

21

**Circular
Técnica**

Sete Lagoas, MG
Dezembro, 2002

Autores

Lairson Couto
PhD. Irrigação e Drenagem
Agência Nacional de
Águas-ANA
Setor Policial, Área 5,
Quadra 3, Bl. B - 2º andar
70610-200 Brasília, DF

Luiz Marcelo Aguiar Sans
D.Sc. Agrometeorologia
Pesquisador da Embrapa
Milho e Sorgo. Caixa
Postal 151. 35701-970
Sete Lagoas, MG. E-mail:
lsans@cnpmis.embrapa.br

Embrapa

Características Físico-Hídricas e Disponibilidade de Água no Solo

Caracterização Físico-Hídrica do Solo

Do ponto de vista agrônomo, o solo pode ser caracterizado através de sua classe pedológica, de análises de perfis, físicas e de fertilidade. Em estudos e planejamento de irrigação, o solo pode também ser classificado de acordo com sua aptidão para irrigação. Para o manejo da irrigação, é necessário que se conheçam algumas das propriedades físicas e físico-hídricas do solo. As principais são a densidade global ou aparente, a capacidade de campo, o ponto de murcha permanente e a curva característica de retenção de água. Outros parâmetros não menos importantes são a análise textural, a densidade das partículas ou da fração sólida, a condutividade hidráulica saturada, a taxa ou velocidade de infiltração básica e a porosidade total do solo.

Composição do Solo e Relações Massa/Volume

O solo é composto de partículas sólidas de várias formas e diferentes dimensões. O espaço poroso pode ser preenchido com quantidades variáveis de água (solução) e ar (gases) (Figura 1).

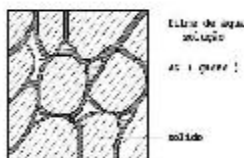


Figura 1. Representação da composição do solo.

Esquemáticamente, o solo pode ser representado como mostra a Figura 2.

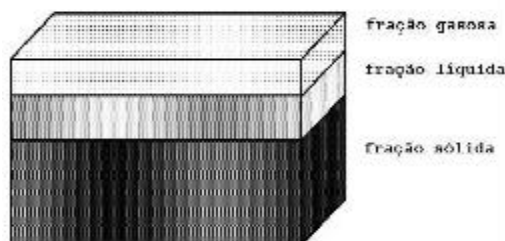


Figura 2. Representação esquemática do solo, segundo a composição de suas frações.

A partir da representação esquemática das frações componentes do solo, pode-se estabelecer uma série de relações massa/volume de grande importância na caracterização físico-hídrica dos solos, como apresentada a seguir:

- Volume de poros, V_p :

$$V_p = V_g + V_a$$

$$V_p = V - V_s$$

O volume de poros, V_p , é constituído pelo volume total de fluidos (água e ar). Um solo encontra-se saturado quando o volume de poros, V_p , é igual ao volume ocupado pela água, V_a . Isto é, quando o volume ocupado pelo ar (gases) $V_g = 0$.

- Porosidade %, α :

$$\alpha = \frac{(V - V_s) \times 100}{V}$$

- Massa específica (ou densidade) atual, ρ_a :

$$\rho_a = m / V$$

m é a massa do solo (ar, água e sólidos)
 V é o volume total da amostra

Como a composição do solo é variável quanto à proporção das frações sólida, líquida e gasosa, a sua massa específica ou densidade atual não é um bom parâmetro para se caracterizar um solo, visto que ela é também variável. Portanto, há necessidade de se definir outras grandezas intensivas.

- Massa específica (ou densidade) média da fração sólida do solo, ou das partículas, ρ_s :

$$\rho_s = \rho_p = m_s / V_s$$

A densidade das partículas é impropriamente denominada densidade real do solo. A densidade das partículas depende da composição mineralógica do solo e varia pouco nos solos minerais. Para fins práticos, atribui-se à densidade da partícula o valor de 2,65 g/cm³.

- Massa Específica (ou Densidade global), ρ_g

$$\rho_g = m_s / V$$

m_s = massa da fração sólida
 V = volume da amostra de solo, não deformada (volume do cilindro amostrador).

A densidade global do solo, juntamente com a porosidade, dá uma idéia do seu grau de compactação. A densidade global varia de valores menores que 1 g/cm³, geralmente em solos turfosos, a valores de até 1,9 g/cm³,

para solos com elevado grau de compactação. Em latossolos não compactados, o valor da densidade global gira em torno de 1 a 1,3 g/cm³. Esse termo é também inadequadamente denominado densidade aparente.

- Umidade (%) em peso, U :

$$U = \frac{m_a \times 100}{m_s}$$

m_a = massa de água
 m_s = massa da fração sólida
 Umidade (%) em Volume, \emptyset :

$$\emptyset = U \times \rho_s$$

Em que:

\emptyset = umidade do solo expressa em % de volume da amostra de solo não deformada

U = umidade (%) em peso

ρ_g = densidade global

O espaço poroso total do solo pode estar ocupado pela água e ar. Portanto:

$$P = \emptyset + \epsilon$$

Em que:

P = Porosidade total (%)

\emptyset = Umidade do solo em % de volume

ϵ = Espaço poroso ocupado pelo ar (gases), %.

Métodos para Determinação da Umidade do Solo

O conteúdo de água no solo está constantemente mudando e uma determinada amostra representa apenas a condição de água naquele momento, uma vez que o sistema é dinâmico. Portanto, essa desigualdade na distribuição de água no solo resulta em variações na amostragem que introduzem incertezas em qualquer estimativa de água em condições de campo. Essa incerteza é denominada erro de amostragem ou simplesmente variabilidade. Portanto, na amostragem, devem-se tomar as devidas precauções para reduzir os efeitos dessa variabilidade.

Dessa forma, a medição ou estimativa do conteúdo de água do solo em condições de

campo é difícil, devido a uma série de fatores, tais como:

- O crescimento desigual das plantas e a desuniformidade na distribuição do sistema radicular causam variações no conteúdo de água no solo.
- Diferenças em características de infiltração resultam em variações logo após chuva ou irrigação.
- A variação do solo no campo com relação à estrutura, estratificação e textura causa diferenças na quantidade de água armazenada no solo.
- Distúrbios e mudanças na densidade global, variação em volume de poros e distribuição de tamanho de poros causam profundas variações no conteúdo de água ao longo do perfil do solo, em condições de campo.
- Desigualdades no relevo superficial do solo resultam em umedecimento desuniforme do solo.
- Sistemas de irrigação mal dimensionados ou operados inadequadamente podem contribuir para uma distribuição de água desuniforme, no campo.

Processo Gravimétrico

É o método clássico e o mais utilizado na determinação do conteúdo de água do solo. As amostras são retiradas em vários locais e profundidades, no campo, podendo constituir-se de amostras simples ou compostas. Essas amostras podem ser deformadas, utilizando-se trados comuns, ou não deformadas, de volume conhecido, utilizando-se trados especiais, como, por exemplo, o trado de Uhlend. Deve-se ter muito cuidado para evitar perdas de água, por evaporação, pelo solo durante a amostragem. As amostras de solo são colocadas em latas de alumínio e estas, vedadas com fita adesiva. Essas amostras são levadas para o laboratório o mais rápido possível. As amostras são pesadas e levadas à estufa a 105-110°C, onde permanecem até

atingirem peso constante, geralmente 48h são suficientes.

O cálculo da umidade do solo é feito com base nas seguintes equações:

- % em Peso, U :

$$U = \frac{m_w}{m_s} \times 100$$

Em que:

m_w = (Massa do solo úmido)

m_s = Massa do solo seco a 105 °C

- % em Volume, θ

$$\theta = U \times \rho_s$$

$$\rho_s = m_s/V$$

Em que:

θ = umidade do solo expressa em % de volume da amostra de solo não deformada

ρ_s = densidade global

V = volume da amostra de solo não deformada (volume do cilindro amostrador)

Sonda de Nêutrons

Quando nêutrons com alta energia são emitidos por uma fonte de material radioativo, eles colidem com os núcleos atômicos que estão próximos. Se os núcleos com os quais colidem são duros e pesados, eles irão resvalar, retendo a mesma velocidade. Se, no entanto, a partícula com a qual colide é aproximadamente do mesmo tamanho e massa do nêutron, aproximadamente metade da sua energia original será transmitida para a nova partícula e ambos se moverão com a mesma velocidade, cujo valor será próximo da metade da velocidade original do nêutron. Portanto, se nêutrons colidem com partículas com tamanho aproximado do seu, eles serão rapidamente retardados, até que estejam se movendo com a mesma velocidade das partículas com as quais eles colidiram. Diz-se que tais nêutrons estão termalizados, porque a velocidade com que eles se movem é determinada pela temperatura do sistema (Figura 3).

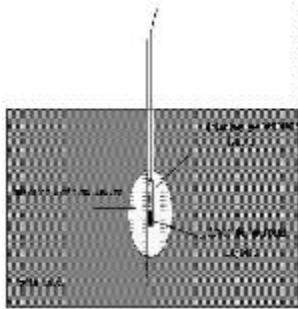


Figura 3. Esquema da técnica da sonda de nêutrons para medir a umidade do solo.

No solo, existem poucos elementos efetivos na termalização de nêutrons. O núcleo atômico mais efetivo em atenuar nêutrons é o do hidrogênio, que tem aproximadamente a mesma massa do nêutron. Outros elementos capazes de atenuar nêutrons são o lítio, berílio, boro e carbono, mas são proporcionalmente menos efetivos, à medida que seus pesos atômicos aumentam. No solo, esses elementos ocorrem em quantidades pequenas e às vezes insignificantes, a não ser o carbono em solos orgânicos. O hidrogênio ocorre em grande quantidade como componente da água. Na determinação da umidade do solo por esse método, instalam-se tubos de alumínio ou aço nos locais, até as profundidades desejadas. Em seguida, uma sonda contendo uma fonte de nêutrons com alta energia (amerício/ berílio) e um contador para detectar os fluxos de nêutrons termalizados é abaixada no interior do tubo, até a profundidade desejada.

Desde que a quantidade de hidrogênio associado com a água no solo é geralmente muito maior que aquela associada com argila, matéria orgânica ou outras partículas do solo, o fluxo de nêutrons termalizados é proporcional à quantidade de água em um volume de solo. Nesse método, os nêutrons são termalizados no interior de uma amostra de solo relativamente grande. Portanto, com todas as vantagens e desvantagens inerentes a esse fato, as medições de água no solo com base nesse método são puramente

empíricas e dependem de uma boa curva de calibração relacionando a contagem dos nêutrons termalizados com a umidade do solo, determinada pelo processo gravimétrico. Dessa calibração, ajusta-se uma equação polinomial do terceiro grau, de forma geral:

$$M = of + S (A_0 + A_1X + A_2X^2 + A_3X^3)$$

Em que:

M = Conteúdo de umidade expresso em % na base de peso ou na base de volume
of = "off set ", valor ajustado na fábrica, geralmente é zero.

S = declividade geralmente ajustada da fábrica para S=1

A₀, A₁, A₂, A₃ são coeficientes obtidos por ocasião do ajuste dos dados (calibração de campo).

X = é variável independente (Leitura/ padrão)

Portanto, para of = 0 e S = 1:

$$M = A_0 + A_1X + A_2X^2 + A_3X^3$$

Geralmente, a sonda vem com uma calibração de fábrica, mas recomenda-se fazer uma curva para as condições locais. A sonda de nêutrons é muito utilizada em pesquisa, mas em certas condições especiais poderá ser utilizada para monitorar a água no solo, para fins de irrigação ou com outro objetivo.

Outros Métodos

O conteúdo de água, em colunas de solo em laboratório, pode ser determinado também pelo emprego da atenuação de raios gama. A fonte consiste de Cs 137, 20 millicuries.

Existem outros métodos de menor precisão, como, por exemplo, o *speedy*, muito usado em estudos de umidade e compactação do solo, na construção de estradas. O conteúdo de umidade do solo pode também ser determinado indiretamente, através da determinação do potencial de água no solo (tensiômetros, blocos de resistência elétrica e psicrômetros) e utilizando-se a curva característica de retenção de água desse solo para a conversão dos valores.

Potencial de Água

O Potencial da Água no solo ou na planta representa o estado de energia da água no solo ou na planta e governa todos os processos de transporte de água no sistema solo-planta-atmosfera.

O entendimento e a aplicação desse conceito possibilitam uma visão global dos processos de absorção e transporte de água do solo para a planta, no interior da planta e das folhas para a atmosfera (transpiração).

Conceituação

O estado de energia da água no solo ou na planta é descrito pelo *Potencial da Água*, representado pela letra grega maiúscula psi (Ψ), que é o potencial químico da água relativo ao seu estado de referência (água pura, pressão atmosférica), expressa na base de volume.

Quantitativamente:

$$\Psi = (\mu_w - \mu_w^0) / V_w$$

Em que:

μ_w^0 é o potencial químico da água no estado de referência, isto é, μ da água pura, pressão atmosférica e temperatura do sistema em consideração.

V_w é o volume parcial molar da água (aproximadamente $18 \text{ cm}^3 / \text{mol}$).

Segundo Reichardt (1996), o potencial de água no solo pode ser definido da seguinte forma: *“Representa o trabalho realizado quando a unidade de massa (volume ou peso) de água em estado padrão é levada isotérmica, isobárica e reversivelmente para o estado considerado no solo”*. (Figura 4).

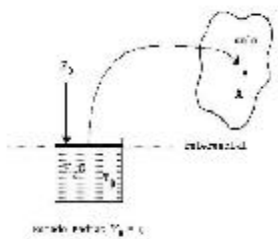


Figura 4. Definição do potencial de água no solo

Toma-se como estado padrão o estado no qual o sistema água acha-se em condições normais de temperatura e pressão, livre de sais minerais, com interface líquido-gás plana, situado em dado referencial de posição.

Componentes do Potencial de Água no Solo e na Planta

O potencial da água (Ψ) é afetado por todos os parâmetros que afetam a energia livre da água. Os principais parâmetros para o sistema solo-planta são: pressão hidrostática, solutos, interação da água com uma matriz sólida e força gravitacional.

O potencial total da água é uma função de todos estes fatores ou variáveis, de tal forma que:

$$\Psi = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_m + \Psi_g$$

As letras gregas minúsculas psi ($\Psi_p, \Psi_s, \Psi_m, \Psi_g$) denotam os componentes do potencial da água. Expresso em palavras, é a soma dos componentes do potencial da água, que são variáveis essencialmente independentes. Para brevidade, são referidos como potencial de pressão, de soluto, matricial e gravitacional, respectivamente. Entretanto, quando se diz potencial de pressão, etc, realmente está-se expressando o componente do potencial de água devido à pressão, devido à presença de solutos, devido à interação com a matriz e devido à gravidade.

O potencial de pressão é equivalente à pressão hidrostática. Uma vez que o estado de referência é a água pura, à pressão atmosférica, ele será positivo quando o sistema estiver sob pressão maior do que a atmosférica, mas negativo quando o sistema estiver sob pressão menor do que a atmosférica, ou realmente sob tensão. Os potenciais de soluto (osmótico) e matricial (mátrico) são sempre zero ou negativo, desde que a presença de solutos ou a interação com a matriz sempre reduz a atividade ou potencial da água para um valor abaixo daquele para a água pura. Quanto maior a concentração dos solutos ou mais forte a

interação com a matriz, maior é o valor ψ_m ou ψ_m em termos absolutos. O estado de referência para ψ_c é escolhido para cada caso em particular. Portanto, ψ_m pode ser positivo, negativo ou zero.

Em solos agrícolas, a concentração de solutos é geralmente considerada baixa e o potencial de soluto assume valores próximos de zero. Quando o solo não está saturado, a água nos poros do solo está essencialmente em contato com a atmosfera, portanto, ψ_f é zero. Por outro lado ψ_m é frequentemente o único componente de potencial significativo. À medida que o solo seca, o filme de água na matriz do solo torna-se cada vez mais fino, resultando em ψ_m maior, em valor absoluto. O potencial gravitacional é um componente muito importante quando o solo está próximo da saturação, mas torna-se menos significativo à medida que o solo drena e seca, porque ele é suplantado pelo potencial mátrico, que se torna progressivamente maior, em valor absoluto.

Unidades de Potencial

Pela própria definição, o potencial de água pode ser expresso em unidades de trabalho ou energia:

$$T = F \times L$$

Em que: T é o trabalho, F é a força e L a distância percorrida.

Os potenciais químicos são expressos em unidades de energia por unidade de matéria, erg/mol. A energia de um sistema é uma grandeza extensiva, isto é, que depende da extensão do sistema. Portanto, é oportuno expressá-la em outra grandeza proporcional à extensão do sistema.

- Energia por unidade de massa:

$$T = E = F \times L$$

$$T/M = E/M = F \times L / M$$

Em que:

- T = trabalho;
- E = energia;
- F = força;

L = distância (deslocamento);

M = massa.

Neste caso, a unidade mais comum é erg/g.

- Energia por unidade de peso:

$$E/\text{peso} = E/F = (F \times L) / F = L$$

Portanto, possuem dimensões de comprimento (carga hidráulica, ou coluna do líquido).

Neste caso, as unidades mais comuns são: mm, cm e metro.

Tensiômetros

O tensiômetro mede o componente matricial do potencial de água no solo. Esses valores podem ser expressos nas seguintes unidades: centibars, atmosfera, metro ou centímetro de

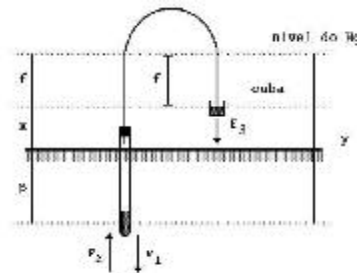


Figura 5. Representação de um tensiômetro de mercúrio.

coluna d'água, milímetro de mercúrio etc. Para o caso do tensiômetro de mercúrio (Figura 5), tem-se a seguinte equação para a determinação do potencial matricial:

$$h = p + x - 12,6 f$$

Em que:

- h = potencial matricial ψ_m no solo, expresso como carga hidráulica;
- p = profundidade da cápsula no solo;
- x = distância vertical do nível do mercúrio na cuba à superfície do solo;
- f = leitura do manômetro (altura da coluna de mercúrio);
- y = distância vertical do nível do mercúrio na cuba ao centro da cápsula no solo.

$$y = f + x + p$$

Curva Característica de Retenção de Água no Solo

A curva característica de retenção de umidade ou curva de retenção de água, ou simplesmente curva característica, é uma propriedade ou característica físico-hídrica do solo que relaciona o conteúdo volumétrico de água (θ) e o potencial matricial do solo (ψ_m). Muitas vezes, é expresso como carga hidráulica (h) em unidades de coluna d'água (cm, m). Como o próprio nome indica, é típica para cada solo, variando de acordo com a classe textural do solo, o conteúdo de matéria orgânica, grau de compactação, classe de solo, geometria dos poros e outras propriedades físicas do solo. A curva característica é geralmente determinada em laboratório e de preferência em amostras não deformadas. Entretanto, para fins de pesquisa, pode também ser determinada diretamente no campo, sendo um processo mais trabalhoso e demorado.

Extratores de Placa Porosa ou de Membrana

Os extratores de placa porosa ou de membrana (Figura 6) são utilizados no laboratório, para determinar o potencial matricial de amostras de solo deformadas ou não deformadas. Através dessas determinações, são estabelecidas as curvas características de retenção de água no solo.

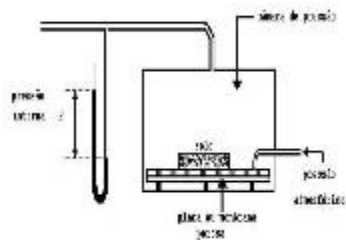


Figura 6. Representação da membrana de pressão.

Disponibilidade de Água no Solo

Capacidade de Campo, CC.

É a quantidade de água retida pelo solo após a drenagem ter ocorrido, ou cessado em um

solo previamente saturado por chuva ou irrigação.

É a quantidade de água retida pelo solo quando a condutividade hidráulica não saturada se torna tão pequena que o fluxo de água pode ser considerado como sendo zero. Para fins de irrigação, **capacidade de campo** é o conteúdo volumétrico de água em equilíbrio com o componente matricial do potencial de água de 10 a 30 kPa (curva característica de água no solo).

Ponto de Murcha Permanente, PMP

É o conteúdo de água no solo retido a um componente matricial do potencial de água tão elevado, em valor absoluto, que a maioria das plantas não consegue extrair água do solo e entra em murcha permanente.

Para fins de irrigação, o **ponto de murcha permanente** é o conteúdo volumétrico de água em equilíbrio com o componente matricial do potencial de água no solo de 1500 kPa ou 15 atmosferas (curva característica de água no solo).

Água Disponível Total, ADT

É a água compreendida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente

$$ADT = CC - PMP$$



Amostragem de Solo: Análises Físicas e Físico-Hídricas

Por questões pedogenéticas e de manejo, o solo apresenta grande variabilidade espacial. Portanto, para se determinar as propriedades físicas de um solo, é necessária uma amostragem criteriosa, para que uma determinada amostra represente as condições reais existentes naquele solo. As recomendações e cuidados na amostragem,

no que diz respeito à divisão por glebas homogêneas, número de amostras e profundidades no perfil, segundo os horizontes, são, em princípio, as mesmas recomendadas na amostragem para fertilidade. Entretanto, alguns cuidados especiais devem ser seguidos, dependendo do tipo de análise que se pretende fazer. Geralmente, para análises das propriedades físicas do solo, trabalha-se com amostras simples. Alguns tipos de estudos requerem amostras não deformadas e outras amostras deformadas, enquanto outros podem ser conduzidos em ambos.

Amostras deformadas

As amostras deformadas podem ser utilizadas para análise granulométrica ou textural, densidade da partícula ou da fração sólida, umidade, pontos da curva de retenção de água e outros estudos específicos. Nesse tipo de amostragem, não se tem a preocupação em manter intacta a estrutura do solo; portanto, a amostra pode ser destorroadada. As amostras deformadas são retiradas em vários locais e profundidades, no campo, utilizando-se trados comuns ou especiais, enxadas, enxadões, pás de corte ou outra ferramenta. As amostras de solo são colocadas em latas de alumínio, caixas de papelão ou sacos de plástico, devidamente identificados. Essas amostras são, então, encaminhadas aos laboratórios especializados, para análise.

Amostras não deformadas

As amostras não deformadas são utilizadas para densidade global ou aparente, pontos da curva de retenção de água, estabilidade de

agregados, condutividade hidráulica e outros estudos específicos. As amostras não deformadas são retiradas em vários locais e profundidades, no campo, geralmente em trincheiras ou minitrincheiras, utilizando-se trados especiais, de cilindro ou anel, como, por exemplo, o trado de Uhland. As amostras de solo são devidamente identificadas e acondicionadas em caixas, protegidas, para evitar sua deformação durante o manuseio e transporte, e encaminhadas para os laboratórios especializados, para análise.

Observações

No caso de amostragem de solo para umidade, deve-se ter muito cuidado para evitar perdas de água, por evaporação pelo solo, durante a amostragem e transporte. As amostras de solo são colocadas em latas de alumínio, vedadas com fita adesiva e levadas para o laboratório o mais rápido possível.

Geralmente, para análise de agregados, a amostragem de solo é feita utilizando-se torrões, de modo a preservar a estrutura existente no local amostrado.

Literatura Citada

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2.ed. Piracicaba:USP/ESALQ,1996. 505p.

Circular Técnica, 21

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Milho e Sorgo
 Endereço: Caixa Postal 151
 35701-970 Sete Lagoas, MG
 Fone: (31) 3779-1000
 Fax: (31) 3779-1088
 E-mail: sac@cnpmis.embrapa.br

1ª edição
 1ª impressão (2003): 500 exemplares

Comitê de publicações

Presidente: Ivan Cruz
Secretário-Executivo: Frederico Ozanan M. Durães
Membros: Antônio Carlos de Oliveira, Arnaldo Ferreira da Silva, Carlos Roberto Casela, Fernando Tavares Fernandes e Paulo Afonso Viana

Expediente

Supervisor editorial: José Heltor Vasconcellos
Revisão de texto: Dilermando Lúcio de Oliveira
Tratamento das ilustrações: Tânia Mara A. Barbosa
Editoração eletrônica: Tânia Mara A. Barbosa