influenced by irrigation water quality. Soil Sci. Soc. Amer. J. 43:444-447, 1979.
- OSTER, J.D.; SHAINBERG, I. & WOOD, J.D. Flocculation value and gel structure of Na/Ca montmorillonite and illite suspensions. Soil Sci. Soc. Amer. J. 44:953-959, 1980.
- OVERSTREET, R.; MARTIN, J.C. & KING, H.M. Gypsum, sulfur and sulfuric acid for reclaiming an alkali soil of the Fresno series. Hilgardia 25(5):113-127, 1951.
- OVERSTREET, R.; MARTIN, J.C.; SHULTZ, R.K. & McLUTCHEON, O. D. Reclamation of an alkali soil of the Hacienda Serie. Hilgardia 24:53-58, 1955.
- PADHI, U.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. Amer. Proc. 29:227-229, 1965.
- PARK, C.S. & O'CONNOR, G.A. Salinity effects on hydraulic properties of soils. Soil Science 130(3):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.
- PIZARRO, F. Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos. Fortaleza, MINTER, DNOCS, 1976. FUNEDUCE/CERTA.
- PRATHER, R.J.; GOERTZEN, J.O.; RHOADES, J.D. & FRENKEL, H. Efficient amendment use in Sodic soil reclamation. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42:782-786, 1978.
- PUPISKY, H. & SHAINBERG, I. Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil. Soil Sci. Soc. Amer. J. 43:429-433, 1979.

- QUIRK, J.P. & SCHOFIELD, R.K. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. J. Soil Sci. 6:163-178, 1955.
- QUIRK, J.P. Chemistry of saline soils and their physical properties. In: A. Hada et alii (ed.). Physical aspects of soil water and salts in ecosystems. Vol. 4, Springer Verlag Berlin, 1973, 79-91.
- RAHMAN, M.A.; HILER, E.A. & RUNKLES, J.R. High electrolyte water for reclaiming slowly permeable soils. ASAE, 28: 129-133, 1974.
- RASMUSSEN, W.W. & McNEAL, B.L. Predicting optimum depth of profile modification by deep plowing for improving saline-sodic soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37:432-437, 1973.
- RASMUSSEN, W.W.; MOORE, D.P. & ALBAN, L.A. Improvement of a solonetzic (slick spot) soil by deep plowing, subsoling and amendments. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36:137-142, 1972.
- REEVE, R.C.; BOWER, C.A.; BROOKS, R.H. & GSHWEND, F.B. A comparison of the effect of exchangeable sodium and potassium upon the physical condition of soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 18(2):130-132, 1954.
- REEVE, R.C.; PILLSBURY, A.F. & WILCOX, L.V. Reclamation of a saline and high boron soil in the Coachella Valley of California. Hilgardia 22(4):69-91, 1955.
- REEVE, R.C. & BOWER, C.A. Use of high salt water as a flocculant and source of divalent cations for reclaiming sodic soils. Soil Science 90:139-144, 1960.
- REEVE, R.C. & TARNADDONI, G.N. Effect on electrolyte concentration on laboratory permeability and field intake rate of a sodic soil. Soil Science 99:261-286, 1965.

- REICOSKY, D.C.; CAMPBELL, R.B. & DOTY, C.W. Corn plant water stress as influenced by cheseling, irrigation and water table depth. Agronomy Journal 68:499-503, 1976.
- RHOADES, J.D. Mineral-weathering correction for estimating the sodium hazard of irrigation waters. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32:648-652, 1968.
- _____ ; KRUEGER, D.B. & REED, M.J. The effect of soil mineral weathering on the sodium hazard of irrigation waters. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32:643-647, 1968.
- _____ & INGVALSON, R.D. Macroscopic swelling and hydraulic conductivity properties of four vermiculitic soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33:364-369, 1969.
- _____. Quality of water for irrigation. Soil Science. 113:277-284, 1972.
- RICHARDS, L.A. (ed.). Diagnóstico y rehabilitación de suelos Salinos y Sódicos. 6ª ed. Editorial Limusa, México, 172p, 1974.
- SHAINBERG, I.; BRESLER, E. & KLAUSNER, Y. Studies on Na/Ca montmorillonite systems: 1. The swelling pressures. Soil Science. 111:214-219, 1971.
- SHAINBERG, I.; RHOADES, J.D. & PRATHER, R.J. Effect of low electrolyte concentration on clay dispersion and hydraulic conductivity of a Sodic soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:273-277, 1981.
- SHAINBERG, I.; RHOADES, J.D.; SUAREZ, D.L. & PRATHER, R.J. Effect of mineral weathering on clay dispersion and hydraulic conductivity of sodic soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:287-291, 1981.
- SILVA, M.J. Efeito de diferentes métodos de recuperação de solo com problemas de sódio sobre a produção e componentes da produção de arroz. Viçosa, UFV, Tese de Mestrado, 1978.

- TIARKS, A.E.; MAZURAK, A.P. & CHESNIN, L. Physical and chemical properties of soil associated with heavy applications of manure from cattle feedlots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38(5):826-830, 1974.
- TISDALL, J.M.; COCKROFT, B. & UREN, N.C. The stability of soil aggregates as affected by organic materials microbial activity and physical disruption. Aust. J. Soil Res. 16:9-17, 1978.
- UNGER, P.W. Water relations of a profile-modified slowly permeable soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34:492-495, 1970.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, SOIL CONSERVATION SERVICE. Soil Survey Laboratory methods and procedures for collecting soil samples. Soil Survey Investigations Report, 1. Washington, D.C. 1967.
- VETTORI, L. Métodos de análises de solos. Rio de Janeiro, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Bol. Téc. 7).
- VELASCO-MOLINA; ALIJO, H.; SWOBODA, A.A. & GODFREY, C.L. Dispersion of Soils of different mineralogy in relation to sodium adsorption ratio and electrolyte concentration. Soil Science 111:282-287, 1971.
- YAHIA, T.A.; MIYAMOTO, S. & STROEHLEIN, J.L. Effect of surface applied sulfuric acid on water penetration into dry calcareous and sodic soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 39: 1201-1203, 1975.

8 - APÊNDICE

TABELAS A₁ a A₁₁

TABELA A₁ - Análise de variância dos valores de condutividade de hidráulica K (cm.h⁻¹) nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Causas da variação	GL	QM	
		0-25cm	25-50cm
Tratamentos	13	1,27**	1,31**
Resíduo	14	0,11	0,12
Coefficiente de variação (%)		72,0	85,0

(**) significativo ao nível de 1%.

TABELA A₂ - Análise de variância dos valores percentuais de estabilidade de agregados nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Causas da variação	GL	QM	
		0-25cm	25-50cm
Tratamentos	13	42,19**	106,29**
Resíduo	14	3,18	9,96
Coefficiente de variação (%)		13,0	11,0

(**) significativo ao nível de 1%.

TABELA A₃ - Análise de variância dos valores de velocidade de infiltração (cm.h⁻¹) nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Causas da variação	GL	QM	
		0-25cm	25-50cm
Tratamentos	13	1,05**	1,76**
Resíduo	14	0,03	0,09
Coefficiente de variação (%)		10,0	15,0

(**) significativo ao nível de 1%.

TABELA A₄ - Análise de variância dos valores de pH nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Causas da variação	GL	QM	
		0-25cm	25-50cm
Tratamentos	13	0,04**	0,06**
Resíduo	14	0,007	0,006
Coefficiente de variação (%)		1,18	1,15

(**) significativo ao nível de 1%.

TABELA A₅ - Análise de variância dos valores de condutividade elétrica (mmhos/cm) nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Causas da variação	GL	QM	
		0-25cm	25-50cm
Tratamentos	13	20,78**	17,37**
Resíduo	14	0,03	0,03
Coeficiente de variação (%)		1,30	2,74

(**) significativo ao nível de 1%.

TABELA A₆ - Análise de variância dos valores de cálcio trocável (meq/100g) nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Causas da variação	GL	QM	
		0-25cm	25-50cm
Tratamentos	13	47,89**	79,69**
Resíduo	14	0,006	0,0007
Coeficiente de variação (%)		0,50	0,20

(**) significativo ao nível de 1%.

TABELA A₇ - Análise de variância dos valores de magnésio trocável (meq/100g) nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Causas da variação	GL	QM	
		0-25cm	25-50cm
Tratamentos	13	5,41**	4,43**
Resíduo	14	0,025	0,0006
Coeficiente de variação (%)		2,01	0,34

(**) significativo ao nível de 1%.

TABELA A₈ - Análise de variância dos valores de potássio trocável (meq/100g) nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Causas da variação	GL	QM	
		0-25cm	25-50cm
Tratamentos	13	0,009**	0,014**
Resíduo	14	0,0006	0,0002
Coeficiente de variação (%)		5,0	4,0

(**) significativo ao nível de 1%.

TABELA A₉ - Análise de variância dos valores de sódio trocável (meq/100g) nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Causas da variação	GL	QM	
		0-25cm	25-50cm
Tratamentos	13	1,36**	7,00**
Resíduo	14	0,006	0,001
Coeficiente de variação (%)		2,80	1,32

(**) significativo ao nível de 1%.

TABELA A₁₀ - Análise de variância dos valores de porcentagem de sódio trocável nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Causas da variação	GL	QM	
		0-25cm	25-50cm
Tratamentos	13	14,50**	82,32**
Resíduo	14	0,32	0,18
Coeficiente de variação (%)		2,02	1,51

(**) significativo ao nível de 1%.

TABELA A₁₁ - Análise de variância dos valores de porcentagem de matéria orgânica nas profundidades de 0-25 e 25-50cm.

Causas da variação	GL	QM	
		0-25cm	25-50cm
Tratamentos	13	0,05**	0,069**
Resíduo	14	0,001	0,003
Coefficiente de variação (%)		1,19	2,49

(**) significativo ao nível de 1%.