CONDUTIVIDADE HIDRAULICA NO PROCESSO DE ELUIÇÃO EM UM SOLO BRUNO-NÃO-CÁLCICO

LAZARO NONATO VASCONCELLOS DE ANDRADE
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. DÉCIO EUGÊNIO CRUCIANI

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Julho de 1994

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

Andrade, Lazaro Nonato Vasconcellos de
A553c Condutividade hidráulica no processo de eluição em
um solo bruno-não-cálcico. Piracicaba, 1994.
161p.

Diss. (Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Solo -- Condutividade hidráulica 2. Solo - Des
sanilização 3. Solo bruno-não-cálcico I. Escola Supe
rior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 631.432

**CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NO PROCESSO
DE ELUIÇÃO EM UM SOLO
BRUNO-NÃO-CÁLCICO**

LAZARO NONATO VASCONCELLOS DE ANDRADE

Aprovada em: 04.07.1994

Comissão julgadora

Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi. ESALQ/USP
Prof. Dr. Marcos Vinicius Folegatti. ESALQ/USP
Prof. Dr. Quirino Augusto C. Carmelo. ESALQ/USP

Prof. Dr. Décio Eugênio Cruciani
Orientador

Aos meus pais

Antônio L. S. de Andrade e

Delza Vasconcellos de Andrade.

OFEREÇO

A Gabriela , Heloisa ,
Maria Emília , Nilza,
Dada e a ansia D.Maria

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura " Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, pela formação acadêmica de mestrado.

À Universidade do Estado da Bahia e a CAPES/PICD pela ajuda e dedicação para que este trabalho fosse realizado com dignidade.

Ao Prof. Dr. Décio Eugênio Cruciani pelo empenho e incentivo à realização deste trabalho.

Aos Profs Marcos Vinícius Folegatti e Tarlei Ariel Bottrel pela inestimável ajuda oferecida no decorrer de todo o curso.

Ao Prof. Jorge de Castro Kiehl pelas horas dedicadas ao esclarecimento de tantas dúvidas.

Ao Prof. Paulo Leonel Libardi que primeiramente procurou iluminar o caminho para este trabalho.

Aos professores e colegas do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem que ajudaram nos momentos mais difíceis.

A todos os funcionários das escolas envolvidas na realização deste trabalho que por sua dedicação pode ser concretizado.

SUMÁRIO

Página

RESUMO	ix
SUMMARY	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.	5
2.1. Determinação da condutividade hidráulica	5
2.2. Influência da concentração salina , do sódio trocável e da concentração eletrolítica da água de percolação na condutividade hidráulica	10
2.3. Processos de dessalinização e lixiviação em colunas de solos saturadas	15
3. MATEIRAIS E MÉTODOS	22
3.1. Características da região estudada	22
3.2. Características do solo em estudo	24
3.3. Metodologia de amostragem do solo no campo	28
3.4. Determinação dos teores de sódio e capacidade de troca cátions do solo	30
3.4.1. Análises de fertilidade	30
3.4.2. Metodologia para determinação da capacidade de troca catiônica	33
3.4.3. Metodologia para determinação dos teores de sódio total (trocável + solúvel) do solo extraído com solução de acetato de amônio (NH ₄ OAc)1,2N a PH 7,0	34

3.4.4. Metodologia para determinação dos teores de sódio solúvel.	35
3.4.5. Determinação da adsorção negativa do sódio no solo.	36
3.4.6. Aproveitamento do excedente de terra encontrado nas superfícies superior e inferior das amostras indeformadas para determinar a ESP. .	37
3.5. Aparato para determinação da condutividade hidráulica do solo saturado	42
3.6. Preparo das amostras de solo indeformadas e das soluções percolantes para os testes. . .	45
3.6.1. Preparo das amostras de solo.	45
3.6.2. Tratamento das soluções percolantes.	45
3.7. Análises físicas de laboratório.	48
3.8. Métodos computacionais.	53
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1. Avaliação da homogeneidade entre as amostras coletadas.	55
4.1.1. Variação da ESP inicial e da densidade do solo no espaço amostrado.	55
4.1.2. Avaliação da homogeneidade vertical da amostra	58
4.2. Avaliação da condutividade hidráulica. . .	63

4.2.1. Relação entre a ESP inicial do solo e os resultados de condutividade hidráulica.	63
4.2.2. Relação entre a condutividade hidráulica e a porosidade total das amostras indeformadas	66
4.3. Efeito da aplicação de diferentes soluções percolantes na condutividade hidráulica. . .	67
4.3.1. Efeito da aplicação da solução de NaHCO_3 na condutividade hidráulica. .	67
4.3.2. Efeito da aplicação da solução de sulfato de cálcio sobre a condutividade hidráulica.	74
4.3.3. Comparação do efeito da aplicação das soluções de carbonato de sódio e acetato de sódio na condutividade hidráulica das amostras.	76
4.3.4. Efeito da aplicação da solução ajustada à concentração do Rio Salitre.	79
4.4. Comparação entre o modelo matemático e os resultados de lixiviação com os tratamentos	84
4.4.1. Eluição nos tratamentos 1 e 2. . . .	86
4.4.2. Eluição nos tratamentos 5 e 6. . . .	89
4.4.3. Eluição no tratamento 7.	94

4.5. Deslocamento do sódio em solução utilizando a câmara de membrana de pressão de Richards e comparação com o tratamento 8.	96
5. CONCLUSÕES.	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	100
ANEXO 1	108
ANEXO 2	156

**CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NO PROCESSO DE ELUIÇÃO EM UM
SOLO BRUNO-NÃO CÁLCICO.**

Autor: LAZARO NONATO VASCONCELLOS DE ANDRADE

Orientador: PROF. Dr. DÉCIO EUGÊNIO CRUCIANI

RESUMO

Com o objetivo de avaliar o efeito da porcentagem de sódio trocável (ESP) do solo e da concentração eletrolítica da água de percolação, sobre a condutividade hidráulica e a lixiviação em um solo Bruno-Não-Cálcico da região do Rio Salitre-BA, foi conduzido o presente experimento em condições de laboratório na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo.

O experimento foi realizado utilizando-se amostras de solo indeformadas coletadas em anéis cilíndricos tipo Uhland e consistiu da determinação e da análise da condutividade hidráulica do solo saturado, utilizando-se diferentes soluções percolantes. As soluções apresentavam diferentes concentrações eletrolíticas e a condutividade hidráulica foi medida durante todo o tempo de percolação. Também foram medidas, a condutividade elétrica da solução percolada e os teores de sódio antes e após a passagem das soluções. Utilizando a câmara de membrana de pressão de Richards, amostras escolhidas ao acaso, foram submetidas a diferentes tensões, sendo determinados os

teores de água e sódio deslocado. Então, o processo de eluição e lixiviação foram ajustados pelo modelo matemático de Glueckauf para o estudo do deslocamento miscível das soluções e da lixiviação de sais em uma coluna contínua.

Os resultados mostraram que devido à variabilidade espacial e aos fluxos de natureza preferenciais, os dados de condutividade hidráulica mostraram-se muito heterogêneos, obtendo-se baixas correlações entre a condutividade hidráulica e os níveis de ESP encontrados. A aplicação de solução de sulfato de cálcio teve efeito benéfico sobre a condutividade hidráulica do solo saturado, exceto quando ocorreram processos irreversíveis de dissolução de minerais, sendo que esse efeito esteve associado ao pH ou ao teor de carbonatos na solução percolante. Embora o modelo de Glueckauf explique a natureza de alguns fenômenos que podem ocorrer num sistema em colunas de solo submetidas à lixiviação, o efeito dos distúrbios devidos a fluxos de natureza preferenciais não permitiu um ajuste adequado das curvas teóricas às curvas de lixiviação.

**HYDRAULIC CONDUCTIVITY IN THE ELUTION PROCESS IN A
NONCALCIC BROWN SOIL**

Author: LAZARO NONATO VASCONCELLOS DE ANDRADE

Adviser: PROF. DR. DÉCIO EUGÊNIO CRUCIANI

SUMMARY

The purpose of this work was to evaluate the effect of exchangeable sodium percentage (ESP) and electrolite concentration of percolating water, on the hydraulic conductivity and leaching fraction in a Noncalcic Brown Soil of the River Salitre-Ba region. The experiment was conducted in laboratory conditions at "Luiz de Queiroz" College of Agriculture of the University of São Paulo.

The experiment was carried out using undisturbed soil samples collected in Uhland type steel cylinder. It consisted on the determination and analisis of hydraulic saturated conductivity using leaching solutions with differents electrolite concentrations. The hydraulic conductivity was measured during the percolation's time. In addition, was measured the eletrical conductivity of the percolate and sodium exchangeable concentration, before and after downward flow of the solution. Using Richards pressure-membrane apparatus with large range of tensions, moisture and sodium dislocated were measured. Then, the leaching process and elutions was ajusted through Glueckauf

matematical model for the studies of the miscible displacement phenomenon by leaching of salts out of the soil column.

The results showed that because of the spatial variability and border-flows, the hydraulic conductivity data were heterogeneous. A low correlation between hydraulic conductivity and ESP levels was found. Applying calcium sulfate solution showed a beneficial effect on the hydraulic saturated conductivity, except when irreversible processes of mineral dissolution occurred. This effect has been associated to pH or carbonate content in the percolating solution. Although the Glueckauf model explains the nature of some phenomena that may occur in a system of soil columns under leaching process, the effect of the boundary flow has not allowed an adequate agreement between theoretical and observed leaching curves.

1. INTRODUÇÃO

Os solos irrigados recebem consideráveis quantidades de sais dissolvidos adicionados pela água de irrigação e o restante pela água subsuperficial que entra em uma área. A água de irrigação é uma das principais fontes de sais mesmo quando é de excelente qualidade. Uma adição anual de 1000 mm de água de irrigação contendo, somente, 250 mg/l (ppm) de sais dissolvidos, adicionará 2500 kg de sais por hectare ano. Caso não sejam eliminados estes sais da zona radicular a salinização será inevitável (MOLEN, 1972).

A produtividade agrícola de algumas áreas das regiões áridas e semi-áridas é limitada frequentemente, pelos efeitos da salinidade e sodicidade dos solos. Sabe-se que os efeitos negativos sobre a produtividade agrícola desses solos, deve-se à redução da quantidade de água disponível para as plantas, modificação das características físicas do solo ou efeitos tóxicos de íons específicos (FERREIRA & COELHO, 1984).

Cada cultura possui uma tolerância particular à salinidade, decorrente de características fisiológicas próprias da planta, que é prejudicada ou favorecida pelo manejo

da cultura. Para o bom desenvolvimento das culturas, é necessário eliminar-se o excesso de sais, prática nem sempre viável, porque o movimento de sais através do perfil do solo depende de suas características de transmissão de água.

Assim, em solos com condutividade hidráulica muito baixa, o transporte dos sais por fluxo de massa pode reduzir-se a valores desprezíveis, passando a predominar o movimento por difusão molecular, quando gradientes de concentração são criados (BIGGAR & NIELSEN, 1967).

Em solos sódicos, o efeito maior da salinidade é sobre as suas características físicas. Devido à dispersão dos coloides, ocorre a desestruturação do solo, o que cria problemas de compactação e diminui consequentemente a aeração, dificultando o movimento da água e o desenvolvimento do sistema radicular, além de provocar efeito tóxico de íons específicos (CORDEIRO, 1988).

Os solos da região do rio Salitre-BA apresentam caracteristicamente, problemas de drenagem e de permeabilidade, o que impede em parte uma boa aeração. Além disso, apresentam efeitos prejudiciais dos sais solúveis e do sódio trocável sobre as propriedades físicas dos solos. Nesses casos, para o desenvolvimento das plantas cultivadas, é necessário a substituição do sódio por outro elemento como o cálcio ou o hidrogênio e a lavagem dos sais substituídos (SANTANA et al., 1984).

Considerando-se que as características dos solos da região do rio Salitre-BA não impedem a sua utilização racional, já que 89,6% da área total da Estação Experimental do Salitre-BA, onde foi realizada a amostragem para este trabalho, apresenta-se adequada para a irrigação (SANTANA et al., 1984), pesquisas na área de salinidade do solo devem ser direcionadas para a viabilização de projetos de irrigação e drenagem.

Entretanto, os solos da área em estudo, como dito anteriormente, são de drenagem deficiente e contêm altos teores de sais solúveis. Estudos de movimento de água nesses solos, permitirão uma melhor racionalização das atividades agrícolas, principalmente na elaboração de projetos de drenagem subterrânea e superficial, como também em projetos de dessalinização.

Tendo em vista os custos que os projetos de dessalinização envolvem e sua viabilidade de execução, sistemas de irrigação por gravidade apresentam-se promissores para a área em estudo, visto que a topografia plana e os solos rasos permitem o manejo e o dimensionamento de tabuleiros regulares irrigáveis por inundação, com sistemas de drenos em valetas, que podem permitir uma exequibilidade à custos menores. Dessa forma, estudos de condutividade hidráulica saturada e dessalinização, mostram-se necessários para fornecer subsídios teóricos e práticos à implantação de

projetos.

Nos testes realizados nos laboratórios dos departamentos de Engenharia Rural e de Ciência do Solo da ESALQ/USP foram estudados três aspectos : (i) as relações entre a condutividade hidráulica saturada e os níveis totais de sódio em termos de distribuição espacial no local de amostragem; (ii) o comportamento da condutividade hidráulica saturada no processo de lixiviação das amostras de solo e a eficiência de retirada do sódio do sistema; (iii) a hipótese de ajuste dos resultados obtidos de condutividade elétrica da água percolada com um modelo matemático proposto, onde seja relacionado o volume de solução incorporado, nos processos de lixiviação e eluição da solução nas colunas de solo, com as concentrações eletrolíticas das soluções percoladas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Determinação da condutividade hidráulica.

O conceito de potencial é muito útil para a análise do fluxo de água nos solos, já que o fluxo é uma consequência da existência de gradientes de potencial. Em geral pode-se escrever como equação de fluxo:

$$v = -k \cdot \frac{d\rho\phi_h}{ds} \quad (1).$$

onde: v é a velocidade do fluxo (cm/seg); k é o coeficiente de condutividade; $d\rho\phi_h/ds$ é o gradiente de potencial hidráulico (dinas/cm³), e o potencial hidráulico $\rho\phi_h = \phi_h^*$ se expressa em (erg/cm³) ou (dina/cm²) que é a pressão hidráulica, definida a partir da densidade ρ (g/cm³) e do ϕ_h potencial hidráulico em (erg/g) ou (dina/cm²).

As unidades de k podem ser deduzidas das dimensões de $d\rho\phi_h/ds$ (dina/cm³) e v (cm/seg), resultando cm⁴/dinas.seg ou cm³.seg/g. O fluxo de água através de solos saturados, v , se descreve geralmente pela lei de Darcy:

$$v = - k \cdot i \quad (2).$$

onde: i é o gradiente hidráulico e k é uma constante, a condutividade hidráulica (GROENEVELT & KIJNE, 1978).

O fato da condutividade hidráulica aparecer como um fator de proporcionalidade da lei de Darcy não significa necessariamente que seja ou deva ser uma constante. Isto porque, os vários processos químicos, físicos e biológicos podem tomar lugar no solo e alterações na condutividade podem ocorrer quando a água flui através do solo (KLUTE, 1965).

LIBARDI (1988), comenta a experiência de Darcy com infiltração vertical de água em filtros de areia sob condições de saturação, observando que a vazão é definida como o volume de água que atravessa a coluna por unidade de tempo, sendo diretamente proporcional à área da seção transversal e à diferença de carga piezométrica através da coluna, e inversamente proporcional ao comprimento L da coluna de areia.

Logo;

$$Q = V/t \propto A \quad (3).$$

$$Q \propto (H_1 - H_2) \quad (4).$$

$$Q \propto 1/L \quad (5).$$

Da substituição do símbolo de proporcionalidade

por uma constante de proporcionalidade, obtemos:

$$Q = K_o \cdot A \cdot (H_1 - H_2) / L \quad (6).$$

Substituindo, Q por $V/A.t$, temos:

$$\frac{V}{A \cdot t} = K_o \cdot \frac{\Delta H}{L} \quad (7).$$

onde: V é o volume de água que passa através do solo no tempo t ; A é área da seção transversal da coluna de solo; ΔH é a diferença de carga hidráulica; $V/A.t$ é a velocidade de fluxo e K_o é a constante de proporcionalidade denominada de condutividade hidráulica do solo saturado com a mesma unidade dimensional da velocidade de fluxo.

Uma larga amplitude de valores de condutividade hidráulica são encontrados nos solos. A apreciação da magnitude que a condutividade pode ser encontrada foi disposta em classes, mostrada na Tabela 1 (O`neal, 1952, citado por KLUTE, 1965).

Tabela 1 - Classes de condutividade hidráulica e permeabilidade para solos saturados (O`NEAL, 1952).

Classes	k (cm/h)
Muito baixa	< 0.125
Baixa	0.125 - 0.5
Media Baixa	0.5 - 2.0
Média	2.0 - 6.25
Média Rápida	6.25 - 12.5
Rápida	12.5 - 25.0
Muito Rápida	>25.0

Libardi (1988) indica que os métodos de laboratório podem ser usados para amostras com estrutura deformada e indeformada. Esses métodos são subdivididos para a condição de saturação e de não saturação. Entre os métodos de laboratório para a determinação da condutividade hidráulica em condição de saturação, incluem-se o permeâmetro de carga constante e o permeâmetro de carga decrescente. O primeiro é adequado para amostras de solo cujos valores de K_o sejam maiores que 0,01 cm/min (0,6 cm/h), e o segundo (de carga decrescente) para amostras de solo com K_o menores que 0,01 cm/min ($< 0,6$ cm/h) (Libardi, 1992; citado por CHIRINOS, 1992).

As informações obtidas de amostras indeformadas são mais recomendáveis, quando se pretende extrapolar os dados para as condições de campo (MILLAR & CORDEIRO, 1978).

Na determinação da condutividade hidráulica em laboratório, podem ser utilizadas tanto amostras fragmentadas como amostras em estado natural. Amostras em estado natural são coletadas em cilindros, sem que seja destruída sua estrutura. Valores de condutividade hidráulica em laboratório, obtidos a partir de amostras fragmentadas, não refletem as condições de campo, não devendo sequer servir para dar uma idéia da permeabilidade da camada testada, a não ser num solo de textura arenosa (BATISTA, 1991).

Valores médios de condutividade hidráulica obtidos em laboratório por meio de amostras em estado natural, coletadas em cilindros apropriados, podem ser utilizados no cálculo do espaçamento entre drenos. Os valores obtidos não são entretanto, de grande confiabilidade, considerando-se que as amostras testadas são pequenas em volume e que o teste é grandemente influenciado pela possível presença de orifícios provocados por raízes, rachaduras ou pedras. No cálculo do espaçamento de drenos, o valor de condutividade hidráulica " k_o " deve sempre que possível ser obtido "in loco" (BATISTA, 1991).

A condutividade hidráulica depende das propriedades do fluido e do material poroso. Desde que o material poroso possui uma geometria variável de solo para solo, e para um mesmo solo, podemos ter variações no seu valor. Os principais fatores que afetam-na são: textura, estabilidade estrutural dos solos, densidade aparente, agregados, composição química do solo e do complexo de troca, as propriedades de dilatação e compactação do solo, a atividade microbiana, a possível presença de ar que possa bloquear a passagem de água (HILLEL, 1972).

Quando o fluido atravessa as amostras de solo por longos períodos de tempo, ou quando as amostras ficarem submersas por longos períodos, diversos processos biológicos, químicos e físicos podem ocorrer no sistema que mudam

a condutividade hidráulica (KLUTE, 1965).

2.2 Influência da concentração salina, do sódio trocável e da concentração eletrolítica da água de percolação sobre a condutividade hidráulica.

A água de irrigação com altos teores de sais, principalmente do sódio, pode favorecer o acúmulo de sódio na solução do solo, favorecendo sua adsorção pelo complexo de troca, provocando assim, modificações na estrutura do solo, devido aos efeitos do sódio adsorvido sobre a dilatação, dispersão e migração das partículas de argila nos poros condutores, com consequente formação de camadas impermeáveis que podem interferir na condutividade hidráulica do solo (GOES, 1978).

A condutividade hidráulica saturada (HC), e o grau de dispersão das argilas (DD), foram determinados para dois tipos de solos com águas de diferentes combinações de razão de adsorção de sódio (SAR) e concentrações eletrolíticas totais (CET) seguidas de água destilada para simular a chuva, no trabalho de MINHAS & SHARMAN, (1986). Eles concluíram que aumentos na SAR e decréscimos na CET da água de lixiviação incrementaram a DD e reduziram a HC dos solos, sendo que os valores de HC foram mais altamente correlacionados com a RAS que com a CET.

MILLAR & CORDEIRO (1978), comentam que os altos teores de sódio trocável em termos de percentagem (ESP) é o principal fator limitante na produção agrícola devido ao seu efeito na permeabilidade do solo.

QUIRK & SCHOFIELD (1955), relataram efeitos benéficos da água com concentração eletrolítica elevada sobre a condutividade hidráulica saturada.

REEVE & BOWER (1960), descrevem efeitos benéficos da água de concentração eletrolítica na lixiviação de solos sódicos.

Dois mecanismos têm sido propostos para explicar os decréscimos da permeabilidade do solo em condições de alta ESP: a expansão e a dispersão dos minerais de argila. Alphen¹, relata que quando o solo é suficientemente úmido, próximo à capacidade de campo, a dupla camada difusa (DCD) desenvolve sua extensão potencial. Quando o solo seca, a quantidade de umidade pode ser reduzida a valores abaixo daquela armazenada na DCD, em particular para os casos de DCD espessas encontradas em solos sódicos. Assim, a DCD sofre um truncamento. Ao reumedecer-se a DCD expande-se e em solos com altos teores de cálcio intercambiável esta expansão é muito menor que em solos com altos teores de sódio intercambiável. A expansão

¹ALPHEN, J.G. van (International Institute for Land Reclamation and Improvement.) **II Curso Internacional de Drenagem de Terras Agrícolas**; notas de aula. 1991.

causa o fechamento dos poros inter-agregados, e assim reduz-se a condutividade hidráulica. Além disso, a pressão originada desta expansão, empurra as partículas individuais de argila de encontro umas às outras. O solo se dispersa e os agregados desfazem-se. As partículas finas do solo que estão soltas movimentam-se desuniformemente nos poros do solo, assim reduzindo sua permeabilidade à água.

A expansão das partículas de argila, que é cada vez maior, com o aumento da sodicidade do solo, resulta no fechamento total ou parcial dos poros condutores reduzindo a condutividade hidráulica (QUIRK & SCHOFIELD, 1955).

O efeito adverso do sódio trocável nas propriedades do solo é consideravelmente modificada pelo tipo e quantidade de minerais de argila presentes no solo, presença ou ausência de agregados e materiais estabilizantes incluindo sesquióxidos e matéria orgânica (MCNEAL & COLEMAN, 1966).

PUPISKY & SHAINBERG (1979), estudaram a condutividade hidráulica de um solo bruno avermelhado arenoso em função da concentração e SAR das soluções percolantes. Eles concluíram que a resposta de condutividade hidráulica do solo foi mais sensível a ESP, quando foram aplicadas soluções com baixas concentrações salinas. Quando os valores de ESP

são baixos, a dilatação das argilas montimoriloníticas é pouco pronunciada explicando assim, o aumento da condutividade hidráulica com a contínua lixiviação com água destilada. Isto porque, a dilatação não é a causa direta e principal de decréscimo da condutividade hidráulica em baixos valores de ESP. Eles concluíram que a dispersão, com o movimento de argilas, é o mecanismo principal que controla a condutividade hidráulica do solo, através da obstrução dos poros condutores.

SHAINBERG & LETEY (1984) relatam que a condutividade hidráulica depende do teor de sódio e da concentração total de sais da solução percolante. Elevada condutividade hidráulica pode ser mantida, mesmo com altos valores de percentagem de sódio intercambiável (ESP), se a concentração da solução é superior a um determinado nível crítico.

Uma boa correlação é encontrada entre a permeabilidade relativa do solo e a expansão de argilas, sendo que as argilas são afetadas pela concentração e composição da solução do solo. Diversos trabalhos têm usado a expansão da montimorilonita para prever a resposta da condutividade hidráulica para soluções com diferentes composições iônicas e diferentes concentrações salinas (MCNEAL & COLEMAN, 1966).

RHOADES & INGVALSON (1969), reconheceram que a

dispersão era o processo operativo que diminuía a permeabilidade em solos vermiculíticos e causava a obstrução dos poros do solo.

O efeito deletério do sódio adsorvido nas propriedades físicas de solos agrícolas é evidenciado na mudança de sua permeabilidade. A permeabilidade do solo diminuí a uma razão quadrática em relação ao raio poroso. Uma pequena redução no tamanho de poros largos devida a adsorção de sódio tem um grande efeito na permeabilidade do solo (OSTER & SHAINBERG, 1980).

Pal et al. (1988), trabalhando com solo barro argiloso e barro arenoso, utilizando combinações de água com SAR de 0, 15, 30, 45 e 60 e concentração eletrolítica total de 20, 40, 80 e 120 meq/l, verificaram o aumento condutividade hidráulica do solo saturado com o aumento da concentração eletrolítica da solução percolante. Verificaram também, que o aumento do SAR da solução provocava a redução da condutividade hidráulica saturada para ambos os solos.

GIRDHAR & YADAV (1980), estudando o efeito da qualidade de água nas propriedades e atributos do solo, encontraram que o aumento na relação de Mg/Ca, o aumento da SAR e a diminuição da concentração eletrolítica da água de lixiviação aumentaram a dispersão e diminuíram a condutividade hidráulica dos solos quando saturados.

LIMA et al. (1990), trabalhando com um solo

franco na California, verificaram que quando a ESP do solo aumentava ou a concentração da solução percolante diminuía a condutividade hidráulica diminuía.

FRENKEL et al. (1978), estudando a resposta de solos caoliníticos para condições sódicas, encontraram que a condutividade hidráulica desses solos foi menos afetada pela ESP e concentração eletrolítica da solução percolante em comparação com solos montimoriloníticos.

Uma limitação do método de laboratório é o tamanho pequeno da amostra, o que pode ocasionar uma grande variação nas características do solo, devido a variação espacial, exigindo para uma avaliação segura, a coleta de um grande número de amostras (QUEIROZ, 1990).

2.3 Processos de dessalinização e lixiviação em colunas de solo saturadas.

Utilizando os valores de propriedades hidráulicas do solo medidos no campo e os coeficientes de dispersividade, RUSSO (1986) simulou para um conjunto representativo de casos, lixiviações em um solo sódico-gessífero sob diferentes condições e qualidades de água, usando um modelo de transporte e de salinidade. As possíveis aplicações do modelo, combinado para controle de salinidade, foram demonstradas.

Modelos baseados no deslocamento miscível e intercâmbio de cátions, foram usados para prever a acumulação de sais totais e o sódio intercambiável em um solo barro arenoso após a redistribuição, evaporação e irrigação com água salina sódica ou chuva, no trabalho de KAPOOR & PAL (1986).

O deslocamento dos sais após a infiltração e a redistribuição da água, foi estudado em colunas homogêneas verticais de um solo salino sódico, (pH 8,6, CEE 29,2 dS/m, SAR 163, textura barro arenosa) e após adição de solução com cloreto de cálcio, por MINHAS & SHARMAN (1989). Comparado com o solo onde se fez a adição de cloreto de cálcio, o solo salino sódico original, devido a sua vulnerabilidade à dispersão das argilas, exibiu uma retenção de umidade mais alta. O estudo indicou que a eficiência de lixiviação de solos salinos sódicos pode ser consideravelmente melhorada se sua deterioração estrutural durante a lavagem puder ser reduzida pela aplicação de uma solução com cálcio (MINHAS & SHARMAN, 1989).

ROWELL (1985), examinou até que ponto, o deslocamento pela água, da solução de sais, causa um decréscimo na percentagem de sódio trocável (ESP) através da interface água/solução salina. O deslocamento pela água, de soluções com concentrações maiores que 100 meq (Na + Ca)/litro para colunas de solo barro arenosas com ESP de 18,

conduziu à uma redução na ESP através do intercâmbio de cátions e da hidrólise de sódio intercambiável. Isto conferiu alguma proteção da estrutura do solo, como foi demonstrado pela manutenção da condutividade hidráulica.

O efeito de quatro soluções salinas de lixiviação (CaCl_2 de diferentes concentrações, água de canal de irrigação e água destilada desionizada) sobre a estabilidade estrutural de um solo salino sódico da Espanha, foram analisadas através da medida da condutividade hidráulica (HC), da condutividade elétrica (CE) e da dispersão (D) em experimentos com colunas de solos saturadas realizados por ARAGUES & AMEZKETA (1991). A HC final do solo decresceu em relação à inicial, com o decréscimo da salinidade da solução de lixiviação, obtendo-se os mais baixos valores com a água desionizada. A dispersão no efluente aumentou em aproximadamente 60 vezes, quando a salinidade da solução de lixiviação foi diminuída de 5 dS/m para 0,01 dS/m. Somente um pouco de argila dispersa em água (< 2% do total de argila do solo), foi suficiente para reduzir substancialmente a HC.

A resposta de seis solos barro arenosos à lavagem com água salina e sódica e com chuva simulada foi estudada por SHAINBERG et al. (1991). Eles concluíram que a permeabilidade do solo depende da sua textura e que a permeabilidade diminuiu com o aumento no conteúdo de silte

e argila. A resposta do solo à sodicidade dependeu da concentração eletrolítica. Concentrações de sais maiores que 10 mmols/l foram suficientes para evitar o efeito deletério do sódio intercambiável. Quando foram lixiviado com água destilada (simulando água de chuva), a presença de minerais primários e de limo determinou a susceptibilidade dos solos a salinidade.

Quando os solos salinos são lixiviados para a sua recuperação, ou quando já recuperado aplica-se um excesso de água de irrigação para manter-se um conteúdo relativamente baixo de sais no solo, sempre se produz a aplicação de um fluido que se difunde com a solução do solo com a qual se supõe ser completamente miscível (MOLEN, 1972). O mesmo autor descreve uma série de modelos teóricos que ilustram o processo de movimento de solutos através de materiais porosos: i) recipiente único; ii) recipiente único com derivação; iii) série de recipientes; iv) coluna contínua.

Na teoria da coluna contínua, a performance das colunas dependem largamente do formato das isotermas de adsorção. Para componentes que não são adsorvidos pelas partículas do solo, como o íon Cloro (Cl^-), estas isotermas podem ser consideradas como lineares. Nesta teoria, a coluna é considerada como sendo composta de um número de placas finitas e de iguais espessuras, em que para cada uma das quais um equilíbrio deve ser estabelecido (MOLEN, 1956). Para

a isoterma de adsorção linear, essa teoria prediz que no curso do processo de eluição as condições de contorno permanecem inalteradas, entretanto, não temos essa resposta na prática de campo e de laboratório, mesmo operando em circunstâncias ideais. De acordo com GLUECKAUF (1949), estes distúrbios podem ser causados pelos seguintes fatores: tamanho finito dos grãos, difusão do líquido entre os grãos e condições não equilibradas. Contudo, pode-se esperar que a teoria de Glueckauf seja aplicável para condição de lixiviação de solos. Somente pelo teste da teoria em casos observados, pode-se traçar o papel dos fatores de distúrbio.

Segundo a teoria de Glueckauf (GLUECKAUF, 1949) a solução da equação diferencial

$$\left(\frac{\partial f}{\partial v}\right)_x + \left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)_v - k \cdot \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2}\right)_v = 0 \quad (8).$$

assumindo as condições de contorno para o caso de uma solução de concentração C_0 constante em processo de eluição numa coluna saturada como:

$$C = 0 \text{ quando } v = 0;$$

$$C = C_0 \text{ quando } x = 0;$$

$$g = 0 \text{ quando } v = 0;$$

$$g = C_0 \cdot \exp(-v/4ak) \text{ quando } x = 0;$$

para um perfil homogeneamente salino pode ser dada pela seguinte expressão:

na qual **erfc** é a função erro complementar

$$C = \frac{C_0}{2} \cdot \left[\operatorname{erfc} \frac{p-1}{\sqrt{2p}} \cdot \sqrt{N} - \operatorname{EXP}^{2N} \cdot \operatorname{erfc} \frac{p+1}{\sqrt{2p}} \cdot \sqrt{N} \right] \quad (9).$$

$$\operatorname{erfc}(n) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^n \operatorname{EXP}(-\mu^2) d\mu \quad (10).$$

sendo que

$$f(c) = \alpha \cdot c = \frac{A \cdot c}{100} \quad (11).$$

$$V_m = \alpha \cdot x = \alpha \cdot \rho \cdot d \quad (12).$$

e

$$p = \frac{v}{V_m} \quad (13).$$

onde a seguinte notação é usada:

v : volume de água que passa através do solo (ml/cm²).

$x = \rho \cdot d$: peso de solo por unidade de área (g de matéria seca /cm²).

d : distância da superfície do solo (cm).

ρ : densidade aparente do solo (g/cm³).

C : concentração do ion Cl⁻ na umidade do solo (mg/ml).

C_0 : concentração inicial de ion Cl⁻ na umidade do solo suposta uniformemente distribuída em todo o perfil (mg/ml).

$f^*(c)$: quantidade de ions adsorvidos pelo solo em equilíbrio com a solução de concentração C (mg/g de matéria seca). Para o ion Cl⁻, que não é adsorvido pelo solo, $f^*(c)$ é obviamente igual a zero.

$f(c) = f^*(c) + \alpha c$: quantidade total de ions presente no solo (mg/g

de matéria seca).

α : espaço poroso preenchido com líquido (ml/g de matéria seca).

$2k' = 2pk$: peso da lâmina teórica por unidade de área (g de matéria seca/cm²).

$2k$: altura da lâmina teórica (cm).

$N = x/2k' = d/2k$: número de lâminas teóricas acima da profundidade x ou d respectivamente.

$A = 100 \cdot \alpha$: conteúdo de umidade do solo (ml/100 g de matéria seca).

Sendo que, para estudos de equilíbrio de troca iônica, as seguintes condições têm sido utilizadas para garantir um mínimo de efeitos de distúrbios: i) uso de tamanho de grão de 250 mesh (0,007 cm) ou menor; ii) taxas de fluxo suficientemente baixas para alcançar um equilíbrio de troca iônica completo (limite de $1,75 \times 10^{-3}$ cm/s). Estas condições são necessárias para investigar até onde uma isoterma de troca é afetada pelas condições não necessariamente ideais de qualquer experimento real (GLUECKAUF, 1949).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Características da região estudada.

A área de estudo, onde foi realizada a amostragem de solo, acha-se localizada no distrito do Salitre, a 36 km do Município de Juazeiro, Estado da Bahia, à margem direita da BA - 210 que liga Juazeiro a Sento Sé.

Os solos dessa região são originados de Micaxistos e Filitos da Formação Geológica Xisto Salitre, do Pré-Cambriano Médio Inferior; do Calcário Caatinga do Quaternário/ Terciário; e de Sedimentos do Holoceno com interferência do Calcário Caatinga (SANTANA et al., 1984).

O relevo é classificado geralmente como plano a suave ondulado, sendo a área contornada em parte, por encostas que constituem um relevo ondulado. Para a área de estudo o relevo é plano.

O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen, é semi-árido BSw^h, seco e muito quente, com média pluviométrica anual de 557 mm, em 10 anos (período de 1966 a 1975). Os ventos são predominantemente sudeste, com velocidade média oscilando de 2,9 a 4 m/s, sendo comum

encontrar-se nos meses de junho e julho velocidades de 5 a 6 m/s.

A média da temperatura mensal varia de 24,8°C em julho a 28,6°C em outubro, com uma média anual absoluta de 26,8°C.

A umidade relativa do ar, varia de 46% mínima em outubro e de 66% máxima em abril e média de 57% anual.

A estação chuvosa é no verão e vai de outubro a abril, com maiores precipitações nos meses de fevereiro, março e abril, tendendo a zero à partir de maio a setembro.

A insolação varia de 11,53 horas em junho a 12,70 horas em dezembro com média mensal de insolação de 230 horas.

A evaporação de tanque classe A USWB mínima ocorre em maio e é de 6,6 mm/dia e a máxima, em outubro, é de 11 mm/dia (SANTANA et al., 1984). A evapotranspiração potencial excede as precipitações médias mensais.

Conforme a classificação de Gaussen, o clima da região se enquadra no 4aTh-Tropical quente de seca de inverno modalidade acentuada. Índice xerotérmico entre 200 e 150. A variedade pertence à região xeroquimênica, número de meses secos entre 7 e 8. A vegetação natural não perdeu o seu aspecto fisionômico de caatinga hiperxerófila.

A área é banhada pelo Rio Salitre, única bacia hidrográfica perene do Sub-Médio São Francisco. As demais são

intermitentes ou periódicas. Encontra-se localizada entre as bacias dos Rios Tourão e Jacaré, nascendo na região central do Estado da Bahia, na Chapada da Diamantina, Município de Morro do Chapéu. Tem uma superfície em torno de 13.670 km², com comprimento longitudinal de 230 km e transversal de 100 km. Seu curso segue a direção norte, desaguardo no Rio São Francisco, a 20 km a montante da cidade de Juazeiro-Ba.

Apesar do Rio Salitre ser perene, atualmente encontra-se interceptado em vários pontos. Na área de estudo, a situação é crítica, em virtude dos longos períodos de estiagem, e também devido ao uso não regulamentado das águas, com a construção de pequenas barragens à montante, que represam uma quantidade de água muito grande e que comprometem a disponibilidade de água no período de estiagem em várias propriedades do médio e baixo Salitre. A qualidade da água do rio, é de média salinidade, tendo baixo teor de sódio e sendo classificada como C₂S₁ (SANTANA, et al., 1984).

3.2 Características do solo em estudo

Segundo SANTANA et al., 1984, o solo é classificado como BRUNO NÃO CÁLCICO salino planossólico A moderado textura argilosa /siltosa fase caatinga hiperxerófila relevo plano. São solos pouco profundos moderadamente drenados, perfil A1, A3, Bt e C. O horizonte A1

de (0 - 4 cm), amarelo avermelhado (7,5 YR 6/6 seco), textura franco siltosa, estrutura moderada pequena média laminar, macio quando seco, muito friável úmido, e pegajoso quando molhado, transição plana e clara. O A3 de (4 - 20 cm) difere do A1 na cor que é vermelha amarelada (5 YR 5/8 seco), na estrutura que é forte média a grande blocos subangulares e na consistência seca e úmida que é duro e ligeiramente friável, respectivamente, e na transição plana e gradual. O Bt de (20 - 40 cm), é vermelho (2,5 YR 4/6 seco), textura franco argilosa, estrutura forte pequena média a grande granular, consistência dura, friável muito plástica e pegajosa quando úmida com transição abrupta. O C de (40 - 105 cm), tem coloração amarelo brunada (10 YR 6/6 seco), textura franco argilosa, estrutura pequena média a grande em blocos subangulares e consistência dura quando seco, firme, pegajosa e plástica quando úmida. O perfil apresenta poucos poros pequenos no A1, muitos pequenos e médios no A3 e Bt e poucos e pequenos no C.

As características físicas e químicas deste solo estão relacionadas na Tabela 2, no levantamento realizado por SANTANA et al. (1984), onde observa-se que são solos salinos, com valores de condutividade elétrica do extrato de saturação altos de 111,6 mmhos/cm à profundidade de (4 - 20 cm), alta saturação por bases com valores de V variando entre 100 e 98% em todo o perfil. Os teores de

cálcio e de magnésio apresentam valores mais altos de 0 - 20 cm com 17,6 e 16,2 meq/100g, respectivamente. A percentagem de sódio trocável, só é significativa no horizonte A3.

Tabela 2 - Análises físicas e químicas do perfil PAS 17 da unidade de mapeamento AGS 12 realizadas no ano de 1984 (SANTANA, et al., 1984).

Horizontes	A1	A3	Bt	C
Profundidade (cm)	0-4	4-20	20-40	40-120
Granulometria %				
Areia	-	24	29	30
Silte	-	52	31	38
Argila	-	24	40	32
Grau de Flocul. %	-	79	97	59
%Silte/%Argila	-	2,16	0,77	1,18
TEXTURA	fr.silt.	fr.silt.	fr.arg.	fr.arg.
Dens. do Solo (g/cm ³)	-	1,32	1,42	1,48
Dens. Partic. (g/cm ³)	-	2,61	2,65	2,68
Umidade %				
0,33 atm	-	19,7	21,8	22,6
15,00 atm	-	9,4	10,3	9,7
água disponível	-	10,3	11,5	12,9
pH				
em H ₂ O	-	6,7	5,6	6,9
em KCl	-	6,3	4,9	6,0
Carbono Org. %	-	0,44	0,36	0,28
Nitrogênio %	-	0,05	0,04	0,03
Relação C/N	-	9	9	9
Matéria Org. %	-	0,75	0,59	0,48
CE ext.sat. (DS/m)	-	111,6	11,7	8,4
Complexo Sortivo (meq/100g de TFSA)				
Cálcio	-	17,6	7,1	7,1
Magnésio	-	16,2	5,0	5,8
Potássio	-	0,09	0,27	0,16
Sódio	-	4,44	0,15	0,15
Enxofre	-	38,2	12,5	13,1
Alumínio	-	0	0	0
Hidrogênio	-	0,16	0,16	0,16
Fósforo (ppm)	-	2,6	0,4	1,3

Apresentam alto grau de compactação, como pode ser visto na Figura 1. Na superfície, 0 - 4 cm este solo é tão compacto que a estrutura é totalmente laminar.

Figura 1. Caracterização do problema de compactação e dispersão de sais no horizonte superficial.

Os resultados das análises físicas e químicas recentes realizadas nos laboratórios de análises de solos da Faculdade de Agronomia do Médio São Francisco FAMESF, Tabela 3; e dos departamentos de Ciência do Solo e Engenharia Rural da ESALQ/USP, Tabela 4, mostraram resultados semelhantes para o horizonte A3, horizonte de amostragem deste trabalho, com os teores de cálcio, magnésio e sódio e valor V% muito altos.

Tabela 3 - Análises físicas e químicas realizadas na Faculdade de Agronomia do Médio São Francisco, março de 1993.

Composição Granulométrica % TFSA	
Areia	- 24
Silte	- 73
Argila	- 3
Argila Dispersa em água	- 1
Grau de Floculação	- 1
%Silte/%Argila	- 24
pH	
em H ₂ O	- 6,5
em KCl	- 6,0
CE ext. Sat. (DS/m)	- 61,1
Complexo Sortivo em meq/100g de TFSA	
Cálcio	- 27,4
Magnésio	- 17,8
Potássio	- 0,40
Sódio	- 20,4
Alumínio	- 0
Fósforo (ppm)	- 5

3.3 Metodologia de amostragem do solo no campo.

No período de 2 a 5 de fevereiro de 1993 foram coletadas 86 amostras em anéis cilíndricos tipo Uhland que foram acondicionadas em filme plástico e fumigadas com brometo de metila para posteriormente serem transportadas para a ESALQ e colocadas sob refrigeração.

A área de amostragem apresentava um certa uniformidade característica do problema de salinização e uma área de 12m x 15m foi amostrada conforme a Figura 2. Dez amostras deformadas foram retiradas e reunidas em uma amostra composta para a determinação da salinidade de toda a

área. Esta análise foi realizada pelo Laboratório de Análise de Solo da Faculdade de Agronomia do Médio São Francisco e encontra-se na Tabela 3.

As amostras indeformadas foram coletadas em espaçamento de 5m x 0,5m em tres fileiras, compondo com duas fileiras de 5m x 1m, alternadamente, como pode ser visto na Figura 2.

As amostras deformadas foram retiradas ao acaso dentro da área. A composição da amostragem teve como objetivo delinear espacialmente as possíveis variações na Percentagem de Sódio Trocável (ESP) e na Condutividade Hidráulica Saturada (CH) do solo. Os testes realizados, "a posteriori", constam de amostras retiradas ao acaso desse grupo de 86

Figura 2. Disposição das amostras indeformadas na área de amostragem.

As amostras deformadas que formaram uma amostra composta, permitiram estabelecer-se um valor médio a ser comparado com o valor médio das amostras indeformadas, já que, esperava-se variações nos teores de sódio mesmo sendo uma área muito pequena, então, entre as fileiras temos espaçamento de 2,5m e entre as linhas 0,5m e 1m em fileiras alternadas.

Os quatro primeiros centímetros da superfície do solo foram retirados devido ao alto teor de sais dispersos e devido à compactação (Figura 1). Após esta operação a retirada da amostra indeformada foi então realizada, na camada de 4 a 20 cm de solo. Como pode ser visto na Tabela 2, no perfil PAS 17, esta camada é que apresenta os teores de sódio relativamente altos necessários ao estudo de lixiviação.

3.4 Determinação dos teores de sódio e capacidade de troca de cátions do solo.

3.4.1 Análises de fertilidade.

Uma amostra retirada ao acaso, foi enviada para o Laboratório de Análise de Solo do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, para as análises químicas iniciais, com o objetivo de comparar os resultados obtidos

nessa amostra, com aqueles da Tabela 2. Os resultados das análises químicas confirmaram os altos teores de Na, Ca e Mg trocáveis no solo, e uma alta condutividade elétrica do extrato de saturação, como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 - Análises químicas realizadas no departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP.

Complexo sortivo (meq/100g TFSA)	
Sódio	- 36
Cálcio	- 13
Potássio	- 0,27
Magnésio	- 20
Alumínio	- 0
pH	
em H ₂ O	- 6,8
em KCl	- 6,7
em CaCl ₂	- 6,5
Soma de Bases (meq/100g TFSA)	- 69,3
Valor T (meq/100g TFSA)	- 70,2
Valor V %	- 99
Fósforo (ppm)	- 3
Condutividade elétrica do extrato	
saturação (mmhos/cm)	- 11,37
Matéria Orgânica %	- 1,6

A partir destes resultados foi determinada a ESP de acordo com a metodologia descrita por MALAVOLTA (1992), expressa a seguir para as duas análises realizadas.

a) Cálculo da ESP pelos dados da FAMESF, Tabela 3:

$$S = Ca + Mg + K + Na \quad (14a).$$

e

$$T = S + H + Al \quad (14b).$$

$$S = 27,4 + 17,8 + 0,40 + 20,4$$

$$S = 66 \text{ meq/100g solo}$$

Já que os teores de $H + Al = 0 \text{ meq/100g solo}$, temos:

$$T = 66 \text{ meq/ 100g solo}$$

e como

$$ESP = 100 \cdot Na / T \quad (15).$$

$$ESP = 100 \cdot 20,4 / 66$$

$$ESP = 30,9091 \%$$

b) Cálculo da PST pelos dados do LSO/ESALQ/USP, Tabela 4:

$$S = 13,0 + 20,0 + 0,27 + 36,0$$

$$S = 69,27 \text{ meq/100g solo}$$

$$T = 69,27 + 0,9$$

$$T = 70,17 \text{ meq/100g solo}$$

$$ESP = 51,3040 \%$$

Pelos resultados obtidos de condutividade elétrica do extrato de saturação e ESP calculados, as duas determinações permitiram classificar este solo, segundo RICHARDS, 1954 e GHEYI², 1991 como:

Análise (FAMESF, Tabela 3):

$C_{Ee} > 16 \text{ mmhos/cm} \Rightarrow$ excessivamente salino.

$ESP > 30 \%$ $\Rightarrow$ excessivamente sódico.

Análise (LSO/ESALQ/USP, Tabela 4):

$8 < C_{Ee} < 16 \Rightarrow$ fortemente salino.

²GHEYI, R.R. (Universidade Federal da Paraíba). **II Curso Internacional de Drenagem de Terras Agrícolas**; notas de aula. 1991.

ESP > 30 % ==> excessivamente sódico.

Procurou-se então buscar um método específico de determinação da ESP para solos salinos e alcalinos que pudesse ser feito para cada amostra, com vistas à determinação da ESP em cada cilindro, e não uma análise de fertilidade conduzida para este fim como foi feito anteriormente, nas determinações da FAMESF e USP.

Logo, identifica-se um problema básico em ter-se um valor real de ESP inicial de cada amostra indeformada sem necessariamente deforma-la, com os resultados desta ESP, obtidos através de uma metodologia específica para solos salinos e alcalinos, correntemente usada em trabalhos científicos nesta área de estudo.

3.4.2 Metodologia para determinação da capacidade de troca catiônica.

Método adaptado de Gloria et al. (1965) por KIEHL³ (1991):

a) Passar 5 gramas de terra para tubo de centrífuga de 50 ml.

b) Adicionar 25 ml de solução de acetato de cálcio, arrolhar e agitar em agitador mecânico por 5 minutos.

³KIEHL, J.C. (USP. Escola Superior de Agricultura " Luiz de Queiroz "/ Depto. Ciência do Solo). **Notas de aula.**

c) Remover a rolha e centrifugar até que o líquido sobrenadante se torne límpido (5 minutos).

d) Eliminar o sobrenadante por decantação.

e) Repetir os passos b,c e d.

f) Remover do solo a solução residual de acetato de cálcio repetindo 3 vezes os passos b, c e d, agora com 25 ml de álcool etílico 95%.

g) Remover do solo o cátion índice repetindo 3 vezes os passos b,c e d, agora com 25 ml de solução de acetato de amônio, recolhendo o sobrenadante em balão volumétrico de 100 ml.

h) Completar o volume do balão com água destilada e homogenizar.

i) Diluir 10 ml da solução (extrato) em 10 ml de água.

j) Passar 1 ml desta solução para tubo de ensaio, acrescentar 10 ml de óxido de lantânio 0,1%, homogenizar e fazer leitura em espectrofotômetro de absorção atômica ajustado com padrões contendo 0, 5, 10 e 20 ppm de Cálcio.

3.4.3 Metodologia para determinação dos teores de sódio total (trocável + solúvel) do solo extraído com solução de acetato de amônio (NH_4OAc) 1,2N a pH 7,0,

a) Pese 4 gramas de solo com textura média ou com textura fina ou 6 gramas de solo com textura argilosa de conteúdo de umidade conhecida e transferir para um balão volumétrico de 50 ml para centrifugação.

b) Adicionar 33 ml de solução de NH_4OAc 1,2N no tubo, arrolhar e agitar por 5 minutos.

c) Remover a rolha, e centrifugar até que o líquido sobrenadante esteja claro. Isto geralmente requer 5 minutos quando se opera com uma centrífuga a uma velocidade de 1500 a 2000 rpm.

d) Repassar o líquido sobrenadante, tão decantado quanto completamente possível, para um balão volumétrico de 100 ml. Extrair os sais da amostra com o NH_4OAc num total de três vezes por este processo. Completar o volume de 100 ml com solução NH_4OAc .

e) Determinar o sódio dos cátions extraídos. Expressar os resultados em termos de miliequivalentes de cátions por 100 gramas de solo seco em estufa.

3.4.4. Metodologia para a determinação dos teores de sódio solúvel.

A metodologia proposta por BOWER et al. (1952), preve a utilização de um peso de solo destorroado de 200 a

1000 gramas para obtenção do extrato em pasta de solo saturada e determinação dos miliequivalentes por litro (meq/l) dos vários cátions solúveis. Após a determinação da percentagem de umidade de saturação (PS%) da pasta, determinam-se os teores de cátions solúveis para miliequivalentes por 100 gramas de terra (meq/100g TFSA) através da conversão: [cátion (meq/100g TFSA) = cátion (meq/l) x PS% / 1000] (BOWER et al., 1952).

Determinados os teores de cálcio, magnésio e sódio do extrato de saturação, determina-se a PST do solo através das seguintes expressões:

$$SAR = Na / [(Ca + Mg)/2]^{1/2} \quad (16).$$

$$ESP = \frac{100 \cdot (-0,0126 + 0,0145 \cdot SAR)}{1 + (-0,0126 + 0,01475 \cdot SAR)} \quad (17).$$

onde, Na, Ca e Mg são as concentrações em meq/l de sódio, cálcio e magnésio, respectivamente, SAR é a razão de adsorção de sódio do solo e ESP é a percentagem de sódio trocável (RICHARDS , 1954).

3.4.5 Determinação da adsorção negativa do sódio ao solo.

Quando um sólido poroso tendo superfície específica relativamente alta é umidecido com uma solução, a

superfície da solução, torna-se grande e consideráveis adsorções podem ter lugar na interface sólido solução, já que o equilíbrio existe quando o potencial químico de um dado componente é igual em todas as fases. Desse modo, pela dissolução ou precipitação da fase mineral do solo, regula-se a composição de contato da solução do solo, dependendo do balanço de potencial químico dos componentes constituintes, distribuídos entre as fases mineral e líquida. Nesse ponto, é evidente que a adsorção negativa de sais inorgânicos em dissolução ocorrem nos solos salinos (BOWER & GOERTZEN, 1955; JURINAK, 1984).

Uma consequência da adsorção negativa é um erro positivo na determinação dos íons solúveis no solo pela análise do extrato de equilíbrio, tais como os obtidos pelo extrato de pasta saturada, influenciando na determinação dos cátions intercambiáveis (BOWER & HATCHER, 1962).

Visando minimizar este erro, foi utilizada a metodologia proposta por BOWER & HATCHER (1962), para a determinação da influência da adsorção negativa na determinação da ESP do solo.

3.4.6. Aproveitamento do excedente de terra encontrado nas superfícies superior e inferior das amostras indeformadas para determinar a ESP .

O método proposto por BOWER et al. 1952, pressupõe a deformação da amostra. A alternativa encontrada para a determinação da ESP inicial de cada amostra, sem necessariamente deforma-la, foi retirar-se os excedentes de terra nas partes superior e inferior do anel e determinar o teor total de sódio dos excedentes, através da metodologia 3.4.3 para cada amostra. O restante dos excedentes são então homogeneizados, formando uma quantidade de terra que permitirá a aplicação do método, onde serão então feitas as determinações propostas em 3.4.2, 3.4.4 e 3.4.5.

O procedimento estabelecido foi o de corrigir os teores totais de sódio obtidos pelo método 3.4.3, dos teores de sódio solúvel e do efeito da adsorção negativa, utilizando os excedentes de terra dos aneis homogeneizados e peneirados (peneira de 2mm). Neste caso estabelece-se um fator a corrigir o teor de sódio total, obtido pelo método 3.4.3 em cada excedente de cada amostra, fator este determinado nos excedentes homogeneizados pela metodologia completa proposta por BOWER et al.(1952).

Logo, a ESP em cada amostra será delineada por aproximação através da expressão

$$ESP = \frac{(Na\ total - Na\ total \cdot f)}{CTC} \cdot 100 \quad (18).$$

onde, o **Na total** é o teor de sódio total em meq/100g TFSA determinado no excedente da amostra; **f** é um fator

adimensional determinado nos excedentes homogeneizados; **CTC** é a capacidade de troca de cátions em meq/100g TFSA determinada nos excedentes homogeneizados e **ESP** é a percentagem de sódio trocável em dada amostra.

Resumindo, retira-se do anel uma quantidade para o teste e determina-se, amostra por amostra, os teores de Na total conforme descrito em 3.4.3. Posteriormente, com os excedentes de todas as amostras homogeneizados, determina-se o teor de sódio solúvel e a SAR conforme descrito em 3.4.4; a CTC de acordo com 3.4.2 e a adsorção negativa seguindo 3.4.5. Por fim, determina-se o fator por uma relação proporcional simples entre os teores solúveis de sódio e os teores totais de sódio determinados no homogeneizado delineando por aproximação, a ESP de cada amostra.

Após os testes de condutividade hidráulica saturada, as amostras foram destorroadas, peneiradas (peneira de 2mm) e uma ou duas subamostras foram retiradas, sendo os teores de sódio também determinados. Logo, para cada amostra foram realizadas duas ou três determinações de sódio total, sendo uma antes da realização do teste e uma ou duas após, sendo a ESP determinada conforme a Equação 18, nas análises antes e depois do teste de condutividade hidráulica saturada.

Nas tabelas 5, 6 e 7 temos os resultados das análises químicas realizadas para todas as amostras

Tabela 5 - Teores de sódio (Na) determinados para os tratamentos 1 e 2.

No	Amos	Ef ⁴	Mf ⁵	If ⁶	i ⁷	f ⁸	f ⁹	data
		Na meq/100 g TFSA						
01	T1A	0.92	1.02	1.04	31.0	0.99	0.42	24/09
02	T1B	0.80	0.82	0.82	31.5	0.81	0.36	24/09
03	T1C	1.02	1.02	0.86	20.5	0.97	0.38	24/09
04	T1D	0.94	1.00	0.96	13.5	0.97	0.50	24/09
05	T1E	0.96	1.04	0.84	31.5	0.95	0.38	24/09
06	T1F	1.08	1.04	0.96	31.5	1.03	0.48	24/09
07	T1G	1.87	1.80	1.96	25.5	1.88	1.76	24/09
08	T1H	1.14	1.24	1.20	41.0	1.19	0.40	24/09
09	T2A				24.5	0.70	0.68	26/10
10	T2B				33.0	0.74	0.88	26/10
11	T2C				23.5	0.50	0.52	26/10
12	T2D				0.26	0.30	0.38	26/10
13	T2E				20.0	0.64	0.66	26/10
14	T2F				1.47	0.66	0.72	26/10
15	T2G				27.5	0.56	0.76	26/10
16	T2H				0.56	0.40	0.54	26/10

⁴Teor de sódio retirado com anel externo;

⁵idem para o meio da amostra;

⁶idem para o interior da amostra;

⁷teor de sódio antes do teste;

⁸teor de sódio no final do teste determinação um;

⁹teor de sódio no final do teste determinação dois.

Tabela 6 - Número de meq de sódio/100 gramas de TFSA para os teste 4, 5, 6, 7 E 8 , nos excedentes de terra do anel e na amostra destorroada após o tratamento com a solução percolante.

TEST	Na meq/100g TFSE			TEST	Na meq/100g TFSE		TESTE 4 em (atm)	Na meq/100g TFSE	
	i	f	f		i	f		i	f
T3A	28.1	0.9	0.9	T7A	23	1.0	A0.02	25	16.5
T3B	33.1	0.8	1.1	T7B	29.2	1.2	B0.02	1	1.3
T3C	14	0.8	0.8	T7C	30.1	2	C0.02	30.6	28.1
T3D	21.7	0.9	0.9	T7D	24.5	1.1	A0.1	33.1	19.5
T3E	28.3	1.1	1	T7E	53.5	1.2	B0.1	11.5	6.5
T3F	23.4	0.8	0.8	T7F	0.6	0.8	C0.1	27.4	2
T3G	17.8	0.7	0.7	T7G	3.4	1.4	D0.1	4.7	18.7
T3H	21.3	0.7	1.1	T7H	24.8	15.3	A0.3	9.3	4.6
T3I	36.1	0.7	0.9	T8A	1.6	1.55	B0.3	20.8	11.7
T3J	32.6	0.8	0.8	T8B	28.3	8.3	C0.3	28.3	9.1
T3K	22.1	0.8	0.9	T8C	15.7	8.7	A0.5	11.1	9.5
T3L	16.9	2	1.1	T8D	27.2	5.2	B0.5	21.5	7.6
T3M	24.1	1	1	T8E	9.5	3.5	C0.5	15.3	6.8
T3N	13.6	1.1	1	T8F	22.8	8.3	A5.0	19.1	8.7
T3O	18.2	1	1.3	T8G	23.4	8.9	B5.0	24.5	5.4
T3P	33.1	0.9	0.9	T8H	20.8	7.4	C5.0	46.8	4.5
T5A	21.9	13	10.9	T6A	26.8	0.75	A15.0	19.1	8.3
T5B	33.1	11.5	13.8	T6B	28.8	1.05	B15.0	24.5	5.6
T5C	22.6	8.1	10.1	T6C	8.7	3.35	C15.0	46.8	6.5
T5D	31	9.3	11.7	T6D	26.5	1.55			
T5E	26.5	10.9	9.1	T6E	13.8	1.15			
T5F	28.1	8.5	7.5	T6F	22.1	2.75			
T5G	1.7	5.4	3.7	T6G	77.3	3.00			
T5H	25.4	13.8	12.1	T6H	24.8	1.85			

Tabela 7. Capacidade de troca catiônica(CTC) determinada utilizando cálcio e sódio como cátion índices.

Amostra	CTC meq/100g de solo							
	Ca	Ca	Ca	Med	Na	Na	Na	Med
H	42.0	31.9	38.3	37.4	12.7	9.2	11.4	11.1

indeformadas coletadas no campo, antes e após a passagem das soluções percolantes em cada tratamento realizado.

Na Tabela 5 pode-se observar os resultados para os tratamentos 1 e 2 em que após a passagem das soluções, foram retirados anéis concêntricos da amostra indeformada para analisar se houve descontinuidade espacial no processo de eluição. As colunas 3, 4 e 5 são os teores obtidos por esta determinação. A coluna 7 é a média aritmética das colunas 3, 4 e 5. Na Tabela 6 as colunas com os ícones i e f são os teores de sódio determinados antes e após a eluição das amostras indeformadas com a solução do tratamento correspondente, respectivamente. Na Tabela 7 tem-se a capacidade de troca catiônica do solo determinada utilizando acetato de sódio e acetato de cálcio.

3.5 Aparato para determinação da condutividade hidráulica do solo saturado.

Utilizando o anel cilíndrico tipo Uhland, 7cm de diâmetro por 7cm de altura, de amostras de solos

indeformadas, será determinada a condutividade hidráulica do solo saturado com diferentes soluções percolantes, à ESP estabelecida nas análises químicas.

O aparato montado para a determinação de sequências de 8 amostras por vez está esquematizado na Figura 3. O equipamento consta de 16 permeâmetros interligados a um reservatório em nível, que, por sua vez, está conectado a dois galões de 20 litros que contêm as soluções percolantes.

Como mostra a Figura 3, os 16 permeâmetros podem ser ligados e desconectados simultaneamente ou isoladamente através de uma presilha adaptada a uma mangueira de borracha flexível que liga cada um deles a um tronco principal, que por sua vez, está ligado ao reservatório conectado aos galões.

O reservatório está conectado aos galões através de um sistema de tubos de Mariotte onde é feito o controle do nível de água. O objetivo da utilização dos tubos de Mariotte é o de manter o nível de água no interior do reservatório, relativamente constante, sem perdas de solução através do controlador interno de nível do reservatório.

Os tubos de Mariotte têm o seu nível de bolhas alinhados com o controlador interno de nível do reservatório, ponto máximo de carga hidráulica sobre as amostras, o que proporcionará 2cm de coluna líquida sobre cada amostra indeformada.

Figura 3. Esquema de laboratório montado para determinação da condutividade hidráulica do solo saturado em amostras cilíndricas tipo Uhland.

A água percolada através da coluna de solo é coletada em provetas graduadas. Nessas condições, a condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) é dada pela equação (7) e a curva de desalinização da amostra será estabelecida à partir dos dados obtidos de condutividade elétrica da água percolada (CE_{dw}) dos cilindros no tempo de teste, através de um condutivímetro CD-2PL de fabricação DIGIMED, onde serão medidas as condutividades elétricas da solução percolada de cada amostra.

Com os dados de condutividade hidráulica e eluição, curvas características de cada amostra serão construídas. E as curvas obtidas serão comparadas e ajustadas às curvas teóricas estabelecidas à partir da teoria de Glueckauf. A resposta de cada tratamento realizado pode ser encontrada no anexo 1.

3.6 Preparo das amostras de solo indeformadas e das soluções percolantes para os testes.

3.6.1 Preparo das amostras de solo.

Não foi realizado nenhum tratamento para ajustar a ESP das amostras de solo. As amostras foram submetidas à saturação com água destilada por um período de 24 horas antes do início de cada teste. A água destilada foi previamente fervida com o objetivo de minimizar a presença de gases dissolvidos.

3.6.2 Tratamento das soluções percolantes.

Os tratamentos foram numerados de acordo com a etapa de execução, de 1 a 8, sendo que o tratamento 4 será descrito nas análises físicas de laboratório.

Tratamento 1 (T1) - Oito amostras de solo foram submetidas à passagem de soluções percolantes alternadamente, e por períodos de tempo determinados:

- a) água destilada nas primeiras 24 horas de teste com condutividade elétrica (CEi) de 0.02 dS/m;
- b) solução de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ com concentração de 2g/l e CEi = 1,5 dS/m aplicada durante as 32 horas seguintes;
- c) água destilada aplicada nas últimas 24 horas CEi = 0,02 dS/m.

Tratamento 2 (T2) - Oito amostras de solo foram submetidas à passagem de soluções alternadas, por períodos determinados:

- a) solução de NaHCO_3 de concentração 1,95g/l e CEi= 1,7 dS/m no período inicial de 24 horas;
- b) solução de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 2g/l e CEi= 1,5 dS/m, durante as 32 horas seguintes;
- c) água destilada CEi= 0,02 dS/m nas últimas 24 horas.

Tratamento 3 (T3) - Dezesseis amostras de solo foram submetidas à percolação do volume fixo de 2000 ml de água destilada, CEi = 0,02 dS/m, independente do período de tempo. O volume percolado foi armazenado, e a condutividade elétrica do percolado foi determinada à medida que o volume era armazenado, e os teores de sódio em meq/100g TFSE da amostra foram determinados à partir dos teores nos percolados pela equação

$$Na1 = \frac{LC \cdot Vc \cdot 2,5}{TFSE \cdot PE} \quad (20).$$

onde, **Na1** é o teor de sódio da amostra indeformada em meq/100g TFSE; **Lc** é a leitura corrigida do fotômetro de chama calibrado de 0 a 30 ppm de sódio; **Vc** é o volume coletado de percolado (cm³); **TFSE** é o peso do solo seco em estufa (g) ; **PE** é o peso equivalente do sódio.

Tratamento 5 (T5) - Oito amostras de solo foram submetidas à percolação com das seguintes soluções alternadas:

- a) solução de NaHCO₃ de concentração 18g/l e CEi = 12 dS/m nas primeiras 24 horas de teste;
- b) solução de CaSO₄.2H₂O 2g/l e CEi = 1,5 dS/m nas últimas 24 horas de teste, totalizando 48 horas de tratamento.

Tratamento (T6) - Oito amostras de solo foram submetidas à percolação alternada com as seguintes soluções:

- a) solução de acetato de sódio NaOAc 30 g/l com CEi = 12 dS/m por um período de 13 horas
- b) solução de CaSO₄.2H₂O 2g/l com CEi = 1,5 dS/m durante as 13 horas seguintes;
- c) água destilada por período indeterminado até que CE_{dw} fosse igual à CEi = 0,02 dS/m.

Tratamento 7 (T7) - Oito amostras de solo foram submetidas à percolação contínua de uma solução com a

seguinte composição: $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,15g/l) + $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0,15g/l) + NaHCO_3 (0,42g/l) , com $\text{CEi} = 0,77 \text{ dS/m}$, composição esta semelhante à do Rio Salitre.

Tratamento 8 (T8) - Oito amostras de solo foram submetidas à percolação de uma solução de NaHCO_3 com uma concentração de 18g/l e $\text{CEi} = 12 \text{ dS/m}$, aplicada até o instante em que a CEdw fosse igual a CEi . Nesse instante, as amostras foram retiradas do permeâmetro e colocadas em solução de NaHCO_3 com a mesma concentração, para ser mantida a saturação da amostra. Em seguida as amostras foram levadas a uma tensão de 15 atmosferas.

Em todos os tratamentos as amostras foram selecionadas ao acaso e 80 amostras, das 86 retiradas do campo, foram utilizadas. As seis amostras restantes foram utilizadas para determinações químicas de teores de sódio trocável e solúvel, além de outras determinações como condutividade elétrica e adsorção negativa.

3.7 Análises físicas de laboratório.

Uma vez realizado o teste de condutividade hidráulica saturada com o controle das soluções percolantes, as amostras foram levadas à estufa a uma temperatura de 105°C , sendo secadas por um período de 48 horas, pesadas e a densidade do solo foi determinada. Outras determinações

realizadas foram a textura e a densidade das partículas. Os resultados das análises estão listados nas Tabelas 8 e 9.

Com os valores da densidade do solo, a porosidade total de cada amostra foi obtida através da equação

$$\alpha = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_p}\right) \cdot 100 \quad (19).$$

onde, α é a porosidade do solo em %; ρ_s é a densidade do solo; e ρ_p é a densidade das partículas.

Todos os resultados de porosidade do solo estão listados nas Tabelas 8 e 9.

Dezesseis amostras de solo foram submetidas a diferentes tensões de umidade, em Câmara de Pressão com Placa Porosa (RICHARDS, 1947), para a determinação da porosidade livre de água e o teor de sódio deslocado à diferentes tensões. Os resultados estão listados na Tabela 10. Foi convencionado que estes resultados são os do tratamento 4.

Alguns resultados importantes obtidos foram o teor de argila de 35,73%, o teor de silte de 38,16% e o teor de areia de 26,11%, sendo que estes resultados de análise granulométrica foi obtido livre de interferência dos teores de sódio intercambiáveis das amostras.

Tabela 8. Resultado das análises de densidade do solo e porosidade total das amostras dos tratamentos 1,2,3,5 e 6.

AMOS.	ρ_s g/cm ³	α (%)	AMOS.	ρ_s g/cm ³	α (%)	AMOS.	ρ g/cm ³	α (%)
T1A	1.46	44.7	T3A	1.44	45.6	T5A	1.47	44.2
T1B	1,31	50.2	T3B	1.37	48.2	T5B	1.39	47.5
T1C	1,39	47.5	T3C	1.44	45.6	T5C	1.38	47.6
T1D	1,49	43.5	T3D	1.43	45.9	T5D	1.42	46.4
T1E	1,49	43.5	T3E	1.33	49.7	T5E	1.51	42.8
T1F	1,36	49.5	T3F	1.51	42.9	T5F	1.51	43.1
T1G	1,36	48.5	T3G	1.48	44.0	T5G	1.65	37.5
T1H	1,32	50.0	T3H	1.59	39.9	T5H	1.40	47.0
T2A	1,42	46.3	T3I	1.36	48.6	T6A	1.39	47.6
T2B	1,43	45.9	T3J	1.47	44.4	T6B	1.43	46.0
T2C	1.39	47.3	T3K	1.56	41.0	T6C	1.54	41.8
T2D	1.70	35.6	T3L	1.57	40.6	T6D	1.35	48.9
T2E	1.40	47.2	T3M	1.40	47.1	T6E	1.38	47.7
T2F	1.55	41.5	T3N	1.56	41.0	T6F	1.43	45.8
T2G	1.45	45.1	T3O	1.44	45.6	T6G	1.49	43.6
T2H	1.63	38.4	T3P	1.65	37.6	T6H	1.48	44.1

Tabela 9 . Resultado das análises de densidade do solo e porosidade total das amostras indeformadas teor de sódio deslocado para os tratamentos 7, 8 e 4.

AMOS.	ρ_s g/cm ³	α (%)	AMOS.	TENSÃO (atm)	AMOS.	ρ_s g/cm ³	α (%)
T7A	1.53	42.1	T4A	0.02	1.55	41.4	21.1
T7B	1.45	45.2	T4B		1.46	44.8	
T7C	1.31	50.5	T4C		1.41	46.7	
T7D	1.53	42.1	T4A	0.1	1.36	48.6	59.1
T7E	1.39	47.4	T4B		1.50	43.3	
T7F	1.76	33.5	T4C		1.50	43.3	
T7G	1.69	36.1	T4D		1.73	34.6	
T7H	1.71	35.3	T4A	0.3	1.69	36.1	54.0
T8A	1.63	38.4	T4B		1.53	42.1	
T8B	1.44	45.6	T4C		1.39	47.4	
T8C	1.48	44.0	T4A	0.5	1.50	43.3	44.8
T8D	1.61	39.1	T4B		1.46	44.8	
T8E	1.58	40.3	T4C		1.50	43.3	
T8F	1.35	47.0	T4A	5.0	1.35	47.0	74.0
T8G	1.36	48.6	T4B		1.53	42.1	
T8H	1.36	48.6	T4C		1.39	47.4	
			T4A	15.0	1.63	38.4	73.0
			T4B		1.48	44.0	
			T4C		1.53	42.1	

Tabela 10. Dados obtidos no tratamento 4 relacionando a porosidade livre de água à tensão de saturação das amostras de solo.

Por ¹⁰ (%)	ρ_s g/cm ³	α (%)	Por ¹¹ (%)	TENS. (cca)
32,1	2,12	19,9	26,5	20
26,5	2,03	23,5		20
20,9	1,98	25,4		20
42,2	1,93	27,2	34,9	100
35,1	2,08	21,6		100
38,2	2,07	21,9		100
24,2	2,31	12,9		100
32,9	2,26	14,5	39,7	300
39,9	2,1	20,6		300
46,4	1,95	26,3		300
62,3	1,50	43,21	60,4	500
49,2	1,46	44,8		500
69,9	1,50	43,11		500
48	1,36	49,5	59,8	5000
67,2	1,42	46,3		5000
64,1	1,40	47,2		5000
49,7	1,43	45,9	56,6	15000
63,8	1,47	44,2		15000
56,4	1,35	48,9		15000

¹⁰porosidade livre de água à tensão especificada;

¹¹média da porosidade livre de água obtida com as amostras submetidas à tensão especificada.

3.8 Métodos computacionais.

Para as análises dos dados e ajustes das curvas de eluição foram utilizados os softwares Surfer Access System versão 3.0, Havard Grafics versão 2.0 e Turbo Pascal versão 6.0.

Um programa em linguagem Pascal foi criado à partir da teoria do deslocamento das soluções proposta por Glueckauf, sendo que os parâmetros de entrada no programa são:

- a) a densidade aparente sob a forma centesimal ρ_s (g/cm³)/100;
- b) a porosidade total ou volume de poros (α) em %;
- c) o comprimento (L) efetivo da coluna de solo em cm;
- d) o número de unidades teóricas de deslocamento (N) ou seja, o número de sub camadas, supostamente homogêneas, que permitirá o processo de eluição;
- e) o número de leituras realizadas no período de realização do teste;
- f) a concentração interna da solução do solo inicial (C_0) em dS/m a 25°C.
- g) o volume acumulado de solução percolada (V) em cm³.

Os parâmetros de saída do programa podem ser a relação entre a concentração inicial (C_0) e a concentração interna (C) após a passagem da solução percolante dada pela razão C/ C_0 . Ou então, a concentração da solução interna (C),

que é a concentração da solução percolada no tempo de teste, desde que seja estimado o valor da concentração inicial (C_0), todos em dS/m a 25°C. A listagem deste programa pode ser encontrada no anexo 2.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação da homogeneidade entre as amostras coletadas.

4.1.1 Variação da ESP inicial e da densidade do solo no espaço amostrado.

A Tabela 11 mostra os resultados obtidos das determinações analíticas dos excedentes de terra que foram homogeneizados e peneirados.

Tabela 11 - Efeito da correção da adsorção negativa sobre a determinação da porcentagem de sódio trocável.

AMO STR A	PS	CE	CTC		CLORO*		Na** SOLUVEL		Na** TROCAVEL		ESP** (%)		
	(%)	dS/m 25°C	Na	Ca	extr	lv	s/c	c/c	s/c	c/c	s/c	c/c	SAR
			meq / 100 g TFSA										
H	45	12.5	13	37	15	15.8	11.8	12.1	12.1	11.5	32.4	30.9	31

*extr=extraído; lv=lavado.

** s/c= sem correção; c/c= com correção.

A partir dos valores obtidos, determinou-se um fator que expressa a relação entre o teor de sódio solúvel e o teor de sódio total, sem a correção para a adsorção

negativa, que foi igual a um, já que os teores de cloro lavado e de cloro no extrato de saturação foram iguais a 15 meq/100g de terra

$$f = \frac{Na^+ \text{ solúvel}}{Na^+ \text{ total}} \quad (21).$$

Neste caso, a razão 11,57 / 23,69 resultou num fator f igual a 0,4884. Com o valor de f , foram determinados os resultados da ESP antes e após os tratamentos com as soluções percolantes, utilizando a equação 18.

Determinado o SAR pela equação 16 e a ESP apartir deste, pela equação 17. Concluiu-se que a ESP foi de aproximadamente 31% nas três determinações, como pode ser visto na Tabela 11, isto porque não houve correção para a adsorção negativa o que proporcionou os valores muito próximos entre os parâmetros corrigidos e não corrigidos.

Determinado o fator de correção, puderam ser estabelecido os valores de ESP para cada amostra, com os resultados das análises químicas realizadas, Tabelas 5, 6 e 7. Os resultados da ESP, antes e após os tratamentos, estão expressos nas Tabelas 12a e 12b.

Com os dados de ESP e utilizando o programa de computador SURFER, pode-se estabelecer a variação espacial dos dados na área de amostragem.

Tabela 12a - Valores de ESP determinada à partir do fator f para os tratamentos 1,2,3,5,6,7 e 8.

TESTE	PST (%)			TESTE	PST (%)			TESTE	PST (%)	
	inic	fim	fim		inic	fim	fim		inic	fim
T1A	42	1.3	0.6	T3A	38	1	1	T7A	31	1
T1B	43	1.1	0.5	T3B	45	1	1	T7B	40	2
T1C	28	1.3	0.5	T3C	19	1	1	T7C	41	3
T1D	18	1.3	0.7	T3D	30	1	1	T7D	33	1
T1E	43	1.3	0.5	T3E	39	1	1	T7E	73	2
T1F	43	1.4	0.7	T3F	32	1	1	T7F	1	1
T1G	35	2.6	2.4	T3G	24	1	1	T7G	5	2
T1H	56	1.6	0.5	T3H	29	1	1	T7H	34	21
T2A	33	1.0	0.9	T3I	49	1	1	T8A	2	2
T2B	45	1.0	1.2	T3J	45	1	1	T8B	39	11
T2C	32	0.7	0.7	T3K	30	1	1	T8C	21	12
T2D	0.4	0.4	0.5	T3L	23	3	1	T8D	37	7
T2E	27	0.9	0.9	T3M	33	1	1	T8E	13	5
T2F	2	0.9	1.0	T3N	19	1	1	T8F	31	11
T2G	38	0.8	1.0	T3O	25	1	2	T8G	32	12
T2H	1	0.5	0.7	T3P	45	1	1	T8H	28	10
T5A	30	19	15	T6A	37	1	1			
T5B	45	16	19	T6B	39	1	2			
T5C	31	11	14	T6C	12	2	7			
T5D	42	13	16	T6D	36	1	3			
T5E	36	15	12	T6E	19	1	2			
T5F	38	12	10	T6F	30	2	5			
T5G	2	7	5	T6G	106	3	6			
T5H	35	19	16	T6H	34	2	3			

Tabela 12b - Valores de ESP determinada à partir do fator f para o tratamento 4.

T E S T	ESP (%)																		
	TENSÃO 0.02atm			TENSÃO 0.1atm				TENSÃO 0.3atm			TENSÃO 0.5atm			TENSÃO 5atm			TENSÃO 15atm		
	AM	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B
i	34	1	42	45	16	37	6	13	28	39	15	29	21	26	33	64	28	33	64
f	23	2	38	27	9	3	26	6	16	12	13	10	9	12	7	6	11	8	9

A Figura 4 mostra a variação espacial dos dados obtidos de ESP inicial na área de amostragem. Com estes mesmos dados pode-se plotar as isolinhas de sodicidade. A Figura 5 mostra a distribuição da ESP inicial das amostras indeformadas na área na forma de isolinhas de sodicidade.

4.1.2 Avaliação da homogeneidade vertical da amostra.

A Tabela 13 mostra os teores de sódio no corpo indeformado da amostra, determinados de duas formas para o tratamento 3, utilizando água destilada desionizada para obter o teor de sódio total percolado e compara-lo com os teores determinados nos excedentes de terra.

Figura 4 - Variação espacial da ESP inicial na área .

Figura 5 - Isolinhas de sodicidade da área.

Para a ESP final, a amostra foi destorroada e homogeneizada após a passagem da solução percolante.

Tabela 13 - Resultados dos teores de sódio total obtidos no volume percolado e nos excedentes de terra das amostras submetidas ao tratamento 3.

AMOS.	Vc cm3	TFSE g	Na ¹	Na ²	Na ³	Na ⁴	Na ⁵
			meq/ 100 g TFSE				
T3A	1830	389.2	15.45	28.1	0.9	13.7	27.2
T3B	1422	370.1	23.36	33.1	0.95	16.17	32.1
T3C	2030	387.6	14.49	14.0	0.8	6.84	13.2
T3D	1545	385.4	9.8	21.7	0.9	10.6	20.8
T3E	2000	357.3	18.52	28.3	1.05	13.82	27.2
T3F	1940	405.9	20.01	23.4	0.8	11.43	22.6
T3G	2029	398.6	13.62	17.8	0.7	8.69	17.1
T3H	2070	427.5	9.76	21.3	0.9	10.4	20.4
T3I	2073	366.2	12.81	36.1	0.8	17.63	35.3
T3J	1970	395.5	27.36	32.6	0.8	15.92	31.8
T3K	2070	419.6	15.43	22.1	0.85	10.79	21.2
T3L	2080	422.3	10.35	16.9	1.55	8.25	15.3
T3M	2072	377.0	9.95	24.1	1.0	11.77	23.1
T3N	2050	421.0	13.91	13.6	1.05	6.64	12.5
T3O	2000	389.0	9.62	18.2	1.15	8.89	17.0
T3P	2090	445.3	24.84	33.1	0.9	16.17	32.2

Na¹ é o teor de sódio determinado no volume drenado através da equação 20; Na² é o teor de sódio determinado no excedente de terra da amostra antes do teste; Na³ é o teor de sódio determinado após o teste; Na⁴ é o teor de sódio solúvel determinado através do fator f multiplicado por Na²; Na⁵ é a diferença entre Na² e Na³.

A análise pormenorizada dos valores médios obtidos através de um teste de significância tipo "t", mostraram que os teores de sódio determinados nos volumes drenados, diferem significativamente, dos teores totais determinados pela diferença Na^3 e Na^2 que é observada em Na^5 . Os resultados do teste de significância podem ser vistos na Tabela 14.

Tabela 14 - Teste de significância e análise de variância dos resultados dos teores médios de sódio Na^1 , Na^4 e Na^5 do tratamento 3.

	GL	SQ	QM	F
tratamento	2	1066,1	533	16,48*
resíduo	45	1455,5	32,34	
total	47	2521,5		
teste t		dms = 4,0529		

* significativo a 5% de probabilidade.

Estes resultados permitiram a princípio, deduzir-se que:

- i) existe uma diferença significativa entre a média do teor de sódio extraído na água de drenagem e aquela que, teoricamente, representaria o teor total de sódio extraído no processo de eluição, sendo que esta diferença está relacionada com a homogeneidade das amostras;
- ii) com a redução dos teores de sódio, após a lavagem, a afinidade dos ions com as cargas negativas das argilas teria aumentado, e conseqüentemente, tornou-se mais difícil a

extração de sódio com a solução de acetato de amônio, após a realização do teste, o que implicaria em teores determinados erroneamente. BOWER & HATCHER (1962), mostraram que esse esquema analítico resulta em apreciáveis erros em três condições: a) quando o solo é altamente salino, e o efeito da adsorção negativa causa uma correção muito alta do sódio solúvel na determinação do sódio trocável; b) quando o solo contém formas de sódio que não são prontamente solúveis em água ou intercambiáveis, porém dissolvem-se e decompõem-se em solução de acetato de amônio; c) quando o solo contém sódio trocável não substituível pela faixa relativamente larga de extração do ion NH_4^+ ;

iii) os teores inicialmente determinados nos excedentes de terra das amostras, da forma como foram retirados, não representam o teor real de sódio de todo o corpo indeformado, sendo portanto superestimados ou subestimados conforme a variação vertical dos teores de sódio e a anisotropia do solo.

4.2 Avaliação da condutividade hidráulica.

4.2.1 Relação entre a ESP inicial do solo e os resultados de condutividade hidráulica

A Tabela 15 apresenta os valores de condutividade hidráulica (K) em cada teste, ao final da passagem de cada solução percolante em cada tratamento efetuado, nas amostras de solo indeformadas.

Estes dados foram correlacionados com os níveis de PST inicial de cada amostra através de uma regressão potencial. A Figura 6 mostra estes dados plotados e a regressão obtida. Pode-se notar, uma curva muito estável com valores muito baixo de condutividade hidráulica em relação à PST inicial.

Figura 6. Correlação entre os dados de ESP inicial e condutividade hidráulica saturada.

Tabela 15. Condutividade hidráulica das amostra de solo ao final da passagem das soluções percolantes.

TESTE	K1	K2	K3	TESTE	K1
	cm/h				cm/h
T1A	1.00	1.25	1.2	T3A	2.95
T1B	1.05	1.13	0.96	T3B	0.63
T1C	0.53	0.58	0.54	T3C	1.6
T1D	0.35	0.42	0.36	T3D	0.69
T1E	1.87	1.17	0.91	T3E	9.61
T1F	0.25	0.29	0.28	T3F	0.87
T1G	0.09	0.09	0.07	T3G	1.54
T1H	0.82	0.87	0.77	T3H	3.35
T2A	0.85	1.05	1.13	T3I	3.42
T2B	0.31	0.32	0.35	T3J	1.41
T2C	3.77	2.93	2.53	T3K	3.31
T2D	0.23	0.26	0.33	T3L	8.07
T2E	0.66	0.65	0.8	T3M	8.28
T2F	0.17	0.16	0.18	T3N	2.05
T2G	4.09	3.14	2.54	T3O	9.45
T2H	0.49	0.45	0.44	T3P	1.5
T6A	23.52	24.88	28.71	T7A	0.86
T6B	11.02	10.06	9.26	T7B	2.21
T6C	3.46	2.74	0.82	T7C	16.54
T6D	16.59	13.44	11.55	T7D	1.72
T6E	10.69	9.01	5.4	T7E	2.76
T6F	2.81	2.12	1.05	T7F	0.59
T6G	3.56	3.00	0.78	T7G	0.06
T6H	0.78	0.77	0.38	T7H	0.03
T5A	1.42	0.89		T8A	0.78
T5B	1.96	1.16		T8B	1.39
T5C	1.02	0.69		T8C	2.87
T5D	3.36	2.08		T8D	0.75
T5E	2.11	1.42		T8E	0.41
T5F	0.74	0.55		T8F	2.02
T5G	1.13	0.75		T8G	2.19
T5H	1.48	0.88		T8H	0.98

Valores muito discrepantes, influenciaram e determinaram o baixo nível de correlação obtido, $R^2 = 0,34$, visto que nenhuma das amostras coletadas foi descartada e fluxos preferenciais não esclarecidos, influenciaram na homogeneidade dos testes.

Pode-se observar, um decréscimo relativo da correlação para os testes que apresentaram maior número de soluções percolantes. Isto se deveu ao fato, destes testes apresentarem valores mais reduzidos de condutividade hidráulica e representarem maiores tempos de eluição das soluções.

4.2.2 Relação entre a condutividade hidráulica e a porosidade total das amostras indeformadas.

Desde que não foram obtidas boas correlações entre a ESP e a CH, os dados de porosidade total foram correlacionados com os dados de condutividade hidráulica em um teste de significância. A Figura 7 mostra estes dados e as correlações obtidas entre eles.

Pode-se observar, uma correlação um pouco melhor que a dada para a ESP, $R^2 = 0,42$, o que permite concluir, que a densidade do solo tem um efeito mais pronunciado na condutividade hidráulica do que os teores de sódio trocável. Neste caso, a forma de retirada das amostras do campo, pode ter influenciado decisivamente, a resposta do teste, já que um processo de compactação das amostras, poderia ter sido induzido pelo amostrador tipo UHLAND. O trabalho de ROGER & CARTER, (1987) evidencia bem esse problema com o amostrador.

Figura 7. Correlação entre a porosidade total e a condutividade hidráulica.

4.3 Efeito da aplicação de diferentes soluções percolantes na condutividade hidráulica.

4.3.1 Efeito da aplicação da solução de NaHCO_3 na condutividade hidráulica.

Comparando os resultados entre os tratamentos 1 e 5, nota-se que as diferentes concentrações utilizadas,

mostraram diferentes efeitos sobre a dissolução e precipitação de minerais secundários, observada na coloração da solução percolada.

Para o tratamento 2, não foi possível a observação visual de dissolução e precipitação mineral, embora a concentração fosse elevada. Foi observado inclusive, um efeito positivo sobre a condutividade hidráulica do solo após a aplicação da solução de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, quando comparados os tratamentos 1, 2 e 5, Figuras 8, 9 e 10, respectivamente.

Como pode ser visto na Figura 9, as amostras T2A, T2B, T2D, T2E e T2F apresentaram uma resposta positiva da condutividade hidráulica, com a aplicação da solução de sulfato de cálcio e posteriormente com a aplicação de água destilada.

O efeito benéfico observado no tratamento 2, está associado com a precipitação de carbonatos de cálcio e magnésio, já que as concentrações desses elementos na solução são altas. A dissolução e a precipitação de carbonatos minerais desses elementos, com o acúmulo de sódio em concentrações não prejudiciais à sua integridade estrutural, favoreceu um desbloqueio dos poros, sem incorrer no perigo de alcalinização. Com a aplicação da solução de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, o sódio em solução foi substituído, e conseqüentemente, a resposta positiva da solução de sulfato de cálcio foi evidenciada.

Figura 8. Gráficos de condutividade hidráulica saturada e lixiviação das amostras submetidas ao tratamento 1.

Figura 9. Gráficos de condutividade hidráulica saturada e lixiviação das amostras submetidas ao tratamento 2.

Uma outra explicação pode estar associada ao efeito de elevados teores de magnésio na solução, que é uma característica também desse solo, pois seu comportamento na precipitação e dissolução de minerais secundários, é bem semelhante ao comportamento observado em teores elevados de sódio na solução (JURINAK, 1984). Neste caso, a retirada desses teores elevados de magnésio, com a solução de carbonato de sódio, pela dissolução de carbonato de magnésio, permitiu com a lavagem posterior do sódio, através da solução de sulfato de cálcio, uma resposta positiva na condutividade hidráulica.

Observa-se para o tratamento 5, Figura 10, uma resposta inicialmente positiva na condutividade hidráulica nas primeiras horas do teste, como pode ser observado para as amostras T5C no período de 0 a 10 horas, T5E no período de 0 a 3 horas, T5F no período de 0 a 5 horas, T5G no período de 0 a 12 horas e T5H no período de 0 a 12 horas, sendo que este efeito só pôde ser notado, nas amostras que apresentaram valores de condutividade hidráulica menores que 2,5 cm/h, sem resposta positiva com a aplicação posterior, da solução de sulfato de cálcio. Estas respostas estão associadas aos efeitos benéficos das soluções com concentrações eletrolíticas elevadas sobre a condutividade hidráulica saturada em amostras de solo, com problemas de permeabilidade reduzida devido aos teores elevados de sais em solução.

Figura 10. Gráficos de condutividade hidráulica saturada e lixiviação para as amostras submetidas ao tratamento 5.

Neste caso do tratamento 5, a precipitação e a dissolução de minerais, devido às concentrações elevadas de sódio em solução, foram inevitáveis e irreversíveis. A obstrução dos poros e a desagregação estrutural, foram fatores determinantes na redução da condutividade hidráulica e a aplicação em sequência, da solução de sulfato de cálcio não surtiu um efeito visível.

Amostras com condutividades hidráulicas mais altas, não apresentaram resposta positiva no início do teste, como pode ser visto nos tratamentos T5B e T5D em comparação aos outros tratamentos do teste 5. Neste caso, a obstrução dos poros é um processo contínuo durante todo o teste, e a magnitude da dissolução e precipitação dos minerais é maior.

Amostras com condutividades hidráulicas mais altas apresentaram uma coloração mais rapidamente enegrecida da solução percolada no período de realização do teste 5. Isto permitiu concluir que, mesmo havendo fluxos de natureza preferenciais, estes fluxos não evitaram a completa difusão da solução percolante no meio poroso, aparentemente até favoreceram-na, e a magnitude da desagregação da estrutura do solo se deu em todo o corpo da amostra e evidenciou a resposta positiva de dissolução e precipitação sobre a coloração do percolado.

4.3.2 Efeito da aplicação da solução de sulfato de cálcio sobre a condutividade hidráulica,

Nas Figuras 8, 9, 10 e 11 são apresentados os gráficos de todos os pontos relativos aos tratamentos 1, 2, 5 e 6, realizados, onde foi feita a aplicação da solução de sulfato de cálcio.

Pode-se observar, o efeito positivo na condutividade hidráulica da solução de sulfato de cálcio nos tratamentos 1 e 2, sendo que este efeito, foi mais pronunciado para as amostras com condutividades hidráulicas mais baixas; e para o tratamento 2 este efeito foi maior que para o tratamento 1, como pode ser visto da comparação dos resultados das amostras T1A, T1B, T1C, T1D, T1F, T1G e T1H, com as amostras T2A, T2B, T2D, T2E, T2F e T2H, nas Figuras 8 e 9, respectivamente.

Nas amostras que apresentaram condutividades hidráulicas mais elevadas, não foi possível visualizar este efeito, como por exemplo T1E, T2C e T2G.

Após a aplicação da água destilada, no final do tratamento 1, ocorreu uma estabilização e logo em seguida um decréscimo na condutividade hidráulica (Figura 8). Enquanto que no tratamento 2, a tendência decrescente devido à aplicação da água destilada é menos evidenciada. Este efeito visualizado no tratamento 2, está associado possivelmente a

Figura 11. Gráficos de condutividade hidráulica saturada e lixiviação para as amostras submetidas ao tratamento 6.

dois fatores: i) ligeira dissolução e precipitação de carbonatos minerais de cálcio e magnésio com desobstrução de microporos; ii) efeito positivo da aplicação de solução de concentração eletrolítica elevada sobre a condutividade hidráulica saturada das amostras.

A recomendação para a recuperação de solos alcalinos elaborada por RICHARDS (1947), preve a aplicação de gesso em quantidades equivalentes ao total de sódio intercambiável do solo. Este procedimento, tem a desvantagem de que o gesso não é realmente muito solúvel, e conseqüentemente, pode não resultar numa concentração de solução percolante suficiente para prevenir os decréscimos na permeabilidade, quando aplicada como corretivo superficial do solo (QUIRK & SCHOFIELD, 1955). Esta questão pode ser visualizada nas Figuras 10 e 11, dos tratamentos 5 e 6, onde a aplicação de gesso após a aplicação das soluções altamente concentradas em sódio, praticamente não surtiu efeito algum sobre a condutividade hidráulica do solo, mesmo sob a forma de solução saturada de gesso.

4.3.3 Comparação do efeito da aplicação das soluções de carbonato de sódio e acetato de sódio na condutividade hidráulica das amostras.

Visando estabelecer-se uma solução interna no solo, em equilíbrio com condutividade elétrica de aproximadamente 12 mS/cm, determinada nos testes iniciais como a condutividade elétrica aproximada obtida na maioria das amostras com ESP elevada nas primeiras horas de teste, e então estudar o processo de eluição dessa solução, foi estudado o efeito da aplicação do acetato de sódio como sal orgânico, e do carbonato de sódio como sal inorgânico, sobre a condutividade hidráulica do solo, sendo que as respostas são apresentadas nas Figuras 10 e 11.

Foi observada a dispersão de minerais após 4 horas de aplicação da solução de carbonato de sódio pela observação simples da coloração da solução percolada. Este efeito não foi observado com a aplicação da solução de acetato de sódio num período de 13 horas.

Como a solução de acetato de sódio apresentava um número de miliequivalentes de sódio superior aos miliequivalentes da solução de carbonato de sódio, conclui-se que: i) o efeito aniônico da solução de carbonato de sódio prevaleceu sobre a dissolução e precipitação dos minerais, através da adsorção do sódio às argilas e, conseqüentemente a dispersão, o bloqueio de poros e a redução da condutividade hidráulica; ii) solos com cargas variáveis são mais susceptíveis ao efeito do pH. Variações no pH afetam a carga superficialmente e externamente, nos minerais de carga

variáveis, tais como os óxidos de ferro e alumínio. Em baixos pH, como o da solução de acetato de sódio com pH igual a 5,5, da extremidade para a superfície, ligações podem ocorrer entre óxidos de ferro e alumínio com as cargas negativas das argilas. Este tipo de ligação impede a dispersão e resulta um ótimo de condutividade hidráulica (ALPHEN, 1991). Pode-se observar esta resposta da comparação dos tratamentos 5 e 6.

Amostras com condutividades hidráulicas elevadas, como as amostras T6A e T6D, apresentaram respostas contínuas e menores variações da condutividade hidráulica ao longo do tempo de teste, com a aplicação da solução de acetato de sódio.

Todas as amostras apresentaram respostas crescentes da condutividade hidráulica à aplicação da solução de acetato de sódio e não houve dissolução e precipitação visível de minerais no período de aplicação da solução.

Posteriormente, com a aplicação da solução de sulfato de cálcio, e conseqüentemente, com a elevação do pH no tratamento 6, a irreversibilidade da queda da condutividade hidráulica devido aos elevados teores de sódio incorporado pôde ser visualizada em todas as amostras com condutividade hidráulica reduzidas e também para as amostras T6E e T6D com condutividades mais elevadas.

Entretanto, para a amostra T6A foi observada uma estabilização da condutividade hidráulica após a

aplicação da solução de sulfato de cálcio, resposta esta inversa às obtidas para o tratamento 6 na sua totalidade. O efeito do fluxo preferencial deve estar determinando a resposta do teste para este caso particular.

4.3.4 Efeito da aplicação da solução ajustada à concentração do Rio Salitre.

A análise dos gráficos do tratamento 7, Figura 12, permitiu concluir que em todos os casos, houve um decréscimo da condutividade hidráulica com o volume aplicado de solução, exceto para a amostra T7E, que apresentou uma elevação da condutividade no período de 10 a 30 horas.

Como a solução percolante apresentava uma concentração muito baixa de sais, o que permitiu classificá-la como água de boa qualidade, observou-se um efeito semelhante ao obtido quando da aplicação de água destilada para o tratamento 3, como pode ser visto pela resposta continuamente decrescente da condutividade hidráulica, devido a aplicação da solução quando comparados os gráficos da Figura 12 com as Figura 13a e 13b.

Exceções podem ser observadas nas amostras T3B, T3F, T3J, T3N e T3P, que apresentaram respostas levemente positivas à aplicação da água destilada, sendo que todas elas

Figura 12. Gráficos de condutividade hidráulica saturada e lixiviação para as amostras submetidas ao tratamento 7.

Figura 13a. Gráficos de condutividade hidráulica saturada e lixiviação para as amostras (A - I) submetidas ao tratamento 3.

Figura 13b. Gráficos de condutividade hidráulica saturada e lixiviação para as amostras (J - P) submetidas ao tratamento 3.

apresentaram uma condutividade hidráulica inferior à 2,5 cm/h durante todo o tempo de realização do teste (Figuras 13a e 13b). Observa-se também, que os teores de sais armazenados no percolado tenderam a ser maiores para nestas amostras e que elas também estiveram associadas aos valores mais altos de ESP. Como o volume de água aplicado foi o mesmo para este tratamento, pode-se admitir que houve um predomínio do movimento de sais por difusão molecular e uma maior quantidade de sais totais foi determinada no percolado armazenado destas amostras, proporcionando uma resposta levemente positiva na condutividade, devida à retirada lenta e gradual dos teores elevados de sais. Este efeito não pode ser observado para as amostras T7A, T7F, T7G e T7H, sendo que as amostras T7F e T7G apresentaram valores de ESP baixos e condutividades elétricas do percolado relativamente baixas durante todo o período de teste, o que evidencia uma influencia dos teores de sais nas respostas anteriormente obtidas.

Contrariamente, os teores elevados de sais dispersos na solução do solo, influenciaram a resposta do teste à aplicação de água de qualidade favorável. Em trabalho semelhante, ARAGUES & AMEZKETA (1991), mostraram que a condutividade hidráulica do início ao fim da passagem de uma solução percolante tende a um decréscimo maior, à medida que se diminui a condutividade elétrica da solução percolante,

reduzindo-se a valores negligíveis com a passagem de água destilada deionizada.

Em agricultura irrigada, uma importância particular é dada à presença do íon sódio no complexo de intercâmbio, pois se a percentagem de sódio intercambiável for maior do que 15, o solo é classificado como um solo sódico. Dificuldades são encontradas na recuperação de solos alcalinos, devido ao fato de que as águas de irrigação contêm quantidades insuficientes de eletrólitos, para a manutenção do solo em estado floculado. Os estudos de permeabilidade mostram, que 15% de sódio intercambiável para classificar solos em alcalinos e não alcalinos não é uma base eficiente. Com o incremento da ESP, a permeabilidade às soluções consideravelmente menos concentradas, que uma determinada concentração limite, decresce continuamente (QUIRK & SCHOFIELD, 1955).

4.4 Comparação entre o modelo matemático e os resultados de lixiviação com os tratamentos.

As Figuras 14, 15, 16, 17 e 18 contêm os gráficos de todos os testes realizados, comparados ao modelo de lixiviação da coluna contínua. Através de sucessivas tentativas ajustou-se o modelo de Glueckauf aos dados de

eluição obtidos nas determinações de condutividade elétrica do percolado.

Em muitas amostras, não foi possível a adequação e uniformização dos dados ao modelo matemático. Isto porque houve variações de condutividade elétrica do percolado, variações nas concentrações das soluções percolantes, variações não controladas da carga hidráulica sobre as amostras devido a vazões de recarga insuficientes no sistema de permeâmetros e nos tubos de mariotte, proporcionadas por amostras de condutividade hidráulica muito alta.

Foram utilizadas tres formas diferentes de análises:

- i) nos tratamentos 1 e 2, a relação C/C_0 representa o decaimento da concentração interna da solução do solo em relação ao volume incorporado mantendo os parâmetros distância efetiva da camada e número de unidades teóricas fixos e iguais a 7 cm e 2, respectivamente;
- ii) nos tratamentos 5 e 6, foi fixado o valor da concentração interna inicial em 12 dS/m, igual ao da solução percolante de carbonato de sódio e acetato de sódio, e os parâmetros variáveis foram a distância efetiva da camada e o número de unidades teóricas, neste caso a distância efetiva da camada representava uma coluna com um comprimento hipoteticamente maior que aquele utilizado nas determinações;

iii) para o tratamento 7, por tentativas procurou-se ajustar o maior número de parâmetros que pudessem adequar a curva teórica aos dados obtidos, sendo então estimados a concentração interna inicial (C_0), o comprimento efetivo da camada ou distância efetiva (L) e o número de unidades teóricas (N), já que este caso simulava uma condição hipotética de campo.

4.4.1 Eluição nos tratamentos 1 e 2.

Pode-se observar uma estreita aproximação da curva teórica com a curva de lixiviação para as amostras que apresentaram condutividade hidráulica na faixa média baixa, como por exemplo as amostras T1A, T1B, T1C, T1E e T1H. Nas amostras com condutividade hidráulica baixa e muito baixa, tais como T1D, T1F e T1G nota-se um distanciamento maior entre as curvas, visualizado por uma área maior entre elas. Comportamento idêntico pode ser visto no tratamento 2.

Desde que os parâmetros de entrada utilizados para a obtenção das curvas foram fixos para todas as amostras, houve melhor aproximação de valores quando a condutividade hidráulica tendeu a valores mais altos. Isto não será observado para os tratamentos posteriores onde os parâmetros de entrada são variáveis.

Figura 14. Gráficos comparativos entre a condutividade elétrica do percolado e a condutividade elétrica teórica estabelecida pelo modelo de Glueckauf para o tratamento 1.

Figura 15. Gráficos comparativos entre a condutividade elétrica do percolado e a condutividade elétrica teórica estabelecida pelo modelo de Glueckauf para o tratamento 2.

A conclusão evidente, é que quanto menor a condutividade hidráulica das amostras mais o seu comportamento tenderá a uma heterogeneidade resultando em maiores dificuldades no processo de lixiviação de sais e dados pouco ajustáveis à coluna de lixiviação teórica proposta no modelo, como pode ser visto das respostas dos tratamentos T1C, T1D, T1F, T1G, T1H, T2B, T2D, T2F e T2H, respectivamente como pode ser visto para os tratamentos 1 e 2 nas Figuras 14 e 15.

4.4.2 Eluição nos tratamentos 5 e 6.

Para estes tratamentos a simulação partiu do princípio de que utilizando-se uma solução de concentração eletrolítica elevada, igual a aproximadamente 12 dS/m, ter-se-ia uma estabilização da concentração interna nesse valor, e a partir deste ponto poderia ser verificado o comportamento da coluna durante todo o processo de passagem das soluções percolantes (Figuras 16 e 17).

Através de séries de tentativas foram feitos os ajustes entre os dados e o modelo. A curva teórica ajustada permitiu identificar o comprimento efetivo igual ao comportamento da amostra à passagem da solução percolante. Por exemplo, a amostra T5A, teve um comportamento induzido pela eluição da solução de concentração eletrolítica elevada,

Figura 16. Gráficos comparativos entre a condutividade elétrica do percolado e a condutividade elétrica teórica estabelecida pelo modelo de Glueckauf para o tratamento 5.

Figura 17. Gráficos comparativos entre a condutividade elétrica do percolado e a condutividade elétrica teórica estabelecida pelo modelo de Glueckauf para o tratamento 6.

sendo que seus dados de resposta permitiu um ajuste de 84 cm de comprimento teórico à passagem das soluções percolantes do tratamento 5.

Dos resultados obtidos deduziu-se claramente, que amostras com condutividade hidráulica mais altas tenderam a se comportar-se como colunas efetivas maiores. A Tabela 16 relaciona os valores obtidos de comprimento teórico da coluna e os valores de condutividade hidráulica ao final da passagem da cada solução percolante.

Tabela 16 - Relação entre o comprimento teórico ajustado e a condutividade hidráulica para o tratamento 5.

AMOSTRA	T5D	T5E	T5B	T5A	T5G	T5H	T5C	T5F
L (cm)	168	126	105	84	80	77	63	56
N	192	144	120	96	91.4	88	72	64
K1 (cm/h)	3.36	2.11	1.96	1.42	1.13	1.48	1.02	0.74
K2 (cm/h)	2.08	1.42	1.16	0.89	0.75	0.88	0.69	0.55

Este resultado evidencia que a aplicação de soluções com teores elevados de sódio tem um efeito sobre a dissolução e precipitação de minerais e portanto, volumes maiores de solução incorporados teriam um efeito adsortivo maior e influenciariam a degradação estrutural, tudo isto proporcionado por condutividades hidráulicas mais elevadas.

Entretanto, este efeito no processo de lixiviação seria invertido e o comportamento da coluna teórica teria resposta elevada de comprimento efetivo devido

à quantidade incorporada e adsorvida que necessariamente terá maior dificuldade de ser lixiviada, já que nesta condição ocorreu a quebra da estrutura, o bloqueio de poros devido a precipitação e dissolução dos minerais primários e o decréscimo da condutividade hidráulica.

Para o tratamento 6, Figura 17, os valores obtidos de condutividade hidráulica muito altos para as amostras T6A, T6B, T6D e T6E sugerem que o efeito do fluxo preferencial, como um fator imponderável, influencia marcadamente a resposta da curva teórica de ajuste, já que esses fluxos impediriam a completa difusão da solução percolante no meio poroso, como pode ser visto na Tabela 17.

A magnitude do efeito do fluxo preferencial pode ser visualizada por valores de coluna teórica ajustados de forma absurda, tais como para amostra T5A com 600cm de coluna ajustada. Adicionalmente, tem o efeito da eluição da solução de acetato de sódio, que não produziu uma precipitação aparente de minerais primários tão intensa quanto a solução de carbonato, influenciando positivamente, os resultados de condutividade hidráulica das amostras. Para as amostras com condutividades hidráulicas mais baixas o efeito foi semelhante ao do tratamento 5, como pode ser visto nos resultados da Tabela 17.

Tabela 17. Relação entre o comprimento teórico ajustado e a condutividade hidráulica para o tratamento 6.

AMOSTRA	T6A	T6B	T6C	T6D	T6E	T6F	T6G	T6H
L (cm)	600	300	100	420	280	85	115	30
N	686	343	114	480	320	97	131	34
K1 (cm/h)	23.5	11	3.5	16.6	10.7	2.8	3.6	0.8
K2 (cm/h)	24.6	10	2.7	13.4	9.0	2.1	3	0.8
K3 (cm/h)	28.7	9.3	0.8	11.5	5.4	1.0	0.8	0.4

4.4.3 Eluição no tratamento 7.

Para o tratamento 7, além do comprimento teórico foi ajustada também a concentração inicial da solução do solo, visto que este é um parâmetro desconhecido devido à anisotropia e heterogeneidade vertical das amostras. Os resultados do ajuste para cada amostra estão apresentados em forma de gráficos na Figura 18 e listados na Tabela 18.

Pode-se observar, que à medida em que ocorreu um decréscimo na condutividade hidráulica, a coluna tendeu a se comportar de forma mais aproximada aos dados obtidos de lixiviação do percolado. Isto permitiu concluir que o modelo teórico apresentou melhores ajustes sob condições moderadas de limite de distúrbio (GLUECKAUF, 1949), sendo que quanto menor for a condutividade hidráulica das amostras de solo mais tende a prevalecer o processo de difusão de água no

Figura 18. Gráficos comparativos entre a condutividade elétrica do percolado e a condutividade elétrica teórica estabelecida pelo modelo de Glueckauf para o tratamento 7.

solo, e conseqüentemente, menores são as influências dos distúrbios imponderáveis no ajuste do modelo.

Tabela 18 - Comprimento teórico, concentração eletrolítica do percolado, número de unidades teóricas e condutividade hidráulica para o tratamento 7.

AMOSTRA	T7A	T7C	T7B	T7E	T7D	T7F	T7G	T7H
Co(dS/m)	13	15	13	16	17	5	7	13
L(cm)	49	35	28	21	21	7	7	7
N	1	1	1	1	1	2	2	2
K1(cm/h)	0.86	16.54	2.21	2.76	1.72	0.59	0.06	0.03

4.5 Deslocamento do sódio em solução utilizando a câmara de membrana de pressão de Richards e comparação com o tratamento 8.

Utilizando o câmara de membrana de pressão de Richards (RICHARDS, 1947) foram determinados os teores de sódio deslocados às várias tensões, que consistiu no tratamento 4.

Visando identificar se haveria acúmulo de sódio, com a aplicação da solução de carbonato de sódio, as amostras submetidas ao tratamento 8 foram levadas à tensão de 15 atm, após a eluição da solução de carbonato de sódio por um período de 7 horas. Retiradas do câmara de Richards, seus teores de sódio foram determinados e então o teor de sódio

deslocado pelo tratamento foi determinado para comparação com aqueles obtidos no tratamento 4 à tensão de 15 atmosferas.

A Tabela 19 mostra os resultados obtidos do teor de sódio deslocado para cada amostra do tratamento 8.

Tabela 19 - Teor de sódio deslocado para cada amostra do tratamento 8.

AMOSTRA	T8B	T8C	T8D	T8E	T8F	T8G	T8H	média
Na des (%)	71	45	81	63	64	62	64	64

Pode-se observar da comparação dos resultados de sódio deslocado à tensão de 15 atm entre o tratamento 4, e o tratamento 8, que houve um acúmulo relativo de aproximadamente 10 % de sódio pela passagem da solução de carbonato de sódio. Este resultado explica o comportamento da coluna com o acúmulo dos teores de sódio, visto que, quanto maior a condutividade hidráulica, maior o teor de sódio incorporado e por conseguinte, mais difícil se torna a sua remoção.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos conclui-se que:

i) a variabilidade espacial e a anisotropia do solo são fatores determinantes da variação da porcentagem de sódio trocável (ESP) do solo e dos teores de sódio no corpo indeformado das amostras.

ii) baixos níveis de correlação foram obtidos entre os parâmetros porcentagem de sódio trocável (ESP) e condutividade hidráulica, e porosidade total com a condutividade hidráulica, não sendo possível identificar o nível de ESP, distribuída espacialmente, que permitisse a melhor resposta de condutividade hidráulica e permeabilidade do solo.

iii) fluxos de natureza preferencial nas amostras cilíndricas tipo Uhland são fatores de distúrbios, que podem gerar erros grosseiros e levar à correlações muito baixas entre as variáveis envolvidas;

iv) a aplicação da solução de sulfato de cálcio teve efeito benéfico sobre a condutividade hidráulica saturada das amostras indeformadas, salvo se processos irreversíveis de

dissolução e precipitação de minerais primários tenham ocorrido, o que pode estar associado ao pH da solução e ao teor de carbonato de sódio solúvel;

v) para um tempo de aplicação de 32 horas da solução de sulfato de cálcio, houve um acréscimo relativo de 19% a 23% na condutividade hidráulica saturada, dependendo do tratamento realizado.

vi) o pH e o teor de carbonatos da solução percolante podem induzir a processos irreversíveis de dissolução e dispersão de minerais e matéria orgânica.

vii) condições elevadas de limites de distúrbios, não permitiram o ajuste adequado do modelo de Glueckauf, que foi extrapolativo para as condições estipuladas;

viii) sem levar em consideração o teor de sais dispersos na superfície do solo, são necessários aproximadamente 4000 m³/hectare de água para reduzir a ESP desse solo de 45%, em média, para 1 % nos seus 7 cm de camada do horizonte A3, utilizando as águas do Rio Salitre.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVA, C.A.; ALPHEN, J.G. van; TORRE, A.; MANRIQUE, L. **Problemas de drenaje y salinidad en la costa peruana**. Wageningen, ILRI, 1976. 116p. (Bulletin 16).
- ARAGUES R. & AMEZKETA E. Reaction of five horizons of a saline sodic soil to leaching with solutions of different saline concentrations. **Investigacion Agraria Produccion y Proteccion Vegetables**, Madrid, 6(2): 147 - 59, 1991.
- BATISTA, M.J. **Condutividade Hidráulica**. Brasília, CODEVASF, 1991. 10p.
- BIGGAR, J.N. & NIELSEN, D.R. Miscible displacement and leaching phenomenon. In: HAGAN, R.M.; HAISE, H.R.; EDMINSTER, T.N., ed. **Irrigation of agricultural lands**. Madison, American Society of Agronomy, 1967. p. 254 - 74. (Agronomy, 11).
- BOWER, C.A. & GOERTZEN, J.O. Negative adsorption of salts by soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, 19: 147 - 51, 1955.

- BOWER, C.A. & HATCHER, J.T. Characterization of saltz affected soils with respected to sodium. **Soil Science**, Baltimore, **93**: 275 - 80, 1962.
- BOWER, C.A.; REITEMEIER, R.F.; FIREMAN, M. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. **Soil Science**, Baltimore, **73**: 251 - 61, 1952.
- CHIRINOS, I.J. Variação da condutividade hidráulica do solo saturado em função da concentração de sódio presente em solução e resíduo agroindustrial. Piracicaba, 1992. 66p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura " Luiz de Queiroz" / USP).
- CORDEIRO, G.G. **Aspectos gerais sobre salinidade em áreas irrigadas**: origem, diagnóstico e recuperação. Petrolina, EMBRAPA / Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido, 1988. 16p. (CPATSA. Documentos, 50).
- DANE J.H. & KLUTE A. Salt effects of the hydraulic properties of a swelling soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **41**: 1043 - 9, 1977.
- EATON, I.M. & SOKOLOFF, V.P. Absorbed sodium in soils as affected by soil moisture. **Soil Science**, Baltimore, **40**: 237 - 47, 1935.
- FERREIRA, W.F.F. & COELHO, M.A. Variação da concentração de sais na solução de um solo aluvial vértico cultivado com arroz sob inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, **8**: 69 -76, 1984.

FRENKEL H.; GOERTZEN J.O.; RHOADES J.O. Effects of clay type and content exchangeable sodium percentage and eletrolyte concentration of clay dispersion and soil hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 42: 32 - 9, 1978.

GIRDHAR I.K. & YADAV J.S.P. Effect of different Mg/Ca ratios RAS values and eletrolyte concentrations in the leaching water of the dispersion and hydraulic conductivity of soils. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SALT AFFECTED SOILS. PRINCIPLES AND PRATICES FOR RECLAMATION AND MANAGEMENT, Karnal, 1980. **Proccedings**. p.210 - 8.

GLUECKAUF, E. The theory of cromatography. Part VI. Precision measurements of adsorption and exchange isotherms from column-elution data. **Jornal of the America Chemical Society**, Washington, 65: 532 - 40, 1949.

GOES E.S. O problema de salinidade e drenagem em projetos de irrigação do Nordeste e a ação da pesquisa com vistas ao seu equacionamento. In: REUNIÃO SOBRE SALINIDADE E DRENAGEM EM ÁREAS IRRIGADAS, Fortaleza, 1978. **Anais**. Fortaleza, UFCE, 1978. p.4-24.

GROENEVELT P.H. & KIJNE J.W. Fisica de la humedad del suelo. In: INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT. **Principios y aplicaciones del drenaje**.

Wageningen, 1978. v. 1: Materias preliminares, p.135-65.
(Publicacion, 16).

HILLEL D. **Soil and water physical principles and processes**.
3.ed. New York, Academic Press, 1972. 288p.

JURINAK, J.J. Salt-affected soils: thermodynamic aspects of
the soil solution. In: SHAINBERG, I. & SHALHEVET, J.,
ed. **Soil salinity under irrigation; processes and**
management. Berlin, Springer-Verlag, 1984. p.15-31.
(Ecological Studies, 51)

KAPOOR, A.K. & PAL, R. Predicting salinization and
sodification of a bare sandy loam soil after irrigation
with poor-quality water interspersed with rain. **Soil**
Science, Baltimore, **141** (4): 281 - 8, 1986.

KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of
saturated soil. In: Black, C.A., ed. **Method of soil**
analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965.
pt.1, p. 210 - 21 (Agronomy, 9).

LIBARDI P.L. **Movimento da água no solo**. Piracicaba,
ESALQ/Depto. Física e Meteorologia, 1988.

LIMA L.A.; GRISMER M.E.; NIELSEN D.R. Salinity effects of
Yolo loam hydraulic properties. **Soil Science**, Baltimore,
150: 451 - 8, 1990.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas; amostragem,**
interpretação e sugestão de adubação. São Paulo,
Agronômica Ceres, 1992. 124p.

- MCNEAL B.L. & COLEMAN N.T. Effects of solution composition of soil hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, **30**: 308 - 12, 1966.
- MILLAR A.A. & CORDEIRO G.G. Caracterização dos problemas de sais dos setores de irrigação em operação do projeto São Gonçalo. In: REUNIÃO SOBRE SALINIDADE E DRENAGEM EM ÁREAS IRRIGADAS, Fortaleza, 1979. **Anais**. Fortaleza, UFCE, 1979. p.25-33.
- MINHAS, P.S. & SHARMA, D.R. Hydraulic conductivity and clay dispersion as affected by application sequence of saline and simulated rain water. **Irrigation Science**, Berlin, **7** (3): 159 - 67, 1986.
- MINHAS, P.S. & SHARMA, D.R. Salt displacement in a saline sodic and amended soil using low electrolyte water. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, New Delhi, **37** (3): 435 - 40, 1989.
- MOLEN, W.H. van der. Dessalinization of saline soils as a column process. **Soil Science**, Baltimore, **81**: 19 - 27, 1956.
- MOLEN, W.H. van der. Balance de sales e necessidade de lavado. In: INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LANDS RECLAMATION AND IMPROVEMENT. **Principios y Aplicaciones del Drenaje**. Wageningen, 1977. v.2: Teorias del drenaje agricola y de la escorrentia, cap. 9, p. 63- 105.

OSTER J.D. & SHAINBERG I. Predicting the hydraulic properties of sodic soils . In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SALT AFFECTED SOILS. PRINCIPLES AND PRATICES FOR RECLAMATION AND MANAGEMENT, Karnal, 1980. **Proceedings**. p.195 - 200.

PAL R.; SINGH S.,; POONIA S.R. The effect of water quality of source water transmisson paramters of soils and their evaluation by using different methods. In: INTERNAT. SYMPOSIUM ON SALT AFFECTED SOILS PRINCIPLES AND PRATICES FOR RECLAMATION AND MANAGEMENT, Karnal, 1980. **Proceedings**. p.202 - 9.

PIMENTA,H.S. Efeito do sódio trocável, da concentração salina e da relação de adsorção de sódio na condutividade hidráulica de um solo aluvial. Piracicaba, 1991. 95 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

PUPISKY H. & SHAINBERG I. Salt effects of the hydraulic conductivity of a sandy soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 43: 429 - 33, 1979.

QUIRK J.P. & SCHOFIELD R.K. The effect of eletrolyte concentration on soil permeability. **Journal of Soil Science**, Oxford, 6: 163 - 78, 1955.

QUEIROZ M.M.F. Estudo da condutividade hidráulica de um solo aluvial franco-arenoso em experimentos de

lisímetros. Campina Grande , 1990. 100p. (Mestrado - Universidade Federal da Paraíba).

REEVE R.C. & BOWER C.A. Use of high saltwater as a flocculant and source of divalent cations for reclaiming sodic soils. **Soil Science**, Baltimore, **90**: 139 - 44, 1960.

REITEMEIER, R.F. Effect of moisture content on the dissolved and exchangeable ions of soils of arid regions. **Soil Science**, Baltimore, **61**: 195 - 214, 1945.

RHOADES J.D. & INGVALSON R.D. Macroscopic swelling and hydraulic conductivity properties of four vermiculitic soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, **33**: 364 - 70, 1969.

RICHARDS, L.A. Pressure-membrane apparatus - constructions and use. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, **28** (10): 451 - 4, Oct. 1947.

RICHARDS L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, USDA, 1954. 160p. (USDA Handbook, 60).

ROGERS, J.S. & CARTER, C.E. Soil core sampling for hydraulic conductivity and bulk density. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **51**: 1393 - 4, 1987.

ROLF P.F. & AYLMORE L.A.G. Water and salt movement through compacted clays: 1. Permeability of compacted illite

- and montmorillonite. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 41:489 - 5, 1977.
- ROWELL, D.L. The reduction in sodicity during the displacement of mixed CaCl_2 - NaCl salts from soil by water. **Irrigation Science**, Berlin, 6 (1): 11 - 8, 1985.
- RUSSO, D. Simulation of leaching of a gypsiferous - sodic desert soil. **Water Resources Research**, Washington, 22 (8): 1341 - 9, 1986.
- SANTANA, I.A.; SANTOS, A.B.; CRUZ, E.A. **Levantamento pedológico detalhado e potencialidades para irrigação dos solos do Campo Experimental do Salitre**. Juazeiro, Faculdade de Agronomia do Médio São Francisco, 1984. 143p.
- SHAINBERG & LETEY J. Response of soils to sodic and saline conditions. **Hilgardia**, Berkeley, 52: 1 - 57, 1984.
- SHAINBERG, I.; GAL, M. ; FERREIRA, A.G.; GOLSTEIN, D. Effect of water quality and amendment on the hydraulic properties and erosion from several mediterranean soils. **Soil Technology**, 4 (2): 135 - 46, 1991.
- UHLAND, R.E. Physical properties of soils as modified by crops and management. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, 14 : 361 - 6, 1949.

ANEXO 1

Tabela 20 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 1 amostra A.

HORAS	K (cm/h)	CEdw
1,6167	1,4356	15,9
4,1667	1,341	13,9
5,3667	1,2534	9,6
6,4	1,1988	7,3
7,4	1,1587	5,9
8,3	1,1188	5
9,4667	1,0886	4,2
10,4667	1,0679	3,3
11,4667	1,0372	2,7
12,4667	1,0282	2,3
21,4667	1,0292	1,2
22,4667	1,02	0,6
24,4667	1,0048	0,5
26,8334	0,9425	0,6
27,8667	0,9464	0,8
28,8667	0,9517	1
30,1834	0,9598	1,1
31,1834	0,9663	1,2
32,1834	0,9725	1,3
33,1834	0,9776	1,3
45,2667	1,0843	1,3
46,1834	1,1009	1,4
47,1834	1,1071	1,4
48,1834	1,1134	1,4
50,25	1,1184	1,4
57,1	1,255	1,4
69,5667	1,1976	0,3
80,8	1,2009	0,1

Tabela 21 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 1 amostra B.

HORAS	K (cm/h)	CEdw
1,6667	1,4551	13,7
4,2333	1,3987	8,4
5,4667	1,3714	5
6,5	1,3281	4,5
7,45	1,3158	3,6
8,3667	1,2947	3,1
9,5833	1,2317	2,7
10,5833	1,2118	2,4
11,5833	1,18	2,1
12,5833	1,163	2,2
21,5833	1,0884	1,7
22,5833	1,0755	1,4
24,5833	1,051	1,4
27,0166	0,9792	1,4
28,0333	0,9841	1,5
29,0333	0,9841	1,4
30,35	0,9795	1,5
31,35	0,9808	1,5
32,35	0,984	1,5
33,35	0,9857	1,4
45,5	1,0484	1,4
46,35	1,0479	1,4
47,35	1,0492	1,4
48,35	1,0506	1,4
50,4167	1,056	1,5
57,2833	1,131	1,5
69,85	0,9994	1
81,0833	0,9621	0,7

Tabela 22 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 1 amostra C.

HORAS	K (cm/h)	CEdw
1,5667	0,6239	15,9
4,1333	0,6169	15
5,3	0,6094	14,8
6,3333	0,6006	12,7
7,35	0,5889	10,4
8,2333	0,5844	8,9
9,4	0,5726	7,5
10,36667	0,5673	6,4
11,3667	0,557	5,5
12,3667	0,5519	5,1
21,3667	0,5422	3,8
22,3667	0,5374	2,9
24,3667	0,5308	3,4
26,6667	0,5011	3,1
27,7334	0,5011	2,2
28,7	0,4953	2,2
30,05	0,4981	2,2
31,05	0,4984	2,1
32,05	0,5	2,1
33,05	0,5008	2
45,0834	0,535	1,9
46,05	0,5357	1,9
47,05	0,5396	1,8
48,05	0,5377	1,8
50,1167	0,5402	1,9
56,9667	0,5788	1,8
69,3667	0,5398	1,6
80,5834	0,5373	1,2

Tabela 23 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 1 amostra D.

HORAS	K (cm/h)	CEdw
1,65	0,3907	11,8
4,2167	0,3651	15,3
5,4333	0,3643	15,5
6,4667	0,3571	15,4
7,4333	0,344	15,2
8,35	0,3423	14,6
9,55	0,3382	12,7
10,55	0,3404	10,5
11,55	0,3384	8,7
12,55	0,3399	7,9
21,55	0,3562	4,8
22,55	0,3563	3,2
24,55	0,3555	2,7
26,9667	0,3382	2,5
27,9833	0,3364	2,3
28,9833	0,3377	2,3
30,3	0,3388	2,3
31,3	0,3399	2,2
32,3	0,341	2,2
33,3	0,3426	2
45,4333	0,3909	1,8
46,3	0,3925	1,8
47,3	0,3994	1,8
48,3	0,4011	1,8
50,3667	0,4034	1,9
57,2333	0,4247	1,9
69,7833	0,3788	1,8
81,0167	0,364	1,7

Tabela 24 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 1 amostra E.

HORAS	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
1,5167	3,7117	6,8
4,1167	3,2868	6,7
5,25	3,1262	4,3
6,3	2,959	3,7
7,3333	2,8183	3,3
8,2	2,7126	3
9,3667	2,5487	2,6
10,3333	2,4524	2,2
11,3333	2,3131	2,3
12,3333	2,2401	2,2
21,3333	1,9643	1,5
22,3333	1,9332	1,6
24,3333	1,869	1,1
26,6	1,593	1,5
27,6833	1,5447	1,5
28,6	1,514	1,5
30	1,4662	1,6
31	1,4336	1,8
32	1,3917	1,7
33	1,3674	1,7
45	1,2254	1,7
46	1,2114	2
47	1,1989	1,7
48	1,1878	1,7
50,0833	1,1658	1,7
56,9166	1,1661	1,7
69,2666	0,9853	1,3
80,5	0,9136	0,9

Tabela 25 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 1 amostra F.

HORAS	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
1,6333	0,1301	15,6
4,1833	0,113	15
5,4	0,1313	15
6,4333	0,1537	15
7,4167	0,1719	14,8
8,3167	0,1865	15,2
9,5	0,2013	15
10,5	0,2105	15,2
11,5	0,2156	15,2
12,5	0,2219	15,2
21,5	0,2455	15,7
22,5	0,2453	9,6
24,5	0,2459	7,6
26,9	0,2369	6,2
27,9167	0,2367	5,1
28,9167	0,2379	4,8
30,2333	0,2366	4,5
31,2333	0,2382	4
32,2333	0,2398	3,7
33,2333	0,2412	3,4
45,3333	0,2684	2,9
46,2333	0,2703	2,4
47,2333	0,2711	2,4
48,2333	0,2718	2,4
50,3	0,2731	2,5
57,15	0,2899	2,3
69,6667	0,2774	2,1
80,9	0,279	2

Tabela 26 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 1 amostra G.

HORAS	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
1,4667	0,1304	9,6
4,0334	0,1212	15
5,2	0,1103	15,4
6,25	0,1054	15,5
7,3	0,1019	15,2
8,1667	0,1002	15,5
9,3	0,0972	15,4
10,2667	0,0962	15,5
11,3	0,0938	15,2
12,3	0,0938	15,5
21,3	0,0934	15,6
22,3	0,0931	15,5
24,3	0,0926	15,4
26,5167	0,089	15,6
27,6333	0,0878	15
28,5	0,0873	15
29,9333	0,0865	15,2
30,9333	0,0857	15,1
31,9333	0,0856	15,3
32,9333	0,0846	15
44,9333	0,0894	15,8
45,9333	0,0891	15,2
46,9333	0,0893	14,2
47,9333	0,0882	13,2
50,0333	0,0881	14
56,85	0,0879	14,4
69,1833	0,077	12,8
80,4167	0,0723	10,4

Tabela 27 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 1 amostra H.

HORAS	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
1,6	1,5849	15,8
4,15	1,2946	14,9
5,3333	1,2008	14,9
6,3667	1,1375	14,1
7,3833	1,0857	12,3
8,2667	1,0503	11
9,4333	0,9979	9,7
10,4333	0,9674	8,2
11,4333	0,9441	7
12,4333	0,9229	6,7
21,4333	0,8435	4,3
22,4333	0,836	2,9
24,4333	0,8228	2,4
26,7666	0,7539	2,4
27,8166	0,7482	2,2
28,8166	0,7459	2,2
30,1333	0,7395	2,1
31,1333	0,7382	2,1
32,1333	0,7369	2,1
33,1333	0,7364	2
45,1833	0,7818	1,9
46,1333	0,7968	1,8
47,1333	0,7992	1,8
48,1333	0,8021	1,8
50,2	0,8001	1,8
57,05	0,8743	1,8
69,4833	0,784	1,5
80,7166	0,7694	1,2

Tabela 28 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 2 amostra A

HORAS	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
1	1,1583	15,9
2	1,1912	15,8
3,4333	1,2304	15,5
4,4667	1,0609	13,2
5,45	1,045	10,5
6,4333	1,0204	9
7,4333	1,0148	7,7
8,2167	0,9897	6,4
9,2167	0,9956	5,6
11,2167	0,9752	4,9
12,25	0,9614	4,2
21,3	0,8642	3,2
22,3	0,8603	2,7
23,1333	0,8566	2,6
24,1333	0,8524	2,6
25,1333	0,8486	2,5
26,0999	0,8445	2,5
28,4833	0,9042	2,3
29,5499	0,9273	2
30,4666	0,9532	2
31,4832	0,9785	1,9
31,9666	0,9886	1,9
45,4999	1,0696	1,7
46,4999	1,0669	1,7
47,4666	1,0602	1,7
48,5166	1,0581	1,6
49,9666	1,1562	1,6
52,6332	1,0792	1,7
53,4832	1,0632	1,7
54,2999	1,0363	1,7
55,1665	1,0326	1,7
55,8832	1,0495	1,5
70,5999	1,1198	1
74,5332	1,1412	0,7
81,3832	1,1303	0,6
81,9165	1,13	0,6

Tabela 29 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 2 amostra B.

HORAS	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
1,0333	0,3615	15,9
2,0333	0,3816	15,7
3,4666	0,3847	15,5
4,4833	0,3451	15,3
5,4667	0,342	15,1
6,4667	0,3462	14,7
7,45	0,3433	14,7
8,2333	0,3281	14,6
9,2333	0,325	14,6
11,2333	0,3221	15,5
12,2667	0,3201	15,3
15,4778	0,3201	13,1
16,4778	0,33	12,8
17,3111	0,3277	10,8
18,3111	0,3155	9,8
19,3111	0,3132	8,8
20,2778	0,315	8,1
22,6611	0,3097	7,5
23,7278	0,3082	6,6
24,6445	0,3074	6,3
25,6611	0,3067	6
26,1278	0,3068	5,4
39,7111	0,3066	4,4
40,6945	0,3075	3,4
41,6445	0,3075	3,1
42,6945	0,3083	3,4
44,1445	0,3398	3,1
46,8278	0,3215	3
47,6611	0,3145	3,1
48,4778	0,3119	2,9
49,3445	0,3124	2,9
50,0611	0,316	2,7
64,8111	0,3418	2,5
68,7111	0,3505	2,1
75,5611	0,3543	2
76,0945	0,3553	2,1

Tabela 30 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 2 amostra c.

HORAS	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
1,0667	7,922	12,3
2,05	7,6197	4
3,4833	7,0086	3
4,5	5,9361	2,8
5,4833	5,9554	2,6
6,4833	5,8134	2,3
7,4667	5,529	2,2
8,25	5,3444	2,5
9,25	5,2437	2
11,2833	4,9806	1,9
12,2833	4,8813	1,9
21,3333	4,02	1,8
22,3333	3,9428	1,7
23,1666	3,8808	1,7
24,1666	3,7675	1,7
25,1666	3,7429	1,8
26,15	3,6851	1,9
28,5166	3,5804	2,1
29,5833	3,5081	1,9
30,5	3,484	1,8
31,5166	3,461	1,7
31,9833	3,4499	1,7
45,5666	3,1113	1,5
46,55	3,0885	1,5
47,5	3,0346	1,5
48,5666	3,0485	1,5
50	3,3174	1,5
52,7	3,082	1,5
53,5333	3	1,5
54,3333	2,9535	1,5
55,2	2,9403	1,5
55,9166	2,9266	1,5
70,6833	2,7514	0,9
74,5666	2,676	0,2
81,4166	2,5359	0,1
81,7	2,5324	0,2

Tabela 31 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 2 amostra D.

HORAS	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
1,1	0,2204	3,4
2,0833	0,2508	3,4
3,5167	0,2618	5,5
4,5167	0,2434	4,6
5,5	0,2468	2,6
6,5	0,2503	5,2
7,4833	0,2469	4,5
8,2667	0,2496	2
9,2667	0,2539	3,4
11,3	0,253	2,9
12,3	0,2539	3,2
21,3833	0,2419	1,4
22,35	0,2394	2,5
23,1833	0,2392	1,7
24,1833	0,2337	2
25,1833	0,2381	1,8
26,1667	0,2365	1,7
28,5333	0,2335	1,5
29,6	0,2331	1,9
30,5167	0,2324	1,9
31,5333	0,2317	1,9
32	0,2298	1,8
45,6333	0,2421	1,7
46,5667	0,2441	1,7
47,5167	0,246	1,8
48,5833	0,248	1,8
50,0167	0,2749	1,7
52,7167	0,265	1,8
53,55	0,2628	1,8
54,3333	0,2608	1,8
55,2167	0,2588	1,8
55,9333	0,2595	1,7
70,7167	0,2997	1,3
74,5833	0,3095	0,4
81,4333	0,3299	0,2
81,7167	0,3309	0,1

Tabela 32 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 2 amostra E.

HORAS	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
1,1333	0,8969	15,7
2,1	0,9122	15,8
3,55	0,8786	15,4
4,5333	0,7632	14,7
5,5167	0,7773	13,2
6,5167	0,7639	11,3
7,5	0,7479	9,5
8,2667	0,7244	8,3
9,2833	0,7256	7,8
11,3167	0,7154	6,3
12,3167	0,7125	5,5
21,4	0,6742	4
22,3667	0,6698	3,2
23,2	0,6668	3,1
24,2	0,6625	3,1
25,2	0,6508	3,1
26,1834	0,6472	3
28,55	0,6393	3,1
29,6167	0,6368	2,9
30,5334	0,6342	2,8
31,5334	0,6334	2,9
32,0167	0,6337	2,8
45,6667	0,638	2,3
46,5834	0,6394	2
47,5667	0,6329	2
48,6	0,641	2
50,0334	0,7059	2
52,7334	0,6592	1,9
53,5667	0,6527	2
54,35	0,6451	1,9
55,2334	0,6458	1,9
55,95	0,6458	1,9
70,75	0,7117	0,9
74,6	0,7489	0,5
81,45	0,7958	0,5
81,95	0,799	0,5

Tabela 33 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 2 amostra F.

HORAS	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
1,1667	0,2052	3,1
2,1167	0,1973	3,1
3,5833	0,1851	4,7
4,55	0,1624	3
5,5333	0,1689	3,7
6,5333	0,1664	3,2
7,5167	0,1677	2,5
8,2833	0,166	1,9
9,3	0,1702	2,3
11,3333	0,1707	1,6
12,3333	0,1712	1,8
21,4333	0,1704	1,4
22,3833	0,1699	1,5
23,2166	0,1703	1,4
24,2166	0,166667	1,4
25,2166	0,1685	1,5
26,2	0,1687	1,5
28,5666	0,1674	1,4
29,6333	0,1645	1,4
30,55	0,1623	1,5
31,55	0,1618	1,6
32,0166	0,1621	1,7
45,7	0,1605	1,6
46,6	0,1637	1,6
47,5833	0,1643	1,7
48,6166	0,1647	1,7
50,05	0,1833	1,8
52,75	0,1694	1,8
53,5666	0,1671	1,9
54,3666	0,1666	1,8
55,25	0,1642	1,8
55,9666	0,1638	1,8
70,7833	0,1775	1,5
74,6166	0,1829	1
81,4666	0,1834	0,7
81,9666	0,184	0,6

Tabela 34 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 2 amostra G.

HORAS	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
1,1833	8,6467	12,6
2,133	8,4631	4,8
3,6	7,7607	3,6
4,5667	6,5345	3,3
5,55	6,5153	2,9
6,55	6,0938	2,8
7,5167	5,7838	2,6
8,2833	5,4664	2,6
9,3167	5,3126	2,4
11,35	4,9718	2,3
12,35	4,8403	2,1
21,4667	4,2044	1,8
22,4	4,167	1,8
23,5667	4,0751	1,8
24,2333	4,0948	1,8
25,2333	4,0071	1,8
26,2167	4,0122	2
28,5833	3,9538	2
29,6833	3,931	1,8
30,5667	3,9134	1,8
31,5667	3,8893	1,8
32,0333	3,8774	1,7
45,7167	3,4016	1,6
46,6333	3,3688	1,5
47,6	3,3387	1,6
48,6333	3,308	1,6
50,0667	3,5989	1,6
52,7667	3,2724	1,6
53,5833	3,2491	1,6
54,3833	3,19	1,6
55,2667	3,1656	1,6
55,9833	3,1432	1,6
70,8	2,7983	1
74,6333	2,7342	0,5
81,4833	2,5527	0,4
81,9667	2,5432	0,3

Tabela 35 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 2 amostra H.

HORAS	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
1,2167	0,6775	2,8
2,1667	0,6983	2,5
3,6333	0,7218	1,7
4,6	0,6238	1,6
5,5667	0,6315	1,3
6,5667	0,6162	1,4
7,5333	0,6031	1,3
8,3	0,5929	1,3
9,3333	0,5916	1,3
11,3667	0,5718	1,3
12,3667	0,5625	1,3
21,5167	0,5112	1,3
22,4167	0,5023	1,3
23,25	0,5001	1,4
24,25	0,4945	1,3
25,25	0,4919	1,5
26,2334	0,4891	1,5
28,6	0,4832	1,6
29,7	0,4812	1,8
30,6	0,4743	1,8
31,5834	0,4723	1,8
32,05	0,4714	1,8
45,8	0,4454	1,7
46,65	0,4446	1,7
47,6167	0,4438	1,7
48,6334	0,4433	1,7
50,0834	0,4916	1,7
52,7834	0,4547	1,6
53,5834	0,4541	1,7
54,4	0,4481	1,7
55,2834	0,4477	1,6
56	0,4468	1,6
70,8334	0,4504	1,4
74,65	0,4467	0,6
81,5	0,4357	0,3
81,7334	0,4358	0,2

Tabela 36 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 3 amostra A.

VOL(ml)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
270	5,6989	11,6
420	5,3024	9,9
808	4,7871	8,8
1245	4,4847	7,3
1526	3,6101	5,8
1830	2,9499	5,1

Tabela 37 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 3 amostra B.

VOL(ml)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
22	0,4988	13,4
33	0,4461	13,5
74	0,468	13,8
120	0,4678	13,6
240	0,6129	13,5
730	0,8028	13,8
902	0,795	13
970	0,7748	12,8
1050	0,7493	12,2
1312	0,676	10,4
1362	0,6474	10,4
1408	0,6301	10,4
1422	0,6301	10

Tabela 38 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 3 amostra C.

VOL(ml)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
132	2,9473	13,4
210	2,6909	13,3
422	2,6129	12
660	2,5662	9,7
953	2,4298	7,4
1705	1,8694	5,2
1926	1,6955	4,6
2020	1,6117	4,6
2030	1,6006	4,5

Tabela 39 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 3 amostra D.

VOL(ml)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
56	1,2317	13,3
76	1,009	13,5
170	1,0352	13,7
250	0,9662	13,6
367	0,9261	13,7
780	0,8533	10,5
1041	0,9148	8,9
1130	0,9001	8,8
1225	0,8733	8,2
1450	0,7458	7
1500	0,7126	7,1
1540	0,6885	7,2
1545	0,6885	7,1

Tabela 40 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 3 amostra E.

VOL(ml)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
550	11,1926	9,3
877	10,7397	7,5
1820	10,3215	6,8
2000	9,6095	5,7

Tabela 41 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 3 amostra F.

VOL(ml)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
34	0,7261	13,2
53	0,6791	13,5
110	0,6563	13,5
170	0,6558	13,4
306	0,7695	13,5
910	0,9941	10,6
1153	1,012	10,2
1265	1,0066	9,8
1380	0,9826	9,2
1746	0,8971	7,5
1845	0,8756	7,4
1940	0,8663	7,3

Tabela 42 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 3 amostra G.

VOL(ml)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
130	2,634	13,4
222	2,6913	13,7
430	2,4593	12,1
620	2,2841	10,1
871	2,101	7,9
1560	1,6354	5,4
1877	1,5837	4,7
2024	1,5476	4,6
2029	1,5357	4,5

Tabela 43 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 3 amostra H.

VOL(ml)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
335	6,5424	10,3
540	6,152	8,2
870	4,7959	6,4
1140	4,0376	5,5
1573	3,6448	4,3
2070	3,353	3,3

Tabela 44 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 3 amostra I.

VOL(ml)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
295	5,8206	11,2
470	5,4413	9,5
855	4,7909	6,5
1205	4,3618	5,5
1634	3,86	4,4
2073	3,4205	3,6

Tabela 45 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 3 amostra K.

VOL(ml)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
240	4,4945	13,2
384	4,1998	13,2
720	3,906	11,2
1060	3,7157	9,1
1662	3,7995	6,5
2070	3,3098	5,4

Tabela 46 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 3 amostra J.

VOL(ml)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
60	1,228	13,3
105	1,258	13,5
223	1,3092	13,7
350	1,3259	13,5
561	1,3871	13,4
1310	1,4247	11,9
1639	1,4342	9,9
1790	1,4205	9,4
1970	1,4106	8,9

Tabela 47 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 3 amostra L.

VOL(ml)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
620	12,0344	7,8
1037	11,7279	5,5
1760	9,9917	4,2
2080	8,0744	3,8

Tabela 48 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 3 amostra M.

VOL(ml)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
535	10,1177	8,5
882	9,6977	6
1600	8,8996	4,5
2072	8,2786	3,6

Tabela 49 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 3 amostra N.

VOL(ml)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
92	1,6159	13,3
168	1,6862	13,8
293	1,6297	13,7
500	1,7565	12,1
870	1,9955	8,5
2050	2,0499	4,3

Tabela 50 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 3 amostra O.

VOL(ml)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
660	11,8612	7,9
1105	11,3264	5,9
1755	10,344	4,7
2000	9,4456	4,4

Tabela 51 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 3 amostra P.

VOL(ml)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm
51	0,9635	15,1
86	0,9251	13,2
148	0,9441	13,8
270	1,0554	13,6
485	1,243	13,5
1465	1,5909	10,5
1834	1,6011	10,1
1960	1,5529	8,5
2090	1,4987	8,3

Tabela 52 - Dados obtidos de condutividade hidráulica, condutividade elétrica do percolado e condutividade ajustada pelo modelo para o tratamento 5 amostra A.

tempo (h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	VOL (cm3)	CEdw _t mmhos/cm
0,6	1,54	13,2	41	12
1,1	1,49	13,4	73	12
1,6	1,41	13,5	99	12
2,5	1,25	13,2	137	12
4,1	1,04	12,8	188	12
5,1	0,94	13,1	214	12
6,1	0,87	13,1	236	12
7,1	0,81	12,7	255	12
9,2	0,73	12,9	301	12
11,5	0,69	12,3	356	12
12,4	0,77	11	428	12
20,5	1,41	11,2	1278	12
23	1,42	11,3	1451	12
24,2	1,42	11,3	1526	12
27,9	1,37	11,6	1704	11,7
29,5	1,34	10,7	1754	10,9
30,6	1,31	9,4	1776	10,5
36,1	1,15	8,5	1844	8,9
46,3	0,92	7,7	1897	7,7
48,4	0,89	6,3	1907	7,5

Tabela 53 - Dados obtidos de condutividade hidráulica, condutividade elétrica do percolado e condutividade ajustada pelo modelo para o tratamento 5 amostra B.

tempo(h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	VOL(ml)	CEdw _t mmhos/cm
0,5	4,62	12,5	110	12
1	4,37	11,1	208	12
1,5	4,23	11,1	302	12
2,4	3,94	11,1	448	12
4	3,52	11,1	670	12
5	3,34	11,2	795	12
6	3,14	11,4	896	12
7,03	3,03	11,3	1013	12
9,2	2,79	11	1218	12
11,5	2,59	11,1	1413	12
12,3	2,52	11,1	1481	12
20,3	2,05	11,8	1981	12
22,9	1,96	11,7	2135	12
24,1	1,92	11,6	2207	12
27,8	1,82	11,7	2415	11,3
29,4	1,77	9,8	2487	9,9
30,5	1,73	9,1	2519	9,2
36,1	1,52	7,4	2603	7,3
46,2	1,21	7	2671	5,9
48,3	1,16	5,9	2683	5,7

Tabela 54 - Dados obtidos de condutividade hidráulica, condutividade elétrica do percolado e condutividade ajustada pelo modelo para o tratamento 5 amostra C.

tempo(h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	VOL(ml)	CEdwt mmhos/cm
0,52	0,52	13,3	13	12
1,02	0,59	12,6	29	12
1,52	0,82	13,5	60	12
2,4	0,93	13,4	108	12
4,02	1,02	12,8	197	12
5,03	1,06	12,9	257	12
6,03	1,09	13,1	317	12
7,1	1,11	12,9	376	12
9,2	1,17	12,8	518	12
11,5	1,19	12,6	659	12
12,3	1,18	12,5	701	12
20,3	1,04	13,2	1023	12
22,9	1,02	12,7	1121	12
24,15	1	12,4	1167	12
27,9	0,96	12,6	1292	12,1
29,4	0,95	10,8	1342	11,7
30,5	0,93	9,2	1374	11,3
36,1	0,84	8,6	1460	9,6
46,3	0,7	10	1564	7,2
48,3	0,69	8,1	1593	6,6

Tabela 55 - Dados obtidos de condutividade hidráulica, condutividade elétrica do percolado e condutividade ajustada pelo modelo para o tratamento 5 amostra D.

tempo(h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	VOL(ml)	CEdw _t mmhos/cm
0,4	13,91	12,7	250	12
0,55	12,9	12	320	12
1,03	10,9	12,2	508	12
1,53	9,5	12,2	655	12
2,42	7,92	12	860	12
4,03	6,31	11,6	1144	12
5,1	5,2	11,6	1344	12
6,05	5,51	11,6	1499	12
7,08	5,16	11,5	1644	12
9,2	4,7	11,7	1944	12
11,5	4,36	10,5	2252	12
12,4	4,25	11,1	2360	12
20,4	3,49	11,7	3202	12
22,9	3,36	11,6	3469	12
24,17	3,31	11,5	3600	12
27,9	3,16	10,9	3961	10,3
29,5	3,07	7,6	4066	8,6
30,5	3	6,1	4114	7,8
36,1	2,64	4,5	4288	5,2
46,3	2,15	3,1	4478	3,2
48,3	2,08	3,1	4512	2,9

Tabela 56 - Dados obtidos de condutividade hidráulica, condutividade elétrica do percolado e condutividade ajustada pelo modelo para o tratamento 5 amostra E.

tempo(h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	VOL(ml)	CEdw _t mmhos/cm
0,58	1,77	13,2	48	12
1,08	2,02	13,3	102	12
1,57	2,15	13,5	157	12
2,45	2,2	13,3	251	12
4,07	2,15	12,8	407	12
5,12	2,16	13	515	12
6,08	2,19	13,1	620	12
7,1	2,2	12,8	729	12
9,21	2,21	12,6	949	12
11,5	2,23	12,1	1199	12
12,4	2,23	11,8	1289	12
20,4	2,15	12,2	2043	12
22,98	2,11	12,1	2261	12
24,21	2,09	11,8	2361	12
27,91	2,03	11,2	2642	11,8
29,5	2,01	7,6	2756	11
30,58	1,97	6,3	2805	10,3
36,13	1,76	5,7	2972	7,9
46,32	1,46	6,3	3157	5,4
48,35	1,42	5,3	3207	4,8

Tabela 57 - Dados obtidos de condutividade hidráulica, condutividade elétrica do percolado e condutividade ajustada pelo modelo para o tratamento 5 amostra F.

tempo(h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	VOL(ml)	CEdwt mmhos/cm
0,6	0,65	13,2	18	12
1,12	0,72	13,4	37	12
1,58	0,71	13,4	52	12
2,48	0,76	13,2	87	12
4,08	0,82	12,8	155	12
5,15	0,82	13	195	12
6,1	0,78	13	221	12
7,13	0,76	12,8	250	12
9,25	0,74	12,8	316	12
11,57	0,77	13	412	12
12,43	0,77	12,9	440	12
20,52	0,73	13,5	688	12
23,02	0,74	13	783	12
24,27	0,75	12,5	833	12
27,95	0,76	11,7	981	11,9
29,53	0,76	10,4	1031	11,4
30,62	0,75	10,3	1054	11
36,17	0,67	12,3	1122	9,6
46,37	0,56	11,9	1202	7,7
48,4	0,55	8,7	1215	7,4

Tabela 58 - Dados obtidos de condutividade hidráulica, condutividade elétrica do percolado e condutividade ajustada pelo modelo para o tratamento 5 amostra G.

tempo(h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	VOL(ml)	CEdwt mmhos/cm
0,57	0,56	10,2	15	12
1,07	0,61	11	31	12
1,55	0,69	11,2	51	12
2,43	0,75	11,4	87	12
4,05	0,8	11,4	154	12
5,08	0,8	12	194	12
6,07	0,81	12,1	234	12
7,1	0,84	12	285	12
9,22	0,97	11,9	426	12
11,52	1,12	11,3	614	12
12,38	1,15	11,2	680	12
20,4	1,16	11,8	1122	12
22,97	1,13	11,5	1236	12
24,2	1,12	11,6	1291	12
27,9	1,08	11,1	1440	11,9
29,48	1,06	9	1496	11,1
30,57	1,05	7,4	1522	10,6
36,13	0,93	6,5	1600	8,8
46,3	0,77	6,6	1702	6,4
48,33	0,75	5	1726	5,9

Tabela 59 - Dados obtidos de condutividade hidráulica, condutividade elétrica do percolado e condutividade ajustada pelo modelo para o tratamento 5 amostra H.

tempo(h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	VOL(ml)	CEdw _t mmhos/cm
0,63	0,96	13,3	26	12
1,13	0,95	13,5	46	12
1,6	0,98	13,4	67	12
2,5	1,11	13,2	119	12
4,1	1,12	12,8	197	12
5,17	1,07	13,1	237	12
6,13	0,99	13	261	12
7,15	0,95	12,8	291	12
9,27	1,36	11,3	541	12
11,6	1,6	10,6	796	12
12,45	1,65	10,6	879	12
20,53	1,52	11,3	1342	12
23,03	1,48	11,1	1461	12
24,28	1,46	11,2	1523	12
27,98	1,4	11,7	1679	11,9
29,55	1,36	10,3	1721	11,4
30,63	1,32	10	1741	11,1
36,18	1,15	9,8	1789	10,2
46,38	0,92	9,3	1825	9,4
48,42	0,88	6,3	1839	9,1

Tabela 60 - Dados obtidos de condutividade hidráulica, condutividade elétrica do percolado e condutividade ajustada pelo modelo para o tratamento 6 amostra A.

tempo (h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)	CEdwt mmhos/cm	CEi mmhos/cm
0,55	39,98	10,6	1000	12	13,6
1	35,14	12,1	1598	12	13,6
1,78	29,94	13,2	2428	12	13,6
2	28,87	13,3	2778	12	13,4
2,78	28,66	13,2	3839	12	13,4
3	30,63	12,9	4130	12	12,9
3,78	30,14	12,8	5125	12	12,3
4	30,26	12,4	5377	12	12
5	28,42	12,2	6387	12	11,1
6	25,44	11,6	7265	12	10,8
7	26,18	11	8044	12	10,8
8	25,26	11,7	8764	12	10,8
9	24,52	10,8	9572	12	10,6
10	24,43	10,7	10462	12	11
11	23,52	11	11629	12	11
13	24,64	11	14399	12	2,2
14	24,96	6,2	16079	7,6	1,6
15	24,66	2,2	17799	2,9	1,6
16	24,88	1,6	19579	1,1	1,7
22,5	31,21	1,6	30079	0,02	1,7
26	26,86	1,7	35079	0,02	0,04
27	29,54	1	36273	0,02	0,02
28	27,09	0,1	37305	0,02	0,05
29	28,71	0,1	38350	0,02	0,03

Tabela 61 - Dados obtidos de condutividade hidráulica, condutividade elétrica do percolado e condutividade ajustada pelo modelo para o tratamento 6 amostra B.

tempo (h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)	CEdwt mmhos/cm	CE1 mmhos/cm
1,02	8,53	12,8	396	12	13,6
2,02	8,81	13,3	812	12	13,6
3,02	9,52	13,3	1312	12	13,6
4,02	9,88	12,8	1812	12	13,6
5,02	10,08	12	2310	12	13,4
6,02	10,24	11,7	2815	12	13,4
7,02	10,26	10,9	3289	12	12,9
8,02	10,27	10,8	3763	12	12,3
9,02	10,33	10,7	4253	12	12
10,02	10,45	10,8	4781	12	11,1
11,02	10,71	11	5391	12	10,8
13,02	11,02	10,7	6551	12	10,8
14,02	11,2	7	7171	9,2	10,8
15,02	11,18	3,5	7671	4,3	10,6
16,02	11,02	1,9	8066	2,2	11
22,52	10,06	1,7	10346	0,2	11
26,02	9,82	1,7	11671	0,2	2,2
27,02	9,78	1,6	12075	0,2	1,6
28,02	9,72	0,7	12438	0,2	1,6
29,02	9,65	0,2	12778	0,2	1,7
31,02	9,47	0,13	13416	0,2	1,7
33,02	9,26	0,12	13968	0,2	0,04

Tabela 62 - Dados obtidos de condutividade hidráulica, condutividade elétrica do percolado e condutividade ajustada pelo modelo para o tratamento 6 amostra C.

tempo(h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol(ml)	CEdwt mmhos/cm	CEi mmhos/cm
1,03	2,71	12,9	128	12	13,6
2,03	2,75	13,6	256	12	13,6
3,03	2,81	13,3	390	12	13,6
4,03	2,82	13,4	521	12	13,6
5,03	2,91	12,8	671	12	13,4
6,03	3,02	12,2	833	12	13,4
7,03	3,12	11	1003	12	12,9
8,03	3,22	10,7	1183	12	12,3
9,03	3,3	10,5	1363	12	12
10,03	3,37	10,3	1549	12	11,1
11,03	3,46	10,8	1749	12	10,8
12,6	3,46	10,9	1999	12	10,8
14,03	3,39	9,2	2177	12	10,8
15,03	3,43	7,5	2363	10,9	10,6
16,03	3,39	3,8	2488	9,1	11
22,53	2,74	2,4	2824	4,4	11
26,03	2,49	2,2	2970	3	2,2
27,03	2,43	2,1	3008	2,7	1,6
28,03	2,37	2	3043	2,5	1,6
29,03	2,32	2	3081	2,2	1,7
31,03	2,23	1,67	3162	1,8	1,7
33,03	2,13	1,18	3225	1,5	0,04
36,58	1,99	0,61	3337	1,1	0,02
50,45	1,56	0,27	3607	0,5	0,05
56,03	1,43	0,23	3679	0,4	0,03
75,43	1,11	0,22	3845	0,25	0,01
82,33	1,03	0,22	3885	0,22	0,02
96,58	0,89	0,2	3949	0,2	0,02
105,82	0,82	0,34	3977	0,17	0,02

Tabela 63 - Dados obtidos de condutividade hidráulica, condutividade elétrica do percolado e condutividade ajustada pelo modelo para o tratamento 6 amostra D.

TEMPO (h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)	CEdwt mmhos/cm	CE1 mmhos/cm
1,05	15,88	11,6	763	12	13,6
1,83	16,12	13,2	1352	12	13,6
2,05	16,3	12,9	1528	12	13,6
3,05	16,73	13,3	2334	12	13,6
4,05	16,86	12,7	3124	12	13,4
5,05	16,92	11,6	3909	12	13,4
6,05	16,97	11,9	4696	12	12,9
7,05	16,81	10,9	5422	12	12,3
8,05	16,66	10,7	6134	12	12
9,05	16,51	10,6	6834	12	11,1
10,05	16,4	10,5	7540	12	10,8
11,05	16,44	11	8310	12	10,8
13,05	16,59	10,7	9900	12	10,8
14,05	16,59	7,6	10662	7,6	10,6
15,05	16,24	3,6	11182	3,3	11
16,05	15,75	1,9	11560	1,7	11
22,55	13,44	1,6	13860	0,2	2,2
26,05	12,72	1,6	15160	0,2	1,6
27,05	12,58	1,6	15564	0,2	1,6
28,05	12,43	0,9	15948	0,2	1,7
29,05	12,28	0,2	16316	0,2	1,7
31,05	11,94	0,13	16956	0,2	0,04
33,05	11,55	0,12	17464	0,2	0,02

Tabela 64 - Dados obtidos de condutividade hidráulica, condutividade elétrica do percolado e condutividade ajustada pelo modelo para o tratamento 6 amostra E.

TEMPO (h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)	CEdwt mmhos/cm	CEi mmhos/cm
1,07	11,11	11,5	538	12	13,6
2,07	11,79	13,2	1106	12	13,6
3,07	12,12	13,3	1687	12	13,6
4,07	11,92	12,8	2199	12	13,6
5,07	11,65	12	2679	12	13,4
6,07	11,33	11,8	3118	12	13,4
7,07	10,88	11,1	3488	12	12,9
8,07	10,56	10,9	3866	12	12,3
9,07	10,44	10,8	4296	12	12
10,07	10,47	10,4	4780	12	11,1
11,07	10,69	11	5368	12	10,8
13,18	10,75	10,7	6428	12	10,8
14,07	10,74	8,7	6853	11,2	10,8
15,07	10,6	4,6	7248	7	10,6
16,07	10,4	2,2	7578	4,1	11
22,57	9,01	1,7	9228	0,4	11
26,07	8,52	1,7	10078	0,2	2,2
27,07	8,4	1,6	10319	0,2	1,6
28,07	8,26	1,4	10522	0,2	1,6
29,07	8,11	0,6	10692	0,2	1,7
31,07	7,81	0,32	11012	0,2	1,7
33,07	7,49	0,19	11244	0,2	0,04
36,6	6,97	0,13	11570	0,2	0,02
50,48	5,4	0,08	12370	0,2	0,05

Tabela 65 - Dados obtidos de condutividade hidráulica, condutividade elétrica do percolado e condutividade ajustada pelo modelo para o tratamento 6 amostra F.

TEMPO(h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol(ml)	CEdwt mmhos/cm	CEi mmhos/cm
1,08	3,08	12,9	152	12	13,6
2,08	3,04	13,6	288	12	13,6
3,08	2,99	13,5	420	12	13,6
4,08	2,94	13,6	546	12	13,4
5,08	2,91	13,3	673	12	13,4
6,08	2,87	13	795	12	12,9
7,08	2,83	12	914	12	12,3
8,08	2,82	11,5	1038	12	12
9,08	2,8	11	1158	12	11,1
10,08	2,79	10,9	1283	12	10,8
11,08	2,81	11,3	1417	12	10,8
13,08	2,78	11	1657	12	10,8
14,08	2,82	10,1	1807	11,9	10,6
15,08	2,81	8,1	1927	10	11
16,08	2,75	5,7	2011	8,2	11
22,58	2,12	4,5	2176	4,9	2,2
26,08	1,89	3,1	2244	3,9	1,6
27,08	1,83	3	2260	3,7	1,6
28,08	1,78	2,5	2282	3,4	1,7
29,08	1,74	2,4	2304	3,2	1,7
31,08	1,66	2,2	2347	2,7	0,04
33,08	1,58	1,94	2380	2,5	0,02
36,62	1,46	1,88	2430	2,1	0,05
50,52	1,24	0,63	2850	0,6	0,03
56,08	1,2	0,35	3072	0,3	0,02
75,45	1,08	0,27	3710	0,2	0,02
82,36	1,06	0,18	3988	0,2	0,02
96,62	1,04	0,1	4588	0,2	0,02
105,83	1,05	0,13	5044	0,2	0,02

Tabela 66 - Dados obtidos de condutividade hidráulica, condutividade elétrica do percolado e condutividade ajustada pelo modelo para a tratamento 6 amostra G.

TEMPO (Hs)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)	CEdwt mmhos/cm	CE1 mmhos/cm
1,1	3,11	12,9	155	12	13,6
2,1	3,22	13,7	307	12	13,6
3,1	3,34	13,6	469	12	13,6
4,1	3,4	13,2	631	12	13,6
5,1	3,4	12,9	785	12	13,4
6,1	3,45	12,5	955	12	13,4
7,1	3,48	11,6	1120	12	12,9
8,1	3,5	11,3	1286	12	12,3
9,1	3,52	10,9	1452	12	12
10,1	3,53	10,8	1618	12	11,1
11,1	3,56	10,9	1792	12	10,8
13,1	3,55	10,9	2108	12	10,8
14,1	3,68	9,8	2349	9,4	10,8
15,1	3,73	6,5	2552	6,3	10,6
16,1	3,67	3,5	2680	5	11
22,6	3	2,5	3070	2,6	11
26,1	2,71	2,3	3202	2,1	2,2
27,1	2,63	2,2	3232	2	1,6
28,1	2,56	2,2	3259	1,9	1,6
29,1	2,49	2,1	3289	1,8	1,7
31,1	2,38	1,83	3349	1,7	1,7
33,1	2,26	1,75	3391	1,6	0,04
36,63	2,08	1,48	3454	1,5	0,02
50,55	1,57	1,09	3599	1,2	0,05
56,1	1,43	1,1	3631	1,1	0,03
75,48	1,08	1,17	3691	1,1	0,02
82,4	0,99	0,82	3711	1	0,02
96,65	0,85	0,9	3745	0,9	0,02
105,85	0,78	0,92	3759		0,02

Tabela 67 - Dados obtidos de condutividade hidráulica, condutividade elétrica do percolado e condutividade ajustada pelo modelo para o tratamento 6 amostra H.

TEMPO (h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)	CEdw _t mmhos/cm	CE _l mmhos/cm
1,12	0,59	12,9	28	12	13,6
2,12	0,62	13,5	56	12	13,6
3,12	0,66	13,5	87	12	13,6
4,12	0,67	13	117	12	13,6
5,12	0,69	13,2	149	12	13,4
6,12	0,7	13,3	182	12	13,4
7,12	0,72	13	218	12	12,9
8,12	0,74	13,1	256	12	12,3
9,12	0,76	12,8	294	12	12
10,12	0,77	12,8	330	12	11,1
11,12	0,78	13	368	12	10,8
13,12	0,79	12,4	438	12	10,8
14,12	0,79	11,6	473	11,9	10,8
15,12	0,79	10,5	508	11,2	10,6
16,12	0,81	9,2	550	9,8	11
22,62	0,77	6,6	734	4,8	11
26,12	0,73	4,2	806	3,7	2,2
27,12	0,71	3,5	821	3,6	1,6
28,12	0,71	3,3	841	3,3	1,6
29,12	0,7	3,1	863	3,1	1,7
31,12	0,69	2,8	907	2,7	1,7
33,12	0,67	2,5	942	2,4	0,04
36,65	0,65	1,95	1008	2	0,02
50,58	0,57	1,32	1218	1,1	0,05
56,12	0,54	1,17	1288	0,9	0,03
75,52	0,46	1,11	1475	0,6	0,02
82,42	0,44	0,83	1541	0,5	0,02
96,68	0,4	0,9	1651	0,4	0,02
105,87	0,38	0,87	1715	0,3	0,02

Tabela 68 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 7 amostra A.

TEMPO(h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)
0,58	1,18	12,8	32
1,58	1,08	12,7	79
2,58	0,95	12,7	114
3,58	0,85	12,7	142
5,85	0,86	12,6	235
6,67	0,87	12,6	269
7,77	0,86	12,6	312
8,72	0,86	11,9	348
9,58	0,86	10,1	383
13,32	0,93	5,9	573
24,25	0,96	3,4	1078
25,58	0,96	2,5	1141
26,58	0,96	2,5	1183
27,42	0,96	2,4	1219
30,42	0,96	2,2	1363
32,83	0,97	1,95	1474
47,42	0,91	1,89	2014
53,58	0,9	1,76	2240
56,45	0,89	1,63	2342
71,92	0,86	1,46	2872
77,25	0,86	1,27	3074
79,62	0,86	1,22	3166

Tabela 69 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 7 amostra B.

TEMPO (h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)
0,6	4,8	12,8	136
1,15	5,08	11,8	276
1,6	5,13	7,6	388
2,15	5,16	5	524
2,62	5,23	4,6	647
3,15	5,23	3,6	778
3,6	5,29	3,3	900
5,87	5,23	2,3	1450
6,68	5,17	2,1	1634
7,78	5,08	1,82	1869
8,73	5,01	1,75	2069
9,6	4,96	1,75	2251
13,33	4,83	1,38	3041
24,27	4,4	1,14	5041
25,6	4,33	1,1	5233
26,6	4,27	1,03	5369
27,43	4,22	1,04	5475
30,43	4,03	1,13	5797
32,85	3,88	1,1	6027
47,45	3,13	1,05	7007
53,6	2,91	1,05	7359
56,47	2,89	1,03	7505
71,93	2,37	1,1	8065
77,27	2,26	0,99	8250
79,65	2,21	0,96	8331

Tabela 70 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 7 amostra C.

TEMPO(h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)
0,62	15,91	9,3	467
1,12	15,79	3,8	839
1,62	15,56	2,1	1197
2,12	15,44	1,63	1555
2,63	15,6	1,38	1955
3,12	15,54	1,28	2305
3,6	15,8	1,19	2707
5,88	16,28	1,09	4557
6,7	16,29	1	5194
7,8	16,33	0,98	6060
8,75	16,33	0,94	6800
9,62	16,33	0,91	7475
13,37	16,39	0,82	10425
24,3	16,58	0,78	19175
25	16,54	0,78	19675

Tabela 71 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 7 amostra D.

TEMPO(h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol(ml)
0,63	2,94	16,5	88
1,63	2,57	12,8	198
2,65	2,4	9,9	300
3,63	2,3	5,1	395
5,93	2,32	3,2	650
6,72	2,33	2,5	741
7,82	2,34	2,1	864
8,77	2,34	1,92	969
9,63	2,35	1,86	1068
13,4	2,43	1,46	1536
24,35	2,63	1,16	3031
25,63	2,64	1,05	3195
26,63	2,64	1,01	3323
27,47	2,64	0,98	3432
30,47	2,65	0,99	3811
32,88	2,63	0,94	4094
47,48	2,3	0,88	5154
53,63	2,17	0,89	5504
56,48	2,12	0,87	5650
71,97	1,82	0,84	6190
77,3	1,75	0,84	6400
79,67	1,72	0,8	6490

Tabela 72 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 7 amostra E.

TEMPO (h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)
0,65	3,43	15,6	104
1,65	3,01	12,9	232
2,68	2,85	11,6	357
3,65	2,75	6,5	469
5,95	2,65	3,7	737
6,73	2,65	2,4	832
7,83	2,66	1,92	972
8,77	2,69	1,67	1102
9,65	2,73	1,44	1229
13,42	2,87	1,1	1797
24,38	3,28	0,86	3737
25,65	3,33	0,85	3987
26,65	3,37	0,81	4192
27,48	3,41	0,8	4372
30,48	3,51	0,83	5002
32,9	3,56	0,83	5463
47,52	3,36	0,79	7463
53,65	3,26	0,82	8163
56,5	3,21	0,8	8473
72	2,86	0,77	9613
77,32	2,76	0,77	9958

Tabela 73 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 7 amostra F.

TEMPO(h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol(ml)
0,67	1,01	4,6	30
1,67	0,8	4,7	60
2,7	0,75	2,3	87
3,67	0,7	1,8	114
5,97	0,69	1,06	184
6,75	0,69	1,02	208
7,85	0,69	0,92	242
8,78	0,69	0,92	270
9,67	0,68	0,72	296
13,43	0,69	0,69	416
24,81	0,68	0,72	754
25,39	0,68	0,72	774
26,06	0,68	0,73	793
27,06	0,68	0,68	826
27,89	0,68	0,72	851
30,89	0,69	0,76	951
33,31	0,69	0,75	1021
47,94	0,62	0,74	1331
54,06	0,59	0,8	1437

Tabela 74 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 7 amostra G.

TEMPO(h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol(ml)
0,68	0,23	1,47	7
1,68	0,18	5,8	12
3,68	0,11	3,5	19
13,47	0,08	6,2	46
24,43	0,08	6,6	87
47,58	0,07	5,1	145
56,53	0,07	3,6	169
72,05	0,06	3,4	199
77,35	0,06	2,9	208
79,68	0,06	2	213

Tabela 75 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 7 amostra H.

TEMPO (h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)
0,7	0,29	7,8	9
1,7	0,2	12,9	15
3,7	0,11	11	19
13,48	0,05	12,3	29
24,45	0,04	12,6	49
47,62	0,03	10,5	57

Tabela 76 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 8 amostra A.

tempo (h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)
1.22	0.77	7.1	45
2.00	0.78	9.5	75
7.06	0.78	11.2	265

Tabela 77 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 8 amostra B.

tempo (h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)
1.23	2.93	12.8	174
2.02	2.41	12.9	234
7.08	1.39	12.6	474

Tabela 78 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 8 amostra C.

tempo (h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)
1.25	5.52	13.2	332
2.03	4.93	11.4	482
7.10	2.87	11.5	982

Tabela 79 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 8 amostra D.

tempo (h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)
1.27	1.31	12.7	80
2.05	1.25	12.5	123
7.12	0.75	12.6	258

Tabela 80 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 8 amostra E.

tempo (h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)
1,28	0,37	9,3	23
2,07	0,52	12,0	52
7,14	0,41	12,3	192

Tabela 81 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 8 amostra F.

tempo (h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)
1.30	4.43	12.8	277
2.08	3.71	12.7	372
7.16	2.02	12.3	697

Tabela 82 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 8 amostra G.

tempo (h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)
1.32	4.39	12.8	278
2.10	3.74	11.9	378
7.18	2.19	11.3	758

Tabela 83 - Dados obtidos de condutividade hidráulica e condutividade elétrica do percolado para o tratamento 8 amostra H.

tempo (h)	K (cm/h)	CEdw mmhos/cm	Vol (ml)
1.33	1.76	12.4	113
2.12	1.57	12.6	160
7.20	0.98	12.8	340

ANEXO 2


```

WRITELN (LST,'RESULTADOS DO TESTE: ', TESTE);
WRITELN (LST,'LIXIVIAÇÃO INTERNA CAMADA HOMOGÊNEA DE: ', d:3:2,'cm');
WRITELN (LST,'NÚMERO DE CAMADAS TEÓRICAMENTE DESLOCADAS: ',No:3:2);

```

```

K:=1;

```

```

FOR K:=1 TO J DO

```

```

  BEGIN

```

```

    WRITELN ('ENTRE COM O VOLUME DE DESLOCAMENTO: ');

```

```

    READLN (VARM[K]);

```

```

    V[K]:= VARM[K]/AREA;

```

```

    p[K]:= V[K]/(Ao*d*ro);

```

```

    Bo[K] := ((p[K]-1)/SQRT(2*p[K]))*SQRT(No);

```

```

    B1[K] := ((p[K]+1)/SQRT(2*p[K]))*SQRT(No);

```

```

    {WRITELN (LST,'p[K] =', p[K]:4:4);}

```

```

    {WRITELN (LST,'Bo[K] =', Bo[K]:4:4);}

```

```

    {WRITELN (LST,'B1[K] =', B1[K]:4:4);}

```

```

    IF No <= 3

```

```

    THEN BEGIN

```

```

      E1[K] := 1-(2*INTEGRAL(0,Bo[K])/SQRT(Pi));

```

```

      E2[K] := EXP(2*No)*(1-(2*INTEGRAL(0,B1[K])/SQRT(Pi)));

```

```

      C[K] := (Co/2)*(E1[K]-E2[K]);

```

```

    END;

```

```

    IF No>3

```

```

    THEN BEGIN

```

```

      C[K] := (Co/2)*(1-(2/SQRT(Pi))*INTEGRAL(0,Bo[K]));

```

```

    END;

```

```

END;

```

```

  FOR K:=1 TO J DO

```

```

    BEGIN

```

```

      WRITELN (LST,'CONCENTRAÇÃO INTERNA = ', C[K]:4:4);

```

```

    END;

```

```

WRITELN(LST,'*****');

```

```

WRITE ('PRESSIONE ENTER...');

```

```

REPEAT UNTIL KEYPRESSED;

```

```

clrscr;

```

```

END.

```

```

*****><*****

```

```

PROGRAM GLUEKFR; { Programa utilizado nos tratamentos 1 e 2 para
                  determinação da concentração teórica
                  utilizando o modelo matemático de Glueckauf}
USES CRT, PRINTER;

```

```

VAR
  No,C1,C2,Co,Ao,d,ro : REAL;
  Pi,AREA,Di,Hi,Ps,T,Aoo,dr : REAL;
  V,C,p,Bo,B1,E1,E2,VARM : ARRAY [0..50] OF REAL;
  K,J : INTEGER;

```

```

FUNCTION INTEGRAL (A,B: REAL) : REAL;

```

```

VAR
  h,x,SOMA : REAL;
  I,N1,N : INTEGER;

BEGIN
  N:=10;
  N1:=N + 1;
  h := (B - A)/N;
  SOMA := EXP(-SQR(A)) + EXP(-SQR(B));
  IF N > 1
  THEN BEGIN
    I:=2;
    X:=A;
    REPEAT
      BEGIN
        x:= x + h;
        SOMA := SOMA + 2 * EXP(-SQR(X));
        I:=I + 1;
      END;
    UNTIL I=N1;
    END;
  INTEGRAL:= 0.5 * h * SOMA;
  END;

```

```

BEGIN

```

```

  WRITE ('ENTRE COM A DIATANCIA EFETIVA DA CAMADA:      ');
  READLN (d);
  WRITE ('ENTRE COM A UNIDADE TEORICA DE DESLOCAMENTO:  ');
  READLN (No);
  {WRITE ('ENTRE COM A CONCENTRACAO INICIAL Co:        ');}
  {READLN (Co);}
  WRITE ('ENTRE COM A DIAMETRO DA SECAO:                ');
  READLN (Di);
  WRITE ('ENTRE COM O PESO SECO DA AMOSTRA:              ');
  READLN (Ps);
  WRITE ('ENTRE COM A TARA DO ANEL:                      ');
  READLN (T);
  WRITE ('ENTRE COM A ALTURA DO CILINDRO:               ');
  READLN (Hi);
  WRITE ('ENTRE COM A DENSIDADE REAL:                    ');
  READLN (dr);
  WRITE ('ENTRE COM O NUMERO DE LEITURAS:                ');
  READLN (J);
  WRITELN (LST,'LIXIVIAÇÃO INTERNA CAMADA HOMOGÊNEA DE: ', d:3:2,'cm');

```

```

K:=1;
FOR K:=1 TO J DO
  BEGIN
    WRITELN ('ENTRE COM O VOLUME DE DESLOCAMENTO: ');
    READLN (VARM[K]);

    Pi:= 3.14115926536;

    AREA := Pi* SQR(Di)/4;

    Aoo:= (Ps - T)/AREA * Hi;

    Ao := Aoo/100;

    ro:= (1-Aoo/dr)*100;

    V[K]:= VARM[K]/AREA;

    p[K]:= V[K]/(Ao*d*ro);

    Bo[K] := ((p[K]-1)/SQRT(2*p[K]))*SQRT(No);

    B1[K] := ((p[K]+1)/SQRT(2*p[K]))*SQRT(No);

    {WRITELN (LST,'p[K] =', p[K]:4:4);}
    {WRITELN (LST,'Bo[K]=', Bo[K]:4:4);}
    {WRITELN (LST,'B1[K]=', B1[K]:4:4);}

    IF No <= 3
    THEN BEGIN
      E1[K]:= 1-(2*INTEGRAL(0,Bo[K])/SQRT(Pi));
      E2[K]:= EXP(2*No)*(1-(2*INTEGRAL(0,B1[K])/SQRT(Pi)));
      C[K]:=(1/2)*(E1[K]-E2[K]);
      END;

    IF No>3
    THEN BEGIN
      C[K]:= (1/2)*(1-(2/SQRT(Pi))*INTEGRAL(0,Bo[K]));
      END;

  END;

  FOR K:=1 TO J DO
  BEGIN
    WRITELN (LST,'CONCENTRACAO INTERNA = ', C[K]:4:4);

  END;
  WRITELN(LST,'*****');
  WRITE ('PRESSIONE ENTER...');
  REPEAT UNTIL KEYPRESSED;

  clrscr;

END.

```

*****><*****

```

PROGRAM CONDUTIV_TEMPO; { Programa para determinação da
                        condutividade hidráulica em todos
                        os tratamentos realizados}

USES CRT, PRINTER;
VAR
  T,K,Q,H : ARRAY [1..50] OF REAL;
  a,b,d,n,c :integer;
  L,Ao : REAL;
  TESTE : STRING;

BEGIN
  a:=0;
  L:=7;
  Ao:=37.0144;
  WRITE ('ENTRE COM O NUMERO DE LEITURAS REALIZADAS: ');
  READLN (n);
  WRITELN ('NOME DO TESTE: ');
  READLN (TESTE);
  FOR a:=1 TO n DO
    BEGIN
      WRITE('ENTRE COM O ',a,'o. TEMPO: ');
      READLN (T[a]);
      WRITE('ENTRE COM O ',a,'o. VOLUME: ');
      READLN (Q[a]);
      WRITE('ENTRE COM O ',a,'a. CARGA: ');
      READLN (H[a]);

      
$$K[a] := (Q[a] / (Ao * T[a])) * (L / H[a]);$$


    END;

    {FOR a:=1 TO n DO
  WRITELN (T[a]:2:4);

  FOR a:=1 TO n DO
  WRITELN (Q[a]:4:0);

  FOR a:=1 TO n DO
  WRITELN (H[a]:2:2);}

  WRITELN(LST,TESTE);

  FOR a:=1 TO n DO
  WRITELN (LST,K[a]:1:4);

  WRITE ('PRESSIONE ENTER...');
  READLN;
  CLRSCR;
END.

```