

3.07.01 – Engenharia Sanitária / Recursos Hídricos.

AVALIAÇÃO DE MODELOS EMPÍRICOS DE TAXA DE INFILTRAÇÃO

Nelson O.M. Vieira^{1*}, Tiago S. Mattos¹, Glauber A. Carvalho¹, Pedro A.P. Zamboni², Jullian S. Sone³, Teodorico A. Sobrinho⁴

1. Doutorando do Programa de Pós Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (PPGTA-UFMS)
2. Mestre pelo Programa de Pós Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (PPGTA-UFMS)
3. Doutorando do Programa de Pós Graduação em Hidráulica e Saneamento da Universidade de São Paulo (EESC-USP)
4. Professor do PPGTA-UFMS–Laboratório HEros/Orientador

Resumo

Considerando a importância do conhecimento das taxas de infiltração no solo, fundamentais nos estudos de conservação do solo, nos projetos de irrigação e drenagem, objetivamos, neste trabalho, comparar modelos empíricos de estimativa das taxas de infiltração de água no solo. Os modelos foram ajustados por regressão não linear aos dados de testes de campo realizados com simulador de chuva. Os modelos avaliados foram os de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip, os quais estão entre os mais utilizados. A avaliação dos ajustes foi realizada através dos índices estatísticos: coeficiente de massa residual (CMR), coeficiente de ajuste (CA) e eficiência (EF). Foi possível concluir que os modelos Horton e Philip tiveram os melhores ajustes e são mais indicados para modelagem. O modelo Kostiakov-Lewis não é indicado para uso, uma vez que apresentou o pior desempenho. A cobertura vegetal não alterou a avaliação dos modelos.

Palavras-chave: Equações de taxa de infiltração, infiltrômetro de aspersão, taxa de nitrogênio.

Apoio financeiro: CNPQ, CAPES.

Introdução

O conhecimento sobre as taxas de infiltração de água no solo são fundamentais em diversos campos da ciência, sendo indispensáveis, por exemplo, para a definição de técnicas de conservação do solo, planejamento e projeto de sistemas de irrigação e drenagem, assim como na composição de uma visão mais realista da retenção e aeração de água no solo (Paixão et al., 2009; Wang et al., 2014).

Segundo Bertol et al. (2001), práticas diferenciadas de manejo do solo e de cultivos levam a alterações nas propriedades físicas do solo, ocasionando com o tempo, por exemplo, na redução do volume de macroporos e aumento no volume de microporos e na densidade do solo. Como consequência, verifica-se a redução da taxa de infiltração de água no solo, resultando em aumento do escoamento superficial (Panachuki et al., 2006).

A infiltração de água no solo pode ser mensurada em campo ou estimada por modelos matemáticos, os quais podem ser empíricos ou teóricos. Os modelos empíricos apresetam a vantagem de relacionar parâmetros do modelo às características do solo, sem exigir que tenham significado físico, e englobam fatores que são difíceis de serem considerados em modelos teóricos (Mirzaee et al., 2014).

Diversos modelos matemáticos foram desenvolvidos de forma a descrever o processo de infiltração de água no solo, dentre os quais pode-se citar os modelos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton, Philip, Green & Ampt, entre outros (Santos et al., 2016). Após avaliar a aplicação dos modelos de Kostiakov, Horton, Kostiakov modificado e Kostiakov modificado revisado (KMR) em solos com diferentes classes texturais, foi observado que o modelo KMR apresentou melhor performance (Mirzaee et al., 2014). Já Santos et al. (2016), após aplicar os modelos de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip, observaram que o modelo de Horton foi o mais adequado para representar o comportamento das taxas de infiltração de água no solo.

Assim, o objetivo deste estudo é comparar modelos empíricos de estimativa das taxas de infiltração de água no solo utilizando dados obtidos em campo, usando um simulador de chuvas em superfícies com cobertura e sem cobertura.

Metodologia

O estudo foi realizado na Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS. De um total de 10 testes com o simulador de chuva portátil, 6 foram realizados com cobertura vegetal (CC) e os outros 4 sem a cobertura vegetal (SC), figura 1. O pasto cultivado era o Panicum (capim-mombaça ou megathyrus maximus) sob pastejo rotacionado com taxa de lotação de 100 Kg de nitrogênio por hectare. O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo tropical chuvoso de savana, subtipo Aw.

A remoção da vegetação foi feita logo acima da raiz, evitando, desta forma, causar alteração nas condições superficiais do solo. As raízes foram mantidas. O objetivo da remoção é avaliar comparativamente a influencia da cobertura vegetal nos ajustes de modelos de infiltração.



Figura 1 – Teste com e sem cobertura vegetal.

O simulador de chuva utilizado é denominado infiltrômetro de aspersão InfiAsper, e opera com dois bicos Veejet 80.150 paralelos que, posicionados a 2,30 m em relação ao nível do solo e pressão de serviço de 35,6 kPa, produz gotas com diâmetro volumétrico médio de 2,0 mm. A parcela teste que recebe a precipitação do simulador é delimitada por chapas de aço galvanizado com área útil de 0,70 m².

A metodologia consistiu em aplicar uma precipitação sobre a parcela teste e fazer determinações do escoamento superficial em intervalos de tempo determinados. O tempo de coleta para cada amostra de escoamento superficial foi de 1 minuto, realizada em intervalos de 2 minutos, após a constatação do início do escoamento. A cada 6 minutos os volumes coletados eram separados em recipientes, para a determinação da massa de solo e da concentração de sedimento. O teste termina quando constatada a estabilização do fluxo superficial em pelo menos quatro coletas consecutivas ou quando alcança os 60 minutos de teste.

Serão avaliados os modelos empíricos propostos por Kostiakov-Lewis e Horton. Também será avaliado modelo analítico de Philip, conhecido como modelo que considera a infiltração como um processo de sorção com influencia da gravidade (Assouline, 2013):

Kostiakov-Lewis

$$i = i_f + \alpha k t^{\alpha-1}$$

Horton

$$i = i_f + (i_o - i_f) e^{-\beta t}$$

Philip

$$i = b + \frac{1}{2} k t^{-0,5}$$

onde: i é a taxa de infiltração instantânea estimada (mm.h⁻¹); i_o é a taxa de infiltração inicial observada (mm.h⁻¹); i_f é a taxa de infiltração final (mm.h⁻¹); α , β , k , b e k são parâmetros dos modelos estimados por regressão não linear. Os valores das taxas de infiltração iniciais (i_o) correspondem à média dos valores dos primeiros minutos de ensaio. Os valores de taxas de infiltração finais (i_f) correspondem a média das quatro últimas determinações nos testes.

A análise da qualidade do ajuste das equações foi realizada através dos índices estatísticos muito utilizados por diversos autores, tais como Alves Sobrinho et al., 2003. Os índices correspondem ao coeficiente de massa residual (CRM), coeficiente de ajuste (CA) e eficiência (EF):

$$CRM = \frac{\sum_{I=1}^n O_i - \sum_{I=1}^n P_i}{\sum_{I=1}^n O_i}$$

$$CA = \frac{\sum_{I=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{I=1}^n (P_i - \bar{O})^2}$$

$$EF = \frac{\sum_{I=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{I=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{I=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

onde: O_i - dados observados; P_i - dados estimados pelos respectivos modelos; n - o número de observações, e \bar{O} - média aritmética das observações.

Resultados e Discussão

As equações resultantes das regressões não lineares, e os respectivos valores dos coeficientes de avaliação da qualidade dos ajustes das equações estão apresentados na tabela 1. Para análise visual dos ajustes dos modelos em estudo estão apresentadas as diversas curvas dos modelos juntamente com a média dos resultados de campo, figura 2.

Tabela 1 – Equações resultantes da regressão linear e correspondentes coeficientes de ajuste.

Teste	i_0 (mm/h)	i_f (mm/h)	Kostiakov-Lewis	Horton	Philip
100CC	80,6	72,2	$i = 72,2 + 0,58 t^{-0,68}$	$i = 72,2 + (8,4)e^{-6,66t}$	$i = 70,4 + 1,5t^{-0,5}$
	CMR		-0,003	-0,002	0
	CA		1,67	1,42	1,23
	EF		0,73	0,90	0,81
100SC	78,7	37,5	$i = 37,5 + 1,92 t^{-0,78}$	$i = 37,5 + (41,2)e^{-8,25t}$	$i = 27,7 + 7,5t^{-0,5}$
	CMR		-0,031	-0,008	0
	CA		1,45	1,41	1,10
	EF		0,81	0,95	0,91

Valores negativos de CMR indicam que o modelo superestimou a taxa de infiltração, enquanto que os positivos indicam que o mesmo subestimou a taxa. Quanto mais o índice CMR se aproxima de zero, melhor será o ajuste da equação de taxa de infiltração. Os valores negativos do coeficiente para os modelos de Kostiakov-Lewis e Horton, indicam que estes modelos superestimaram os valores de taxa de infiltração. Pela ordem, o modelo com melhor ajuste foi o de Philip, seguido pelo de Horton e por último o de Kostiakov-Lewis. Os resultados do coeficiente CMR são equivalentes para os testes com e sem cobertura vegetal.

Os coeficientes de eficiência (EF) e de ajuste (CA) definem melhores ajustes dos modelos para valores mais próximos de um. Considerando o coeficiente de ajuste, os resultados foram semelhantes aos do coeficiente CMR, com o modelo Philip sendo o que melhor se ajustou, seguido pelo de Horton e por último o de Kostiakov-Lewis. Quanto ao coeficiente (EF), os resultados indicaram, para testes com e sem cobertura, o modelo de Horton como sendo o de melhor ajuste, seguido pelo modelo de Philip e por último o de Kostiakov-Lewis.

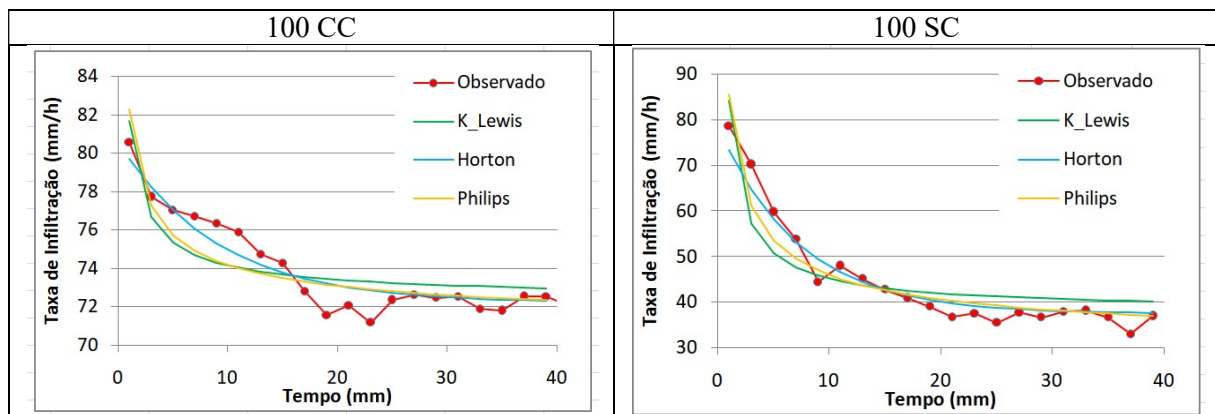


Figura 2 – Curvas comparativas entre os modelos e os resultados médios dos testes.

Os gráficos de taxa de infiltração pelo tempo demonstram que as curvas propostas pelos modelos se aproximam dos valores médios dos testes realizados. Visualmente, o modelo de Horton se aproximou mais dos resultados obtidos em campo que os demais modelos, corroborando com Santos et al. (2016). O modelo Kostiakov-Lewis apresentou o pior ajuste nos três coeficientes utilizados. As curvas observadas nos gráficos também confirmaram que o modelo Kostiakov-Lewis foi o que mais se distanciou dos resultados médios obtidos nos testes.

Conclusões

Concluímos que os modelos de Philip e Horton são os que melhor se ajustam aos dados estudados, com o de Horton apresentando melhor ajuste no gráfico. Além disso, observou-se que o modelo Kostiakov-Lewis apresentou o pior desempenho, portanto é o menos indicado.

O fator cobertura não alterou significativamente o comportamento do modelo, de forma que os mesmos modelos indicados para a condição com cobertura podem ser utilizados para a condição de ausência da cobertura.

Referências bibliográficas

ASSOLINE, S. Infiltration into soils: Conceptual approaches and solutions. **Water Resources Research**, v. 49, p. 1-18, 2013.

ALVES SOBRINHO, T. et al. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 191-196, 2003.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, v. 58, p. 555-560, 2001.

MIRZAEI, S. et al. Evaluation of infiltration models with different numbers of fitting parameters in different soil texture classes. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 60, n. 5, p. 681-693, 2014/05/04 2014.

PAIXÃO, F. J. R. et al. Ajuste da curva de infiltração por meio de diferentes modelos empíricos. **Pesquisa aplicada & Agrotecnologia**, v. 2, n. 1, p. 5, 2009.

PANACHUKI, E. et al. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, p. 9, 2006.

SANTOS, T. E. M.; SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A. Modeling of soil water infiltration with rainfall simulator in different agricultural systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 513-518, 2016.

WANG, C.; MAO, X.; HATANO, R. Modeling Pondered Infiltration in Fine Textured Soils with Coarse Interlayer. **Soil Science Society of America Journal**, v. 78, n. 3, p. 745-753, 2014.