

PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA SIMULAÇÃO DO MOVIMENTO DE ÁGUA NO SOLO SOB IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUPERFICIAL¹

LUIZ AILTON DE ARAÚJO SOUZA²; SÉRGIO LUIZ AGUILAR LEVIEN³

RESUMO: Neste trabalho, foi desenvolvido um programa computacional para a simulação do movimento de água no solo sob irrigação por gotejamento superficial, utilizando-se o método dos volumes finitos para a resolução da equação diferencial parcial de escoamento de água em meios porosos. O fluxo de água no solo foi tratado tridimensionalmente e o programa permite a determinação da forma e das dimensões do bulbo molhado, e da dimensão parcial e final do raio do disco saturado, quando tratar-se de bulbo isolado. No caso de bulbos sobrepostos, o programa permite a determinação da largura e profundidade da faixa molhada formada, possibilitando a escolha do espaçamento entre gotejadores que melhor se adequa às condições do projeto e manejo da irrigação.

PALAVRAS-CHAVE: bulbo molhado, irrigação localizada, modelagem computacional

SOFTWARE FOR SOIL WATER MOVEMENT SIMULATION UNDER SURFACE DRIP IRRIGATION

SUMMARY: In this work, a software was developed for the simulation of the movement of water in the soil under surface drip irrigation, being used the method of the finite volumes for the resolution of the partial differential equation of water flow in porous media. The soil water flow was treated three-dimensionally and the software allows the determination of the dimensions and shape of the wetted bulb, and of the partial and final dimension of the saturated disc radius, when to deal about of isolated bulb. In the case of overlapping bulbs, the software allows the determination of the width and depth of the formed wetted strip, making possible the choice of the drippers spacing that better it is adapted to the conditions of the irrigation design and management.

KEYWORDS: wetted bulb, localized irrigation, computational modeling

¹ Trabalho extraído da Dissertação apresentada à UFRSA, pelo primeiro autor, para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem

² Engenheiro Civil, M.Sc., Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Mossoró, RN, CEP: 59628-330. e-mail: luizailton@cefetrn.br

³ Engenheiro Agrícola, D.Sc., Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, UFRSA, Mossoró, RN, CEP: 59625-900. e-mail: sergiolevien@ufrsa.edu.br

INTRODUÇÃO

Na irrigação por gotejamento a água aplicada pelo emissor forma, inicialmente, na superfície do solo, em torno do gotejador, um pequeno charco por onde acontece a infiltração da água no solo. Com o passar do tempo, decresce o fluxo aumentando gradativamente o tamanho do charco, até que este se estabilize, momento em que temos um equilíbrio entre o fluxo vertical de água na superfície e a vazão do gotejador (DASBERG & BRESLER, 1985). No entanto, o fluxo de água no interior do solo, para este tipo de irrigação, é tridimensional, produzindo um bulbo molhado, cuja forma e tamanho dependem principalmente da vazão do gotejador, do tempo de aplicação de água e das características do solo.

No interior do bulbo, a água aplicada move-se, em grande parte, através do solo sob condições de fluxo não saturado. Desta forma, a distribuição de água e a forma do volume molhado podem ser preditas pelas leis físicas de movimento capilar da água no solo para um ponto emissor.

Com o avanço dos recursos computacionais, a modelagem matemática surgiu como uma solução alternativa e poderosa na predição do movimento tridimensional de água no solo, podendo-se processar a simulação de modelos complexos em um espaço de tempo aceitável. Os modelos matemáticos podem ser resolvidos analiticamente ou numericamente. Nos analíticos, as soluções matemáticas são deduzidas para situações simplificadas. Nas soluções numéricas, as equações diferenciais do fluxo são resolvidas utilizando-se técnicas de aproximação numérica obtidas através da discretização do domínio de estudo e da solução de um sistema de equações com as incógnitas obtidas na discretização (MALISKA, 2004). Seja qual for o tipo de modelo, quanto menos se utilizar suposições simplificadoras para formular o modelo, mais complexo ele será.

Os métodos numéricos tradicionais para a solução numérica de equações diferenciais são os métodos de diferenças finitas, volumes finitos e de elementos finitos. O método dos volumes finitos (MVF) trabalha com volumes de controle (VC) sobre os quais realiza um balanço de conservação da propriedade para cada volume elementar (RABELO, 2001). Esses VC ou células são representados por pontos situados em seu centro, denominados de pontos nodais.

Assim, esse trabalho teve como objetivo a apresentação de um programa computacional para a simulação dos processos de infiltração e de redistribuição da água no solo, quando esta é aplicada sob a forma de irrigação por gotejamento superficial, usando como técnica numérica o MVF.

METODOLOGIA

Utilizou-se o MVF aplicado sobre uma malha de volumes inteiros ao longo de todo o domínio, utilizando-se uma formulação explícita, na qual os parâmetros necessários ao cálculo do fluxo são determinados no início, para todos os VC. Neste tipo de formulação, todas as umidades das células vizinhas ao VC considerado são avaliadas no instante anterior e, portanto, já são conhecidas. É, então, possível explicitar a incógnita da equação em função destas células vizinhas, todas com umidades conhecidas.

O domínio D foi, conforme definição do MVF, discretizado em VC com a forma de pequenos cubos, formando uma malha de elementos contíguos, como apresentado na Figura 1. A posição do emissor de água coincide com a origem dos eixos cartesianos X, Y e Z. O eixo Z, perpendicular à superfície do solo, tem direção tomada como positiva no sentido do aumento da profundidade. Os eixos X e Y, posicionados na superfície do solo, representam o comprimento e a largura do VC, respectivamente. Com vistas a reduzir o tempo computacional, o domínio foi reduzido a um quarto do volume total, não trazendo isto nenhum prejuízo à interpretação dos resultados se considerarmos que há uma simetria de distribuição das umidades em relação aos demais quadrantes do domínio.

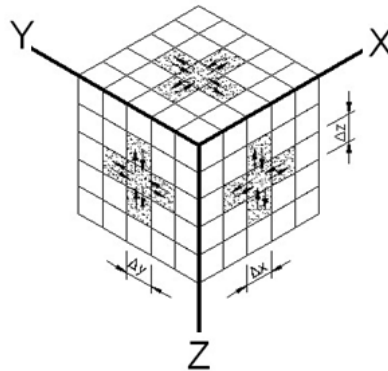


Figura 1. Esquema do domínio dividido em volumes de controle

Considerando o solo um meio poroso estável, homogêneo e isotrópico, temos que a equação de Richards da seguinte forma:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K(\theta) \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K(\theta) \cdot \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K(\theta) \cdot \frac{\partial H}{\partial z} \right) \quad (1)$$

Dada a discretização do domínio em volumes de controle e usando uma célula genérica de coordenadas (i, j, k), a equação (1) toma a seguinte forma:

$$\frac{\Delta \theta}{\Delta t} = K_{MED_x}(\theta) \cdot \frac{\Delta H_x}{(\Delta x)^2} + K_{MED_y}(\theta) \cdot \frac{\Delta H_y}{(\Delta y)^2} + K_{MED_z}(\theta) \cdot \frac{\Delta H_z}{(\Delta z)^2} \quad (2)$$

onde K_{MED_x} , K_{MED_y} e K_{MED_z} são as condutividades hidráulicas médias entre células adjacentes nas direções X, Y e Z, respectivamente.

Elaborou-se, então, um programa computacional denominado PSIGS (Programa de Simulação da Irrigação por Gotejamento Superficial), utilizando-se a linguagem de programação Visual Basic, que é parte integrante do pacote Microsoft® Visual Studio 2005.

RESULTADOS

A simulação inicia-se com a aplicação de água por determinado período de tempo, podendo prolongar-se pelo tempo de redistribuição desejado. São permitidas até quatro aplicações de água intercaladas por intervalos de tempo de redistribuição predefinidos. Tanto a vazão do gotejador quanto o tempo de aplicação podem assumir valores distintos para cada irrigação planejada. O mesmo acontece com o tempo de redistribuição entre irrigações.

O programa dispõe de quatro telas para entrada de dados. Na primeira tela informa-se os valores iniciais de umidade ou potencial matricial, umidade residual e à saturação, condutividade hidráulica do solo saturado e os parâmetros de ajuste da equação de VAN GENUCHTEN (1980); e na segunda tela informa-se a taxa de aplicação de água e os tempos de aplicação e de simulação, conforme apresentado na Figura 2.

The image displays two side-by-side screenshots of the PSIGS software interface, titled "PSIGS - Entrada de Dados".

Left Screenshot (Soil Properties):

- Menu:** Arquivo, Editar, Simular, Ajuda.
- Tabs:** Solo, Emissor, Modelo, Opções (Solo is selected).
- Variáveis hidrodinâmicas:**
 - ☒ Umidade inicial: 0,125 cm³.cm⁻³
 - ☐ Potencial matricial inicial: cm H₂O
 - ☐ Usar arquivo contendo umidades: Arquivo []
 - Umidade residual: 0,06 cm³.cm⁻³
 - Umidade de saturação: 0,286 cm³.cm⁻³
 - Condutividade hidráulica saturada: 1,64 cm.h⁻¹
- Equação de Van Genuchten:**
 - ☒ Informar os parâmetros "m" e "n"
 - ☐ Fazer m = 1 - 1/n
 - Alfa(α): 0,0239 cm⁻¹
 - m: 0,2891
 - n: 1,4068
- Button:** Iniciar Simulação

Right Screenshot (Emitter Characteristics):

- Menu:** Arquivo, Editar, Simular, Ajuda.
- Tabs:** Solo, Emissor, Modelo, Opções (Emissor is selected).
- 1ª Irrigação:**
 - ☒ 1ª Aplicação de água
 - Vazão do gotejador: 1,25 L.h⁻¹
 - Tempo de aplicação: 2 h
 - Tempo de simulação: 2 h
- Múltiplas Irrigações:**
 - ☒ 2ª Aplicação de água
 - ☒ 3ª Aplicação de água
 - ☒ 4ª Aplicação de água
 - Vazão do gotejador: [] L.h⁻¹
 - Tempo de aplicação: [] h
 - Tempo de simulação: [] h
- Button:** Iniciar Simulação

Figura 2. Entrada de dados referente às propriedades do solo e às características do emissor

Na terceira tela informa-se as dimensões da malha e das células, forma de cálculo da condutividade hidráulica e o incremento de tempo; e na quarta tela informa-se o tempo de

gravação dos resultados no banco de dados e o espaçamento entre emissores caso seja considerada a possibilidade de sobreposição entre os bulbos molhados, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3. Entrada de dados referente às características do modelo e a outras opções

Na Figura 4 apresenta-se uma tela de visualização dos resultados, onde se mostra para cada tempo gravado e para cada posição de coordenadas X, Y e Z, o valor da umidade, da condutividade hidráulica e do potencial matricial e total. Na Figura 5 apresenta-se as isolinhas de umidade geradas pelo programa para um solo de textura argilo-arenosa.

Resultados de d:\arquivos salvos\projeto mestrado\isoloteste.mdf

	Tempo(s)	Posição X(cm)	Posição Y(cm)	Posição Z(cm)	Umidade (cm ³ /cm ³)	Cond Hid (cm/h)	Pot Mat (cm H ₂ O)	Pot Tot (cm H ₂ O)
▶	3600	1,0	1,0	1,0	0,56200	16,18000	0,00000	1,00000
	3600	3,0	1,0	1,0	0,55826	14,91667	2,64592	3,64592
	3600	5,0	1,0	1,0	0,53908	11,47912	4,22813	5,22813
	3600	7,0	1,0	1,0	0,47100	5,14364	6,33763	7,33763
	3600	9,0	1,0	1,0	0,39678	1,93265	7,99417	8,99417
	3600	11,0	1,0	1,0	0,33468	0,68103	9,51535	10,51535
	3600	13,0	1,0	1,0	0,28667	0,23071	11,05356	12,05356
	3600	15,0	1,0	1,0	0,25072	0,07520	12,70513	13,70513
	3600	17,0	1,0	1,0	0,23330	0,03661	13,82650	14,82650
	3600	19,0	1,0	1,0	0,22988	0,03113	14,08718	15,08718
	3600	21,0	1,0	1,0	0,22949	0,03055	14,11806	15,11806
	3600	23,0	1,0	1,0	0,22945	0,03049	14,12094	15,12094
	3600	25,0	1,0	1,0	0,22945	0,03049	14,12117	15,12117
	3600	27,0	1,0	1,0	0,22945	0,03049	14,12119	15,12119
	3600	29,0	1,0	1,0	0,22945	0,03049	14,12119	15,12119
	3600	31,0	1,0	1,0	0,22945	0,03049	14,12119	15,12119
	3600	33,0	1,0	1,0	0,22945	0,03049	14,12119	15,12119
	3600	35,0	1,0	1,0	0,22945	0,03049	14,12119	15,12119
	3600	37,0	1,0	1,0	0,22945	0,03049	14,12119	15,12119
	3600	39,0	1,0	1,0	0,22945	0,03049	14,12119	15,12119
	3600	41,0	1,0	1,0	0,22945	0,03049	14,12119	15,12119
	3600	43,0	1,0	1,0	0,22945	0,03049	14,12119	15,12119
	3600	45,0	1,0	1,0	0,22945	0,03049	14,12119	15,12119
	3600	47,0	1,0	1,0	0,22945	0,03049	14,12119	15,12119

Figura 4. Tela de visualização dos resultados da simulação

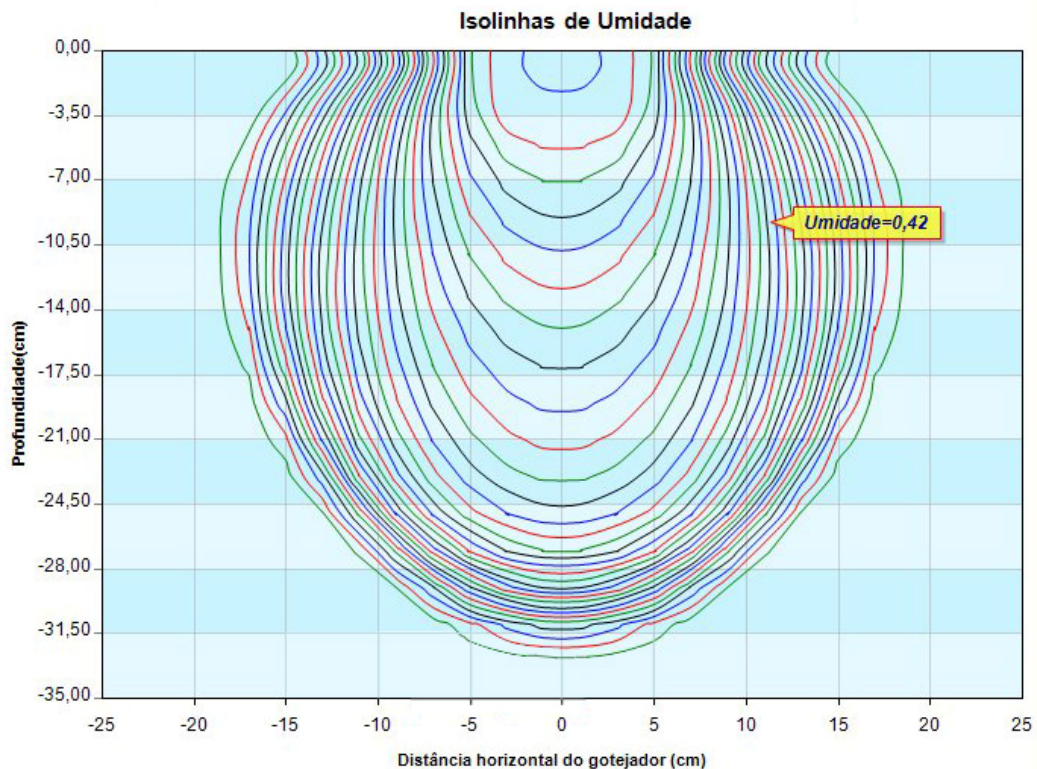


Figura 5. Isolinhas de umidade geradas pelo programa

CONCLUSÕES

O programa computacional desenvolvido pode ser de grande utilidade para simular a distribuição de água no solo sob irrigação por gotejamento, apresentando os resultados de forma rápida e prática, permitindo, ainda, a geração e visualização das isolinhas de umidade dentro de seu próprio ambiente.

REFERÊNCIAS

DASBERG, S.; BRESLER, E. Drip irrigation manual. Bet Dagan: International Irrigation Information Center, 1985. 95p.

MALISKA, C.R. Transferência de calor e mecânica dos fluidos computacional. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 453p.

RABELO, J.L. Volumes finitos. In: WENDLAND, E. Modelos matemáticos e métodos numéricos em recursos hídricos. 2001. Disponível em: <<http://albatroz.shs.eesc.sc.usp.br/~ew/SHS-5896/index.htm>>. Acesso em: 29 dez 2008

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