

SIMULAÇÃO DA DINÂMICA DA ÁGUA EM SOLOS IRRIGADOS

Edmar José Scaloppi - Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP - Câmpus de Botucatu, SP.

RESUMO

Este trabalho apresenta as bases teóricas e o procedimento computacional, de um modelo matemático para simular a dinâmica da água em solos irrigados. O movimento da água no solo, incluindo o processo de infiltração, foi satisfatoriamente descrito pela forma bidimensional da equação de Richards. Um método implícito iterativo, baseado em diferenças finitas, com direções alternantes, foi empregado, com sucesso, na solução numérica da equação de Richards. O modelo inclui absorção radicular, percolação e evaporação, e pode ser vantajosamente aplicado em trabalhos de simulação do processo de transferência de água e solutos em solos irrigados, visando caracterizar o desempenho de sistemas de irrigação e estabelecer previsões de riscos de contaminação do lençol freático com agroquímicos, eventualmente aplicados na água de irrigação.

A importância de estudos teóricos e experimentais sobre a transferência de água e solutos na região insaturada do solo, conhecida por vadose, tem sido reconhecida, desde o início do século. Motivações adicionais continuam sendo incorporadas ao tema, devido às estreitas relações com o manejo adequado dos solos agrícolas, para minimizar os efeitos de contaminação dos solos e das águas.

O entendimento conceitual dos processos complexos e interativos, de natureza física, química e microbiológica, que ocorrem na zona insaturada, tem sido bastante ampliado nos últimos anos. Um grande número de modelos foram recentemente desenvolvidos, exibindo enorme variabilidade nas aproximações conceituais e graus de sofisticação apresentados.

A simulação do escoamento insaturado em meios porosos é um problema numérico complexo, devido à natureza tipicamente não-linear das equações envolvidas (Celia et al., 1987). Além disso, um adequado refinamento das grades computacionais pode ser requerido, para propagar efetivamente as frentes de molhamento agudas, que ocorrem durante a infiltração e os estágios iniciais do processo de redistribuição.

A redistribuição de água no solo inicia-se logo após o término da infiltração. O teor de água nas porções molhadas reduz-se, quando a água começa a se redistribuir às regiões mais secas, em todas as direções. O fluxo de água no solo diminui exponencialmente com o tempo, até que um gradiente hidráulico unitário seja atingido. Isto pode ocorrer em poucas horas, em solos arenosos, ou em vários dias, em solos argilosos pouco permeáveis.

A razão de evapotranspiração determina acentuadamente a direção do fluxo. A presença de um lençol freático superficial, ou de camadas de solo impermeáveis, tem forte impacto na duração da fase de redistribuição.

Durante a fase estática, o fluxo de água no solo é pouco mensurável, e qualquer redução no teor de água no solo é, primariamente, devido à evaporação e absorção radicular. Esta condição, continua até o próximo evento de incorporação de água, através de chuva ou irrigação. A ocorrência de um lençol freático superficial e/ou a evapotranspiração, pode resultar em fluxo ascendente em direção ao sistema radicular.

O escoamento subsuperficial foi simulado, assumindo-se um movimento bidimensional de um fluido monofásico e incompressível, em um meio poroso indeformável. A redistribuição de água no solo pode ocorrer tanto no estado saturado como no insaturado, dependendo da prévia distribuição do teor de água no perfil do solo.

A equação unidimensional de Richards (Richards, 1931) foi expandida para computar o movimento da água nas direções vertical e horizontal. Termos sumidouros foram adicionados para simular a remoção de água pelas raízes (Nielsen et al., 1986; Hanks, 1990) e adição de água através de escoamento preferencial, significativo em alguns solos irrigados por sulcos (Yoder e Duke, 1990). A equação pertinente, descrevendo o escoamento bidimensional de água no solo é:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K_{xx}(\theta) \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_{zz}(\theta) \frac{\partial H}{\partial z} \right] + A(h,x,z,t) + P(h,x,z,t)$$

onde θ é o teor volumétrico de água no solo, t tempo, x a coordenada Cartesiana horizontal, cuja origem coincide com o contorno com fluxo zero, localizado na linha central do sulco, z a coordenada cartesiana vertical, considerada positiva a partir da superfície do solo, K_{xx} e K_{zz} os principais componentes do tensor condutividade hidráulica nas direções x e z , respectivamente, H a carga hidráulica (soma dos termos piezométrico, h , e gravitacional, z), $A(h,x,z,t)$ o termo sumidouro para absorção radicular, e $P(h,x,z,t)$ o termo para escoamento preferencial.

O método implícito iterativo com alternância de direções (IADI) foi empregado para resolver a Eq. 1. Este método, é particularmente recomendado entre os métodos de relaxação, para resolver equações parabólicas, como a equação de difusão em multidimensões (Press et al., 1988). Além disso, a precisão no tempo e no espaço é de segunda ordem, sendo incondicionalmente estável.

Os resultados obtidos, demonstraram que o procedimento proposto pode ser utilizado, com sucesso, para a simulação do movimento da água no solo, em condições saturadas ou insaturadas. A ocorrência de chuvas, incluindo a razão de precipitação, deve estar prevista, durante o período de simulação desejado. Incorporando-se ao modelo, a simulação do processo de irrigação, com decisões do manejo das irrigações, tornou-se possível simular a dinâmica da água no solo durante uma ou sucessivas estações de cultivo.

Quando desejado, o modelo executa um balanço de água no solo, quantificando seus principais componentes. Assim, associando-se um modelo de transferência de solutos, aplicados na água de irrigação, pode-se prever eventuais riscos de contaminação do lençol freático. Além disso, computando-se separadamente os termos de evaporação e transpiração, é possível estabelecer um significativo refinamento no conceito de eficiência de irrigação, em função da quantidade de água efetivamente utilizada no processo produtivo das culturas irrigadas.

BIBLIOGRAFIA

- Celia, M.A., L.R. Ahuja e G.F. Pinder. 1987. Orthogonal collocation and alternating-direction procedures for unsaturated flow problems. *Adv. Water Resour.* 10:178-187.
- Hanks, R.J. 1991. "Infiltration and redistribution." R.J. Hanks e J.T. Ritchie, eds, Modeling Plant and Soil Systems. Amer. Soc. Agron. Monograph. 181-204.
- Nielsen, D.R., M.T. van Genuchten e J.W. Biggar. 1986. Water flow and solute transport processes in the unsaturated zone. *Wat. Resour. Res.* 22(9):89S-108S.
- Press, W.H., B.P. Flannery, S.A. Teukolsky e W.T. Vetterling. 1988. Numerical recipes in C, Cambridge University Press, New York, N.Y.
- Richards, L.A. 1931. Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics* 1:318-333.
- Yoder, R.E. e H.R. Duke. 1990. Non-Darcy flow and drainage from irrigated furrows. *Transactions of the ASAE* 33(5):1487-1491.