

# Estimação do Fluxo de Água entre Solo e Raiz

Minéia Cappellari Fagundes - [mineiaef@gmail.com](mailto:mineiaef@gmail.com) - UNIJUI  
 Pedro Augusto Pereira Borges - [pborges@unijui.tche.br](mailto:pborges@unijui.tche.br) - UNIJUI  
 Geraldo Coelho - [coelho@unijui.tche.br](mailto:coelho@unijui.tche.br) - UNIJUI

## INTRODUÇÃO

O solo é um sistema complexo constituído de materiais sólidos, líquidos e gasosos. As partículas sólidas formam um meio poroso, que armazenam líquidos e gases [1]. Dentro desse sistema complexo a água se movimenta devido à ação dos potenciais, gravitacional, pressão, matricial, osmótico e outros. A soma de todos os potenciais é chamada de potencial total. A pesquisa do movimento da água no solo utiliza elementos da teoria sobre o comportamento de fluidos em meios porosos. Richards, em 1928, utilizou o princípio de conservação de massa e a equação de Darcy para relacionar as variações do teor de umidade com os potenciais gravitacional, matricial, osmótico e de pressão para solos saturados e não saturados, cuja demonstração é encontrada em vários trabalhos, tais como [2],[1],[3]. De acordo com Soares [4] a curva de condutividade hidráulica é fundamental para se compreender e modelar os processos de infiltração, evapotranspiração e transporte de água e de solutos no solo. A condutividade hidráulica do solo, segundo [2] é um coeficiente que expressa a facilidade com que a água se desloca no solo. A condutividade hidráulica é função do teor de umidade no solo e é máxima em condições de saturação. Na medida que a umidade diminui, a condutividade hidráulica decresce, normalmente de forma exponencial [2], e é calculada em função do teor de umidade[5].

Este trabalho é parte do Projeto de Pesquisa Movimento de Nutrientes na Planta, da Linha de Pesquisa Modelagem Matemática dos Processos de Transporte, do Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUI, o qual dará continuidade há dois trabalhos realizados: um modelo unidimensional do movimento de água e cálcio em solo não-saturado [6] e um modelo bidimensional do movimento de água em coordenadas cilíndricas para solo não-saturado e saturado [7].

O estudo de nutrientes em plantas é de amplo interesse das pesquisas em florestas, sistemas agro-florestais e agrícolas. Entre outros processos, o movimento da água no solo é responsável por grande parte do transporte de nutrientes. Neste trabalho pretende-se determinar o fluxo de água que entra nas raízes de uma espécie arbórea Grandiúva (*Trema Micrantha*(L) Blume) sob condições de laboratório, usando dados empíricos e desenvolvendo um modelo matemático. A Figura 1 apresenta o modelo físico do problema, um vaso cilíndrico contendo solo Latossolo Vermelho.

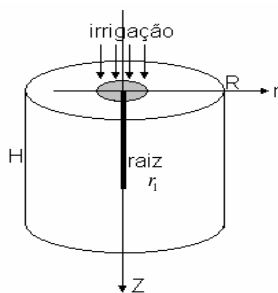


Figura 1 - Tubo cilíndrico de solo com uma raiz no centro e irrigação no círculo central da superfície

Estão sendo realizados experimentos para monitorar o teor de umidade do solo; e a quantidade de água que a planta absorve através da evapotranspiração no período de tempo simulado. Será feita a irrigação na fronteira superior, considerando diferentes fluxos de entrada de água durante um intervalo de tempo e suspensão da irrigação nos instantes posteriores. No centro do cilindro foi simulada a presença da raiz de uma planta, que cresce em função do tempo, considerada no problema como uma região de retirada de água do solo (sorvedouro).

## MODELO MATEMÁTICO

A equação diferencial que rege o movimento de água em solos é a equação de Richards. O modelo matemático proposto para o problema da absorção de água pela raiz é uma adaptação na equação de Richards [2] em coordenadas cilíndricas:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( K_r(\theta) r \frac{\partial \Psi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z(\theta) \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) - a \cdot g(z, t) \quad (1)$$

para  $0 < r < R, 0 < z < H$  e  $t > 0$ .

Condição Inicial

$$\theta(r, z, 0) = \theta_0, \quad 0 < r < R \text{ e } 0 < z < H \quad (2)$$

## Condições de fronteira

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} (0 < r < r_1, 0, t) = q_{ir} \text{ e } \frac{\partial \theta}{\partial z} (r_1 < r < R, 0, t) = 0, \quad t > 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial r} (R, z, t) = 0, \quad t > 0 \text{ e } 0 < z < H \quad (4)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} (r, H, t) = 0, \quad t > 0 \text{ e } 0 < r < R \quad (5)$$

Onde:

$g(z, t)$  é a absorção de água pela raiz [ $m^3 s^{-1}$ ]  
 $q_{ir}$  é a irrigação [ $m^2 s^{-1}$ ]  
 $\Psi$  é o potencial total [Pa]  
 $\theta$  é o teor de umidade do solo [ $m^3 m^{-3}$ ]  
 $K(\theta)$  é a condutividade hidráulica [ $m^2 s^{-1} Pa^{-1}$ ]

## MÉTODOS NUMÉRICOS

Os seguintes passos compõem a resolução do problema:

- Simulação das condições de fronteira do experimento: irrigação em  $z = 0$ , isolamento em  $r = R$ , e em  $z = H$ .
- Resolução da equação de Richards em coordenadas cilíndricas:
  - com condutividade hidráulica variável;
  - para solo saturado e não saturado;
  - diferenças finitas centrais.
- Resolução do problema inverso para determinação da condição de fronteira em  $r = 0$  usando diferentes técnicas (Levenberg-Marquardt).
- Verificação do modelo comparando os dados calculados e os dados relativos à absorção de água pela raiz.

## SIMULAÇÃO DOS RESULTADOS:

As Figuras 2 e 3 apresentam resultados ainda não completos sobre a resolução do problema proposto. A equação (1) foi resolvida numericamente com a condição (3) adaptada para condições de 1ª espécie, com os seguintes dados:

- Condição inicial  $\theta_0 = 0,1 [m^3 m^{-3}]$ , condições de fronteira de Dirichlet (provisória) de  $\theta = 0,8 [m^3 m^{-3}]$  para  $0 < r < 0,06m$ , de  $\theta = 0,5 [m^3 m^{-3}]$  para  $0,06 < r < R$ , absorção de água pela raiz  $g(z, t) = 0,00005$ ,  $H = 0,4m$ ,  $R = 0,2m$ , e condutividade hidráulica  $K_r = 0,3$  e  $K_z = 0,075$ .

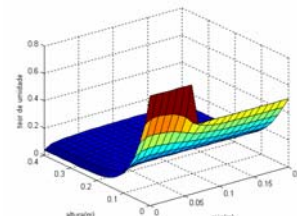


Figura 2: Simulação da distribuição do teor de umidade no domínio de integração

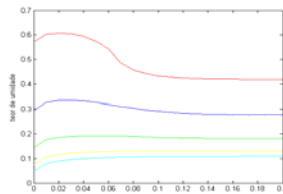


Figura 3: Simulação das curvas de umidade

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Figura 2 mostra a distribuição da umidade no domínio de integração para um dado instante de tempo, ainda distante do estado estacionário (superfície de umidade). Na fronteira  $z = 0$  o teor de umidade é mais elevado do que nos demais pontos, porque a água fornecida pela irrigação ainda não desceu para as camadas mais profundas de solo. A Fig. 3 apresenta diferentes curvas (várias alturas) da superfície de umidade da figura anterior, evidenciando o efeito da absorção da raiz em  $r = 0$ .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Reichardt. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Editora Manole Ltda, 1990.
- [2] P.L. Libardi. Dinâmica da água no solo. Piracicaba: P. L. Libardi, 1995, 497p. Cap.7: Movimento da água no solo.
- [3] T. Miyazaki, S. Hasegawa and T. Kasubuchi *Water Flow in Soils*. New York, Marcel Dekker, Inc., 1993.
- [4] W.A. Soares, A.C.D. Antoninho, E. Borges, C.A. Lira, A. Maciel, L.R. Lima. Modelagem inversa na caracterização hidrodinâmica da areia. In XXV CILAMCE, 2004.
- [5] M.T. Van Genuchten. Closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. In: soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v.44, p.892-898, 1980.
- [6] D.A.F.N. Menegais. Modelagem Matemática do Movimento da Água e do Cálcio em Solos não-saturados. Dissertação de Mestrado. Ijuí-RS-Brasil. UNIJUI, 65p, 2004.
- [7] S. Buligon, P.A.P. Borges. Movimento da água em Solos saturados e não saturados. In XVII CNMAC, 2004.