

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DISSERTAÇÃO**

**ESTUDOS DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM SOLOS COM  
DIFERENTES TEORES DE SÓDIO TROCÁVEL**

**FRANCISCO LINS BARRETO FILHO**

**Campina Grande – Paraíba  
MARÇO - 1989**

**ESTUDOS DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM SOLOS COM  
DIFERENTES TEORES DE SÓDIO TROCÁVEL**

**FRANCISCO LINS BARRETO FILHO**  
(ENGENHEIRO AGRÔNOMO)

x

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba – Campus II, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre (M.Sc.) em Engenharia Civil.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS**  
**ÁREA DE ESTUDO: ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO**

**ORIENTADORES: Prof. Dr. Hans Raj Gheyi**  
**Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra**

**CO-ORIENTADOR: Dr. Pierry Audry**

**Campina Grande – Paraíba**  
**MARÇO - 1989**

---



B274e Barreto Filho, Francisco Lins  
Estudos de condutividade hidraulica em solos com diferentes teores de sodio trocavel / Francisco Lins Barreto Filho. - Campina Grande, 1989.  
71 f.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Condutividade Hidraulica 2. Sodicidade 3. Manejo de Solo 4. Dissertacao I. Gheyi, Hans Raj II. Guerra, Hugo Orlando Carvalho III. Audry, Pierre IV. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB) V. Titulo

CDU 532.574(043)

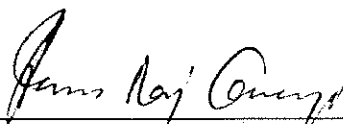
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Título: "Estudos de condutividade hidráulica em solos com diferentes teores de sódio trocável".

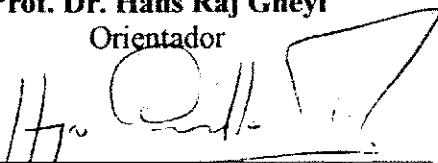
por

**FRANCISCO LINS BARRETO FILHO**

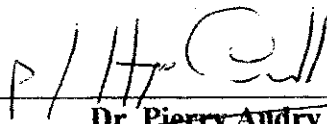
BANCA EXAMINADORA:



**Prof. Dr. Hans Raj Gheyi**  
Orientador



**Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra**  
Examinador Interno



**Dr. Pierry Audry**  
Examinador Externo

**MARÇO - 1989**

**Ao meu pai, Francisco (in memoriam)**

**DEDICO**

**À minha esposa, Valéria  
Ao meu filho, Danilo  
À minha mãe, Consuelo  
Aos meus irmãos.**

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

Aos professores Hans Raj Gheyi e Hugo Orlando Carvalho Guerra, pela valiosa orientação no preparo e execução deste trabalho.

Ao Dr. Pierry Audry, pela colaboração nas diversas etapas do procedimento experimental.

À professora Norma César de Azevedo, pelas sugestões e amizade.

À CAPES, pela bolsa de estudos concedida.

Ao Dr. José Silvino Sobrinho, pelo incentivo à realização do Curso.

À EMATER – PB, pela oportunidade concedida.

Ao funcionário da oficina mecânica Carlos Mentoni, pela ajuda na concepção e fabricação do equipamento experimental.

À desenhista Maria do Socorro Sobreira, pela confecção dos desenhos e gráficos.

Ao engenheiro agrícola Manoel Moisés, pela colaboração na fase experimental.

À Coordenação e professores do Curso de Pós-graduação em Engenharia de Irrigação da Universidade Federal da Paraíba, pela contribuição científica e espírito de cooperação.

Aos colegas do Curso de Mestrado, Zélia Maria Bezerra, Hosana Tavares de Medeiros, Luiz Bosco, Gilma Esperanza M. Torres e Joana D'Arc, pela convivência e solidariedade.

Aos colegas do Curso de Agronomia, Roberto Campelo, Fausto, Austro e Edmilson, pela permanente amizade.

Aos amigos engenheiros agrônomos, Beranger Arnaldo de Araújo e Gilberto Moraes Vieira, pela prestimosa colaboração no ambiente profissional.

Aos funcionários do Laboratório de Irrigação e Salinidade e a todos aqueles que, direta ou indiretamente, cooperaram para a realização desta pesquisa.

Aos meus pais, que não mediram esforços para a minha formação moral e intelectual.

À minha esposa, pelo incentivo, compreensão e apoio nos momentos mais difíceis.

## LISTA DE TABELAS

		<i>Págs</i>
Tabela 1	Algumas características físicas e químicas do solo utilizado no estudo.....	12
Tabela 2	Resumo do ensaio preliminar 1 de sodificação do solo com $\text{Na}_2\text{CO}_3$ para diferentes tempos de contato.....	22
Tabela 3	Resumo do ensaio preliminar 2 de sodificação do solo com $\text{Na}_2\text{CO}_3$ para um período de oito dias .....	23
Tabela 4	Condutividade hidráulica média ( $K_0$ ) para as diferentes amostras de solo (cm/h) .....	27
Tabela 5	Análise da variância da condutividade hidráulica do solo saturado, determinada nas amostras com PST original, antes do tratamento ( $K_0$ ) .	28
Tabela 6	Valores $K_1$ e $K_{rel}$ para o tratamento 1 (PST= 4,8%) .....	29
Tabela 7	Valores $K_1$ e $K_{rel}$ para o tratamento 2 (PST= 9,9%) .....	30
Tabela 8	Valores $K_1$ e $K_{rel}$ para o tratamento 3 (PST= 16,4%) .....	31
Tabela 9	Valores $K_1$ e $K_{rel}$ para o tratamento 4 (PST= 17,4%) .....	32
Tabela 10	Valores $K_1$ e $K_{rel}$ para o tratamento 5 (PST= 25,8%) .....	33
Tabela 11	Valores $K_1$ e $K_{rel}$ para o tratamento 6 (PST= 32,1%) .....	34
Tabela 12	Valores $K_1$ e $K_{rel}$ para o tratamento 7 (PST= 47,4%) .....	35
Tabela 13	Valores $K_1$ e $K_{rel}$ para o tratamento 8 (PST= 64,1%) .....	36
Tabela 14	Condutividade hidráulica do solo saturado, determinada antes do tratamento ( $K_0$ ), após o tratamento ( $K_1$ ) e condutividade hidráulica relativa ( $K_{rel}$ ) .....	41
Tabela 15	Análise de variância da condutividade hidráulica relativa do solo saturado em função da percentagem de sódio trocável .....	43



**LISTA DE FIGURAS**

	<i>Págs</i>
Figura 1 Equipamento experimental – sistema de permeâmetros de carga constante .....	14
Figura 2 Detalhe do permeâmetro de carga constante – unidade do sistema .....	15
Figura 3 Etapas para determinação da condutividade hidráulica do solo saturado	19
Figura 4 Curva de sodificação do solo para um tempo de contato de oito dias (Ensaio Preliminar 2) .....	25
Figura 5 Curva de sodificação do solo para um tempo de contato de oito dias (Ensaio Preliminares 1 e 2).....	26
Figura 6 Condutividade elétrica do líquido em função do volume percolado nos tratamentos .....	38
Figura 7 Condutividade hidráulica relativa em função do volume percolado durante o teste de $K_1$ nos tratamentos .....	39
Figura 8 Condutividade hidráulica relativa em função da percentagem de sódio trocável do solo .....	42

## SUMÁRIO

RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Condutividade hidráulica .....	3
2.2. Fatores que afetam a condutividade hidráulica .....	3
2.3. Efeito do teor de sódio trocável sobre a condutividade hidráulica do solo saturado .....	4
2.4. Determinação da condutividade hidráulica no solo .....	6
2.4.1. Métodos de laboratório .....	6
2.4.2. Métodos de campo .....	9
2.4.3. Métodos teóricos .....	9
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	11
3.1. Localização do experimento .....	11
3.2. Solo .....	11
3.3. Aparelho experimental .....	13
3.4. Tratamentos .....	16
3.4.1. Preparação das soluções de $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .....	16
3.4.2. Sodificação das amostras de solo .....	16
3.5. Procedimento para determinação da condutividade hidráulica do solo (K) .....	18
3.5.1. Etapa 1: Determinação de K no solo com PST original, antes do tratamento ( $K_0$ ) .....	18
3.5.2. Etapa 2: Determinação de K para os diferentes tratamentos de PST ( $K_1$ ) .....	18
3.6. Análise estatística .....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	21
4.1. Sodificação das amostras de solo .....	21
4.2. Efeito da Percentagem de Sódio Trocável na condutividade hidráulica do solo .....	24
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	44
6. BIBLIOGRAFIA .....	45
ANEXOS .....	48

## RESUMO

Com o objetivo de estudar o efeito da percentagem de sódio Trocável (PST) sobre a condutividade hidráulica de um solo saturado, foi conduzido um experimento, em condições de laboratório, determinando-se a relação entre a condutividade hidráulica medida em um solo normal (baixo PST) e aquela obtida no mesmo solo submetido a diferentes níveis de sódio trocável.

Foram utilizadas amostras de solo não deformadas, de textura franco-arenosa, coletadas em um lisímetro instalado no perímetro irrigado de São Gonçalo – Pb.

Em laboratório, as amostras foram saturadas em soluções de carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) a diferentes concentrações, durante 08 (oito) dias, para obter-se percentagens de sódio trocável variando entre 4,8% e 64,1%. A condutividade hidráulica das amostras foi medida em um sistema de permeâmetros de carga constante e calculada através da equação de Darcy.

Os resultados mostraram um decréscimo da condutividade hidráulica com o aumento da percentagem de sódio trocável no solo. Nas amostras com a PST mais baixa (4,8%) a condutividade hidráulica decresceu 27%, quando comparada com o valor no solo normal, chegando esta redução nas amostras com maior nível de sódio (PST= 64,1%) a 98%.

Atribuiu-se esta diminuição ao mecanismo de dispersão das partículas primárias do solo que, ao se deslocarem, bloquearam os poros condutores da água, obstaculando assim a sua transmissão. Quanto maior o conteúdo de sódio trocável no solo, mais acentuado foi o efeito da dispersão e, conseqüentemente, menor a condutividade hidráulica.

## ABSTRACT

An experiment was conducted under laboratory conditions to study the effect of the Sodium Exchangeable Percentage on the hydraulic conductivity of a saturated soil. For this, undisturbed samples of loamy-sand soil were saturated in  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  solutions during 08 (eigth) days, to obtain Sodium Exchangeable Percentages between 4,8% and 64,1%.

The hydraulic conductivity of the soil samples were measured on a constant hydraulic head permeameter and calculated through de Darcy's law equation.

It was found a decrease of the hydraulic conductivity, with the Percentage of Exchangeable Sodium in the soil, reaching a reduction as great as 98% with the maximum Exchangeable Sodium (64,1%) when compared with the conductivity measured in normal soils. This fact was atributed to the dispersion phenomenom of the soil particles wich probably blocked the porous of the soil, diminishing the capacity of them this to conduct water. The greater the Sodium Exchangeable Percentage in the soil the greater the dispersion and consequently smaller the hydraulic conductivity.

## 1. INTRODUÇÃO

Solos com problemas de sais ocorrem comumente em regiões áridas e semi-áridas, onde as condições de baixa precipitação e altas temperaturas favorecem à sua formação. Além destes, outros fatores como a baixa permeabilidade do solo, manejo inadequado e a prática de irrigação com água de má qualidade podem contribuir para o acúmulo dos sais solúveis e sódio trocável, afetando diretamente a produção e produtividade das culturas, podendo em casos extremos inutilizar totalmente a área para fins agrícolas.

O conhecimento do modo como o solo reage às condições salinas e/ou sódicas é primordial para se definir critérios de manejo em áreas irrigadas, evitando-se assim problemas futuros de salinização e sodificação. É preciso manter-se uma drenagem adequada do solo para que se tenha um controle efetivo da salinidade.

A transmissão de água através do solo é um processo físico complexo que envolve relações entre o solo e a água que por ele flui. A direção e magnitude do fluxo de água são influenciadas pelas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, pela demanda atmosférica e pelas propriedades da própria água.

A condutividade hidráulica é um dos parâmetros do solo que determinam a sua capacidade de transmissão de água, estando intimamente relacionada à geometria dos poros transmissores do solo. Sendo assim, qualquer fator que venha alterar o tamanho e distribuição do espaço poroso afetará diretamente o valor da condutividade hidráulica do solo.

Estudos têm mostrado que quando a concentração de sódio no solo é elevada, notadamente naqueles de textura argilosa, há uma significativa redução no valor de sua condutividade hidráulica. Altas percentagens de sódio trocável no complexo do solo provocam dispersão e expansão de certos tipos de minerais de argila e, sob tais condições,

os solos se tornam praticamente impermeáveis à penetração de água, impossibilitando desta forma o crescimento de plantas.

No Brasil, estudos a esse respeito são, contudo, escassos, exigindo que pesquisas locais permitam maior conhecimento sobre os efeitos do acúmulo de sais no solo especialmente de sódio, sendo de grande utilidade para se estabelecer critérios de risco, bem como auxiliar no manejo e recuperação de solos já alterados por esse problema.

O presente trabalho teve como objetivo principal estudar a influência da percentagem de sódio trocável (PST) sobre a condutividade hidráulica de um solo aluvial, visando obter subsídios para a previsão dos problemas da sodificação e seu efeito sobre o movimento de água nos solos.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Condutividade hidráulica

O fluxo de água no solo ocorre de acordo com a lei de Darcy:

$$\frac{Q}{At} = -K \frac{\Delta H}{\Delta L}$$

Onde: Q é o volume de água que flui através de uma coluna de solo de área transversal A, num tempo t. K é a condutividade hidráulica do solo e  $\Delta H/\Delta L$  o gradiente hidráulico. (SHAINBERG & LETEY, 1984).

A condutividade hidráulica é, portanto, um coeficiente de proporcionalidade entre o fluxo e o gradiente da lei de Darcy. É a propriedade do material poroso (solo) que descreve a sua capacidade para transmitir água (REICHARDT, 1978).

### 2.2. Fatores que afetam a condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica depende de fatores inerentes ao solo e à água. É função da fluidez da água, que por sua vez é proporcional à sua viscosidade e densidade. Depende também da macroporosidade do solo, a qual é função da sua textura e estrutura.

$$K = K_i \cdot f$$

onde: K é a condutividade hidráulica,  $K_i$  é a permeabilidade intrínseca, f é a fluidez, que, por sua vez é igual a  $(\rho g/\eta)$ , onde  $\rho$  é a densidade de água, g é a aceleração da gravidade e  $\eta$  é a viscosidade dinâmica da água (BELTRAN, 1986).

Segundo HILLEL (1972) os principais fatores que afetam K são a textura e estabilidade estrutural do solo, a densidade aparente, os aglomerados, a composição química do solo e do complexo de troca, a expansibilidade do solo, a atividade microbiana e a possível presença de ar que possa bloquear a passagem de água.

Em um dado solo, K é função do teor de umidade e quanto mais úmido estiver o solo, maior será o seu valor, atingindo o valor máximo quando o solo está saturado, recebendo a denominação de condutividade hidráulica saturada ( $K_o$ ) ou permeabilidade do solo (REICHARDT, 1978).

A condutividade hidráulica não se mantém constante em um mesmo solo, devido a processos de natureza química, física e biológica que acontecem continuamente, como por exemplo, a alteração do complexo de íons trocáveis e a migração de partículas de argila durante o fluxo (KLAR, 1984).

### 2.3. Efeito do teor de sódio trocável sobre a condutividade hidráulica do solo saturado

Além de sua dependência a fatores físicos do solo, a condutividade hidráulica depende de percentagem de sódio trocável (PST) e da concentração salina da solução do solo. Aumentando a percentagem de sódio trocável e decrescendo a condutividade elétrica da solução, decresce a permeabilidade do solo (McNEAL & COLEMAN, 1966; FRENKEL *et al.*, 1978).

Os solos das regiões áridas e semi-áridas freqüentemente têm altos valores de PST e por esta razão deve ser dada grande importância à quantidade de eletrólitos na água de irrigação (QUIRK & SCHOFIELD, 1955). O valor da condutividade hidráulica pode ser mantido ainda para altos valores de PST, desde que a condutividade hidráulica da



água de irrigação permaneça acima de um certo nível crítico, o qual varia de solo para solo e não pode ser previsto sem testes empíricos, mesmo para solos similares (McNEAL & COLEMAN, 1966; FRENKEL *et al.*, 1978).

Dois mecanismos principais têm sido propostos para explicar os decréscimos da permeabilidade do solo com alta PST: a dispersão e a expansão dos minerais de argila. FRENKEL *et al.* (1978), afirmam que a dispersão e transporte das partículas de argila obstruem os poros e a expansão reduz o tamanho dos poros do solo, podendo fechá-los completamente. QUIRK & SCHOFIELD (1955) sugerem que a expansão das partículas de argila, a qual aumenta com o aumento na sodicidade do solo, poderia resultar no fechamento total ou parcial dos poros condutores.

SHAINBERG & LETEY (1984) afirmam que a expansão e dispersão das argilas são mecanismos muito importantes na maioria dos solos agrícolas com alta taxa de sódio porque, embora a expansão seja um processo reversível – a redução na permeabilidade pode ser revertida por adição de eletrólitos ou cátions divalentes –, a dispersão e migração das partículas de argila são essencialmente irreversíveis e causam a formação de uma camada impermeável no perfil do solo. Em solos com alta PST, a dispersão ocorre devido a que íons monovalentes intensamente hidratados, como o  $\text{Na}^+$ , são frouxamente retidos pelas micelas de argila e não reduzem efetivamente a sua eletronegatividade ou “potencial zeta”, desta forma as micelas específicas se repelem entre si e se mantêm dispersas (BUCKMAN & BRADY, 1983).

PUPISKY & SHAINBERG (1979), em estudos com solos de textura franco-arenosa, verificaram que em altas taxas de PST e concentração salina acima de 0,01N, a expansão das argilas foi o principal fator responsável pelos decréscimos de condutividade hidráulica (K). ROWELL *et al.* (1969) também indicam a expansão das argilas como causa das reduções iniciais de K em solos com alta PST. Porém, sob baixos valores de PST e soluções do solo muito diluídas, a dispersão e migração das partículas de argila para os poros condutores foi o principal mecanismo responsável pelas reduções no valor de K. Os mesmos autores concluíram também que a dispersão é possível apenas quando a concentração da solução do solo cai abaixo de um certo “valor crítico” no qual as partículas de argila flocculam.

A expansão das argilas não é apreciável ao menos que a PST exceda ao redor de 25 ou 30% (QUIRK, 1968), mas a dispersão pode ocorrer a nível de PST tão

baixos quanto 10 à 20%, se a concentração eletrolítica for menor que 10 meq/l (Felhender, *et al.*, 1974, citado por FRENKEL *et al.*, 1978).

McNEAL & COLEMAN (1966), em pesquisa sobre o efeito da composição da solução do solo sobre o valor de K em solos do oeste dos Estados Unidos, encontraram que os decréscimos mais pronunciados na condutividade hidráulica se verificaram na faixa de PST de 25 a 30% e concentração salina de 3 a 50 meq/l.

A dispersão das argilas e a condutividade hidráulica do solo também são afetadas pela composição dos cátions trocáveis. ALPEROVITCH *et al.* (1986), em estudos com sistema Na – Ca e Na – Mg, explicam que em solos bem intemperizados, nos quais o CaCO<sub>3</sub> e minerais primários têm sido lixiviados, a maioria dos eletrólitos do solo são derivados da hidrólise dos minerais de argila, a qual é diminuída com a presença do magnésio trocável. Nessas condições, pode favorecer-se a dispersão devido a redução na concentração de eletrólitos em relação ao sódio trocável e em consequência, haverá também um decréscimo de K.

#### 2.4. Determinação da condutividade hidráulica no solo

Numerosos métodos têm sido usados para determinação da condutividade hidráulica (BAVER *et al.*, 1972; MARSHALL & HOLMES, 1979; KLAR, 1984).

São métodos de laboratório, de campo e teóricos, tendo cada um deles suas vantagens e desvantagens.

##### 2.4.1. Métodos de laboratório

Originados de trabalhos pioneiros de RICHARDS (1931), estudos de laboratório para medição do movimento de água em solos não saturados têm sido amplamente difundidos. NIELSEN & BIGGAR (1961) desenvolveram um aparelho em forma de coluna para medir a condutividade capilar em condição de fluxo permanente num

solo alterado. A determinação do gradiente hidráulico foi realizada através de tensiômetros colocados em duas posições ao longo da coluna de solo.

Medidas de condutividade hidráulica em materiais porosos não saturados foram conduzidas por vários outros pesquisadores: YOUNGS (1963); ZASLAVSKY & RAVINA (1965); JACKSON *et al.* (1965); WATSON (1966); ROULIER *et al.* (1972). Antes destes, FIREMAN (1944), usando um permeômetro com carga constante apontou fatores que afetavam medidas de permeabilidade em amostras de solo saturado. YOUNGS (1963) indicou dificuldades em relacionar a condutividade hidráulica saturada para materiais porosos não saturados. Seu método de infiltração deu resultados similares, indiferente se foi aplicada sucção na superfície do solo através de uma membrana porosa, ou foi aplicada pressão positiva na base da coluna do solo.

ZASLAVSKY & RAVINA (1965) usaram um permeômetro horizontal para medir a condutividade hidráulica através do valor instantâneo da umidade. Acréscimos e decréscimos de pressão foram aplicados para impulsionar a água através da amostra de solo, depois que condições de estado permanente de fluxo foram deixadas reocorrer.

O método de laboratório de CHILDS & COLLIS-GEORGE (1950) deu prova adicional de que a Lei de Darcy é aplicável para estado permanente de fluxo e meios porosos não saturados. WATSON (1966) usando uma aproximação similar, mediu a condutividade hidráulica de uma fração de areia de 150 a 300 $\mu$ . Medindo  $\Delta H$  e  $\theta$  para várias profundidades, em tempos determinados, durante drenagem, de um estado inicial saturado, ele foi capaz de calcular o valor instantâneo de K versus  $\theta$ .

As medidas de condutividade hidráulica em laboratório são feitas mediante o uso de permeômetros, que podem ser de carga constante ou variável (KLAR, 1984). As determinações são conduzidas em amostras de solo contidas em cilindros de dimensões conhecidas (KESSLER & OOSTERBAN, 1980). São utilizadas amostras não deformadas coletadas em campo, mais representativas das condições "in situ", ou ainda amostras reconstituídas em laboratório, procurando-se manter o mais representativo possível à estrutura original. As informações obtidas através das amostras não alteradas são mais recomendáveis quando se pretende extrapolar os dados para as condições de campo (MILLAR, 1978).

Nas medições em laboratório, uma carga fixada de água é aplicada na superfície da amostra, após saturação do solo, e o fluxo através dele é coletado e medido em um recipiente graduado.

As medições devem ser conduzidas até que o volume coletado entre duas leituras consecutivas seja constante em  $\pm 5\%$  (FORSYTHE, 1975). Já BAVER *et al.* (1972) afirmam que, em condições de laboratório, K pode ser medida com certa precisão. Ressaltam, no entanto, que há problemas de se assegurar que a estrutura do solo em campo seja mantida nas amostras durante a coleta, ou alcançada durante a sua reconstituição.

Os permeâmetros de laboratório são muito úteis devido a possibilidade de se efetuar medidas em série de amostras. É conveniente, contudo, efetuar-se as medidas em amostras de solo não deformadas previamente saturadas em água (RIEU, 1983). A água usada nas determinações de K em laboratório deve ser desgaseificada através de fervura e resfriamento a pressão reduzida, para evitar-se o efeito do aprisionamento de gases nos espaços porosos no solo e com isso causar interferências no fluxo (MARSHALL & HOLMES, 1979).

As medições de K em laboratório, podem ainda, ser feitas indiretamente. KLAR (1984) aponta um método desenvolvido por Roy & Ayres (1960), baseado na percentagem de limo mais argila existente no solo. Neste método, para valores de K variando de 1 a 3 cm/h, a análise de correlação mostrou-se mais significativa que para valores de 0,3 a 7,0 cm/h.

Estudos de laboratório têm a vantagem de permitir um maior controle do ambiente. Apresentam, contudo, a desvantagem de não se poder relacionar diretamente os dados obtidos com as condições de campo.

Comparados com outros métodos, os de laboratório têm duas inerentes limitações: a primeira, é que consome muito tempo, requer equipamentos adequados e demandam técnicas rigorosas de amostragem; a segunda é o pequeno tamanho da amostra, o que pode ocasionar uma grande variação nas características do solo, devido à variação espacial, exigindo para uma avaliação segura a coleta de um grande número de amostras (KESSLER & OOSTERBAN, 1980).

#### 2.4.2. Métodos de campo

As determinações de campo, embora mais precisas, são extremamente trabalhosas e difíceis, requerendo instrumentação adequada, nem sempre disponível (Davidson *et al.*, 1965, citados por CARVALLO & AZEVEDO, 1975). São necessárias, no entanto, a fim de se fazer um uso prático de tais dados, proporcionando informações no próprio local onde se deseja implantar as culturas.

Os métodos de campo são classificados em dois grupos: métodos para medir a condutividade hidráulica na presença do lençol freático; métodos para medir K na ausência do lençol freático (KESSLER & OOSTERBAN, 1980).

As determinações de K na presença do lençol freático geralmente são efetuadas abrindo-se orifícios no solo que vão abaixo do nível da capa freática. Em seguida, mede-se os tempos de elevação da superfície da água até atingir o equilíbrio em espaços verticais pré-determinados e, a partir destes valores, calcula-se a condutividade hidráulica. Nas medições da condutividade hidráulica na ausência do lençol freático, o perfil do solo é profundamente molhado e, à medida que acontece a drenagem, K vai sendo obtida através da determinação do teor de umidade do solo (KLAR, 1984).

Uma descrição detalhada sobre os métodos de campo para obtenção de K é apresentada em MILLAR (1978).

#### 2.4.3. Métodos teóricos

Outra forma de determinação de K empregada é a aproximação matemática. GREEN & COREY (1971) compararam métodos teóricos de MARSHALL (1958) e MILLINGTON & QUIRK (1959), computando valores de K não saturados, e encontraram que o uso de um adequado fator de correção permite a obtenção de valores teóricos comparáveis com os de campo. KUNZE *et al.* (1968) sugeriram a necessidade de um fator de correção e selecionaram o K saturado como o ponto de correção. Os solos em condições de campo, no entanto, raramente estão saturados e os pesquisadores recomendam que o

fator de correção seja escolhido no ponto médio (ROULIER *et al.*, 1972), ou ainda no mais baixo  $\theta$  encontrado em campo (CARVALLO *et al.*, 1976).

A textura do solo tem um papel decisivo na seleção do ponto de correção. BRUCE (1972) encontrou valores teóricos em solos de textura grossa, os quais tendo uma faixa estreita de tamanho de poros, mostraram concordância aceitável quando corrigidos à saturação. Materiais finos, tendo uma larga faixa de tamanho de poros, apresentaram melhor concordância quando o fator de correção foi selecionado em um conteúdo d'água correspondente a tensão entre 100 e 300mb.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1. Localização do experimento**

O presente trabalho foi conduzido no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em Campina Grande – Paraíba.

#### **3.2. Solo**

O estudo foi realizado em amostras de solo não deformado, coletadas na camada superficial (0-15cm) do lisímetro N° 07, instalado no perímetro irrigado de São Gonçalo-PB, cheio com solo aluvial de textura franco-arenosa, procedente da Estação Experimental da EMEPA/EMBRAPA, situada no mesmo perímetro irrigado. Para a coleta das amostras não deformadas foram usados anéis cilíndricos de P.V.C. (diâmetro interno = 4,7cm e altura = 5,0cm), introduzidos no solo através de trado tipo Uhland. As características físicas e químicas do solo utilizado são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Algumas características físicas e químicas do solo utilizado no estudo.

<b>Granulometria - %</b>		
Areia		60,8
Silte		31,5
Argila		7,7
Composição mineralógica da fração argila		Ilita, caulinita e montmorilonita*
Classificação textural		Franco arenosa
<b>Densidade Aparente - g/cm<sup>3</sup></b>	(0 - 10cm)	1,32
	(10 - 20cm)	1,29
<b>Densidade Real - g/cm<sup>3</sup></b>		2,60
<b>Umidade - % - base solo seco</b>		
Natural **		1,52
0,33 atm (Capacidade de Campo)		15,75
1,00 atm		10,14
3,00 atm		8,39
5,00 atm		7,64
10,00 atm		7,25
15,00 atm (Ponto de Murcha)		6,99
<b>Complexo Sortivo - (meq/100g)</b>		
Cálcio		6,50
Magnésio		2,80
Potássio		0,87
Sódio		0,12
Bases trocáveis (S)		10,29
Hidrogênio + Alumínio		1,81
Capacidade Troca Catiônica (CTC)		12,10
Carbono Orgânico - %		0,97
Fósforo Assimilável - mg/100g		3,40
pH - H <sub>2</sub> O (1:2,5)		6,50
CE = mS/cm (1:2,5)		0,15
PST (%)***		0,99
* → Em ordem decrescente de presença, conforme resultados obtidos no Laboratório Central Científico da ORSTOM por GHEYI (1986).		
** → Amostra seca ao ar		
***→ PST = NaT/CTC x 100		



### 3.3. Aparelho experimental

Para a determinação da condutividade hidráulica saturada das amostras foi construído um sistema de permeâmetros, cujos detalhes podem ser vistos na Figura 1. O equipamento consta de seis permeâmetros interligados a um reservatório com bóia ( $R_2$ ), para manutenção de uma carga constante de água sobre a superfície das amostras. O reservatório  $R_2$  é conectado a um reservatório maior ( $R_1$ ) que abastece todo o sistema. Os seis permeâmetros são usados simultaneamente e podem ser desconectados separadamente do sistema, sem prejudicar o funcionamento dos demais, através de uma presilha adaptada à mangueira de borracha flexível que liga cada um deles ao reservatório com bóia.

A Figura 2 apresenta detalhes sobre o funcionamento de uma unidade do sistema:  $R_1$  abastece  $R_2$ , que ao atingir seu nível máximo proporciona uma carga constante de 3cm sobre a superfície do solo. O líquido percolado através da coluna de solo é armazenado em  $R_3$  até que forme uma lâmina de 0,3cm no fundo deste reservatório. Quando atinge esta altura o líquido escoar para fora de  $R_3$  e é medido em uma proveta graduada.

A condutividade hidráulica saturada foi calculada pela equação de Darcy:

$$K = \frac{Q \cdot \Delta L}{A \cdot t \cdot \Delta H}$$

onde:  $Q$  = Volume de água que passa pela amostra no tempo "t";  $A$  = área de secção transversal da amostra e  $L$  é o comprimento da amostra na qual há uma diferença de carga hidráulica  $\Delta H$ , entre a entrada e a saída de água da coluna de solo (U.S. SALINITY LABORATORY STAFF, 1954).

FIGURA 01 - Equipamento Experimental - Sistema de Permeômetros de carga constante.

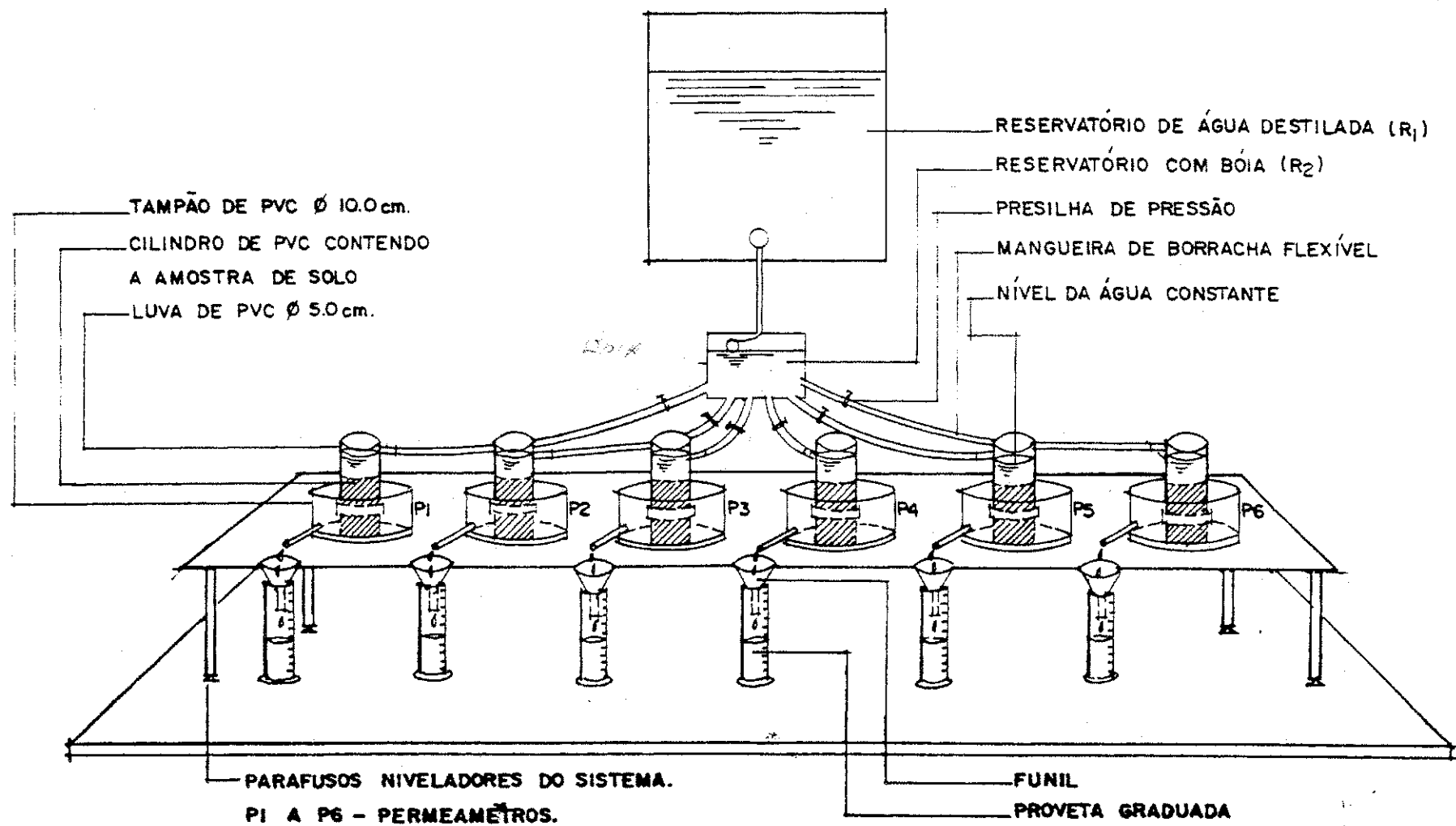
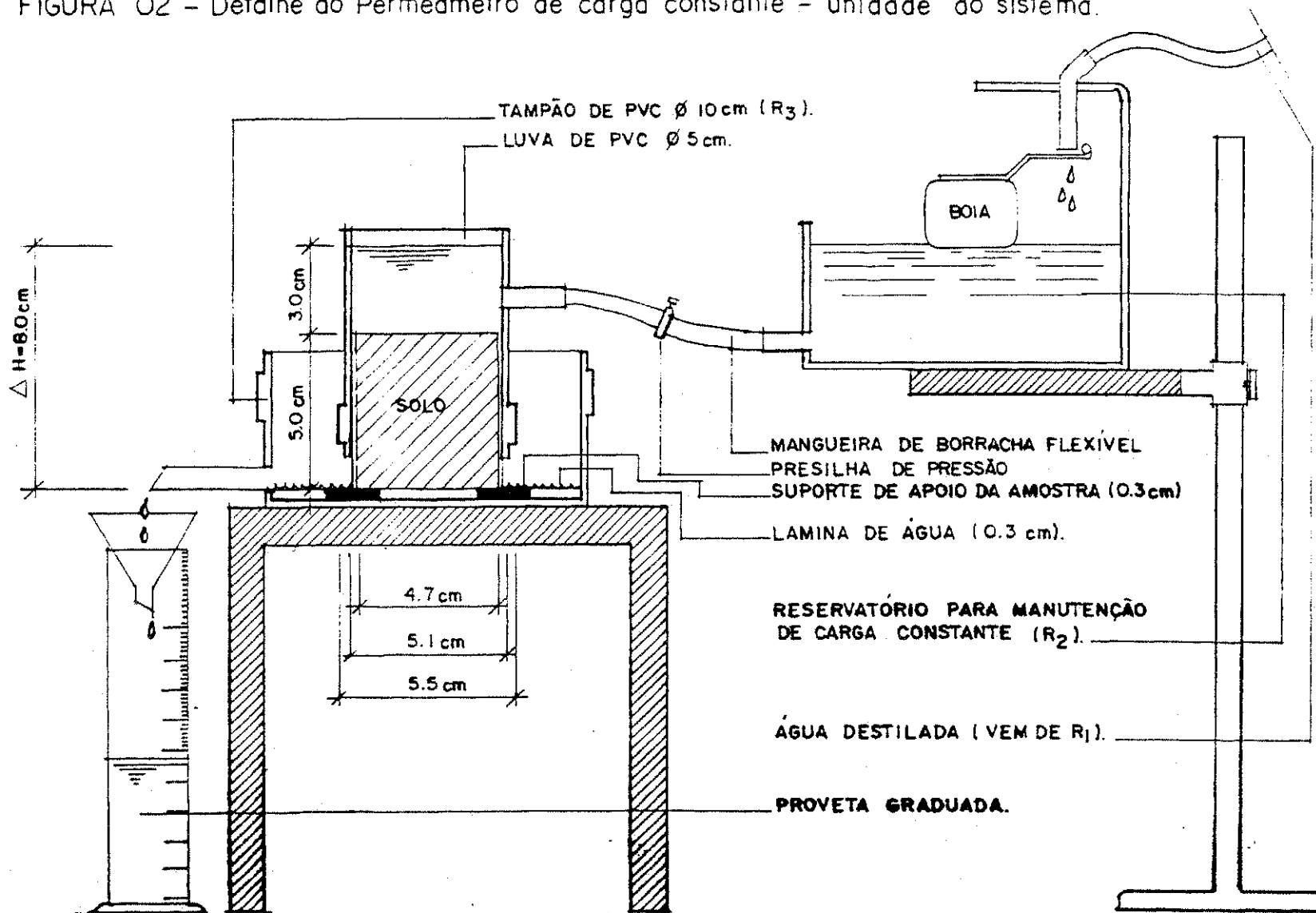


FIGURA 02 - Detalhe do Permeâmetro de carga constante - unidade do sistema.



### 3.4. Tratamentos

Visando obter solos com diferentes taxas de sódio trocável, as amostras originalmente com baixo PST ( $\approx 1,0\%$ ), foram submetidas em laboratório a testes preliminares de sodificação.

A sodificação do solo foi realizada através da imersão das amostras em soluções de carbono de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), de diferentes concentrações e para tempos pré-determinados de contato das amostras com a solução na qual estavam imersas.

#### 3.4.1. Preparação das soluções de $\text{Na}_2\text{CO}_3$

As soluções foram preparadas com o uso de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  anidro da MERCK S/A – INDUSTRIA QUIMICA, dissolvido em água destilada na quantidade adequada para obter-se a concentração desejada do sódio na solução. Para preparação das soluções foi usada água destilada, fervida, para eliminação do ar dissolvido.

#### 3.4.2. Sodificação das amostras de solo

Grupos de 03 (três) amostras foram imersas em soluções de carbonato de sódio de diferentes concentrações e para intervalos de tempo crescentes, foi medida a evolução da taxa de sódio trocável no solo.

O processo de sodificação do solo foi iniciado com a saturação da amostra por capilaridade, a partir da base da coluna, para melhor expulsão do ar, completando-se, em seguida, o volume da solução no recipiente, até que a amostra ficasse totalmente imersa. Sempre que o volume no recipiente diminuía, devido à absorção de água pelo solo

ou pela evaporação, mais solução era adicionada, mantendo-se constante o nível, na altura do topo da amostra.

Inicialmente conduziu-se um ensaio de sodificação das amostras com soluções de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  de 0,1N; 0,3N e 0,5N e intervalos de tempo de 4 (quatro), 8 (oito) e 12 (doze) dias (Ensaio Preliminar 1). Após cada um dos períodos de tempo de imersão usados, as amostras sodificadas com as diversas soluções foram destorroadas, secas ao ar, peneiradas em malha de 2mm e analisadas quimicamente, seguindo-se metodologia do U.S. SALINITY LABORATORY STAFF (1954).

Os resultados da análise química apresentaram valores de PST variando entre 26,6%, atingindo no 4º dia da sodificação com a solução 0,1N, e 98,3% observado no 12º dia, nas amostras sodificadas com a solução 0,5N de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Estes resultados, no entanto, não compreendiam uma faixa de valores de PST próximos de 15%, considerado como valor limite entre o solo normal e o sódico, e, ainda, apresentavam taxas de sódio muito altas, não encontradas na maioria dos solos agrícolas da região Nordeste. Por isso decidiu-se por realizar um outro ensaio de sodificação (Ensaio Preliminar 2), desta vez com soluções de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  em concentrações menores. Foram usadas as concentrações de 0,01N; 0,03N; 0,04N; 0,05N; 0,07N; 0,10N; 0,15N e 0,20N e um tempo de sodificação constante de 08 (oito) dias para todas as amostras. No final do período, as amostras analisadas apresentaram percentagens de sódio trocável entre 4,8% e 64,1%, obtidos pela sodificação com as soluções 0,01N e 0,20N, respectivamente. Com base nestes resultados definiu-se os tratamentos a serem empregados no experimento.

PST = 4,8% (TRATAMENTO 1)

PST = 9,9% (TRATAMENTO 2)

PST = 16,4% (TRATAMENTO 3)

PST = 17,4% (TRATAMENTO 4)

PST = 25,8% (TRATAMENTO 5)

PST = 32,1% (TRATAMENTO 6)

PST = 47,4% (TRATAMENTO 7)

PST = 64,1% (TRATAMENTO 8)

### 3.5. Procedimento para determinação da condutividade hidráulica do solo (K)

O experimento foi conduzido em duas etapas, ilustradas na Figura 3, a saber:

#### 3.5.1. Etapa 1: Determinação de K no solo com PST original, antes do tratamento ( $K_0$ )

Cada um dos cilindros contendo as amostras de solo no seu estado natural (não deformado), foi colocado no interior de uma luva de PVC de 5cm de diâmetro interno, de modo a proporcionar uma carga de água de 3cm sobre a superfície do solo. Na base do cilindro foi fixado um pedaço de gaze para evitar o distúrbio na saída do líquido da coluna de solo, durante os testes. Antes de iniciar-se o fornecimento de água aos permeâmetros, foi colocado papel filtro sobre a superfície do solo para evitar também distúrbio na entrada do líquido na coluna. A seguir, as amostras em grupo de três foram saturadas com água destilada durante 48 horas e determinada a condutividade hidráulica saturada do solo, denominada aqui de  $K_0$ .

#### 3.5.2. Etapa 2: Determinação de K para os diferentes tratamentos de PST ( $K_1$ )

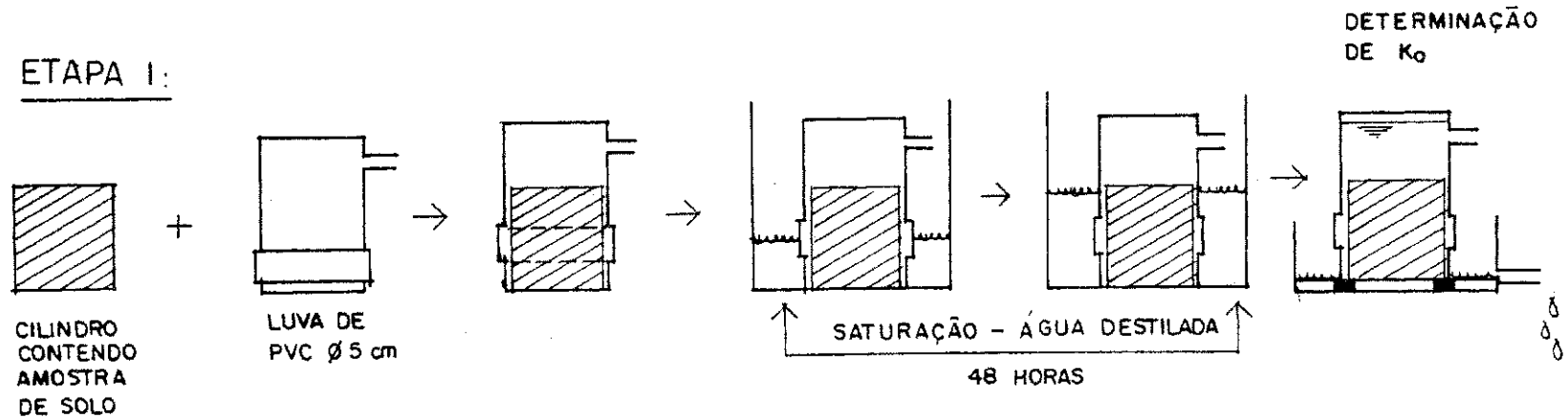
Terminada a ETAPA 1, o abastecimento de água aos permeâmetros foi interrompido e deixou-se drenar a água existente no solo durante 24 horas. Em seguida, foram implantados os tratamentos, colocando-se as amostras em contato com as soluções de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  na concentração adequada para se estabelecer o valor de PST desejado, conforme procedimento descrito para sodificação do solo nos ensaios preliminares. Cada tratamento teve 03 (três) repetições, conduzidas simultaneamente.

FIGURA 03 - Etapas para determinação da condutividade hidráulica do solo saturado.

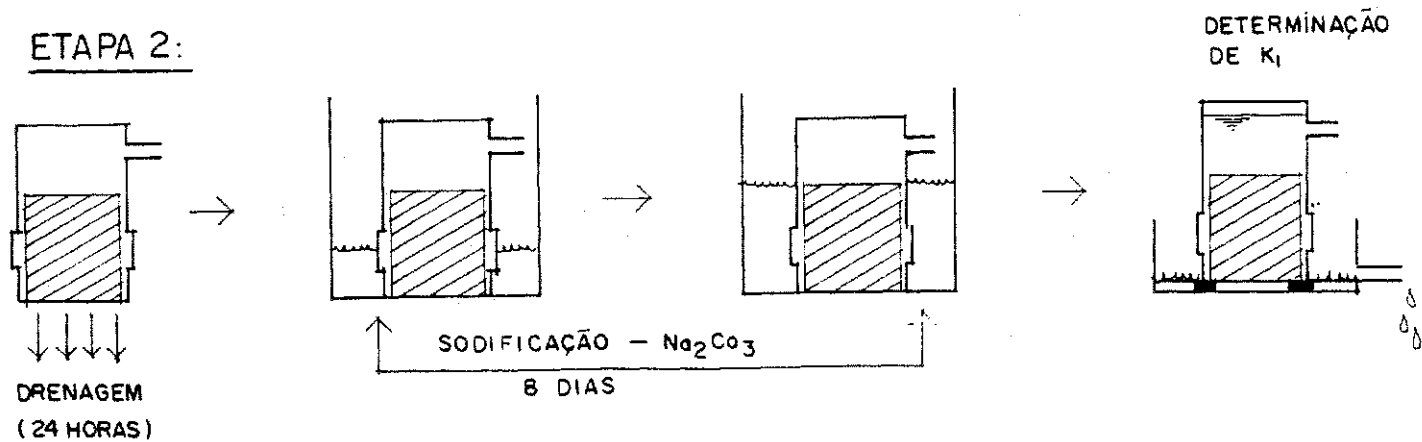
$K_0$  = SOLO NORMAL

$K_1$  = SOLO APÓS TRATAMENTO

ETAPA 1:



ETAPA 2:



Concluído o período de sodificação, as amostras foram novamente conectadas ao sistema e durante um intervalo de 12 horas foi medido o volume percolado. Juntamente com as medições do volume drenado foram feitas leituras de condutividade elétrica do líquido coletado. A condutividade hidráulica determinada nas amostras com os tratamentos foi denominada de  $K_1$ .

O efeito da PST sobre a condutividade hidráulica foi avaliado calculando-se a condutividade hidráulica relativa ( $K_{rel}$ ), como sendo uma percentagem de  $K_1$  em relação ao valor inicial da condutividade hidráulica do solo normal ( $K_0$ ).

$$(K_{rel} = K_1 / K_0 \times 100)$$

Nas determinações de condutividade hidráulica, tanto na Etapa 1 quanto na Etapa 2, foi usada água destilada fervida como solução percolante.

### 3.6. Análise estatística

Foi efetuada análise de regressão entre as concentrações das soluções de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  usada para sodificação das amostras e os valores correspondentes de PST estabelecidos no solo nos ensaios preliminares.

Realizou-se também análise de regressão entre os valores da PST do solo, após a sodificação, e o valor de  $K_{rel}$  correspondente. O grau de ajustamento dos modelos aos dados foi avaliado pelo coeficiente de determinação  $R^2$  e pela significância do coeficiente de correlação.

Realizou-se ainda análise de variância dos dados de condutividade hidráulica do solo antes do tratamento ( $K_0$ ) e dos valores relativos da condutividade hidráulica após os tratamentos ( $K_{rel}$ ). As médias destes parâmetros foram comparadas pelo teste de Tukey, segundo metodologia descrita por GOMES (1982).



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Sodificação das amostras de solo

A Tabela 2 mostra os resultados do Ensaio Preliminar 1, onde observa-se a evolução das taxas de sódio nas amostras sodificadas com soluções de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  a 0,1N; 0,3N e 0,5N, para períodos de contato de 4, 8 e 12 dias decorridos a partir da início do ensaio. Verifica-se um crescimento na percentagem de sódio trocável à medida que se aumentou a concentração da solução usada e o tempo de contato com a amostra. Os valores de PST obtidos foram altos variando ente 26,6% atingindo no 4º dia do ensaio com a solução 0,1N de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , até 98,3% verificado no 12º dia do ensaio com a solução 0,5N de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Como ao estudo interessava trabalhar níveis de PST próximos a 15%, limite considerado crítico, acima do qual a estrutura do solo pode ser prejudicada (SHAINBERG & LETEY, 1984), optou-se por realizar um novo ensaio com soluções de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  de menores concentrações.

No Ensaio Preliminar 2 utilizou-se para a sodificação das amostras as soluções de carbonato de sódio de 0,01N; 0,03N; 0,04N; 0,05N; 0,07N; 0,10N; 0,15N e 0,20N, e um periodo de contato de oito dias, devido a que, conforme mostram os resultados do Ensaio Preliminar 1, no oitavo dia a partir do início da sodificação, o solo tende a uma condição de equilíbrio com a solução usada para a saturação. Os resultados do Ensaio Preliminar 2 são mostrados na Tabela 3. A PST estabelecidas nas amostras variou de 4,8% no nível mais baixo de sódio (0,01N) a 64,1% no nível mais alto (0,20N).

**TABELA 2.** Resumo do ensaio preliminar 1 de sodificação do solo com Na<sub>2</sub> CO<sub>3</sub>, para diferentes tempos de contato.

Nível de Sódio	Concentração da Solução de Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (Normal)	Tempo de Contato (dias)	Ph da Pasta	Condut. Elet. Ext. Satur. (µmhos/cm a 25°C)	Sódio Solúvel (meq/100g)	Sódio Trocável (meq/100g)	PST* (%)
1	0,1	4	9,2	1,40	0,58	3,22	26,6
1	0,1	8	9,3	1,78	0,79	3,41	28,1
1	0,1	12	9,3	2,18	1,11	4,29	35,4
2	0,3	4	9,8	5,40	3,32	6,68	55,2
2	0,3	8	10,1	7,54	4,56	8,64	71,4
2	0,3	12	10,2	11,63	7,01	8,79	72,6
3	0,5	4	10,4	15,60	9,86	8,54	70,6
3	0,5	8	10,5	17,60	11,95	10,05	83,1
3	0,5	12	10,5	24,68	16,11	11,89	98,3

\* ⇒ PST = sódio trocável/CTC x 100

**TABELA 3.** Resumo do ensaio preliminar 2 de sodificação do solo com  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , para um período de oito dias.

Nível de Sódio	Concentração da Solução de $\text{Na}_2\text{CO}_3$ (Normal)	pH da Pasta	Condut. Elet. Ext. Satur. ( $\mu\text{mhos/cm}$ a $25^\circ\text{C}$ )	Sódio Solúvel (meq/100g)	Sódio Trocável (meq/100g)	PST* (%)
1	0,01	7,30	0,385	0,110	0,580	4,8
2	0,03	8,05	0,740	0,245	1,205	9,9
3	0,04	8,35	0,940	0,315	1,985	16,4
4	0,05	8,65	1,020	0,390	2,110	17,4
5	0,07	9,00	2,455	0,775	3,125	25,8
6	0,10	9,25	2,780	0,910	3,890	32,1
7	0,15	9,45	7,135	2,265	5,735	47,4
8	0,20	10,00	12,575	5,345	7,755	64,1

\*  $\Rightarrow$  PST = sódio trocável/CTC x 100

O uso de soluções de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  de menores concentrações permitiu a obtenção de PST's abaixo e acima de 15%, cobrindo uma ampla faixa mais comumente encontrada nos solos das regiões áridas e semi-áridas do Nordeste brasileiro.

Os dados do Ensaio Preliminar 2, referentes a concentração da solução  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  usada e o PST atingido no final de oito dias foram plotados, obtendo-se a curva de sodificação apresentada na Figura 4. Através de análise de regressão foi avaliado o grau de ajustamento dos dados, revelando-se ser a função linear a que melhor explica o modelo com um coeficiente de correlação de 0,99 ( $R^2=0,98$ ). Por outro lado, quando plotados os resultados do Ensaio Preliminar 2 juntamente com os obtidos no Ensaio Preliminar 1, para o mesmo período de oito dias, a curva tendeu para uma forma exponencial nos valores mais altos de PST, conforme pode-se observar na Figura 5.

#### 4.2. Efeito da Percentagem de Sódio Trocável na condutividade hidráulica do solo

Os valores da condutividade hidráulica medida em condições de saturação antes que as amostras de solo fossem sodificadas ( $K_0$ ), são apresentadas na Tabela 4.

Considerando que as amostras provêm de uma pequena área (lisímetro nº7, de 1,25 x 1,25m) e que para as determinações de ( $K_0$ ) as amostras foram preparadas da mesma forma, teoricamente os valores das condutividades hidráulicas deveriam ter sido similares. Acredita-se que as diferenças observadas ocorreram devido ao procedimento para obtenção das amostras, o que pode ter ocasionado distúrbios na estrutura do solo, ou ainda pela variação no grau de compactação do solo durante o preenchimento do lisímetro, onde as amostras foram coletadas. No entanto, quando comparados estatisticamente através da análise de variância e teste F não foi verificada diferença significativa entre os valores observados. (Tabela 5)

FIGURA 04 - Curva de sodificação do solo para um tempo de contato de oito dias  
(Ensaio Preliminar 2)

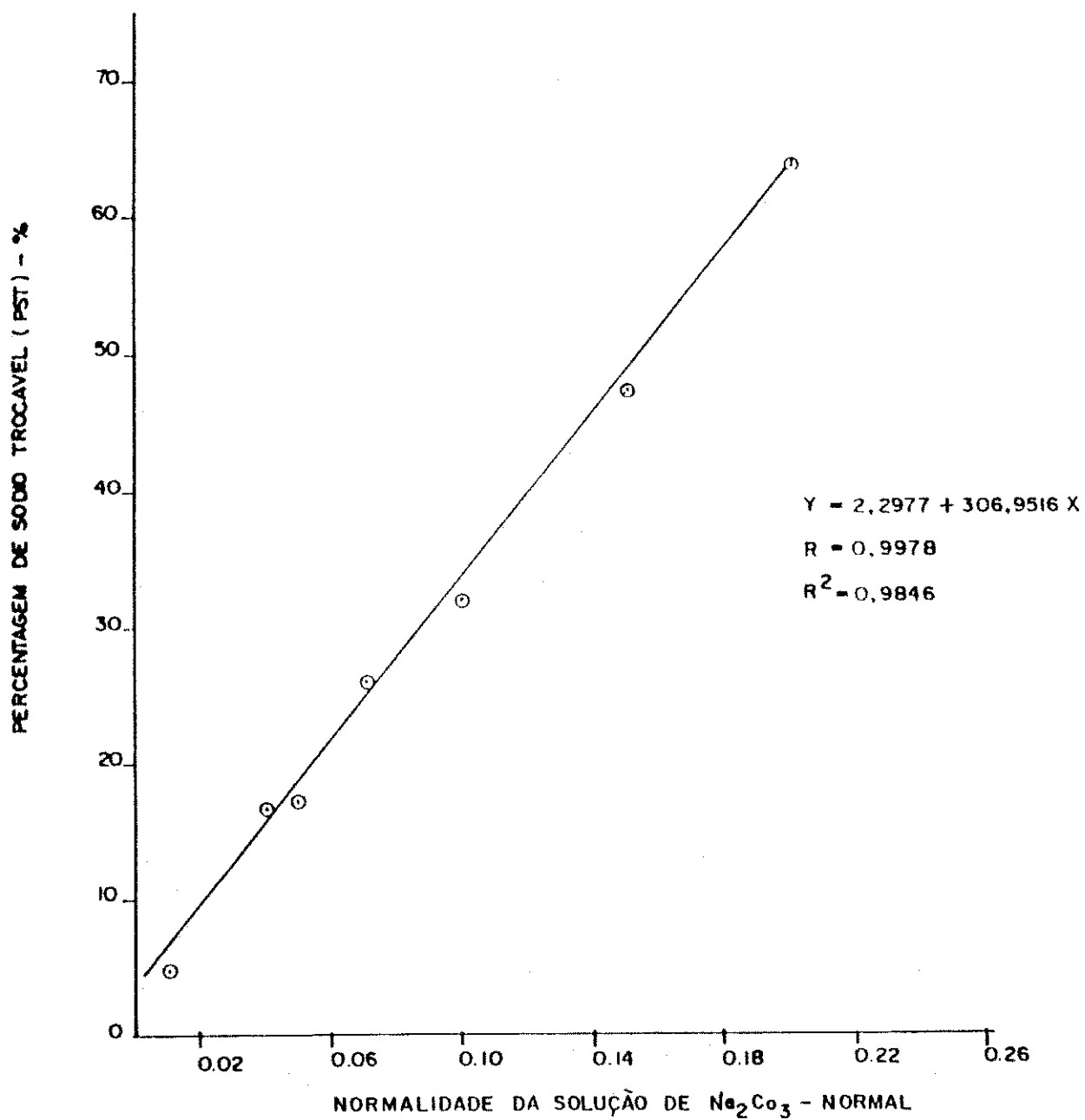
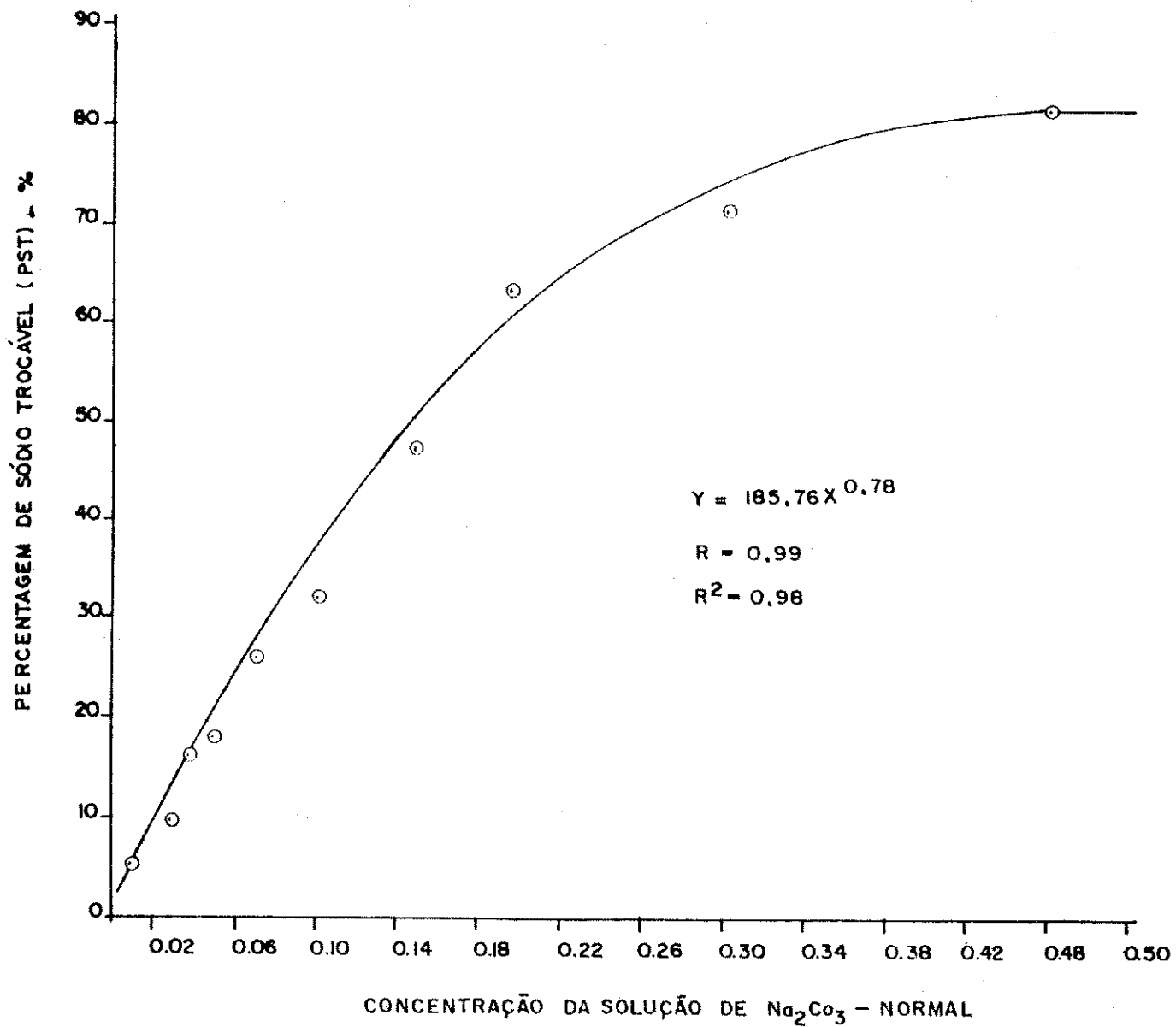


FIGURA 05 - Curva de sodificação do solo para um tempo de contato de oito dias  
(Ensaio Preliminares 1 e 2)



**TABELA 4.** Condutividade hidráulica média ( $K_0$ ) para as diferentes amostras de solo (cm/h)

Grupo	1			2			3			4			5			6			7			8		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9*	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$K_0$	3,36	2,27	2,65	1,41	2,80	2,15	1,76	2,98	---	1,87	2,94	1,95	0,93	1,40	3,24	4,57	3,08	2,48	1,85	2,72	2,11	6,89	4,60	2,62
$K_0$ Media	2,76			2,12			2,37			2,25			1,85			3,38			2,23			4,70		

\*  $\Rightarrow$  Amostra danificada durante manuseio em laboratório

**TABELA 5.** Análise da variância da condutividade hidráulica do solo saturado, determinada nas amostras com PST original, antes do tratamento ( $K_0$ ).

<b>F.V.</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
<b>Tratamento</b>	7	18,04	2,58	2,17 NS
<b>Resíduo</b>	15	17,87	1,19	
<b>Total</b>	22	35,91		

É importante ressaltar que os valores da condutividade hidráulica encontrados para o solo antes do tratamento estão dentro dos intervalos usuais para solos franco-arenosos, conforme tabela de Israelsen & Hansen (1965), citado por DAKER (1984).

Os valores da condutividade hidráulica obtidos após o tratamento das amostras para cada nível de sódio ( $K_1$ ), medidos durante o experimento (12 horas), bem como os valores calculados de  $K_{rel}$ , são apresentados nas Tabelas 6 a 13. Cada tabela é uma média das três repetições realizadas em cada tratamento. Nos Anexos I a XXIII são apresentados os valores de  $K_0$  e  $K_1$  medidos em cada uma das amostras dos diferentes tratamentos, bem como a condutividade elétrica do líquido percolado durante os testes.

Nota-se que, em geral, houve um decréscimo da condutividade hidráulica ( $K_1$ ) com o aumento do sódio trocável no solo. Assim, quanto maior a concentração de sódio no complexo de troca do solo, menor foi a sua capacidade para transmitir água. Isto tem sido verificado por McNEAL & COLEMAN (1966), FRENKEL et al (1978), e PARK & O'CONNOR, (1980). Todos eles evidenciam a redução da condutividade hidráulica com o aumento da concentração de sódio trocável. A questão discutida é se esta diminuição é atribuída ao efeito da expansão das micelas de argila do solo ou devido ao fenômeno de dispersão das partículas do solo.



**TABELA 6.** Valores de  $K_1$  e  $K_{rel}$  para o tratamento 1 (PST = 4,8%) $K_0 = 2,76$  cm/h

<b>Volume Acumulado (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Tempo Acumulado (min.)</b>	<b><math>K_1</math> (cm/h)</b>	<b><math>K_{rel}</math> (%)</b>	<b>Cond. Elétrica do Líquido Percolado (μhos/cm a 25°C)</b>
31,6	30	2,30	83,33	250,6
62,3	60	2,21	80,01	121,0
93,0	90	2,21	80,01	79,2
123,8	120	2,22	80,43	62,7
186,0	180	2,23	80,80	50,0
249,1	240	2,27	83,70	41,0
313,2	300	2,31	83,69	36,4
356,8	360	2,33	84,42	32,9
442,1	420	2,33	84,42	30,3
506,4	480	2,31	84,42	27,5
568,7	540	2,25	81,52	25,4
629,1	600	2,17	78,62	22,9
687,5	660	2,10	76,09	21,0
744,3	720	2,04	73,91	19,4

TABELA 7. Valores de  $K_1$  e  $K_{rel}$  para o tratamento 2 (PST = 9,9%)

$K_0 = 2,12 \text{ cm/h}$

Volume Acumulado ( $\text{cm}^3$ )	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	$K_{rel}$ (%)	Cond. Elétrica do Líquido Percolado ( $\mu\text{mhos/cm}$ a $25^\circ\text{C}$ )
20,7	30	1,49	70,28	619,1
40,0	60	1,39	65,56	358,3
57,6	90	1,27	59,90	269,8
75,0	120	1,26	59,43	223,1
105,5	180	1,22	57,55	189,5
138,7	240	1,19	56,13	147,3
171,3	300	1,18	55,66	114,3
203,3	360	1,15	54,25	93,8
234,2	420	1,13	53,30	82,1
266,0	480	1,10	51,89	73,9
296,1	540	1,08	50,94	66,5
325,0	600	1,04	49,06	58,7
353,0	660	1,01	47,64	53,9
380,1	720	0,97	45,75	48,7

**TABELA 8.** Valores de  $K_1$  e  $K_{rel}$  para o tratamento 3 (PST = 16,4%)

$K_0 = 2,37 \text{ cm/h}$

<b>Volume Acumulado (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Tempo Acumulado (min.)</b>	<b><math>K_1</math> (cm/h)</b>	<b><math>K_{rel}</math> (%)</b>	<b>Cond. Elétrica do Líquido Percolado (μmhos/cm a 25°C)</b>
26,1	30	1,88	79,32	800,7
49,2	60	1,67	70,46	402,9
70,5	90	1,54	64,98	269,9
90,5	120	1,44	60,76	214,0
127,9	180	1,35	56,96	164,3
163,3	240	1,28	54,00	126,0
196,7	300	1,21	51,05	110,0
229,0	360	1,17	49,37	95,0
260,0	420	1,12	47,26	83,2
290,4	480	1,10	46,41	75,4
320,0	540	1,07	45,15	67,6
349,0	600	1,05	44,30	52,9
377,6	660	1,03	43,46	50,9
405,7	720	1,02	43,04	48,3

TABELA 9. Valores de  $K_1$  e  $K_{rel}$  para o tratamento 4 (PST = 17,4%) $K_0 = 2,25 \text{ cm/h}$ 

<b>Volume Acumulado (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Tempo Acumulado (min.)</b>	<b><math>K_1</math> (cm/h)</b>	<b><math>K_{rel}</math> (%)</b>	<b>Cond. Elétrica do Líquido Percolado (μhos/cm a 25°C)</b>
20,2	30	1,46	64,89	1.060,0
37,5	60	1,25	55,55	713,3
53,7	90	1,16	51,55	510,0
72,9	120	1,09	48,44	389,3
101,3	180	1,02	45,33	305,4
128,2	240	0,97	43,11	245,4
153,5	300	0,91	40,44	200,8
177,8	360	0,88	39,11	171,4
201,3	420	0,85	37,77	147,7
224,0	480	0,82	36,44	131,6
245,9	540	0,79	35,11	116,8
267,4	600	0,77	34,22	104,5
288,4	660	0,76	33,77	93,4
309,1	720	0,75	33,33	85,3

TABELA 10. Valores de  $K_1$  e  $K_{rel}$  para o tratamento 5 (PST = 25,8 %) $K_0 = 1,85 \text{ cm/h}$ 

Volume Acumulado (cm <sup>3</sup> )	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	$K_{rel}$ (%)	Cond. Elétrica do Líquido Percolado (μhos/cm a 25°C)
9,0	30	0,65	35,13	2.095,1
17,1	60	0,58	31,35	1.527,2
5,2	90	0,56	30,27	1.178,1
31,9	120	0,48	25,94	998,4
44,9	180	0,46	24,86	837,9
56,7	240	0,42	22,70	720,0
67,1	300	0,37	20,00	639,8
76,6	360	0,34	18,38	588,0
86,4	420	0,32	17,30	523,1
93,5	480	0,29	15,68	485,3
101,1	540	0,27	14,59	466,5
108,2	600	0,26	14,05	452,0
115,0	660	0,25	13,51	433,5
121,4	720	0,23	12,43	411,8

TABELA 11. Valores de  $K_1$  e  $K_{rel}$  para o tratamento 6 (PST = 32,1%) $K_0 = 3,38 \text{ cm/h}$ 

Volume Acumulado (cm <sup>3</sup> )	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	$K_{rel}$ (%)	Cond. Elétrica do Líquido Percolado (μhos/cm a 25°C)
24,0	30	1,73	51,18	2.366,4
42,0	60	1,30	38,46	1.285,2
56,2	90	1,03	30,47	935,0
68,1	120	0,86	25,44	733,3
88,4	180	0,73	21,60	670,0
105,7	240	0,62	18,34	613,3
121,0	300	0,55	16,27	561,3
135,2	360	0,51	15,09	513,7
159,9	480	0,45	13,31	483,0
182,3	600	0,40	11,84	437,3
202,1	720	0,36	10,65	405,3

TABELA 12. Valores de  $K_1$  e  $K_{rel}$  para o tratamento 7 (PST = 47,4%) $K_0 = 2,23 \text{ cm/h}$ 

Volume Acumulado (cm <sup>3</sup> )	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	$K_{rel}$ (%)	Cond. Elétrica do Líquido Percolado (μhos/cm a 25°C)
8,7	30	0,63	28,25	4.743,0
15,7	60	0,50	22,42	3.705,5
21,6	90	0,42	18,83	3.030,0
26,8	120	0,37	16,59	2.666,7
35,4	180	0,31	13,90	2.239,6
42,6	240	0,26	11,66	1.866,6
48,8	300	0,22	9,87	1.631,7
54,2	360	0,19	8,52	1.478,0
63,6	480	0,17	7,62	1.347,2
71,6	600	0,14	6,29	1.186,0
78,7	720	0,13	5,89	1.086,1

**TABELA 13.** Valores de  $K_1$  e  $K_{rel}$  para o tratamento 8 (PST = 64,1%) **$K_0 = 4,70$  cm/h**

<b>Volume Acumulado (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Tempo Acumulado (min.)</b>	<b><math>K_1</math> (cm/h)</b>	<b><math>K_{rel}</math> (%)</b>	<b>Cond. Elétrica do Líquido Percolado (μhos/cm a 25°C)</b>
10,8	30	0,78	16,59	5.967,0
18,8	60	0,57	12,13	4.588,7
26,1	90	0,53	11,28	3.689,0
32,6	120	0,47	10,00	3.333,3
42,3	180	0,35	7,45	2.950,0
49,5	240	0,26	5,53	2.348,0
55,0	300	0,20	4,26	1.069,0
59,8	360	0,17	3,61	1.853,7
67,6	480	0,14	2,98	1.651,7
74,1	600	0,12	2,55	1.468,3
80,1	720	0,11	2,12	1.364,0



No solo estudado, de textura franco-arenosa e com baixo conteúdo de argila (7,7%), é mais provável que os decréscimos na condutividade hidráulica tenham sido causados pelo mecanismo de dispersão das partículas. As partículas menores dispersadas teriam se deslocado indo alojar-se entre as partículas mais grossas, diminuindo ou obstruindo totalmente os espaços porosos pelos quais a água se desloca (FRENKEL *et al.*, 1978; PUPISKY & SHAINBERG, 1984). Estudos de GHEYI (1986), informam a presença no solo estudado, de illita, caulinita e em menor quantidade de montmorilonita. Nessa proporção, em torno de 2%, a argila montmorilonita teria pouca ou quase nenhuma influência na expansão do solo, o que sugere ser a dispersão o processo responsável pelas reduções da condutividade hidráulica observadas.

Os decréscimos nos valores de  $K_1$  ao longo do teste sugerem que o uso da água destilada nas determinações gradualmente diminuiu a concentração eletrolítica da solução do solo provocando a dispersão das partículas. QUIRK & SCHOFIELD (1955) indicam que enquanto a concentração da solução do solo for mantida acima de um valor limite a dispersão é minimizada e a condutividade hidráulica não é muito afetada. Aparentemente, nas condições do experimento, a concentração de eletrólitos na solução do solo baixou além deste valor limite em todos os tratamentos.

A Figura 6 apresenta a condutividade elétrica do líquido percolado em função do volume drenado. Observa-se que houve uma redução brusca no valor da condutividade elétrica no início do experimento em todos os tratamentos, prolongando-se esta diminuição durante todo o teste. SHAINBERG & LETEY (1984) afirmam que quando os solos são lixiviados com água destilada a dispersão das argilas e a redução da condutividade hidráulica podem ocorrer em valores de PST tão baixos quanto 2%. PARK & O'CONNOR (1980), em estudos de laboratório sobre os efeitos da salinidade sobre as propriedades hidráulicas dos solos, verificaram que mesmo pequenas adições de água de alta qualidade a solos previamente equilibrados com soluções salino-sódicas provocaram decréscimo significativo na permeabilidade. Os mesmos autores consideraram a dispersão e transporte de argila responsáveis pelo fechamento dos poros condutores de água.

A relação entre  $K_{rel}$  e o volume drenado durante o experimento é mostrada na Figura 7. Verifica-se que quanto maior o nível de sódio trocável no solo mais acentuada foi a diminuição do valor do  $K_{rel}$  com o tempo ou volume drenado. O volume percolado durante todo o experimento do tratamento 1 foi de 774,3 ml, enquanto que no tratamento 8 esse volume caiu para 80,1 ml, ou seja, 10,3% do total do tratamento 1.

FIGURA. O6 - Condutividade Elétrica do Líquido em função do Volume Percolado nos tratamentos.

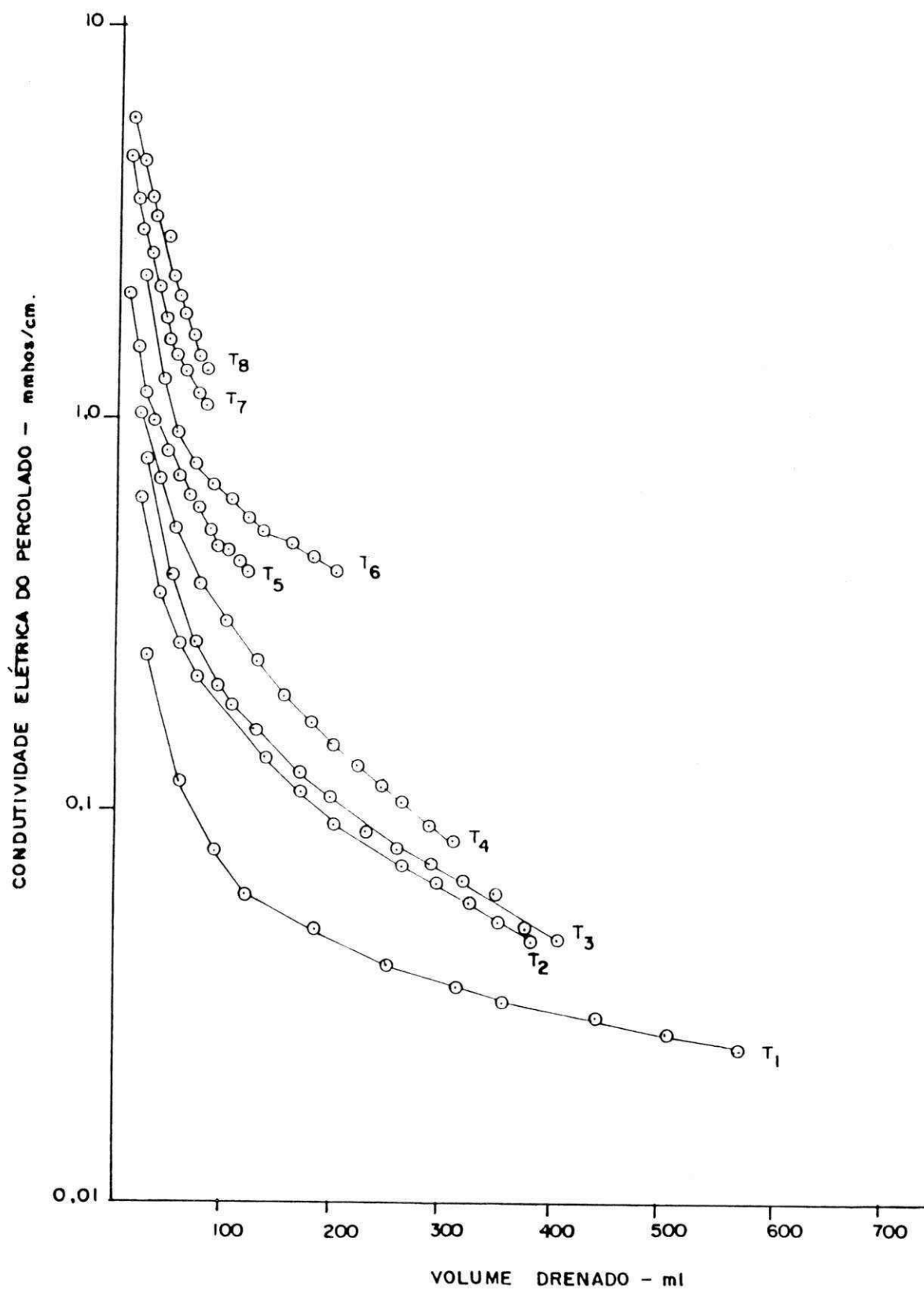
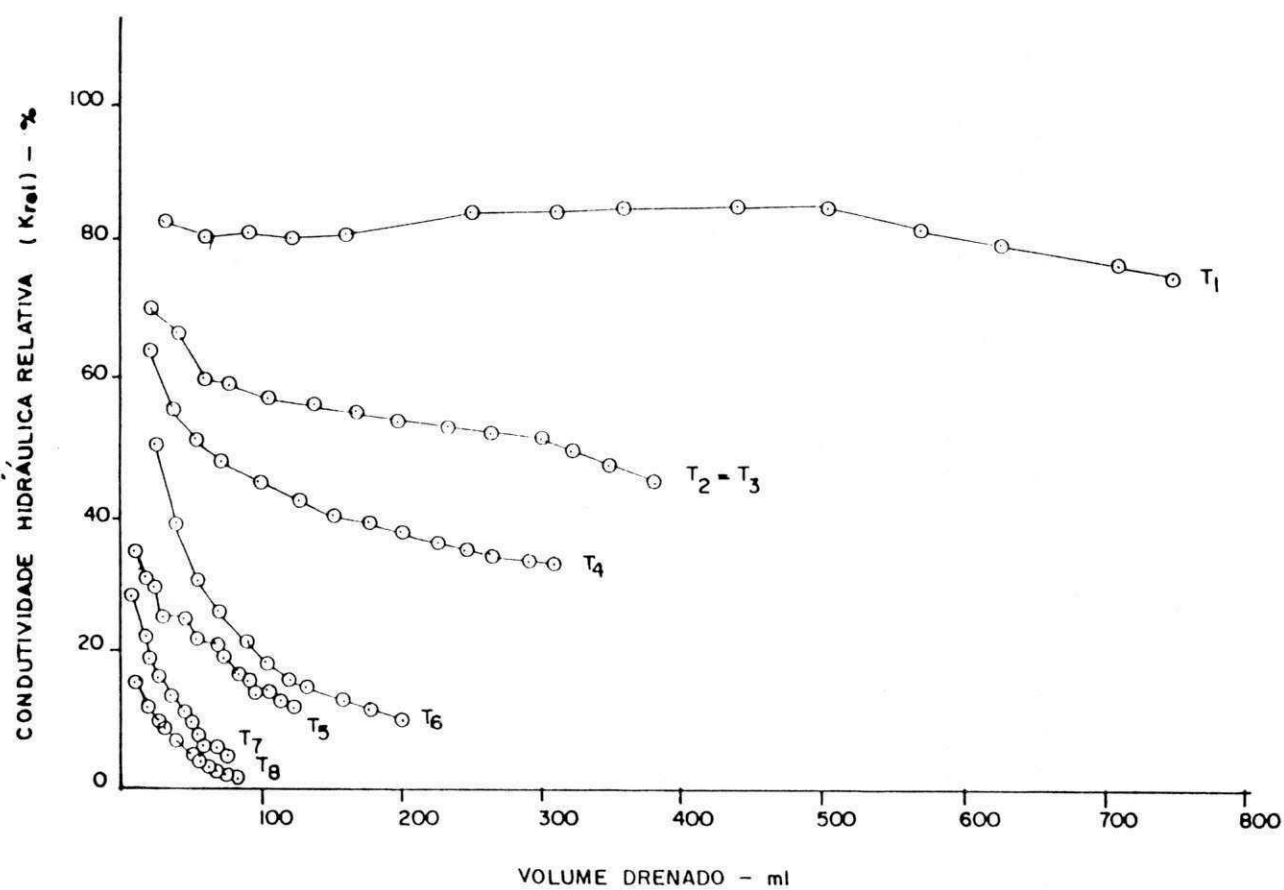


FIGURA 07 - Condutividade Hidráulica Relativa em função do Volume Percolado durante o teste de  $K_1$  nos tratamentos.



Isso pode ser atribuído ao fato de que solos com elevado teor de sódio trocável são mais susceptíveis à dispersão quando água de baixa concentração eletrolítica é neles introduzida.

O solo com um PST de 4,8% ( $T_1$ ) foi pouco afetado. Com esta PST a concentração de sódio no complexo de intercâmbio aparentemente não foi suficiente para causar grande dispersão das partículas e assim não observou-se variação significativa na condutividade hidráulica do solo. A diminuição gradual da  $K_{rel}$  com o aumento da PST do solo é uma indicação que a causa desta redução é principalmente a dispersão das partículas e não a expansão das argilas. Caso existisse realmente expansão de argilas, este efeito deveria haver se manifestado imediatamente no Tratamento  $T_1$  ao introduzir-se água destilada no solo.

Na Tabela 14 são apresentados os valores da condutividade hidráulica do solo saturado obtidos antes do tratamento ( $K_0$ ); após tratamento ( $K_1$ ) e os valores calculados da condutividade hidráulica ( $K_{rel}$ ) para todos os níveis de sódio trocável.

Para o cálculo de  $K_{rel}$  foram utilizados os valores de  $K_0$  e os valores de  $K_1$  obtidos no final do experimento. Observa-se que no tratamento 1 a condutividade hidráulica diminuiu de 2,76 para 2,04cm/h, ou seja 1,35 vezes menor que o valor inicial, uma redução de aproximadamente 27%. Pôr sua vez no tratamento 8 esta redução foi de 4,70 para 0,11cm/h, ou seja, 42,7 vezes menor que o valor inicial, o que corresponde a uma redução de 98%.

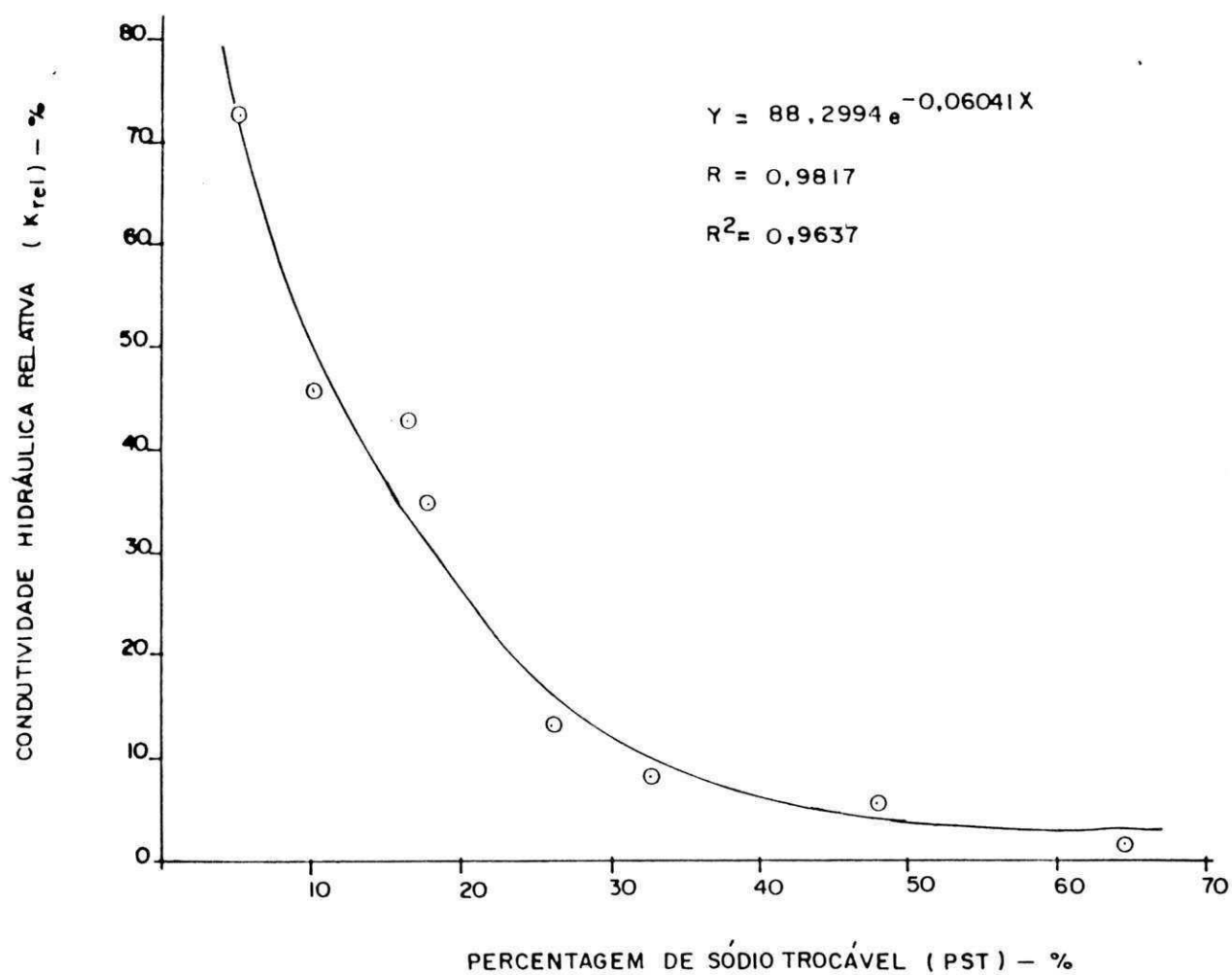
A Figura 8 ilustra o efeito da percentagem de sódio trocável na condutividade hidráulica relativa do solo. A redução da condutividade hidráulica com o aumento da PST ocorreu de forma exponencial. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por RIEU (1983), em estudos sobre o efeito do teor de sódio trocável sobre a condutividade hidráulica do solo saturado, na superfície de um solo argiloso orgânico.

**TABELA 14.** Condutividade hidráulica do solo saturado, determinada antes do tratamento ( $K_0$ ) e após tratamento ( $K_1$ ) e valores de condutividade hidráulica relativa ( $K_{rel}$ ).

Amostra	$K_0$ (cm/h)	Média (cm/h)	Tratamento	PST (%)	$K_1$ Final (cm/h)	Média (cm/h)	$K_{rel}$ Final ( $K_1/K_0 \times 100$ )	Média (%)
01	3,36	2,76	T1S1	4,8	2,62	2,04	78	73
02	2,27		T1S2		1,37		60	
03	2,65		T1S3		2,14		81	
04	1,41	2,12	T2S1	9,9	0,64	0,97	45	46
05	2,80		T2S2		1,30		46	
06	2,15		T2S3		0,98		46	
07	1,76	2,37	T3S1	16,4	0,82	1,01	46	43
08	2,98		T3S2		1,21		41	
09*	---		---		---		---	
10	1,87	2,25	T4S1	17,4	0,66	0,75	35	35
11	2,94		T4S2		0,66		22	
12	1,95		T4S3		0,92		47	
13	0,93	1,85	T5S1	25,8	0,14	0,23	15	13
14	1,40		T5S2		0,16		12	
15	3,24		T5S3		0,39		12	
16	4,57	3,38	T6S1	32,1	0,69	0,36	15	9
17	3,08		T6S2		0,18		6	
18	2,48		T6S3		0,20		8	
19	1,85	2,23	T7S1	47,4	0,11	0,13	6	6
20	2,72		T7S2		0,17		6	
21	2,11		T7S3		0,10		5	
22	6,89	4,70	T8S1	64,1	0,14	0,11	2	2
23	4,60		T8S2		0,10		2	
24	2,62		T8S3		0,08		3	

\* -Amostra danificada durante manuseio em laboratório

FIGURA 08 - Condutividade Hidráulica Relativa em função da percentagem de sódio trocável do solo.



Aplicando-se o teste F foi verificada diferença significativa, a 1% de probabilidade, entre os dados de  $K_{rel}$  dos tratamentos estabelecidos. (Tabela 15)

Aplicado o teste de TUKEY, ao nível de 1% de probabilidade, constatou-se que o tratamento  $T_1$  diferiu dos demais, enquanto que os tratamentos  $T_2$  e  $T_3$  diferiram dos tratamentos  $T_5$ ,  $T_6$ ,  $T_7$  e  $T_8$ , não sendo observada significância entre os tratamentos  $T_2$ ,  $T_3$  e  $T_4$ . Os tratamentos  $T_5$ ,  $T_6$ ,  $T_7$  e  $T_8$  não diferiram entre si.

**TABELA 15.** Análise da variância da condutividade hidráulica relativa do solo saturado em função da percentagem de sódio trocável.

<b>F.V.</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
<b>Tratamento</b>	7	12.780,08	1.825,73	43,07**
<b>Resíduo</b>	15	635,83	42,39	
<b>Total</b>	22	13.415,91		

\*\* ⇒ Significativo ao nível de 1% de probabilidade

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No solo estudado, a condutividade hidráulica decresceu a medida que aumentou a percentagem de sódio trocável, sendo a taxa de diminuição mais acentuada nos solos com as PST's maiores.

Aparentemente a causa desta diminuição foi a dispersão das partículas do solo, que, deslocando-se, bloquearam os poros condutores de água.

A utilização de água destilada nas determinações da condutividade hidráulica diminuiu a condutividade eletrolítica da solução do solo e pode ter influenciado nas reduções do valor de  $K_1$ , mesmo nos níveis de PST mais baixos.

Recomenda-se, em estudos semelhantes, utilizar-se nas determinações da condutividade hidráulica soluções com diferentes concentrações salinas.

Recomenda-se, ainda, a medição da concentração das partículas de argila no efluente, para avaliar-se o grau de dispersão do solo.



## 6. BIBLIOGRAFIA

ALPEROVITCH, N.; SHAINBERG, I & RHOADES, J.D. Effect of mineral weathering on the response of sodic soils to exchangeable magnesium. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50: 901-904, 1986.

BAVER, L.D.; GARDNER, WALTER H. & GARDNER, WILFORD R. *Soil Physics*. 4 th edition, New York, John Wiley & Sons, Inc. 498. 1972.

BELTRAN, J.M. *Drenagem Agrícola*. Madrid, Secretaria General Técnica. V.1. 1986. 239p. (Manual técnico, 5)

BRUCE, R.R. Hydraulic conductivity evaluation of the soil profile from soil water retention relations. *Soil Sci. Am. Proc.*, 36: 555-561, 1972.

BUCKMAN, H.O. & BRADY, N. C. *Natureza e Propriedades dos Solos*. 6 ed. Trad.: Antônio B. Neiva Figueiredo Filho, Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1983. 647 p.

CARVALLO, H.O.; D. K. CASSEL; J. HAMMOND and ARMAND BAVER. 1976. Spatial variability of in situ hydraulic conductivity of Maddock Sandy Loam. *Soil Science* (121) 1:1-8.

CARVALLO, H.O. & AZEVEDO, H.M. Determinação da condutividade hidráulica não saturada baseada na curva de retenção de água do solo. *Anais do III Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem*. Fortaleza, Nov. 1975.

CHILDS, E.C. & COLLIS-GEORGE, N. The permeability of porous materials. *Roy. Soc. London Proc. A.*, 201: 392-405, 1950.

DAKER, A. *Irrigação e Drenagem: a água na agricultura*. 6. ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos. Vol. 3, 1984. 543 p.

FIREMAN, M. Permeability measurements on disturbed soil samples. *Soil. Sci.*, 58: 337-353, 1944.

FORSYTHE, W. *Física de Suelos: manual de laboratório*. Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas. San-José, Costa Rica, 1975. 213 p.

FRENKEL, H.; GOERTZEN, J.O. & RHOADES, J.O. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 32-39, 1978.

GHEYI, H. R. Troca catiônica em solos irrigados do Nordeste do Brasil. Relatório da viagem de estudo encaminhado ao CNPq. Campina Grande - PB. DEAg/UFPB. 1986. 52p.

GOMES, F.P. Curso de Estatística Experimental. 10 ed. São Paulo, Nobel, 1982. 430 p.

GREEN, R.E. & COREY, J.C. Calculations of hydraulic conductivity: a further evaluation of some predictive methods. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35: 3-8, 1971.

HILLEL, D. *Soil and Water. Physical Principles and Processes*, 3. ed., New York, Academic Press, 1972.

JACKSON, R.D. ; REGINATO, R. J. & VAN BAVEL, C.H.M. Comparison of measured and calculated hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Water Resources Res.* 1: 375-380, 1965.

KESSLER, J. & OOSTERBAN, R.J. Determining hydraulic conductivity of soils. In: drainage principles and application. Publication 16. Vol. III, ILRI, Wageningen. The Motherlands. 1980, p. 253-296.

KLAR, A.E. A água no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo, Nobel. 1984. 408 p.

KUNZE, R.J.; UEHARA, G. & GRAHAM, K. Factors important in the calculation of hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32: 760-765, 1968.

MARSHALL, T.J. A relation between permeability and size distribution of pores. *J. Sil Sci.* 9: 1-8, 1958.

MARSHALL, T.J. & HOLMES, J.W. *Soil Physics*. 1 ed. Cambridge University Press. London, 345. 1979.

MCNEAL, B.L. & COLEMAN, N.T. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 30: 308-312, 1966.

MILLAR, A.A. *Drenagem de Terras Agrícolas: bases agrônômicas*. São Paulo. Mc. Graw-Hill do Brasil. 1978. 276 p.

MILLINGTON, R.J. & QUIRK, J.P. Permeability of porous media. *Nature*, 183: 387-388, 1959.

NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Measuring capillary conductivity. *Soil Sci.* 92: 192-193, 1961

PARK, C.S. & O'CONNOR, G. Salinity effects on hydraulic properties of soils. *Soil. Sci. Soc. J.*, 130: 167-174, 1980.

PUPISKY, H. & SHAINBERG, I. Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43: 429-433, 1979.

- QUIRK, J.P. Particle interaction and soil swelling *Isr. J. Chem.* 6: 213-234, 1968.
- QUIRK, J.P. & SCHOFIELD, R.K. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. *J. Soil Sci.*, 6: 163-178, 1955.
- REICHARDT, K. *A Água na Produção Agrícola*. São Paulo, Mc Graw-Hill, 1978. 119 p.
- RICHARDS, L. A. 1931. Capillary conduction of liquids in porous medium. *Physics* 1, 318-333.
- RIEU, M. *Simulation numerique dès flux hydriques et prediction de la salinité dans les soils*. Orstom, Paris, 1983. 161 p.
- ROULIER, M.H.; STOLZY, L.H.; LETEY, J. & WEEKS, L.V. Approximation of field hydraulic conductivity by laboratory procedures on intact cores. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36: 387-392. 1972.
- ROWELL, D.L.; PAYNE, D. & AHMAD, N. The effect of the concentration and movement of solutions on the swelling, dispersion, and movement of clay in saline and alkali soils. *J. Soil Sci.*, 20: 176-188, 1969.
- SHAINBERG, I. & LETEY, J. Response of Soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia*, 52: 1-57. 1984.
- U.S. SALINITY LABORATORY STAFF. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. U.S.D.A., Washington D.C., 1954. 160 p. (Handbook 60)
- WATSON, K.K. An instantaneous profile method for determining the hydraulic conductivity of unsaturated porous materials. *Water Resources Res.*, 2: 709-715, 1966.
- YOUNGS, E.G. An infiltration method of measuring the hydraulic conductivity of unsaturated materials. *Soil Sci.*, 97: 307-311, 1963.
- ZASLAVSKY, K. & RAVINA, I. Measurement and evaluation of hydraulic conductivity through the moisture moment method. *Soil Sci.*, 100: 104-107, 1965.

## **ANEXOS**

## Anexo I

Anexo I.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 01.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
15:21	---	---	---	---	---
15:36	28,4	15	28,4	15	4,09
15:51	26,6	15	55,0	30	3,83
16:06	25,9	15	80,9	45	3,73
16:21	25,7	15	106,6	60	3,70
16:36	24,8	15	131,4	75	3,57
16:51	24,6	15	156,0	90	3,54
17:06	24,2	15	180,2	105	3,49
17:36	46,6	30	226,8	135	3,36

Anexo I.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 01, com PST = 4.8%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Liq. Colet. ( $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C)
09:34	---	---	---	---	---	---
10:04	41,5	30	41,5	30	2,99	181,6
10:34	39,9	30	81,4	60	2,87	95,9
11:04	39,9	30	121,3	90	2,87	64,3
11:34	40,3	30	161,6	120	2,90	51,0
12:34	81,4	60	243,0	180	2,93	39,0
13:34	82,9	60	325,9	240	2,97	27,6
14:34	83,5	60	409,4	300	3,01	23,1
15:34	83,7	60	493,1	360	3,02	22,3
16:34	83,1	60	576,2	420	2,99	20,2
17:34	81,9	60	658,1	480	2,95	18,6
18:34	79,7	60	737,8	540	2,87	17,3
19:34	77,3	60	815,1	600	2,78	16,1
20:34	74,8	60	889,9	660	2,69	15,0
21:34	72,8	60	962,7	720	2,62	14,0

## Anexo II

Anexo II.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 02.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
15:23	---	---	---	---	---
15:38	21,1	15	21,1	15	3,04
15:53	18,5	15	39,6	30	2,67
16:08	18,2	15	57,8	45	2,62
16:23	18,0	15	75,8	60	2,59
16:38	17,2	15	93,0	75	2,48
16:53	17,0	15	110,0	90	2,45
17:08	16,2	15	126,2	105	2,33
17:38	31,5	30	157,7	135	2,27

Anexo II.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 02, com PST = 4,8%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Líq. Colet. ( $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C)
09:44	---	---	---	---	---	---
10:14	23,3	30	23,3	30	1,68	362,1
10:44	21,3	30	44,6	60	1,53	153,0
11:14	20,9	30	65,5	90	1,51	93,8
11:44	20,6	30	86,1	120	1,48	72,0
12:44	40,6	60	126,7	180	1,46	57,0
13:44	40,3	60	167,0	240	1,45	50,0
14:44	40,3	60	207,3	300	1,45	49,0
15:44	40,8	60	248,1	360	1,47	44,1
16:44	41,3	60	289,4	420	1,49	41,6
17:44	41,3	60	330,7	480	1,49	37,2
18:44	40,5	60	371,2	540	1,46	35,7
19:44	39,8	60	411,0	600	1,43	31,8
20:44	38,9	60	449,9	660	1,40	28,0
21:44	38,0	60	487,9	720	1,37	26,0

## Anexo III

Anexo III.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 03.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
15:25	---	---	---	---	---
15:40	22,0	15	22,0	15	3,17
15:55	21,7	15	43,7	30	3,13
16:10	21,3	15	65,0	45	3,07
16:25	20,5	15	85,5	60	2,95
16:40	20,2	15	105,7	75	2,91
16:55	19,8	15	125,5	90	2,85
17:10	19,1	15	144,6	105	2,75
17:40	36,8	30	181,4	135	2,65

Anexo III.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 03, com PST = 4.8%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Líq. Colet. ( $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C)
09:40	---	---	---	---	---	---
10:10	31,0	30	30,1	30	2,23	208,1
10:40	30,9	30	61,0	60	2,23	114,2
11:10	31,1	30	92,1	90	2,24	79,6
11:40	31,6	30	123,7	120	2,28	65,0
12:40	64,2	60	187,9	180	2,31	54,0
13:40	66,6	60	254,5	240	2,40	45,5
14:40	68,4	60	322,9	300	2,46	37,2
15:40	69,4	60	392,3	360	2,50	32,3
16:40	69,5	60	460,8	420	2,50	29,2
17:40	69,5	60	530,3	480	2,50	26,6
18:40	66,8	60	597,1	540	2,41	23,3
19:40	64,2	60	661,3	600	2,31	20,8
20:40	61,5	60	722,8	660	2,22	20,0
21:40	59,4	60	782,2	720	2,14	18,2

## Anexo IV

Anexo IV.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 04.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
15:31	---	---	---	---	---
15:46	12,3	15	12,3	15	1,77
16:01	11,7	15	24,0	30	1,68
16:16	11,7	15	35,7	45	1,69
16:31	11,4	15	47,1	60	1,64
16:46	10,9	15	58,0	75	1,57
17:01	10,7	15	68,7	90	1,54
17:16	10,6	15	79,3	105	1,53
17:46	19,6	30	98,9	135	1,41

Anexo IV.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 04, com PST = 9,9%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Liq. Colet. ( $\mu$ mhos/cm a 25°C)
10:22	---	---	---	---	---	---
10:52	14,1	30	14,1	30	1,02	725,0
11:22	12,8	30	26,9	60	0,92	565,0
11:52	11,6	30	38,5	90	0,84	440,1
12:22	11,4	30	49,9	120	0,82	361,0
13:22	10,4	60	60,3	180	0,75	310,5
14:22	20,4	60	80,7	240	0,73	236,0
15:22	19,9	60	100,6	300	0,72	182,3
16:22	19,6	60	120,2	360	0,71	140,3
17:22	19,5	60	139,7	420	0,70	114,2
18:22	19,2	60	158,9	480	0,69	97,5
19:22	18,7	60	177,6	540	0,67	83,0
20:22	18,2	60	195,8	600	0,66	72,0
21:22	18,0	60	213,8	660	0,65	66,4
22:22	17,9	60	231,7	720	0,64	60,0



## Anexo V

Anexo V.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 05.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
15:27	---	---	---	---	---
15:42	23,3	15	23,3	15	3,36
15:57	22,7	15	46,0	30	3,27
16:12	22,4	15	68,4	45	3,23
16:27	21,2	15	89,6	60	3,05
16:42	21,0	15	110,6	75	3,03
16:57	20,6	15	131,2	90	2,97
17:12	20,0	15	151,2	105	2,88
17:42	38,9	30	190,1	135	2,80

Anexo V.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 05, com PST = 9,9%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Líq. Colet. ( $\mu$ mhos/cm a 25°C)
09:47	---	---	---	---	---	---
10:17	26,8	30	26,8	30	1,93	499,8
10:47	25,0	30	51,8	60	1,80	206,0
11:17	22,8	30	74,6	90	1,64	138,7
11:47	22,8	30	97,4	120	1,64	116,3
12:47	44,7	60	142,1	180	1,61	98,0
13:47	43,9	60	186,0	240	1,58	82,0
14:47	43,3	60	229,3	300	1,56	64,6
15:47	42,6	60	271,9	360	1,53	57,8
16:47	42,0	60	313,9	420	1,51	55,8
17:47	41,6	60	355,5	480	1,50	53,8
18:47	40,3	60	395,8	540	1,45	50,9
19:47	38,9	60	434,7	600	1,40	44,5
20:47	37,6	60	472,3	660	1,35	40,0
21:47	36,1	60	508,4	720	1,30	36,5

## Anexo VI

Anexo VI.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 06.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
15:29	---	---	---	---	---
15:44	18,3	15	18,3	15	2,64
15:59	17,8	15	36,1	30	2,56
16:14	17,2	15	53,3	45	2,48
16:29	16,4	15	69,7	60	2,36
16:44	16,1	15	85,8	75	2,32
16:59	15,8	15	101,6	90	2,28
17:14	15,4	15	117,0	105	2,22
17:44	29,8	30	146,8	135	2,15

Anexo VI.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 06, com PST = 9,9%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Líq. Colet. ( $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C)
09:54	---	---	---	---	---	---
10:24	21,2	30	21,2	30	1,53	632,4
10:54	20,1	30	41,3	60	1,45	304,0
11:24	18,3	30	59,6	90	1,32	230,5
11:54	18,2	30	77,8	120	1,31	192,0
12:54	36,4	60	114,2	180	1,31	160,0
13:54	35,1	60	149,3	240	1,26	124,0
14:54	34,6	60	183,9	300	1,25	95,9
15:54	34,0	60	217,9	360	1,22	83,2
16:54	33,3	60	251,2	420	1,20	76,4
17:54	32,5	60	283,7	480	1,17	70,5
18:54	31,1	60	314,8	540	1,12	65,6
19:54	29,7	60	344,5	600	1,07	59,7
20:54	28,5	60	373,0	660	1,03	55,2
21:54	27,3	60	400,3	720	0,98	49,5

## Anexo VII

Anexo VII.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 07.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
09:07	---	---	---	---	---
09:22	13,4	15	13,4	15	1,93
09:37	13,0	15	26,4	30	1,87
09:52	12,8	15	39,2	45	1,84
10:07	12,6	15	51,8	60	1,82
10:22	12,4	15	64,2	75	1,79
10:37	12,4	15	76,6	90	1,79
10:52	12,4	15	89,0	105	1,79
11:22	24,4	30	113,4	135	1,76

Anexo VII.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 07, com PST = 16,4%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Liq. Colet. ( $\mu$ mhos/cm a 25°C)
07:54	---	---	---	---	---	---
08:24	20,5	30	20,5	30	1,48	938,4
08:54	18,4	30	38,9	60	1,33	489,6
09:24	17,2	30	56,1	90	1,24	315,0
09:54	16,2	30	72,3	120	1,17	256,0
10:54	30,6	60	102,9	180	1,10	198,0
11:54	29,4	60	132,3	240	1,06	158,0
12:54	27,9	60	160,2	300	1,01	134,0
13:54	26,6	60	186,8	360	0,96	113,6
14:54	25,7	60	212,5	420	0,93	101,8
15:54	24,9	60	237,4	480	0,90	91,0
16:54	24,3	60	261,7	540	0,88	79,3
17:54	23,8	60	285,5	600	0,86	53,8
18:54	23,3	60	308,8	660	0,84	50,9
19:54	22,6	60	331,4	720	0,82	49,0

## Anexo VIII

Anexo VIII.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 08.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
09:11	---	---	---	---	---
09:26	21,8	15	21,8	15	3,14
09:41	21,3	15	43,1	30	3,07
09:56	21,0	15	64,1	45	3,03
10:11	20,8	15	84,9	60	3,00
10:26	20,8	15	105,7	75	3,00
10:41	20,8	15	126,5	90	3,00
10:56	20,7	15	147,2	105	2,98
11:26	41,4	30	188,6	135	2,98

Anexo VIII.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 08, com PST = 16,4%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Líq. Colet. ( $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C)
07:40	---	---	---	---	---	---
08:10	31,6	30	31,6	30	2,28	663,0
08:40	27,9	30	59,5	60	2,01	316,2
09:10	25,4	30	84,9	90	1,83	224,4
09:40	23,8	30	108,7	120	1,71	172,0
10:40	44,2	60	152,9	180	1,59	130,6
11:40	41,3	60	194,2	240	1,49	94,0
12:40	39,0	60	233,2	300	1,40	86,0
13:40	37,9	60	271,1	360	1,37	76,4
14:40	36,3	60	307,4	420	1,31	64,6
15:40	36,0	60	343,4	480	1,30	59,7
16:40	34,8	60	378,2	540	1,25	55,8
17:40	34,3	60	412,5	600	1,24	51,9
18:40	33,9	60	446,4	660	1,22	50,9
19:40	33,5	60	479,9	720	1,21	47,5

## Anexo IX

Anexo IX.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 10.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min)	$K_0$ (cm/h)
10:05	---	---	---	---	---
10:20	14,3	15	14,3	15	2,06
10:35	14,2	15	28,5	30	2,05
10:50	13,9	15	42,4	45	2,00
11:05	13,7	15	56,1	60	1,97
11:20	13,6	15	69,7	75	1,96
11:35	13,4	15	83,1	90	1,93
11:50	13,2	15	96,3	105	1,90
12:20	25,9	30	122,2	135	1,87

Anexo IX.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 10, com PST = 17,4%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Líq. Colet. ( $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C)
11:22	---	---	---	---	---	---
11:52	15,2	30	15,2	30	1,10	1060,0
12:22	13,4	30	28,6	60	0,97	780,0
12:52	12,6	30	41,2	90	0,91	590,0
13:22	24,2	30	65,4	120	0,87	450,0
14:22	23,1	60	88,5	180	0,83	352,0
15:22	22,5	60	111,0	240	0,81	282,0
16:22	21,1	60	132,1	300	0,76	230,4
17:22	20,7	60	152,8	360	0,75	199,7
18:22	20,3	60	173,1	420	0,73	174,3
19:22	19,7	60	192,8	480	0,71	148,8
20:22	19,2	60	212,0	540	0,69	125,3
21:22	18,8	60	230,8	600	0,68	110,0
22:22	18,5	60	249,3	660	0,67	99,0
23:22	18,4	60	267,7	720	0,66	91,0

## Anexo X

Anexo X.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 11.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
10:07	---	---	---	---	---
10:22	23,4	15	23,4	15	3,37
10:37	22,9	15	46,3	30	3,30
10:52	22,3	15	68,6	45	3,21
11:07	21,9	15	90,5	60	3,16
11:22	21,5	15	112,0	75	3,10
11:37	21,0	15	133,0	90	3,03
11:52	20,9	15	153,9	105	3,01
12:22	40,8	30	194,7	135	2,94

Anexo X.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 11, com PST = 17,4%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Liq. Colet. ( $\mu\text{mhos/cm a } 25^\circ\text{C}$ )
10:10	---	---	---	---	---	---
10:40	25,5	30	25,5	30	1,84	1040,0
11:10	21,5	30	47,0	60	1,55	540,0
11:40	19,0	30	66,0	90	1,37	330,0
12:10	17,1	30	83,1	120	1,23	268,0
13:10	30,9	60	114,0	180	1,11	219,3
14:10	27,8	60	141,8	240	1,00	182,1
15:10	25,6	60	167,4	300	0,92	160,6
16:10	23,8	60	191,2	360	0,86	138,2
17:10	22,5	60	213,7	420	0,81	121,0
18:10	21,3	60	235,0	480	0,77	117,5
19:10	20,3	60	255,3	540	0,73	109,6
20:10	19,4	60	274,7	600	0,70	101,8
21:10	18,6	60	293,3	660	0,67	94,0
22:10	18,2	60	311,5	720	0,66	85,0

## Anexo XI

Anexo XI.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 12.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
10:13	---	---	---	---	---
10:28	14,9	15	14,9	15	2,15
10:43	14,6	15	29,5	30	2,10
10:58	14,3	15	43,8	45	2,06
11:13	14,0	15	57,8	60	2,02
11:28	13,9	15	71,7	75	2,00
11:43	13,7	15	85,4	90	1,97
11:58	13,6	15	99,0	105	1,96
12:28	27,0	30	126,0	135	1,95

Anexo XI.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 12, com PST = 17,4%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Líq. Colet. ( $\mu$ mhos/cm a 25°C)
10:32	---	---	---	---	---	---
11:02	19,8	30	19,8	30	1,43	1080,0
11:32	17,2	30	37,0	60	1,24	820,0
12:02	16,8	30	53,8	90	1,21	610,0
12:32	16,3	30	70,1	120	1,17	450,0
13:32	31,3	60	101,4	180	1,13	345,0
14:32	30,3	60	131,7	240	1,09	272,2
15:32	29,3	60	161,0	300	1,06	211,5
16:32	28,3	60	189,3	360	1,02	176,2
17:32	27,8	60	217,1	420	1,00	147,8
18:32	27,0	60	244,1	480	0,97	128,6
19:32	26,4	60	270,5	540	0,95	115,5
20:32	26,1	60	296,6	600	0,94	101,8
21:32	26,0	60	322,6	660	0,94	87,1
22:32	25,6	60	348,2	720	0,92	80,0

## Anexo XII

Anexo XII.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 13.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
10:10	---	---	---	---	---
10:25	8,0	15	8,0	15	1,15
10:40	7,4	15	15,4	30	1,07
10:55	7,2	15	22,6	45	1,04
11:10	6,9	15	29,5	60	0,99
11:25	6,8	15	36,3	75	0,98
11:40	6,7	15	43,0	90	0,97
11:55	6,6	15	49,6	105	0,95
12:25	12,9	30	62,5	135	0,93

Anexo XII.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 13, com PST = 25,8%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Liq. Colet. ( $\mu$ mhos/cm a 25°C)
10:13	---	---	---	---	---	---
10:43	4,2	30	4,2	30	0,30	2349,6
11:13	4,2	30	8,4	60	0,30	1860,1
11:43	3,8	30	12,2	90	0,27	1370,6
12:13	3,8	30	16,0	120	0,27	1152,0
13:13	7,0	60	23,0	180	0,25	1017,6
14:13	6,6	60	29,6	240	0,24	883,2
15:13	5,4	60	35,0	300	0,19	801,6
16:13	5,3	60	40,3	360	0,19	735,5
17:13	4,8	60	45,1	420	0,17	688,4
18:13	4,5	60	49,6	480	0,16	641,2
19:13	4,3	60	53,9	540	0,15	631,8
20:13	4,1	60	58,0	600	0,15	622,4
21:13	4,0	60	62,0	660	0,14	595,2
22:13	3,9	60	65,9	720	0,14	566,4



## Anexo XIII

Anexo XIII.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 14.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
10:23	---	---	---	---	---
10:38	10,9	15	10,9	15	1,57
10:53	10,5	15	21,4	30	1,51
11:08	10,2	15	31,6	45	1,47
11:23	10,0	15	41,6	60	1,44
11:38	9,8	15	51,4	75	1,41
11:53	9,7	15	61,1	90	1,40
12:08	9,7	15	70,8	105	1,40
12:38	19,4	30	90,2	135	1,40

Anexo XIII.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 14. com PST = 25,8%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Líq. Colet. ( $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C)
09:55	---	---	---	---	---	---
10:25	5,7	30	5,7	30	0,41	2525,8
10:55	5,2	30	10,9	60	0,37	1938,4
11:25	5,0	30	15,9	90	0,36	1566,4
11:55	4,6	30	20,5	120	0,33	1344,0
12:55	8,4	60	28,9	180	0,30	1075,2
13:55	7,6	60	36,5	240	0,27	940,8
14:55	6,8	60	43,3	300	0,24	829,8
15:55	6,1	60	49,4	360	0,22	754,4
16:55	5,8	60	55,2	420	0,21	660,1
17:55	5,3	60	60,5	480	0,19	613,0
18:55	4,9	60	65,4	540	0,18	575,2
19:55	4,7	60	70,1	600	0,17	546,9
20:55	4,6	60	74,7	660	0,17	528,0
21:55	4,5	60	79,2	720	0,16	499,2

## Anexo XIV

Anexo XIV.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 15.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
10:09	---	---	---	---	---
10:24	26,8	15	26,8	15	3,86
10:39	26,2	15	53,0	30	3,78
10:54	25,7	15	78,7	45	3,70
11:09	25,0	15	103,7	60	3,60
11:24	23,8	15	127,5	75	3,43
11:39	23,8	15	151,3	90	3,43
11:54	23,1	15	174,4	105	3,34
12:24	44,9	30	219,3	135	3,24

Anexo XIV.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 15, com PST = 25,8%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Líq. Colet. ( $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C)
08:32	---	---	---	---	---	---
09:02	17,2	30	17,2	30	1,24	1409,8
09:32	14,9	30	32,1	60	1,07	783,2
10:02	14,4	30	47,5	90	1,04	597,2
10:32	11,6	30	59,1	120	0,84	499,3
11:32	22,8	60	82,9	180	0,82	421,0
12:32	21,2	60	104,1	240	0,76	336,0
13:32	18,9	60	123,0	300	0,68	288,0
14:32	17,0	60	140,0	360	0,61	247,1
15:32	15,8	60	155,8	420	0,57	220,7
16:32	14,7	60	170,5	480	0,53	201,8
17:32	13,6	60	184,1	540	0,49	192,4
18:32	12,4	60	196,5	600	0,45	186,7
19:32	11,8	60	208,3	660	0,43	177,3
20:32	10,9	60	219,2	720	0,39	169,7

## Anexo XV

Anexo XV.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 16.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
09:35	---	---	---	---	---
09:50	35,3	15	35,3	15	5,09
10:05	33,8	15	69,1	30	4,87
10:20	33,3	15	102,4	45	4,80
10:35	32,8	15	135,2	60	4,73
10:50	32,5	15	167,7	75	4,68
11:05	32,3	15	200,0	90	4,65
11:20	31,9	15	231,9	105	4,60
11:50	63,4	30	295,3	135	4,57

Anexo XV.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 16, com PST = 32,1%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Líq. Colet. ( $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C)
09:00	---	---	---	---	---	---
09:30	35,8	30	35,8	30	2,58	1938,0
10:00	27,0	30	62,8	60	1,95	1020,0
10:30	22,8	30	85,6	90	1,64	703,8
11:00	20,1	30	105,7	120	1,45	520,0
12:00	34,9	60	140,6	180	1,26	400,0
13:00	30,9	60	171,5	240	1,11	310,0
14:00	28,3	60	199,8	300	1,02	264,3
15:00	26,6	60	226,4	360	0,96	221,3
17:00	47,0	120	273,4	480	0,85	186,0
19:00	42,9	120	316,3	600	0,77	166,4
21:00	38,3	120	354,6	720	0,69	158,6

## Anexo XVI

Anexo XVI.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 17.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
09:37	---	---	---	---	---
09:52	22,5	15	22,5	15	3,24
10:07	22,2	15	44,7	30	3,20
10:22	21,9	15	66,6	45	3,16
10:37	21,6	15	88,2	60	3,11
10:52	21,5	15	109,7	75	3,10
11:07	21,5	15	131,2	90	3,10
11:22	21,4	15	152,6	105	3,08
11:52	42,8	30	195,5	135	3,08

Anexo XVI.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 17, com PST = 32.1%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Liq. Colet. ( $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C)
09:18	---	---	---	---	---	---
09:48	18,2	30	18,2	30	1,31	2284,8
10:18	13,4	30	31,6	60	0,97	1305,6
10:48	9,8	30	41,4	90	0,71	1040,4
11:18	7,5	30	48,9	120	0,54	890,0
12:18	12,6	60	61,5	180	0,45	810,0
13:18	10,1	60	71,6	240	0,36	800,0
14:18	8,3	60	79,9	300	0,30	734,3
15:18	7,3	60	87,2	360	0,26	685,3
17:18	12,5	120	99,7	480	0,23	646,1
19:18	11,2	120	110,9	600	0,20	607,0
21:18	9,8	120	120,7	720	0,18	577,6

## Anexo XVII

Anexo XVII.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 18.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
09:39	---	---	---	---	---
09:58	24,7	19	24,7	19	2,81
10:14	19,2	16	43,9	35	2,59
10:31	20,0	17	63,9	52	2,54
10:48	19,8	17	83,7	69	2,52
11:06	20,8	18	104,5	87	2,50
11:39	37,9	33	142,4	120	2,48
11:54	17,2	15	159,6	135	2,48

Anexo XVII.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 18, com PST = 32,1%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Líq. Colet. ( $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C)
09:12	---	---	---	---	---	---
09:42	18,1	30	18,1	30	1,30	2876,4
10:12	13,4	30	31,5	60	0,97	1530,0
10:42	10,1	30	41,6	90	0,73	1060,8
11:12	8,2	30	49,8	120	0,59	910,0
12:12	13,3	60	63,1	180	0,48	800,0
13:12	11,0	60	74,1	240	0,40	730,0
14:12	9,3	60	83,4	300	0,34	685,3
15:12	8,5	60	91,9	360	0,31	636,4
17:12	14,8	120	106,7	480	0,27	616,8
19:12	13,0	120	119,7	600	0,23	538,5
21:12	11,2	120	130,9	720	0,20	479,7

## Anexo XVIII

Anexo XVIII.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 19.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
08:50	---	---	---	---	---
09:05	16,3	15	16,3	15	2,35
09:20	15,5	15	31,8	30	2,23
09:35	15,0	15	46,8	45	2,16
09:50	14,4	15	61,2	60	2,08
10:05	14,0	15	75,2	75	2,02
10:20	13,6	15	88,8	90	1,96
10:35	13,3	15	102,1	105	1,92
11:05	25,7	30	127,8	135	1,85

Anexo XVIII.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 19, com PST = 47,4%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Líq. Colet. ( $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C)
07:13	---	---	---	---	---	---
07:43	6,6	30	6,6	30	0,48	5406,0
08:13	4,9	30	11,5	60	0,35	4550,0
08:43	4,3	30	15,8	90	0,31	3800,0
09:13	4,0	30	19,8	120	0,29	3400,0
10:13	6,8	60	26,6	180	0,25	2858,7
11:13	5,8	60	32,4	240	0,21	2447,5
12:13	5,0	60	37,4	300	0,18	2134,2
13:13	4,5	60	41,9	360	0,16	1900,8
15:13	7,8	120	49,7	480	0,14	1708,8
17:13	7,0	120	56,7	600	0,13	1527,7
19:13	6,2	120	62,9	720	0,11	1376,8

## Anexo XIX

Anexo XIX.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 20.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
08:52	---	---	---	---	---
09:07	22,3	15	22,3	15	3,21
09:22	21,6	15	43,9	30	3,11
09:37	21,0	15	64,9	45	3,03
09:52	20,5	15	85,4	60	2,95
10:07	20,1	15	105,5	75	2,90
10:22	19,7	15	125,2	90	2,84
10:37	19,5	15	144,7	105	2,81
11:07	37,8	30	182,5	135	2,72

Anexo XIX.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 20, com PST = 47,4%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Liq. Colet. ( $\mu$ hos/cm a 25°C)
06:48	---	---	---	---	---	---
07:18	12,7	30	12,7	30	0,92	3519,0
07:48	10,1	30	22,8	60	0,73	2366,4
08:18	8,2	30	31,0	90	0,59	1840,0
08:48	7,1	30	38,1	120	0,51	1600,0
09:48	11,5	60	49,6	180	0,41	1360,0
10:48	9,6	60	59,2	240	0,35	1116,1
11:48	8,4	60	67,6	300	0,30	979,0
12:48	7,3	60	74,9	360	0,26	920,3
14:48	12,9	120	87,8	480	0,23	816,0
16:48	10,8	120	98,6	600	0,19	691,2
18:48	9,6	120	108,2	720	0,17	614,4

## Anexo XX

Anexo XX.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 21.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
08:56	---	---	---	---	---
09:11	17,6	15	17,6	15	2,54
09:26	17,1	15	34,7	30	2,46
09:41	16,6	15	51,3	45	2,39
09:56	16,3	15	67,6	60	2,35
10:11	15,8	15	83,4	75	2,28
10:26	15,4	15	98,8	90	2,22
10:41	15,2	15	114,0	105	2,17
11:11	29,3	30	143,3	135	2,11

Anexo XX.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 21, com PST = 47,4%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Líq. Colet. ( $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C)
07:10	---	---	---	---	---	---
07:40	6,9	30	6,9	30	0,50	5304,0
08:10	5,9	30	12,8	60	0,43	4200,0
08:40	5,1	30	17,9	90	0,37	3450,0
09:10	4,5	30	22,4	120	0,32	3000,0
10:10	7,6	60	30,0	180	0,27	2500,0
11:10	6,2	60	36,2	240	0,22	2036,3
12:10	5,1	60	41,3	300	0,18	1781,8
13:10	4,4	60	45,7	360	0,16	1612,8
15:10	7,5	120	53,2	480	0,14	1516,8
17:10	6,3	120	59,5	600	0,11	1339,1
19:10	5,5	120	65,0	720	0,10	1267,2



## Anexo XXI

Anexo XXI.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 22.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
09:41	---	---	---	---	---
09:56	48,9	15	48,9	15	7,05
10:11	48,5	15	97,4	30	7,00
10:26	48,4	15	145,8	45	6,97
10:41	48,4	15	194,2	60	6,97
10:56	48,2	15	242,4	75	6,95
11:11	48,1	15	290,5	90	6,93
11:26	48,0	15	338,5	105	6,92
11:56	95,6	30	418,1	135	6,89

Anexo XXI.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 22. com PST = 64,1%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Liq. Colet. ( $\mu$ mhos/cm a 25°C)
09:21	---	---	---	---	---	---
09:51	12,3	30	12,3	30	0,89	4641,0
10:21	10,4	30	22,7	60	0,75	3876,0
10:51	9,8	30	32,5	90	0,71	3417,0
11:21	9,1	30	41,6	120	0,66	3000,0
12:21	13,3	60	54,9	180	0,48	2600,0
13:21	8,5	60	63,4	240	0,31	2060,0
14:21	7,0	60	70,4	300	0,25	1645,0
15:21	5,9	60	76,3	360	0,21	1351,0
17:21	11,0	120	87,3	480	0,20	1331,0
19:21	8,8	120	96,1	600	0,16	1116,0
21:21	8,0	120	104,1	720	0,14	1018,0

## Anexo XXII

Anexo XXII.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 23.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
09:43	---	---	---	---	---
09:58	32,9	15	32,9	15	4,74
10:13	32,8	15	65,7	30	4,73
10:28	32,4	15	98,1	45	4,67
10:43	32,3	15	130,4	60	4,65
10:58	32,2	15	162,6	75	4,64
11:13	32,1	15	194,7	90	4,63
11:28	31,9	15	226,6	105	4,60
11:58	63,8	30	290,4	135	4,60

Anexo XXII.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 23, com PST = 64,1%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Líq. Colet. ( $\mu\text{mhos/cm a } 25^\circ\text{C}$ )
09:32	---	---	---	---	---	---
10:02	13,0	30	13,0	30	0,94	6324,0
10:32	8,2	30	21,2	60	0,59	4590,0
11:02	7,5	30	28,7	90	0,54	3750,0
11:32	6,2	30	34,9	120	0,45	3200,0
12:32	8,4	60	43,3	180	0,30	3050,0
13:32	7,4	60	50,7	240	0,27	2380,0
14:32	5,3	60	56,0	300	0,19	2095,0
15:32	4,6	60	60,6	360	0,17	1762,0
17:32	7,0	120	67,6	480	0,13	1645,0
19:32	6,0	120	73,6	600	0,11	1488,0
21:32	5,6	120	79,2	720	0,10	1371,0

## Anexo XXIII

Anexo XXIII.a – Teste para determinação de  $K_0$  na amostra 24.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_0$ (cm/h)
09:45	---	---	---	---	---
10:01	20,9	16	20,6	16	2,82
10:17	20,4	16	41,3	32	2,76
10:33	20,0	16	61,3	48	2,70
10:51	22,3	18	83,6	66	2,68
11:11	24,6	20	108,2	86	2,66
11:32	25,7	21	133,9	107	2,65
11:54	26,7	22	160,6	129	2,62
12:15	23,5	21	186,1	150	2,62

Anexo XXIII.b - Teste para determinação de  $K_1$  na amostra 24, com PST = 64,1%.

Hora	Volume Coletado (ml)	Tempo (min.)	Volume Acumulado (ml)	Tempo Acumulado (min.)	$K_1$ (cm/h)	Cond. Elet. Líq. Colet. ( $\mu$ mhos/cm a 25°C)
10:01	---	---	---	---	---	---
10:31	7,2	30	7,2	30	0,52	6936,0
11:01	5,3	30	12,5	60	0,38	5300,0
11:31	4,6	30	17,1	90	0,33	3900,0
12:01	4,2	30	21,3	120	0,30	3800,0
13:01	7,5	60	28,8	180	0,27	3200,0
14:01	5,6	60	34,4	240	0,20	2604,0
15:01	4,3	60	38,7	300	0,15	2467,0
16:01	3,7	60	42,4	360	0,13	2448,0
18:01	5,4	120	47,8	480	0,10	1978,0
20:01	4,8	120	52,6	600	0,09	1801,0
22:01	4,4	120	57,0	720	0,08	1703,0