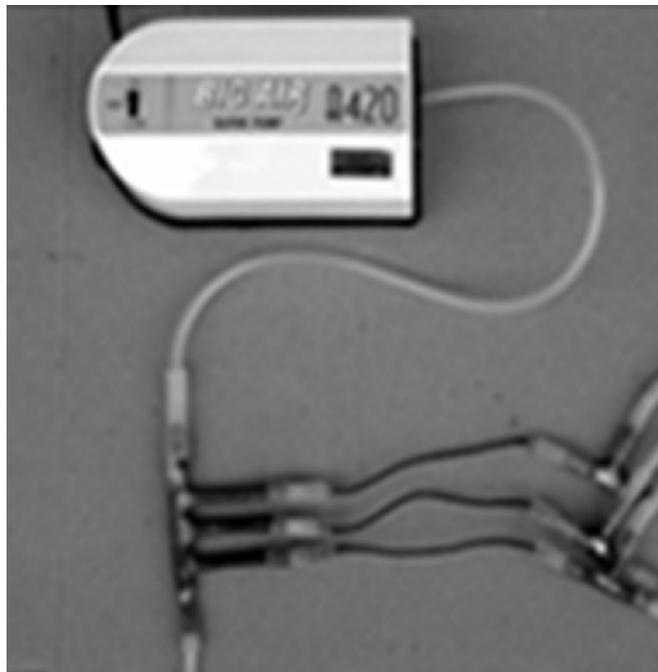


Foto: Ronaldo Setti de Liz



Uso do sensor Irrigas® para determinar a curva de retenção de água em substratos hortícolas

Ronaldo Setti de Liz¹

Adonai Gimenez Calbo²

Osmar Alves Carrijo³

Sabe-se que, entre outras variáveis físicas e químicas, a divisão arbitrária e indicativa de quanta água em cada faixa de tensão é retida por um substrato utilizado na produção de mudas e no cultivo de hortaliças auxilia na adequação do mesmo para cada cultura.

No entanto, alguns fatores vêm dificultando a padronização e, em alguns casos, desestimulando o uso profissional da análise física envolvendo a determinação da curva de retenção de água em substratos utilizados no cultivo e na produção de mudas de hortaliças (LIZ, 2006; TORMENA *et al.*, 2002; VIEIRA; CASTRO, 1987). Entre os principais fatores, pode-se citar aqueles relacionados ao tempo necessário para obtenção de resultados; à possibilidade de rompimento da coluna de água quando se utiliza o método dos funis; e à dificuldade de determinação de equilíbrio entre a pressão aplicada e a água retida na amostra de substrato, quando se utilizam equipamentos de alta pressão, como a câmara de Richards.

Assim, é importante a busca por métodos confiáveis, de fácil aplicação e que ofereçam precisão, além de serem atraentes para a utilização profissional na análise física que envolve a determinação da curva de retenção de água em substratos agrícolas. Neste sentido, são descritas etapas de uma metodologia alternativa, adaptada para a determinação da curva de retenção de água em substratos agrícolas (LIZ, 2006), utilizando-se a técnica de remoção de água por evaporação e medição contínua da tensão da água com sensor Irrigas®, por tensiometria a gás (CALBO; SILVA, 2005).

O sensor Irrigas® é constituído por uma mini cerâmica porosa, cilíndrica, de 0,8 cm³, com 3 cm de altura, 0,6 cm de diâmetro e tensão crítica de sorção de aproximadamente 14 kPa, colada na ponta de um tubo de 6,5 cm de comprimento, 1,5 mm de diâmetro interno e 3 mm de diâmetro externo (Figura 1). A sua utilização na análise física de substratos agrícolas possibilita a medição da tensão da água de maneira contínua e paralela entre diferentes tensões e, simultaneamente, em mais de uma amostra, sendo que o desenvolvimento de tensão de água no substrato é obtido de forma natural,

¹ Eng. Agrôn., MSc, Embrapa Hortaliças, Brasília-DF. E-mail: setti@cnph.embrapa.br

² Eng. Agrôn., PhD, Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos-SP. E-mail: adonai@cnpdia.embrapa.br

³ Eng. Agrôn., PhD, Embrapa Hortaliças, Brasília-DF. E-mail: carrijo@cnph.embrapa.br

pela evaporação da água das amostras.

Foto: Ronaldo Setti de Liz

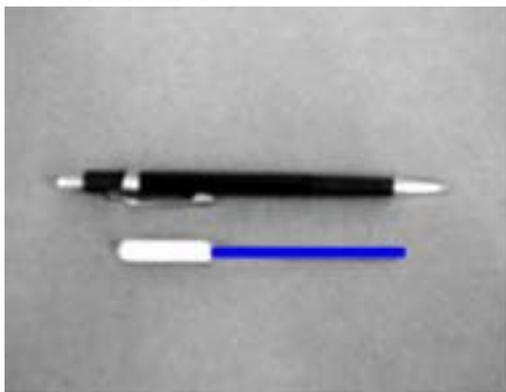


Fig. 1. Sensor Irrigas® em comparação com uma caneta.

Procedimentos

Para conter as amostras de substratos utilizam-se cilindros volumétricos de 58,9 cm³ (3 cm altura x 5 cm de diâmetro interno), obtidos a partir de um tubo de PVC com espessura de parede de 0,5 cm.

No centro da parede de cada cilindro de PVC é perfurado um orifício de 3 mm de diâmetro, pelo qual, de dentro para fora, é passado o tubo do sensor Irrigas®. A mini cápsula porosa do sensor Irrigas® deve ficar firmemente posicionada na parte central interna do cilindro de PVC (Figura 2).

Foto: Ronaldo Setti de Liz

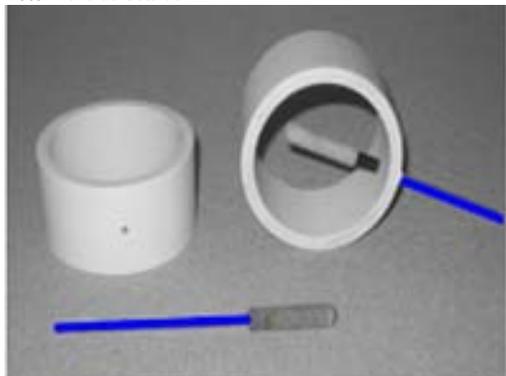


Fig. 2. Cilindro de PVC e posição do mini sensor Irrigas®.

Para assegurar a contenção da amostra durante o processo de hidratação (“saturação”) da amostra de substrato dentro do cilindro volumétrico pode-se utilizar um anel de borracha de 1 cm de largura por 5,5 cm de diâmetro interno e uma cerâmica porosa, série 600, circular, de 6 cm de diâmetro, 8 mm de espessura e 1 bar de tensão (SOILMOISTURE, 2006).

O anel de borracha é encaixado externamente no cilindro de PVC, ficando rente à parte inferior do mesmo. Nessa parte inferior do cilindro, como se fosse uma tampa, a cerâmica porosa circular de 6 cm de diâmetro e 1 bar de pressão de borbulhamento é fixada pelo anel de borracha, que

deve ser abaixado, deixando-se a metade superior deste anel em contato com o cilindro de PVC e a metade inferior em contato com a cerâmica porosa (Figura 3).

Foto: Ronaldo Setti de Liz

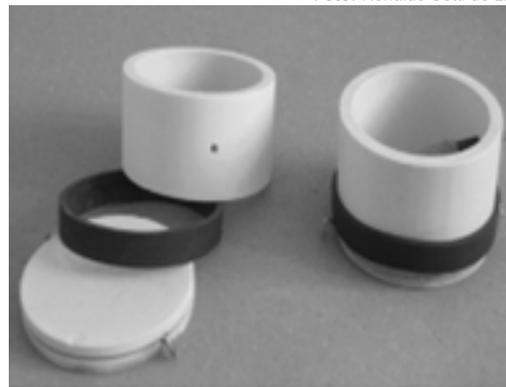


Fig. 3. Cilindro de PVC, anel de borracha e cerâmica porosa.

A massa desse conjunto (cerâmica porosa de 6 cm e 1 bar, tubo e mini sensor Irrigas®, anel de borracha e cilindro de PVC) deve ser registrada. Para padronizar o enchimento dos cilindros de PVC com a amostra de substrato utiliza-se a equação:

$$Msa = Dsa \times Vc$$

Na qual:

Msa é a massa, em gramas, de substrato seco ao ar a ser colocado dentro do cilindro;

Dsa é a densidade do substrato seco ao ar, em g cm⁻³;

Vc é o volume do cilindro, em cm³.

O volume de aproximadamente 0,8 cm³ da mini cerâmica porosa do sensor Irrigas® deve ser considerado nos cálculos.

Para determinar a densidade do substrato seco ao ar (*Dsa*), a densidade do substrato seco em estufa (*Dse*) a 70°C e o teor de água (*Ta*) base massa da amostra de substrato seco em estufa a 70°C, sugere-se utilizar um cilindro tipo “Uland”, unido a uma tampa de alumínio na parte inferior formando um recipiente de massa (*Mr*) e volume (*Vr*) de 66,68 cm³. Sobre esse recipiente é colocado outro cilindro idêntico, sem a tampa, formando uma coluna. A coluna é preenchida com uma massa de substrato seco ao ar (*Mas*), sem compactar a amostra. Retira-se o cilindro superior, arrastando-o sobre a borda do cilindro inferior, a fim de nivelar o conteúdo dentro do cilindro inferior. O recipiente contendo a amostra de substrato é pesado, registrando-se a massa do recipiente mais a massa do substrato seco ao ar (*Mrsa*), ou seja:

$$Mrsa = Mr + Msa$$

Que, por diferença, possibilita o cálculo da massa de substrato seco ao ar (*Msa*):

$$Msa = Mrsa - Mr$$

O recipiente contendo a amostra de substrato é levado à estufa a 70 °C, até massa constante, para obtenção da massa do recipiente mais a massa do substrato seco em estufa (*Mrse*):

$$Mrse = Mr + Mse$$

Possibilitando, também por diferença, o cálculo da massa de substrato seco em estufa (*Mse*):

$$Mse = Mrse - Mr$$

A densidade do substrato seco ao ar (*Dsa*) e a densidade do substrato seco em estufa (*Dse*) a 70°C, determinadas em g cm⁻³, são obtidas pelas equações:

$$Dsa = Msa / Vr \quad \text{e} \quad Dse = Mse / Vr$$

A representação matemática usada para expressar o teor de água com base na massa do substrato seco em estufa, pode ser:

$$Ta (\%) = [(Msa - Mse) / (Mse)] \times 100$$

Para determinar a densidade do substrato desgaseificado (*Dsd*), ou seja, sem ar entre as partículas, recomenda-se a utilização de um picnômetro, o qual pode ser montado com um vidro tipo "Quimex" de 500 ml, em cuja tampa, no sentido da maior extensão deve ter uma fenda, para possibilitar o fechamento do frasco picnométrico completado com água.

Depois de preenchidos com o substrato, os cilindros de PVC precisam ser cobertos individualmente com uma tampa. Sugere-se a utilização de uma tampa do tipo "Tempe pressure cells", série 1400 (SOILMOISTURE, 2006a), fixada ao conjunto por meio de uma liga de borracha (Figura 4).

Foto: Ronaldo Setti de Liz



Fig. 4. Cilindro com substrato e com tampa "pressure cell".

Para hidratar a amostra contida no cilindro, sugere-se que, em um primeiro momento, seja colocada água destilada dentro de um recipiente maior, até à altura de um terço do cilindro de PVC. Depois, mais água destilada deve ser adicionada aos poucos, até atingir o nível da borda superior dos cilindros de PVC. Após a hidratação, quando a amostra estiver com a superfície brilhosa, a "Tempe pressure cells" deve ser retirada para facilitar a evaporação da água da amostra (Figura 4).

O tubo do mini sensor Irrigas® precisa ser conectado a um compressor de ar e a um manômetro de mercúrio utilizando-se mangueiras de 1 mm de diâmetro interno, restrições de fluxo de ar e distribuidores de gás de duas e três saídas (Figura 5).

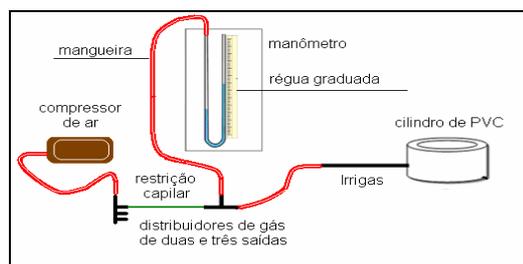


Fig. 5. Esquema de montagem do sistema.

O manômetro de mercúrio pode ser construído em forma de "U" com mangueiras transparentes, de 80 cm de comprimento x 4 mm de diâmetro interno (Figura 5). O compressor de ar pode ser um modelo A 240, que opera com pressão de saída de aproximadamente 25 kPa, a fluxo zero, normalmente utilizado para oxigenar aquários (Figura 6).

Foto: Ronaldo Setti de Liz

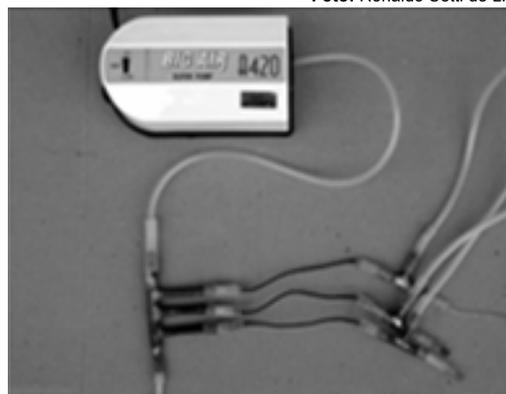


Fig. 6. Compressor de ar e detalhe das conexões e das restrições.

O distribuidor de gás de três saídas possibilita a utilização de três conjuntos para a medição da tensão da água de maneira contínua e paralela, simultaneamente em três amostras de substrato (Figura 6). Nesse distribuidor de gás de três saídas são conectadas as restrições de fluxo de ar, utilizadas para introduzir em cada sensor Irrigas um fluxo de ar de aproximadamente 0,5 ml / min.

A restrição de fluxo de ar sugerida é um segmento de fio de cobre flexível (multifilamento), de 1 mm de diâmetro externo e comprimento de 14 cm, que proporciona o fluxo de ar especificado (Figura 6). Detalhes técnicos referentes às propriedades desta fonte de ar de fluxo quase constante e sobre a aferição necessária para obter restrições com fluxo de ar adequado estão descritos em Calbo e Silva (2005).

Quando o movimento da coluna de mercúrio se estabiliza a amostra de substrato, previamente hidratada, pode ser considerada “saturada”. A pressão assim estabelecida é a tensão crítica de umedecimento (T_s) do sensor Irrigas® (CALBO; SILVA, 2006). Nesse momento, sem desconectar as mangueiras, devem ser determinadas, juntamente, a massa do conjunto (M_c) e a massa da amostra saturada (M_{as}), isto é: ($M_c + M_{as}$). Esse procedimento é repetido ao se alcançar cada tensão desejada, por exemplo: 1; 2; 4; 6; 8 e 10 kPa.

A partir da tensão de 1 kPa, a massa da amostra passa a ser considerada massa do substrato úmido (M_{su}), obtida por meio da equação:

$$M_{su} = (M_c + M_{su}) - (M_c).$$

A tensão (T) da água na amostra calcula-se com a equação:

$$T = (T_s - P)$$

Na qual, P representa a pressão lida no manômetro (Calbo & Silva, 2006). Os valores de T , multiplicados por 13,6, razão entre as densidades do mercúrio e da água, representam, aproximadamente, a tensão em centímetros de coluna de água; e os valores de tensão em centímetros de coluna de água, divididos por dez, indicam os valores de tensão em kPa.

A porosidade total (PT) deve ser determinada por meio da equação a seguir:

$$PT = 100 \times [(V_c) - (M_{se} / D_{sd})] / (V_c)$$

Na qual:

V_c indica o volume, em cm^3 , do cilindro utilizado para conter a amostra;

M_{se} , a massa, em gramas, da amostra de substrato seco em estufa a 70°C ;

D_{sd} , a densidade, em g cm^{-3} , do substrato desgaseificado, determinada a partir de resultados obtidos com o uso do picnômetro.

A equação utilizada para determinar a densidade do substrato desgaseificado pode ser:

$$D_{sd} = D_a \times (M_{ps} - M_p) / (M_{ps} - M_p) - (M_{psa} - M_{pa})$$

Na qual:

D_{sd} : a densidade do substrato desgaseificado;

D_a : a densidade da água;

M_{ps} : a massa do picnômetro contendo o substrato;

M_p : a massa do picnômetro vazio;

M_{psa} : a massa do picnômetro contendo substrato e água;

M_{pa} : a massa do picnômetro contendo água.

O percentual de espaço de aeração (EA), equivalente ao teor volumétrico de água nas tensões entre 0 e 1 kPa, pode ser determinado por meio da equação:

$$EA = 100 \times [(V_c) - (M_{se} / D_{sd}) - (M_{a_{1kPa}} / D_a)] / (V_c)$$

Na qual: $M_{a_{1kPa}}$ é a massa de água na tensão de 1 kPa e D_a é a densidade da água, considerada como sendo igual a 1 g cm^{-3} .

O percentual de teor de água facilmente disponível (AFD), equivalente ao teor volumétrico de água nas tensões entre 1 e 5 kPa, é representado por:

$$AFD = 100 \times (M_{a_{1kPa}} - M_{a_{5kPa}}) / (V_c \times D_a).$$

O percentual de água disponível (AD), equivalente ao teor volumétrico de água nas tensões entre 1 e 10 kPa, é definido com base na equação:

$$AD = 100 \times (M_{a_{1kPa}} - M_{a_{10kPa}}) / (V_c \times D_a).$$

O percentual de água tamponante (AT), equivalente ao teor volumétrico de água nas tensões entre 5 e 10 kPa, é estabelecido por meio da equação (1) e o percentual de água remanescente (AR), equivalente ao teor volumétrico de água nas tensões de 10 kPa, pela equação (2):

$$\text{Equação (1): } AT = 100 \times (M_{a_{5kPa}} - M_{a_{10kPa}}) / (V_c \times D_a)$$

$$\text{Equação (2): } AR = 100 \times (M_{a_{10kPa}}) / (V_c \times D_a).$$

Os pontos obtidos podem ser ajustados e plotados por meio do aplicativo *Soil Water Retention Curve – SWRC* (DOURADO NETO *et al.*, 1990), optando-se pelo modelo van Genuchten (1980), representado pela equação: $\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (h/a)^n]^m$, cujos parâmetros (θ_s ; θ_r ; a ; n ; m) são estimados pelo aplicativo e utilizados nos ajustes das curvas (Figura 7).

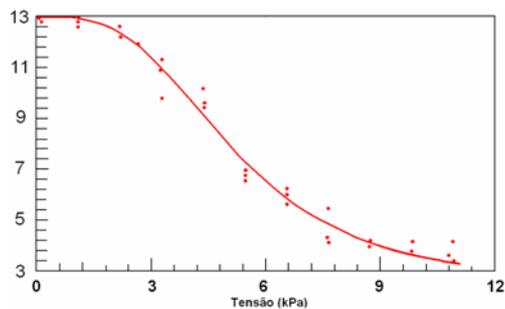


Fig. 7. Curva de retenção de água em substrato de coco verde determinada com o uso do sensor Irrigas®.

Considerações Finais

A metodologia com o mini sensor Irrigas® possibilita a obtenção de pontos da curva de retenção de água, na faixa entre 0 e 11 kPa de tensão de água, em cerca de cinco dias.

Durante as pesagens o sistema mini sensor Irrigas® não precisa ser desligado. Assim, é possível obter todos os pontos desejados em uma mesma amostra de substrato. Na câmara de Richard, por exemplo, é necessário desligar o sistema de pressão para a pesagem de amostras.

A possibilidade de se poder estimar o ponto de equilíbrio entre a pressão aplicada e a água retida pode ser considerada como outra vantagem do método utilizando o mini sensor Irrigas®. Quando o movimento da coluna de mercúrio se estabiliza no manômetro, serve de indicativo direto de equilíbrio de tensão de água entre a cápsula porosa e a amostra de substrato, representando, segundo Calbo e Silvan (2006) a tensão crítica de umedecimento do sensor Irrigas®.

Aparentemente, a mini cápsula porosa do sensor Irrigas® possibilita um bom contato com substratos. Para alguns materiais, como fibra de coco verde, por exemplo, ao final da análise, normalmente, é necessário reumedecer a amostra de substrato, para desgrudá-la da mini cápsula porosa do sensor Irrigas®. Adicionalmente, com a utilização do sistema sensor Irrigas®, é possível dispensar o uso de estufa para a secagem do substrato ao final da análise, resultando em economia de energia elétrica e antecipação na obtenção de resultados.

É importante reforçar que, nesta metodologia sugerida, a porosidade total (PT) não é considerada como sendo equivalente ao teor volumétrico de água na tensão de 0 kPa e, sim, calculada com base na densidade do substrato seco em estufa a 70°C e na densidade do substrato desgaseificado (D_{sd}), sem ar entre as partículas.

A metodologia sugerida neste trabalho, além de reduzir custos e acelerar a obtenção de resultados pode proporcionar maior confiabilidade quando o

objetivo for determinar a porosidade total (PT), o espaço de aeração (EA) e outras divisões associadas com a curva de retenção de água em substratos que serão utilizados na produção de mudas e no cultivo de hortaliças.

Referências

- CALBO, A. G. ; SILVA, W. L. C. **Sistema Irrigas para manejo de irrigação**: fundamentos, aplicações e desenvolvimentos. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2005. 174 p.
- CALBO, A. G.; SILVA, W. L. C. Gaseous irrigation control system: description and physical tests for performance assessment. **Bragantia**, v. 65, n. 3, p. 501-511, 2006.
- LIZ, R. S. **Análises físicas e químicas de substrato à base de coco verde para a produção de mudas de hortaliças**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília. DF.
- SOILMOISTURE. **Porous ceramics**: 0600 series. Disponível em: <<http://www.soilmoisture.com/0600.html>>. Acesso em: 2006.
- SOILMOISTURE. **Tempe pressure cells**: product number: 1400 series. 2006a. Disponível em: <http://www.soilmoisture.com/prod_details.aps?prod_id=1099&cat_id=18>. Acesso em: 2006.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Incorporação da densidade no ajuste de dois modelos à curva de retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 1, p. 305-313, 1977.
- VIEIRA, S. R.; CASTRO, O. M. Determinação, em laboratório, de curvas de retenção de água com tensiômetros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, p. 87-90, 1987.



Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



**Comunicado
Técnico, 49**

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Hortaliças
BR 060 km 9 Rod. Brasília-Anápolis
C. Postal 218, 70359-970 - Brasília-DF

www.cnph.embrapa.br
Telefone: (61) 3385-9110
Fax: (61) 3385-9042
E-mail: sac@cnph.embrapa.br

1ª edição
1ª impressão (2007): 500 exemplares

**Comitê de
Publicações:**

Presidente: Gilmar P. Henz
Secretária-Executiva: Fabiana S. Spada
Editor Técnico: Flávia A. de Alcântara
Supervisor Editorial: Sieglinde Brune
Membros: Alice Maria Quezado Duval
Edson Guiducci Filho
Milza M. Lana

Expediente

Normalização Bibliográfica: Rosane M. Parmagnani

Editoração eletrônica: Rafael M. Lobo