

# **AJUSTE DA CURVA DE INFILTRAÇÃO POR MEIO DE REGRESSÕES NÃO LINEARES**

FRANCISCO J. R. DA PAIXÃO<sup>1</sup>, ANTONIO R. S. ANDRADE <sup>2</sup>, CARLOS A. V. DE AZEVEDO<sup>3</sup>, VERA A. LIMA<sup>3</sup>; VANDA M. LIRA<sup>1</sup>; EULER S. FRANCO<sup>1</sup>; JOSE DANTAS NETO<sup>3</sup>.

1-MSc. Doutorando em Eng. Agrícola. DEAg/CCT/UFCG, Campina Grande–PB, e-mail: [jardel.paixao@gmail.com](mailto:jardel.paixao@gmail.com); 2-Meteorologista, Prof. Dr. UAG/UFRPE, Garanhuns – PE. E-mail: [arsa@fca.unesp.br](mailto:arsa@fca.unesp.br); 3-Eng. Agric. Prof<sup>a</sup>. Dra. DEAg/CCT/UFCG, Campina Grande – PB, Br; 4-Est. de Eng. Agr. Universidade Federal do Semi-árido (UFERSA) Mossoró, RN, Br;

Escrito para apresentação no  
XVII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem - CONIRD  
07 a 12 de outubro de 2007 – Mossoró - RN

## **RESUMO**

Este estudo objetivou estimar a infiltração de água no solo por meio de ajustes de funções não lineares e comparar os resultados com os dados obtidos em campo através do infiltrômetro de anel. O experimento foi conduzido em solo de textura arenosa da área experimental da Empresa Estadual de Pesquisas Agropecuárias – EMEPA, localizada no município de Lagoa Seca, PB. Foram realizados ao longo da área experimental um total de 65 testes de infiltração por meio do infiltrômetro de anel. Os modelos de funções de regressões não lineares (exponencial e potencial) foram ajustados aos dados obtidos em campo. O procedimento utilizando regressões não lineares proporcionou estimativas melhores que os modelos empíricos, tendo os ajustes da função potencial e da função exponencial apresentando valores para  $R^2$ , respectivamente, iguais a 0,997 e 0,971. Os prognósticos dos modelos de regressões não lineares foram praticamente similares. O procedimento das regressões não lineares apresenta vantagens de natureza metodológica, bem como uma redução substancial de tempo e custo para se obter a taxa de infiltração de água no solo.

**Palavras-chave:** movimento de água no solo, infiltrômetro, regressão não linear.

## **ADJUSTMENT OF THE INFILTRATION CURVE USING NON LINEAR REGRESSIONS**

## **ABSTRACT**

The objective of this study it was to estimate the water infiltration in the soil through fittings of non-linear functions and empiric and to compare the results with field data obtained using the ring infiltrometer. The experiment was carried out in a sandy soil in the experimental area at the Agricultural Research State Enterprise, in the Lagoa Seca, Paraíba, Brazil. It was realized 65 ring infiltrometer infiltration tests along the experimental area. The models of the non-linear regressions functions (exponential and potential), were adjusted according to data obtained in the field. The procedure using non-linear regressions showed better estimates than the empiric models, and the potential and exponential functions presented values for  $R^2$  equal to 0.997 and 0.971, respectively. The prognostics of the non linear models were almost the same. The procedure of the non-linear regressions presents methodological advantages, as well as a substantial reduction of time and cost to reach the water infiltration ratio in the soil.

**Key words:** soil water movement, infiltrometer, non-linear regression.

## INTRODUÇÃO

A infiltração da água no solo é um processo dinâmico de penetração vertical através da superfície do solo. O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, planejar e dimensionar sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo. O conhecimento desta variável é imprescindível para a elaboração de um projeto de irrigação com objetivo de obter maior rendimento das culturas. A determinação da infiltração tem sido amplamente estudada e ainda não existe um parecer geral sobre qual é o melhor método para sua determinação.

Uma vez que a taxa de infiltração é afetada pelo conteúdo inicial de umidade, condições da superfície do solo, condutividade hidráulica saturada, distribuição de tamanho e volume de poros, presença de horizontes estratificados, distância entre a fonte de suprimento de água e a frente de umedecimento, textura e tipo de argila. Os resultados obtidos são ainda grandemente dependentes do método utilizado para sua determinação, apresentando todos eles problemas se utilizados para múltiplos fins (PRUSKI et al, 1997).

O presente estudo tem como objetivo estudar e avaliar modelos de previsão da taxa de infiltração, por meio dos modelos empíricos e dos modelos baseado na regressão não linear e comparar o desempenho dos modelos propostos com os valores medidos, em condições de campo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Existem modelos de estrutura não aleatória, desenvolvidos a partir de equações de escoamento em uma ou mais dimensões, como os de GREEN & AMPT (1911), EDWARDS & LARSON, (1969) e BLAUMHARDT et al, (1990), embora apresentem maior precisão na estimativa da taxa de infiltração, precisam de inúmeros parâmetros dinâmicos na sua aplicação, razão pela qual é possível usar modelos de regressão não para estimativas da taxa de infiltração, do tipo: Potencial (PT);

$$V = at^b, \quad (1)$$

Exponencial (EXP1);

$$V = a + b \exp(-kt), \quad (2)$$

Exponencial (EXP2),

$$V = Y_0 + b \exp\left(-\frac{k}{t}\right), \quad (3)$$

sendo:  $V(\text{cm.h}^{-1})$  é a taxa de infiltração num tempo  $t(\text{h})$  e  $Y_0$ ,  $a$ ,  $b$ , e  $k$  são coeficientes de ajustes, obtidos por meio de regressão não linear, pela técnica dos quadrados mínimos, conforme BUSSAB & MORETTIN, (2004).

O método de campo utilizado na determinação da taxa de infiltração foi o infiltrômetro de anel. O experimento foi conduzido na área experimental da Empresa Estadual de Pesquisas Agropecuárias – EMEPA, localizada no município de Lagoa Seca, Estado da Paraíba. Apresentando as coordenadas geográficas, 07°13' S; 35°52' W e altitude média de 335m.

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw'i. A área experimental escolhida para o estudo sob irrigação foi dividida em 4 subunidades. No centro de cada uma destas

subunidades foram traçadas linhas imaginárias sobre a qual se demarcaram pontos de amostragem equidistantes, totalizando um número de 65 locais. Em cada um desses pontos foram efetuados testes de infiltração com duração de 160 minutos. Foram determinadas pelo o método gravimétrico-padrão, as umidades volumétricas de amostras coletadas antes e após o teste de infiltração. Em cada ponto de medição foi também efetuada uma análise granulométrica, e determinada a porcentagem da fração de argila + silte.

A infiltração da água no solo foi determinada “in situ” através do método do infiltrômetro de anel empiricamente por meio de ajustes de funções não lineares. O critério adotado neste trabalho para condição de taxa de infiltração constante foi quando o valor de leitura da carga de água no cilindro interno se repete pelo menos três vezes. Para avaliar o desempenho entre os valores da infiltração obtidos em campo e os valores calculados através das regressões não lineares para os 65 testes de infiltração, foram feitas análise comparativa dos resultados através do método gráfico (MONTGOMERY & RUNGER, 2003) e estatisticamente através do coeficiente determinação ( $R^2$ ) (BUSSAB & MORETTIN, 2004).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo da área em estudo apresenta a camada superficial bastante arenosa, seguida da última camada com um acréscimo progressivo do teor de argila, sendo que a composição granulométrica do solo está descrita na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização granulométrica do solo nas profundidades estudadas e nos pontos de coletas, Campina Grande, PB, 2006<sup>(1)</sup>

Campina Grande, PB, 2008				
Profundidades (cm)	Areia		Silte	Argila
	AF <sup>(2)</sup>	AMF <sup>(3)</sup>		
	(%)			
0-20	22,962	54,562	12,736	9,739
20-40	24,105	51,102	15,092	9,800
40-60	21,227	53,981	15,887	8,903

<sup>(1)</sup> Análise realizada no Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG, <sup>(2)</sup> Areia fina; <sup>(3)</sup> Areia muito fina

Analisando a Figura 1a, pode-se observar que no início do processo a velocidade de infiltração foi relativamente rápida ( $39,61 \text{ cm h}^{-1}$ ), e decresce até um valor aproximadamente constante, denominado de velocidade de infiltração básica, estabilizando-se no tempo de aproximadamente de 160 min ( $0,70 \text{ cm h}^{-1}$ ).

Na Figura 1(a) pode-se confirmar o comportamento da velocidade de infiltração do solo em relação ao tempo de infiltração, indicando que no início do teste a taxa de infiltração é alta e à medida que o tempo aumenta a infiltração diminui, até atingir um valor quase constante, denominada de velocidade de infiltração básica. Define-se comumente a infiltração básica de um solo como sendo a que corresponde ao instante em que a declividade (assintótica horizontal) da curva equivale a  $-0,01 \text{ cm h}^{-1}$  (PREVEDELO, 1996).

O alto coeficiente de determinação, de valor 0,990 indica que o melhor modelo para o cálculo da velocidade de infiltração de toda área em estudo é dada pelo modelo exponencial (EXP1), seguido pelo modelo exponencial (EXP2) com  $R^2 = 0,989$  (Tabela 2). No geral, os coeficientes de determinação entre os valores médios de velocidade de infiltração obtidos em campo (experimentais) e os valores médios calculados pelos modelos foram superiores a 0,950, indicando boa adequabilidade na previsão da taxa de infiltração da água do solo. Nota-se uma concordância de resultados dos coeficientes de determinação entre os modelos propostos, para o solo é decorrente, provavelmente, da grande homogeneidade das características físicas do solo, textura e estrutura do solo.

Os modelos EXP1 e EXP2 apresentaram igualdades entre os coeficientes de determinação sendo decorrente da metodologia semelhante na obtenção dos parâmetros em suas equações. Observando-se os parâmetros dos ajustes dos modelos propostos (Tabela 2) nota-se as diferenças entre os valores médios da taxa de infiltração obtidos em campo e os calculados pelos modelos (Figura 1c).

Tabela 2: Valores dos parâmetros e coeficientes de determinação regressões não lineares (médias dos 65 teste realizados em campo), Campina Grande-PB, 2005

Modelos	Parâmetros				
	A	B	k	Y <sub>0</sub>	R <sup>2</sup>
Potencial (PT)	2,71	1,21	-----	-----	0,957
Exponencial (EXP1)	2,02	321,3	12,879	-----	0,990
Exponencial (EXP2)	-----	200,63	0,102	0	0,989

Objetivando a confirmação deste resultado, foi construída a Figura 1c, que mostra os valores médios da velocidade de infiltração calculados pelos modelos versos os valores médios da velocidade observada em campo. Por essa figura, pode-se observar o melhor desempenho do modelo PT, quando comparado com os demais, pela melhor aderência dos pontos à reta ideal. Quando se compara os dois modelos EXP1 e EXP2 entre si, verifica-se desempenhos semelhantes no cálculo da taxa de infiltração, como se pode observar na Figura 1c.

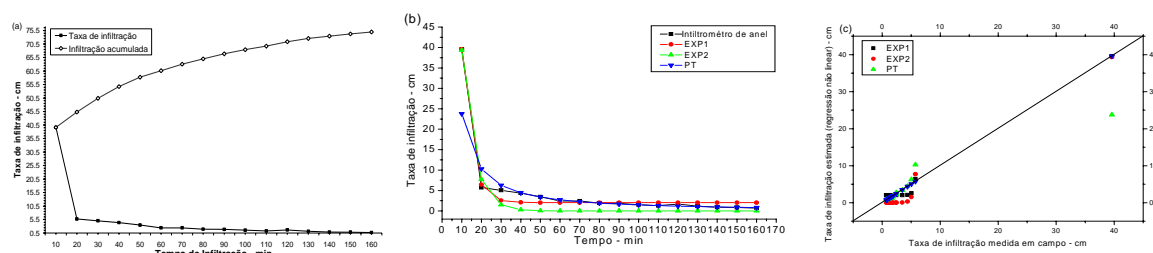


Figura 1. (a) Valores médio da velocidade infiltração e infiltração acumulada medidas em campo, (b) valores de velocidade de infiltração obtidos em campo e pela regressão não linear e (c) valores médios das taxas de infiltração medidas e calculadas pelos modelos de regressão não lineares, Campina Grande-PB, 2005

O modelo PT tende a subestimar valores baixos no início da infiltração (Figura 1c). Porém, os valores médios das taxas de infiltração calculadas pelo ajuste da função PT apresentam boa aderência ao longo de toda reta. O contrário ocorre com os modelos de EXP1 e EXP2, que nos primeiros instantes da infiltração tendem sempre a superestimar e subestimar valores médios de infiltração. O método gráfico de comparação do desempenho representado pela Figura 1c, é mais informativo que o coeficiente de determinação (BUSSAB & MORETTIN, 2004). Por esse método, constata-se que o melhor modelo para cálculo da taxa de infiltração de água do solo para toda área em estudo é dado por meio de ajuste da função potencial (PT).

## CONCLUSÕES

Dentre os três modelos estudados modelo de regressão potencial foi o que apresentou em média, os melhores valores para estimativa da taxa de infiltração e os modelos EXP1 e EXP2 forneceram resultados estatisticamente equivalentes evidenciados pelas semelhanças dos valores do coeficiente de determinação.

## REFERÊNCIAS

- BLAUMHARDT, R.L.; ROMKENS, M.J.M.; WHISLER, F.D. Modeling infiltration into a sealing soil. **Water Resour. Res.**, Washington, v.10, n.10, p.2497-2505, 1990.
- BUSSAB, W. de O. & MORETTIN, P.A. **Estatística Básica**. Editora Saraiva, 2004, 525 p.
- EDWARDS, W.M.; LARSON, W.E. Infiltration of water into soils as influenced surface seal development. **Transactions of ASAE**, v. 12, n.4, p.463-5, 1969.
- GREEN W.H. & AMPT, G. Studies of soil physics. Part I. The flow of water and air though soils. **J. Agric. Sci.**, London, v.4, 1-24, 1911.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba – ESALQ/ESALQ. 1995, 497 p.
- MONTGOMERY, D.C. & RUNGER, G. C. **Estatística aplicação e probabilidade para engenheiros**. 2ed., Editora LTC, 2003, 465p.
- PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. 1º. ed. Curitiba: C.L, 1996. 446p.
- PRUSKI, F.F.; et al. **Infiltração de água no solo** [S.l.:s.n], 1997. 26p. (Caderno didático, 25).
- REICHARDT, K & TIMM, L. C. **SOLO PLANTA E ATMOSFERA, Conceitos, processos e aplicações**. Manole editora Piracicaba- São Paulo, 2004, 471p.