



XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

DISTRIBUIÇÃO DO TEOR DE ÁGUA EM ENSAIO DE INFILTRAÇÃO HORIZONTAL COM DIFERENTES SUBSTRATOS

Beatriz Santos Conceição¹; Luiz Antônio Lima ² & José Antonio do Vale Sant'Ana ³

RESUMO – O fornecimento de água para satisfazer a necessidade hídrica é extremamente importante na formação das mudas, pois a falta ou o excesso de água pode limitar seu desenvolvimento. Os testes foram feitos no laboratório de hidráulica da Universidade Federal de Lavras, com o objetivo de analisar a distribuição do teor de umidade em ensaio de infiltração horizontal em seis substratos (S1, S2, S3, S4, S5 e S6) com quatro repetições. Foram realizados ensaios de fluxo horizontal e leituras do avanço da frente de molhamento em função do tempo. Assim obtiveram-se diferentes perfis de umidade. Há influência da combinação das misturas que fazem parte da composição dos substratos na velocidade do avanço da frente de umedecimento em experimento de infiltração horizontal. A capacidade com que a umidade se expande no espaço e no tempo ocorrem de maneira diferenciada entre os substratos avaliados.

ABSTRACT– The supply of water to meet the water requirement is extremely important in the formation of the seedlings as lack or excess water can limit its development. Tests were performed in the laboratory of the Federal University of Hydraulic Lavras, aiming to analyze the distribution of moisture content in test horizontal infiltration in six substrates (S1, S2, S3, S4, S5 and S6) with four replications. Assays horizontal flow readings and the advance of the wetting versus time were performed. Thus we obtained different moisture levels. There influence of the combination of mixtures are part of the composition of the substrates in the speed of the advance of the wetting experiment in horizontal infiltration. The ability the moisture expands in space and time occur differently between the substrates evaluated.

Palavras-Chave – perfis de umidade, capacidade de molhamento, substrato agrícola.

1) Engenheira Agrônoma, Doutoranda do PPG Engenharia Agrícola e Ambiental (DEA-UFV), Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, campus universitário, Viçosa – MG, Tel.: (31) 3899-2200, Fax: (31) 3899-2108, E-mail: reitoria@ufv.br

2) Engenheiro Agrícola, Professor, DEG-UFLA, Câmpus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras/MG, Telefone: 35.3829.1122 / 1502.

3) Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Rec. Hídricos em Sist. Agríc., DEG-UFLA, Lavras-MG, Câmpus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras/MG, Telefone: 35.3829.1122 / 1502 .

1 - INTRODUÇÃO

O uso de substratos com características adequadas contribui para produção de plantas com melhor qualidade. Com isso conhecer as características do substrato torna-se fator essencial para o sucesso da produção (Ludwig, 2010). Diversas pesquisas já foram realizadas com intuito de conhecer qual o melhor substrato, ou a mistura mais apropriada para a produção de mudas em diferentes recipientes (Bardivieso *et al.* 2011).

No entanto em estudos de produção de mudas é importante ressaltar também a uniformidade de aplicação de água que de acordo com Milner (2001) é bastante variável, pois a distribuição de água nas bancadas, muitas vezes irregular é dependente do manejo empregado.

Segundo Wendling e Gatto (2002), o tipo de substrato utilizado na produção de mudas é de fundamental importância na determinação da frequência de irrigação e do volume de água a ser aplicado. O fornecimento de água para satisfazer a necessidade hídrica é extremamente importante na formação das mudas, pois a falta ou o excesso de água pode limitar seu desenvolvimento. Além disso, eleva o custo de produção, pelo aumento do consumo de energia em decorrência da irrigação frequente para manter a umidade no substrato. O aumento do número de irrigação pode ocasionar, também, a lixiviação dos nutrientes, prolongar o tempo para o desenvolvimento das mudas e, conseqüentemente, aumentar o gasto com insumos, mão de obra e equipamentos, além das questões socioambientais relativas ao consumo de água que é utilizado nos viveiros.

Muitos autores têm procurado estabelecer modelos matemáticos para estimar as propriedades hidráulicas dos meios porosos a partir de outros modelos mais facilmente mensuráveis (Prevedello & Loyola, 2005). Segundo Barreto *et al.* (2012) as premissas válidas em física de solos são parcialmente aplicáveis para substratos. As propriedades hidráulicas do substrato modificam-se com as particularidades das partículas, com o seu conteúdo de água e com a sua geometria porosa.

De acordo com Girardi *et al.* (2012) um substrato agrícola deve reter água sem diminuir a disponibilidade de oxigênio para as raízes para possibilitar o crescimento e a atividade do sistema radicular de plantas, entre outras propriedades físicas e químicas.

Existem diferentes tipos de substratos que de forma isolada ou em mistura podem ser utilizados na produção em recipiente. Em razão do exposto, o objetivo deste trabalho é analisar a distribuição do teor de umidade em ensaio de infiltração horizontal em diferentes substratos.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

Este experimento foi conduzido no Laboratório de Relação Água-Solo-Planta do setor de Engenharia de Água e Solo da UFLA, foram utilizados seis substratos comerciais denominados no estudo de S1, S2, S3, S4, S5 e S6. A composição dos substratos encontra-se na Tabela 1. Percebe-se que o substrato S1 é composto por varias misturas, enquanto que os demais são constituídos por dois a três componentes.

Tabela 1. Proporção (v/v) dos materiais utilizados na formulação de substratos.

Substrato	Composição (%)											Outros materiais
	Cp	Es	Sg	Fc	Vm	Ge	Ca	Cz	Tv	Cv	Tf	
S ₁	30	7	3	30	10	4	16					
S ₂								20			40	40
S ₃	70								30			
S ₄	75				25							
S ₅	60				30						10	
S ₆	60			20							20	

S1 (Cp - Casca de pinus, Es - esterco, Sg - serragem, Fc - fibra de coco, Vm - vermiculita, Ge - gesso e Ca - casca de arroz), S2 (Cz - cinza, Tf - turfa e outros materiais derivados da mistura formada pela decomposição de restos vegetais), S3 (Cp - casca de pinus e Tv - terra vegetal), S4 (Cp - casca de pinus e Vm - vermiculita), S5 (Cp - casca de pinus, Vm - vermiculita e Tf - turfa) e S6 (Cp - casca de pinus, Fc - fibra de coco e Cv - carvão vegetal).

2.1 - Colunas de acrílico

As amostras foram acondicionadas em uma coluna horizontal que constituiu-se de um tubo de acrílico segmentado em anéis cilíndricos, sendo que os sete primeiros anéis eram de 2 cm de comprimento, os cinco posteriores de 1 cm, mais dois subsequentes de 0,5 cm de comprimento e o último anel de 2 cm de comprimento, para suporte apenas, porém com 20 cm expostos a infiltração e efetivamente considerados, constituindo-se em um total de 22 cm de comprimento de coluna. O diâmetro interno da coluna foi de 41,5 mm, sendo 3,3 mm a espessura da sua parede.

2.2 - Conteúdo inicial de água nos substratos

Com o propósito de avaliar o efeito da umidade do substrato na infiltração e no avanço da frente de molhamento, determinou-se o conteúdo de água de cada um dos substratos imediatamente antes da aplicação de água.

2.3 - Infiltração de água

O avanço da frente de umedecimento foi observado em uma coluna horizontal (Figura 1). À medida que a água avançava através do substrato, no interior das colunas, realizaram-se leituras do avanço da frente de molhamento em função do tempo. O intervalo de tempo foi medido desde o início do contato da coluna com a placa porosa até que o fluxo alcançasse a linha de segmento de cada anel cronometrando o tempo em que a frente de umedecimento alcançasse cada anel e o tempo acumulado até o final da coluna. Assim obtiveram-se diferentes perfis de umidade.



Figura 1. Equipamento usado no ensaio de infiltração horizontal

Nos ensaios realizados nas colunas foram admitidas as condições de contorno a qual descreve o fluxo horizontal, em que a umidade mantém-se constante θ_s na entrada da coluna de solo:

$$\begin{cases} \theta = \theta_i, x > 0, & t = 0 \\ \theta = \theta_s, x = 0, & t > 0 \\ \theta = \theta_i, x \rightarrow \infty, & t > 0 \end{cases}$$

Em que x é a distância horizontal, t é o tempo de avanço, θ_s é a umidade de saturação e θ_i é a umidade inicial do sistema, ambas com base em volume.

O fornecimento de água na superfície de contato foi interrompido ao chegar aos 20 cm, a torneira de passagem de água foi fechada e a coluna de substrato de cada anel foi seccionada em 15 partes com o auxílio de um estilete. A umidade de cada anel foi determinada pelo método gravimétrico. Foram realizados 24 testes distintos, ou seja, quatro repetições para cada substrato.

A representação gráfica do avanço da distribuição do teor de umidade dos substratos é dada pela umidade em função da variável de Boltzmann (Klute & Dirksen, 1986), $\lambda(x t^{-1/2})$, em que λ é dependente da distância e do tempo. Observa-se, que não existe função matemática que

ilustre, de forma adequada, o comportamento das duas variáveis. A solução desse problema para um sistema infinito deve conter a variável de Boltzmann (λ), igual a $\frac{x}{\sqrt{t}}$.

Neste trabalho, propõe-se empregar uma equação similar à equação de Van Genuchten para retenção de água, já que as curvas de $\theta \times \lambda$ assemelham-se ao formato de curvas de retenção $\theta \times h$. Isto permite que a derivada e a integral da função $\theta(\lambda)$ possam ser, determinadas analiticamente.

Este procedimento permitiu melhor ajuste dos dados experimentais para pequenos incrementos de umidade em função de lambda, principalmente os mais próximos à umidade residual, resultando em uma correlação mais completa dos dados estimados e observados e facilitando a obtenção da inclinação da reta tangente a curva por meio da derivada da função. Estabeleceu-se assim, o mesmo modelo de ajuste para todos os substratos estudados. Como:

$$\theta(\lambda) = \theta_d + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (a \lambda)^b\right]^b} \quad (1)$$

Em que λ é a variável de Boltzmann, $\lambda(x t^{-1/2})$, com lambda dependente da distância e do tempo, θ a umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), θ_r a umidade residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), θ_s a umidade de saturação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e θ_d é a umidade higroscópica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) dependente de θ_r , a e b são parâmetros de ajuste.

Os indicadores estatísticos MEA (média dos erros), RMSE (raiz quadrada da média dos quadrados dos erros) e “d” (índice de concordância de Willmott), foram utilizados na avaliação do modelo abordado além do cálculo da eficiência do modelo proposto. Eles foram obtidos pelas equações abaixo relacionadas.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Calculou-se a variável de Boltzmann por meio dos dados de distância e do tempo, correspondente as distâncias da frente de umedecimento cujo comportamento está apresentado nos Gráfico 2 e 3, onde pode-se observar diferenças nas taxas de movimentação da água nos diferentes substratos avaliados em que os valores de umidade variaram de acordo com os diferentes tipos de substratos, em intervalos de 0,24 a 0,51 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Os valores estimados (linha continua) foram obtidos pela equação 1. De acordo com Michael *et al.* (2008), a facilidade ao molhamento deve ser atribuída principalmente ao tamanho ou granulometria das partículas.

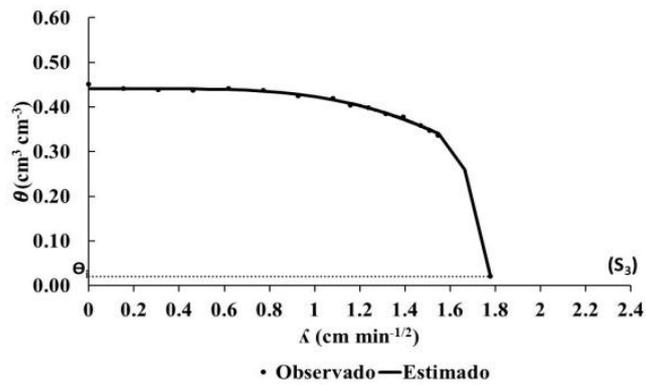
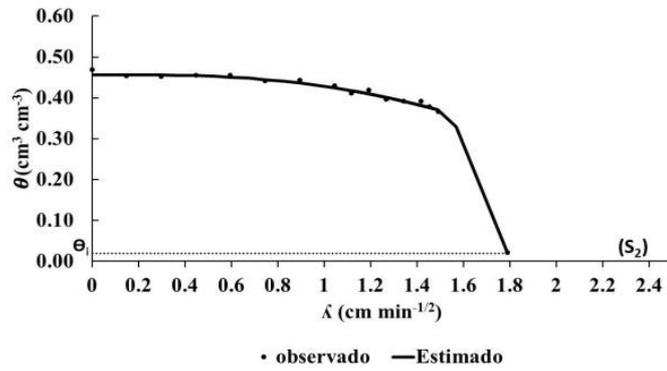
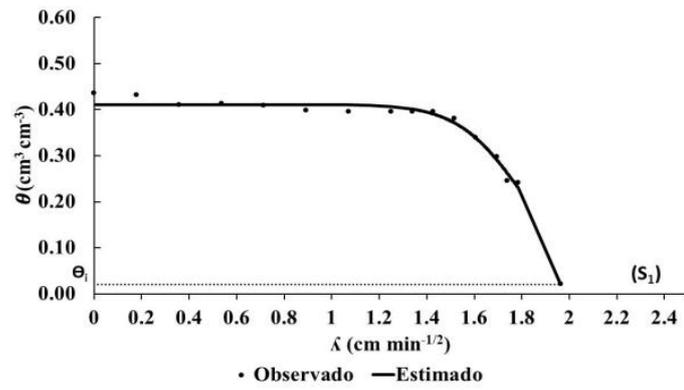


Figura 2 – Curvas da distribuição do teor de umidade em função da variável de Boltzman do ensaio de infiltração horizontal para os substratos S1, S2 e S3.

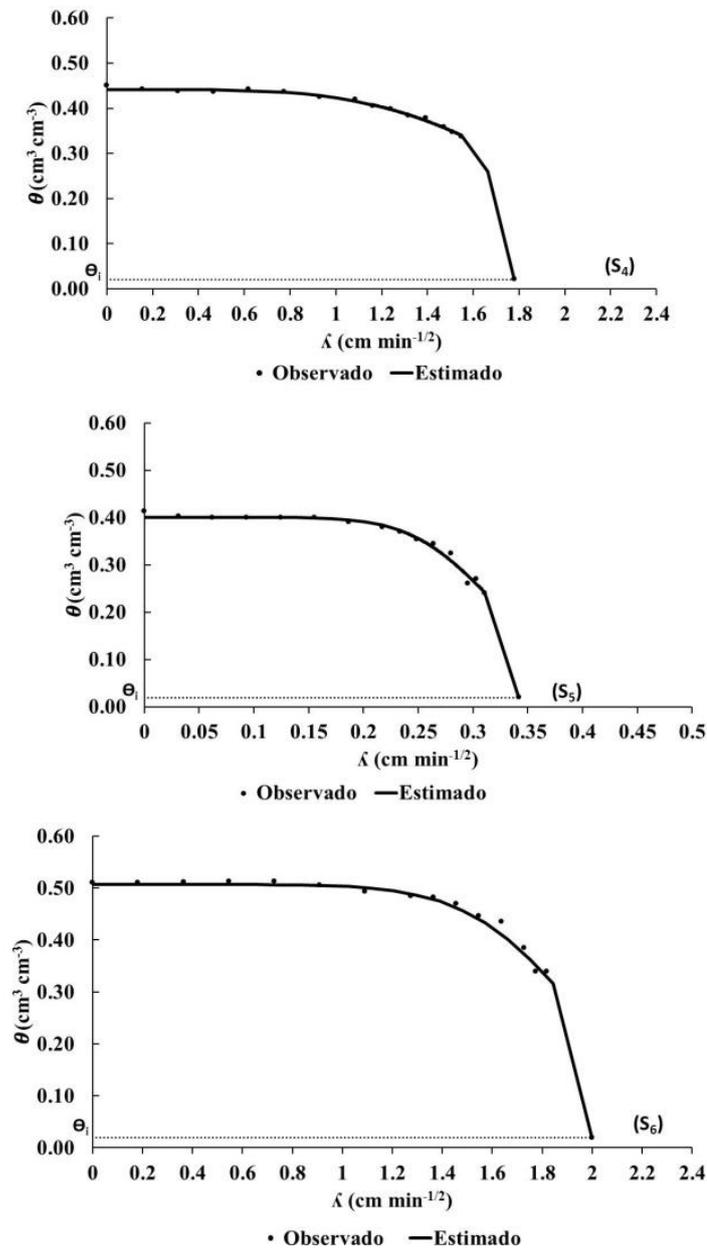


Figura 3 – Curvas da distribuição do teor de umidade em função da variável de Boltzman do ensaio de infiltração horizontal para os substratos S4, S5 e S6.

Nos gráficos 2 e 3, os ajustes do modelo proposto, cujos coeficientes de determinação altos, mostram que o modelo proposto (equação 1) descreve relativamente bem os dados observados (Tabela 1).

A avaliação do modelo proposto (equação 1) para ajustar os dados experimentais para pequenos incrementos de umidade em função de lambda, por meio da raiz quadrada da média dos quadrados dos erros (RMSE), na média dos erros (MEA), no índice de concordância (d) e na eficiência do modelo (E), mostrou que em geral os substratos apresentaram valores para o índice de concordância e eficiência do modelo proposto igual ou próximo à unidade (1,00), o que sinaliza o bom desempenho do modelo, sendo o mesmo comprovado pelos altos valores do coeficiente de

determinação da regressão (todos acima de 99%), pela RMSE e MEA, uma vez que quanto menores os valores absolutos de RMSE e MEA, melhor o ajuste do modelo (Tabela 2). Contudo, observa-se que o comportamento do modelo é distinto para cada um dos substratos, demonstrando que as curvas da distribuição do teor de umidade em função da distancia e do tempo do ensaio de infiltração horizontal para os substratos dos substratos depende de suas propriedades intrínsecas.

Tabela 2 - Dados estatísticos obtidos para a validação da adaptação da fórmula de Van Genuchten (1980) para ajustar aos dados experimentais

Substratos	RMSE	MEA	D	E	R ²
S1	$1,19.10^{-2}$	$1,42.10^{-4}$	$9,97.10^{-1}$	$9,88.10^{-1}$	0,995
S2	$7,91.10^{-3}$	$6,25.10^{-5}$	$9,99.10^{-1}$	$9,99.10^{-1}$	0,998
S3	$5,91.10^{-3}$	$3,50.10^{-5}$	$9,97.10^{-1}$	$9,99.10^{-1}$	0,999
S4	$3,75.10^{-3}$	$1,41.10^{-5}$	$9,98.10^{-1}$	$9,99.10^{-1}$	0,999
S5	$7,69.10^{-3}$	$5,92.10^{-5}$	$9,87.10^{-1}$	$9,99.10^{-1}$	0,999
S6	$9,41.10^{-3}$	$8,85.10^{-5}$	$9,97.10^{-1}$	$9,88.10^{-1}$	0,998

Uma análise da figura 2 e 3 mostram graficamente as diferenças nas taxas de movimentação da água nos diferentes substratos. Com efeito, observa-se que, para um mesmo espaço percorrido pela água, o maior tempo gasto foi representado pelo substrato S5 o qual, é composto por vermiculita, muito utilizada em substrato devido à sua alta retenção de água (Melo *et al.*, 2006) e turfa, material com alta capacidade de retenção de água e alta porosidade interna.

Conforme Barreto (2012), a natureza dos substratos determina diferenças nos processos de molhamento e secagem. As diferenças de perfil de distribuição do teor de umidade em ensaio de infiltração horizontal, entre os substratos, obedeceram as variações nas composições dos substratos, que afetam marcadamente as propriedades transmissoras de água dos substratos.

Deve-se considerar que é difícil obter um substrato que atenda todas as características ideais para determinada cultura, devendo-se selecionar as características mais importantes do substrato para o crescimento de cada espécie vegetal (Ferraz *et al.*, 2005).

4 – CONCLUSÕES

Há influência da combinação das misturas que fazem parte da composição dos substratos na velocidade do avanço da frente de umedecimento em experimento de infiltração horizontal.

A capacidade com que a umidade se expande no espaço e no tempo ocorrem de maneira diferenciada entre os substratos avaliados, destacando-se os substratos S5 e S2.

BIBLIOGRAFIA

BARDIVIESSO, D. M. et al. *Diferentes substratos e recipientes na produção de mudas de guabiroba (Campomanesia pubescens O.Berg.)*. Revista Científica Eletrônica de Agronomia, v. 18, n. 1, p. 52-59, 2011.

BARRETO, C. V. G.; TESTEZLAF, R.; SALVADOR, C. A. *Ascensão capilar de água em substratos de coco e de pinus*. Bragantia, v.71, p.385-399, 2012.

FERMINO, M. H. *Métodos de análise para caracterização física de substratos para planta*. 2003. 89 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FERRAZ, M. V.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N. *Caracterização física e química de alguns substratos comerciais*. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 27, abr./jun. 2005.

GIRARDI, L. B.; PEITER, M. X.; BELLÉ, R. A.; BACKES, F. A.; SOARES, F. C.; Valmorbidia, I. *Disponibilidade hídrica e seus efeitos sobre o desenvolvimento radicular e a produção de gipsofila envasada em ambiente protegido*. Irriga, v.17, p.501-509, 2012.

KLUTE, A.; DIRKSEN, C. *Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods*. In: A. KLUTE, (ed). *Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, American Society of Agronomy, Inc.; Soil Science Society of America Inc., Madison, Wisconsin, USA. Agronomy Series Number 9, Cap 28: p.697-734, 1986.

LUDWIG, F. *Características dos substratos no desenvolvimento, nutrição e produção de Gérbera (gerbera jamesonii) em vaso*. 2010. 132 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2010.

MELO, G. W. B.; BORTOLOZZO, A. R.; VARGAS, L. *Produção de morangos no sistema semi-hidropônico*. Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e Vinho, 2006. 24p.

MILNER, L. *Water and Fertilizers management in substrates*. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF CITRUS NURSERYMEN, 6., 2001, Ribeirão Preto. **Proceedings...** Ribeirão Preto: ISCN, 2001. p. 108-111.

PREVEDELLO, C. L.; LOYOLA, J. M. T. *Modelagem numérica para o processo da evaporação da água do solo*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, p 669-675, 2005.

VAN GENUCHTEN, M. T. *A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*. Soil Science Society America Journal, v.44, p.892-898, 1980.

WENDLING, I.; GATTO, A. *Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas*. Viçosa: Aprenda Fácil Editora, 2002. 166p.