

MODELOS DE HORTON E KOSTIAKOV PARA ESTIMATIVA DA INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM LATOSSOLO

MARIANA MENDES SILVA¹, MATHEUS MENDES REIS², ANTÔNIO FABIO SILVA SANTOS³, MARCOS RIBEIRO DE ALCÂNTARA⁴, MARCO AUGUSTO OLIVEIRA MOTA⁵, ISADORA PEREIRA GOMES⁶

¹Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, IFNMG, Campus Januária, Januária - MG, mms27@aluno.ifnmg.edu.

²Eng. Agrícola e Ambiental, Professor EBTT Doutor, IFNMG, Campus Januária, Januária - MG.

³Eng. Agrônomo, Professor EBTT Mestre, IFNMG, Campus Januária, Januária - MG.

⁴Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, IFNMG, Campus Januária, Januária - MG.

⁵Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, IFNMG, Campus Januária, Januária - MG.

⁶Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, IFNMG, Campus Januária, Januária - MG.

Apresentado no
LIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2024
6 a 8 de agosto de 2024 – Natal – RN, Brasil

RESUMO: Para determinar a equação e curva de infiltração de água em um latossolo localizado no IFNMG, Campus Januária, foi realizado ensaio de infiltrômetro de anel duplo com carga hidráulica variável. Com os dados obtidos no ensaio, a curva e equação de infiltração acumulada, a curva de velocidade de infiltração real do solo e as equações empíricas de Kostiakov e Horton foram determinadas. Em seguida, o erro médio quadrático relativo (RRMSE), o coeficiente de correlação de Pearson (r), o coeficiente de determinação (R^2) e o coeficiente Nash-Sutcliffe (NS) foram utilizados para avaliar o desempenho dos modelos de Kostiakov e Horton. O valor da velocidade de infiltração básica (VIB) calculada pelo ensaio de infiltrômetro de anel duplo foi de $44,5 \text{ mm.h}^{-1}$, e pelos métodos de Horton e Kostiakov foram de $63,26$ e $41,72 \text{ mm.h}^{-1}$, respectivamente. Os resultados deste trabalho permitiram obter a equação ajustada para os dados de Infiltração Acumulada ($I = 9,7622.T^{0,6013}$) como uma alternativa para determinação do comportamento da infiltração de água no solo e constatar que o modelo de Horton foi o mais preciso na determinação do comportamento da taxa de infiltração de água no solo, quando comparado com os valores de velocidade de infiltração reais.

PALAVRAS-CHAVE: Taxas de infiltração, modelagem de infiltração, ensaios de infiltração.

HORTON AND KOSTIAKOV MODELS FOR ESTIMATING WATER INFILTRATION IN OXISOL SOIL

ABSTRACT: The Basic Infiltration Rate (VIB) is essential for determining soil conservation techniques, planning irrigation and drainage systems, and assessing water retention in the soil. To determine the equation and water infiltration curve in a Latosol located at IFNMG, Campus Januária, a double-ring infiltrometer test with variable hydraulic head was conducted. With the data obtained from the test, the curve and equation of cumulative infiltration, the curve of real soil infiltration velocity, and the empirical equations of Kostiakov and Horton were determined. Subsequently, the Relative Root Mean Square Error (RRMSE), Pearson correlation coefficient (r), coefficient of determination (R^2), and Nash-Sutcliffe coefficient (NS) were used to evaluate the performance of the Kostiakov and Horton models. The value of the Basic Infiltration Rate (VIB) calculated by the double-ring infiltrometer test was 44.5 mm h^{-1} , and by the Horton and Kostiakov methods were 63.26 and 41.72 mm h^{-1} , respectively. The results of this work allowed obtaining the adjusted equation for the Cumulative Infiltration data ($I = 9.7622.T^{0.6013}$) as an

alternative for determining the behavior of water infiltration in the soil and confirming that the Horton model was the most accurate in determining the behavior of the soil water infiltration rate when compared to the actual infiltration velocity values.

KEYWORDS: Infiltration rates, infiltration modeling, infiltration test.

INTRODUÇÃO: A infiltração de água no solo é avaliada por meio de infiltrômetros durante ensaios de campo. O infiltrômetro de anéis concêntricos é comumente utilizado para determinar a velocidade de infiltração básica (VIB) e infiltração acumulada de água no solo. O entendimento do fluxo de água no solo é crucial para os modelos hidrológicos de bacias, especialmente para simulações de longos (FELIZARDO et al., 2020). A velocidade de infiltração básica (VIB) é um dado imprescindível para definir técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem, determinar a retenção da água no solo (DOS SANTOS, 2013). Os modelos de infiltração são empregados na descrição e avaliação do processo de infiltração com base em dados coletados e foram desenvolvidos com diferentes propósitos, considerando diferentes condições de campo e contorno. Apesar de, geralmente, serem de fácil aplicação, escolher o modelo mais adequado para estimar com precisão a taxa de infiltração uma situação específica é um desafio, devido à ampla variedade de modelos disponíveis, com diferentes origens, premissas e parâmetros (FAILACHE; ZUQUETTE, 2021). O objetivo deste trabalho foi avaliar a infiltração de água no solo a partir de dados reais obtidos por meio de ensaio com infiltrômetro de anéis concêntricos e comparar os modelos de Horton e Kostiakov para determinação velocidade de infiltração de água no solo.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi realizado no Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - IFNMG - Campus Januária (15°26'46,82"S; 44°22'17.54"O; e 482 m). Conforme a classificação de Koppen, o clima da região é o Aw, tropical úmido com inverno seco e verão chuvoso. O solo da área de estudo é originalmente classificado como Latossolo, não tinha histórico de uso agrícola e apresentava uma fina camada de material orgânico composta principalmente por folhas de árvores. O método do infiltrômetro de anel duplo foi utilizado para o ensaio de infiltração de água no solo, com base na manutenção de uma coluna de água dentro do anel interno com altura variando entre 5 e 3 cm, conforme descrito por Bernardo, Soares e Mantovani (2006) e Tucci (2004). Foi feita a limpeza da superfície da área da pesquisa com utilização de enxada e, posteriormente, os cilindros medindo 50 e 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura foram cravados concentricamente no solo em profundidade próxima de 15 cm. A Infiltração Acumulada (IA) e a Velocidade de Infiltração Real (VIR) (Equação 1) por intervalo de tempo foram calculadas com base nos dados coletados no ensaio. As equações que descrevem o fenômeno investigado foram ajustadas com base nos modelos propostos por Horton (Equação 2) e Kostiakov (Equação 3) (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

$$VIR = \frac{\text{Lâmina de água infiltrada (mm)}}{\text{Intervalo de tempo para infiltração da lâmina de água (horas)}} \quad (1)$$

$$f = fc + (f_0 - fc) \cdot e^{-k \cdot t} \quad (2)$$

em que, f é a taxa de infiltração em qualquer instante (mm h^{-1}); fc é a taxa de infiltração final (mm h^{-1}); f_0 é a taxa de infiltração inicial (mm h^{-1}); k é a constante de decaimento da infiltração e t é o tempo de infiltração considerado (horas).

$$I = k \cdot t^a \quad (3)$$

Em que, I é a infiltração acumulada (cm); k e a são constantes relacionadas ao solo e t é o tempo de infiltração (min). A velocidade de infiltração (VI) estimada pelo modelo de Kostiakov (Equação 4) foi obtida por meio da derivação da Equação 3 em função do tempo.

$$VI = a \cdot k \cdot t^{a-1} \quad (4)$$

O erro médio quadrático relativo (RRMSE), o coeficiente de correlação de Pearson (r), o coeficiente de determinação (R^2) e o coeficiente Nash-Sutcliffe (NS) foram utilizados para avaliar o desempenho dos modelos de Kostiakov e Horton, quando comparados com VIR. RRMSE e RMSE são adimensionais e apresentam o ajuste perfeito com resultado igual a 0. Os coeficientes NS, r e R^2 são adimensionais e apresentam o ajuste perfeito com resultado igual a 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os resultados de Taxa de Infiltração Real e Infiltração Acumulada ao longo do tempo de ensaio foram apresentados na Figura 1. O acúmulo total de água atingiu 240 mm ao longo de 206 min e a velocidade de infiltração básica (VIB) foi de 44,5 mm.h⁻¹.

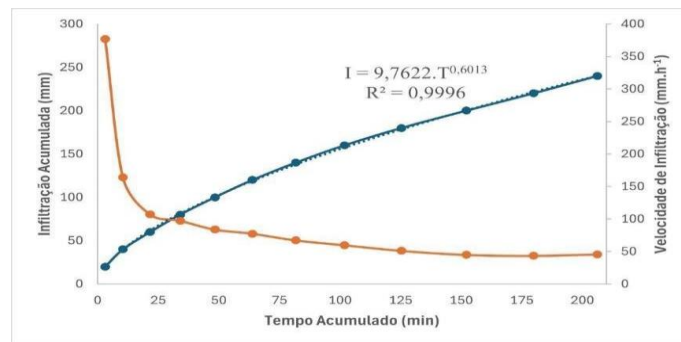


FIGURA 1. Infiltração Acumulada e Velocidade de Infiltração de água no solo ao longo do tempo de ensaio.

A equação ajustada para os dados de Infiltração Acumulada apresentou $R^2 = 0,9996$, o que possibilita o uso dessa equação como alternativa para prever com precisão o comportamento da infiltração de água no solo. Trabalhos semelhantes também observaram valores de R^2 maiores que 0,95 (SILVA et al., 2019; NUNES et al., 2012; FLORENTINO et al., 2023), o que indica que esse método é um preditor preciso do comportamento da infiltração de água acumulada no solo. Os parâmetros dos modelos de Horton e Kostiakov foram estimados por meio dos dados de Taxa de Infiltração Real. A equação gerada pelos modelos de Horton e Kostiakov foram $VI = 63,26 + (536,12 - 63,26) \cdot e^{-0,13 \cdot T}$ e $VI = 0,591 \cdot T^{0,401}$, respectivamente (Figura 2). Com base nestes modelos, a Velocidade de Infiltração Básica (VIB) foi de 63,26 e 41,72 mm.h⁻¹, respectivamente. A VIB é um parâmetro importante do solo que correspondem à taxa de infiltração de água no solo estável (BRITO et al., 1996). Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006), essa VIB é classificada como muito alta, pois o valor observado foi superior a 30 mm.h⁻¹.

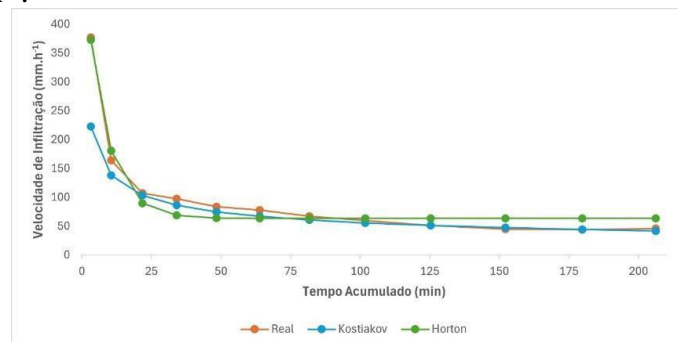


FIGURA 2. Velocidades de infiltração reais (VIR) e estimadas pelos modelos de Horton e Kostiakov.

A Tabela 1 apresenta os resultados observados para os coeficientes de correlação de Pearson (r), de determinação (R^2) e de Nash-Sutcliffe (NS), a raiz quadrada do erro médio (RMSE) e

erro médio quadrático relativo (RRMSE) utilizados para comparação dos modelos de Horton e Kostiakov com VIR.

TABELA 1. Comparação dos modelos de Horton e Kostiakov com as velocidades de infiltração reais.

Modelos	r	R ²	NS	RMSE	RRMSE
Kostiakov	0,981	0,963	0,740	45,563	0,449
Horton	0,983	0,966	0,965	16,435	0,162

O modelo de Horton (com NS de 0,965, RMSE de 16,435 e RRMSE de 0,162) apresentou maior precisão e acurácia quando comparado com os valores de velocidade de infiltração reais. O modelo de Horton apresentou valores de r e R² próximos de 1, assim como observado no método de Kostiakov (Tabela 1).

CONCLUSÕES: Os resultados deste trabalho permitiram obter as seguintes conclusões: A equação ajustada para os dados de Infiltração Acumulada ($I = 9,7622 \cdot T^{0,6013}$) é uma alternativa para determinação do comportamento da infiltração de água no solo; a velocidade de infiltração básica é de 63,26 e 41,72 mm.h⁻¹, conforme os modelos de Horton e Kostiakov, respectivamente; o modelo de Horton foi o mais preciso na determinação do comportamento da taxa de infiltração de água no solo, quando comparado com os valores de velocidade de infiltração reais.

REFERÊNCIAS:

- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Atual. e Ampl. Viçosa: Editora UFV, 2006.
- BRITO, L. T.; LOUREIRO, B. T.; DENICULI, W.; RAMOS, M. M.; SOARES, J. M. Influência do método da determinação da velocidade de infiltração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.503-507, 1996.
- DOS SANTOS, C. S. et al. Avaliação da infiltração de água no solo pelo método de infiltrômetro de anel no agreste alagoano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 2, p. 161–165, 2013.
- FAILACHE, M. F.; ZUQUETTE, L. V. Soil water infiltration under different land use conditions: in situ tests and modeling. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.26, e26, 2021.
- FELIZARDO, L. M.; SANTINI, M.; FARIA, G. A.; MALTONI, K. L.; DE OLIVEIRA, J. N. Testes de infiltração de água no solo como forma de quantificar os parâmetros para equação de Horton. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e145996767, 2020.
- FLORENTINO, R. W.; COELHO, G. R. T.; ZILCH, M. H.; VEIGA, T. B.; MARTINS, K. G.; KUMMER, A. C. B. **Assessing Horton and Kostiakov models focused on estimating soil water infiltration**. *Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação*, v. 8, n. 2, p.144-155, 2023.
- NUNES, J. A.; SILVEIRA, M. H.; SILVA, T. J.; NUNES, P.; CARVALHO, K. Velocidade de infiltração pelo método do infiltrômetro de anéis concêntricos em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, 2012.
- SILVA, H. R. S. E.; SANTOS, J. F.; SILVA, A. L. F., NASCIMENTO, S. M. S. G. Infiltração de água e atributos físicos do solo em diferentes agroecossistemas no brejo paraibano. In: **II Congresso Paraibano de Agroecologia & IV Exposição Tecnológica**. Anais [...] Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Pombal, v. 9, n.7, e-6983, 2019.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH, 2004. 943 p.