

**Marcos Henrique Pôrto Fonsêca**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E HÍDRICA DE UM SOLO DOS  
TABULEIROS COSTEIROS NO DISTRITO DE IRRIGAÇÃO  
PLATÔ DE NEÓPOLIS – SE**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
MESTRADO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**CAMPINA GRANDE - PARAÍBA  
DEZEMBRO DE 2003**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DISSERTAÇÃO**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E HÍDRICA DE UM SOLO DOS TABULEIROS  
COSTEIROS NO DISTRITO DE IRRIGAÇÃO PLATÔ DE NEÓPOLIS – SE**

**MARCOS HENRIQUE PÔRTO FONSÊCA**

**Campina Grande – Paraíba**

**DEZEMBRO - 2003**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E HÍDRICA DE UM SOLO DOS TABULEIROS  
COSTEIROS NO DISTRITO DE IRRIGAÇÃO PLATÔ DE NEÓPOLIS – SE**

**MARCOS HENRIQUE PÔRTO FONSÊCA**  
**ENGENHEIRO AGRÔNOMO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de MESTRE (M.Sc.) em Engenharia Agrícola.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:** Irrigação e Drenagem

**ORIENTADOR (UFCG):** Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra

**ORIENTADOR (EMBRAPA):** Dr. Fernando Luis Dultra Cintra

**Campina Grande – Paraíba**

**DEZEMBRO – 2003**



F676c Fonsêca, Marcos Henrique Pôrto.  
Caracterização física e hídrica de um solo dos tabuleiros costeiros no distrito de irrigação platô de Neópolis - SE / Marcos Henrique Pôrto Fonsêca. - Campina Grande, 2003.  
55 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2003.  
"Orientação : Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra, Prof. Dr. Fernando Luis Dutra Cintra".  
Referências.

1. Irrigação - Tabuleiros Costeiros. 2. Tabuleiros Costeiros - Estudo do Solo - Irrigação. 3. Caracterização Física e Hídrica. 4. Dissertação - Engenharia Agrícola. I. Guerra, Hugo Orlando Carvalho. II. Cintra, Fernando Luis Dutra. III. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB). IV. Título CDU 631.67(043)



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

**MARCOS HENRIQUE PORTO FONSECA**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E HÍDRICA EM UM SOLO DOS  
TABULEIROS COSTEIROS COM HORIZONTE COESO NO DISTRITO  
DE IRRIGAÇÃO PLATÔ DE NEOPÓLIS-SE**

BANCA EXAMINADORA

Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra-Orientador

PARECER

APROVADO

Dr. Lourival Ferreira Cavalcanti-Examinador

APROVADO

Dr. José Dantas Neto-Examinador

APROVADO

DEZEMBRO - 2003

“A terra é um bem econômico sem custo de produção por ser anterior à própria humanidade. Todavia constitui riqueza cuja utilidade se mede pela capacidade de originar rendimentos”. (Eliezer Furtado de Carvalho)

O homem depende da terra como depende do amor. Há entre eles a certeza de que, se bem cuidados, durarão para sempre

## AGRADECIMENTOS

A Deus,

À minha avó, Maria Valdice Andrade Pôrto, por todo amor, ajuda e incentivo à obtenção desse título.

A meu avô Aluisio Barbosa Pôrto (in memorian), pela força espiritual, imprescindível para a concretização deste trabalho.

A minha mãe, Eliana Pôrto Fonsêca, pelo amor, incentivo e torcida.

A meu pai, José Aguinaldo de Santana Fonsêca, meu espelho de conduta e homem de bem.

Aos meus avós paternos José Lavres Fonsêca (in memorian) e Josefina Santana Fonsêca (in memorian).

Aos meus bisavós maternos Manuel Durval Andrade (in memorian) e Márcia Maciel Andrade (in memorian).

Aos meus tios José Lavres Filho, José Arnaldo da Fonsêca e José Américo da Fonsêca (in memorian), pelo apoio e incentivo a esta mais nova conquista.

A meu tio João Lucas Neto (in memorian).

Aos meus irmãos: Gustavo Fonsêca e Fábio Fonsêca.

A Marilyn de Santana Macedo, pela sua dedicação e oportuna contribuição para este trabalho.

A querida filha, Fernanda Macedo Pôrto Fonsêca, minha fonte de inspiração para vencer mais este desafio.

**DEDICO**

A toda minha família e amigos.

**OFEREÇO**

A Deus, por eu estar vivo, com saúde, paz e alegria.

A toda minha família, por ter me ajudado a vencer mais esse desafio de vida.

- **Universidade Federal de Campina Grande (UFCG):**

Ao meu orientador, professor Hugo Orlando Carvalho Guerra, pela sua orientação e disciplina durante o curso.

Aos colegas de Pós – graduação com quem convivi e morei durante estes anos e que colaboraram de diversas formas para a realização deste trabalho: João Fernando Sampaio Peixoto e Cláudio Silva Soares (Cacau). Serão meus eternos amigos.

Aos Professores José Dantas, Carlos Azevedo e Vera Lúcia, por toda amizade, paciência e dedicação aos ensinamentos e orientações durante o curso.

A Sra. Rivanilda, pela paciência, competência, educação e amizade.

Ao Centro de Ciências e Tecnologia, por me acolher e me educar.

Pela imprescindível contribuição técnica e por toda amizade.

- **EMBRAPA – Tabuleiros Costeiros**

Ao Dr. Fernando Luís Dultra Cintra, o meu especial agradecimento pelas orientações, ensinamentos, amizade e dedicação no decorrer de todo o trabalho.

Aos colegas e amigos Roberto Alves de Souza, Alisson Santos Almeida, Jeane Cruz Portela, José Ailton dos Santos, Erivaldo Fonsêca Moraes, Aldo, Derivan Santos da Silva, por todo carinho, confiança e acolhimento dedicado à minha pessoa. Serão para sempre amigos incontestáveis.

Ao grande amigo Dr. Aurelir Nobre Barreto, pela confiança, competência, educação e amizade dispensados à minha pessoa.

A todos os funcionários da EMBRAPA.

À UFCG e a EMBRAPA, que permitiram a realização desse trabalho.

A todos os amigos e colegas de pós-graduação, por todo companheirismo e amizade.

- **H. Dantas Agrícola:**

Ao amigo Dr. Marcelo Prado de Oliveira por acreditar e colocar a minha disposição toda a equipe H. Dantas: Amigos Hidelberto, Alex, Aldo e Derivan. Muito obrigado.

Aos meus amigos e amigas Paraibanas, estado que aprendi a amar e respeitar.

Aos grandes amigos Sergipanos. Àqueles que sempre acreditaram no meu potencial, que acreditam em minhas idéias, que, em fim, são amigos.

A todas as pessoas que, de forma positiva, contribuíram para a concretização desse trabalho.

**AGRADEÇO**

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1. DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULAS NAS ÁREAS EXPERIMENTAIS .....	37
TABELA 2. DENSIDADE GLOBAL DO SOLO ( $D_s$ ), DENSIDADE DAS PARTÍCULAS ( $D_p$ ), POROSIDADE TOTAL, MACRO E MICROPOROSIDADE DO SOLO UTILIZADO. ....	41
TABELA 3. CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL PARA CADA PROFUNDIDADE DE SOLO. ....	44

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DA EMPRESA H. DANTAS AGRÍCOLA, LOTE 24, NO DISTRITO DE IRRIGAÇÃO PLATÔ DE NEÓPOLIS, SE.....	26
FIGURA 2. PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E EVAPORAÇÃO NA ÁREA DO EXPERIMENTO. MÉDIA DOS ANOS DE 1998, 2000, 2001 E 2002. PLATÔ DE NEÓPOLIS, SE .....	28
FIGURA 3. TEMPERATURA MÉDIA, MÁXIMA E MÍNIMA NA ÁREA EXPERIMENTAL. MÉDIA DOS ANOS DE 1998, 2000, 2001 E 2002. PLATÔ DE NEÓPOLIS, SE .....	28
FIGURA 4. UMIDADE RELATIVA DO AR NA ÁREA EXPERIMENTAL. MÉDIA DOS ANOS DE 1998, 2000, 2001 E 2002. PLATÔ DE NEÓPOLIS, SE.....	29
FIGURA 5. VELOCIDADE DO VENTO NA ÁREA EXPERIMENTAL. MÉDIA DOS ANOS 1998, 2000, 2001 E 2002. PLATÔ DE NEÓPOLIS, SE .....	29
FIGURA 6. DETALHE DA COLOCAÇÃO DA FOLHA DE ZINCO PARA REPRESENTAÇÃO DA ÁGUA, NECESSÁRIA À REALIZAÇÃO DO TESTE. PLATÔ DE NEÓPOLIS, SE .....	33
FIGURA 7. INUNDAÇÃO DO DIQUE ATÉ A SATURAÇÃO TOTAL DO PERFIL DO SOLO. PLATÔ DE NEÓPOLIS, SE .....	33
FIGURA 8. COLOCAÇÃO DE PÓ DE SERRA PARA ISOLAMENTO TÉRMICO, SOBRE UMA PRIMEIRA CAMADA DE PLÁSTICO PRETO, E COLOCAÇÃO DE TENSÍOMETROS PARA MEDIDA DO POTENCIAL MÁTRICO. PLATÔ DE NEÓPOLIS, SE.....	34
FIGURA 9. TESTE PRONTO PARA ACOMPANHAMENTO DA DRENAGEM DE ÁGUA NO PERFIL DO SOLO, EM FUNÇÃO DO TEMPO. PLATÔ DE NEÓPOLIS, SE .....	34
FIGURA 10. DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS MINERAIS. EMPRESA H. DANTAS, PLATÔ DE NEÓPOLIS, SE .....	38
FIGURA 11. DENSIDADES DO SOLO NA ÁREA ESTUDADA .....	40
FIGURA 12. CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO, POR PROFUNDIDADE. EMPRESA H. DANTAS, PLATÔ DE NEÓPOLIS, SE .....	43
FIGURA 13. CONDUTIVIDADE CAPILAR VERSUS UMIDADE DO SOLO .....	46

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1. TABULEIROS COSTEIROS .....	3
2.2. SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS .....	5
2.3. HORIZONTES COESOS .....	9
2.4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E HÍDRICA .....	10
2.4.1. <i>Textura</i> .....	10
2.4.2. <i>Densidade das partículas</i> .....	11
2.4.3. <i>Densidade global</i> .....	12
2.4.4. <i>Porosidade Total</i> .....	13
2.4.5. <i>Curva de Retenção da Água do Solo</i> .....	15
2.4.6. <i>Condutividade Capilar</i> .....	20
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
3.1. ÁREA EXPERIMENTAL .....	26
3.1.1. <i>Localização</i> .....	26
3.1.2. <i>Clima e solo</i> .....	27
3.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E HÍDRICA DO SOLO .....	30
3.2.1. <i>Curva de retenção de água no solo</i> .....	30
3.2.2. <i>Água disponível do solo para as plantas</i> .....	31
3.2.3. <i>Condutividade hidráulica</i> .....	31
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
4.1. DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS. GRANULOMETRIA .....	37
4.2. DENSIDADE DO SOLO: .....	39
4.3. DENSIDADE DAS PARTÍCULAS .....	40
4.4. POROSIDADE TOTAL, MACRO E MICROPOROSIDADE .....	41
4.5. RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO .....	42
4.6. CONDUTIVIDADE CAPILAR .....	44
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>47</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>48</b>

## RESUMO

Visando caracterizar física e hidricamente um solo dos Tabuleiros Costeiros, um estudo foi conduzido na Empresa H. Dantas no Distrito de Irrigação Platô de Neópolis, Estado de Sergipe, o qual é cultivado exclusivamente com coqueiro anão para produção de água de coco. Dentre as características destes solos a presença de camadas subsuperficiais, fortemente adensadas, que apresentam forte influência na infiltração e condução de água no perfil do solo é conhecida. Os atributos físicos e hídricos estudados (densidade e porosidades, retenção de água e condutividade capilar) indicam efetivamente a presença de camadas coesas no solo estudado. Os valores obtidos para estes atributos revelaram uma coerência dos mesmos quanto a identificação da coesão. A delimitação dos horizontes coesos coincidiu com a delimitação das camadas no perfil pela característica de condução da água no solo. O Método simplificado para avaliar a condutividade capilar pode ser empregado eficientemente nesse tipo de solo. Apesar do adensamento a condutividade capilar aumentou com a umidade do solo. Dos atributos estudados, a condutividade capilar, a retenção da água pelo solo e a densidade indicam ser as variáveis que mais confiavelmente identificam o fenômeno de coesão do solo. A existência de camadas adensadas próximas à superfície do solo, associadas ao regime climático da região onde o estudo foi realizado, promove alterações importantes nas características físicas e hídricas do solo estudado, as quais poderão interferir negativamente no desenvolvimento das fruteiras implantadas no Distrito de Irrigação Platô de Neópolis, seja em virtude das alterações na dinâmica de água no solo, ou da elevada resistência mecânica que oferecem à penetração das raízes das plantas e na dinâmica de água e nutrientes. As alterações impostas pela camada coesa na infiltração e condução de água no perfil do solo devem ser consideradas no eficiente manejo eficiente da água e do solo no Distrito de Irrigação Platô de Neópolis.

## ABSTRACT

In order to study the physical and hídricas characteristics of a Costal Board soil, an experiment was carried out in farm of H. Dantas Firm in District of Irrigation Platô of Neópolis, State of Sergipe - Brasil on which is cultivated green dwarf coconut exclusively for production of coconut water. The studied area presented typical characteristics of the Coastal Boards, with plane relief, sandy soil, poor in nutrients and coesa layers. The characteristics studied (density, porosities water retention and capillary conductivity) showed that, effectively, there exists coesa layers. The values obtained for the characteristics also showed a high coherence of these when used to identify the hardsetting layer. The method used to determine the capillary conductivity apparently can be used on this soil . Independently of this, it was confirmed that the Capillary conductivity increase exponentially with the soil water content. From the attributes studied, the capillary conductivity, the water retention and the soil density it seems to be the best tools to identify the coesa layers. The existence of these sort of dense layers, mainly those close to the surface, together with the climatic characteristics of the region promote important alterations in the physical and hidricas characteristics of the soils. The alterations provoked by the hardsetting layers on the infiltration and dynamics of the water on the soil must be considered when planning an efficient soil and water management at the Irrigation District Platô of Neópolis from Sergipe state - Brasil.

## 1. INTRODUÇÃO

Os Tabuleiros Costeiros são formações terciárias que aparecem desde o Amapá até o Rio de Janeiro, no entanto, são mais freqüentes nas costas do litoral nordestino. A importância deste ecossistema está relacionado não somente ao significativo contingente de população, o qual perfaz cerca de 45% da região Nordeste, como também, pela utilização dos mesmos com cana-de-açúcar, pecuária e fruticultura, atividades que são sustentáveis na geração de emprego e renda.

A ocupação agropecuária dos tabuleiros é dependente das precipitações pluviais, sendo a zona mais úmida de domínio da cana-de-açúcar e a zona mais árida da pecuária extensiva e semi-intensiva. Nos últimos dez anos e com mais ênfase nos dias atuais a fruticultura e, em especial, o coqueiro anão-verde, destinado a produção de água de coco, tem ocupado grandes extensões dos tabuleiros, como ocorre no Distrito de Irrigação do Platô de Neópolis. Apesar do sucesso obtido nas áreas de tabuleiro, uma das limitações à fruticultura irrigada ainda é a carência de informações sobre as características físicas e hídricas, fundamentais para estabelecimento de um bom manejo do solo e da irrigação.

Dentre as restrições dos Tabuleiros Costeiros as mais freqüentes dizem respeito às limitações químicas e físicas dos seus solos. Quanto as químicas destacam-se a baixa capacidade de troca catiônica, causada por baixos teores de matéria orgânica e predominância da caulinita na fração argila. Em relação às inconveniências físicas, uma das mais importantes é a ocorrência de horizontes coesos superficiais que por seu elevado grau de adensamento, dificulta a infiltração e condução de água no perfil do solo, promove alterações na aeração e impede o aprofundamento do sistema radicular, concentrando-o na camada superficial do solo. O horizonte coeso tem sido objeto de estudo durante os últimos anos, entretanto, ainda não se possui completo entendimento de como manejá-lo para maximizar a produtividade e longevidade das culturas, mantendo a sustentabilidade dos

empreendimentos. O conhecimento das bases teóricas que governam o movimento da água no solo representa um importante avanço na solução de problemas de irrigação, drenagem, conservação da água e do solo, recarga e poluição da água subterrânea, fluxo de íons no solo e controle do escoamento superficial. (Amaro Filho, 1982).

Estudos de natureza físico-hídrica em solos de tabuleiros costeiros foram iniciados na década de 1960 em Pernambuco por Oliveira et. al. (1968) e Oliveira & Melo (1970), seguindo-se um período de 70 a 80, em que poucos trabalhos foram produzidos. Na década de 1990, houve uma retomada das investigações, porém ainda há sérias dúvidas no que diz respeito a água no solo. Este é um dos motivos pelo qual, esse tema consta nas principais linhas de pesquisa dos órgãos responsáveis pelo desenvolvimento dos Tabuleiros Costeiros, muita das quais estão relacionadas no documento de compatibilização das propostas de pesquisa oriundas da Reunião Técnica sobre Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros (1996).

O trabalho teve como objetivo física e hidricamente o solo de uma área de Tabuleiros Costeiros, visando o manejo da irrigação no Distrito Irrigado do Platô de Neópolis.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Tabuleiros Costeiros

Trata-se de uma vasta planície com elevação de 30 a 200m acima do nível do mar, compreendendo platôs de origem sedimentar com grau de entalhamento variável, ora com vales estreitos e encostas abruptas, ora abertos com encostas suaves e profundas com amplas várzeas (Embrapa, 1994).

Na faixa sedimentar costeira do Brasil é possível distinguir quatro unidades de paisagem: baixada litorânea, tabuleiros costeiros, superfícies terciárias muito dissecadas e bacia cretácea (EMBRAPA/SUDENE, 1975; citado por Cintra, 1997). A unidade de paisagem dos tabuleiros costeiros é composta por superfícies em forma de mesetas cujos topos apresentam-se planos ou com suaves ondulações e tem origem nos sedimentos do Grupo Barreiras, Terciário Superior depositados sobre materiais do cretáceo ou sobre embasamento cristalino. Os aspectos morfológicos relacionados com o nivelamento do terreno permitem identificar espessuras variáveis e modelados concordantes com as coberturas sedimentares do Grupo Barreiras (Rezende, 1997).

A região de ocorrência dos Tabuleiros Costeiros destaca-se pela significativa importância econômica e social, devido a alta densidade demográfica observada nos centros urbanos. Não obstante as limitações agrícolas de seus solos, a região tem refletido expressiva capacidade atual e potencial para a produção de alimentos, principalmente fruticultura (laranja, limão, mamão, graviola, banana, abacaxi, maracujá, acerola, goiaba, coco-da-baía e outras), matéria prima para indústria e energia de origem vegetal, possuindo ainda ampla infra-estrutura de apoio como: rodovias, terminais marítimos e instituições de ensino, pesquisa e desenvolvimento.

Entre as décadas de 80 e 90, as instituições públicas e privadas Nacionais, iniciaram ações com o objetivo de promover o desenvolvimento agropecuário da região dos Tabuleiros Costeiros, culminando com a criação do Centro de Pesquisa Agropecuário dos Tabuleiros Costeiros – Embrapa Tabuleiros Costeiros, localizado em Aracaju/SE, cuja principal missão é “Articular, gerar e/ou adaptar conhecimentos e tecnologias consentâneas à natureza do ecossistema de Tabuleiros e afins, bem como promover ações interativas de desenvolvimento agrícola sustentável” (Embrapa, 1994).

Este grande interesse pelo ecossistema dos Tabuleiros Costeiros está relacionado, principalmente, aos aspectos a seguir: a) está situado na faixa úmida costeira, sem os problemas de secas periódicas e prolongadas que ocorrem nas zonas do Sertão e do Agreste; b) está localizado perto dos grandes centros consumidores com boa rede viária onde a produção agrícola pode ser rapidamente escoada e absorvida; c) apresentam solos profundos que se distribuem em áreas de relevo plano ou suavemente ondulado, favorecendo a mecanização agrícola e d) ocupam extensas áreas. Segundo Jacomine (1996), as áreas de latossolos e podzólicos e outros solos de Tabuleiros, provenientes de sedimentos do tipo Barreiras ou similares, ocupam área aproximada de 200.000 Km<sup>2</sup>.

Considerando-se os Estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, a área de abrangência dos Tabuleiros Costeiros corresponde a 10% da área total de tais Estados, os quais, contribuem com 26,4 e 38,2 % do PIB gerados pelas culturas temporárias e permanentes, respectivamente (Embrapa, 1994).

Apesar das características favoráveis, graves problemas estão associados aos Tabuleiros e ao seu uso agropecuário. A ocupação humana, combinada à friabilidade litológica favorece aceleração dos processos morfodinâmicos contribuindo para o agravamento da lixiviação e movimento de massas nos solos, imprimindo, em alguns trechos da paisagem, um caráter bastante instável. Esta instabilidade, facilmente

perceptível através do desenvolvimento de ravinamentos e deslizamentos nas encostas íngremes (Brasil.Ministério das Minas e Energia, 1983), se traduz pelo desaparecimento de espécies vegetais e pela intensificação do processo erosivo. A este respeito Silva (1991) ressalta a ação do desmatamento sobre o quase total desaparecimento de várias espécies vegetais nobres da Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do Extremo Sul da Bahia, como também, sobre a degradação da camada superficial do solo, intensificação do adensamento e perdas de solo por erosão.

## **2.2. Solos dos Tabuleiros Costeiros**

Atualmente são reconhecidos como solos de maior expressão na região dos tabuleiros os Latossolos e Argissolos Amarelos e, de menor expressão, os Argissolos Acinzentados, Espodossolos, Neossolos Quartzarênicos e Plintossolos. A seguir serão descritas as peculiaridades de cada uma dessas classes de solo segundo Jacomine (1996).

### **a) Latossolos Amarelos**

Dentre os Latossolos, os amarelos de tabuleiros são os que apresentam, em condições naturais, o caráter coeso, ou seja, presença de horizonte(s) de consistência dura ou muito dura quando seco, e geralmente friável quando úmido. Em geral, a parte coesa, coincide com uma faixa compreendida entre 20 a 60 cm, podendo atingir maiores profundidades. Essa parte endurecida corresponde normalmente aos horizontes AB (A3) e/ou BA (B<sub>1</sub>), podendo chegar ao topo do Bw.(ANAIS-EMBRAPA 1996; citado por Jacomine, 2001).

As cores são tipicamente amarela, tendo o horizonte B matizes 10YR, 7,5YR e 5Y, com ocorrência de cores amarelo-avermelhadas e vermelho –amareladas, com valores e cromas, via de regra, iguais ou maiores que 5. A textura varia de muito argilosa a média,

com predomínio de solos argilosos. A estrutura é fracamente desenvolvida em blocos nos horizontes AB, BA e no Bw. Com menor frequência ocorre estrutura granular muito pequena no Bw.

Dentre os latossolos, os amarelos são os que apresentam maior densidade global, com valores variando de 1,30 – 1,60g/cm<sup>3</sup> (nos horizontes AB, BA, e BW<sub>1</sub>) e, conseqüentemente, menor porosidade total, cujos valores, estão compreendidos entre 40-50 %.

Quanto às propriedades químicas são solos com baixos teores em óxidos provenientes do ataque sulfúrico, com valores para Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> normalmente menores que 7,0%. Essas percentagens baixas, aliadas a uma CTC muito baixa, tornam esses solos muito susceptíveis à perda das partículas coloidais da parte superficial para os horizontes subsuperficiais. São solos ácidos e fortemente ácidos, com pH em água normalmente com valores compreendidos entre 4,0 e 5,0. Em geral, contém, alumínio trocável e são álicos, ou seja, com saturação por alumínio igual ou maior que 50%. Muitas vezes, o alumínio aumenta do horizonte A para o Bw. A CTC (valor T) é muito baixo e normalmente está abaixo de 6,5 cmol<sub>c</sub>Kg<sup>-1</sup> de argila, descontada a contribuição do carbono.

Quanto à mineralogia, as frações areia (grossa e fina), registram predomínio quase absoluto do quartzo, com valores de 95 e 100% e há predomínio da caulinita, com percentagem entre 70 e 90%. Estas percentagens estão coerentes com os valores encontrados para a relação molecular K<sub>i</sub>, compreendidos entre 1,96 e 2,14.

#### b) Argissolos Amarelos

As maiores extensões desses solos são encontradas nos Tabuleiros Costeiros, sobretudo nos Estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Espírito Santo e

Rio de Janeiro. Na Amazônia, até a presente data, há registro de pequenas ocorrências. Recentemente, foram reconhecidos também na zona semi-árida de Pernambuco e Bahia.

As propriedades químicas e mineralógicas desses solos são bastante similares às dos Latossolos Amarelos, dos quais se distinguem, pelo gradiente textural mais alto, indicando maior concentração de argila no Bt, muitas vezes, com mudança textural abrupta. Muitos Argissolos Amarelos apresentam horizonte E, indicando maior perda de argila que nos Latossolos. A argila dispersa em água atinge maiores profundidades nos Argissolos, estando presente em grande parte do horizonte B. O caráter coeso, além de estar presente logo abaixo do A, atinge, nos Argissolos, maior profundidade no B. A presença de fragipã, correspondendo a parte do horizonte B, é outro aspecto constatado apenas nos Argissolos.

Quimicamente, são similares aos latossolos, ou seja, são ácidos e fortemente ácidos, com predomínio de solos álicos e distróficos. Quanto à mineralogia das frações areia (fina e grossa), são também similares aos latossolos, havendo predomínio quase exclusivo de quartzo. No que diz respeito à mineralogia da argila são também constituídos quase que totalmente por caulinita.

### c) Argissolos Acinzentados

Ocorrem em pequenas áreas dos tabuleiros, sobretudo em áreas abaciadas ou onde o relevo é plano e não há escoamento superficial das águas. São de coloração acinzentada (principalmente bruno muito claro, acinzentado e branco) com valores 7 e 8 e croma 2 ou 3. Apresentam textura média ou argilosa no B e arenosa ou média no A. Por vezes, mostram uma acentuada diferença de textura do A para o B, chegando a ser abruptos. Alguns perfis apresentam fragipã, sobretudo nos solos que são encontrados em áreas deprimidas. Quimicamente, são ácidos a fortemente ácidos, com baixa saturação por bases

e, normalmente com alta saturação por alumínio trocável sendo, portanto, distróficos ou álicos.

#### d) Espodossolos

São encontrados em pequenas áreas deprimidas sobre os Tabuleiros Costeiros. São caracterizados por apresentarem horizonte B de acumulação de matéria orgânica iluvial (Bh) e/ou horizonte B de concentração de óxidos de ferro e alumínio (Bs). Frequentemente, apresentam fragipã ou duripã a profundidades variáveis de 80 a 200 cm. Há predomínio de solos com horizonte E álico, porém, em alguns locais o horizonte E é pouco expressivo ou pode estar ausente.

A textura normalmente é arenosa tanto no A quanto no B, porém ocorrem solos de textura média e raramente argilosa no B. São solos muito pobres, tipicamente ácidos a fortemente ácidos, com baixa saturação por bases e, mais comumente, com alta saturação por alumínio. A utilização agrícola desses solos é bastante restrita pela presença de horizonte de impedimento (fragipã e duripã) que mantém o lençol freático alto na época chuvosa, além da baixa fertilidade, com carência de macro e micronutrientes.

#### e) Neossolos Quartzarênicos e Plintossolos

São solos pouco expressivos ocupando pequenas áreas nos Tabuleiros Costeiros. Os primeiros denominados Areias Quartzosas na antiga nomenclatura, são caracterizados por apresentar textura areia ou areia franca, constituída essencialmente de quartzo, saturação por bases muito baixa, ácidos a fortemente ácidos e com saturação por alumínio trocável, normalmente alta. Os Plintossolos se restringem a algumas pequenas depressões, apresentam um horizonte plíntico na parte subsuperficial, também são muito pobres em nutrientes, ácidos com alta saturação por alumínio trocável. A maior restrição que esses

solos apresentam ao uso agrícola decorre da drenagem imperfeita, resultante da presença de plintita em superfície.

### **2.3. Horizontes Coesos**

O caráter coeso observado em grande parte dos solos dos Tabuleiros Costeiros abrange, aproximadamente, dez milhões de hectares, apenas na região do Nordeste Brasileiro (Jacomine, 1996; Rezende, 2000). A presença de horizontes coesos, aliada a má distribuição das chuvas da região, são as principais limitações do meio físico para a obtenção de elevada produtividade das culturas. Nessas condições, as presenças de seções coesas e de regime climático com longos períodos de déficit hídrico, resultam em elevada resistência do solo à penetração das raízes, prejudicando o rendimento potencial das lavouras. O horizonte coeso é uma característica pedogenética, típica dos solos predominantemente caulínicos, desenvolvidos de sedimentos terciários do grupo Barreiras e formações correlatas. Não devem ser confundidos com fragipãs e duripãs, que também tem altos níveis de coesão, porém, tem pedogênese diversa, ocorrem em profundidades distintas e tem diferentes implicações em relação ao manejo (Workshop – EMBRAPA, 2001 citado por Ribeiro, M, R). Solos com caráter “Coeso” têm sido reconhecidos em diversos países e são identificados como “hardsetting” (Mullins et. al., 1987; Mullins et. al., 1990).

A origem das camadas coesas ainda é um assunto polêmico, estando associada a vários processos, como por exemplo: perda do plasma argiloso das camadas superficiais para as subjacentes, nos solos (argiluviação); presença de compostos orgânicos pouco polimerizados; presença de sílica secundária, ferro e argila dispersa nos microporos; adensamento por dessecação resultantes da alteração da estrutura do solo pela alternância

de ciclos de umedecimento e secagem. Esta última hipótese baseia-se no pressuposto de que, durante o período seco os agentes cimentantes são desidratados e a argila é consolidada a ponto de promover o adensamento e que, durante o período úmido, os agregados são destruídos devido ao aumento da pressão de ar no seu interior. É provável, no entanto, que a maioria desses processos ocorram simultaneamente e que a intensidade com que as camadas coesas são formadas esteja relacionada às variações climáticas e morfoedológicas existentes nas diferentes unidades geoambientais que compõem os tabuleiros (Cintra et al. 1997).

A dinâmica da água no solo, vital para o crescimento e desenvolvimento das espécies vegetais, é um dos principais fatores afetados pela presença de camadas coesas nos solos de tabuleiro na medida em que impõe grandes alterações no fluxo de água e ar e, conseqüentemente, nos fatores físicos de crescimento: potencial de água no solo, aeração, temperatura e resistência à penetração de raízes.

## **2.4. Caracterização Física e Hídrica**

A caracterização dos solos quanto aos aspectos físicos e hídricos, é fundamental para a compreensão das inter-relações solo/água/planta/atmosfera, indispensáveis para o adequado desenvolvimento das plantas e elaboração de projetos de irrigação ajustados ao meio ambiente.

As principais características físicas e hídricas que identificam o solo são:

### **2.4.1. Textura**

A textura do solo, também denominada “granulometria” ou “distribuição do tamanho das partículas minerais”, depende das características da rocha matriz e dos agentes naturais de formação do solo, sendo a característica física mais estável, podendo

sofrer lentas modificações ao longo dos anos por influência de práticas de manejo e da cobertura vegetal (Baver et al., 1973). O seu uso mais importante, refere-se à descrição, identificação e mapeamento dos solos, no entanto, também é muito utilizada para prognosticar algumas propriedades físicas como é o caso da retenção de umidade, infiltração e condutividade hidráulica do solo (Leite, 1979), e algumas propriedades químicas como, por exemplo, a capacidade de troca de cátions (Antônio & Dorfman, 1986).

#### 2.4.2. Densidade das partículas

A densidade das partículas é definida como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra de solo e o volume ocupado pelas suas partículas sólidas (Kiehl, 1979). Refere-se, portanto, ao volume de sólidos de uma amostra de terra, sem considerar a porosidade. A densidade das partículas é calculada pela seguinte expressão:

$$D_p = \frac{M_s}{V_s} \quad (01)$$

Em que:

$D_p$  = densidade das partículas,  $\text{g.cm}^{-3}$ ;

$M_s$  = massa do solo seco, g;

$V_s$  = volume dos sólidos ou das partículas do solo,  $\text{cm}^3$ .

A principal utilização da densidade de partículas é nas expressões matemáticas, em que se calculam volumes ou massas de sólidos das amostras, porosidade total, análise do tamanho das partículas baseada em sua taxa de sedimentação em líquido, além de fornecer uma idéia aproximada da composição mineralógica do solo, bem como, do seu conteúdo orgânico (Forsythe, 1973; Kiehl, 1979). Nos Argissolos arenosos dos Tabuleiros Costeiros, por exemplo, a densidade das partículas varia entre 2,60, na superfície do solo, a 2,64  $\text{g.cm}^{-3}$  no horizonte B. Quantitativamente as densidades das partículas variam muito

de acordo com a constituição mineralógica do perfil e conteúdo de matéria orgânica. Pesquisas têm mostrado que a densidade das partículas será tanto menor quanto maior for o conteúdo de matéria orgânica no solo (Silva & Duarte, 1980).

### 2.4.3. Densidade global

Densidade global do solo, ou simplesmente densidade do solo, pode ser definida como sendo a massa do solo seco em estufa a 105 °C, contida numa unidade de volume, calculada com base na seguinte equação:

$$Dg = \frac{Ms}{V_t} \quad (02)$$

Em que:

$Dg$  = densidade global,  $g \cdot cm^{-3}$ ;

$M_s$  = massa do solo seco, g;

$V_t$  = volume total do solo,  $cm^{-3}$ .

A densidade global é uma propriedade física de grande importância para a verificação da condição estrutural, compactação e manejo do solo (Cirino, 1992). Este parâmetro não é constante, varia com a textura e estrutura do solo e, em geral, aumenta com a profundidade, em virtude do maior adensamento, menor agregação e diminuição da matéria orgânica das camadas inferiores, (Staple, 1975; Cavalcante & Fernandez, 1979; Kiehl, 1979; Reichardt, 1987, Prevedello, 1996).

A determinação da densidade global dos horizontes de um perfil de solo fornece informações importantes sobre o uso da terra para fins agropecuários indicando culturas, como por exemplo, as produtoras de raízes e tubérculos, que preferem solos pouco densos (Kiehl, 1979). A densidade global é utilizada também no cálculo da porosidade total, na transformação de dados analíticos obtidos em peso para volume, na verificação do grau de compactação e na elaboração de recomendações de manejo de solo e água (Kiehl, 1979;

Reichardt, 1985). A maioria das culturas é seriamente prejudicada quando a densidade global do solo ultrapassa determinados valores, devido ao impedimento mecânico ao crescimento das raízes e, em algumas situações, promovendo condições de saturação do solo, com redução nos níveis de O<sub>2</sub> (Fernandez et. al., 1980).

A densidade global tem importância fundamental no estudo da gênese dos solos de Tabuleiros Costeiros. Os horizontes coesos, seja nos Latossolos ou Argissolos, tem origem pedogenética, apresentando aumento de densidade global e decréscimo da macroporosidade em relação aos horizontes adjacentes do mesmo perfil. A densidade média desses horizontes, situa-se na faixa de 1,5 a 1,8 g/cm<sup>3</sup>, enquanto nos horizontes superficiais, em condição natural, varia de 1,2 a 1,4 g/cm<sup>3</sup>. Entretanto a densidade média dos horizontes superficiais pode ser muito afetada pelo manejo do solo, elevando-se para uma faixa de 1,3 a 1,8 g/cm<sup>3</sup>. Nestas condições, os horizontes superficiais tornam-se compactados ou adensados (Carvalho e Silva, 2001). Maia (2000) investigando o efeito do cultivo contínuo da cana-de-açúcar sobre propriedades de um Argissolo Amarelo fragipânico do Estado de Alagoas, verificou que houve um aumento da densidade global e redução da macroporosidade e da porosidade total nos perfis cultivados.

#### 2.4.4. Porosidade Total

A porosidade total é a percentagem do volume total do solo ocupado pelos poros.

$$P_t = \frac{V_p}{V_t} \quad (03)$$

Sendo:

P<sub>t</sub> = porosidade total, %;

V<sub>p</sub> = Volume dos poros, cm<sup>3</sup>.

V<sub>t</sub> = Volume total, cm<sup>3</sup>

Kiehl (1979) e Prevedello (1996), ressaltam o papel do espaço poroso na retenção de água, aeração e no desenvolvimento do sistema radicular, chamando a atenção para o fato de que, mais importante que a porosidade total, é a distribuição do tamanho dos poros. Leite (1979), ao estudar diferentes solos, encontrou que a porosidade total nos solos argilosos é superior aos dos solos arenosos e que os argilosos tem uma alta capacidade de retenção de água e baixa permeabilidade devido a presença de grande quantidade de poros pequenos. Para Grohmann (1972), dependendo da natureza da distribuição das partículas, o solo pode ter uma porosidade mínima de cerca de 30% e uma máxima de 80%. Normalmente, valores da porosidade do solo são da ordem de 40-60%, devido à reunião das partículas unitárias em microagregados e agregados do solo.

A porosidade total corresponde a soma das porcentagens de poros assim representados: poros grandes (macroporos), poros medianos (mesoporos) e poros pequenos (microporos), os quais respondem pela maior parte da água armazenada no solo. Prevedello (1996) resalta que os diversos processos de transporte que ocorrem nos poros estão relacionados ao tamanho dos mesmos, os macroporos, por exemplo, são mais importantes para a drenagem da água do solo após a ocorrência de fortes chuvas ou inundações. Quando a água contida nos macroporos é drenada, os mesoporos ganham importância na redistribuição da água, sem haver uma diferenciação nítida nessa passagem. A partir daí esse movimento continua a se processar, muito mais lentamente, dentro dos microporos e, parte dessa água remanescente, é que garante a sobrevivência de muitas espécies vegetais.

Devido a importância que o meio poroso exerce na drenagem interna da água no solo, vários métodos têm sido propostos para a obtenção do volume total e da distribuição do tamanho dos poros no solo. Da mesma forma, várias definições têm sido usadas para classificar os diferentes tamanhos dos poros. Segundo Castle & Krezdorn (1975), citado

por Cintra (1997), os poros podem ser divididos em não capilares (macroporos) que não retêm água contra a força da gravidade e os capilares (microporos) que são capazes de armazenar água a tensões superiores à força da gravidade. Libardi (1995), citado por Cintra (1997), cita a classificação de Koorevaar (1983)<sup>1</sup>, o qual classifica os poros em: a) macroporos, com diâmetro superior a  $100 \mu m$ , e cujas funções seriam de promover a aeração do solo e a condução da água durante sua infiltração; b) mesoporos, com diâmetro entre 30 e  $100 \mu m$ , nos quais a condução de água se processaria durante a redistribuição e c) microporos, com diâmetro inferior a  $30 \mu m$ , que atuariam na armazenagem e nos quais a água apresentaria um movimento muito lento.

#### **2.4.5. Curva de Retenção da Água do Solo**

A curva característica de umidade, também conhecida como curva de retenção de água, possuem notável importância teórica-prática, em especial para o conhecimento das relações solo-água-plantas, assim como, das características físicas do solo. A Sociedade Americana da Ciência do Solo conceitua a curva característica de umidade como “a relação entre o conteúdo de água do solo (em peso ou volume) versus a tensão ou pressão aplicada” (Pina, 1999).

Existem vários métodos para a determinação da curva de retenção, (Psicrômetro, Extrator de Pressão, Tensiômetros, Mesa de Tensão ou Funil de Buchner, Método de Campo, TDR, etc.), porém, para obtenção de uma curva em toda a faixa de umidade que vai da saturação até a umidade residual, mais de um método tem que ser empregado (Faria, 1998). Atualmente, um modelo matemático muito utilizado para descrever o comportamento da curva característica da água do solo, é a equação desenvolvida por van Genuchten (1980).

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[ \frac{1}{1 + (\alpha \psi_m)^n} \right]^m \quad (04)$$

Onde  $\theta$  é o conteúdo de umidade para um dado potencial ( $\Psi_m$ ),  $\theta_s$  é o conteúdo de umidade do solo na saturação,  $\theta_r$  é o conteúdo de umidade residual do solo e  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$  são parâmetros que dependem da forma da curva de retenção. Assumindo que  $m = 1 - 1/n$ , nota-se que os únicos parâmetros necessários para a equação são,  $\theta_s$ ,  $\theta_r$ ,  $\alpha$  e  $n$ .  $\theta_s$  podem ser determinados a partir dos valores de densidade do solo e de densidade das partículas do solo, restando apenas,  $\theta_r$ ,  $\alpha$  e  $n$  para serem estimados através do ajuste do modelo não linear.

Uma das utilidades da curva de retenção está em estimar o potencial matricial ( $\psi_m$ ) conhecendo-se a umidade do solo ( $\theta$ ) ou vice-versa. Como na prática, a determinação da umidade é bem mais simples, o  $\psi_m$  é, em geral, inferido a partir da curva de retenção de água. A Curva de retenção é fortemente afetada, entre outros fatores, pela textura, pela estrutura e teor de matéria orgânica do solo. Segundo OR & Wraith (1997), citados por Faria (1998), a curva característica da umidade do solo é também útil para o manejo da irrigação, para modelagem do fluxo de água no solo e para a determinação de parâmetros como a condutividade hidráulica em solo não saturado. O potencial matricial inferido a partir da umidade do solo ou vice-versa é afetado pelo fenômeno da Histeresis (Carvalho, 2000).

Sob a ação de baixas tensões, as forças capilares e adsortivas predominam na matriz sólida do solo e a influência da textura e estrutura torna-se realçada. A medida que os potenciais decrescem, o fenômeno de adsorção é mais evidenciado e o efeito de distribuição dos poros torna-se menos expandido (Aurélio, 1992). De acordo com Pina (1999), Salter & Willian (1965), a retenção de água por um solo, tanto na capacidade de

campo (0,33 bar) quanto no ponto de murchamento permanente (15,00 bares), aumenta de solos arenosos para os argilosos em função de suas características texturais. Os solos de textura fina, de maior superfície específica, retém mais água que os de textura mais grosseira.

#### **2.4.5.1. Capacidade de Campo**

A Sociedade Americana da Ciência do Solo define “capacidade de campo” como sendo a percentagem de água que permanece no solo dois a três dias após ter sido saturado e depois da drenagem livre ter praticamente cessado. Pelo fato do movimento de água no solo ser um processo dinâmico e a drenagem praticamente não cessar, o conceito de capacidade de campo é pouco consistente. O sistema dinâmico de remoção de água por meio de drenagem, evaporação e transpiração e a água que é adicionada por meio da chuva ou de irrigação, incluindo a histerese, temperatura do solo, textura, estrutura, etc, impedem o suposto equilíbrio.

É muito importante, no entanto, o conhecimento teórico da capacidade de campo, pois constitui o limite superior da água disponível no solo, parâmetro indispensável na elaboração de projetos de irrigação, drenagem e conservação de solos. Segundo Daker (1976), os solos com elevada capacidade de campo são os que apresentam melhores condições à exploração agrícola, já que, nessa condição, encontra-se com a máxima quantidade de água que pode ser retida contra a ação da força gravitacional terrestre. A capacidade de campo como limite superior de água disponível, é influenciada não somente pela textura, matéria orgânica, porosidade e densidade aparente, mas também pela classe de solo, pela seqüência e espessura dos horizontes (Queiroz & Oliveira, 1975; Boedt & Verheeye, 1985a; Vieira, 1986).

Procurando correlacionar a capacidade de campo com a curva de retenção de água no solo, Vieira (1986) propõe para obter a capacidade de campo os seguintes critérios: a) solos muito argilosos e orgânicos: teor de umidade sob tensão de 1,0 bar; b) solos argilosos e barrentos: teor de umidade sob tensão de 0,33 bar; c) solos limosos e arenosos: teor de umidade sob tensão de 0,10 bar. Pina (1999) em estudos com solos de diferentes texturas, recomenda que para se conhecer com exatidão a capacidade de campo, a tensão utilizada no laboratório deve ser inferida da curva de retenção da água do solo, devidamente ajustada, utilizando-se os dados de umidade obtidos através do método de campo.

#### **2.4.5.2. Ponto de murcha permanente**

O ponto de murcha permanente é definido como a porcentagem de água que o solo retém quando as plantas que nele crescem adquirem um estado de murchamento permanente, não conseguindo recuperar sua turgidez mesmo quando submetidas em ambiente saturado com água. Pode ser considerado como o limite inferior da reserva de água disponível do solo às plantas (Ramirez & Lopez, 1993).

Segundo Gavande (1972) o ponto de murcha permanente é uma característica do solo, que inclui não somente a quantidade de água, mas também, a velocidade com que a esta se movimenta nas raízes da planta. Bernardo (1995), afirma que é muito difícil determinar o ponto de murcha permanente em condições de campo, por que o teor de umidade no solo, ou a sua tensão, varia com a profundidade, e sempre haverá movimento de água de outros pontos para a zona do sistema radicular da planta.

Loveday (1974) Ramirez & Lopez (1993) enfatizam que a murcha das plantas sob condições de campo depende não só da tensão da umidade do solo, mas também da taxa de evapotranspiração, da capacidade de desenvolvimento das raízes das plantas e da

condutividade hidráulica do solo. Ressaltam ainda, que a murcha não ocorre a uma tensão fixa de umidade do solo para todas as plantas, porém, quinze atmosferas foi o valor escolhido como um número médio adequado em que, pode-se dizer, ocorre a murcha permanente. Vários trabalhos de pesquisa indicam que a umidade nessa tensão, corresponde ao ponto de murcha permanente de diferentes solos agrícolas (Vieira, 1986). Na prática, a planta nunca deve ser submetida ao murchamento permanente. Para a maioria das culturas, as irrigações são planejadas para retornarem antes de se consumir 50% da água disponível.

#### **2.4.5.3. Água disponível**

A água disponível do solo para as plantas é a umidade retida entre o limite superior (capacidade de campo) e o limite inferior (ponto de murcha permanente) da água disponível no solo (Veihmeyer & Hendrickson citado por Boedt & Verheye, 1985). Este conceito é motivo de controvérsias sem que ainda seja possível definir uma estrutura teórica compreensível que levasse em consideração todo o conjunto de fatores que afetam o regime hídrico do sistema solo, planta e atmosfera. Segundo Carvalho (1978), a quantificação da água disponível no solo, tem por objetivo prover um fornecimento equilibrado de água às plantas em todas as fases do crescimento e da produção, nos intervalos entre as chuvas ou as práticas de irrigação.

A maioria dos estudos sobre a dinâmica da água no solo tem contribuído para consolidar a tese de que a água disponível para as plantas está relacionada aos seus diferentes estados de energia e deve ser vista dentro de um conceito biofísico, onde deverão estar envolvidos a planta com toda a sua parte aérea, sistema radicular e as condições de fornecimento de água via precipitação pluvial ou irrigação, além de todas as características físicas do solo que interferem nos fatores físicos de crescimento como

potencial e conteúdo de água no solo, aeração, resistência à penetração das raízes e temperatura do solo.

Muitos estudos de relações hídricas no solo são fruto da grande importância da água para a produtividade agrícola, uma vez que a deficiência hídrica diminui a produtividade e a qualidade das colheitas (Syvertsen, 1985). O sabor dos frutos, a densidade das madeiras e a predisposição da planta ao ataque de pragas e doenças também estão em função da água disponível para a planta (Kozłowski, 1968). De acordo com Letey (1985), o intervalo de água não limitante ao crescimento das plantas, pode ser reduzido pela baixa aeração e alta resistência mecânica à penetração das raízes, como consequência de densidades muito elevadas. Situação como essa foi encontrada por Cintra (1997), ao estudar a disponibilidade de água em solo de Tabuleiro Costeiro para porta-enxertos de citros. O autor menciona que a presença de uma camada adensada próxima a superfície do solo, associado ao regime climático característico da região, promoveu importantes alterações no potencial de água e na aeração do solo, com reflexos negativos na disponibilidade de água no solo e no desenvolvimento do sistema radicular dos citros.

#### **2.4.6 Condutividade Capilar**

A condutividade hidráulica é o coeficiente de proporcionalidade da equação de Darcy e expressa a capacidade de transmissão de água no solo (Carvalho, 2000); é definido por Libardi (1995), "como um coeficiente que expressa a facilidade com que um fluido é transportado através do meio poroso e que depende tanto das propriedades do meio como das do fluido". Para determinação da condutividade hidráulica é necessário criar um plano de fluxo nulo o que se consegue cobrindo a superfície do solo para impedir possíveis trocas com a atmosfera. É uma propriedade que depende das características do solo, especificamente do sistema poroso (porosidade total, distribuição do tamanho dos poros e

tortuosidade) e das características do fluido (densidade e viscosidade). A sua avaliação é de fundamental importância na resolução de problemas práticos ligados ao manejo de irrigação e drenagem, visto que, a maior parte dos processos que envolvem o movimento de água em condições de campo, ocorre quando o solo se encontra não saturado. A descrição quantitativa do movimento de água nessas condições é muito complexa, dada a variação constante do conteúdo de umidade (Fernandez, 1980).

Filho (1992), citado por Andrade (1997), afirma que solos de geometria idêntica não tem necessariamente propriedades hidráulicas idênticas. Para Klar (1988), citado por Andrade (1997), além da textura, outras variáveis do solo afetam a condutividade, tais como: estrutura do solo, porosidade e principalmente o tamanho dos poros, o qual permite aos solos arenosos apresentarem maiores valores de condutividade hidráulica, em condições de saturação, que os de texturas mais finas. Carvallo & Azevedo (1975), trabalhando com solos em Bebedouro, observaram que quando o teor de argila aumentava, o valor de condutividade hidráulica decrescia.

Diversos são os métodos utilizados para se determinar a condutividade hidráulica em solos não saturados, os quais são classificados como: empíricos, de laboratório e de campo.

#### a) Métodos empíricos

Devido as dificuldade para se determinar a condutividade hidráulica, diversos modelos empíricos tem sido formulados para estimar essa característica, normalmente a partir da medição de outras propriedades do solo, mais fáceis de se medir (Carvallo, 2000). Entre os diferentes métodos propostos para a determinação da condutividade hidráulica de solos não saturados, tem os que se baseiam a) na solução da equação de Richards; b) na distribuição do tamanho dos poros do solo e c) nos métodos que procuram relacionar a condutividade hidráulica estimada por um dado método, com outras propriedades do solo.

O modelo baseado na distribuição do tamanho dos poros depende da geometria e da distribuição espacial dos poros, por onde a água se movimenta. Childs & Collis – George (1950), Marshall (1958), Millington & Quirk (1959, 1960), Mualem (1976), Anderson & Bouma (1973), desenvolveram expressões matemáticas para o cálculo da condutividade hidráulica do solo não saturado a partir da distribuição de poros.

#### b) Métodos de laboratório

As medidas de condutividade hidráulica em laboratório podem ser feitas através dos seguintes métodos: Permeâmetro (Kessler, 1980); método de Reichardt (Reichardt et al, 1975); método do ar quente (Ayra et al, 1975) e o método do fluxo de água na membrana de pressão (Gardner, 1956).

Para a medida de condutividade hidráulica utilizando permeâmetro, de carga constante ou variável, as amostras de solo são devem ser coletadas em cilindros de dimensões conhecidas, devendo-se preservar, ao máximo, a sua estrutura natural (Kessler & Oosterban, 1980). A condutividade é medida aplicando-se um gradiente de potencial total constante, através da amostra e medindo a densidade de fluxo de água resultante (Carvalho, 2000). A utilização de permeâmetros pode ser prejudicada, pela dificuldade em se obter amostras representativas, pelo tempo necessário para se coletar e preparar as amostras e por problemas relacionados à presença de bolhas de ar durante as medições (Cassel, 1975).

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 limitações: a primeira é que consome muito tempo e requer equipamentos específicos e demandam técnicas rigorosas de amostragem; a segunda é o pequeno tamanho da amostra, que pode ocasionar 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; citado por Filho, 1989).

### c) Métodos de campo

As determinações de campo, embora mais precisas, são muito trabalhosas e difíceis, requerendo instrumentação nem sempre disponível (Carvalho & Azevedo, 1975; citado por Filho, 1989). São importantes, no entanto, a fim de se fazer um uso prático de tais dados, proporcionando informações no próprio local onde se deseja implantar as culturas (Filho, 1989).

Dentre os vários métodos desenvolvidos para se determinar a condutividade hidráulica, os mais conhecidos são o do perfil instantâneo e o da Umidade de Libardi. O método do perfil instantâneo, segundo Luc (1978), é o único que permite obter, *in situ*, a relação entre a condutividade hidráulica e a umidade volumétrica (curva  $K(\theta)$ ). Richards, Gardner & Ogatta, (1956), segundo Klute (1972), foram os primeiros a utilizar o "Método do Perfil Instantâneo" sob condições de campo. Através deste método, procura-se uma solução para a equação de Richards na direção vertical, saturando-se o perfil de solo e impedindo o fluxo de água através de sua superfície.

O método do perfil instantâneo consiste em se delimitar com diques de madeira, zinco ou similar, uma área plana, de largura variável (é comum utilizar-se o diâmetro de 5 m) de tal forma que seja possível saturar o perfil do solo até a profundidade desejada. Obtida a saturação, suspende-se o fornecimento de água e espera-se que infiltre no solo até o estado de lama. Nesse instante, cobre-se esta área com plástico preto, para evitar evaporação na superfície do terreno ou entrada de água. Deve-se instalar, equipamentos para medição do potencial de água e umidade do solo em tempo real. A condutividade hidráulica é determinada em função da variação do conteúdo de água no solo ( $d\theta/dt$ ) e da tensão matricial ( $d\Psi/dt$ ), de acordo com a equação:

$$\overline{Kz} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \int_0^z (d\theta/dt) dz dt}{\{(d\Psi/dz) + 1\}(t_2 - t_1)} \quad (05)$$

sendo:  $Kz$  média da condutividade hidráulica para o intervalo  $t_1 - t_2$ ,  $z$  a profundidade considerada,  $\Psi$  o potencial matricial e  $\theta$  o conteúdo de água volumétrico.

Carvallo (2000), chama a atenção para o fato de que, embora os valores obtidos representem muito bem a condutividade hidráulica do solo, este método é o trabalhoso e exige muito tempo para a sua execução, o que de fato, dificulta excessivamente a sua determinação em diversas localidades ou ao mesmo tempo. Se a variabilidade espacial da condutividade hidráulica é considerável, a caracterização de uma grande área pode ser um grande problema.

Hillel et. al. (1972), apresentaram um procedimento simplificado para a determinação da condutividade hidráulica pelo método do perfil instantâneo. Estes pesquisadores trabalharam com valores de potencial matricial médio, obtidos das leituras periódicas dos tensiômetros instalados em diversas profundidades e, das respectivas curvas de retenção de umidade, determinaram a umidade média dos solos em diversas profundidades ao longo do tempo de redistribuição da água no perfil do solo.

O método da umidade, descrito por Libardi et al. (1995), baseia-se na utilização de uma relação exponencial entre a condutividade hidráulica e a umidade do solo. Esta hipóteses é válida visto que, para a faixa de umidade na qual se trabalha sob condições de campo, ela quase sempre se verifica com um alto coeficiente de correlação. O método utiliza ainda uma hipóteses bastante válida para a drenagem de um perfil de solo, que é a de considerar o gradiente de potencial unitário ( $d\phi/dz = 1$ ). Assim chega-se a seguinte expressão:

$$K(\theta) = K_0 e^{\gamma(\theta - \theta_0)}$$

Onde  $K_0$  e  $\theta_0$  são a condutividade hidráulica e o conteúdo de água do solo sob condições de infiltração em equilíbrio dinâmico,  $\theta$  a umidade atual do solo e  $\gamma$  uma constante igual ao inverso do coeficiente angular da reta  $\theta - \theta_0$  versus  $\ln t$ . O procedimento de campo é similar ao método do perfil instantâneo.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Área experimental

##### 3.1.1 Localização

A pesquisa foi realizada no Distrito de Irrigação Platô de Neópolis, situado na região nordeste do Estado de Sergipe, à margem direita do Rio São Francisco, distando, aproximadamente, 110 Km da capital, Aracaju. O relevo da área do experimento é plano, típico dos Tabuleiros costeiros, apresentando declividade menor que 2%. Geograficamente, o Platô de Neópolis encontra-se localizado entre os paralelos 10°17' e 10°24' de latitude Sul e entre os meridianos 36°35' e 35°45' de longitude Oeste de Greenwich, com altitude média de 110 metros em relação ao nível do mar. A Figura 1, mostra a distribuição dos lotes que compõem o projeto Distrito de Irrigação do Platô de Neópolis e a localização da Empresa H. Dantas Agrícola, lote 24, onde o experimento foi realizado.

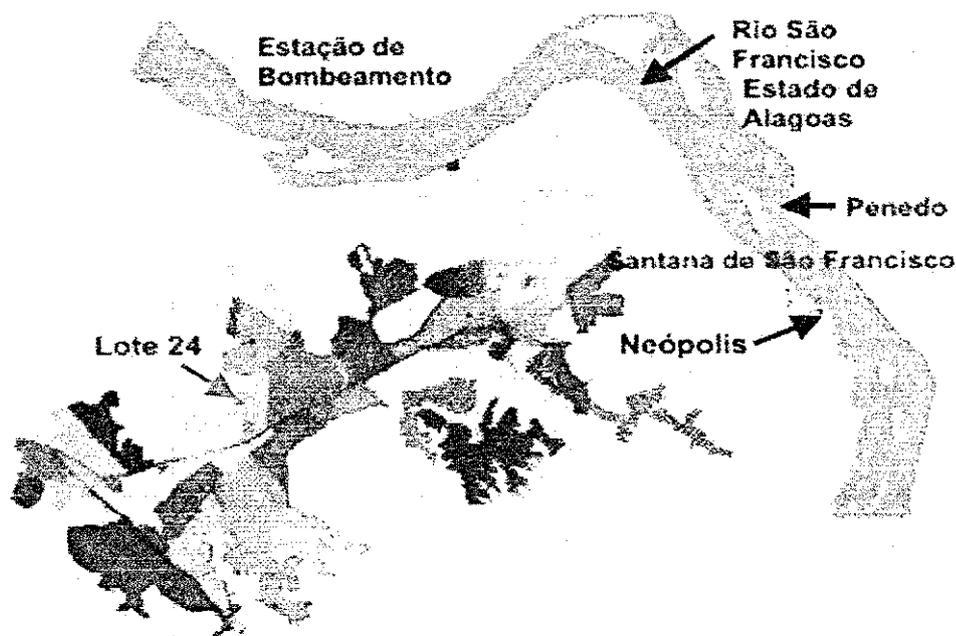


Figura 1. Localização da Empresa H. Dantas Agrícola, lote 24, no Distrito de irrigação Platô de Neópolis, SE

### 3.1.2. Clima e solo

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da área do Projeto é do tipo semi-úmido, com verão úmido e quente, altos níveis de radiação solar e umidade relativa do ar durante todo o ano, verificando-se, no entanto, dois períodos climáticos distintos sendo um, de abril a setembro: estação chuvosa, e outro, de outubro a março estação seca. Nas Figuras 2, 3, 4 e 5 são apresentados dados médios de precipitação pluvial, evaporação, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, correspondente aos anos de 1998, 2000, 2001 e 2002. Com base nessas Figuras, verifica-se que a maior média da precipitação pluvial ocorre no mês de junho com 262,6 mm e a menor média no mês de novembro com 63,3 mm. A temperatura média anual gira ao redor de 25°C, sendo o mês de julho o mais frio, com 18,6°C e o mês de dezembro o mais quente com 32,0 °C. A umidade relativa do ar é mais alta no mês de junho com 76,5% e a velocidade dos ventos atinge seu pico no mês de novembro, com 3,4 m.s<sup>-1</sup>.

Quanto ao solo o experimento foi conduzido num Argissolo Amarelo distrófico fragipânico com características similares ao descrito por Holanda (2000), na Empresa H. Dantas Agrícola.

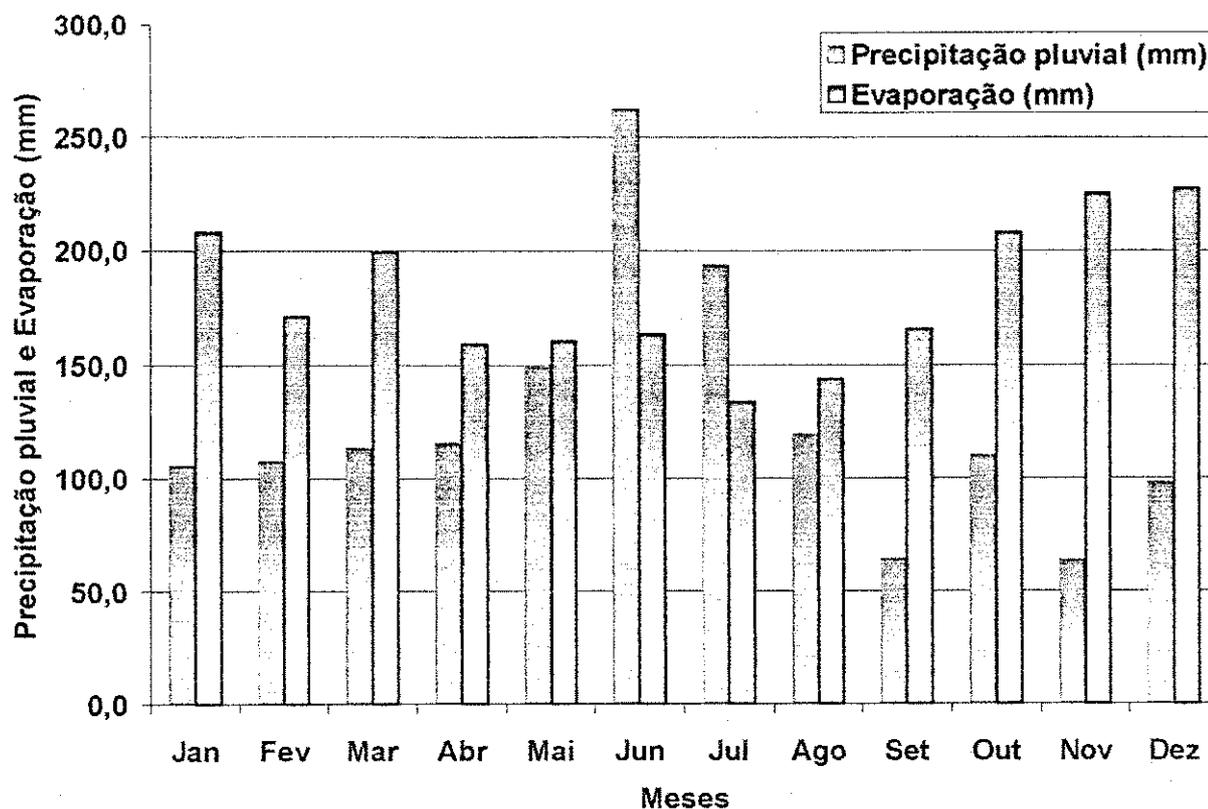


Figura 2. Precipitação pluvial e evaporação na área do experimento. Média dos anos de 1998, 2000, 2001 e 2002. Platô de Neópolis, SE

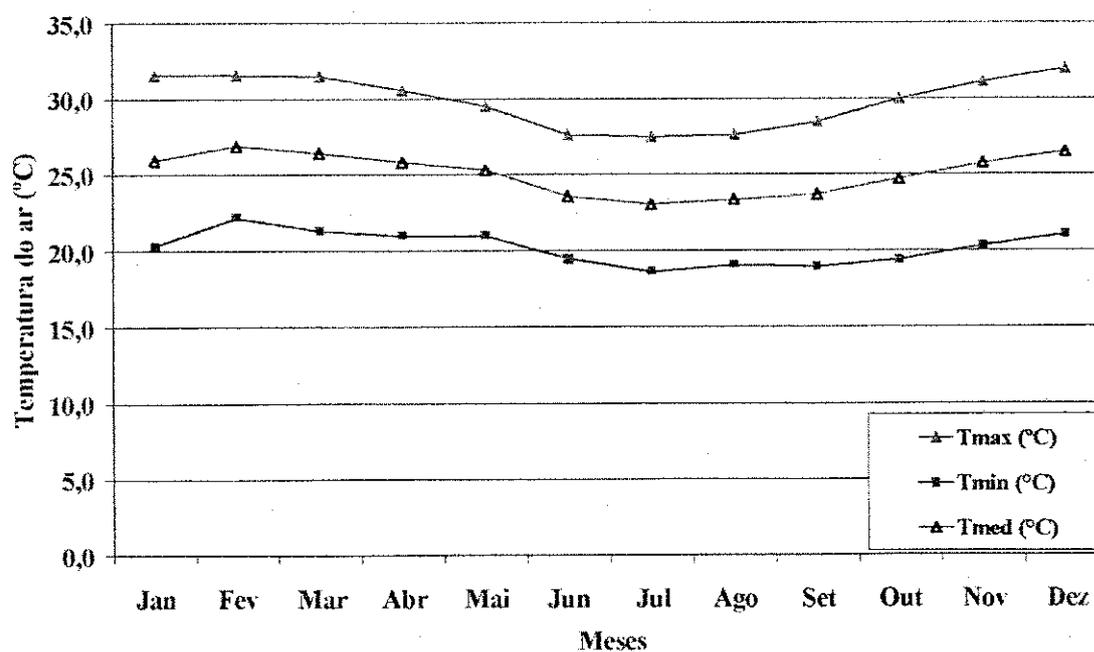


Figura 3. Temperatura média, máxima e mínima na área experimental. Média dos anos de 1998, 2000, 2001 e 2002. Platô de Neópolis, SE

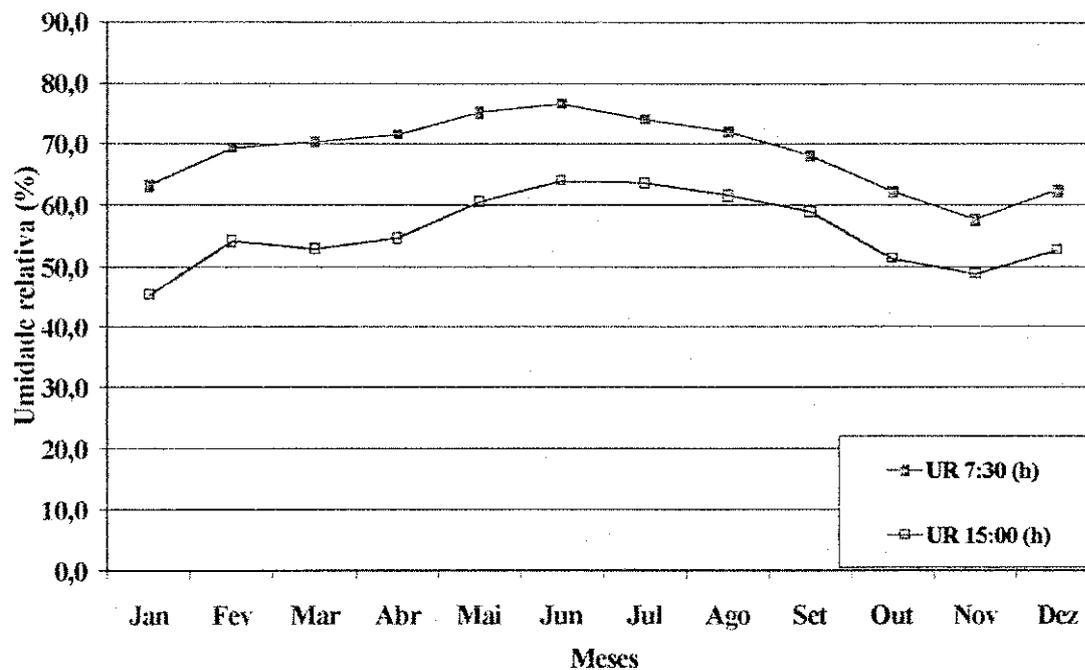


Figura 4. Umidade relativa do ar na área experimental. Média dos anos de 1998, 2000, 2001 e 2002. Platô de Neópolis, SE

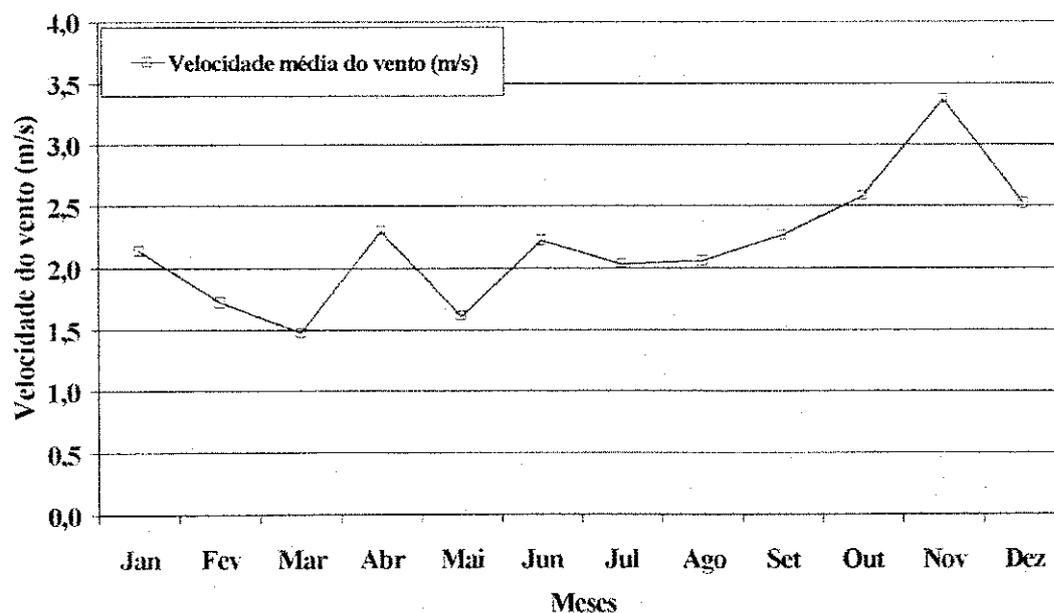


Figura 5. Velocidade do vento na área experimental. Média dos anos 1998, 2000, 2001 e 2002. Platô de Neópolis, SE

### 3.2 Caracterização física e hídrica do solo

Foram coletadas 09 amostras com estruturas indeformadas, nas camadas 0,00-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-0,80, 0,80-1,00 e 1,00-1,20 m, onde 07 delas foram utilizadas para elaboração da curva de retenção de água, e as outras 02 para determinação da densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade. As amostras foram coletadas com um aparelho de Uhland contendo anéis volumétricos com diâmetro e altura de 69,8mm e 59,5 mm, respectivamente. Cada anel era composto por três segmentos iguais e separáveis, utilizando-se o segmento central para realização das análises; este cuidado visou a utilização de amostras com perturbação mínima de sua estrutura.

A determinação da distribuição do tamanho das partículas, densidade global e das partículas, porosidade total (macro e micro) foi feita de acordo com a metodologia proposta pela Embrapa (Embrapa, 1997).

#### 3.2.1 Curva de retenção de água no solo

Para realização da curva de retenção de água, foram utilizadas as seguintes pressões para obtenção de cada um dos pontos selecionados: 1; 4; 10; 33; 100; 500; 1500 kPa. Os equipamentos usados foram o funil de placa porosa, no qual foram aplicadas as pressões de 1; 4; 10 kPa, as câmaras de pressão de Richards de baixa tensão para os pontos 33 e 100 kPa e, as câmaras de alta tensão para determinação dos pontos 500 e 1500 kPa. Ao final da aplicação das pressões, cujo momento era definido quando se constatava o completo cessamento da drenagem, tanto nos funis como nas câmaras de pressão, as amostras de solo eram secas em estufa a 105°C, por 24 horas, para a determinação da massa de sólidos.

Com os valores de umidade associados às tensões aplicadas foram obtidos os parâmetros empíricos da equação proposta por Van Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\phi_m|)^n]^m} \quad (06)$$

Onde:

$\theta$  é a umidade volumétrica ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ),

$\theta_r$  a umidade residual ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ),

$\theta_s$  a umidade de saturação ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ),

$\phi_m$  o potencial mátrico (kPa) e,

$\alpha$ ,  $m$  e  $n$  os parâmetros empíricos da equação.

O ajuste das curvas foi feito utilizando programa de computador desenvolvido por Dourado Neto et al (1990).

### 3.2.2 Água disponível do solo para as plantas

A água disponível do solo às plantas foi calculada pelo produto da diferença entre o conteúdo de água ( $\phi$ ) na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente.

A capacidade de campo foi determinada submetendo uma amostra de solo indeformada e saturada a uma pressão de 10,0 KPa. A umidade no ponto de murcha permanente foi determinado submetendo uma amostra de solo deformada e saturada a uma pressão de 1500KPa.

### 3.2.3 Condutividade hidráulica

A metodologia utilizada foi a da Umidade de Libardi (1980) por ser considerada adequada para solos heterogêneos e com lençol freático profundo, caso do solo utilizado.

O procedimento de campo utilizado foi o seguinte:

1. Delimitar de uma área de 5m x 5m.

2.- Instalar 03 diques, delimitados com folhas de zinco, com 1 metro de altura por 5 metros de diâmetro, enterradas de tal forma que fosse possível aplicar uma lâmina de água de, pelo menos, 0,2 metros de altura, homogeneamente por toda a área represada.

3.- Após o preparo das parcelas foram instalados em cada dique, conjuntos de seis tensiômetros com manômetro de mercúrio nas profundidades 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,1 m, para a medida do potencial mátrico e posterior obtenção da umidade volumétrica a partir da curva de retenção de água.

4. Colocar água até infiltração em regime estacionário.

5. Fazer leituras diárias dos tensiômetros desde a superfície até a profundidade  $z$  durante 47 dias

As Figuras 6, 7, 8 e 9, mostram a metodologia utilizada no campo para a determinação da condutividade hidráulica não saturada.

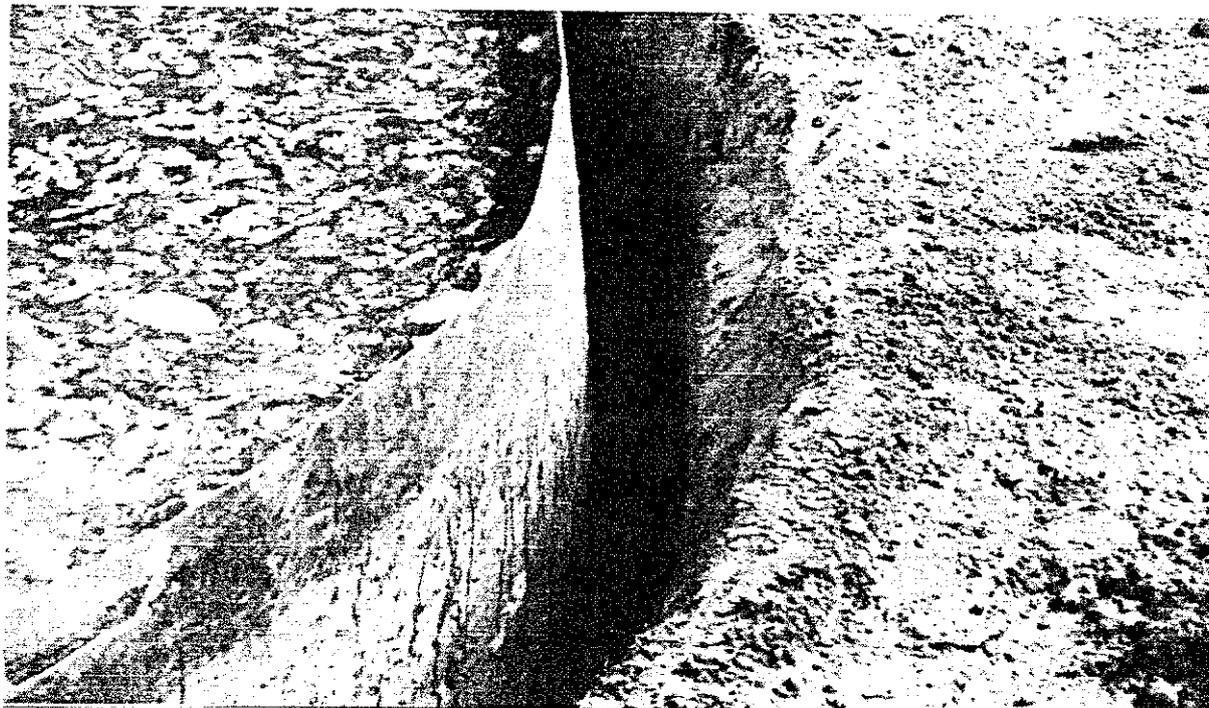


Figura 6. Detalhe da colocação da folha de zinco para represamento da água, necessária à realização do teste. Platô de Neópolis, SE

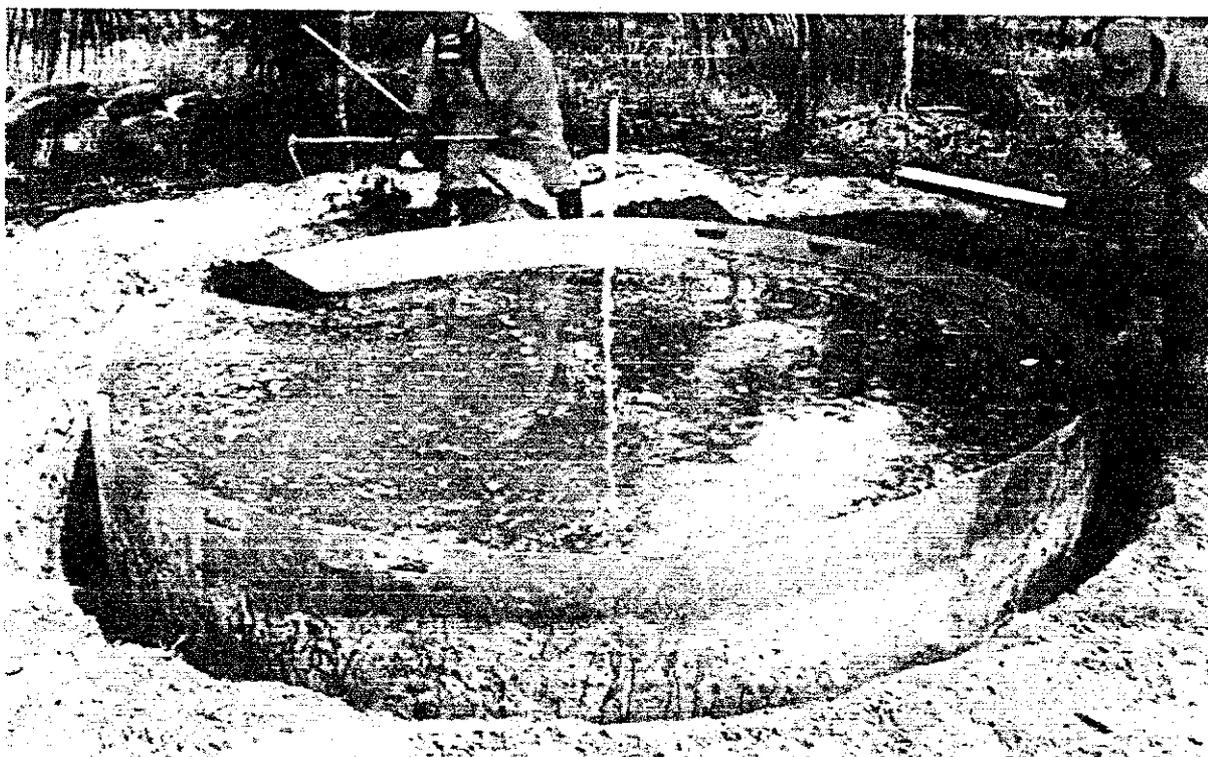


Figura 7. Inundação do dique até a saturação total do perfil do solo. Platô de Neópolis, SE

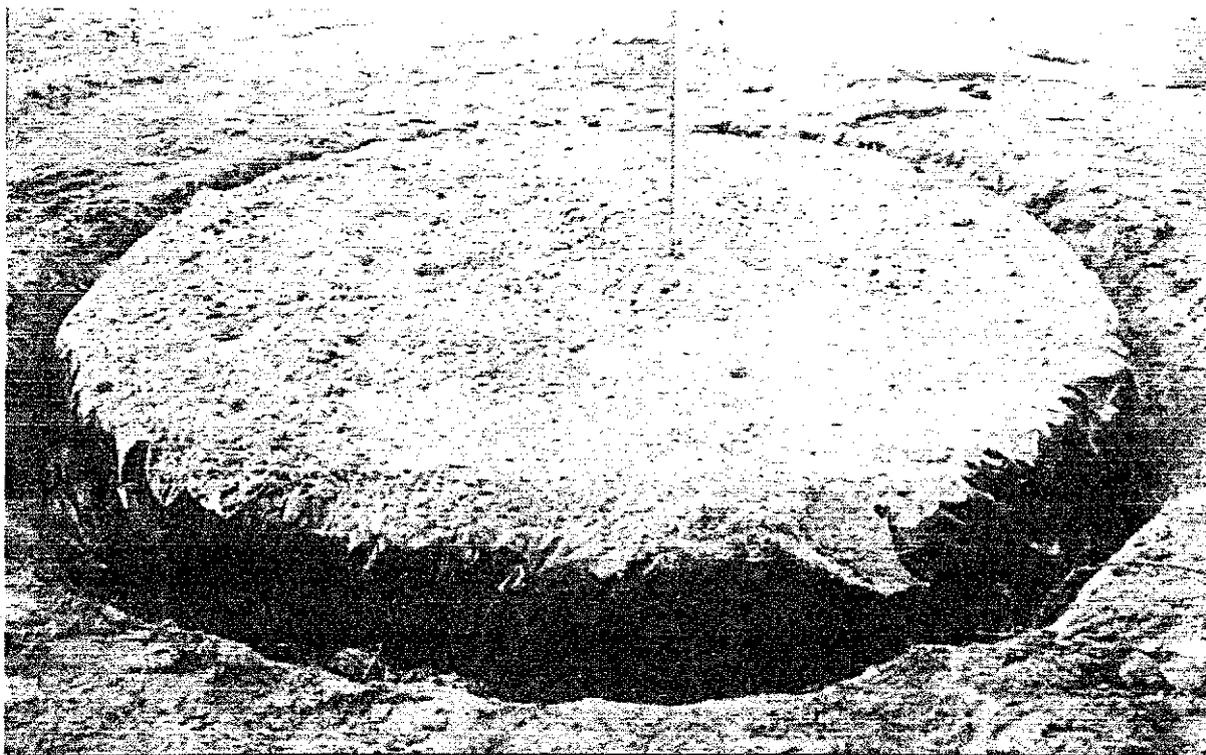


Figura 8. Colocação de pó de serra para isolamento térmico, sobre uma primeira camada de plástico preto, e colocação de tensiômetros para medida do potencial mátrico. Platô de Neópolis, SE

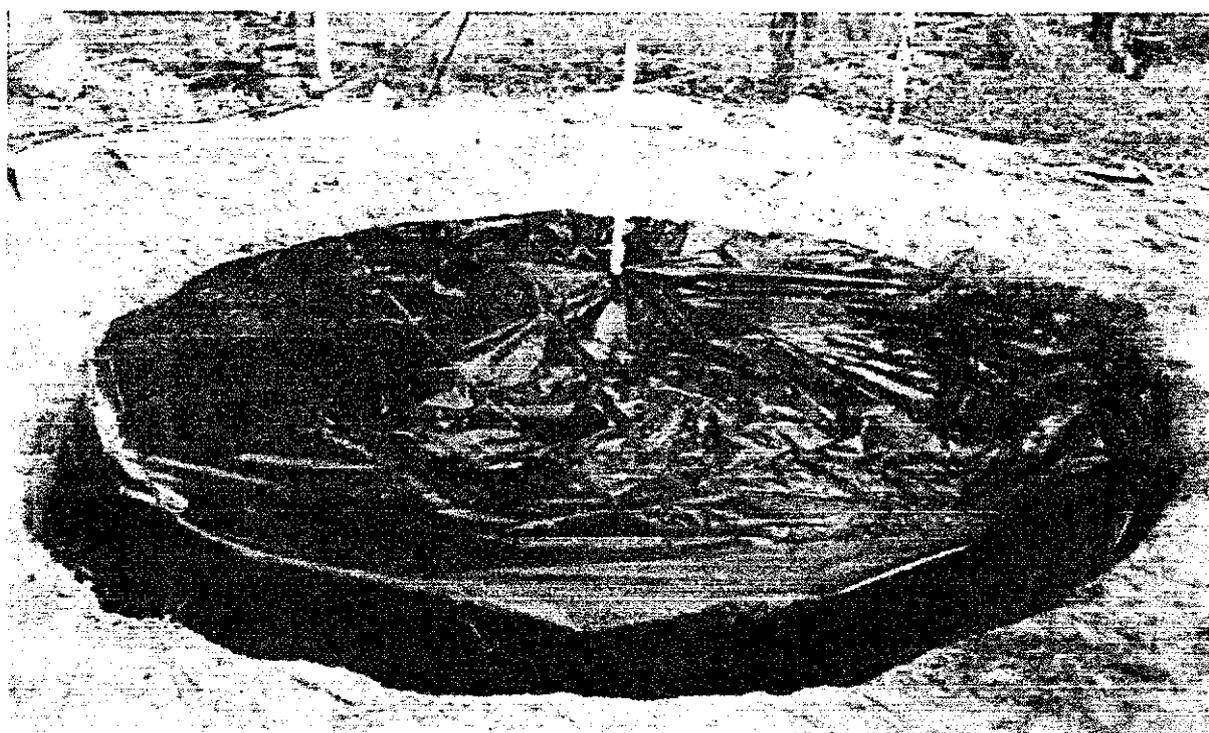


Figura 9. Teste pronto para acompanhamento da drenagem de água no perfil do solo, em função do tempo. Platô de Neópolis, SE

O princípio do método prevê, como visto nas Figuras 6, 7, 8 e 9, a saturação do solo por uma fonte permanente de água até que tenha sido estabelecido um fluxo constante, no caso, até a profundidade de 1,10 m. Esta condição foi considerada satisfeita quando as leituras dos tensiômetros não mais variaram indicando que tinha sido atingida a condição de regime estacionário. Ao ser atingido esse ponto, o fornecimento de água foi interrompido e a área coberta com uma dupla camada de plástico preto, envolvendo material isolante térmico, para atendimento das condições de contorno do método, as quais, prevêem completa ausência de evaporação e de entrada de água através da superfície. (Figura 9). Com estes cuidados, a redistribuição da água pelo processo de drenagem interna, foi monitorada durante 47 dias através das medidas diárias dos potenciais mátricos nas profundidades avaliadas.

O conjunto de tensiômetros foi ligado através de tubos de nylon com 0,002 m de diâmetro e comprimento variável, a uma única cuba de acrílico presa a uma haste de alumínio onde as leituras da altura da coluna de mercúrio foram efetuadas (Figuras 8 e 9). O cálculo do potencial mátrico ( $\phi_m$ ) foi feito com base na equação apresentada a seguir:

$$\phi_m = -12,6h + hc + z \quad (07)$$

onde:

h =- corresponde aos valores medidos na coluna de mercúrio, cujas leituras foram realizadas diariamente no período da manhã;

hc = distância entre a superfície do solo e o nível superior da coluna de mercúrio na cuba e;

z = a profundidade de instalação da cápsula porosa.

Para o cálculo da condutividade hidráulica  $K(\theta)$  seguiu-se o seguinte procedimento:

- a) Construção do gráfico  $\theta - \theta_0$  versus  $\ln t$  para cada profundidade z para  $t > 1$  dia. O coeficiente angular desta curva é igual a  $1/\gamma$ .

- b) Construção do gráfico  $\bar{\theta} - \bar{\theta}_0$  (umidade média até cada profundidade  $z$  versus  $\ln t$  também para  $t > 1$  dia.
- c) Calcular  $K_0$  a partir dos coeficientes angular e linear da equação da curva. O coeficiente angular desta curva é igual a  $1/\gamma$ .
- d) Com os valores de  $\theta_0$ ,  $\gamma$  e  $K_0$  determinar  $K(\theta)$  através da seguinte equação:

$$K(\theta) = K_0 e^{\gamma(\theta - \theta_0)}$$

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Distribuição do Tamanho das Partículas. Granulometria

Pela distribuição do tamanho das partículas do solo apresentada na Tabela 1, observa-se a superioridade da areia média em relação às demais areias o que deve contribuir para diferenciações nos atributos físicos do solo avaliado. Diferenças entre solos a partir do fracionamento da areia total foram observadas também por Souza et. al. (2001), os quais concordam que essa fração reflete-se na distribuição do tamanho dos poros e na manifestação da coesão dos solos. A Figura 10 apresenta a mesma informação na forma gráfica. Através de ambas é possível observar o caráter essencialmente arenoso do solo estudado embora a partir dos 40 cm o solo adquira uma textura um pouco mais fina, passando de areia franca para franco arenoso.

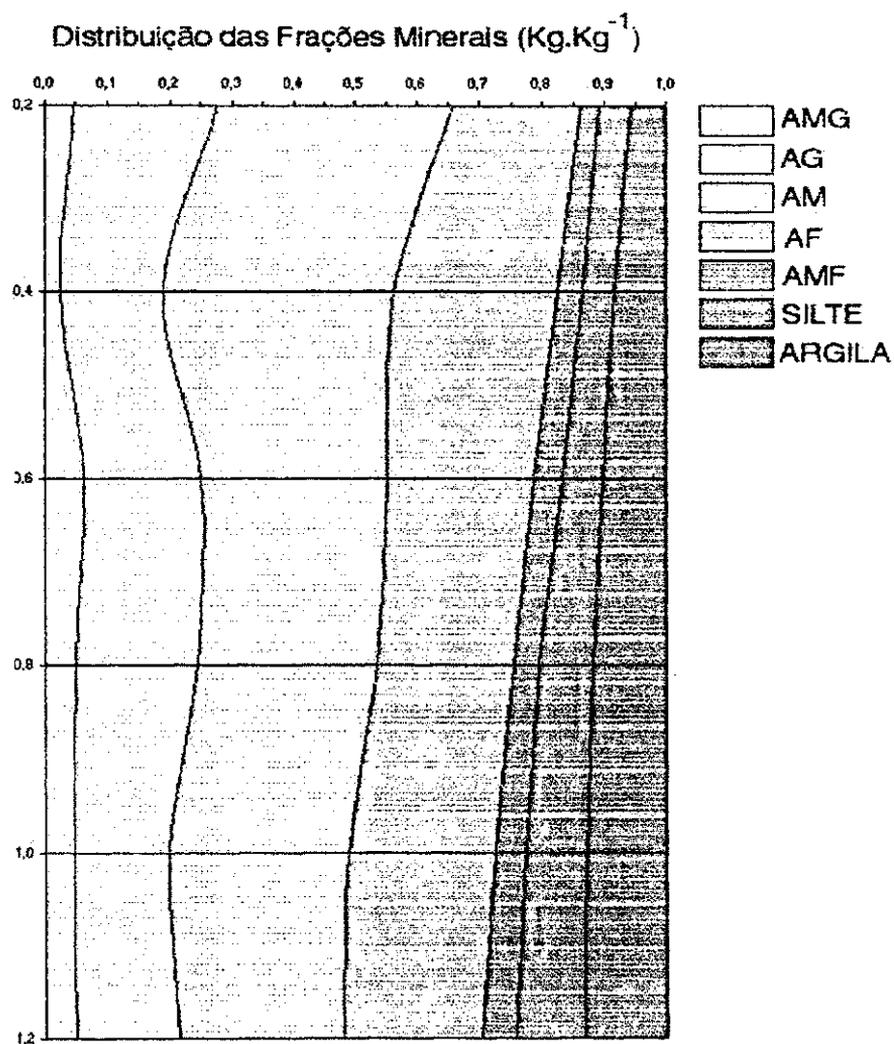
**Tabela 1. Distribuição do tamanho de partículas nas áreas experimentais ( $\text{g kg}^{-1}$ )\***

Prof. (m)	Distribuição da Fração Areia**					Areia Total	Silte	Argila	Classificação Textural
	AMG	AG	AM	AF	AMF				
0,00-0,20	45,32	230,37	384,17	202,56	29,68	892,11	50,23	57,66	Areia
0,20-0,40	25,07	165,71	370,41	263,62	38,51	863,32	51,44	85,24	Areia Franca
0,40-0,60	62,30	187,41	301,66	233,28	47,24	831,88	65,30	102,82	Franco Arenoso
0,60-0,80	49,41	194,88	289,58	218,47	40,98	793,31	86,29	120,40	Franco Arenoso
0,80-1,00	45,33	152,35	291,33	235,70	46,74	771,44	98,15	130,41	Franco Arenoso
1,00-1,20	48,32	166,24	266,18	222,22	52,49	755,44	111,59	132,98	Franco Arenoso
Média	45,96	182,83	317,22	229,31	42,61	817,92	77,16	104,92	

\* Para obter dados em percentagem, dividir por 10

\*\* AMG = Areia Muito Grossa (2 a 1mm), AG = Areia Grossa (1 a 0,5mm), AM = Areia Média (0,5 a 0,25mm), AF = Areia Fina (0,25 a 0,1mm), AMF = Areia Muito Fina (0,1 a 0,05mm).

A cobertura pedológica dos Tabuleiros Costeiros conforme Araújo Filho et. al. (2001) é constituída por solos com acentuada variação textural entre os horizontes superficiais arenosos e os de subsuperfície, mais argilosos. Nesse estudo, essa variação textural foi caracterizada como evidenciam a Figura 10 e Tabela 1, revelando o caráter mais arenoso da camada superficial do solo e mais argiloso ao longo da profundidade refletido-se nos fatores responsáveis pela formação de camadas coesas subsuperficiais do solo estudado.



**Figura 10. Distribuição do tamanho das partículas minerais. Empresa H. Dantas, Platô de Neópolis, SE.**

#### 4.2. Densidade do solo:

O caráter coeso dos solos dos Tabuleiros Costeiros é uma característica pedogenética, típica de horizontes de subsuperfície de textura média, argilosa ou muito argilosa, encontrados normalmente entre 0,30 e 0,70 m e, quando secos, são duros a extremamente duros, tornando-se friáveis ou firmes quando úmidos (Ribeiro, 2001). Para avaliação da camada coesa, no entanto, é preciso utilizar-se de diversos atributos físicos, em geral, inter-relacionados, dentre os quais, se destaca a densidade do solo.

Dentre os atributos físicos avaliados nesse estudo, a densidade do solo foi o que apresentou maior visibilidade, permitindo observar claramente que no lote H. Dantas o solo tem camadas de caráter coeso. Percebe-se na Figura 11 e Tabela 2, que o perfil apresenta densidade, em geral superior a  $1,65 \text{ Kg.dm}^{-3}$  atingindo até  $1,71 \text{ kg.dm}^{-3}$ , a 0,30 m da superfície e ocorre um segundo ponto de adensamento a 1,10m, cuja densidade situa-se em torno de  $1,69 \text{ kg.dm}^{-3}$ . Situação similar foi descrita por Cintra (1997), na região Tabuleiro Sul de Sergipe. O autor adverte para o fato de que camadas adensadas alternadamente no perfil do solo podem formar uma zona de acumulação de água, capaz de criar situações diferenciadas na disponibilidade hídrica às plantas.

Ao analisar a Tabela 1 observa-se que aparentemente as duas prováveis camadas coesas encontradas no solo poderiam estar relacionadas com a distribuição do tamanho das partículas do solo, já que o empacotamento das partículas resultante dos efeitos dos ciclos continuados e alternados de umedecimento e secagem é uma das causas que, conjuntamente com outras, contribui para que ocorra coesão (Baver et. al., 1973). No presente estudo, observa-se que o maior teor de areia muito fina teria facilitado um arranjo mais compacto das partículas nas profundidades 0,0 - 0,40m e 1,0 - 1,20 m, provocando um aumento da densidade do solo como realmente observado. Abrahão et. al. (1998) observaram o mesmo para o teor de areia fina no solo por eles estudados.

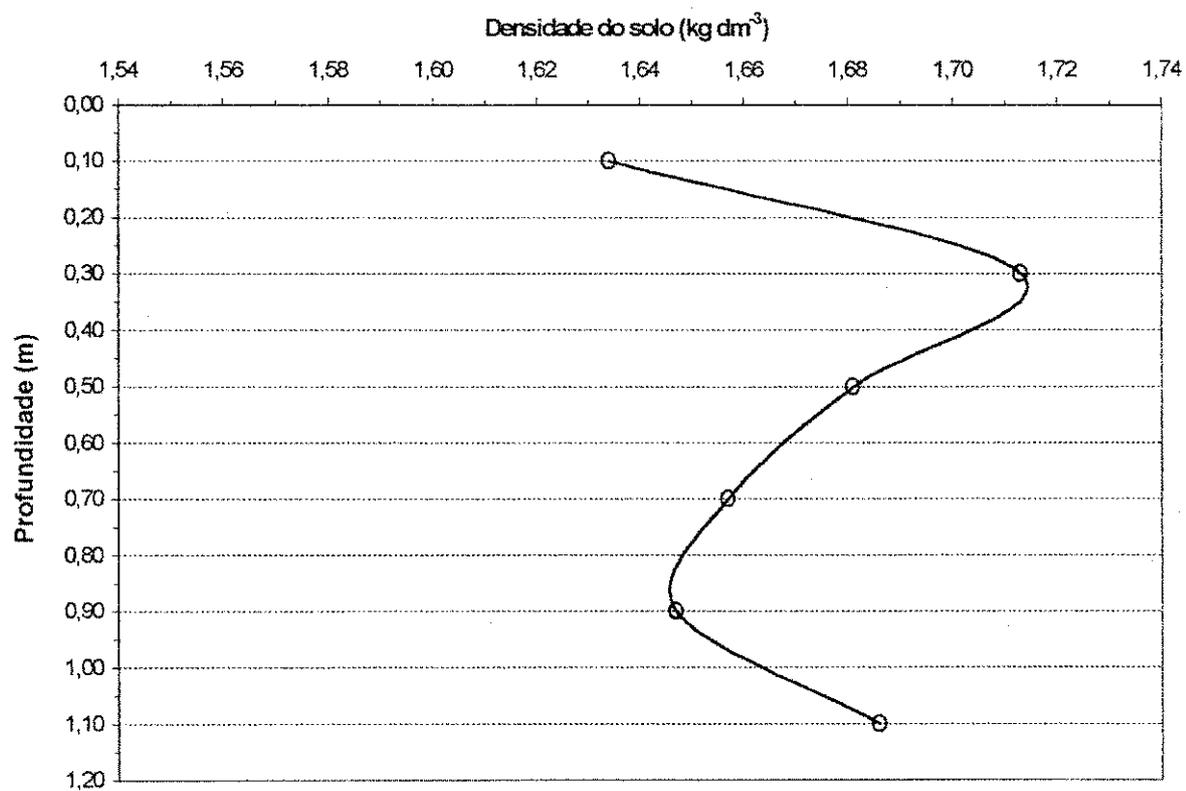


Figura 11. Densidades do solo na área estudada.

#### 4.3. Densidade das Partículas

Na Tabela 2 apresenta-se a densidade global do solo ( $D_s$ ), a densidade das partículas ( $D_p$ ), a porosidade total, a macro e a microporosidade do solo.

**Tabela 2. Densidade global do solo (Ds), densidade das partículas (Dp), porosidade total, macro e microporosidade do solo utilizado.**

Prof. (m)	Ds (kg m <sup>-3</sup> )	Dp (kg m <sup>-3</sup> )	Porosidade* (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )		
			Macro	Micro	Total
0-0,20	1,63	2,60	0,20	0,18	0,38
0,20-0,40	1,71	2,63	0,07	0,27	0,34
0,40-0,60	1,68	2,65	0,11	0,22	0,33
0,60-0,80	1,66	2,63	0,16	0,17	0,33
0,80-1,00	1,65	2,65	0,16	0,17	0,33
1,00-1,20	1,69	2,68	0,04	0,29	0,33

- Para transformar em percentagem, multiplicar por 100.

A densidade das partículas do solo pela sua própria natureza, não varia significativamente com a profundidade, observando-se valores bem próximos de 2,65 g. cm<sup>-3</sup>, valor aceito como média mundial para todos os solos, pela Sociedade Internacional da Ciência do Solo.

#### **4.4. Porosidade Total, Macro e Microporosidade**

Os baixos valores de Porosidade total e a superioridade dos micro em relação aos macroporos (Tabela 2) ressaltam os efeitos das camadas de adensamento ao longo do perfil do solo. Constata-se na referida Tabela, forte redução na macroporosidade entre 0,20 e 0,40m e entre 1,0 e 1,20m de profundidade. A redução da macroporosidade, principalmente, nesses dois pontos do perfil justifica juntamente com os elevados valores de densidade do solo (Figura 11) a existência de camadas adensadas, nessas profundidades.

A redução do volume total de poros e, principalmente, dos macroporos, representa a manifestação do caráter coeso dos solos dos Tabuleiros Costeiros. Nesse sentido, estudo de correlação entre vários atributos físicos nesse ecossistema, desenvolvidos por Souza et. al. (2001), demonstraram a necessidades de monitoramento do espaço poroso nas camadas ou horizontes adensados. Da mesma forma, Nascimento (2001), concluiu que a variação da densidade do solo no horizonte superficial é um índice de degradação do solo nos Tabuleiros Costeiros, uma vez que, a elevação desse atributo correlaciona-se negativamente com volume de poros.

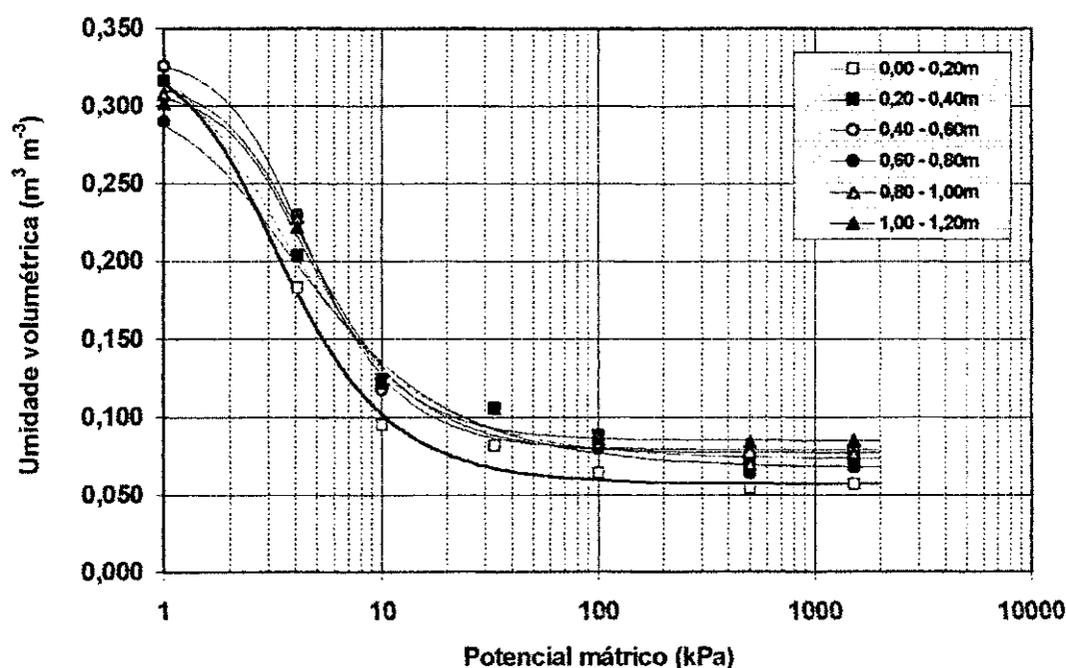
A elevada predominância de microporos observada nos intervalos de profundidades 0,20 – 0,40m e 1,0 – 1,20m expressa a importância de conhecer-se a distribuição do tamanho dos poros com o objetivo de identificar a presença de camadas adensadas e/ou compactadas do solo (Marshall, 1958; Freitag, 1971).

#### **4.5. Retenção de água no solo**

Libardi (2002) ressalta a importância de estudos detalhados da caracterização hídrica dos solos dos Tabuleiros Costeiros, em especial, no que diz respeito aos fenômenos de retenção e de transmissão (condutividade e difusividade hidráulica) de água no solo. Alerta ainda, que os estudos devem ser realizados por longo período para que se tenha uma base fundamentada do regime hídrico no perfil.

As curvas de retenção de água apresentadas na Figura 12, são típicas de solos arenosos, onde a energia de retenção é bruscamente reduzida com o aumento da pressão aplicada. A queda acentuada da umidade entre 0 e 10 kPa, deve-se à natureza arenosa do solo estudado, principalmente na camada superficial em que a textura do solo é areia. Verifica-se ainda na Figura 12 o comportamento diferenciado da retenção de água a partir da tensão de 10 kPa. A superioridade da força de retenção de água nas camadas mais

profundas é resultado dos maiores teores de argila e adensamento natural do solo (Tabela 1 e Tabela 2) respectivamente. Essa situação pode exercer influência negativa no manejo da irrigação desse lote e no volume de água aplicado uma vez que, nessa faixa concentra-se a maior parte do sistema radicular das plantas.



**Figura 12. Curvas de retenção de água no solo, por profundidade. Empresa H. Dantas, Platô de Neópolis, SE**

As maiores retenções de água foram registradas nas profundidades de 0,00 – 0,20 e de 1,00 – 1,20m devido, em maior parte, a baixa macroporosidade e alta microporosidade dos horizontes aparentemente coesos. O restante das camadas apresentou curvas de retenção semelhantes, indicando também semelhança nas suas porosidades totais (Ver Tabela 2).

A partir das curvas de retenção (Figura 12) foram obtidos os valores de umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente e calculada a água disponível para as plantas. A Tabela 3 apresenta a água disponível para cada uma das profundidades estudadas.

**Tabela 3. Capacidade de água disponível para cada profundidade de solo.**

Profundidade (m)	CC (% base solo seco)	PMP (% base solo seco)	Água disponível (m)
0,00-0,20	14,9	3,35	0,038
0,20-0,40	15,4	3,49	0,050
0,40-0,60	18,1	4,00	0,039
0,60-0,80	15,2	3,30	0,054
0,80-1,00	17,5	4,61	0,045
1,00-1,20	17,5	5,00	0,039

O maior volume de microporos, em geral, (0-0,2 e 1,0-1,2m), reflete no aumento da água disponível do solo às culturas (Tabela 3). Esse fato confirma a tese de que as camadas coesas têm forte influência não apenas na redução da aeração, como também, no movimento, retenção e na disponibilidade de água às plantas. Como se sabe, esses fatores são de grande importância nos sistemas agrícolas como um todo e, especialmente, em sistemas irrigados por sua interferência na frequência de irrigação e volume de água aplicados nos cultivos. Existem poucos trabalhos relacionados com o movimento de água nestes solos. Cintra (1997) indica que a água retida na camada coesa funcionou como um fornecedor de água aos citros durante o período de stress hídrico.

#### **4.6. Condutividade Capilar**

A condutividade capilar em função da umidade do solo para os seis intervalos estudados está apresentada na Figura 13. Observa-se o aumento do conteúdo de água do solo comportamento coerente com o observado por Guerra (2000), Antonino et. al. (2001) e Alves de Carvalho (2002).

A variabilidade da condutividade hidráulica é função da variação dos atributos estudados do perfil comportamento comum à maioria dos solos. No solo em apreço a amplitude variou de 0,0025 a 0,0465 m/dia no intervalo de 1,0 a 1,2 m para as umidades de 0,15 e 0,33  $m^3/m^3$ , respectivamente. Essa situação evidencia que variações no conteúdo de água acarretam substanciais alterações nos valores de condutividade capilar. Verifica-se também, que não existe, entre as diferentes profundidades de solo, uma relação unívoca entre  $\theta$  e  $K(\theta)$ . Note-se que na umidade de saturação para valores próximos a condutividade capilar da camada 0-0,20m apresentou uma condutividade capilar maior que nas camadas franco arenosas, no entanto decresceu pronunciadamente com a diminuição do conteúdo de água do solo. Comportamento dessa natureza é freqüentemente registrado e deve-se ao fato da condutividade capilar depender diretamente do tamanho dos poros e na camada arenosa os grandes poros predominam, acelerando a drenagem ou percolação profunda, mantendo assim o ambiente com valores maiores de umidade.

Observa-se ainda na Figura 13 que as menores condutividades capilares foram encontradas na camada 0,2-0,4 m para umidades maiores de 0,22  $m^3/m^3$  e para a camada 1,0 -1,2m para umidades inferiores, situações relacionadas provavelmente aos altos valores da densidade global indicados na Figura 11. Essas condições revelam o caráter coeso do solo nestes intervalos de profundidade.

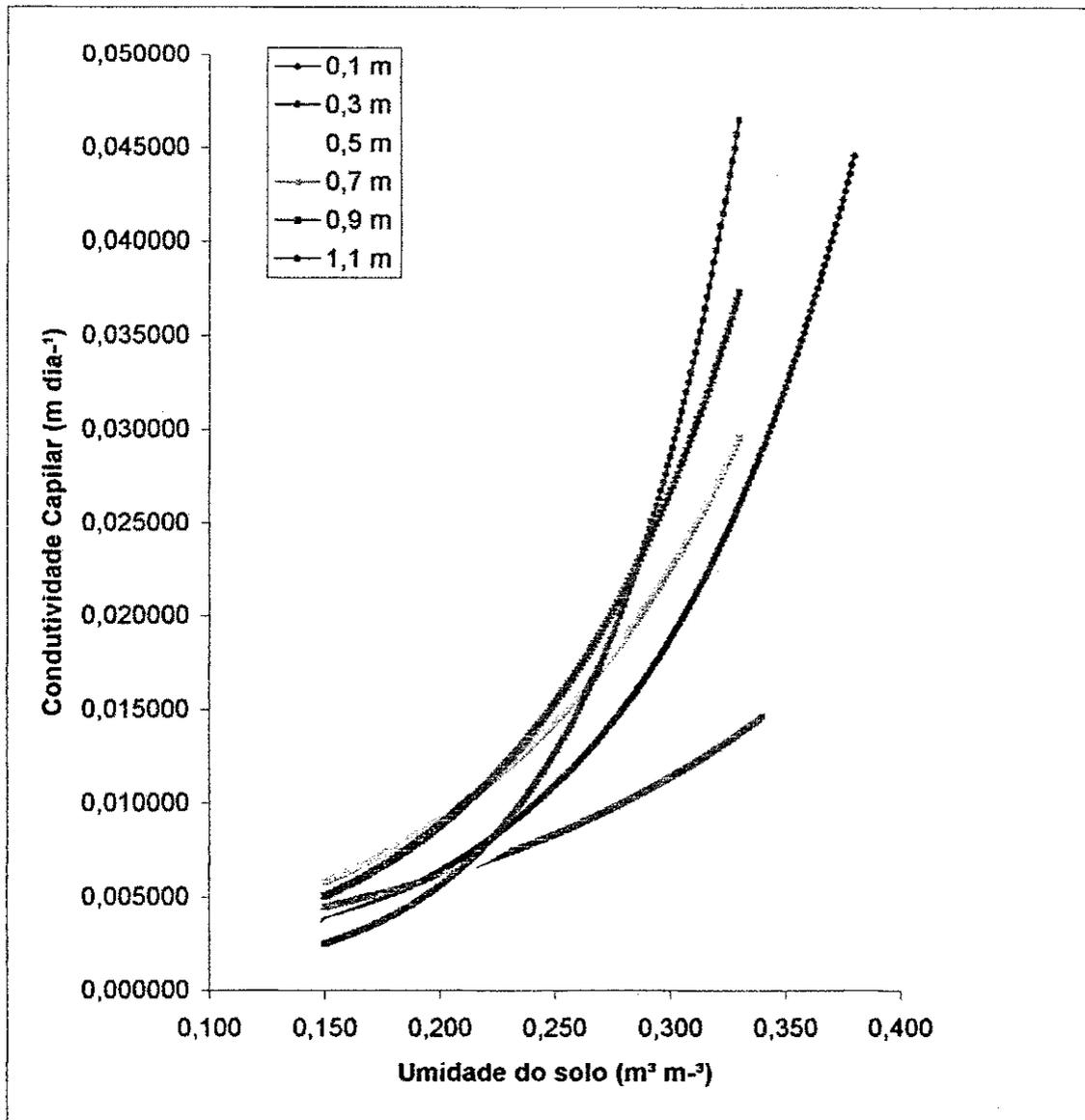


Figura 13. Condutividade capilar em função da umidade do solo em diversas profundidades.

## 5. CONCLUSÕES

Os atributos físicos e hídricos indicam a presença de camadas coesas no solo estudado.

A delimitação dos horizontes coesos coincidiu com a delimitação das camadas no Perfil.

Os atributos físicos estudados (condutividade capilar, retenção da água e densidade do solo) expressaram-se adequados à identificação do caráter de coesão do solo.

A variação dos atributos reflete-se em dificuldade para se fazer o manejo da água em solos coesos dos Tabuleiros Costeiros.

A existência de camadas adensadas próximas à superfície do solo, associadas ao regime climático da região promove alterações expressivas nas propriedades físicas e hídricas do solo estudado, as quais poderão interferir negativamente no desenvolvimento das culturas implantadas no Distrito de Irrigação Platô de Neópolis.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- AMARO FILHO, J. **Determinação da Condutividade Capilar mediante o Método do Perfil Instantâneo**, 1982, 90p, (Dissertação de Mestrado) – Centro de Ciências Agrárias da UFPb, Departamento de Solos e Engenharia Rural, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB.
- ANDRADE, A.R.S. de **Características físicas-hídricas dos solos da estação experimental da embrapa algodão, Variabilidade espacial**, 1997, 100 p, (Dissertação de Mestrado) – Centro de Ciências e Tecnologia, Campus II, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB.
- ANJOS, J. L. dos.; IVO, W. M.P. de M. **Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros**. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001, p.123-139.
- ANJOS, J. L. dos.; IVO, W. M.P. de M. **Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros**, Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001.p.169-190.
- ANTONIO, F.C.; DORFMAN, R, Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem, Ed, Nobel, 1986, 125-146 p.
- ANTONINO, C. D. **Determinação da Condutividade Hidráulica e da sorvidade de um solo com infiltrômetro a disco**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol. 5, n. 2, 2001; 368p.
- ARAUJO FILHO, J.C. de. **Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil**. In: CINTRA, F.L.D.
- AYRA, L.M.; FAREEL, D.A.; BLAKE, G.R. **A field study of soil water depletion patterns in presence of groing soy beans roots: 1. determination of hydraulic properties of the soil**. Soil Sei. Soc. Am. Proc. 39: 424-430. 1975.
- AZEVEDO, H.M.; MILLAR, A.; GUERRA, H. O. C. **Implicações Agronômicas do Efeito da Umidade Inicial sobre a Capacidade de Infiltração de Água no Solo**. In. III Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem, 1975, V. 4 ed, New York, U.S.A 1973, 498p.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W,R, **Soil physics**, 4 ed, New York, U.S.A. 1973, 498p.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa: UFV, Impr. Univ; 1995. 657p.:il.
- BOEDT, L.; VERHEEYE, W, **Evaluation of profile available water capacity**, 1, The conceptual approach, Pedologie, p.35 n.1, p. 55-65. 1985a.

- BOEDT, L.; VERHEEYE, W. **Evaluation of profile available water capacity**, 2, Application to irrigation on soils with different properties, *Pedologie*, p. 35, v.1, p. 67-89. 1985 b.
- BOUMA, J; ANDERSON, J. L. **Relation ships between soil structure characteris and hydraulic conductivity**. In: R.R. Bruce et. Al. (ed). *Field soil water regime*. S.S.S.A. Spcc. Publ. Ser: 5: 77-105. Soil Sci. Soc. Am; Madison, Wis. 1973.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Levantamento Exploratório de Solos**. Rio de Janeiro. 1978. Pág. 251-412. V. 16.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Levantamento Exploratório de Solos**. Rio de Janeiro. 1978a. Pág. 217-360.
- CARVALLO GUERRA, H. O. **Características dos solos importantes na irrigação**, Planejamento Agrícola a nível de propriedade, [s, 1, ]: SUDENE / UFPB, Abr, / 1982.
- CARVALLO GUERRA, H. O. **Física dos solos**. Campina Grande, Pb Departamento de Engenharia Agrícola -Centro de Ciência e Tecnologia CCT - UFPB, 175p. 2000.
- CARVALHO, L. A. de, **Condutividade Hidráulica do solo no campo: as simplificações do método do perfil instatâneo**. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba – SP. 86p.
- NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. **Soil water movement in response to imposed temperature gradients**, *Soil Sci, Soc, Amer, Proc*, n. 33, p. 493-500, 1969.
- CHILDS, E.C. **The use of soil moiture characteristics soil studies**, *Soil Science*, 50:239-242, 1940
- CHILDS, E. C.; COLLIS-GEORGE, M. **The permeability of porous materiale**. *Proc. Roy. Soc. London A*: 201: 392-405.1950.
- CINTRA, F.L.D.; NEVES, C.S.V.J. Aspectos metodológicos do estudo do sistema radicular de plantas perenes através de imagens. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.3, p.91-94,1996.
- CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. da. **Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil: Uma análise dos efeitos do regime hídrico e da presença de camadas coesas dos solos**. *B. Inf. Da SBCS, Campinas*, n. 18 p. 81-95, 1993.

- CINTRA, F.L.D. **Disponibilidade de água no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro**. Tese (Doutorado - Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997. 90p.
- CIRINO, C.G. **Utilização das relações energia/umidade na caracterização físico-hídrica dos solos**, 1992, 68 p, (Dissertação de Mestrado) – Centro de Ciências e Tecnologia, Campus II, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB.
- DAKER, A. **A água na agricultura**, (5º edição): 1º volume: Hidráulica Aplicada à Agricultura; 2º volume: Captação, Elevação e Melhoramento da Água; 3º volume: Irrigação e drenagem, Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos, S, A, 1976.
- DOURADO NETO, D.; JONG VAN LIER, Q. de.; BOTREL T.A.; LIBARDI, P.L. **Programa para confecção da água no solo utilizando o modelo de Genuchten**. Engenharia Rural, v.1, p.92-102, 1990.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros. **Plano Diretor (CPATC)**. Brasília – DF: EMBRAPA, SPI, 1994; 37p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do solo, Manual de Métodos de análises de solo**, Rio de Janeiro, 1997.
- FARIA, M. A de (ed) **SIMPÓSIO – MANEJO DE IRRIGAÇÃO**. 1ª ed, Poços de Caldas – MG: Departamento de Engenharia – UFLA, 1998. 367p.
- FERNANDEZ, B.M; CAVALCANTE, L.F.; BORGES, E.A, **Comparação entre os valores de condutividade hidráulica calculada e medidos**, Agropecuária. Técnica, 1: 94-103, 1980.
- FERNANDEZ, B. M. **Relação – Solo – Água – Planta**. Areia – Pb. CCA / UFPb. Apostila mimeografada. 1980.
- FILHO, F.L. B. **Estudos de condutividade hidráulica em solos com diferentes teores de sódio trocável**, 1989, 71p, (Dissertação de Mestrado) – Centro de Ciências e Tecnologia, Campus II, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB.
- FORSYTHE, W. **Densidad de las partículas del suelo, método com água y kerosene**. In: **Curso de Física de Suelo – Turrialba**, II CA, 1973, 14p.
- FREITAG, D. R. **Methods of measuring soil compaction**. In. BARNES, K.K.; CARLETON, W. M.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R.I.; VAN DEN

- FREITAG, D. R. **Methods of measuring soil compaction.** In: BARNES, K.K.; CARLETON, W. M.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R.I.; VAN DENBERG, G. E. (Org.) **Compaction of agricultural soils.** St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 1971. cap. 3, p. 45-105.
- GARDNER, W.R. **Calculation of Capillary Conductivity from pressure outflow data.** **Soil Science Society of America Proceedings**, n. 20, p. 317 – 320, 1956.
- GAVANDE, S, A. **Física de solos: princípios y aplicaciones**, Ed, Limusa-Wiley, 1972.
- GEOHIDRO. **Projeto Executivo. Platô de Neópolis; Relatório Final.** Geohidro Engenharia Ltda. 1993, 70p.
- GROHMANN, F. **Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo**, Bragantina, n. 21, n. 19, p. 320-327, 1972.
- HILLEL, D. **Solo e água: fenômenos e princípios físicos.** Porto Alegre: UFRGS, Departamento de solos, 1970. 231p.
- HILLEL, D.; KRENTOS, U. D.; STYLIANOV, Y. **The field water balance and water use efficiency.** In: HILLEL, D. (Ed.) **Optimizing the soil physical environment toward greater crop yields.** New York: Academic Press, 1972. p.79-100.
- HOLANDA, F. S. R. **Estudo integrado do Vale do São Francisco Sergipano: Região de Tabuleiros Costeiros e Pediplano Sertanejo – Pedologia / Francisco Sandro Rodrigues Holanda.** Aracaju, 2000. 138p.
- JACOMINE, P. K. T. **Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos tabuleiros costeiros.** In: Reunião Técnica sobre Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros. Pesquisa e Desenvolvimento para os tabuleiros costeiros, 1996. Cruz das Almas, BA. Anais. Aracajú, SE: EMBRAPA – CPATC/ EMBRAPA – CNPMF / EAUFBFA / IGUFBA, 1996. 80p.
- JACOMINE, P. K. T. **Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil.** In: WORKSHOP – Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros. 2001. Aracajú - SE. Anais. EMBRAPA – CPATC. 339p.
- KESSLER, V.; OOSTERBAAN, R. J. **Determining hydraulic conductivity of soil.** In: Drainage principles and applications. Publication 16, Vol. III, chapter 24. ILRT. Wageningen, 1980.
- KIEHL, E.J. **Manual de edafologia e relações solo – planta.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1979.262p.

- KLAR, A.E. **Água no Sistema Solo-Planta-Atmosfera**, Ed, Nobel, São Paulo, 1988, 408 p.
- KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity and diffusivity of unsaturated soil. **Soil Science**, n. 113, p. 264 – 276, 1972.
- KOZLOWSKI, T.T. **Importance of water to plants**. In: **Water deficits and plant growth**. Academic Press, n. 19, p. 1-19, 1968.
- LETEY, J. **Relation ship between soil physical properties and crop production**. **Advences in soil Science**, V.1, p. 277-294, 1985.
- LETTE, J. A. **Características físicas e fatores de erodibilidade de quatro solos representativos do município de São Mamede Paraíba-Areia**, Departamento de Solos e Engenharia Rural, CCA UFPB, 87 p, 1979, (Dissertação de Mestrado).
- LIBARDI, P. L., **Dinâmica da água nos solos de tabuleiro**. In ARAUJO, Q. R. de. (Org.) **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilhéus: UESC, 2002. p.581-596.
- LOVEDAY, J.; ed **Water retention and the moisture characteristic**, In: **Methods for analysis of irrigated soils**: Clayton, C.A.B., cap, 6, p, 43-62 1974, (Technical communication, 54),
- LUC, J. **Caracterization hydrique des sols: utilisation des mesures d' humidite et de charge in situ, comparaison avec les mesures de laboratoire**, 1978. 169p. These (Docteur) – Academic de Mont pellier, Universite des Sciences et Techniques du Languedoc.
- MAIA, J. L. T. **Efeito do cultivo continuo da cana de açúcar sobre propriedades de um Argissolo Amarelo fragipânico do Estado de Alagoas**. UFRPE, Recife, PE, 2000. 105p. (Tese de Mestrado).
- MARSHALL, T.J. **A relation between permeability and size distribution of pores**. **J. Soil Sci**; n. 9, p. 1-8, 1958.
- MILLINGTON, R.J.; QUIRK, J.P. **Permeability of porous solids**. **Trans. Faraday Soc.**, 57: 1200-1206.1961.
- MUALLEN, Y. **A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media**. **Water Resour. Res**; n. 12, p. 513-522,1976.
- MULLINS, C, E; YOUNG, I.M.; BENGHOUGH, A. G.; LEY, G.J. **Hard-setting soils**. **Soil Use and Management**, v. 3, p. 79-83, 1987.

- MULLINS, C. E.; MacLEOD, D.A.; NORTHCOTE, K.H.; TISDALL, J.M.; YOUNG, I.M. Hardsetting soils: behaviour, occurrence and management. **Advances in Soil Science**, v. 11, p. 37-108, 1990.
- NASCIMENTO, G. B. do. **Caracterização dos solos e avaliação de propriedades edáficas em ambientes de tabuleiros costeiros da região Norte Fluminense (RJ)**: 162p. Dissertação (Mestrado Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.
- NYE, P.H.; THINKER, P.B. **Solute movement in the soil-root system**. London:Blackwell Scientific, 1977. 341p.
- OLIVEIRA, J. B. de, **Classes gerais de solo do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento** por João Bertoldo de Oliveira, Paulo K, T, Jacomine e Machado Nunes Camargo, 1992, 2 ed, Jaboticabal, FUNEP, SP.
- OLIVEIRA, L. B. de; DANTAS, M. S., CAMPELO, A. B.; GALVÃO, S.S.; GOMES, I. F. **Caracterização de adensamento no subsolo de uma área de tabuleiro da Estação Experimental do Curado**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. n. 3, p. 207-214, 1968.
- OLIVEIRA, L. B. de.; MELO, V. de. **Caracterização físico-hídrica do solo. I**. Unidade de Itapirema. EMBRAPA - Pesquisa Agropecuária Brasileira. n. 5, p. 35-48, 1970.
- OLIVEIRA, J.C.M.de. **Determinação de parâmetros de solo durante a infiltração horizontal e redistribuição da água por atenuação de raios gama e tensiômetros**. CENA/USP, Dissertação de Mestrado, 1991. 76 p.
- PREVEDELLO, C, L, **Física do solo com problemas resolvidos** – Curitiba - Paraná, 1996, 446p.
- PORTELA, J. C. **Retenção da água em solo sob diferentes usos no ecossistema tabuleiros costeiros**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol. 5, Nº 1, Jan. – Abr; 2001; 180p.
- QUEIROZ, E.N.; OLIVEIRA, L.B. **Curvas características de retenção de umidade de solos do nordeste do Brasil**, Pesquisa Agropecuária Brasileira Série Agronomia, n. 10, n. 11, p. 69-75, 1975.
- RAMÍREZ, A. A; LÓPEZ, R.G. **El agua em el suelo**, In: MAÑAS, F.M. de S.O.; VALERO, J.A. De J. Agronomia del riego. Espanha: Madrid, 1993. Cap.1, p. 49-51.
- REICHARDT, K. **Determinação da condutividade hidráulica em condições de campo para estimativa da drenagem profunda em balanços hídricos**. Piracicaba, SP. 12p. BC – 015, CENA. 1974.

- REICHARDT, K. **Processos de Transferência no Sistema solo – planta – atmosfera**, 3 ed. Piracicaba, CENA – USP – CNEN e Fundação Cargill. 1975. 286p.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Universidade de São Paulo-USP. Piracicaba – São Paulo, 186 p. 1987.
- REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. 1996. Cruz das Almas, BA. Pesquisa e desenvolvimento para os tabuleiros costeiros – anais. Aracaju: EMBRAPA-CPATC/EMBRAPA-CNPMF/EAUFBA/IGUFBA, 1996. 80p. Editado por Lúcia Raquel Queiroz Nogueira e Luis Carlos Nogueira.
- REZENDE, J. de O. **Solos coesos dos tabuleiros costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI – spa, 2000. 117p. il. (Série de estudos agrícolas, 1).
- REZENDE, J. de O. **Compactação e adensamento do solo: Métodos para avaliação e práticas agrícolas recomendadas**, 1997. 22p. Palestra apresentada no XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Rio de Janeiro-RJ.
- RIBEIRO, M. R. Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros. In: CINTRA, F.L.D; ANJOS, J. L. dos; IVO, W. M.P. de M, **Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros**,. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.161-168.
- SALTER, P.J. WILLIAMS, J.B. **The influence of texture on the moisture characteristics of soils, II, Available-water capacity and moisture release characteristics**, Journal of Soil Science, n. 16, n. 1, p. 1-15, 1965 a.
- SALTER, P.J. WILLIAMS, J.B. **The influence of texture on the moisture characteristics of soils, II, Available-water capacity and moisture release characteristics**, Journal of Soil Science, n. 16, n. 2 p. 310-317, 1965 b.
- SILVA, L.F. da. **Manejo dos recursos naturais dos trópicos e suas conseqüências, contradições e perspectivas de uso em agricultura sustentável**. Agrotópica, v.3, n. 1, p. 15-22, 1991.
- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICAN. Committee Report. Glossary of Soil Science Terms. Soil Soc. Amerc. Proc. V. 29, n. 3, p. 330-351, 1965.
- SOUZA, L. da S.; SOUZA, L. D.; CALDAS, R. C. **Identificação da coesão com base em atributos físicos convencionais em solos dos Tabuleiros Costeiros**. In: CINTRA, F.L.D;
- SYVERSTSEN, J.P. Integration of water stress in fruit trees. HortScience, 20(6):1039-1042, 1985.

- TEXEIRA FILHO, A. de J. **Variabilidade espacial de parâmetros físico-hídricos num solo aluvial da microbacia hidrográfica do riacho São Pedro-Paraíba-Brasil**, 2001, 101p, (Dissertação de Mestrado) – Centro de Ciências e Tecnologia, Campus II, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB.
- VAN GENUCHTEN, M.Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.44, n.5, p.892-898, 1980.
- VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H, **Soil moisture in relation to plant growth**, Annual Rev, Plant Physiol, 1: 285-304, 1950,
- VIEIRA, D.B. **Relação água solo e planta**, In: PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO (PRONI). Curso de Elaboração de Projetos de Irrigação, Brasília, PNI / Fundação CTH, 1986. p. 1-39.
- VIEIRA, P. R. P. **Disponibilidade de Água para as plantas em três solos de diferentes texturas. Comparação de Métodos de Determinação**. 1999. Dissertação (Mestrado), Engenharia Agrícola (C. Grande), UFPB – Universidade federal da Paraíba.

## **ANEXOS**

**Anexo 1. CONTEÚDO DE ÁGUA EM VOLUME E POTENCIAL MATRICIAL EM FUNÇÃO DO TEMPO E PROFUNDIDADE (TESTE 1)**

TEMPO DIAS	CONTEÚDO VOLUMÉTRICO DE ÁGUA						POTENCIAL MATRICIAL					
	%						cm H <sub>2</sub> O					
	10	30	50	70	90	110	10	30	50	70	90	110
0,08	38,00	34,00	33,00	33,00	33,00	33,00	-0,74	-2,20	-3,70	-5,18	-6,60	-8,15
0,20	17,70	34,00	27,30	30,50	52,50	33,00	-10,00	-1,00	-7,00	-6,00	-14,00	-15,00
2,80	13,50	19,30	14,40	15,30	15,20	16,20	-18,00	-15,00	-36,00	-37,00	-29,00	-29,00
5,80	11,90	17,40	14,10	14,40	14,20	15,40	-26,00	-22,00	-44,00	-50,00	-42,00	-42,00
9,80	11,30	15,70	13,80	13,70	13,70	15,00	-33,00	-34,00	-58,00	-65,00	-56,00	-55,00
13,80	12,00	15,60	13,80	13,10	13,30	14,80	-25,00	-35,00	-58,00	-89,00	-79,00	-80,00
19,80	11,30	15,10	13,70	12,90	13,20	14,80	-33,00	-43,00	-67,00	-101,0	-99,00	-79,00
24,80	11,80	14,90	13,70	13,40	13,10	16,10	-29,00	-47,00	-71,00	-76,00	-102,0	-30,00
29,80	11,90	14,40	13,60	14,90	13,50	24,90	-26,00	-59,00	-84,00	-42,00	-67,00	-8,00

**Anexo 2. CONTEÚDO DE ÁGUA EM VOLUME E POTENCIAL MATRICIAL EM FUNÇÃO DO TEMPO E PROFUNDIDADE (TESTE 2)**

TEMPO DIAS	PROFUNDIDADE (cm)											
	CONTEÚDO VOLUMÉTRICO DE ÁGUA						POTENCIAL MATRICIAL					
	10	30	50	70	90	110	10	30	50	70	90	110
	%						cm H <sub>2</sub> O					
0,08	38,00	34,00	33,00	33,00	33,00	33,00	-0,74	-2,20	-3,70	-5,18	-6,60	-8,15
0,20	15,70	19,30	20,70	21,10	33,00	33,00	-13,00	-15,00	-10,00	-13,00	-17,00	-17,00
2,80	11,50	17,40	16,60	17,60	24,80	16,10	-30,00	-22,00	-18,00	-22,00	-30,00	-30,00
5,80	11,60	16,40	15,50	15,80	23,90	15,60	-29,00	-28,00	-23,00	-32,00	-36,00	-37,00
9,80	10,80	15,80	15,10	15,40	23,90	15,40	-42,00	-33,00	-27,00	-36,00	-36,00	-42,00
13,80	10,60	15,50	14,70	14,90	24,20	15,00	-45,00	-37,00	-31,00	-42,00	-34,00	-55,00
19,80	10,40	15,10	14,40	13,80	57,10	14,80	-52,00	-42,00	-36,00	-64,00	2,00	-80,00
24,80	10,30	15,20	14,30	13,40	57,10	14,70	-54,00	-41,00	-39,00	-75,00	30,00	-90,00
29,80	10,20	15,90	14,10	15,00	35,00	15,00	-59,00	-32,00	-43,00	-41,00	-11,00	-55,00

**Anexo 3. CONTEÚDO DE ÁGUA EM VOLUME E POTENCIAL MATRICIAL EM FUNÇÃO DO TEMPO E PROFUNDIDADE (TESTE 3)**

TEMPO DIAS	PROFUNDIDADE (cm)											
	CONTEÚDO VOLUMÉTRICO DE ÁGUA						POTENCIAL MATRICIAL					
	10	30	50	70	90	110	10	30	50	70	90	110
	%						cm H <sub>2</sub> O					
0,08	38,00	34,00	33,00	33,00	33,00	33,00	-0,74	-2,20	-3,70	-5,18	-6,60	-8,15
0,20	15,70	19,30	20,70	21,10	33,00	33,00	-23,00	-13,00	7,00	-18,00	-20,00	-20,00
2,80	11,50	17,40	16,60	17,60	24,80	16,10	-32,00	-18,00	2,00	-32,00	-36,00	-40,00
5,80	11,60	16,40	15,50	15,80	23,90	15,60	-35,00	-23,00	-3,00	-42,00	-49,00	-47,00
9,80	10,80	15,80	15,10	15,40	23,90	15,40	-40,00	-27,00	-7,00	-51,00	-59,00	-55,00
13,80	10,60	15,50	14,70	14,90	24,20	15,00	-42,00	-29,00	-9,00	-57,00	-70,00	-42,00
19,80	10,40	15,10	14,40	13,80	57,10	14,80	-44,00	-30,00	-10,00	-70,00	-51,00	-5,00
24,80	10,30	15,20	14,30	13,40	57,10	14,70	-48,00	-35,00	-15,00	-82,00	-17,00	-10,00
29,80	10,20	15,90	14,10	15,00	35,00	15,00	-50,00	-41,00	-21,00	-95,00	-10,00	-11,00