

MODELO HIDROLÓGICO DO “NÚMERO DE ESCOAMENTO” PARA ESTIMAR O ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM PEQUENAS BACIAS

Paulo Brito da Luz
Manuel Luís Fernandes
Fernando Pereira Pires

Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária – UEISSAVSV. paulo.luz@iniav.pt

RESUMO

A relação da precipitação com o escoamento superficial pode ser analisada através do modelo hidrológico do “Número de Escoamento” (Curve Number – SCS) no contexto de estudos do balanço hídrico e da erosão em pequenas bacias. Para a aplicação do modelo foram conduzidos três ensaios de campo em pequenas áreas (inferiores a 1000 m²) de montado e olival, tendo sido escolhido, numa primeira fase, um período de três meses, entre outubro e dezembro de 2012. Procedeu-se à instalação/utilização de diversos equipamentos para a recolha de dados de precipitação, de escoamento superficial e do teor de água no solo. Por outro lado, foram avaliados parâmetros do modelo, nomeadamente, hidrodinâmicos (incluindo da retenção de água), da textura, da topografia e da cobertura do solo. Os resultados obtidos por este modelo foram comparados com dados de campo e de simulações realizadas com uma solução numérica da equação de Richards (GFLUX) para a infiltração vertical da água no solo. Os valores de escoamento superficial medidos e em proporção de eventos de precipitação alcançaram, pelo menos, os 3,1% no montado sobre solos derivados de granito, os 7,8% no montado sobre solos derivados de xisto e foram apenas residuais no talhão do olival. Esta avaliação aponta para o interesse da aplicação do modelo, mas, tendo em atenção que as tabelas, gráficos e demais procedimentos para a obtenção dos parâmetros necessitam de ser muito fiáveis, preferencialmente validados com dados locais das bacias.

Palavras-chave: escoamento superficial, infiltração, modelação, pequena bacia hidrográfica, precipitação.

ABSTRACT

The precipitation-runoff relationship can be analyzed through the "Curve Number – SCS" hydrological model, in the context of studies of water balance and erosion in small rural watersheds. For the application of the model, three field trials were conducted in small areas (less than 1000 m²) in two cork-oak fields (over granite-derived and schist-derived soils) and an olive grove. As a first step, a period of three months was selected, from October to December 2012. A project team proceeded to the installation / use of various equipments for the collection of rainfall, runoff and soil water content data. Moreover, several model parameters were field assessed, namely soil hydraulic properties (including those related to “water retention”), texture, topography and soil cover. The results obtained by this model were compared with field data and simulations using a numerical solution of the Richards equation (GFLUX) for vertical infiltration of water into soil. The measured values of runoff with respect to available rainfall events data reached the proportion, at least, of 3.1 % in the cork-oak plot on granite-derived soil, 7.8% in the cork-oak plot on schist-derived soil and were only residual in the olive grove plot. This evaluation points out the relevance of the application of the model. However, bearing in mind that the tables, graphs and other procedures for obtaining the parameters need to be very reliable, preferably validated with watersheds local data.

Keywords: infiltration, modeling, precipitation, runoff, small watershed.

1. INTRODUÇÃO

Portugal tem reconhecida vulnerabilidade a fenómenos como a desertificação, a degradação do solo, as secas ou as cheias, relacionados com o ciclo hidrológico (PFNCNUCD, 2011). A agregação de informação sobre o ciclo hidrológico, mais precisa e fiável, e o desenvolvimento e a aplicação de modelos hidrológicos têm sido focados, como um eficiente contributo para a previsão desses fenómenos extremos.

Do ponto de vista de uma eficiente gestão da água, ao nível de cada bacia hidrográfica, verifica-se objetivamente a necessidade de se avaliar e integrar as diferentes componentes do ciclo hidrológico. No contexto de um determinado ecossistema, destaca-se, em particular, a importância de se realizarem projetos de investigação em recursos hídricos que visem a obtenção de soluções adequadas para o controlo do escoamento superficial e da erosão hídrica associada. Torna-se determinante para um projeto bem-sucedido a recolha de dados experimentais, que servirão para validar (ou não) as metodologias propostas para simular a ocorrência desses fenómenos.

O escoamento superficial é função de muitas variáveis, incluindo a duração e intensidade da precipitação, o tipo de solo, a humidade do solo, o uso da terra, a cobertura e o declive (Elhakeem & Papanicolaou, 2009). Yu (1999) destaca que a estimativa precisa da infiltração é crítica para a determinação do escoamento superficial. Neste sentido, têm sido desenvolvidas metodologias para determinar as características hidráulicas do solo com base em variáveis do solo, como a textura, a matéria orgânica e a estrutura (Saxton & Rawls, 2006). As funções de pedo-transferência (Van Genuchten & Leij, 1992; Gonçalves, 1994) são uma ferramenta importante para as análises hidrológicas. A condutividade hidráulica e a humidade do solo são duas variáveis cruciais para estimativas fiáveis do escoamento superficial. No entanto, por exibirem uma grande heterogeneidade espacial e temporal, surgem também dificuldades na avaliação e interpretação dos resultados.

A relação precipitação-escoamento superficial é um tema importante em hidrologia e um desafio comum para os hidrologistas (Modarres, 2009). Por outro lado, as metodologias, que descrevem padrões de circulação hídrica, podem servir como base para a modelação da qualidade da água e processar o efeito das cargas tóxicas nas águas recetoras, ou para a avaliação de riscos e incertezas nas previsões de variáveis hidrológicas (Leeuwen & Breur, 2001).

A seleção de um modelo de precipitação-escoamento superficial é um compromisso entre a complexidade do modelo e a disponibilidade de dados (King et al., 1999). O método designado de Número de Escoamento (NE) foi apresentado pelo “Natural Resource Conservation Service” (NRCS) (USDA-SCS, 1972) para proporcionar uma base consistente de estimativa da quantidade de escoamento superficial para diferentes tipos de solo e uso da terra (Rallison & Miller, 1981). Uma grande limitação deste método é o facto da intensidade de precipitação e a sua duração não serem consideradas, apenas o volume total de precipitação (King et al., 1999). Citam-se os seguintes modelos hidrológicos desenvolvidos com a inclusão deste método: 1) Soil and Water Assessment Tool (SWAT) (Arnold et al., 1998) e, 2) Soil-Plant-Atmosphere-Water Field & Pond Hydrology (SPAW) (Saxton & Willey, 2006).

Com este estudo pretende-se verificar a fiabilidade dos resultados da aplicação do método/modelo do NE para tanto recorrendo a técnicas e equipamentos adequados à determinação *in situ* de variáveis e parâmetros, utilizando uma base temporal diária.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Modelo hidrológico do “Número de Escoamento” (NE)

O “Número de Escoamento” (NE) é um método empírico desenvolvido a partir dos anos 50 (século XX), baseado nas relações precipitação-escoamento superficial (P-ES) em pequenas bacias rurais dos Estados Unidos (USA). Detalhes do método podem ser encontrados no Manual de Engenharia, secção de hidrologia do Departamento de Agricultura dos USA (USDA-SCS, 1972), ou no manual de uma versão do programa SWAT (Neitsch et al., 2005). O valor deste NE varia de 1 a 100, dependendo das propriedades da bacia, como: 1) tipo de solo – Grupo Hidrológico (GHS), 2) uso do solo e cobertura, 3) condições antecedentes de humidade (CAH), 4) condição hidrológica (CH) e 5) declive. Através de equações, tabelas descritivas das caracterizações do solo/hidrológicas e ainda por um processo gráfico chega-se à relação P-ES, associada a valores diários. As tabelas para determinação do NE são definidas para uma CAH II, ou seja de humidade média. O valor do NE pode depois ser ajustado para uma CAH I ou III, caso as condições sejam de solo seco ou próximo da capacidade de campo, respetivamente. A CH assume três possibilidades (pobre, considerável ou boa) de acordo com as características de cobertura do solo. O NE depende ainda das características de infiltração do solo, sendo definidos quatro GHS: A, B, C, D, que representam solos com uma taxa de infiltração desde muito rápida até muito lenta.

Determinações experimentais

Os dados experimentais necessários para o modelo hidrológico foram recolhidos de três ensaios de campo, de equipamentos utilizados no laboratório de solos do INIAV em Oeiras e ainda, no caso da precipitação diária, das estações meteorológicas do COTR (Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio) em Serpa e Lameirões. Esses dados reportam-se ao período decorrido entre 19 de outubro e 13 de dezembro de 2012.

Os talhões de ensaio situavam-se em zonas da bacia do Enxoé, nas quais se preparou para a obtenção de ES: 1) “**Olival**”- um local com uma área de 180 m², com olival em solos derivados de calcário e um declive médio de 9%, 2) “**Montado Xisto**” - um local com uma área 380 m², com montado em solos derivados de xistos e um declive médio de 8% e 3) “**Montado Granito**” - um local com uma área de 800 m², com montado em solos derivados de granitos e um declive médio de 14%. A água escoada (ES) dessas áreas era dirigida para um conjunto de depósitos que totalizava cerca de 900 L, nos locais 1 e 3, e para um depósito de cerca de 1000 L no local 2. Procedeu-se à leitura da água escoada em cinco datas: 30 de outubro, 9, 15 e 21 de novembro e 13 de dezembro. A precipitação nos talhões foi monitorizada nos locais 1 e 3, com quatro udómetros registadores automáticos (com “datalogger”), que permitiram conhecer a evolução diária da precipitação em ciclos de três minutos. Nas datas em que se procedeu ao registo do ES foram utilizadas sondas para recolha de amostras de terra do perfil de solo, até uma profundidade de 40-50 cm, para a determinação da humidade.

No laboratório de solos foram realizadas as caracterizações do solo (classificação, textura, densidade aparente, propriedades hidrodinâmicas). Alguns parâmetros obtidos para construir as curvas de retenção de água e de condutividade hidráulica, foram também utilizados para a equação de Richards. Com esta equação, sobretudo quando os parâmetros do solo e da água são obtidos experimentalmente, é usual estimar-se com grande fiabilidade o ES potencial (i.e. considerado o solo descoberto e um declive acentuado, que propiciam a ausência de água armazenada superficialmente), permitindo comparações com os valores de ES real, previstos com o NE e observados nos ensaios.

Determinações com modelos

As simulações de ES foram realizadas com uma solução numérica da equação de Richards – GFLUX (Smith, 1990), para a infiltração vertical da água no solo. Para além dos valores diários, foram também considerados os valores sub-diários de ES que poderiam ser obtidos tendo em conta a informação da precipitação registada pelos udómetros com aproximação a determinados padrões de precipitação.

O modelo hidrológico SPAW (Saxton & Willey, 2006), com uma interface gráfica, foi a ferramenta escolhida para estimar e aproximar valores de condutividade hidráulica saturada (CHsat.), saturação, capacidade de campo, coeficiente de emurhecimento e densidade aparente, com base na textura, matéria orgânica, elementos grosseiros (saibro/cascalho), salinidade e compactação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período global analisado no estudo, ocorreu precipitação em mais de metade dos dias. Em valores totais a precipitação alcançou os 212 mm no local 1 e os 263 mm no local 3 (considerou-se por maior proximidade o mesmo valor para o local 2).

A humidade do solo ao longo do período considerado, no perfil do solo até aos 40 cm e nos três talhões, foi subindo de valores médios próximos do coeficiente de emurhecimento para valores da capacidade de campo. Foi também observado que nas camadas abaixo dos 30 cm do montado de xisto, o solo chegou a atingir a saturação.

Quadro 1. Dados para determinação do "Número de Escoamento"

Parâmetros	Talhão							
	Olival (local 1)		Montado Xisto (local 2)		Montado Granito (local 3)			
Textura (s)	Franco-argilosa		Franca a Franca-argilosa		Areno-franca			
Cobertura do solo	Pomar/ Bosque		Pomar/ Bosque		Pomar/ Bosque			
Fonte (info):	<u>Prog. SPAW</u>	<u>Lab.</u>	<u>Prog. SPAW</u>	<u>Lab.</u>	<u>Prog. SPAW</u>	<u>Lab.</u>		
C.H.sat. (mm/h)	11,7	>50	7,3/9,3/1,2	>50	53	>50		
Grupo hidrológico do solo	B	A	C	A	A	A		
Condição hidrológica	Pobre		Considerável		Considerável			
Condições antec. de hum. do solo	CAH III (NE ₃)		CAH II (NE ₂)		CAH III (NE ₃)			
Declive	9%		8%		14%			
Nº de Escoamento (ajust. ao declive)	90	80	-	80	45	-	70	70
Prec.Mín.(mm) (Esc=0)	10	20	-	20	75	-	30	30

Os dados necessários para a determinação dos valores do NE em cada talhão de ensaio (apenas entre 3 e 21 de novembro), podem ser observados no quadro 1. Foram consideradas as duas fontes alternativas (programa SPAW e laboratório) para obter informação sobre os parâmetros do solo. As diferenças de CHsat. no local 2 resultam sobretudo das diferenças de textura e compactação no perfil do solo (0-10 cm: franca com compactidade grande; 10-20 cm: franca com compactidade média a grande; 20-50 cm: franca-argilosa com compactidade média a grande)

Os valores de ES medidos no campo e a sua estimativa pelos modelos aplicados apresentam-se no quadro 2, desagregados para quatro eventos de precipitação, registados no ensaio entre 3 e 21 de novembro.

Quadro 2. Dados de precipitação (P) e de escoamento superficial (E – “Real”, no campo e com o “Número de Escoamento” e “Potencial”, se estimados com a Equação de Richards)

Talhão	Datas:	Recolha do Esc. Sup. : 09-11-2012				21-11-2012				TOTAL			
		Eventos de Precip. - Esc. Sup. :		03-Nov		08-Nov		15/16-Nov		17-Nov			
		P	E	P	E	P	E	P	E	P	E		
Olival (local 1)	Campo		0		0		0		0		0	(212)	0
	Eq.Rích. (SPAW)	39	0	27	0	23	0	14	0			103	0
	N. Escoam. :90 (SPAW)		14		8		6		2			4 eventos	30
	N. Escoam. :80 (lab.)		4		2		1		0				7
		P	E	P	E	P	E	P	E		P	E	
M. Xisto (local 2)	Campo		≤ 1,3		≥ 0		> 2,8		> 0			(263)	> 4,1
	Eq.Rích. (SPAW)	49	2,2	36	0	36	3,5	15	0			136	5,7
	N. Escoam. :80 (SPAW)		13		4		4		0			4 eventos	21
	N. Escoam. :45 (lab.)		0		0		0		0				0
		P	E	P	E	P	E	P	E		P	E	
M. Granito (local 3)	Campo		> 1,1		> 0		> 1,1		> 0			(263)	> 2,2
	Eq.Rích. (SPAW)	49	0	36	0	36	0	15	0			136	0
	N. Escoam. :70 (SPAW/lab)		4		1		1		0			4 eventos	6
			P	E	P	E	P	E	P	E		P	E

Das datas em que se procedeu ao registo do ES, apenas em duas (9 e 21 de novembro), e nos ensaios em montado, se observou valores acima de 1 mm. Relativamente aos correspondentes períodos de recolha de ES (entre 3 e 9 e entre 15 e 21 de novembro) consideraram-se os eventos com precipitação mais alta como os que provavelmente ocasionaram perto de 100% do ES, o que é corroborado pelos modelos. No entanto, neste estudo, a divisão rigorosa do ES pelos dias de precipitação não é possível. Perspetiva-se que os quatro eventos, face ao período global de ensaio, estarão relacionados com cerca de metade da precipitação registada e com a quase totalidade dos dias em que ocorreu ES. Por outro lado, exceto no montado de xisto (no dia 9 de novembro), os depósitos ficaram cheios, pelo que a recolha de ES poderia ter sido superior (daí o símbolo “>” no quadro 2). Destaca-se ainda, que os valores de ES obtidos no campo e através do NE são reais, dependendo da existência de água armazenada à superfície do solo, associada sobretudo aos resíduos/coberto vegetal (obs: esse fenómeno associado a declives superiores a 5% será muito reduzido ou mesmo nulo). Acresce referir que os valores do ES dos ensaios correspondem a volumes recolhidos com uma periodicidade mínima de seis dias. Ou seja, esses valores não se podem relacionar com a intensidade e a duração da precipitação ao longo de um determinado dia. Já a utilização da equação de Richards permitiu simular o ES potencial numa base sub-diária, considerando-se a precipitação registada nos udómetros.

Pela análise do quadro 2 ao nível de cada local, avançam-se as seguintes considerações:

1) Olival - Destaca-se o facto de se ter registado um elevado número de dias de precipitação no período global do ensaio, tendo sido atingido um valor final de 212 mm de altura de água. No entanto, neste talhão não se verificou ES real em qualquer dos eventos de precipitação, mesmo quando estes ultrapassaram os 20 mm. Pela aplicação da equação de Richards também não se prevê a existência de ES potencial, mesmo com os valores mais baixos de CHsat., obtidos com o programa SPAW, e tanto para a precipitação distribuída uniformemente ao longo de um dia, como numa base sub-diária (com variação da intensidade de precipitação). Com a utilização do modelo do NE prevê-se a ocorrência de ES. Para o valor de NE igual a 90 existiria ES nos quatro eventos de precipitação (e para qualquer evento superior a 10 mm), que totalizaria 30 mm. Para o valor de NE igual a 80, em três eventos (com precipitação superior a 20 mm) seria previsível a ocorrência de algum ES real, que no total atingiria 7 mm. Será necessário dar continuidade ao estudo sobre a água no sistema solo-planta-atmosfera, com os dados que existem relativos a 2013, de forma que seja possível confirmar as condições que estão na base da não ocorrência de ES real. Também existe a hipótese de o NE ser mais baixo, ou que a aplicabilidade do modelo tenha limitações (ainda que, para o NE igual a 80, os escoamentos próximos ou inferiores a 10% da precipitação, de eventos entre 20 e 40 mm, sugiram diferenças pequenas e aceitáveis face aos valores de ES nulos medidos).

2) Montado Xisto - O ES registado no dia 9 correspondeu a uma altura de água de 1,3 mm (500L:380m²), ou seja, um pouco menos de meio volume do depósito, podendo relacionar-se com a precipitação de um ou ambos os eventos. O ES registado no dia 21, estando o depósito cheio, correspondeu a uma altura de água mínima de 2,8 mm (1050L:380m²), mas devendo relacionar-se sobretudo com o primeiro evento de precipitação (nos modelos o valor de escoamento previsto para o segundo evento é nulo). Neste talhão, considerando-se os valores de precipitação diária superiores a 15 mm, os resultados de ES potencial estimados pela equação de Richards são bastante consistentes com os de ES real recolhidos no campo. Estes foram um pouco inferiores, mas teriam a possibilidade de envolver algum armazenamento superficial da água no solo. Embora com diferenças pouco expressivas, a utilização dos dados sub-diários de precipitação variável na equação de Richards, comparativamente aos verificados com a precipitação uniformemente distribuída ao longo do dia (sem picos de intensidade), conduziria a valores de ES mais aproximados aos observados no ensaio de campo. O conjunto destes resultados aponta para que o ES num período diário não ultrapasse os 10% da precipitação. Com a utilização do modelo do NE prevê-se a ocorrência de ES, no caso de um NE igual a 80. O valor de ES do dia 03-11 (13 mm) é bastante superior ao obtido no campo, ou estimado pela equação de Richards, o que tem grande impacto nas diferenças dos valores totais (passa de cerca de 5 para 21 mm). Já para o valor do NE de 45, não se prevê a ocorrência de ES.

3) Montado Granito - Neste talhão, o ES real registado, quer em 9-11 quer em 21-11, terá ultrapassado os 1,1 mm de altura de água (900L:800m²), pois a água estava a transbordar dos depósitos. Em termos de proporcionalidade face aos volumes recolhidos nos depósitos do montado de xisto (e para as mesmas datas), esse excesso de água deverá ter sido superior no período de recolha de água entre 15 e 21 de novembro. Nesta perspetiva será admissível, em eventos de precipitação acima dos 36 mm, que o ES real apresente valores superiores a 5% da precipitação. A aplicação da equação de Richards também não prevê a existência de ES em qualquer alternativa de padrão de

precipitação. O facto da CHsat. poder estar sobreavaliada será uma explicação. Para o valor de NE igual a 70 (com base numa CHsat. acima dos 50 mm/h) os resultados de ES real apresentam uma ordem de grandeza bastante próxima dos valores registados/previstos no ensaio.

4. CONCLUSÕES

Pela análise dos dados de campo da evolução da humidade do solo, da precipitação e do escoamento superficial, a par da utilização dos modelos de estimativa desse escoamento, com vários parâmetros caracterizados numa base experimental, avançam-se, para os três talhões em estudo, as seguintes conclusões:

A consistência dos resultados de escoamento superficial dos modelos com os dados de campo está associada a uma extrema sensibilidade das propriedades hidráulicas do solo, sobretudo da condutividade hidráulica saturada;

As determinações locais de algumas variáveis (precipitação, humidade do solo, coberto vegetal e da classificação do solo) são cruciais para os processos de validação dos modelos hidrológicos, nomeadamente do “Número de Escoamento”;

A base diária para a avaliação da relação precipitação-escoamento superficial tende a ser adequada, não se vislumbrando um aumento significativo da fiabilidade dos modelos que utilizam valores sub-diários ou horários, ou seja, essa fiabilidade mantém-se com a inclusão de variações-picos de intensidade da precipitação para curtos espaços de tempo, (caso da equação de Richards).

O número de dias de precipitação considerados para a produção de valores de ES real com um peso expressivo foi bastante reduzido (2 a 4), face ao número total de dias com ocorrência de precipitação (cerca de 40). Esse ES terá resultado da conjugação de humidades no perfil do solo (média 0-40 cm de profundidade) acima da capacidade de campo e de eventos/dias com precipitação superior a 15 mm.

No contexto dos objetivos estabelecidos neste estudo pode-se reconhecer na modelação um procedimento adequado para o conhecimento do ciclo hidrológico local e para a gestão de uma bacia de uma forma mais racional.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Projeto EUTROPHOS (FCT), e as facilidades dos responsáveis da Herdade da Abóboda (DRAP Alentejo) para a realização dos trabalhos de campo.

Referências

- Arnold, J. G., R. Srinivasan, R. S. Muttiah, & J. R. Williams. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment. Part 1: Model development. *J. Am. Water Res. Assoc.* 34(1): 73-89
- Elhakeem, M. & A. Papanicolaou. 2009. Estimation of the Runoff Curve Number via Direct Rainfall Simulator Measurements in the State of Iowa, USA. *Water Resources Management.* Vol. 23.

- Gonçalves, M.C. 1994. *Características hidrodinâmicas dos solos: sua determinação e funções de pedo-transferência*. Dissertação de doutoramento. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.
- King, K.W., J.G. Arnold & R. L. Bingner. 1999. Comparison of Green-Ampt and Curve Number methods on Goodwin Creek watershed using SWAT. *Transactions of ASAE*. Vol. 42(4): 919-925
- Leeuwen, P. Van & K.-J. Breur. 2001. The modeling policy-maker. On decision support systems in water management. *Integrated Assessment*, 2: 89-92
- Modarres, R., 2009. Multi-criteria validation of artificial neural network rainfall-runoff modeling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13: 411-421
- Neitsch, S. L., J. G. Arnold, J. R. Kiniry & J. R. Williams. 2005. *Soil and Water Assessment Tool – SWAT*. Theoretical documentation. Grassland, Soil and Water Research Laboratory of Agriculture Research Service. Texas.
- PFNCNUCD, 2011. Programa de Acção Nacional de Combate à Desertificação, revisão 2010/2011. Ponto Focal Nacional da Comissão das Nações Unidas d Combate à Desertificação, Lisboa.
- Saxton, K.E. & P.H. Willey. 2006. The SPAW model for agriculture field and pond hydrologic simulation. P. 401-435. *In* V. P. Singh and D. K. Frevert (ed.) *Watershed models*. CRC Press, Boca Raton. FL.
- Saxton, K.E. & W. J. Rawls. 2006. Soil water characteristics estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Science Society American Journal*. Vol. 70: 1569-1578.
- Smith, R. E. 1990. *GFLUX – a numerical solution for the one dimensional vertical infiltration of water*. Documentation. United States D.A. ARS. CSU. Colorado
- Rallison, R.E. & N. Miller. 1981. Past, present and future SCS runoff procedure. In *Rainfall Runoff Relationship*, 353-364, ed. V.P. Singh. Littleton, Colo: Water Resources Publication.
- U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 1972. *National Engineering Handbook*. Hydrology Section 4. Chapters 4-10. Washington D.C.:USDA
- Van Genuchten, M. Th. F. J. Leij. 1992. On estimating the hydraulic properties of unsaturated soils. P. 1-14. *In* M. Th. Van Genuchten et. Al. (ed.) *Indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils*. Univ. of California. Riverside. CA
- Yu, B. 1999. A Comparison of the Green-Ampt and a spatially variable infiltration model for natural storm events. *Transactions of ASAE*. Vol. 42(1): 89-97