

Influência de Duas Diferentes Profundidades na Permeabilidade de Solos Argilosos Lateríticos

Alana Dias de Oliveira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Brasil, alanaoliveira@utfpr.edu.br

Vinícius Augusto dos Santos Lanza

Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil, vinicius.lanza14@uel.br

Giovanna Thaís Santos Mello

Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil, gigitsm@hotmail.com

Mateus Teixeira Crippa

Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil, mateus.teixeira@uel.br

Pedro Henrique Lopes Dal-Col

Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil, eng.pedro.dalcol@uel.br

RESUMO: A permeabilidade do solo é fundamental na engenharia geotécnica, influenciando a construção, infraestrutura e gestão ambiental. Este estudo investiga as variações de permeabilidade em duas diferentes profundidades e fatores influenciadores, avaliando a anisotropia do solo por meio da condutividade hidráulica horizontal e vertical. Utilizando amostras do solo argiloso laterítico de Londrina/PR, coletadas a 1 e 2 metros de profundidade, os ensaios foram realizados com permeômetros de parede flexível conforme a NBR 14545. A saturação dos corpos de prova foi mantida ao longo de todo o ensaio, com ajustes para variações de temperatura e outros parâmetros operacionais. A análise, dividida em três grupos baseados na duração do teste, revelou uma diminuição na permeabilidade com o tempo, atribuída ao transporte de partículas finas. As amostras do 1º metro mostraram maior permeabilidade que as do 2º metro, sugerindo que variáveis além da profundidade afetam esse aspecto. Observou-se baixa anisotropia, com condutividade hidráulica horizontal levemente superior a vertical, implicando uma transmissão de água quase uniforme em ambas as direções. Esses achados destacam a complexidade intrínseca das propriedades hidráulicas dos solos argilosos lateríticos, fornecendo *insights* fundamentais para o avanço da engenharia geotécnica e práticas de manejo sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Coeficientes de Permeabilidade, Anisotropia, Dinâmicas Hidráulicas, Engenharia Geotécnica.

ABSTRACT: Soil permeability is essential in geotechnical engineering, influencing construction, infrastructure, and environmental management. This study explores permeability variations at two distinct depths and their influencing factors, assessing the soil's anisotropy through horizontal and vertical hydraulic conductivity. Using samples of lateritic clayey soil from Londrina/PR, collected at depths of 1 and 2 meters, tests were conducted with flexible wall permeameters as per NBR 14545. The saturation of the specimens was maintained throughout the test, with adjustments for temperature fluctuations and other operational parameters. The analysis, segmented into three groups based on test duration, revealed a decrease in permeability over time, linked to the transport of fine particles. Samples from the first meter displayed higher permeability than those from the second meter, suggesting that factors other than depth affect this trait. Low anisotropy was observed, with horizontal hydraulic conductivity slightly surpassing the vertical, indicating a nearly uniform transmission of water in both directions. These findings highlight the intrinsic complexity of the hydraulic properties of lateritic clay soils, providing fundamental insights for the advancement of geotechnical engineering and sustainable management practices.

KEYWORDS: Permeability Coefficients, Anisotropy, Hydraulic Dynamics, Geotechnical Engineering

1 INTRODUÇÃO

A interação entre a urbanização e os ciclos hidrológicos naturais tem despertado um interesse crescente na comunidade científica, especialmente em contextos onde a expansão urbana intensifica o escoamento superficial e compromete a recarga de aquíferos. A permeabilidade do solo, uma característica central neste debate, é influenciada significativamente por fatores como composição, estrutura e, crucialmente, profundidade. Estudos conduzidos em diversas regiões têm demonstrado a variabilidade da permeabilidade em solos argilosos lateríticos, que são amplamente distribuídos em áreas tropicais e subtropicais, incluindo significativas porções do Brasil (BOUWER, 2002; MALIVA; MISSIMER, 2012; SOUZA *et al.*, 2022).

Os solos argilosos lateríticos são conhecidos por suas propriedades únicas, resultantes de processos pedogenéticos intensos, que afetam tanto sua estrutura quanto seu comportamento hidráulico. A literatura destaca a importância da granulometria, porosidade, e particularmente, da anisotropia hidráulica desses solos, ressaltando como esses atributos podem variar significativamente com a profundidade (TEATINI *et al.*, 2015; KUMAR *et al.*, 2022). Essa variabilidade é crucial para o entendimento da dinâmica da água subterrânea e para o planejamento de sistemas de gestão de águas pluviais.

A capacidade de infiltração dos solos argilosos lateríticos e sua influência na recarga de aquíferos têm sido um ponto focal para a implementação de sistemas de infiltração urbanos (ASRY *et al.*, 2023). A escolha entre diferentes estratégias de infiltração, incluindo bacias, trincheiras e poços, depende intrinsecamente das características do solo e requer uma compreensão detalhada de como a profundidade afeta a permeabilidade e, conseqüentemente, a eficácia dos sistemas de infiltração (BRAGA *et al.*, 2007; EDWARDS, 2016).

Dada a complexidade e a importância estratégica dos solos argilosos lateríticos para o gerenciamento de recursos hídricos em regiões urbanizadas, este estudo visa aprofundar a compreensão da relação entre a permeabilidade desses solos e a profundidade em Londrina, Paraná. Através da análise de amostras coletadas em duas profundidades distintas, busca-se esclarecer as variações nas propriedades hidráulicas do solo, proporcionando uma base de conhecimento essencial para futuras abordagens e estratégias de gestão de águas pluviais.

Este estudo tem o potencial de contribuir significativamente para a engenharia geotécnica e a hidrologia urbana, gerando conhecimento que pode fundamentar o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis e eficientes no manejo das águas pluviais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Contexto Geotécnico

Realizado em Londrina, Paraná, este trabalho foca no solo local, situado em uma zona climática Cfa (KÖPPEN; GEIGER, 1928), com clima quente e temperado. A temperatura média anual é de 22°C, variando entre 11°C e 34°C (INMET, 2022)¹. A geologia inclui o Grupo São Bento e a Formação Serra Geral, com derrames basálticos da era Mesozoica (ITCG, 2018; MINEROPAR, 2001). As propriedades físicas e classificação do solo são resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades Físicas e Classificação do Solo

Propriedade	Valor
Massa Específica dos Sólidos – ρ_s (g/cm ³)	3,03
Limite de Liquidez – LL (%)	51
Limite de Plasticidade – LP (%)	13
Sistema de Classificação	Tipo de Solo
Granulométrica com Defloculante	Argila Siltosa
Granulométrica sem Defloculante	Silte Arenoso
Sistema Unificado de Classificação de Solos	Silte de Alta Compressibilidade (MH)
Miniatura Compactado Tropical	Argiloso Laterítico (LG')

Fonte: Adaptado de Teixeira *et al.* (2010); Gonçalves *et al.* (2018); Pelaquim (2021); Oliveira (2023)

¹ Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em 30 de set. de 2023

2.2 Permeâmetro de Carga Variável

A determinação dos coeficientes de permeabilidade saturado, vertical e horizontal, foram obtidos por meio de ensaios realizados no laboratório de Geotecnia da UEL pela utilização de dois permeômetros de parede flexível e carga variável semelhantes. A metodologia de ensaio seguiu o prescrito no Método B da NBR 14545 (ABNT, 2021). A saturação dos corpos de prova foi conduzida por um período mínimo de uma semana, garantindo condições de saturação ótimas antes de se iniciar os ensaios propriamente ditos. Durante esse período, a água – potável fornecida pela rede municipal – foi adicionada conforme necessário para manter a coluna de água, assegurando que a saturação fosse alcançada e mantida.

Após garantir a coluna de água por uma semana, procedeu-se a aplicação uma carga hidráulica adicional ao topo do corpo de prova e observou-se o fluxo de saída. O gradiente hidráulico, ao longo de todo o ensaio, variou entre um máximo de 6,7 e um mínimo de 4,2. A manifestação de um fluxo contínuo na extremidade inferior do permeâmetro indicou que o CP se aproximou da máxima saturação possível para as amostras de solo. É importante considerar, entretanto, que a presença de microagregação no solo (típica de solos Lateríticos) pode levar à oclusão de vazios, potencialmente impedindo a saturação total e resultando em valores inferiores à saturação completa teoricamente alcançável.

Para assegurar a precisão dos resultados, diversos detalhes operacionais foram registrados para cada corpo de prova. Estes incluíram a altura da coluna d'água, a duração total da saturação e variações na coluna d'água observadas na proveta graduada em intervalos de tempo específicos. Adicionalmente, a temperatura foi monitorada e registrada para permitir a correção subsequente para $k_{20^{\circ}C}$. Os ensaios foram realizados em permeômetros, onde o primeiro com área da seção transversal do tubo de carga de $5,4 \text{ cm}^2$ foi utilizado para medição do fluxo vertical e o segundo com $5,7 \text{ cm}^2$ para o fluxo horizontal.

Os corpos de prova ensaiados, representativos do 1° e 2° m, foram talhados a partir do mesmo bloco indeformado, acondicionada em câmara úmida, para ensaios de permeabilidade nas direções vertical e horizontal. Na Figura 1 estão ilustrados os CPs sendo talhados.

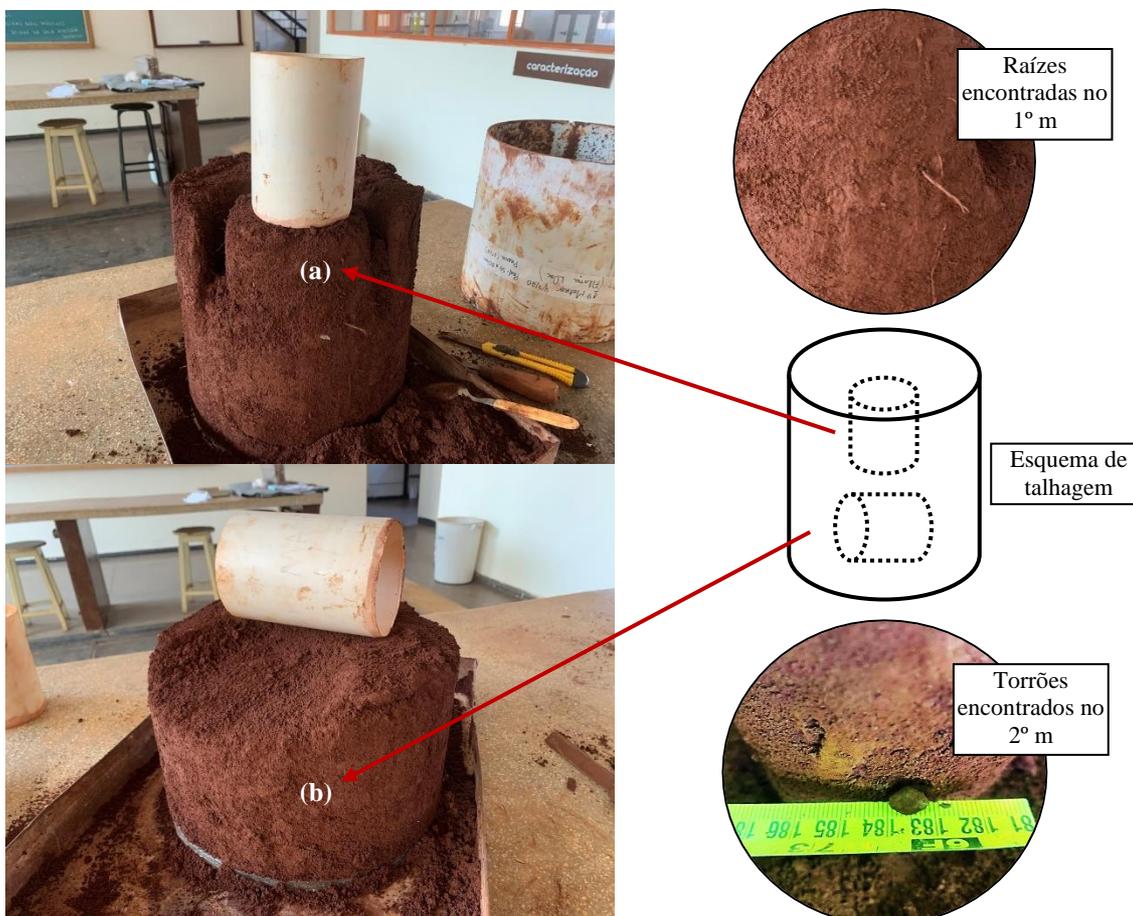


Figura 1 – CPs sendo talhados para a permeabilidade (a) vertical e (b) horizontal.

É importante esclarecer que o tubo de PVC ilustrado na Figura 1 serve apenas como um modelo direcional para demonstrar o método de talhagem dos corpos de prova cilíndricos; ele não foi utilizado no processo de talhagem. Na Figura 1, estão ilustrados os CPs sendo talhados.

Ressalta-se que houve certa dificuldade na talhagem destas amostras. No 1º m havia raízes. No 2º m torrões de aproximadamente 1 cm que se soltaram ao longo do processo, comprometendo a seção transversal, como ilustrado na Figura 1. Por isso, não foi possível talhar os CPs de cada metro com diâmetros semelhantes. As características físicas iniciais de cada CP e dimensões de talhagem estão relacionadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características dos CPs

Permeabilidade	Dimensões AxD (cm)	$w_{inicial}$ (%)	$S_{inicial}$ (%)	$M_{inicial}$ (g)	e	ρ (g/cm ³)
Vertical 1ºm	12x12	38,4	64,0	2019	1,8	1,5
Horizontal 1ºm	12x12	37,7	57,9	1984	2,0	1,4
Vertical 2ºm	12x7	34,2	53,8	701	1,9	1,4
Horizontal 2ºm	12x7	35,2	52,5	655	2,0	1,4

Nota: A – altura; D – diâmetro; $w_{inicial}$ – teor de umidade inicial; $S_{inicial}$ – grau de saturação inicial; $M_{inicial}$ – massa inicial; e – índice de vazios; ρ – massa específica natural.

A coleta de dados em cada um dos permeômetros, para cada um dos corpos de prova, foi realizada ao longo de 3 meses. Esse período foi estabelecido para permitir a observação e análise de possíveis processos de colmatção que poderiam ocorrer com a percolação contínua e o fluxo de água no solo. Esse tempo extenso de observação proporciona uma compreensão mais abrangente das dinâmicas de fluxo de água e obstrução potencial nos permeômetros, fornecendo uma base robusta para o traçado dos gráficos e interpretação dos resultados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 compila os pontos amostrais encontrados a partir do ensaio de permeabilidade a carga variável.

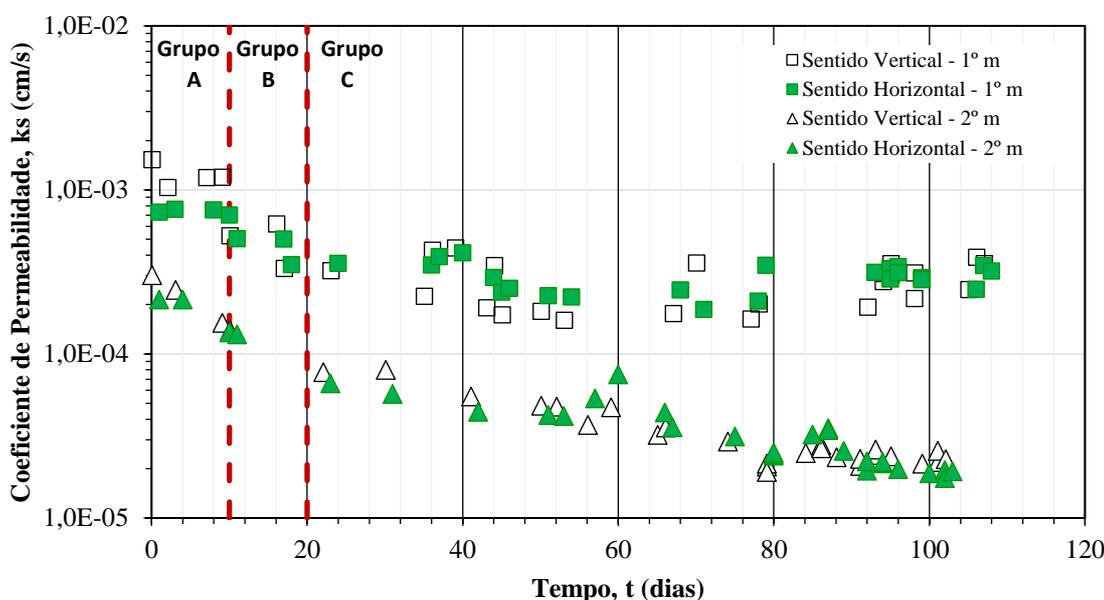


Figura 2 – Pontos amostrais – permeabilidade – laboratório.

Os resultados foram subdivididos em três grupos menores de modo a facilitar as análises. Constam no grupo A os valores de k obtidos do dia 0 ao dia 10 de ensaio; no grupo B os valores de k obtidos do dia 10 ao dia 20 de ensaio; e no grupo C os valores de k obtidos a partir do dia 20 até o término do ensaio.

A análise dos resultados obtidos, destacados na Tabela 3 e ilustrados na Figura 2, revela as ordens de grandeza de permeabilidade para o solo argiloso laterítico variando entre 10^{-4} e 10^{-5} cm/s. Esses valores alinham-se de maneira interessante com os intervalos reportados na literatura para solos com características granulométricas semelhantes às de siltes e areias finas.

Tabela 3 – Resultados médios de permeabilidade por grupo.

Profundidade de coleta (m)	Sentido de percolação	\bar{k}_s (cm/s)			w_{final} (%)	S_{final} (%)
		Grupo A	Grupo B	Grupo C		
1°	Vertical	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	52,2	75,3
	Horizontal	$7,4 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	55,1	71,1
2°	Vertical	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$7,9 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	45,2	63,2
	Horizontal	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$9,9 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	41,8	58,1

Nota: \bar{k}_s – coeficiente de permeabilidade saturado médio; ρ – massa específica natural; w_{final} – teor de umidade final; S_{final} – grau de saturação final.

Esses valores são indicativos de uma permeabilidade moderada que, embora esteja dentro do espectro esperado para solos argilosos, sugere uma dinâmica hidráulica mais ativa do que a típica de argilas. Essa observação corrobora com achados anteriores em estudos de campo conduzidos no Campo Experimental de Engenharia Geotécnica da UEL, utilizando métodos como o infiltrômetro de anel e Guelph (RODRIGUEZ *et al.*, 2015; DAL-CÓL, 2022).

A permeabilidade relativamente elevada dos solos argilosos lateríticos, comparada a solos argilosos puros, pode ser atribuída à estrutura granular peculiar e à porosidade incrementada advinda do processo de laterização, caracterizado pela lixiviação de sílica e acúmulo de óxidos de ferro e alumínio. Este fenômeno realça a importância de considerar as especificidades geoquímicas e estruturais dos solos argilosos lateríticos no estudo de suas propriedades hidráulicas e na aplicação desses conhecimentos em práticas de engenharia geotécnica e manejo de água (SOUZA *et al.*, 2022; IKUBUWAJE *et al.*, 2023).

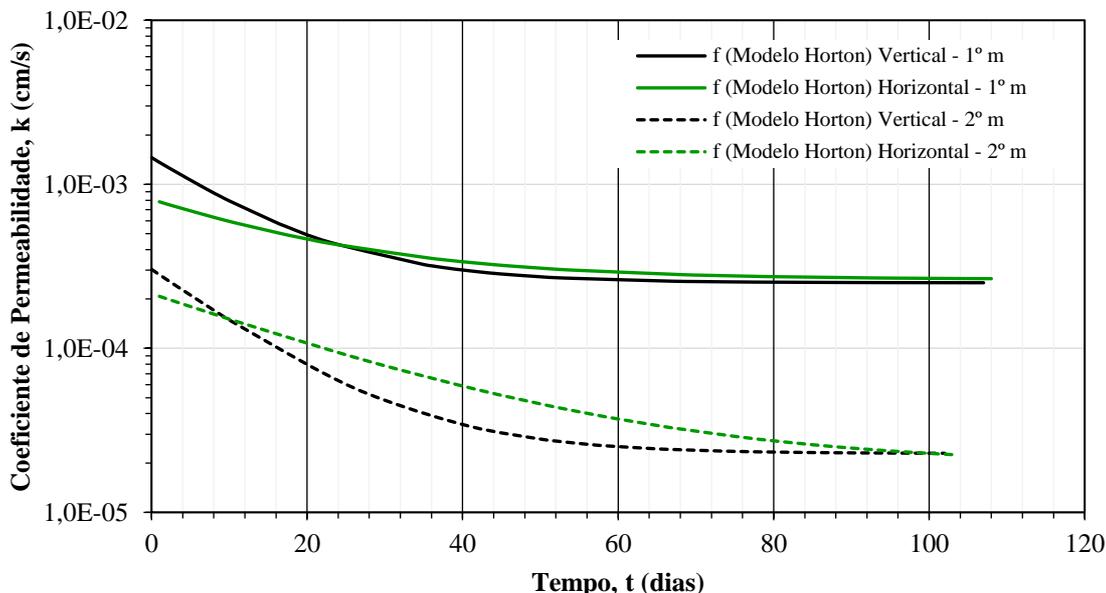
Ao analisar os valores de \bar{k}_s obtidos para os grupos A, B e C, entende-se que os valores obtidos para o grupo A, não são representativos do coeficiente de permeabilidade saturado. Isso porque observa-se que há uma diminuição significativa nas ordens de grandezas ao compará-lo aos outros dois grupos, B e C. Em outros termos, para o solo do 1° metro o valor de \bar{k}_s passa de, no máximo, 10^{-3} cm/s no grupo A para 10^{-4} cm/s no grupo B e C. E, isso se repete para o solo do 2° metro cujo valor de \bar{k}_s passa de no máximo 10^{-4} cm/s no grupo A para 10^{-5} cm/s no grupo B e C. É pertinente apontar que os valores de $7,9 \cdot 10^{-5}$ e $9,9 \cdot 10^{-5}$ cm/s estão próximos à ordem de grandeza de 10^{-4} , sugerindo uma variação menos drástica e mais alinhada com a expectativa teórica entre as medidas dos grupos.

Inicialmente, a diminuição nos valores de k_s com o tempo pode ser atribuída ao transporte de partículas finas para o interior dos poros da amostra. A NBR 14545 (ABNT, 2021) também descreve a possibilidade de ocorrência de um adensamento adicional da amostra devido às forças de percolação da água, que estão relacionadas a gradientes hidráulicos elevados. Ademais, nota-se, ao observar variação das ordens de grandeza encontradas que, em geral, o valor de k_s para o 1° metro de profundidade é maior do que o do 2° metro.

A presença de raízes nas amostras de solo coletadas a 1 metro de profundidade, ilustrada na Figura 1 e corroborada pelo estudo de Li *et al.* (2023), pode ter contribuído para um aumento na porosidade nesta camada específica, o que potencialmente explica a maior permeabilidade detectada em comparação à encontrada em profundidades maiores. Esse fenômeno, caracterizado pela presença de raízes e pela eventual formação de macroporos, poderia ter facilitado a infiltração e movimentação da água através do solo, elevando assim os valores de permeabilidade observados. Além disso, a incorporação de material radicular pode ter introduzido desafios adicionais durante o processo de coleta e preparo das amostras, influenciando a precisão e a representatividade das medições de permeabilidade realizadas.

O ajuste da permeabilidade saturada k_s foi determinada na fase assintótica, com o objetivo de identificar a taxa mínima que tende a se estabilizar na condição de saturação para $t \rightarrow \infty$. Para se adequar aos dados experimentais, a equação de Horton (1941) foi empregada para ajuste aos dados experimentais e as curvas obtidas neste processo são ilustradas na Figura 3.

Os resultados foram ajustados por meio de regressão não linear para obter os parâmetros f_0 , f_c e α – taxa de infiltração inicial, taxa de infiltração em estado estável à medida que o solo se aproxima da saturação, ou k_s , e uma constante derivada do ajuste, respectivamente. A partir dessas equações, foi possível analisar o momento em que a taxa final de infiltração é alcançada para cada ponto avaliado. Observando-se a Figura 3, nota-se que as curvas se cruzam em determinados pontos, levando a inversões nos valores de k_s , e se sobrepõem à medida que se aproximam do fim do ensaio.



Profundidade de coleta (m)	Sentido de percolação	Ajuste Horton (1940)	R ²
1º	Vertical	$f(t) = 2,5 \cdot 10^{-4} + 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,08t}$	0,81
	Horizontal	$f(t) = 2,6 \cdot 10^{-4} + 8,1 \cdot 10^{-4} \cdot e^{-0,05t}$	0,79
2º	Vertical	$f(t) = 2,3 \cdot 10^{-5} + 3,0 \cdot 10^{-4} \cdot e^{-0,08t}$	0,98
	Horizontal	$f(t) = 1,9 \cdot 10^{-5} + 2,2 \cdot 10^{-4} \cdot e^{-0,04t}$	0,94

Figura 3 – Curva de infiltração ajustada aos pontos amostrais – laboratório.

Nota: $f(t)$ – taxa de infiltração no tempo; t – tempo; R² – coeficiente de determinação dos dados.

A Tabela 4 apresenta a análise estatística básica dos valores médios de $\overline{k_s}$ (considerando apenas os grupos B e C) e das medidas de f_c . De forma geral, a análise dos resultados destaca a semelhança entre as ordens de grandeza de $\overline{k_s}$ e f_c . Esta condição é explicada pelo bom R² obtido nos ajustes do modelo apontados na Figura 3.

Tabela 4 – Análise estatística básica dos resultados de $\overline{k_s}$ dos grupos B e C

Parâmetros	1º metro		2º metro	
	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
$\overline{k_s}$ (cm/s)	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$
Desvio padrão (cm/s)	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$
CV (%)	38	25	50	65
A		1,1		1,1
k' (cm/s)		10^{-4}		10^{-5}
f_c (cm/s)	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$

Nota: CV – coeficiente de variação; k_{sH} – coeficiente de permeabilidade saturado horizontal; k_{sV} – coeficiente de permeabilidade saturado vertical; A – grau de anisotropia $\overline{k_{sH}}/\overline{k_{sV}}$; k' – coeficiente isotrópico equivalente $\sqrt{\overline{k_{sH}} \cdot \overline{k_{sV}}}$.

Ainda de acordo com a Tabela 2, os resultados relacionados ao grau de anisotropia (A) de 1,1 indicam que a condutividade hidráulica horizontal é ligeiramente maior (10% maior, neste caso) do que a condutividade hidráulica vertical. Ou seja, a água tem uma leve tendência a se mover mais facilmente na direção horizontal do que na vertical.

No entanto, esse valor próximo de 1 sugere que a anisotropia é relativamente baixa e que o meio tem quase a mesma facilidade para a transmissão de água tanto na direção horizontal quanto na vertical. Por isso, foi calculado também o coeficiente isotrópico equivalente (k') confirmando os resultados de 10^{-4} e 10^{-5} cm/s para os solos do 1º e 2º metro, respectivamente.

4 CONCLUSÕES

Este estudo explorou como diferentes profundidades afetam a permeabilidade dos solos argilosos lateríticos em Londrina, Paraná, e descobriu nuances importantes nas propriedades hidráulicas do solo. Os testes, realizados com permeâmetros de parede flexível alinhados à NBR 14545, mostraram que a permeabilidade diminuiu com o tempo, provavelmente devido ao transporte de partículas finas dentro do solo. Interessantemente, as amostras coletadas a 1 metro revelaram maior permeabilidade do que as de 2 metros, implicando que fatores além da profundidade impactam essa característica.

Observou-se também que a condutividade hidráulica na horizontal era levemente maior do que na vertical, apontando para uma anisotropia baixa e uma capacidade de transmissão de água consistentemente uniforme em todas as direções. A influência de raízes encontradas nas amostras a 1 metro de profundidade também foi notável, sugerindo um efeito significativo na permeabilidade dessa camada. Por fim, o uso da equação de Horton (1941) para determinar a permeabilidade saturada em sua fase assintótica proporcionou uma visão aprofundada sobre as dinâmicas de fluxo de água e eventuais obstruções, contribuindo assim para um entendimento mais rico do comportamento hidráulico dos solos argilosos lateríticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. (2021) NBR 14545: *Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- Asry, A., Kouyi, G. L., Fletcher, T. D., Bonneau, J., Tedoldi, D., Lassabatere, L. (2023) Sets of infiltration models for water infiltration in sustainable urban drainage systems. *Journal Of Hydrology*, v. 623, p. 129477. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129477> [Acesso em: 06 Abril 2024].
- Bouwer, H. (2002) Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal*, v. 10, n. 1, pp. 121-142. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0182-4> [Acesso em: 06 Abril 2024].
- Braga, A., Horst, M., Traver, R. G. (2007) Temperature Effects on the Infiltration Rate through an Infiltration Basin BMP. *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering*, v. 133, n. 6, pp. 593-601. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(2007\)133:6\(593\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(2007)133:6(593)) [Acesso em: 06 Abril 2024].
- Dal-Cól, P. H. L. (2022) *Efeito da infiltração de precipitação pluvial na análise de estabilidade de taludes em solos argilosos e arenosos não saturados*. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- Edwards, E. C., Harter, T., Fogg, G. E., Washburn, B.; Hamad, H. (2016) Assessing the effectiveness of drywells as tools for stormwater management and aquifer recharge and their groundwater contamination potential. *Journal Of Hydrology*, v. 539, pp. 539-553. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.059> [Acesso em: 06 Abril 2024].
- Gonçalves, F., Zanin, R. F. B., Somera, L. F., Oliveira, A. D., Ferreira, J. W. S., Costa Branco, C. J. M., Teixeira, R. S. (2018) Caracterização Físico-Química e Mineralógica de Três Solos do Estado do Paraná. *Anais do XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Salvador*. Geotecnia e Desenvolvimento Urbano - COBRAMSEG 2018.

- Horton, R. E. (1941) An Approach Toward a Physical Interpretation of Infiltration-Capacity. *Soil Science Society Of America Journal*, v. 5, pp. 399-417. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj1941.036159950005000c0075x> [Acesso em: 06 Abril 2024].
- Ikubuwaje, C. O., Owoyemi, H. T., Nenuwa, O. B. (2023) Geochemical Quantification and Appraisal of Three Genetically Different Derived Lateritic Soils. *Asian Soil Research Journal*, pp. 29-37. Disponível em: <https://doi.org/10.9734/asrj/2023/v7i1123> [Acesso em: 06 Abril 2024].
- ITCG. (2018) *Mapa Geológico do Grupo Serra Geral no Estado do Paraná*. Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná, Curitiba.
- Jiaying Li, Peng Cui, Yanzhou Yin. (2023) Field observation and micro-mechanism of roots-induced preferential flow by infiltration experiment and phase-field method. *Journal of Hydrology*, Volume 623, 129756. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129756> [Acesso em: 06 Abril 2024].
- Köppen, W., Geiger, R. (1928) *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm.
- Kumar G.S., Saini, P.K., Deoliya, R., Mishra A. K., Negi, S.K. (2022). Characterization of laterite soil and its use in construction applications: A review. *Resources, conservation & recycling advances*, [online] 16, pp.200120–200120. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200120>. [Acesso em: 06 Abril 2024].
- Maliva, R., Missimer, T. (2012) *Arid Lands Water Evaluation and Management*. *Environmental Science And Engineering*, Springer Berlin Heidelberg. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29104-3> [Acesso em: 06 Abril 2024].
- Mineropar. (2001) *Atlas Geológico do Estado do Paraná*. Governo do Estado do Paraná, Curitiba, 125 p.
- Oliveira, A.D. (2023) *Avaliação numérica e analítica da infiltração de águas pluviais em perfil de solo argiloso laterítico*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- Pelaquim, F. G. P. (2021) *Estabilidade de taludes em solo argiloso não saturado considerando o efeito da variação pluviométrica*. Tese – Doutorado (Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- Rodriguez, T. T., Weiss, L. A., Teixeira, R. S., Costa Branco, C. J. M. (2015) Permeabilidade de Solo Laterítico por Diferentes Métodos. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, v. 36, n. 2, p. 17. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0375.2015v36n2p17> [Acesso em: 06 Abril 2024].
- Souza, W.A.R., Pereira, S.A.S., Mendes, T.A., Costa, R.F., Gitirana Junior, G.F.N.; Rebolledo, J.F.R. (2022) Statistical evaluation of testing conditions on the saturated hydraulic conductivity of Brazilian lateritic soils using artificial intelligence approaches. *Sci Rep* 12, 20381. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24779-1> [Acesso em: 06 Abril 2024].
- Teatini, P., Comerlati, A., Carvalho, T., Gütz, A.-Z., Affatato, A., Baradello, L., Accaino, F., Nieto, D., Martelli, G., Granati, G. (2014) Artificial recharge of the phreatic aquifer in the upper Friuli plain, Italy, by a large infiltration basin. *Environmental Earth Sciences*, v. 73, n. 6, pp. 2579-2593. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3207-8> [Acesso em: 06 Abril 2024].