



## Simulações da taxa de infiltração e infiltração acumulada utilizando o modelo de Green Ampt para três latossolos no cerrado matogrossense<sup>(1)</sup>.

George Luiz de Lima<sup>(2)</sup>; Edwaldo Dias Bocuti<sup>(3)</sup>; Ricardo Santos Silva Amorim<sup>(4)</sup>; Eduardo Guimarães Couto<sup>(5)</sup>, Tulio Gonçalves Santos<sup>(6)</sup>, Debora Curado Jardini<sup>(7)</sup>.

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT).

<sup>(2)</sup> Analista; Secretaria de Desenvolvimento Rural e Agricultura Familiar; Cuiabá, MT; E-mail: ge.luiz@ibest.com.br; <sup>(3)</sup> Mestrando em Agricultura Tropical; Cuiabá, MT, E-mail: ed.bocuti@hotmail.com.br; <sup>(4)</sup> Professor adjunto; Universidade Federal de Mato Grosso; Cuiabá, MT; E-mail: rsamorim@ufmt.br; <sup>(5)</sup> Professor associado; Universidade Federal de Mato Grosso; Cuiabá, MT; egcouto@gmail.com; <sup>(6)</sup> Mestrando em Agricultura Tropical; Cuiabá, MT; E-mail: tuliogsantos@hotmail.com.br; <sup>(7)</sup> Doutoranda em Agricultura Tropical; Cuiabá, MT; debora\_jar@hotmail.com.

**RESUMO:** A infiltração, processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo, é um dos processos mais importantes do ciclo hidrológico. A modelagem desse processo é de grande importância prática, sendo a equação de Green-Ampt (GA) uma das mais utilizadas para tal. Entretanto, diversos autores alertam para a necessidade de adequação de seus parâmetros de entrada: umidade de saturação ( $\theta_s$ ); condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ) e potencial matricial na frente de umedecimento ( $\psi_f$ ). Nesse sentido, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o desempenho da equação de Green-Ampt na estimativa da taxa de infiltração da água em três Latossolos do cerrado matogrossense com diversas formas de obtenção dos seus parâmetros de entrada. Foram feitas simulações com base na combinação de seis metodologias para a determinação de  $\psi_f$  e cinco para a condutividade hidráulica da zona de transmissão ( $K_w$ ). Verificou-se que o Latossolo de textura muito argilosa apresentou as maiores taxas de infiltração e que a utilização de  $K_w$  igual à taxa de infiltração estável associada a  $\psi_f$  calculado com base na condutividade hidráulica do solo saturado e a utilização de  $K_w$  igual à taxa de infiltração estável associada a  $\psi_f$  calculado a partir da textura e da porosidade do solo foram as combinações que melhor simularam o processo de infiltração da água no solo.

**Termos de indexação:** modelagem hidrológica; infiltrômetro de aspersão; Latossolo.

### INTRODUÇÃO

Entre os diversos parâmetros componentes do ciclo hidrológico, pode-se afirmar que a infiltração é um dos mais importantes. As vazões dos cursos d'água nos períodos de estiagem dependem da água que infiltra no solo e reabastece os aquíferos subterrâneos. A água infiltrada também determina o balanço de água na zona radicular das culturas. A

infiltração é, ainda, determinante da ocorrência do escoamento superficial, responsável por fenômenos indesejáveis, como a erosão e inundações (Brandão et al., 2006).

Devido à dificuldade em caracterizar todas as variáveis que interferem na infiltração e em definir a intensidade com que algumas delas afetam o processo, diversos modelos têm sido propostos visando simplificar o estudo da infiltração da água no solo que, em geral, são classificados em empíricos ou físicos.

Dentre os modelos teóricos, o desenvolvido por Green-Ampt (GA) é um dos mais bem embasados fisicamente e, portanto, um dos mais empregados. Entretanto, diversos autores alertam para a necessidade de adequação de seus parâmetros de entrada: umidade de saturação ( $\theta_s$ ); condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ) e potencial matricial na frente de umedecimento ( $\psi_f$ ). Nesse sentido, avaliou-se o desempenho da equação de GA, assim como as diversas proposições de adequação dos seus parâmetros de entrada, em três Latossolos sob condições de estratificação.

### MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados os resultados obtidos por George (2010) em ensaios de infiltração e de caracterização físico-hídrica de três Latossolos: Latossolo Amarelo Eutrófico típico, textura média; Latossolo Amarelo Eutrófico típico, textura argilosa; e Latossolo Vermelho Distrófico típico, textura muito argilosa.

Para simulações da taxa de infiltração foi utilizada a equação (1) de GA modificada por Hachum e alfaró (1980) para solo estratificado em que:

$$T_i = K^* \left[ 1 + \frac{\Psi}{L_m} \right] \quad (1)$$



$K^*$  = condutividade hidráulica equivalente das camadas de solo saturado,  $L T^{-1}$ ;  $\Psi$  = potencial matricial médio na frente de umedecimento,  $L$ ;  $L_m$  = profundidade da frente de umedecimento,  $L$ .

A variável  $K^*$  é tomada como a média das  $m$  camadas situadas acima da frente de umedecimento, sendo expressa por:

$$K^* = \frac{L_m}{\sum_{i=1}^j \frac{H_i}{K_i}} \quad (2)$$

em que:  $H_i$  = espessura da camada  $i$ ,  $L$ ;  $K_i$  = condutividade hidráulica da camada  $i$ ,  $L T^{-1}$ ; e  $j$  = número de camadas situadas acima da frente de umedecimento.

Cecílio (2002) propõe o cálculo da lâmina acumulada dentro de cada camada por meio da equação:

$$l_i = H_i (\theta_w - \theta_i) \quad (3)$$

em que:  $l_i$  = lâmina acumulada na camada  $i$ ,  $L$ ;  $\theta_w$  = umidade na saturação de campo da camada,  $L^3 L^{-3}$ ; e  $\theta_i$  = umidade inicial da camada,  $L^3 L^{-3}$ .

As simulações das taxas de infiltração e infiltração acumuladas foram realizadas utilizando-se cinco formas de obtenção da condutividade hidráulica e seis formas de obtenção do potencial matricial médio na frente de umedecimento, totalizando, desta forma, 30 combinações de simulação para cada tipo de solo estudado (Quadro 1).

Para avaliação do desempenho do modelo de GA foram utilizados os seguintes parâmetros estatísticos: índice de confiança ajustado, índice de eficiência e o erro médio porcentual, tendo como referências os valores obtidos nos ensaios de campo

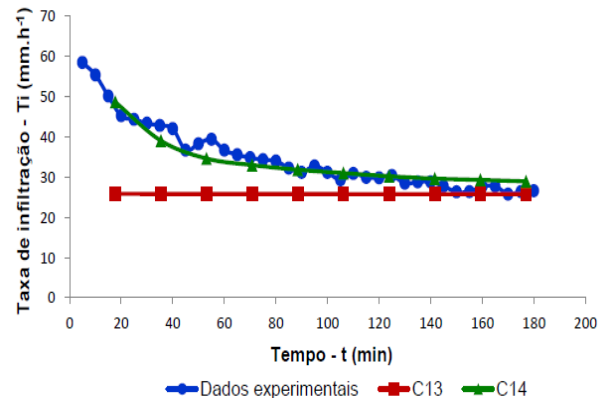
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Simulações do processo de infiltração utilizando o modelo de GA

O processo de infiltração da água não foi simulado satisfatoriamente em nenhum dos três solos estudados, com desempenho péssimo em todas as combinações de acordo com o índice  $c$ .

A combinação C13, que utiliza a  $Tie$  como  $K_w$  e a equação de Risse et al. (1995) para o cálculo de  $\Psi_f$ , e a combinação C14, que também utiliza a  $Tie$  como  $K_0$  e a equação de Van Mullem (1989) citado por Rawls et al. (1996) para a estimativa de  $\Psi_f$  apresentaram os maiores valores de índice  $c$ , valores de  $E$  mais próximos de 1 e menores valores de EMP em relação às demais combinações em todos os solos estudados. A combinação C13 também apresentou os melhores resultados nos trabalhos de Cecílio (2002) e Mello (2003). No solo

LA1, além das combinações C13 e C14, a combinação C29 também apresentou os melhores valores de  $c$ ,  $E$  EMP comparando-se com as demais combinações (Tabela 1 e Figura 1).



**FIGURA 1.** Taxa de infiltração obtida experimentalmente e simulada pelo modelo de GA usando diferentes combinações de seus parâmetros de entrada (LA1).

A utilização da  $Tie$  em substituição à  $K_0$ , combinada com a equação de Risse et al. (1995) (C13), simulou melhor a taxa de infiltração estável, devido à obtenção de valores de  $\Psi_f$  muito baixos calculados pela equação de Risse et al. (1995), sendo assim, o gradiente devido ao potencial matricial torna-se muito pequeno e a infiltração da água no solo passa a ser regida pelo potencial gravitacional, tornando o gradiente unitário. Quando o gradiente torna-se unitário, a taxa de infiltração passa a ser igual a  $K_w$ . Tal situação também ocorreu com a combinação C14, que também utiliza a  $Tie$  como  $K_w$  e a equação de Van Mullem (1989) citado por Rawls et al. (1996), que calcula  $\Psi_f$  a partir de  $K_0$ , obtendo-se baixos valores desse parâmetro com o uso dessa equação. Observou-se que as combinações que utilizaram o parâmetro  $K_0$  (C1 a C6) não tiveram performances satisfatórias na simulação da taxa de infiltração em nenhum dos solos. Tal fato pode ser atribuído aos baixos valores de  $K_0$  obtidos em grande parte das camadas dos três solos estudados, caracterizando uma discrepância muito grande entre os valores de  $Tie$  e  $K_0$ , valores esses que deveriam ser próximos.

## CONCLUSÕES

O modelo de Green-Ampt foi sensível às diferenças das características físico-hídricas entre os solos estudados, sendo que a combinação da taxa de infiltração estável associada ao potencial matricial calculado com base na condutividade hidráulica do solo saturado e a combinação que utiliza a taxa de infiltração estável associada ao potencial matricial calculado a partir da textura e da porosidade do solo



conseguiram melhor representar o processo de infiltração da água no solo;

As propostas de adequações dos parâmetros de entrada do modelo de GA a partir de equações empíricas com a utilização de características do solo não apresentaram resultados satisfatórios na estimativa da infiltração acumulada em nenhum dos solos utilizados.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (EDITAL INDUZIDO PROCESSO Nº. 004.037/2007) pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

### REFERÊNCIAS

BRANDÃO, V.S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. **Infiltração da água no solo**. Viçosa: UFV, 2006. 120p.

CECÍLIO, R. A. **Aplicação da equação de Green-Ampt na modelagem da infiltração de água em Latossolo**

**Vermelho-Amarelo estratificado**. 2002. 119p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2002.

HACHUM, A. Y., ALFARO, J. F. **Rain infiltration into layered soils: prediction**. Journal of the Irrigation and Drainage Division, v.106, n.4, p.311-319, 1980.

LIMA, George Luis. **Estimativa da infiltração da água no solo utilizando o modelo de green-ampt 2010**. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2010.

MELLO, L. T. A. **Avaliação de metodologias para obtenção dos parâmetros do modelo de Green-Ampt modificado por Mein e Larson**. 2003. 77p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2003.

RAWLS, W. J., DAVID, G., VAN MULLEM, J. A., WARD, T. J. **Infiltration**. In: **ASCE. Hydrology Handbook**. 2.ed. New York. (ASCE Manuals and Report on Engineering Practice, 28), 1996. p.75-124.

RISSE, L. M.; NEARING, M. A.; ZHANG, X. C. **Variability in Green-Ampt effective conductivity under fallow conditions**. **Journal of Hydrology**, v.169, p.1-24, 1995.

**TABELA 1.** Índices estatísticos calculados para as estimativas da taxa de infiltração utilizando o modelo de GA (solo LA1).

Combinações	c(1)	E(2)	EMP(3)	Combinações	c(1)	E(2)	EMP(3)
C1	0,01	-10,88	97,87	C16			
C2				C17			
C3				C18			
C4				C19			
C5				C20			
C6	0,01	-49,82	373,74	C21			
C7				C22			
C8				C23			
C9				C24			
C10				C25			
C11				C26			
C12				C27			
C13	0,15	-1,46	15,47	C28			
C14	0,20	-0,98	12,68	C29	0,22	-1,97	26,76
C15				C30			

**Quadro 1.** Combinações entre proposições de adequação dos parâmetros de entrada do modelo de GA utilizadas para simular o processo de infiltração da água no solo.

Combinações	KW	$\Psi_f$
C1	K0	Eq (30) - Risse et al. (1995)
C2	K0	Eq. (31) – Van Mullem (1989)
C3	K0	Eq (32) - Ataíde (2005)
C4	K0	Eq (33) - Ataíde (2005)
C5	K0	Eq (34) - Ataíde (2005)
C6	K0	Eq (35) - Ataíde (2005)
C7	Eq (23) - Brakensiek et al. (1984)	Eq (30) - Risse et al. (1995)
C8	Eq (23) - Brakensiek et al. (1984)	Eq. (31) – Van Mullem (1989)
C9	Eq (23) - Brakensiek et al. (1984)	Eq (32) - Ataíde (2005)
C10	Eq (23) - Brakensiek et al. (1984)	Eq (33) - Ataíde (2005)
C11	Eq (23) - Brakensiek et al. (1984)	Eq (34) - Ataíde (2005)
C12	Eq (23) - Brakensiek et al. (1984)	Eq (35) - Ataíde (2005)
C13	Tie – Silva e Kato (1998)	Eq (30) - Risse et al. (1995)
C14	Tie – Silva e Kato (1998)	Eq. (31) – Van Mullem (1989)
C15	Tie – Silva e Kato (1998)	Eq (32) - Ataíde (2005)
C16	Tie – Silva e Kato (1998)	Eq (33) - Ataíde (2005)
C17	Tie – Silva e Kato (1998)	Eq (34) - Ataíde (2005)
C18	Tie – Silva e Kato (1998)	Eq (35) - Ataíde (2005)
C19	Eq (25 -27) - Kidwell et al. (1997)	Eq (30) - Risse et al. (1995)
C20	Eq (25 -27) - Kidwell et al. (1997)	Eq. (31) – Van Mullem (1989)
C21	Eq (25 -27) - Kidwell et al. (1997)	Eq (32) - Ataíde (2005)
C22	Eq (25 -27) - Kidwell et al. (1997)	Eq (33) - Ataíde (2005)
C23	Eq (25 -27) - Kidwell et al. (1997)	Eq (34) - Ataíde (2005)
C24	Eq (25 -27) - Kidwell et al. (1997)	Eq (35) - Ataíde (2005)
C25	Eq (24) - Saxton et al. (1986)	Eq (30) - Risse et al. (1995)
C26	Eq (24) - Saxton et al. (1986)	Eq. (31) – Van Mullem (1989)
C27	Eq (24) - Saxton et al. (1986)	Eq (32) - Ataíde (2005)
C28	Eq (24) - Saxton et al. (1986)	Eq (33) - Ataíde (2005)
C29	Eq (24) - Saxton et al. (1986)	Eq (34) - Ataíde (2005)
C30	Eq (24) - Saxton et al. (1986)	Eq (35) - Ataíde (2005)