

Doação  
FOL  
02947

I CURSO SOBRE MANEJO DE SOLO E ÁGUA  
EM PROPRIEDADES AGRÍCOLAS DO TRÓPICO SEMI-ÁRIDO

Período: 4 a 29 de outubro de 1982

PROPRIEDADES FÍSICAS E HÍDRICAS DO SOLO  
FUNDAMENTAIS PARA DIMENSIONAMENTO  
E OPERAÇÃO DE PROJETOS DE IRRIGAÇÃO

Eliane Nogueira Choudhury

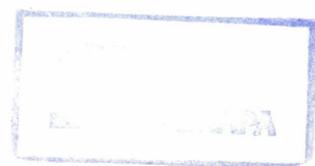
1982

Petrolina, PE

~~Propriedades físicas e  
1982 FL-05010~~



32065-1



CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO TRÓPICO SEMI-ÁRIDO

CPATSA

PROPRIEDADES FÍSICAS E HÍDRICAS DO SOLO  
FUNDAMENTAIS PARA DIMENSIONAMENTO  
E OPERAÇÃO DE PROJETOS DE IRRIGAÇÃO<sup>1</sup>

Eliane Nogueira Choudhury<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>Trabalho de revisão apresentado no I Curso sobre Manejo de Solo e Água em Propriedades Agrícolas do Trópico Semi-Árido.

<sup>2</sup>Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, M.S. Pesquisador do CPATSA-EMBRAPA, Petrolina-PE.

## PROPRIEDADES FÍSICAS E HÍDRICAS DO SOLO FUNDAMENTAIS PARA DIMENSIONAMENTO E OPERAÇÃO DE PROJETOS DE IRRIGAÇÃO

### Considerações Gerais

Os solos irrigados geralmente são de zonas áridas e semi-áridas e o sucesso da irrigação depende em grande parte da qualidade do solo. Para um manejo racional e eficiente de irrigação, precisa-se conhecer certas relações que se processam entre o solo, a água do solo, a atmosfera e as plantas. O não reconhecimento da importância destas relações como também a sua não utilização nas práticas irrigacionistas, torna difícil a atividade tanto para o técnico de irrigação como para o agricultor.

Ao considerar a inter-relação solo - água - planta - atmosfera serão apresentados, somente as características físicas do solo envolvidas mais diretamente a aplicação de água ao solo. Estas características de uma forma geral pode ser apresentada em termos de dois elementos:

- Disponibilidade de água para as plantas que é a capacidade do solo armazenar água em condições de ser usada pelas plantas.
- Movimento de água através do solo em que se distinguem a capacidade de infiltração e a permeabilidade do solo.

Assim, aos que praticam a irrigação é fundamental o conhecimento das propriedades físicas do solo que regem o movimento, armazenamento e disponibilidade de água nos solos para atender as necessidades hídricas das culturas.

### Solo e Seus Componentes

O solo é um sistema extremamente complexo e em qualquer instante manifesta interações complexas entre seus constituintes, o que dificulta definir todas estas interações. É um material poroso constituído de 3 fases: sólida, líquida e gasosa. Em condições ideais a fase sólida corresponde 50%, a fase líquida de 15 a 35% e a fase gasosa de 15 a 35%. As variações nos últimos componentes são devido a quantidade de água presente (Fig. 1).

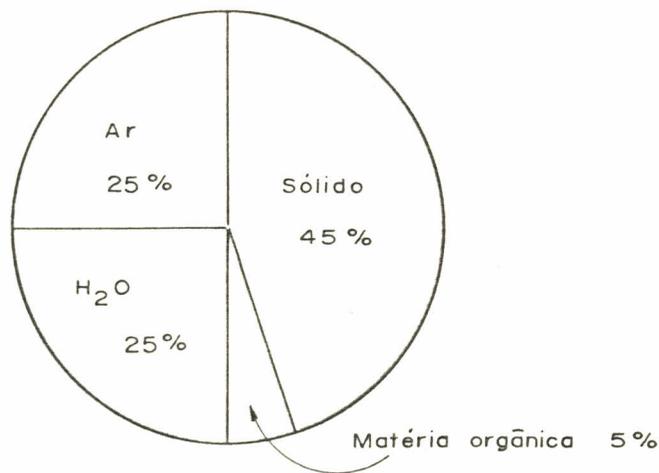


FIG.1 Composição volumétrica esquemática de um solo superficial.

A parte sólida é constituída de fragmentos de matéria mineral e orgânica de diferentes formas, tamanhos e constituições. Estes constituintes orgânicos e inorgânicos formam o esqueleto do solo e a maneira como se dispõem determinam os espaços vazios para penetração de fluídos: gases como  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $NH_3$ , etc., vapores como o vapor d'água e líquidas como a solução do solo. Dentre os constituintes orgânicos do solo a matéria orgânica exerce grande influência sobre a estrutura, penetração e retenção de água. Quanto aos constituintes inorgânicos ou minerais o tamanho das partículas no interior do solo representa um parâmetro que não varia com o tempo dentro de condições normais. Consequentemente, algumas grandezas geométricas são bastante utilizadas na descrição da parte sólida do solo e de seu arranjo, fornecendo subsídios para uma melhor compreensão sobre a distribuição e armazenamento da água no solo e consequente na prática de irrigação. Para uma melhor compreensão destas grandezas é necessário definir uma série de relações físicas de massa-volume conforme diagrama da Figura 2.

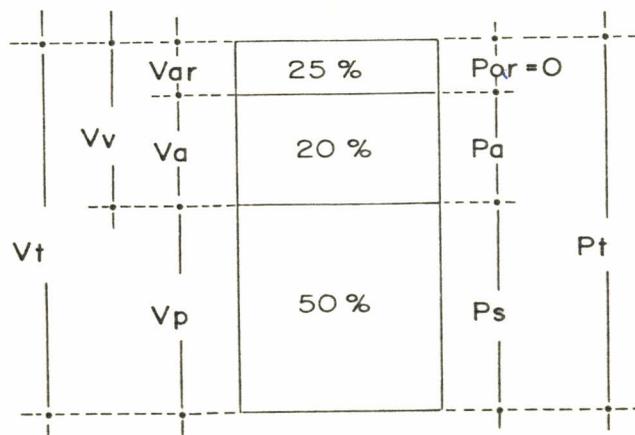


FIG. 2 Diagrama esquemático do solo, como um sistema trifásico.

Temos no Diagrama

$V_t$  - Volume total do solo

$V_v$  - Volume de vazios

$V_{ar}$  - Volume do ar

$V_a$  - Volume de água

$V_p$  - Volume de partículas

$P_t$  - Peso total do solo

$P_{ar}$  - Peso do ar

$P_a$  - Peso de água

$P_s$  - Peso dos sólidos

Dentre as grandezas geométricas acima mencionadas as de grande importância no manejo da água e do solo são:

**Densidade real ( $D_r$ ):** definida pela relação entre peso do volume das partículas sólidas: minerais e orgânicas e o volume destas partículas. Assim:

$$D_r = \frac{P_s}{V_p} \quad (1)$$

onde:  $P_s$  - (g)

$V_p$  - ( $\text{cm}^3$ )

$D_r$  - ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

A densidade real depende da constituição do solo e como esta varia relativamente pouco de solo para solo, ela não varia excessivamente entre os diferentes solos. Como na maioria dos solos minerais predomina basicamente os minerais como montmorilonita de densidade aparente de  $2,8 \text{ g}/\text{cm}^3$ , caulinita de  $2,5 \text{ g}/\text{cm}^3$  e quartzo de  $2,5$  a  $2,8 \text{ g}/\text{cm}^3$ , a média da densidade real para a maioria dos solos minerais gira em torno de  $2,65 \text{ g}/\text{cm}^3$ . No entanto, se a constituição do solo for muito diferente, como no caso de solos turfosos seu valor pode variar de  $1,6$  a  $2,3 \text{ g}/\text{cm}^3$ .

A densidade real pode ser determinada verificando-se, o aumento de volume de certa quantidade de água quanto nela é colocada certa quantidade de solo seco a  $105^\circ\text{C}$ . O aumento do volume é exatamente igual ao volume das partículas do solo adicionado, sendo o peso da massa seca conhecido. O recipiente no qual a medida é feita é denominado picnômetro, o álcool etílico é outro método empregado nesta determinação (anexo I).

**Densidade aparente (Dap):** definida pela relação entre o peso das partículas sólidas do solo e o volume total do solo, inclusive os espaços ocupados por ar. Assim:

$$Dap = \frac{P_s}{V_t} = \frac{P_s}{V_p + V_a + V_{ar}} \quad (2)$$

onde:  $P_s$  - (g)

$V_t$  - ( $\text{cm}^3$ )

$Dap$  - ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

A densidade aparente é uma medida da compactação do solo, isto é, quanto mais compacto estiver o solo, maior a quantidade de matéria sólida por unidade de volume total e conseqüentemente maior a densidade aparente.

De maneira geral nos solos arenosos a densidade aparente varia de 1,5 a 2,0  $\text{g}/\text{cm}^3$ , não sendo muito grande as variações devido a maior dificuldade de serem compactados e descompactados. Nos solos argilosos a densidade aparente pode variar de 1,0 a 1,8  $\text{g}/\text{cm}^3$ , devido a maior facilidade de compactação que este tipo de solo apresenta. Assim, a densidade aparente é função principalmente da composição do solo e da compactação.

A densidade aparente de um solo é obtida retirando-se uma amostra de solo, de volume conhecido, e com a mesma estrutura que se encontra no campo e medindo-se sua massa depois de permanecer em estufa a 105<sup>o</sup>G até peso constante. Para esta determinação existem anéis volumétricos com bordos cortantes, que ao serem introduzidos no solo, fornecem amostra de volume conhecido e praticamente não deformada. Para solos pedregosos ou bem estruturados que não permitem a penetração dos referidos anéis, pode-se usar o método da balança hidrostática ou torrão parafinado. (anexo III).

**Porosidade (P):** definida pela relação entre o volume não ocupado pelas partículas sólidas e o volume total.

$$P = \frac{V_t - V_p}{V_t} = \frac{V_t}{V_t} - \frac{V_p}{V_t} = 1 - \frac{V_s}{V_t}$$

$$P = 1 - \frac{D_{ap}}{D_r} \cdot 100 \quad (3)$$

onde: P é dado em percentagem.

A porosidade de um solo nos fornece uma idéia do espaço total disponível para o ar. Normalmente o ar e água ocupam o espaço poroso em diferentes proporções. Esta característica é uma das mais importantes do ponto de vista de irrigação e drenagem, pois é através dos espaços vazios do solo que se processa, o movimento de água.

Definidas estas relações de massa-volume bastante relevantes no manejo de solo e água é importante tecer considerações sobre as distribuições das partículas sólidas do solo, pois é na superfície destes que se processam fenômenos importantes em relação a fase líquida do solo.

**Textura do solo:** está relacionada com o tamanho das partículas minerais. Especificamente se refere a proporção relativa do tamanho de vários grupos de partículas. Estes diferentes grupos são denominados frações texturais, as quais se agrupam em: areia, silte e argila. Existem diferentes classificações texturais, no entanto as mais importantes são do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e da Sociedade Internacional de Ciência do Solo conforme Tabela 1.

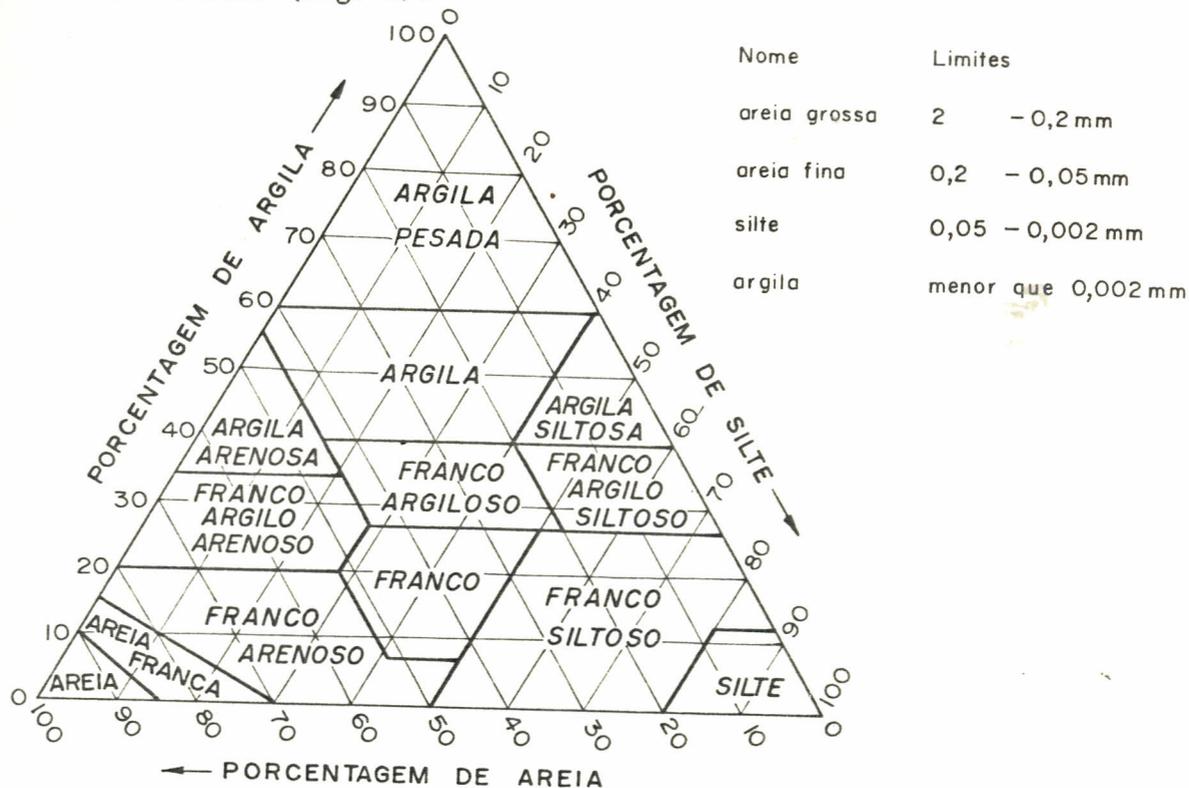
TABELA 1. Classificação textural do solo de acordo com o tamanho das partículas

Classificação da Soc. Internacional de Ciência do Solo

	2,0	0,2		0,02		0,002			
Cascalho	GROSSA		FINA		Limo	Argila			
	A R E I A								
Cascalho	A r e i a						limo	argila	
	muito grossa		grossa		Média fina				
	muito grossa		grossa		muito fina				
	2,0	1,0	0,5	0,25	0,1	0,5	0,002		

Class. do Dep. de Agríc. dos Estados Unidos.

O procedimento analítico para se determinar a distribuição do tamanho das partículas, denomina-se análise mecânica ou granulométrica. Mediante esta análise obtém-se em função do diâmetro das partículas a percentagem em peso das diferentes frações texturais. A combinação das diferentes percentagens de argila, silte e areia permite através do triângulo de Mohr obter-se 12 classes texturais, segundo o critério U.S.D.A. (Fig. 3).



Com relação as frações texturais do solo o tamanho de sua área superficial exerce grande influência nas propriedades físicas e químicas do solo.

**Superfície específica:** se refere a área por unidade de massa do solo e geralmente se expressa em metros quadrados por grama ( $m^2/g$ ). A forma de partícula tem muita influência no tamanho de área. Assim uma grama de argila pode ter uma superfície específica de  $100 m^2$  ao passo que uma 1 grama de areia tem uma superfície menor que  $1 m^2/g$ . Assim, os solos diferem de forma marcante na área superficial como resultado das diferentes textura, tipos de material argiloso e quantidade de matéria orgânica.

A superfície específica é de grande importância porque os atributos de um solo estão relacionados com fenômenos físico-químicos de superfície. Assim a retenção de nutrientes, adsorção de água e certas propriedades mecânicas especialmente plasticidade e resistência, aumento de volume do solo são processo de superfí

cie e conseqüente, quanto maior a superfície específica maior a retenção entre a parte sólida e líquida do solo.

A classe textural de solo apesar de não revelar as propriedades físicas de um solo com muita profundidade, é conhecido que o comportamento de um solo argiloso é bastante diferente de um solo arenoso. A determinação da textura do solo fornece subsídio para que o técnico em manejo de solo e água possa definir com maior probabilidade de sucesso o método de irrigação e cultura mais adequada à propriedade agrícola em exploração.

### Fração Líquida do Solo

A fração líquida do solo constitui-se de uma solução aquosa diluída. Dissolvidos na água encontram-se sais minerais, substância orgânica e gases. O estudo deste componente do solo é fundamental nos problemas de irrigação. Na relação solo água e retenção de umidade é o movimento de água no solo constituem os pontos básicos mais importantes.

A retenção de água pelo solo fornece subsídios para se caracterizar as condições como a água se encontra no solo, na formulação dos parâmetros de umidade e o estado de energia com que está retida pelo solo. O movimento mostra os fenômenos do estado dinâmico da água no solo.

Do ponto de vista agrônômico, é de fundamental importância estabelecer a quantidade de água que o solo contém ou a quantidade de que se deve fornecê-lo. Assim, a quantidade de água que um solo possui define sua umidade.

A umidade do solo (U): é medida através da relação entre a massa de água ( $m_a$ ) retida por uma massa de sólidos ( $m_s$ ):

$$U = \frac{M_a}{M_s} \quad (4)$$

A umidade U é geralmente apresentada em percentagem, com base em peso, denominando-se umidade % peso.

Uma amostra de solo possuindo uma massa úmida de 125,8 g e uma massa seca (depois de 24 horas em estufa a 105°C) de 93,5 g terá uma umidade de:

$$U = \frac{125,8 - 93,5}{93,5} = 0,345 \text{ g/g}$$

$$U = 34,5\% \quad (\text{umidade \% peso})$$

A umidade do solo também pode ser expressa em volume, medindo-se através da relação entre volume de água retida ( $V_a$ ) por um volume de total de solo ( $V_t$ ), sendo denominada por  $\theta$ . Assim, teremos:

$$\theta = \frac{V_a}{V_t} \quad (5)$$

Considerando a definição de densidade ( $d$ ) que consiste na relação entre massa ( $m$ ) e volume ( $v$ ) teremos:

$$D_a = \frac{M_a}{V_a}, \text{ como a densidade da água é igual a 1 temos}$$

$$M_a = V_a \quad (6)$$

Para verificar qual o volume  $V_t$  que a massa sólida ( $m_s$ ) ocupa no solo é necessário conhecer a densidade aparente do solo, assim, considerando a equação (2) temos que:

$$V_t = \frac{m_s}{D_{ap}} \quad (7)$$

Substituindo as equações (6) e (7) na equação (5) teremos:

$$\theta = \frac{m_a}{m_s / D_{ap}} = \frac{m_a}{m_s} \times D_{ap} \quad (\text{cm}^3 \text{ de água por cm}^3 \text{ de solo})$$

$$\theta = U D_{ap} \quad (8)$$

A densidade em volume, também pode ser apresentada como uma percentagem. Neste caso é denominada umidade % volume.

Considerando o exemplo anterior com umidade 34,5% e uma densidade aparente de  $1,2 \text{ g/cm}^3$  teremos uma umidade em % volume de:

$$\theta = 34,5 \times 1,2 = 42,4\% \text{ volume}$$

Quando  $\theta$  é igual a porosidade, isto é,  $\theta = P$  o solo é denominado saturado. Neste caso não existe a fração gasosa do solo isto é, todos os poros estão cheios de água. No entanto, quando  $\theta = 0$  o solo se encontra seco. (Fig. 4).

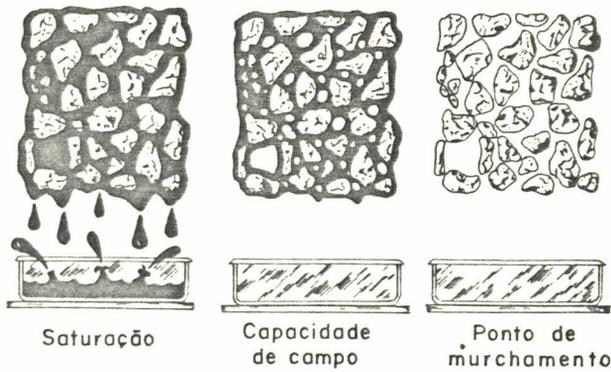


FIG. 4 Solo com diferentes níveis de umidade.

Os métodos para determinação de umidade no solo mais usados são o método gravimétrico, considerado padrão, speed, Bouyoucosedas pesagens. Os métodos mais usados são apresentados no anexo I.

Foi mostrado o estudo da água do ponto de vista quantitativo e além destes conceitos quantitativos é necessário no sistema solo-água conhecer o estado termodinâmico da água e para isto é fundamental conhecer o estado e energia de água no solo ou as forças que regem o movimento da água no solo.

Assim, para um melhor entendimento da retenção e movimento de água no solo, visando seu aproveitamento nos problemas relacionados a irrigação e drenagem é necessário o conhecimento das propriedades físicas da água, como também seu estado e movimento na relação solo-planta-atmosfera.

### Interação-Água-Argila

Quimicamente a molécula de água é constituída por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio. Os dois átomos de hidrogênio se ligam ao do oxigênio formando entre si um ângulo de  $105^{\circ}$ , conforme Figura 5.

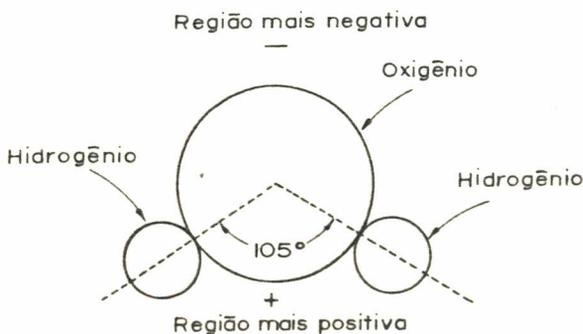


FIG. 5 Esquema da molécula de água.

A disposição assimétrica dos átomos de hidrogênio causam um desequilíbrio e letrostáticos, resultando com isto um dipolo elétrico, conferindo às moléculas de água atração pelas partículas sólidas do solo e suas próprias moléculas. Estas forças de atração são responsáveis pela retenção de água pelas partículas sólidas do solo. A força de atração das superfícies sólidas pelas moléculas de água denomina-se adesão e entre as moléculas de água coesão. Referidas forças, em conjunto, possibilitam aos sólidos do solo reter a água e controlar em grau considerável sua movimentação e utilização. A água retida por estas duas forças poderá manter os microporos cheios de água como também, as películas relativamente espessas dos microporos. A proporção que as películas de água vão se tornando mais espessas e pesadas, vão conferindo as películas mais externas uma menor força de retenção. Isto é, a tensão com que a água é retida pode variar com a distância entre as moléculas e os sólidos do solo (Fig. 6).

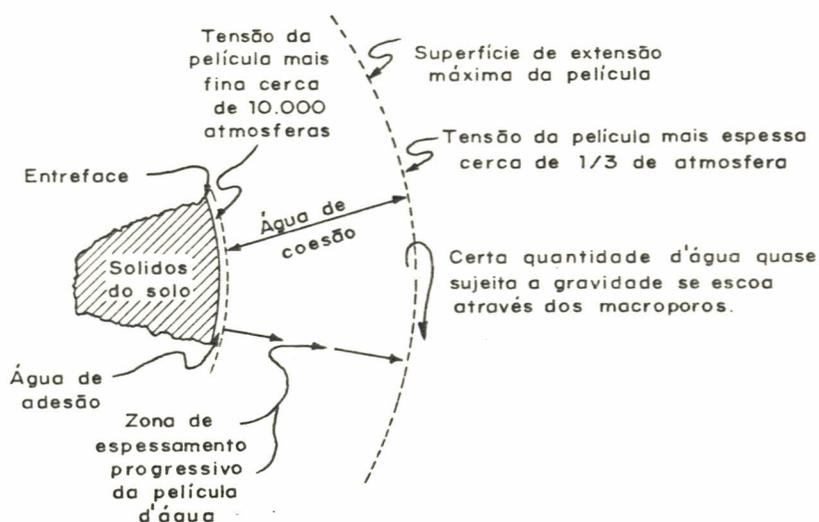


FIG. 6 Representação do espessamento progressivo de uma película d'água em um macroporo e declínio correspondente na tensão a que são submetidas as moléculas de superfície.

Assim, as películas mais externas estão sujeitas a movimentação por ação de gravidade e também pela atração das películas adjacentes que não possuem a mesma espessura. Conseqüentemente, quando os poros do solo encontram-se cheios de água (saturação) ou próximos a saturação a remoção de uma pequena quantidade de água é relativamente fácil. No entanto, quando a umidade do solo vai se tornando reduzida, a força necessária para removê-la será cada vez maior.

Para representar a tensão com que a água é retida pelo solo é usado unidades de energia, em duas formas diferentes.

a) Energia por unidade de volume - como esta unidade tem dimensão de pressão, uma vez que, energia = volume x pressão e pressão = energia/volume, pode-se representar a retenção de água no solo por unidade de pressão como o bar e a atmosfera.

b) Energia unidade de peso: da mesma forma como energia pode ser expressa em unidades de pressão, esta pode ser expressa em termos de uma altura. Como 1 atm equivale a 76 cm de Hg (mercúrio) ou 1.033 cm de água estas medidas podem ser usadas para representar a tensão com que a água está sendo retida no solo. A relação entre a tensão com que a água é retida pelo solo com o teor de unidade correspondente a esta tensão é denominada "curva de retenção de água no solo" ou "curva de característica de água do solo (Fig. 7)



FIG. 7. Curvas características de umidade devidas ao efeito da textura.

Esta relação não é linear e a maior quantidade de água de um solo é retida a tensões entre 0 - 1 atmosfera e quantidade bem menores a tensões entre 1 a 15 atmosfera.

A curva de retenção de água do solo não é constante, isto é, varia de solo para solo e para um mesmo solo se a porosidade sofrer alterações. As propriedades do solo que mais influenciam esta curva são a textura e estrutura (Fig. 8).

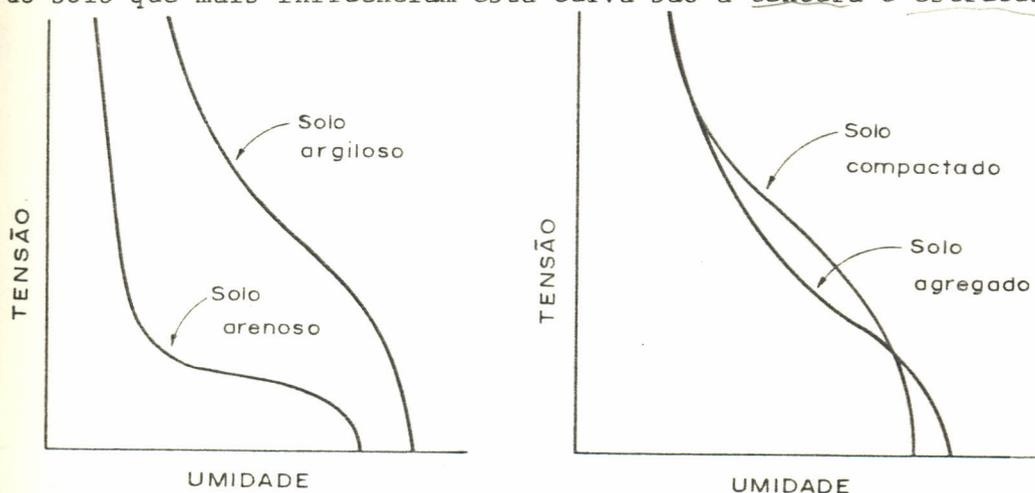


FIG. 8. Curvas características da umidade do solo, devido textura e estrutura.

Referidas curvas são medidas experimentalmente para cada solo, sendo utilizado instrumentos especializados de laboratório denominados de placas ou membranas de Richards. Estes instrumentos são constituídos de câmaras nas quais se colocam as amostras de solo, já saturadas, aplicando-se as mesmas uma pressão pré-determinada, até atingir o equilíbrio (aproximadamente 48 horas). Aplicando-se diferentes amostras, obtêm-se no equilíbrio amostras de diferentes umidades submetidas a diferentes tensões.

O uso das curvas características de umidade são muito comum na prática de irrigação, pois através da curva de retenção pode-se estimar a tensão com que a água está sendo retida pelo solo, medindo-se a umidade e estabelecendo-se a quantidade de água a ser restituída ao solo, para atender as necessidades das plantas.

Outro instrumento para medir a tensão com que a água está sendo retida pelo solo é o tensiômetro. No entanto, este funciona a baixas tensões, isto é, a tensões da ordem de  $-0,8$  <sup>ou  $0,75$</sup>  atmosfera. Para tensões superiores a  $-0,8$  atmosfera o tensiômetro deixa de funcionar. Compõem-se de uma cápsula de cerâmica porosa conectada a um manômetro através de um tubo plástico, (Fig. 9).

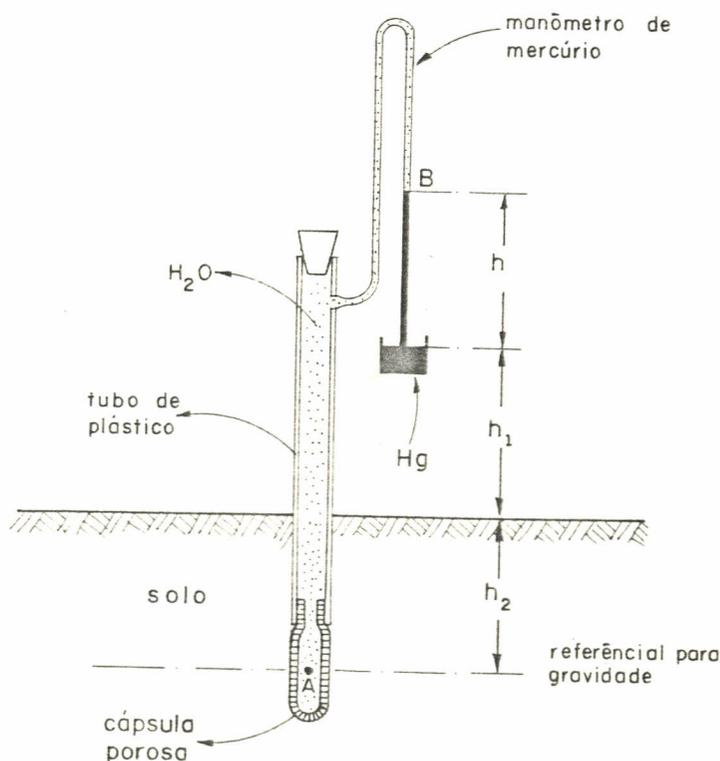


FIG. 9 Esquema de um tensiômetro.

Para que o tensiômetro possa medir o potencial de água no solo ou a força com que a água está sendo retida pelo solo é necessário que ele esteja completamente cheio de água e a cápsula saturada. Se instalarmos o tensiômetro em solo saturado, haverá um equilíbrio entre água do tensiômetro e a água do solo, conseqüentemente a leitura do manômetro será zero. Se colocarmos o tensiômetro em solo parcialmente seco a água fluíra do tensiômetro para o solo, e o vacuômetro indicará uma subpressão. Se o manômetro for de mercúrio haverá elevação da coluna de mercúrio, indicando uma pressão negativa. Assim, a força de atração exercida pelo solo sobre a água é igual aquela representada pelo solo sobre a água, representado neste caso a tensão de água no solo.

Os tensiômetros são instrumentos de fáceis manejo e quando operados por pessoas treinadas, fornecem dados úteis, quanto o estado de umidade do solo, na zona de maior concentração das raízes das plantas.

Nos itens anteriores foi apresentado um estudo da água do ponto de vista quantitativo como também de retenção pelo solo, a qual se relaciona com seu estado de energia. No entanto, para o irrigante é de grande significância verificar as condições de umidade do solo a fim de determinar se a quantidade de água que o solo armazena poderá ser utilizada pelas plantas, a fim de atender suas necessidades hídricas sem afetar seus processos fisiológicos com reflexos na produção.

A água armazenada no solo e que pode ser utilizada pelas plantas foi denominada "água disponível". No entanto, existem controvérsias com relação a disponibilidade de água para as plantas. A "água disponível" é classificadamente definida como sendo uma característica estática do solo e representa a quantidade de água que um solo armazena entre a "capacidade de campo" (limite superior de água disponível) e o ponto de marcha permanente (limite inferior de água disponível). Para VEIHMEYER E HENDRICKSON, a água do solo é igualmente disponível dentro deste intervalo e postulam que os processos fisiológicos das plantas não sofrem alterações, passando a variar bruscamente uma vez que o limite inferior é ultrapassado. No entanto RICHARDS e WALDLEICH em suas pesquisas verificaram que a disponibilidade de água às plantas sofrem redução antes de atingir o ponto de murchamento (Fig. 10).

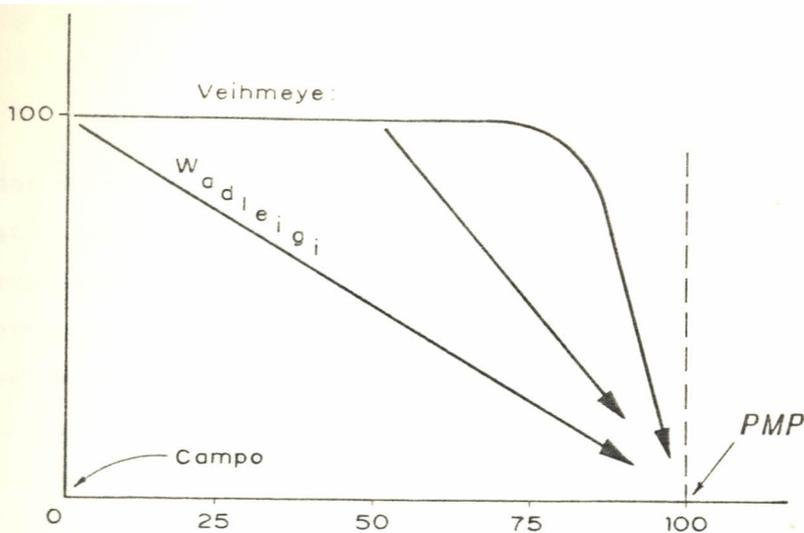


FIG.10 Crescimento vegetativo em relação ao aproveitamento da água disponível.

O conceito clássico de água disponível fornece um critério para caracterizar o solo quanto a sua capacidade de armazenar água, sendo muito útil no dimensionamento e operação de projetos de irrigação.

Capacidade de campo: corresponde o limite superior da água disponível e é definida pelo teor de umidade que o solo retém em condições de drenagem livre, após 2 a 5 dias de sua saturação por água de chuva ou irrigação ou desde que o movimento de água no sentido vertical tenha sido considerado desprezível.

Convém ressaltar que em solos de textura grossa realmente a redução do movimento de água com a diminuição de umidade do solo apresenta uma faixa de transição bem nítida, tornando a capacidade de campo bem definida. No entanto, em solos de textura fina, não há faixa de transição na redução de intensidade do movimento da água, tornando o conceito de capacidade de campo pouco preciso (Fig. 11).

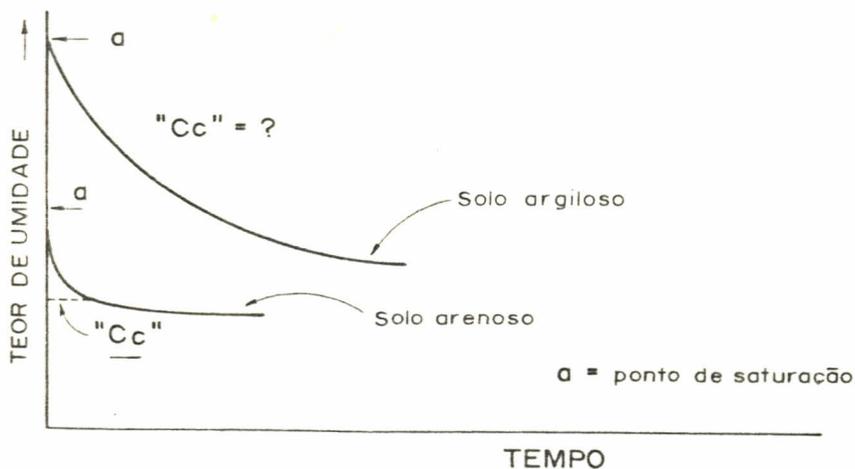


FIG. 11 Capacidade de campo ( $C_c$ ) em Solos Argiloso e Arenoso.

Trabalhos de pesquisa foram realizados para verificar a que tensão a umidade do solo está sendo retida no ponto correspondente a capacidade de campo. Estes estudos revelaram que para solos arenosos a capacidade de campo corresponde a umidade retida a 1/10 de atmosfera e para solos de textura fina a 1/3 de atmosfera. Convém ressaltar que esta correspondência não se verifica para todo tipo de solo, uma vez que, a umidade do solo correspondente a capacidade de campo depende de inúmeros fatores como: textura, condições de drenagem do solo, uniformidade do perfil do solo, estação do ano, profundidade de umedecimento e quantidade de água aplicada.

No entanto, não sendo possível determinar a capacidade de campo em condições de campo (anexo IV) e devido a necessidade de obtê-lo é normal considerar a umidade correspondente as tensões de 1/10 e 1/3 atm.

Ponto de murcha permanente: refere-se ao teor de umidade no qual o solo não pode suprir água às plantas em quantidade suficiente para manter a sua turgescência e a planta entra em murcha permanente. Em termos de tensão seria a umidade que o solo retém com uma força correspondente a 15 atmosfera.

Este conceito é muito útil, mas deve-se lembrar que o seu valor depende do tipo de solo e que diferentes plantas têm a capacidade de extrair água até diferentes limites. Existem plantas que podem sobreviver com déficit de água muito intenso. São plantas resistentes a seca, porém a sua extração de água ocorre lentamente e outras cessam o crescimento antes de apresentar sintomas de murchamento.

Pelo exposto verifica-se que os conceitos de capacidade de campo, ponto de murchamento e água disponível são definidos como uma característica estática do solo, no entanto, a água do solo não é estática, mas dinâmica e movimenta-se em funções de um gradiente de potencial (Fig. 12). No entanto estes conceitos são úteis na prática de irrigação, pois permite uma caracterização quantitativa de água no solo.

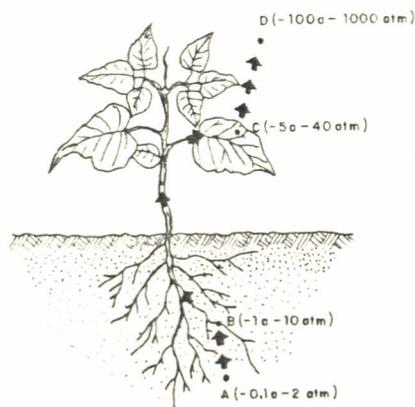


FIG.12 Movimento de água no sistema solo-planta-atmosfera.

## Cálculo de Água Disponível

Desde que se determine os teores de umidade correspondente a capacidade de campo, o ponto de murcho permanente, a densidade aparente e camada de solo que se pretende conhecer a água armazenada, é possível determinar a água disponível.

A disponibilidade total de água no solo, pode ser expressa em altura de lâmina de água por profundidade do solo. Geralmente é expressa em, mm de água por cm de solo ou volume de água por unidade de área de solo.

Sejam um cubo de solo qualquer com uma textura e estrutura indeformada e seja P sua aresta. Por hipótese o solo tem um teor de umidade. Imagine que por um processo qualquer, toda água foi extraída e depositada na base do cubo formando uma lâmina L.

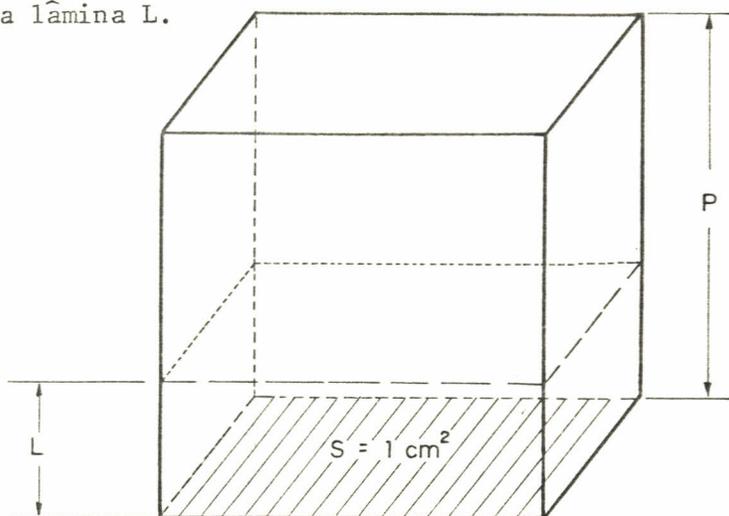


FIG. 13 Esquema de volume de solo úmido mostrando L.

De acordo com a Figura 13 temos:

$$\text{Volume de solo} = P^3$$

$$\text{Volume de água} = P^2 L$$

$$\text{Peso de água} = P^2 L d_a$$

$$\text{Peso do solo} = P^3 d_{ap}$$

onde:

$$\text{Densidade de água} = d_a$$

$$\text{Densidade aparente} = d_{ap}$$

$$\text{Umidade} = U$$

Por definição  $U = \frac{\text{peso de água}}{\text{peso do solo}} \times 100$  e por substituição temos:

$$U = \frac{P^2 L da}{P^3 dap} \times 100 \quad \text{como } da = 1 \text{ temos}$$

$$U = \frac{100 L}{P dap} \quad \therefore \quad 100 L = UP dap$$

Logo:

$$L = \frac{UP dap}{100} \quad \text{considerando } U = CC - PMP \text{ temos:}$$

$$L = \frac{CC - PMP}{100} \times P \times dap \quad (9)$$

Assim,  $L$  é a lâmina de água que adicionada a um solo de densidade aparente ( $dap$ ) fornecê-lhe a uma profundidade ( $P$ ) um teor de umidade que corresponde a diferença entre a capacidade de campo ( $CC$ ) e o ponto de murcha permanente ( $PMP$ ).

$AD = \text{mm/cm}$

$CC = \text{Capacidade de campo} \quad (\%)$

$PMP = \text{Ponto de murcha permanente} \quad (\%)$

$dap = \text{Densidade aparente} \quad (\text{g/cm}^3)$

$P = \text{Profundidade do solo} \quad (\text{cm})$

Considerando:

$CC = 15\%$

$PMP = 10\%$

$dap = 1,5 \text{ g/cm}^3$

$P = 20 \text{ cm} = 200 \text{ mm}$

$AD = 15\text{mm}/20\text{cm de solo ou } 0,75 \text{ mm/cm de solo.}$

Nos solos a disponibilidade de água varia com a textura e geralmente aumenta a medida que a textura se modifica de arenosa para argilosa (Quadro 1).

Quadro 1 - Limites de disponibilidade total de água para diferentes texturas.

Textura	Disponibilidade total de água em	
	mm/cm do solo	m <sup>3</sup> /ha por cm do solo
Grosso	0,4 a 0,8	4 a 8
Média	0,8 a 1,6	8 a 16
Fina	1,2 a 2,4	12 a 24

Como foi visto anteriormente as culturas sofrem alterações em seus processos fisiológicos a medida que se aproximam do ponto de murcha permanente. Consequentemente, em irrigação não se deve permitir que o teor de umidade atinja o ponto de murcha permanente, isto é, devemos aplicar água quando a umidade no solo está retida a uma tensão que não prejudique a planta ou quando a planta tiver consumido uma percentagem da disponibilidade total de água. Esta percentagem geralmente varia de 30 a 70%. O menor valor deve ser usado para culturas mais sensíveis ao déficit de água no solo e o maior valor para culturas mais resistentes.

Assim considerando o exemplo anterior a lâmina de reposição em cada irrigação para uma cultura sensível será:

$$L_{\text{reposição}} = AD \times 0,30$$

$$L_{\text{reposição}} = 15 \times 0,30 = 4,5 \text{ mm}$$

Para aplicarmos esta lâmina de água ao solo é necessário conhecer o processo pelo qual a água penetra no solo o qual denomina-se infiltração.

#### Infiltração de água no solo

Infiltração é o termo dado ao processo pelo qual a água penetra no solo, através de sua superfície. A velocidade de infiltração (VI) d'água em um solo é fator muito importante na irrigação, visto que ela determina o tempo em que se deve manter a água na superfície do solo ou a duração da aspersão, de modo a aplicar uma quantidade desejada de água. Ela é expressa em termos de altura de lâmina d'água ou volume d'água por unidade de tempo, em geral, nas unidades de cm/h ou l/s.

A VI depende diretamente da textura e da estrutura dos solos. Em solos arenosos ou argilosos com partículas bem agregadas, em razão de sua maior percentagem de poros grandes, têm-se maiores velocidades de infiltração (Fig. 14).

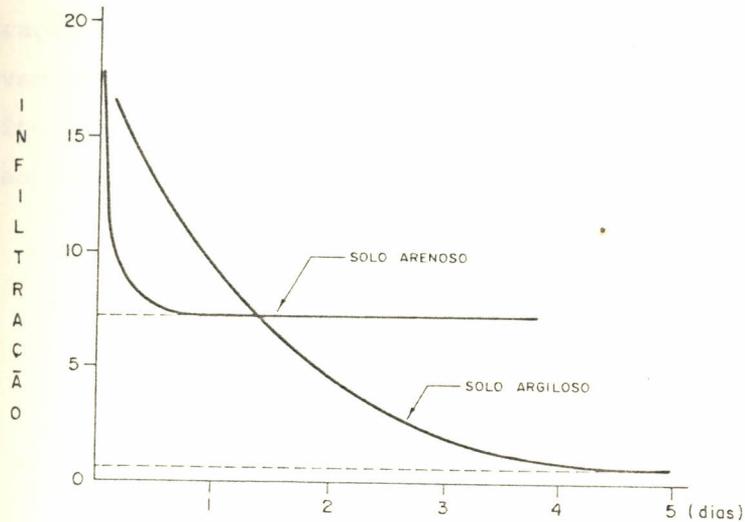


FIG. 14 - Infiltração como uma função do tempo

Em um mesmo tipo de solo a VI varia com:

- A % de umidade do solo, na época de irrigação.
- A porosidade de solo
- A existência de camada menos permeável, ao longo do perfil. Figuras (15) e (16).

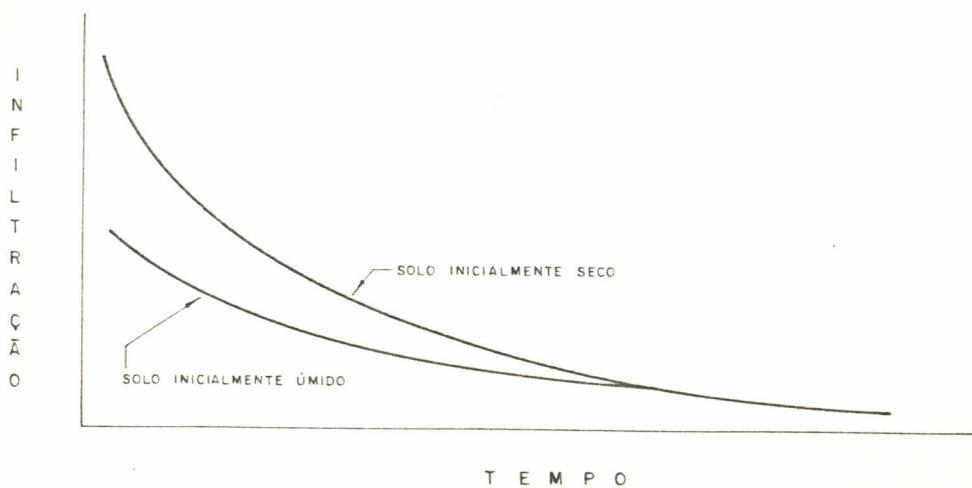


FIG. 15 - Infiltração em função do tempo

Observa-se que a variação da VI em um mesmo solo, por causa da diferença do teor de umidade, desaparece geralmente 60 minutos depois do início da aplicação d'água.

A velocidade de infiltração nos solos diminui com o aumento do tempo de aplicação d'água. Inicialmente, ele é relativamente alta, e vai diminuindo gradativamente, até um valor quase constante. Nesse ponto, onde a variação da VI é muito pequena, praticamente constante, ela é chamada de velocidade de infiltração básica VIB. (Fig. 16).

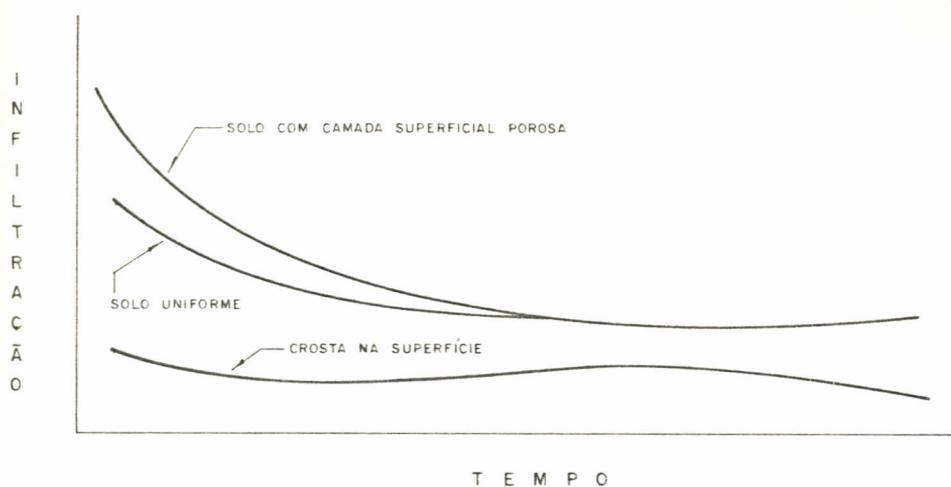


FIG. 16 - Infiltração em função do tempo

Outro termo muito usado é a infiltração acumulada ( $I$ ) que é a quantidade total d'água infiltrada, durante determinado tempo. Ela é geralmente expressa em: cm, referindo-se à altura da lâmina d'água que infiltrou na superfície do solo, litros por unidade de superfície ou litros por unidade de comprimento de sulco.

Pode-se também calcular a quantidade d'água que infiltrou em um solo, em função da curva de infiltração acumulada deste solo.

### Equações que descrevem a infiltração

A infiltração acumulada d'água no solo (I) pode ser descrita por vários tipos de equações, sendo a equação abaixo uma das mais usadas.

$$I = aT^n \quad (10)$$

onde: I - infiltração acumulada, em cm

a - constante dependente do solo

T - tempo de infiltração em minutos

n - constante dependente do solo, variando de 0 a 1

A velocidade de infiltração instantânea (VI) é a derivada da infiltração acumulada, em relação ao tempo.

$$VI = \frac{dI}{dT} \quad (11)$$

substituindo a equação (10) em (11) e derivando teremos:

$$VI = anT^{n-1} \quad (\text{cm/min}) \quad (12)$$

ou

$$VI = 60.a.nT^{n-1} \quad (\text{cm/hora}) \quad (13)$$

### Movimento de água no solo durante a infiltração

O movimento da água no solo é particularmente importante na irrigação com vistas a determinar a extensão do volume de solo molhado na irrigação, e também com relação à infiltração da água no solo, desde que isto determine o tempo necessário para a aplicação de uma determinada lâmina de irrigação.

A água tem contacto com o solo através do perímetro molhado do mesmo, sendo que inicialmente o movimento lateral da água tem a mesma magnitude que o movimento vertical para baixo e a secção transversal do perfil molhado transversal se apresenta em forma circular. Após um período de tempo, quando o solo já estiver molhado a uma grande profundidade, a área molhada se modifica com o movimento vertical para baixo ficando dominante. Esta mudança na forma da secção molhada é mais acentuada em solos arenosos, resultando uma forma mais alongada que

em solos argilosos. (Fig. 17).

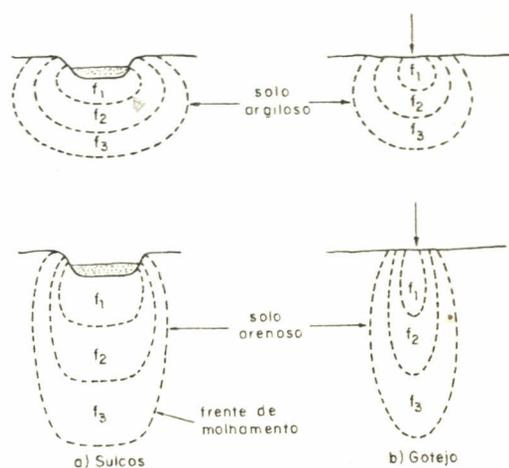


FIG. 17. Diferenças na infiltração para solos diferentes.

Por este motivo, na irrigação por infiltração os sulcos podem ser mais espaçados nos solos argilosos que nos arenosos. Em solos profundos, predominantemente arenosos, o movimento da água no solo para baixo será dominante devido à gravidade, com a frente de umedecimento se estendendo em profundidade, antes que o movimento lateral alcance a linha média entre os sulcos. Se assim ocorre em certos casos a aplicação de água deve ser abreviada para evitar uma percolação profunda excessiva abaixo da zona do sistema radicular da cultura. Um espaçamento adequado aos sulcos poderá resolver o problema.

No caso de solos estratificados, com camadas de constituição textural diferentes, a distribuição da umidade do solo pode ser bastante afetada. Quando uma camada de solo permeável está sobre uma camada de solo impermeável, a água seguirá o movimento normal a partir do sulco até atingir a camada impermeável.

Haverá então um acúmulo de água acima da camada impermeável até que uma pressão positiva se estabeleça, iniciando o movimento dentro da camada impermeável. Durante este tempo haverá um acréscimo no movimento lateral da água que pode atingir distância considerável (Fig. 18). O mesmo efeito é encontrado quando a camada superficial do solo foi cultivada recentemente.

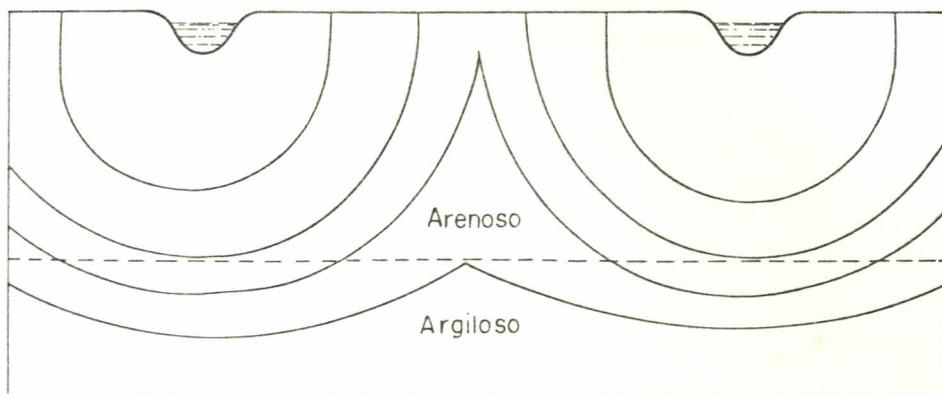


FIG 18. Infiltração da água em solo estratificado.

Uma situação similar ocorre no caso inverso, quando uma camada de solo arenoso está abaixo de uma camada de solo argiloso, mas desde que a pressão positiva se forme, o fluxo será normal.

Como somente parte da superfície do solo está em contacto com a taxa de infiltração deverá ser pouco menor do que no caso da irrigação por inundação. No caso de sulcos profundos e de reduzido espaçamento, o perímetro molhado pode ser comparável ao espaçamento. Mas em sulcos de maior espaçamento, o perímetro molhado pode ser a metade, um terço ou uma fração menor ainda do espaçamento. Neste caso, o tempo de irrigação tem que prolongar-se para se obter a mesma penetração da água entre os sulcos, ainda que a perda por percolação seja excessiva.

Existem vários métodos e maneiras para se determinar a VI de um solo. (anexo V). Para que o seu valor seja significativo, o método de determiná-la deve ser condizente com o tipo de irrigação que será usado naquela área. Para isto, podem-se classificar os diversos tipos de irrigação, segundo a infiltração, em dois grupos:

- Quando a infiltração se processa apenas na vertical, o que ocorre nas irrigações por aspersão e inundações.
- Quando a infiltração ocorre tanto na direção vertical como horizontal, como é o caso da irrigação em sulco.

Sendo assim, ao fazer-se irrigação em sulco, a VI deve ser determinada pelo método da "Entrada-Saída" d'água no sulco ou pelo método do "Infiltrômetro de Sulco".

No caso de irrigação por aspersão ou por inundação, deve-se determinar a VI, pelo método das "Bacias" e pelo método do "Infiltrômetro de Anel".

Segundo a VIB de um solo, pode-se classificá-lo em:

#### Tipos de Solo

. Solo de VIB muito alta.....	> 3,0	cm/h
. Solo de VIB alta.....	1,5 - 3,0	cm/h
. Solo de VIB medial.....	0,5 - 1,5	cm/h
. Solo de VIB baixa.....	< 0,5	cm/h

O valor da VIB de um solo é um fator de grande importância em irrigação, pois é ele que indicará quais os métodos de irrigação possíveis de serem usados naquele solo, bem como determinará a intensidade de precipitação máxima, que poderá ser permitida na irrigação por aspersão.

Sendo propósito básico da irrigação abastecer as plantas d'água à medida que elas necessitam, de modo que se obtenha ótima produção em quantidade e qualidade, deve-se irrigar antes que a razão entre a quantidade de água no solo com a quantidade de demanda evaporativa diminua, fazendo com que a deficiência d'água venha influenciar a produção em quantidade ou qualidade.

Para que estes princípios sejam atingidos devem ser considerados fatores como: capacidade de retenção de água pelo solo, profundidade efetiva de raízes que determinam a quantidade de água útil para as plantas, e clima que afeta a capacidade de uso d'água. Consequentemente, antes de iniciar um projeto de irrigação, o local deve ser analisado em termos de solo, clima e manejo.

Assim, considerando que a quantidade de água requerida por uma cultura e a resposta da cultura à irrigação varia com o tipo de solo, tipo de cultura, e condições climáticas da região será dando um exemplo, considerando-os parâmetros do solo e da planta para determinar a quantidade de água que será aplicada ao solo em cada irrigação:

## Exemplo:

No quadro 2 e Figura 20 são dados as características físico-hídricas de Latossolo Vermelho Amarelo. Os dados relativo a planta são referentes a cultura do tomate industrial com evapotranspiração de 5,3 mm/dia e profundidade efetiva do sistema radicular de 60 cm. Determinar a lâmina líquida de irrigação para uma profundidade de 60 cm de solo, usando um nível de restituição de 45% da água disponível. Qual o tempo necessário para infiltrar a lâmina líquida? e a frequência de aplicação desta lâmina?

a) Cálculo de água disponível total

$$AD = \frac{CC - PMP}{100} \text{ dap} \times P$$

$$AD_{0-30} = \frac{10,68 - 3,10}{100} \times 1,65 \times 30 = 3,75\text{cm} = 37,5\text{mm}$$

$$AD_{30-60} = \frac{11,62 - 5,25}{100} \times 1,61 \times 30 = 3,09\text{cm} = 30,9\text{mm}$$

$$A_{0-60} = AD_{0-30} + AD_{30-60} = 68,4\text{mm}$$

b) Cálculo da lâmina de reposição

$$L_{\text{reposição}} = 68 \times 45\% = 31\text{mm (veja Fig 19)}$$

c) Tempo necessário para aplicar a lâmina de reposição

De acordo com a Fig. 20, para aplicar uma lâmina de 31mm ou 3,1cm o tempo necessário é de 20 minutos.

De acordo com a equação  $I = 0,66 T^{0,53}$  temos um tempo também de 19 minutos

$$I = aT^n \quad \therefore \quad T = \left( \frac{I}{a} \right)^{1/n} \quad T = \left( \frac{3,1}{0,66} \right)^{1/0,53} \quad T \approx 19 \text{ minutos}$$

d) Intervalo de irrigação ou frequência (F)

$$F = \frac{L_{\text{reposição}}}{E_t}$$

$$F = \frac{31}{5,3} \approx 6 \text{ dias.}$$

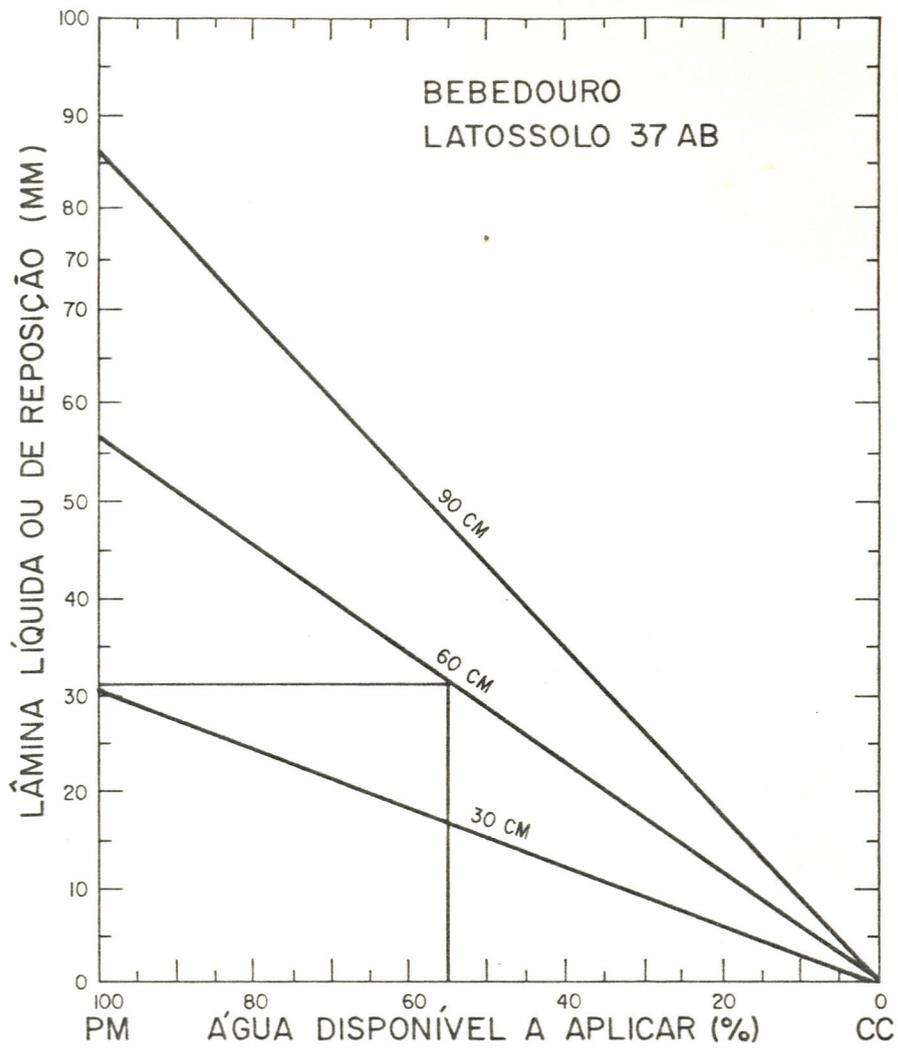


FIG. 19 - Lâmina líquida versus água disponível a aplicar no Latossolo Unidade 37 AB

TABELA 2. Características físico-hídricas do latossolo da unidade 37 AB<sup>a</sup>.

Características	Profundidade			
	0-30	30-60	60-90	90-122
Granulometria				
Areia (%)	85	76	71	71
Silte (%)	7	8	7	7
Argila (%)	8	16	22	22
Classificação textura (USDA)	Areia franca	Franco arenoso	Franco argilo-arenoso	Franco argilo-arenoso
Densidade aparente (g/m <sup>3</sup> )	1,65	1,61	1,62	1,62
Densidade real (g/cm <sup>3</sup> )	-	-	-	-
Capacidade de campo (%)	10,68	11,62	13,80	13,80
Retenção de água a 15 atm. (%)	3,10	5,25	5,40	5,40
Água disponível (cm)	3,75	3,09	4,08	4,08

<sup>a</sup> Dados obtidos por Azevedo (1975).

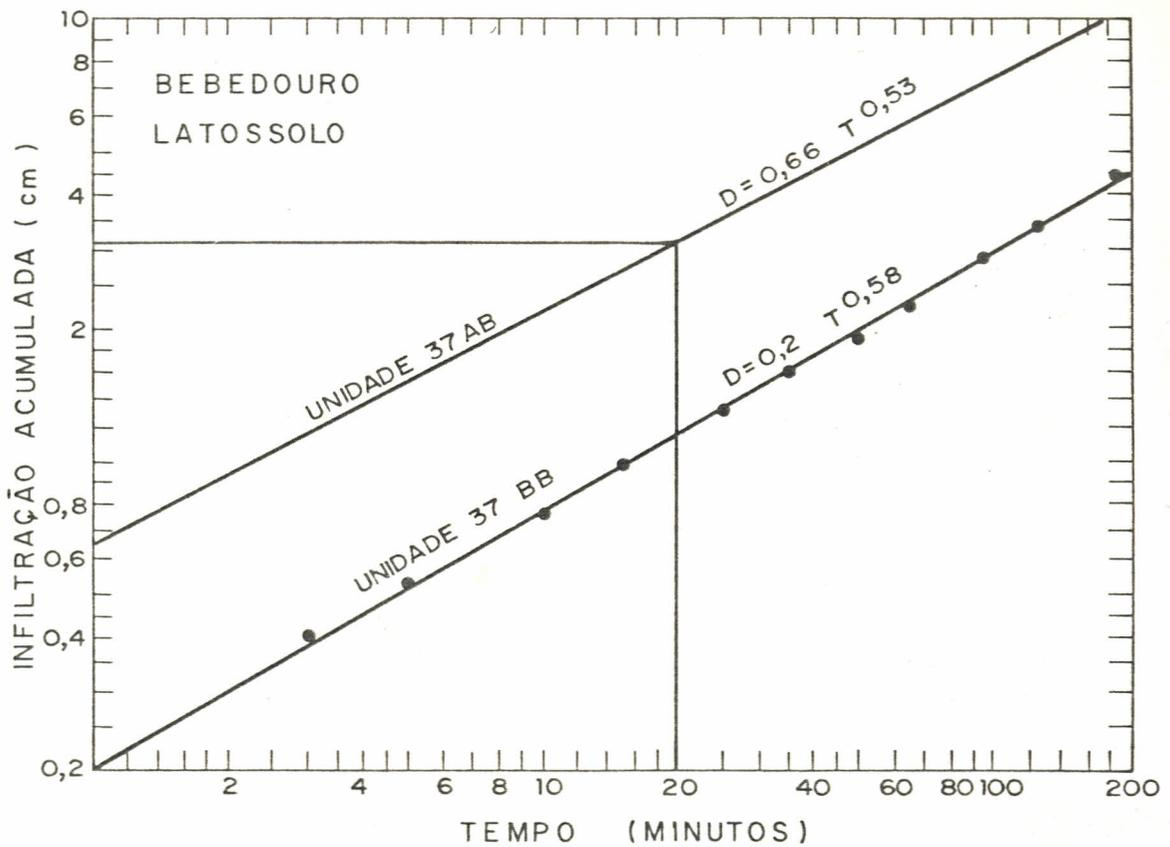


FIG.20 Infiltração acumulada versus tempo para o latossolo Unidades 37 AB e BB.

## LITERATURA CONSULTADA

- BARRETO, G.B. Irrigação: princípios - métodos e prática. Campinas, SP, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1974. 185 p. il.
- BERNANRDO, S. Manual de irrigação. Viçosa, MG, Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, 1982. 463 p. il.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. Física de suelos. México, Union Tipografia Editorial Hispano-Americana, 1973. 529 p. il.
- BUCKMAN, H.O. & BRADY, N.C. Natureza e propriedades dos solos; Compêndio universitário sobre. 3.ed. edafologia. Rio de Janeiro, F. Bastos, 1974. 594 p. il.
- DAKER, A. A água na agricultura; manual de hidráulica agrícola; irrigação e drenagem. 4. ed. rev. e ampl. São Paulo, F. Bastos, 1973. v.3, 453 p. il.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. 1 v.
- GAVANDE, S.A. Física de suelos: principios y aplicaciones. México, DC, Limusa, 1976. 351 p. il.
- OLITTA, A.F.L. Os métodos de irrigação. São Paulo, Nobel, 1977. 267 p. il.
- REICHARDT, K. A água na produção agrícola. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1978. 119 p. il.
- REICHARDT, K. Processo de transferências no sistema solo-planta-atmosfera. 3. ed. rev. Piracicaba, SP, USP-CNEN/Fundação Cargill, 1975.

SANTOS, E.D. Determinação da capacidade de campo pelo método de irrigação superficial de colunas de solo. Recife, PE, EMATER-PE, 1979. 5 p. (EMATER-PE. Boletim Técnico, 19).

SCARDUA, R. Irrigação: 1ª parte. 3. ed. Piracicaba, SP, Centro Acadêmico Luiz de Queiroz, 1974. 148 p. il.

SILVA, L.A. da; LIMA, J.V.C.; O. Filho, A.M. & FARIAS, D. de S. Irrigação por aspersão. 4. ed. Recife, PE, Dan Metal, 1979. 84 p. il.

WINTER, E.J. A água, o solo e a planta. São Paulo, Ed. Pedagógica e Universitária, 1976. 169 p. il.

## ANEXOS

Determinação dos principais  
parâmetros no dimensionamento  
e operação de projetos de irrigação

## ANEXO I

### Métodos de determinação de Umidade do Solo

#### 1. Método gravimétrico

- colocar a amostra coletada, com ou sem estrutura deformada, em lata de al  
mínio numerada e de peso conhecido;
- pesar e transferir para estufa a 105-110°C, deixando nesta condições durante  
te 24 horas;
- retirar da estufa, colocar em dessecação, deixar esfriar e pesar;
- repetir a secagem na estufa até a obtenção do peso constante:
- calcular a percentagem de umidade segundo as expressões:

$$(1) \% \text{ de Umidade} = 100 \left( \frac{\text{peso da amostra úmida} - \text{peso da amostra seca}}{\text{peso da amostra seca a } 105^{\circ}\text{C}} \right) \quad \text{a}$$

$$(2) \% \text{ de Umidade} = 100 \left( \frac{\text{peso da amostra úmida} - \text{peso da amostra seca}}{\text{volume da amostra}} \right) \quad \text{a}$$

$$(3) \% \text{ de Umidade} = \% \text{ de umidade (peso)} \times \text{densidade aparente}$$

OBS: (1) umidade expressa em g/100 g de amostra seca a 105°C;

(2) e (3) umidade expressa em g/100 cm<sup>3</sup> da amostra volumétrica.

## ANEXO II

### Método de determinação de densidade real

#### 1. Método do balão volumétrico

- pesar 20 g de terra fina, colocar e, lata de alumínio de peso conhecido, levar à estufa, deixar por 6 a 12 horas, dessecar e pesar, a fim de se obter o peso da amostra seca a 105°C;
- transferir a amostra para balão aferido de 50 ml, usando um funil e um pincel de cabelo;
- adicionar álcool etílico de bureta de 50 ml, agitando bem o balão para eliminar as bolhas de ar que se formam;
- Prosseguir com a operação vagarosamente, até ausência de bolhas e completar o volume do balão;
- anotar o volume de álcool gasto;

Densidade real ( $\text{g/cm}^3$ ) = peso da amostra seca a 105°C / (50 - volume de álcool gasto)

OBS: esta determinação pode ser feita em continuação à da umidade residual (método 1.4), utilizando a amostra depois de seca em estufa.

A densidade real pode ser calculada em função dos valores da umidade residual (método 1.4) e do volume de álcool gasto na determinação citada (1.15).

## ANEXO III

### Métodos de determinação de densidade aparente

#### 1. Método do anel volumétrico

- determinar ou anotar o volume do anel ou cilindro que contém a amostra;
- pesar o conjunto e anotar o peso, ou transferir a amostra para lata de alumínio numerada e de peso conhecido, e pesar;
- colocar na estufa e, após 24 e 48 horas, retirar, deixar esfriar e pesar;
- calcular a densidade aparente da amostra pela seguinte expressão:

Densidade aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) = peso da amostra seca a  $105^\circ\text{C}$  / volume do anel ou cilindro.

OBS: verificar, após a retirada da amostra do anel volumétrico, a eficiência da amostragem e registrar, se for o caso, a presença do enrugamento na periferia da amostra, presença de raízes ou canais.

## 2. Método de proveta

- pesar uma proveta de 100 ml, com aproximação de 0,5 a 1 g;
- encher a proveta com terra fina conforme descrito a seguir: colocar, de cada vez, aproximadamente 35 ml, contidos em bēcher de 50 ml, deixando cair de uma sō vez e em seguida compactar a terra fina batendo a proveta 10 vezes sobre lençol de borracha de 5 mm de espessura, com distância de queda de mais ou menos 10 cm; repetir esta operação por mais duas vezes; até que o nível da amostra fique nivelado com o traço do aferimento da proveta;
- pesar a proveta com a amostra e calcular a densidade aparente pela seguinte expressão:

Densidade aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) = peso da amostra seca a  $105^\circ\text{C}$  / volume do anel ou cilindro.

OBS: esta determinação exprime a relação massa/volume da terra fina, sendo seus resultados comparáveis com os obtidos pelo método do anel, apenas para solos arenosos, não sendo recomendáveis para solos argilosos ou estruturados.

### 3. Métodos do Torrão

- pesar o torrão depois de deixado secar ao ar ou, se possível, com a condição de umidade com que foi coletado;
- colocar o mesmo numa cápsula de petri numerada para identificação da amostra;
- mergulhar o torrão em parafina fundida (60°C), até que se obtenha uma perfeita impermeabilização;
- pesar o torrão depois de parafina e esfriado;
- aferir o volume de um bēcher de 100 ml que possa conter o torrão, colocando o mesmo sobre um suporte e deixando cair álcool etílico de uma bureta de 50 ou 100 ml, até que se observe o transbordamento pelo bico do bēcher; anotar o volume; esse aferimento deve ser feito com 3 repetições; considerar a média dos volumes obtidos;
- transferir o torrão para o bēcher e adicionar o álcool etílico até o transbordamento do bēcher; anotar o volume;
- retirar o torrão, partir com uma face e transferir uma parte deste, sem parafina, para uma lata de alumínio para determinação da umidade (método 1.3);
- calcular o peso correspondente do torrão utilizado, seco a 105°C, em função da percentagem de umidade obtida na subamostra, pela seguinte expressão:

peso do torrão seco a 105°C = peso do torrão seco ao ar /  $\left[ 1 + \left( \frac{\% \text{ da umidade da subamostra}}{100} \right) \right]$

- calcular o volume da parafina empregada pela expressão:

volume da parafina = peso da parafina / 0,90

- calcular o volume do torrão em função dos seguintes dados:

volume do torrão =  $\left[ (\text{volume do bēcher} - \text{ml gastos}) - \text{volume da parafina} \right]$

- calcular a densidade aparente pela seguinte expressão:

Densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) = peso do torrão seco a  $105^\circ\text{C}$  / volume do torrão.

OBS: a parafina pode ser substituída pela resina SARAN F. 310, dissolvida em metil-etil-cetona, na proporção variável de 1:4 a 1:8, dependendo dessa concentração da porosidade do torrão.

#### 4. Método da escavação

##### Opção 1 - utilizando areia

- preparar a areia a ser utilizada, uniformizando a sua granulometria, passando em peneira de 1,00 mm e recebendo em peneira 0,2 mm; lavar bem, secar em estufa, esfriar e armazenar em vidros ou depósitos plásticos em quantidades definidas de peso que serão anotados em cada um;
- determinar a relação peso/volume da areia, deixando cair esta em um funil até encher um determinado recipiente de volume conhecido; determinar o peso da areia utilizado; repetir essa operação com volumes diferentes até se obter uma curva;
- escolher e nivelar a superfície do local onde vai ser feita a determinação;
- marcar uma área de 10 x 10 cm ou maior e proceder a escavação até uma profundidade de 10 a 12 cm, colocando o material removido em saco plástico;
- pesar o total do material e, depois de homogeneizar, retirar uma subamostra (100 g), colocar em lata de alumínio, fechar com durex e enviar para o laboratório para determinar a umidade;
- encher a escavação com a areia utilizando o mesmo funil empregado na determinação de equivalência peso/volume, evitando compactação e nivelar a superfície da areia;
- determinar o peso da areia empregada, por diferença entre o total contido no depósito e o peso da que restou, com aproximação de 0,5 g;
- retirar a areia da escavação e colocar em novos depósitos para outra determinação;
- calcular o peso da amostra seca a 105°C em função do teor de umidade da subamostra, pela seguinte expressão:

peso da amostra seca em estufa = peso da amostra total úmida /  $[(1 + \% \text{ de umidade na subamostra}/100)]$

- calcular o volume da escavação do peso de areia empregado;
- determinar a densidade aparente pela seguinte expressão:

Densidade aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) = peso total da amostra seca a  $105^\circ\text{C}$ /volume da escavação.

OBS: pode ser usado o "Sand-Funnel Apparatus" ou o "Frasco de Areia" (DNER DPT M 92-64). Catálogo "Solotest" - Aparelhos para Mecânica do Solo Ltda. 5a. Ed.

Opção 2 - utilização água:

- proceder a uma escavação no terreno de modo que possa ser adaptado um balão feito de borracha muito fina;
- colocar o balão no interior da escavação e adicionar água de uma proveta até que esta fique bem nivelada com o terreno;
- determinar o volume de água empregado, com aproximação de  $2 \text{ cm}^3$ ;
- determinar o peso total do material retirado da escavação e o teor de umidade em uma subamostra de modo similar a do método da areia;
- calcular a densidade aparente, também conforme foi indicado anteriormente.

OBS: este método pode ser utilizado com o "Rubber-Balloon Apparatus" que apresenta maiores facilidades na determinação.

## ANEXO IV

### Determinação de capacidade de campo

#### 1. Métodos de campo

- escolher e preparar o local onde vai ser efetuada a determinação, preferivelmente próximo à trincheira onde o perfil foi descrito;
- introduzir no solo 10 cm de uma grade de ferro galvanizado de 100 x 100 cm e 25 cm de altura (Fig. 1);
- calcular, em função dos valores da umidade atual e da porosidade total, a quantidade de água a ser aplicada para garantir um excesso desta no perfil, até uma profundidade de 120 cm;
- aplicar, parceladamente, a água no interior da grade por meio de depósito de volume conhecido; a fim de evitar erosão e turvação, derramar a água sobre um lençol plástico;
- depois que a água se infiltrar totalmente, cobrir a grade de ferro com um plástico e, acima deste, colocar ramos de árvores (Fig. 1);
- após 24, 48, 72 e 96 horas, coletar amostras por meio de trado, nas profundidades correspondentes aos vários horizontes do perfil ou a profundidades previamente estabelecidas (0-20, 20-40, ); distância de 20 a 30 cm da grade;
- colocar cada amostra em lata de alumínio numerada e de peso conhecido e vedar com fita adesiva para evitar evaporação até que sejam enviadas ao laboratório;
- efetuar a determinação da umidade de cada amostra (método 1.3) e exprimir os resultados em % de peso e % e de volume;
- calcular a média dos valores obtidos para cada amostragem e preparar uma tabela, colocando na vertical os horizontes e profundidades e na horizontal os tempos de amostragem (24, 48, 72 e 96 h);

- eleger como valor da capacidade de campo, para cada profundidade, aquela que apresentar umidade igual entre dois intervalos de amostragem.

OBS: esta determinação não deve ser empregada em solos com impedimentos ao movimento vertical da água no solo.

## 2. Método de irrigação superficial de colunas de solo

- colocar um tampão de borracha com tubo de vidro no extremo inferior de tubo plástico de 30 cm de longitude e 2,5 cm de diâmetro;
- sobre o tampão de borracha e por dentro do tubo, colocar uma malha de arame de 2,3 cm de diâmetro e um círculo de papel de filtro;
- agregar porções de 25 cm<sup>3</sup> de solo seco ao ar e ternizado por uma peneira de 2 mm de orifício;
- mediante um funil de lâmina de 10 cm de diâmetro exterior e com trecho de saída de 30 cm de longitude agregar esta porção de solo no tubo plástico de 30 cm de longitude, tentando acondicionar com a mesma densidade do solo;
- escarificar a superfície de cada porção de solo que vai sendo acondicionado no trecho;
- agregar o solo até a profundidade de 25 cm;
- colocar um papel de filtro sobre o solo e se adiciona água para umedecer metade do solo;
- observar o avanço de frente de umedecimento;
- quando movimento se torna relativamente lento determinar o conteúdo de umidade. Este equilíbrio é obtido em média 36 horas para solos pesados, 24 horas para solo franco e 15 horas para solo arenoso;
- determina-se a umidade dividindo-se a parte úmida em três e tomando a parte central, colocando-se em estufa até peso constante.

Método de campo:

- após concluída a determinação da capacidade de infiltração, cobrir a área dos anéis e adjacências com um plástico;
- no dia seguinte, retirar os anéis e abrir uma trincheira, de modo que seu lado maior corte o centro do anel até a profundidade do umedecimento;
- marcar, com o auxílio de uma faca, a transição entre a parte úmida e a seca, e medir com trena, a zona de umedecimento para cada lado de uma linha vertical que passa pelo centro do anel, como também em profundidade; podem-se tomar como referência para essa medição os limites dos horizontes do perfil;
- com esses dados construir um gráfico, colocando na ordenada a profundidade do solo em centímetros, e, na abcissa, as distâncias para a direita e para a esquerda da zona umedecida (ver Fig. 1).

OBS: esta determinação deve ser feita em triplicata para uma mesma área, mas os seus resultados não devem diferir de mais de 30% do valor médio das 3 determinações; o vidro medidor deve ser aferido previamente, de modo que a cada divisão de escala corresponda um número exato de ml.

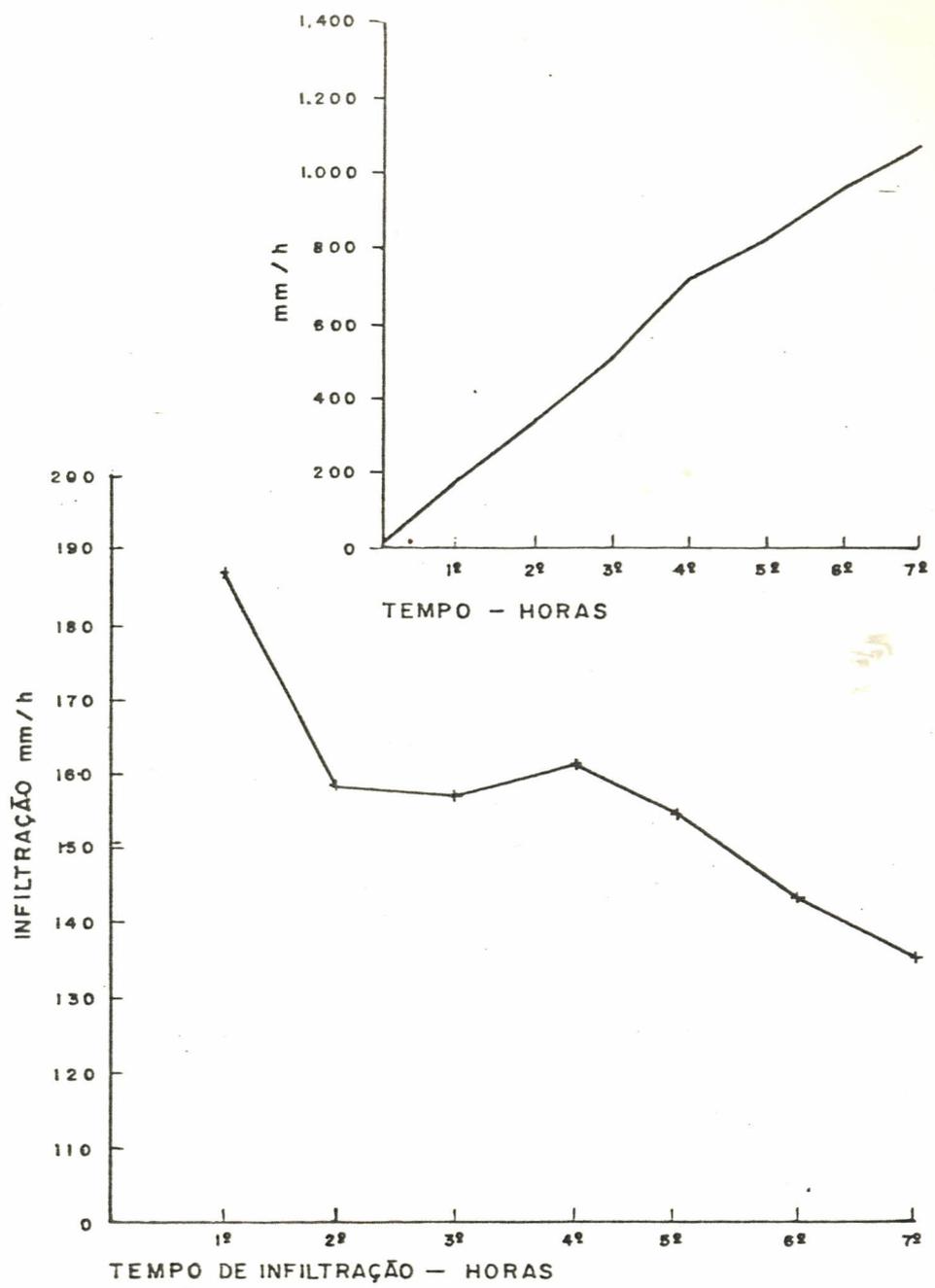
## Determinação da capacidade de infiltração

1. Método do infiltramento de anel

- escolher e preparar a área onde vai ser feita a determinação;
- no local determinado colocar um anel de ferro de 20 cm de diâmetro e 15 cm de altura e, por meio de percussão, introduzi-lo 5 cm do solo;
- colocar um segundo anel de 40 cm de diâmetro e 10 cm de altura, circunscrevendo o primeiro, também introduzindo-o 5 cm do solo;
- encher o vidro medidor e o depósito de 20 e 40 litros;
- colocar um plástico no interior do anel menor para o início da operação e adicionar água contida em outro depósito até um nível de 3 a 5 cm acima do solo e, imediatamente, ajustar o vidro medidor no seu suporte, de modo a manter sobre o solo uma lâmina de água de 3 cm de espessura;
- em seguida colocar o depósito de 20 ou 40 litros de modo a manter o mesmo nível de água (3 cm) no interior do anel maior;
- anotar o tempo do início da infiltração e a leitura no vidro medidor;
- efetuar as leituras após 30 a 60 minutos, e, depois, de hora em hora, durante 6 a 8 horas;
- proceder ao reabastecimento do vidro medidor e do depósito maior tantas vezes sejam necessárias, evitando a diminuição da altura da lâmina de água aplicada;
- calcular a velocidade de infiltração de acordo com a seguinte expressão:  
$$\text{capacidade de infiltração (cm/h)} = \text{volume infiltrado (hora)} \times 0,00318$$
- construir um gráfico colocando, na ordenada, a velocidade de infiltração em cm/h e, abcissa, o tempo em horas (Fig. 1);

- exprimir também, em outro gráfico, os valores obtidos, adotando o mesmo critério anterior, porém com valores acumulados para a velocidade de infiltração (Fig. 1).

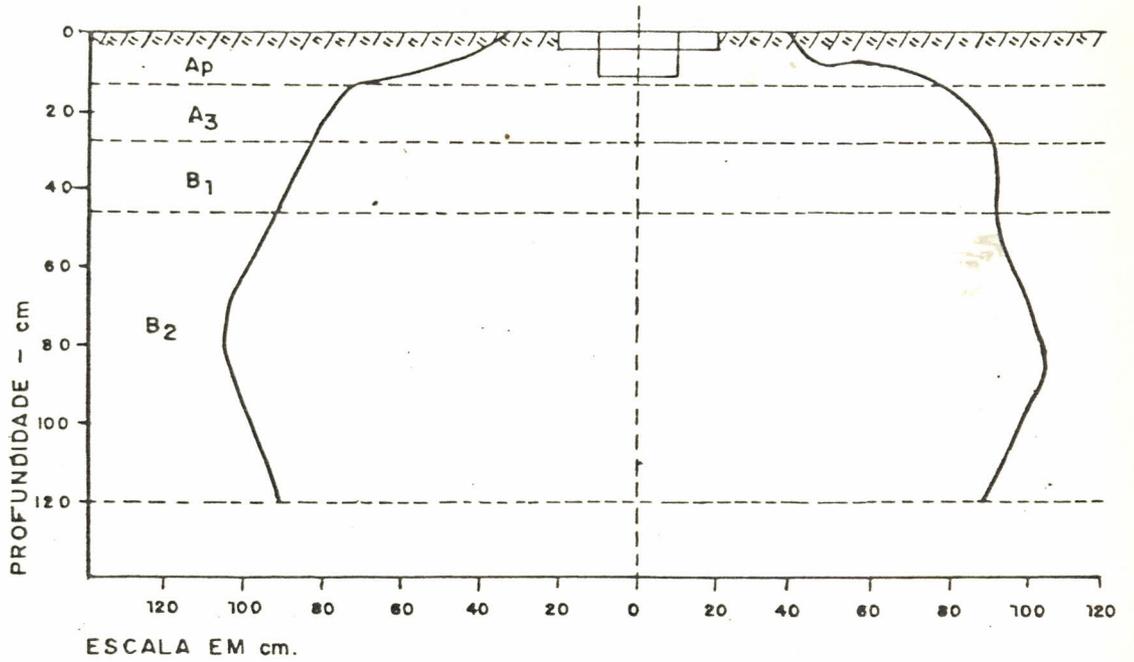
GRÁFICO DE VALORES ACUMULADOS



CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO - PODZÓLICO  
VERMELHO-AMARELO - SANTA MARIA - RS.

# CURVAS DE UMEDECIMENTO DO SOLO

LOCAL: PERFIL Nº 7 - ENGº CLOTILDE - MUNICÍPIO RIO LARGO - AL  
SOLO: UTINGA ARGILO - ARENOSO



## 2. Método de "entrada-saída" d'água no sulco

- colocar dois medidores de vazão, um na extremidade superior do sulco (estaca A) e outro afastado deste. Para solos arenosos, o segundo medidor (estaca B) deve estar no máximo a 20 m do primeiro e para solos argilosos ele pode ficar afastado do primeiro até 40 m;
- aplicar água ao solo. A primeira leitura do tempo é feita quando a água chegar a metade de distância entre os dois medidores. A segunda quando a água atingir o segundo medidor e as demais em cada 5 minutos, até observar-se que a infiltração básica foi atingida;
- plotar os dados no Quadro 1 e efetuar os cálculos para determinar as equações de infiltração.