

## Estimativa da velocidade e da taxa de infiltração de um solo argiloso típico do município de Apucarana, Paraná

## Estimated of the infiltration velocity and the infiltration ratio of a typical clayey soil of Apucarana's county, Paraná

### RESUMO

**Kawana Lopes Ribeiro**  
[kawanaribeiro@alunos.utfpr.edu.br](mailto:kawanaribeiro@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

**Fábio Reyge Takenaga**  
[fabiotakenaga@alunos.utfpr.edu.br](mailto:fabiotakenaga@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

**Mariana Alher Fernandes**  
[marianaalher@utfpr.edu.br](mailto:marianaalher@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

O movimento da água no solo é um estudo necessário para profissionais de diferentes áreas, dentre eles da Engenharia Civil. Neste estudo são determinadas diversas características do solo como a taxa de infiltração da água e a condutividade hidráulica saturada, ambas dependentes de fatores intrínsecos desse solo. Existem vários modelos empíricos e teóricos para estimativa da infiltração da água no solo, cada um apresentando vantagens e desvantagens. Diante do exposto, o presente estudo busca estimar a infiltração da água em um solo argiloso localizado no município de Apucarana, Estado do Paraná, a partir dos modelos empíricos de Kostiakov e Kostiakov-Lewis com o uso de resultados de outra pesquisa em andamento utilizando permeâmetro Guelph e infiltrômetro do duplo anel. De acordo com os dados de infiltração acumulada *versus* tempo dos ensaios de permeabilidade em campo é que foram ajustadas as curvas de infiltração da água no solo e da velocidade instantânea de infiltração. Os resultados mostraram que o melhor ajuste para o solo em questão corresponde ao modelo de Kostiakov.

**PALAVRAS-CHAVE:** Infiltração. Percolação. Ensaios. Modelos matemáticos.

### ABSTRACT

The movement of water in the soil is a necessary study for professionals from different areas including Civil Engineering. In this study, several soil characteristics are determined such as the water infiltration rate and saturated hydraulic conductivity, both dependent on intrinsic factors of this soil. There are umpteen empirical and theoretical models for estimating the infiltration of water into the soil, each one presenting advantages and disadvantages. Before the expost, the present study seeks to estimate the infiltration of water in a clayey soil situated in the county of Apucarana, State of Paraná, using the empirical models of Kostiakov and Kostiakov-Lewis. Furthermore, the experimental data employed was obtained using the permemeater Guelph and the double ring infiltrometer, both data as result of another research in progress. According to the accumulated infiltration data *versus* time of the field permeability tests, they were adjusted as the water infiltration curves in the soil and the instantaneous infiltration velocity. The results showed that the best fit for the soil in question corresponds to the Kostiakov's model.

**KEYWORDS:** Infiltration. Percolation. Tests. Mathematical models.

**Recebido:** 19 ago. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autorial:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

O estudo do movimento de água através do solo é essencial para entender e solucionar muitos problemas da Engenharia Civil, especialmente pelo fato do solo servir de apoio para diferentes tipos edificações. Caputo (1988) define o termo permeabilidade como sendo a propriedade que o solo apresenta de permitir o fluxo da água através de suas partículas sólidas. Deste modo, a condutividade hidráulica corresponde à uma propriedade hidráulica intrínseca de cada tipo de solo, podendo ser determinada a partir de ensaios de campo ou de laboratório.

A infiltração da água no solo é definida como sendo o processo pelo qual a água penetra no interior do solo, tornando-se mais lento com o transcorrer do tempo e da saturação do solo. Esse processo depende de diversos fatores presentes no meio físico tais como quantidade de água disponível na superfície do terreno, teor de umidade inicial do solo, textura do solo, tamanho e distribuição das partículas do solo. O processo de infiltração permite a recarga dos aquíferos e o balanço da água na zona das raízes das plantas, sendo extremamente importante para o manejo e conservação do solo e da água (REICHARDT; TIMM, 2016).

Existem diversos modelos empíricos e teóricos disponíveis na literatura técnico-científica para estimativa da infiltração e determinação da taxa de infiltração da água no solo. Pode-se dizer que a vantagem dos métodos empíricos consiste em relacionar os parâmetros do modelo com as características do solo, porém, as equações ajustadas tornam-se válidas apenas para aquela condição, impossibilitando ser adotada para outros tipos de solos (BRANDÃO, 2003). Dentre os modelos empíricos para estimativa da infiltração da água no solo tem-se os de Holtan, Horton, Kostiakov e Kostiakov-Lewis enquanto que dos modelos teóricos destacam-se os de Philip, Green-Ampt e Green-Ampt modificado por Mein e Larson.

A utilização desses modelos requer resultados de algum tipo de ensaio de infiltração em campo indicando volume de água infiltrada (ou lâmina d'água infiltrada) em função do tempo. Dentre os ensaios mais utilizados para tal finalidade encontra-se o ensaio com infiltrômetro do duplo anel (ou infiltrômetro de anéis concêntricos) além dos ensaios com simuladores de chuva.

Nesse contexto, o principal objetivo desse trabalho é de estimar a infiltração de um solo argiloso típico da região Noroeste do Estado do Paraná através dos modelos empíricos de Kostiakov e Kostiakov-Lewis. Para isso, serão utilizados resultados de ensaios de infiltrômetro do duplo anel e permeâmetro Guelph, ambos tendo sido determinados em outra pesquisa científica em andamento no solo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo compreende uma área descampada, com presença de gramíneas, situado atrás do Laboratório de Geotecnia, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana. De acordo com Manosso (2015), nas proximidades da área de concentração urbana do município de Apucarana, este possui solos classificados como nitossolo e latossolo. Portanto, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pode-se dizer que os solos classificados como nitossolos possuem presença de textura argilosa a

muito argilosa enquanto que os latossolos apresentam textura média a mais fina (argila, muito argilosa).

Por esse trabalho tratar-se de uma pesquisa em andamento e ter como finalidade determinar a infiltração no solo, não foram efetuados ensaios geotécnicos de caracterização do solo em laboratório. Dessa maneira, sendo realizado um levantamento de pesquisas científicas desenvolvidas no solo de Apucarana, limitando-se a busca para pesquisas ocorridas próximas da área de estudo, a fim de minimizar a dispersão dos resultados por conta da variabilidade espacial das propriedades do solo.

A determinação da infiltração da água no solo foi feita a partir dos modelos empíricos de Kostiakov (1932) e Kostiakov-Lewis (1945). Como mencionado anteriormente, os dados de volume de água infiltrada (ou lâmina de água infiltrada) em função do tempo utilizados nesse trabalho corresponde aos resultados de outra pesquisa em andamento, utilizando infiltrômetro do duplo anel e permeâmetro Guelph, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Ensaios de permeabilidade em campo (a) permeâmetro Guelph (b) infiltrômetro do duplo anel



(a)

(b)

Fonte: Takenaga, Ribeiro, Fernandes (2019); Autoria Própria (2019)

O modelo de Kostiakov (1932) corresponde a uma equação empírica para determinação da infiltração de água no solo ( $I$ ) e da velocidade de infiltração ( $VI$ ), como mostram as Eq. (1) e Eq. (2), respectivamente. Este modelo utiliza os dados de ensaios experimentais de campo como volume de água infiltrada em função do tempo transcorrido.

$$I = k \cdot T^n \quad (1)$$

$$VI = k \cdot n \cdot T^{n-1} \quad (2)$$

em que:  $I$  expressa a infiltração de água no solo, parâmetro  $n$  e parâmetro  $k$  são constantes e que dependem do solo,  $T$  corresponde ao tempo de infiltração e  $VI$  é a velocidade instantânea de infiltração.

Por outro lado, o modelo de Kostiakov-Lewis (1945) corresponde a um melhoramento do modelo de Kostiakov, tendo sido apenas acrescentado o termo denominado por taxa de infiltração básica estimada na equação de infiltração de água no solo, como mostra a Eq. (3). Já a velocidade instantânea de infiltração pode ser calculada em função da equação de infiltração de água no solo deste

modelo, como representa a Eq. (4), sendo que  $a$  representa uma constante que depende do solo.

$$I = a.T + k.T^n \quad (3)$$

$$VI = a + k.n.T^{n-1} \quad (4)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No trabalho de Garcia e Luiz (2019), os autores investigaram amostras de solos coletadas de três pontos distintos na cidade de Apucarana, estando um deles localizado nas proximidades da área de estudo, o qual foi denominado como ponto C. Os autores realizaram ensaios laboratoriais como limites de liquidez, limite de plasticidade e massa específica dos sólidos além da análise táctil-visual para caracterização desse material, como mostra a Tabela 1. Portanto, o solo localizado nessa área provavelmente terá um baixo valor de permeabilidade devida à sua composição textural (proveniente da rocha ígnea classificada como basalto) e aos valores encontrados de limites de consistência e massa específica dos sólidos, podendo ser um indicativo da presença de quantidade considerável da fração de finos no solo (silte e argila).

Tabela 1 – Caracterização do solo localizado próximo da área de estudo

Ensaio	Resultados
Limite de Liquidez	54%
Limite de Plasticidade	43%
Massa Específica dos Sólidos	2,923 g/cm <sup>3</sup>
Análise táctil-visual	Solo residual evoluído de basalto

Fonte: adaptado de Garcia e Luiz (2019).

A Tabela 2 apresenta os resultados da infiltração da água no solo e da velocidade instantânea de infiltração utilizando o modelo empírico de Kostiakov. Como mencionado anteriormente, os dados utilizados nesse modelo foram obtidos a partir de quatro ensaios com permeâmetro Guelph, os quais foram denominados de PG1 a PG4, e um único ensaio com o infiltrômetro do duplo anel, sendo este denominado de IDA1.

Tabela 2 – Estimativa da infiltração da água no solo (I) e da velocidade instantânea de infiltração (VI) a partir do modelo de Kostiakov

Ensaio	Infiltração Acumulada (I)	Velocidade Instantânea de Infiltração (VI)
PG1	7,0766. $T^{(0,7867)}$	5,5674. $T^{(-0,2133)}$
PG2	7,4381. $T^{(0,7794)}$	5,7969. $T^{(-0,2206)}$
PG3	0,5056. $T^{(1,3597)}$	0,6874. $T^{(0,3597)}$
PG4	18,8827. $T^{(0,7475)}$	14,115. $T^{(-0,2525)}$
IDA1	3,4885. $T^{(0,2127)}$	0,7420. $T^{(-0,7873)}$

Fonte: adaptado de Takenaga *et al.*(2020); Autoria Própria (2019).

Já a Tabela 3 apresenta os resultados da infiltração da água no solo e da velocidade instantânea de infiltração utilizando o modelo empírico de Kostiakov-Lewis. Assim como no modelo de Kostiakov, neste modelo também foram

utilizados os dados dos quatros ensaios com permeâmetro Guelph e um ensaio com infiltrômetro do duplo anel. Observa-se que no modelo de Kostiakov-Lewis, a velocidade de infiltração básica é considerada como sendo a velocidade de infiltração correspondente a estabilização de cada ensaio.

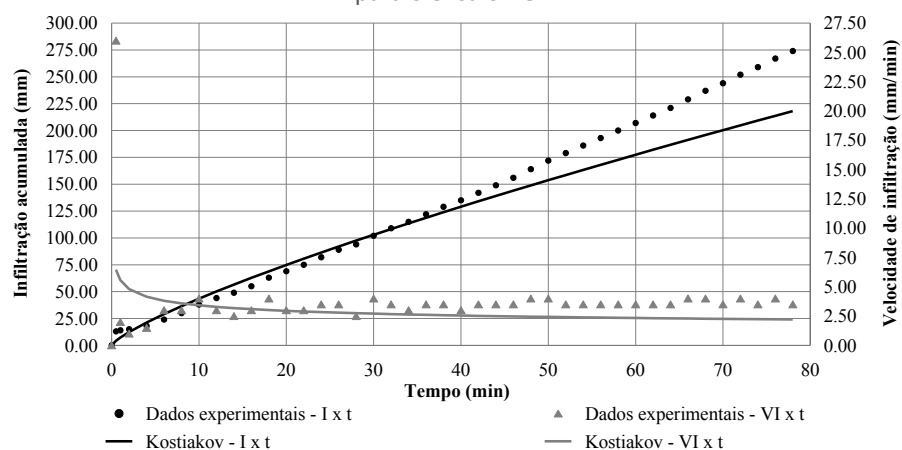
Tabela 3 – Estimativa da infiltração da água no solo (I) e da velocidade instantânea de infiltração (VI) a partir do modelo de Kostiakov-Lewis

Ensaio	Infiltração Acumulada (I)	Velocidade Instantânea de Infiltração (VI)
PG1	$7,0766 \cdot T^{(0,7867)} + 0,52 \cdot T$	$5,5674 \cdot T^{(-0,2133)} + 0,52$
PG2	$7,4381 \cdot T^{(0,7794)} + 0,59 \cdot T$	$5,7969 \cdot T^{(-0,2206)} + 0,59$
PG3	$0,5056 \cdot T^{(1,3597)} + 0,58 \cdot T$	$0,6874 \cdot T^{(0,3597)} + 0,58$
PG4	$18,8827 \cdot T^{(0,7475)} + 0,76 \cdot T$	$14,115 \cdot T^{(-0,2525)} + 0,76$
IDA1	$3,4885 \cdot T^{(0,2127)} + 0,50 \cdot T$	$0,7420 \cdot T^{(-0,7873)} + 0,50$

Fonte: Autoria Própria (2020).

A Figura 2 apresenta o ajuste (infiltração *versus* tempo, velocidade instantânea de infiltração *versus* tempo) utilizando o modelo empírico de Kostiakov e os dados do ensaio com permeâmetro Guelph, este tendo sido denominado como PG1 na Tabela 2. Pode-se observar que o ajuste através da equação empírica estudada apresenta bons resultados próximos aos dados iniciais do ensaio, ficando este mais disperso conforme transcrito o ensaio. Ressalta-se ainda que, no ensaio denominado como PG3 na Tabela 2, possa ter ocorrido algum tipo de inconsistência na realização do ensaio. Por isso, o parâmetro 'n' apresenta um valor superior a 1 (um) e que, de acordo com o modelo de Kostiakov, esse parâmetro característico do solo deveria variar entre 0 e 1.

Figura 2 – Infiltração acumulada versus tempo e velocidade de infiltração versus tempo para o ensaio PG1.



Fonte: Takenaga *et al.* (2020)

Além disso, de acordo com a tabela elaborada por Fonseca e Duarte (2006), quando o solo apresenta uma velocidade de infiltração básica (VIB) de 5 a 15 mm/h, podendo este ser classificado como tendo uma VIB média. De outro lado, Bernardo *et al.*, 2006 (*apud* Moreira *et al.*, 2017) afirmam que os valores de velocidade de infiltração básica estão relacionados com a textura do solo, podendo ser considerados como arenosa quando resultam em VIB de 25 a 250 mm/h; franco-arenosa para VIB de 13 a 76 mm/h; franco-arenoso-argilosa para VIB de 5 a 20 mm/h e franco-argilosa para VIB de 2,5 a 15 mm/h.

## CONCLUSÃO

Tendo em vista os resultados dos ajustes pelos modelos de Kostiaikov e de Kostiaikov-Lewis utilizando os dados de ensaios do permeâmetro Guelph e infiltrômetro do duplo anel, pode-se inferir que a princípio, o melhor modelo para representar tanto a infiltração quanto a velocidade de infiltração deste tipo solo é o de Kostiaikov. Além disso, a partir do valor da velocidade de infiltração básica (VIB) pode-se classificar este solo como sendo franco-arenoso-argilosa e tendo média velocidade de infiltração.

Todos os resultados apresentados nesse trabalho englobam uma parcela de um estudo preliminar e em andamento sobre a permeabilidade do solo de Apucarana. Salienta-se aqui que, seria interessante utilizar outros modelos empíricos para realizar o ajuste da curva de velocidade de infiltração e da infiltração acumulada a partir dos mesmos dados experimentais empregados nessa pesquisa. Logo, os ajustes gerados por esses outros modelos poderiam ser confrontados com os resultados dessa pesquisa de maneira com que possa ser definido o melhor modelo para representar a infiltração e a velocidade de infiltração do solo estudado.

## AGRADECIMENTOS

Os dois primeiros autores agradecem a oportunidade de participarem do programa de Iniciação Científica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana.

## REFERÊNCIAS

BRANDÃO, V. S. **Infiltração de água em solos sujeitos a encostamento**. 2003. Doutorado (Tese em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003 Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9589/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 ago. 2020.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed., rev. e ampl. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs/classificacao-de-solos>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

FONSECA, F.C.; DUARTE, L. B. **Apostila de Hidrologia, Capítulo 5 – Infiltração**. Agosto, 2006. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap5-INF.pdf>. Acesso em: 03 set. 2020.

GARCIA, J. H. N., Luiz, A. M. F. Avaliação do potencial de colapsibilidade de solos argilosos do município de Apucarana-PR. *In*: ENCONTRO INTERNACIONAL DE

PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 11., 2019, Maringá. **Anais...** Maringá: UNICESUMAR, 2019.

MANOSSO, F. C. **O estudo da paisagem no município de Apucarana-PR: as relações entre a estrutura geocológica e a organização do espaço.** 2005. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá. Disponível em: [http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos\\_teses/teses\\_geografia2008/dissertacaouemfernandocesarmanosso.pdf](http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/teses_geografia2008/dissertacaouemfernandocesarmanosso.pdf). Acesso em: 03 set. 2020.

MOREIRA, W. K. O.; SILVA, E. G.; LIMA, N. T.; ALVES, J. D. N.; RAYO, L. B. P. Velocidade de Infiltração Básica da Água no solo em diferentes agroecossistemas Amazônicos. **Agrarian Academy**, v. 4, n. 7, 2017.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Água e sustentabilidade no sistema solo-planta-atmosfera.** 1 ed., Barueri: Manole, 2016.

TAKENAGA, F. R.; RIBEIRO, K. L.; FERNANDES, M. A. Determinação da condutividade hidráulica saturada do solo por meio do permeâmetro Guelph. *In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA*, 11., 2019, Maringá. **Anais...** Maringá: UNICESUMAR, 2019.

TAKENAGA, F. R.; RIBEIRO, K. L.; OLIVEIRA, A. F.; LISBOA, T. A. G.; FERNANDES, M. A. Determinação da condutividade hidráulica saturada e estimativa da infiltração de um solo argiloso da região Noroeste do Paraná. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA*, 17., 2020, Campinas. **Anais...** Campinas: COBRAMSEG, 2020. *(no prelo)*