

Rio de Janeiro, RJ / Junho, 2024

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



## Infiltração e condução da água em solos do Estado do Rio de Janeiro

Alba Leonor da Silva Martins<sup>(1)</sup>, Wenceslau Gerales Teixeira<sup>(1)</sup>, Marta Vasconcelos Ottoni<sup>(2)</sup>, Aline Mari Huf dos Reis<sup>(3)</sup>, Letícia Guimarães Pimentel<sup>(3)</sup> e Mayara Magalhães da Gama de Lima<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Pesquisadores, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. <sup>(2)</sup> Pesquisadora, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), Rio de Janeiro, RJ. <sup>(3)</sup> Bolsista, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. <sup>(4)</sup> Analista ambiental no Instituto Estadual do Ambiente (INEA), Rio de Janeiro, RJ.

**Resumo** – Informações sobre a taxa de infiltração básica de água no solo (TIB), da condutividade hidráulica saturada avaliada no campo (Kfs) e da condutividade hidráulica saturada avaliada em laboratório (Kslab) são necessárias para avaliação dos processos de escoamento superficial, estimativas das taxas de recarga de aquíferos e mananciais superficiais, planejamento dos sistemas de irrigação e modelagem hidrológica do solo, entre outros fins. O principal objetivo deste trabalho foi organizar um banco de dados e disponibilizar as informações de Kfs, Kslab e TIB (em  $\text{mm h}^{-1}$ ) de ocorrência em solos do Estado do Rio de Janeiro. Os dados foram obtidos através de um levantamento bibliográfico a partir de artigos, teses, dissertações, comunicados técnicos e anais de congressos, que originaram um banco de dados (BD-RJ) do grupo de trabalho (GT) de Propriedades Hidráulicas dos Solos Brasileiros (advindo da parceria entre o Serviço Geológico do Brasil e a Embrapa Solos) vinculado à Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Informações sobre a localização dos pontos de avaliação, coordenadas geográficas, métodos de medição, classes de solos, grupamentos texturais e uso e cobertura da terra foram identificadas e descritos de forma padronizada no BD-RJ. No total, o BD-RJ é constituído de 804 pontos amostrais e de 1.037 dados de avaliações distribuídos entre os parâmetros Kfs, Kslab e TIB nos municípios fluminenses de Campos dos Goytacazes, Casimiro de Abreu, Itaboraí, São José de Ubá, Seropédica e Silva Jardim. Os estudos realizados foram publicados entre os anos de 1983 e 2013. Os valores mínimo e máximo variaram de  $0,2 \text{ mm h}^{-1}$  a  $1073 \text{ mm h}^{-1}$  para Kfs, de 0 a  $748 \text{ mm h}^{-1}$  para Kslab e de  $0,3$  a  $562 \text{ mm h}^{-1}$  para TIB.

**Termos para indexação:** transmissão da água no solo, condutividade hidráulica saturada, compilação de dados

## Infiltration and conduction of water in soils in the State of Rio de Janeiro

**Abstract** – Information on soil water infiltration (TIB), saturated hydraulic conductivity measured in the field (Kfs) and saturated hydraulic conductivity measured in the laboratory (Kslab) have been necessary for decision-making in research related to the theme of soil water. The main objectives of this work were to organize a database and make available the information of Kfs,

### Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1024.  
Jardim Botânico  
Rio de Janeiro, RJ  
CEP: 22460-000

Fone: + 55 (21) 2179-4500

[www.embrapa.br/solos](http://www.embrapa.br/solos)  
[www.embrapa.br/fale-conosco/](http://www.embrapa.br/fale-conosco/)

### Comitê Local de Publicações

Presidente

Ana Paula Dias Turetta

Secretário-executivo

Marcos Antônio Nakayama

Membros

Bernadete da Conceição  
Carvalho Gomes Pedreira, David  
Vilas Boas de Campos, Evaldo  
de Paiva Lima, Helga Restum  
Hissa, José Francisco Lumberas,  
Joyce Maria Guimarães Monteiro,  
Lucia Raquel Queiroz Pereira  
da Luz, Maurício Rizzato Coelho,  
Wenceslau Gerales Teixeira

Edição executiva

Marcos Antônio Nakayama

Normalização bibliográfica

Luciana Sampaio de Araujo  
(CRB 7/5165)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Alexandre Abrantes Cotta de Mello

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

Kslab and TIB ( $\text{mm.h}^{-1}$ ) of occurrence in soils of the State of Rio de Janeiro. Data extraction consisted of a bibliographic survey digitized from published articles, theses, dissertations, technical and annual conference scans that originated in the database (BD) of the working group (GT) Soil Hydraulic Properties of Brazil (from the partnership between the Geological Service of Brazil and Embrapa Solos) linked to SBCS - Brazilian Society of Soil Science, and added to other references by the LAMAS team - Laboratory of Soil Water Evaluation and Modeling. Information on geographic coordinates/location, measurement methods, soil classes, textural groups and land use were identified and related to the evaluation points. In total, the database consisted of 804 data and consisted of 1037 evaluation data distributed among the parameters Kfs, Kslab and TIB distributed in the municipalities of Campos de Goytacazes, Casimiro de Abreu, Itaboraí, São José de Ubá, Seropédica and Silva Jardim. Research sources covered references from 1983 to 2013. The variability between the minimum and maximum values has varied from 0.2 to 1073  $\text{mm.h}^{-1}$  for Kfs, from 0 to 748  $\text{mm.h}^{-1}$  for Kslab and from 0.3 to 562  $\text{mm.h}^{-1}$  for TIB.

**Index terms:** Transmission of water in the soil, saturated hydraulic conductivity, data compilation.

## Introdução

O solo é um substrato para a produção agropecuária, em especial como suporte à produção de alimentos. É um desafio da pesquisa organizar informações e elaborar modelos que possam representar de maneira simplificada os parâmetros relacionados ao solo, bem como a complexidade da paisagem, de modo a assegurar o manejo sustentável (Reatto; Passos, 2016).

O movimento da água no solo é um componente importante no estudo de problemas relacionados à produção agropecuária e ao ambiente (Almeida et al., 2017). A água oriunda da precipitação infiltra no solo e, em sua maioria, escorre pela superfície em direção a áreas mais baixas, alimentando os rios, riachos, lagos e oceanos (Braga et al., 2005).

A condutividade hidráulica saturada (Kfs) é a velocidade com que a água percola no interior de um solo saturado, sendo, portanto, considerada um parâmetro chave em muitas aplicações de modelagem hidrológica, hidrogeológica e climática, pois controla a divisão entre precipitação, infiltração e escoamento, bem como a previsão de riscos naturais, incluindo inundações catastróficas e deslizamentos de

terra (Gupta et al., 2021). A melhor maneira de se obter esse parâmetro é através de medida direta no campo. Para representatividade do parâmetro, um grande número de avaliações de Kfs é necessário. No entanto, as medidas diretas são muito caras e demoradas. Alternativamente, as funções de pedotransferência (PTFs) são sugeridas para prever os valores usando atributos do solo disponíveis na maioria dos bancos de dados (Abdelbaki, 2021).

Gupta et al. (2021) citam alguns esforços que têm sido feitos para produzir um conjunto de dados confiáveis e espacialmente refinados de propriedades hidráulicas do solo. No Brasil, os mencionados autores citam Ottoni et al. (2018), Tomasella, Hodnett e Rossato (2000), Tomasella et al. (2003) e, num contexto mais global, citam Jarvis et al. (2013), Rahmati et al. (2018) e Schindler e Müller (2017) com banco de dados publicados para propriedades físicas e hidráulicas do solo.

Apesar de algumas iniciativas e abordagens para obtenção de dados físico-hídricos, ainda há déficits, limitações e desafios a serem enfrentados, desde a coleta e organização dos dados até a padronização dos métodos de medição. Diante desse cenário, este estudo teve por objetivo coletar, organizar, analisar e discutir os dados publicados sobre a infiltração e condução da água em solos do estado do Rio de Janeiro e torná-los disponíveis em um banco de dados como referência para uso e aplicação em diversos estudos nas áreas de pedologia, geotecnia, hidrologia, entre outros.

O presente trabalho está alinhado com diversas metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), com especial foco ao ODS 6 (Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos) e no ODS 2 (Fome zero e agricultura sustentável). Para o ODS 6, contribui para os alcances da meta 6.4, a qual pretende aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água; e para o ODS 2, contribui para mais especificamente à meta 2.4, que pretende garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos, por meio de políticas de pesquisa, de assistência técnica e extensão rural, entre outras, visando implementar práticas agrícolas resilientes que aumentem a produção e a produtividade e, ao mesmo tempo, ajudem a proteger, recuperar e conservar os serviços ecossistêmicos, fortalecendo a capacidade de adaptação às mudanças do clima, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, melhorando

progressivamente a qualidade da terra, do solo, da água e do ar.

## Infiltração e condução da água no solo saturado

### Definições e aplicações

A infiltração é o termo que expressa o processo de entrada da água no solo através de sua superfície, por fluxo descendente (Hillel, 1982), e ocorre através da interface solo-atmosfera. A taxa de infiltração básica (TIB) refere-se à quantidade de água (expressa em volume) que atravessa uma unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo (Libardi, 2005). Assim, durante uma chuva, parte do volume de água precipitada pode se infiltrar e se movimentar para baixo e parte pode escorrer pela superfície do solo. Sob chuva ou irrigação contínua, a velocidade de infiltração se aproxima, gradualmente, de um valor mínimo e constante, conhecido como velocidade de infiltração básica (VIB).

A condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_f$ ) é uma propriedade hidráulica intrínseca do solo que expressa a máxima permeabilidade desse meio poroso na condução de água (Prevedello; Armindo, 2015), sendo, portanto, a velocidade com que a água percola no interior de um solo saturado. Esse parâmetro é fortemente dependente do tamanho e da conectividade dos poros, dentre outros fatores (Bhering, 2007).

De acordo com a lei de Darcy, mesmo sendo variáveis fisicamente diversas,  $K_f$  e TIB podem atingir valores numericamente iguais, já que, em condições de gradiente hidráulico unitário e fluxo descendente, a densidade de fluxo (ou taxa de infiltração) se iguala a  $K_f$ . Nesse contexto, o potencial matricial da água no solo se anula, e o solo se encontra saturado (Teixeira et al., 2020).

A  $K_f$  é uma propriedade física de considerável importância para o entendimento da dinâmica da água no solo, como a retenção e absorção pelas plantas (Fabian; Ottoni Filho, 1997). Dados de  $K_f$  têm sido utilizados para a parametrização do *software Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT) que é um dos modelos para estudos da produtividade de culturas (Hoogenboom et al., 2019).

Adicionalmente, informações sobre  $K_f$  e TIB podem viabilizar, em conjunto com outros parâmetros, estimativas de informações sobre classes de drenagem e formação de enxurradas (*runoff* potencial). De acordo com Teixeira et al. (2020), a caracterização de  $K_f$  tem sido muito utilizada no cálculo

de recarga de aquífero por meio da equação do balanço hídrico.

Medições da TIB também são relevantes no cálculo da lâmina de precipitação nos projetos de irrigação, do escoamento superficial ou de infiltração na modelagem hidrológica. De acordo com Leal (2011), em estudos hidrológicos, a avaliação do processo de infiltração associado aos processos de retenção e percolação são imprescindíveis, pois atuam na manutenção da bacia hidrográfica como um reservatório dinâmico, permitindo o armazenamento e a movimentação subterrânea da água.

A avaliação da infiltração da água no solo também pode auxiliar no entendimento da dinâmica erosiva, visto que, quanto menor a TIB, maior a possibilidade de escoamento superficial direto e, portanto, de ações erosivas sobre os terrenos. De maneira oposta, em áreas já atingidas por avançados processos erosivos lineares, registrados pelos voçorocamentos, altas taxas de infiltração podem indicar acréscimo da circulação das águas de subsuperfície, contribuindo para a dinamização da forma erosiva (Mathias; Lupinacci; Moruzzi, 2018).

Quando o solo contém um grande volume de macroporos, o fluxo da água criado por canais de raízes e macro e microfauna edáfica tende a ser aumentado pela alta infiltrabilidade, o que reduz o escoamento superficial. Sob condições de uma agricultura conservacionista, essas redes de macroporos contribuem para reduzir os processos erosivos no solo (Mohanty et al., 1994), e conseqüentemente, minimizam os deslizamentos de terra.

De acordo com Seratto et al. (2019), para a avaliação da taxa de infiltração estável de água no solo (TIE), tem sido utilizado o infiltrômetro de aspersão de Cornell, aperfeiçoado a partir do modelo proposto por Ogden, van Es e Schindelbeck (1997). A TIE avaliada pelo infiltrômetro de aspersão de Cornell pode ser elevada em função de operações de preparo do solo que momentaneamente aumentam a macroporosidade, o que, entretanto, não se sustenta ao longo do tempo. Assim, indicam-se métodos de avaliação complementares, a exemplo do diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES) (Ralisch et al., 2017), ou da avaliação visual da estrutura do solo (VESS) (Ball; Batey; Munkholm, 2007; Guimarães; Ball; Tormena, 2011).

### Métodos de avaliação

A partir de vários estudos, Islam, Mailapalli e Behera (2017) concluíram que muitos dos métodos de avaliação da água no solo podem não ser precisos ou apropriados para todas as condições de solo.

Os métodos mais populares utilizados para obter a condutividade hidráulica em campo tem sido o permeâmetro de Guelph e, em laboratório, o permeâmetro de carga constante (Mohanty; Kanwar; Everts, 1994). Além destes, os métodos *pump out* e o *pump in* foram utilizados no Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana-de-Açúcar na Região Norte Fluminense (Projir) (Farias, 2008). De acordo com Rahmati et al. (2018), os métodos mais frequentemente usados em cerca de 51% dos experimentos no mundo foram os infiltrômetros de disco (disco, minidisco e infiltrômetros de tensão).

O permeâmetro de Guelph (Figura 1) é um equipamento utilizado para medição de condutividade hidráulica saturada em campo utilizando o princípio de Mariotte. Segundo Teixeira et al. (2020), este equipamento é formado, basicamente, por um frasco de Mariotte que está inserido em um reservatório de água que se encontra sobre um tripé flexível para que possa aderir a qualquer área a ser utilizada. O frasco é usado para controlar a carga constante de água no poço. À medida que a água do reservatório se infiltra no solo, o nível de água decresce e, assim, são obtidos os valores de Kfs.

Preferencialmente, as avaliações das propriedades hidráulicas do solo (Kfs e TIB) devem ser realizadas em campo. Porém, esses procedimentos tornam as pesquisas mais difíceis e trabalhosas, justificando, parcialmente, a ausência dessas propriedades em trabalhos que tratam da caracterização física do

solo. Além disso, devido à grande variabilidade espacial e temporal dos solos, os valores encontrados de medição direta da TIB e de Kfs no campo são sempre uma estimativa da realidade, não podendo ser extrapolados para grandes áreas do mesmo solo, ou para diferentes períodos. Leal (2011) recomenda que a determinação da TIB seja executada in situ, da forma mais representativa possível.

Para as taxas de infiltração são utilizados popularmente os métodos de anéis duplo e simples. Também são utilizados o infiltrômetro de aspersão ou simulador de chuva (Alves Sobrinho, 1997) e o infiltrômetro de sulco (Bernardo; Soares; Mantovani, 2006). Métodos que não consideram o impacto da gota da chuva (método do duplo anel e da condutividade hidráulica saturada com o Permeâmetro de Guelph) podem superestimar a infiltração da água (Leal, 2011).

Entre as equações que representam matematicamente o processo da infiltração, as mais conhecidas são as de Kostiaikov, Kostiaikov-Lewis, Philip, Horton e Green-Ampt (Prevedello; Armindo, 2015).

O método utilizado em laboratório nas avaliações de Kslab é o de permeâmetro de carga constante. Esse método consiste na avaliação do fluxo em amostras de solo saturadas até que os valores permaneçam constantes, sendo os valores de Kslab calculados usando diretamente a lei de Darcy (Teixeira; Viana; Donagemma, 2017).

O infiltrômetro de anel simples ou de duplo anel é um equipamento muito utilizado pela facilidade de manuseio em campo (Fabian; Ottoni Filho, 1997). Segundo Coelho, Miranda e Duarte (2000), o funcionamento do infiltrômetro de anel simples (Figura 2) é realizado acrescentando água em um cilindro, e o de duplo anel, consiste em dois anéis concêntricos (Figura 3), acrescentando água no anel externo e, em seguida, no anel interno, onde se mede a variação do volume de água, ou seja, o fluxo de água e o tempo correspondente.

Nas avaliações com infiltrômetro de anel, os cilindros metálicos são inseridos no solo, com uma régua acoplada na parede do cilindro, onde é possível observar as variações do nível da água com o passar do tempo. Com esses dados e área circunscrita no anel, é possível estimar o fluxo de água que se infiltra no solo em determinado tempo (Teixeira et al., 2020).

O método da câmara de fluxo foi utilizado por Fabian e Ottoni Filho (1997) em substituição ao infiltrômetro de anel, em Itaguaí, RJ. O equipamento consiste em um cilindro de aço inox, cujas dimensões são de 80 cm de altura, espessura de 1 mm e com diâmetro de 80 cm. A cravagem da câmara no solo é feita por pressão hidráulica com auxílio de uma base radial metálica e uma mesa de cravação. Após o cravamento da câmara, são feitos os procedimentos semelhantes

Foto: Wenceslau Gerades Teixeira



**Figura 1.** Permeâmetro de Guelph utilizado para avaliação da condutividade hidráulica saturada no campo (Kfs)

Foto: Wenceslau Geraldes Teixeira



**Figura 2.** Infiltrômetro de anel simples (*single ring*) utilizado nas avaliações da taxa de infiltração básica (TIB).

Foto: Matheus Leal Soares das Neves



**Figura 3.** Infiltrômetro de duplo anel utilizado nas avaliações da taxa de infiltração básica (TIB).

do infiltrômetro de anel. Uma das desvantagens do infiltrômetro de anel em comparação a câmara de fluxo, segundo Fabian e Ottoni Filho (1997) é a deformação da estrutura da superfície do solo pela força exercida para fixar o anel, podendo causar rachaduras e, assim, alterar as taxas de infiltração.

## Material e métodos

### A base de dados

A compilação dos dados foi constituída de um levantamento bibliográfico a partir de artigos publicados, teses, dissertações, comunicados técnicos

e anais de congressos, além de outras referências produzidas pela equipe do Laboratório de Avaliação e Modelagem da Água no Solo (LAMAS), da Embrapa Solos. Esse trabalho originou um banco de dados, aqui chamado de BD-RJ. Uma parcela dos dados de BD-RJ foi extraída da base de dados de solos do grupo de trabalho (GT) de Propriedades Hidráulicas dos Solos Brasileiros vinculado à Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS).

A busca por dados de solos referente a iniciativa do GT de Propriedades Hidráulicas dos Solos Brasileiros, foi realizada por pesquisadores e professores associados da SBCS em todos os estados do Brasil. As informações coletadas foram armazenadas numa planilha da Microsoft Excel, segundo uma estrutura padronizada, contendo campos para descrição do local de amostragem, os dados numéricos, os métodos de determinação das propriedades hidráulicas e referência do trabalho de origem.

### Organização das informações

A adição de dados e informações no BD-RJ foi realizada a partir de identificado um local de avaliação que atendia aos seguintes critérios obrigatórios: município, coordenadas geográficas do ponto de avaliação ou do município, métodos de medição de Kfs, VIB e Kslab, classes de solo, granulometria, uso e ocupação do solo e, adicionalmente, quando disponíveis, dados de densidade do solo, densidade das partículas, porosidade e carbono orgânico do solo.

A base de dados analisada neste estudo contém a descrição e dimensão das variáveis listadas (metadados) na Tabela do Anexo A.

As informações de classe taxonômica de solo foram atualizadas segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018) em função da classe original descrita no trabalho e dados disponíveis. O sistema de uso e cobertura da terra foi também reclassificado segundo os critérios adotados no Projeto MapBiomass (2020), utilizando as classes de uso: agricultura, pastagem, floresta e formação natural sem floresta.

### Análises estatísticas e interpretação dos dados

Os dados do BD-RJ foram submetidos às análises estatísticas descritivas utilizando o *software* R versão 4.2.1 (R Core Team, 2020). Foram estimados os valores de média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, máximo, mínimo, intervalo interquartilício e o número de observações dos parâmetros (Kfs, VIB e Kslab) e dos dados listados. Os resultados foram apresentados por meio de gráficos *box plots* que viabilizam uma visão integrada de medidas de posição,

**Tabela 1.** Classes dos valores de condutividade hidráulica saturada (Kfs).

Condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ )					
Muito baixa	Baixa	Moderadamente baixa	Moderadamente Alta	Muito alta	Alta
$Kfs < 3,6$	$0,036 \leq Kfs < 0,36$	$0,36 \leq Kfs < 3,6$	$3,6 \leq Kfs < 36$	$36 \leq Kfs < 360$	$Kfs \geq 360$

Fonte: Soil Science Division Staff (2017).

dispersão, assimetria, valores extremos e discrepantes (*outliers*). Os valores de Kfs foram classificados segundo os critérios apresentados na Tabela 1, que apresenta um sistema de classificação dos valores de condutividade hidráulica saturada (Kfs) (Soil Science Division Staff, 2017) em seis classes para interpretação dos dados, com valores em  $\text{mm h}^{-1}$ .

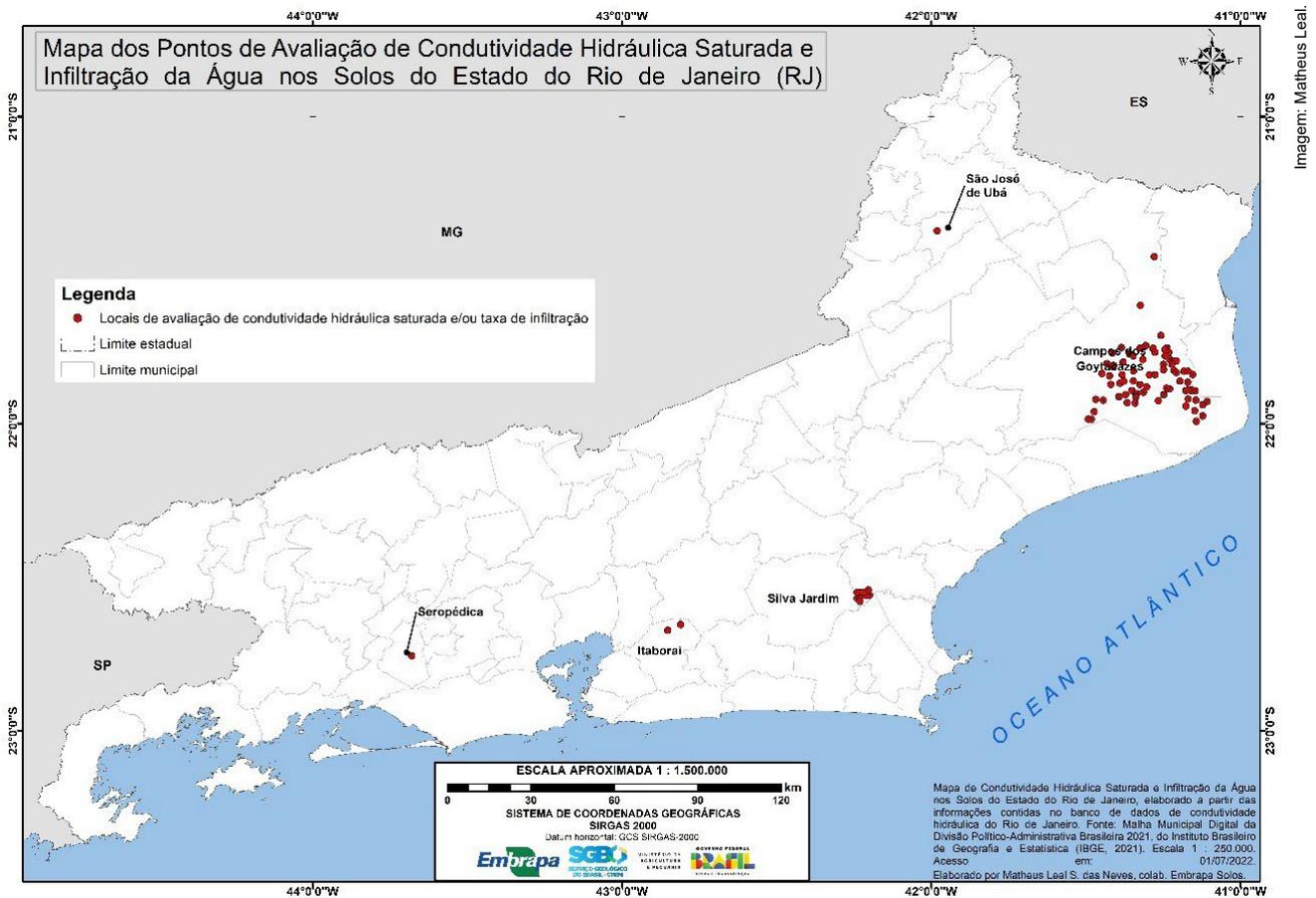
O banco de dados (BD-RJ) e os scripts desenvolvidos para análises estáticas e gráficas dos dados no software R estão disponíveis no Repositório de Dados de Pesquisa da Embrapa (Redape), publicado na seção de Agroecossistemas, recursos naturais e meio ambiente (Embrapa, 2024; Martins et al., 2024).

## Resultados e discussão

### Localização dos pontos de avaliação

O BD-RJ é constituído de 804 pontos de avaliação e 1.037 dados de avaliação, sendo destes 729 dados de (Kslab), 165 de (Kfs) e 143 dados da taxa de infiltração básica (TIB). São as seguintes fontes de dados, em ordem cronológica de publicação: Projir (Instituto do Açúcar e do Alcool, 1983), Fabian e Ottoni Filho (1997), Bernardes (2005), Bhering (2007), Leal (2011), Silva (2011) e Nacinovic (2013).

Na Figura 4, pode-se observar a distribuição espacial dos pontos de avaliação da Kfs, Kslab e TIB dos solos do Estado do Rio de Janeiro. Os estudos foram realizados nos seguintes municípios do Estado do Rio de Janeiro: Campos dos Goytacazes (679),



**Figura 4.** Mapa dos pontos de avaliação de Condutividade hidráulica saturada e infiltração da água nos solos do Estado do Rio de Janeiro.

**Tabela 2.** Estatística descritiva dos atributos do solo relacionadas aos locais de avaliação de condutividade hidráulica saturada (Kfs) e taxa de infiltração básica (TIB) de água em solos do estado do Rio de Janeiro.

Variáveis	n <sup>(1)</sup>	Média	DP <sup>(2)</sup>	CV(% <sup>(3)</sup> )	Interq. <sup>(4)</sup>	Mediana	Mín.	Máx.
Areia fina (%)	620	21	21	98	24	16	0	97
Areia Grossa (%)	620	14	18	131	26	3	0	76
Silte (%)	804	20	13	66	24	19	0	75
Argila (%)	804	43	21	49	31	45	1	93
Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> )	779	1,2	0,2	10	0,2	1,1	0,2	2,3
Densidade das partículas (g cm <sup>-3</sup> )	387	2,6	0,1	6	0,1	2,6	1,7	2,8
Porosidade (cm <sup>-3</sup> cm <sup>-3</sup> )	779	0,54	0,06	12	0,08	0,55	0,1	0,86
CO (g kg <sup>-1</sup> )	695	19	27	140	15	1,2	0,2	233
Kfs (mm h <sup>-1</sup> )	165	118	191	162	195	0,87	0,2	1073
Kslab (mm h <sup>-1</sup> )	729	57	97	169	66	13	0	748
TIB (mm h <sup>-1</sup> )	143	70	101	144	79,5	34	0,3	562

<sup>(1)</sup>N: número; <sup>(2)</sup>DP: desvio padrão; <sup>(3)</sup>CV: coeficiente de variação; <sup>(4)</sup>Interq.: intervalo interquartilico.

Casimiro de Abreu (4), Itaboraí (72), São José de Ubá (9), Seropédica (8) e Silva Jardim (32).

A Tabela 2 mostra os atributos do solo que estão disponíveis no BD-RJ e seus valores de média, mínimo, máximo, mediana, intervalo interquartilico, desvio padrão e coeficiente de variação. A elevada variabilidade da Kfs e TIB é demonstrada pelo desvio padrão das médias, considerando as fontes de incertezas nas metodologias de avaliação dos dados que não apresentam distribuição normal (Warrick; Nielsen, 1980). De fato, outros autores (Mesquita; Moraes, 2004; Warrick; Nielsen, 1980) já constataram que a condutividade hidráulica saturada (Kfs) e a infiltração (TIB) são parâmetros bastante variáveis e apresentam comumente coeficiente de variação acima de 50%.

Estudos que apresentam desvio padrão maior que o valores médios da TIB e Kfs são apresentados também por Bagarello e Giordano (1999) na Itália, e no Brasil por Miguel, Vieira e Grego (2009). Adicionalmente, dados de TIB e Kfs não apresentam distribuição normal (Calheiros et al., 2009; Cichota; Lier; Leguizamón Rojas, 2003; Teixeira, 2001) e talvez sejam melhor representados pela mediana ou pela distribuição de frequência lognormal, o que se justifica se houver um grande número de avaliações (Teixeira; Viana; Donagemma, 2017).

Dentre os 1.037 dados, 70% são avaliações de Kslab, 16% de Kfs e 14% de TIB, indicando que as

avaliações no laboratório (Kslab) são maioria, devido, possivelmente, a dificuldade de obtenção desses dados em campo.

A elevada amplitude entre os valores máximo e mínimo de Kfs, Kslab e TIB é conhecida na literatura (Gupta et al., 2021; Rahmati et al., 2018), tendo sido encontrado no BD-RJ valores que variaram entre 0,2 mm h<sup>-1</sup> a 1.073 mm h<sup>-1</sup> para Kfs, entre 0 mm h<sup>-1</sup> a 748 mm h<sup>-1</sup> para Kslab e entre 0,3 mm h<sup>-1</sup> a 562 mm h<sup>-1</sup> para TIB (Tabela 2).

Diversos métodos e instrumentos foram utilizados nos pontos de avaliação da Kfs e TIB, os mais comuns na base de dados foram o permeâmetro de Guelph, o *pump out*, o *pump in* e o duplo anel de campo, e o permeâmetro de carga constante de laboratório (Tabela 3).

O banco de dados Soil Water Infiltration Global (SWIG) inclui dados de 54 países, com as principais contribuições do Irã, China e E.U.A. No total, 5023 medições de infiltração foram coletadas em todos os continentes. Além de sua extensa cobertura geográfica, as pesquisas abrangem dados desde 1976 até o final de 2017. Informações básicas sobre local e método de medição, propriedades do solo e uso e cobertura da terra foram coletadas junto com os dados de infiltração, tornando o banco de dados valioso para o desenvolvimento de funções de pedotransferência (PTFs) para estimativa de propriedades hidráulicas do solo (Rahmati et al., 2018).

**Tabela 3.** Métodos e instrumentos utilizados para as avaliações de infiltração e condutividade hidráulica saturada.

Métodos usados	Instrumentos	N°
Método de campo (condutividade hidráulica saturada)	Permeâmetro de Guelph	57
	<i>Pump out</i>	45
	<i>Pump in</i>	62
	<i>Pump in e pump out</i>	1
Método de laboratório (condutividade hidráulica saturada)	Permeâmetro de carga constante	729
Método de campo (infiltração da água no solo)	Duplo anel	130
	Câmara de fluxo metálica	4
	Outros	9

De acordo com Rahmati et al. (2018), na base global de dados de infiltração da água no solo, os métodos mais frequentemente usados foram os infiltrômetros de disco (disco, mini-disco e infiltrômetros de tensão), os quais têm sido usado em cerca de 51% dos experimentos. No Brasil, dentre os métodos de avaliação de TIB, o infiltrômetro de duplo anel ou anéis concêntricos é um dos mais utilizados (Abreu; Reichert; Reinert, 2004; Bonini et al., 2011; Corrêa, 1985; Medina; Leite, 1985; Teixeira et al., 2020). Para determinação da condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_{slab}$  e  $K_{fs}$ ), os permeômetros de carga constante e o permeômetro de Guelph têm sido bastante utilizados (Teixeira et al., 2020).

As avaliações das propriedades  $K_{sf}$ ,  $K_{slab}$  e TIB foram distribuídas entre as sete classes de solos (Tabela 4) que incluíram os Espodosolos (0,1%), Organossolos (1%), Latossolos (12%), Argissolos

(14%), Neossolos (22%), Cambissolos (23%) e Gleissolos (28%).

As avaliações também abrangeram quase todas as classes texturais do solo de acordo com Santos et al. (2015), exceto a classe textural silte, sendo que as classes argila e muito argilosa somaram mais de 50% dos dados (Tabela 4).

Quanto ao uso do solo e cobertura da terra, os pontos de avaliação ocorreram em áreas com agricultura (68%), pasto (27%), floresta (2%), formação natural sem floresta (1,7%) e plantação florestal (0,6%), e alguns sem informação de uso (0,7%) (Tabela 4). O uso tem sido ressaltado por impactar na estrutura do solo e conseqüentemente na infiltração.

As Figuras de 5 a 13 mostram os gráficos *box plots* com os dados agrupados de  $K_{fs}$ , TIB e  $K_{slab}$  em relação às classes de solo, classes texturais e sistema de uso e cobertura da terra.

**Tabela 4.** Frequência das classes de solo, classes texturais e uso do solo no banco de dados

Classe de Solo (n)	%	Classe textural (n)	%	Uso do solo (n)	%
Argissolo (114)	14%	Areia (50)	6%	Agricultura (549)	68%
Cambissolos (184)	23%	Areia franca (30)	4%	Floresta (18)	2%
Gleissolo (226)	28%	Argila (217)	27%	Formação natural sem floresta (13)	1,7%
Latossolo (96)	12%	Muito argilosa (194)	24%	Plantação florestal (5)	0,6%
Neossolo (174)	22%	Argiloarenosa (74)	9%	Pasto (213)	27%
Organossolo (9)	1%	Argilossiltosa (24)	3%	Sem informação de uso (6)	0,7%
Espodosolo (1)		Franca (6)	0,7%		
		Francoargiloarenosa (119)	15%		
		Franco-argilossiltosa (5)	0,6%		
		Franco arenosa (44)	5,5%		
		Francoargilosa (37)	4,6%		
		Franco-siltosa (4)	0,6%		

### Infiltração e condução da água em função das classes de solo

Nas Figuras de 5 a 13, as caixas (boxes) e as barras (whiskers) com maior comprimento indicam maior variabilidade.

As classes de solos Gleissolos e Cambissolos apresentaram maior quantidade de dados de Kfs (Figura 5), TIB (Figura 6) e Kslab (Figura 7) em relação às demais classes.

As maiores caixas na classe dos Neossolos e Latossolos (Figura 5) mostram uma maior amplitude de variação dos dados. Para Gupta et al. (2021), além da textura do solo, informações sobre a estrutura, tal como a quantificação da macroporosidade ou outros possíveis fatores, como o uso do solo, a formação de crostas, podem, de fato, ser muito mais importantes para essa ampla variação dos dados. Além disso, quando se trata de diferentes regiões, são necessários esforços adicionais para recolher mais informações, uma vez que algumas regiões são particularmente sensíveis às alterações climáticas, o que afetará claramente a hidrologia do solo.

A classe dos Gleissolos mostra as barras com pequena extensão, evidenciando uma menor variabilidade dos dados (Figura 7). Os valores assinalados por círculos vazios (Figura 5) mostram a ocorrência de outliers em todas as classes de solos.

A maior amplitude dos dados de Kfs ocorreu em Latossolos em relação às demais classes de solo, com mediana de  $4 \text{ mm h}^{-1}$ , valor mínimo igual a  $1 \text{ mm h}^{-1}$  e valor máximo de  $998 \text{ mm h}^{-1}$  (*outlier*), indicando assimetria dos dados e transmissão da água variando de baixa a muito alta, de acordo com os

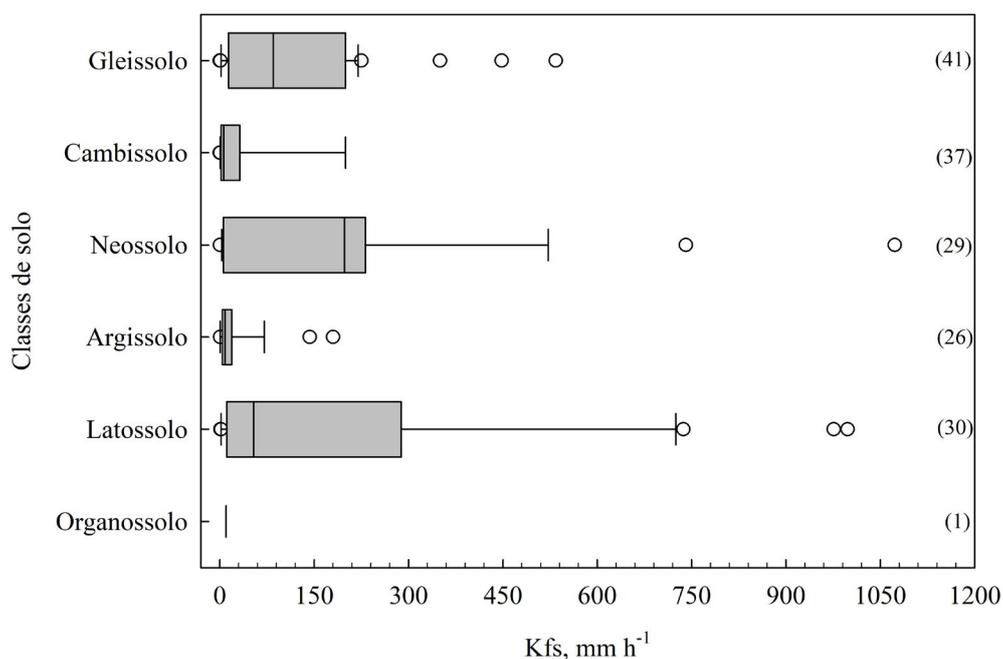
valores de condutividade hidráulica saturada apresentadas na Tabela 1.

Na base de dados Hybras (Ottoni et al., 2018), há 224 parâmetros hidráulicos avaliados em Latossolos com ampla faixa de Kfs, essa amplitude evidencia a grande diversidade de comportamento físico hídrico dentre esses solos, em especial influenciada pela sua mineralogia, desde Fe-oxídicos aos gibbsíticos, muito porosos e permeáveis, em contraposição aos caulíníticos e coesos, menos porosos e permeáveis, onde se esperam valores moderados de Kfs.

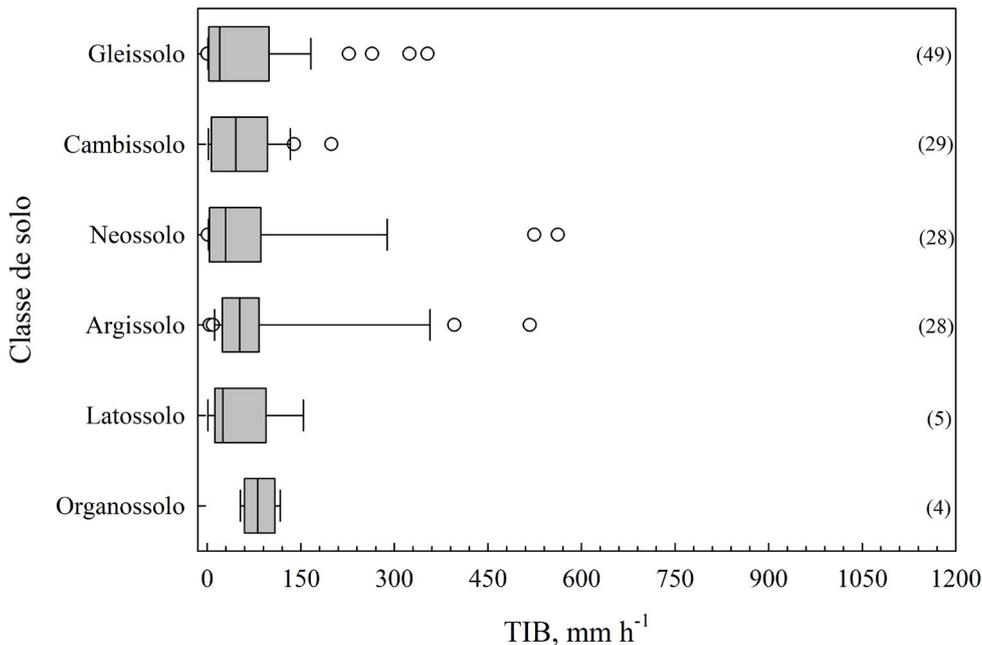
Os Gleissolos apresentaram valores de média e desvio padrão semelhantes ( $127 \text{ mm h}^{-1}$ ), com valor máximo de  $534 \text{ mm h}^{-1}$  (*outlier*) e valor mínimo de  $0,2 \text{ mm h}^{-1}$ , confirmando a alta amplitude que existe em dados de Kfs. De acordo com Teixeira et al. (2020), a grande amplitude de valores de Kfs nos Gleissolos, evidencia uma classe de solos com ampla possibilidade de classes texturais e estruturais.

Nos resultados obtidos para TIB, os Cambissolos se destacaram com uma distribuição mais simétrica em relação às demais classes; a média e o desvio padrão tiveram valores coincidentes de  $54 \text{ mm h}^{-1}$ , o valor mínimo foi de  $2 \text{ mm h}^{-1}$ , mediana de  $46 \text{ mm h}^{-1}$  e valor máximo de  $199 \text{ mm h}^{-1}$ . Para este parâmetro, Argissolos e Neossolos apresentaram as maiores amplitudes com presença de *outliers*.

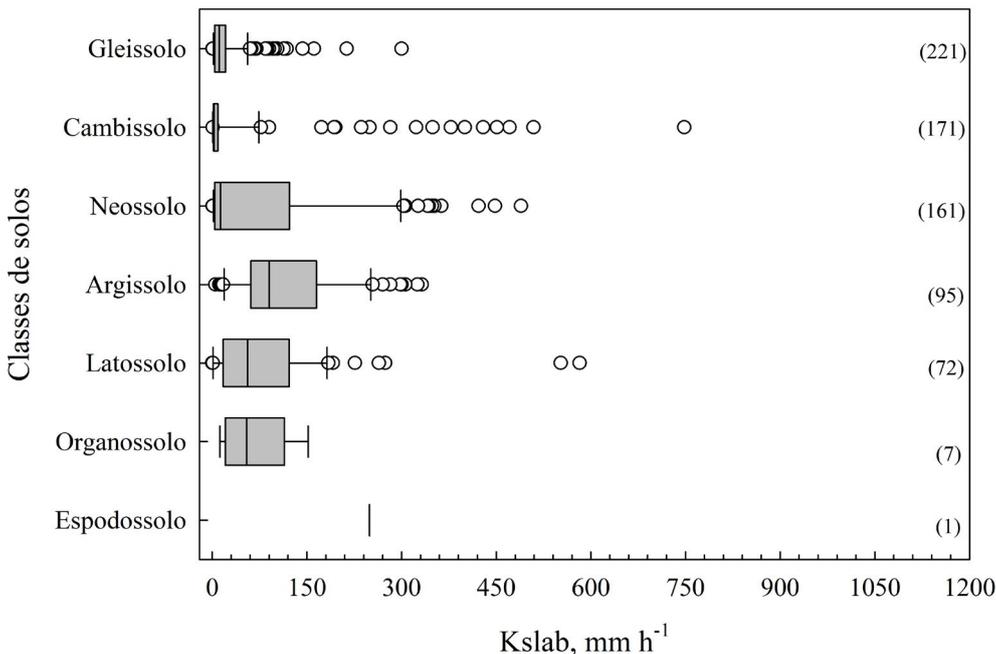
Na avaliação da Kslab, os Gleissolos e Cambissolos apresentaram os dados concentrados em valores baixos, cujas medianas foram, respectivamente,  $11 \text{ mm h}^{-1}$  e  $3 \text{ mm h}^{-1}$ , os quais também apresentaram destaques para os *outliers*.



**Figura 5.** Distribuição de Kfs por classe de solo. Números entre parênteses indicam o número de pontos de avaliação em cada classe.



**Figura 6.** Distribuição da TIB por classe de solo. Números entre parênteses indicam o número de pontos de avaliação em cada classe de solo.



**Figura 7.** Distribuição de Kslab por classe de solo. Números entre parênteses indicam o número de pontos de avaliação em cada classe de solo.

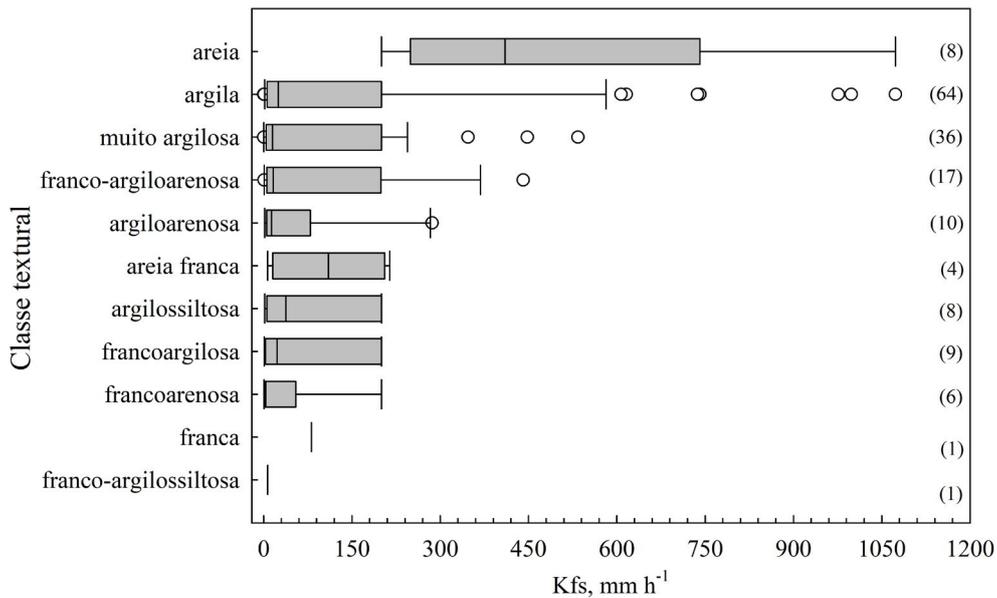
**Infiltração e condução da água em função das classes texturais**

Em relação às classes texturais, a maior quantidade de dados para Kfs (Figura 8), TIB (Figura 9) e Kslab (Figura 10) foram, respectivamente, nas classes argila (64, 49 e 187) e muito argilosa (36, 32 e 189). Porém, para todos os pontos de avaliação, a maior amplitude de variação dos resultados ocorreu na classe areia, com os valores de mediana para Kfs de 354 mm h<sup>-1</sup>, para TIB de 328 mm h<sup>-1</sup> e para

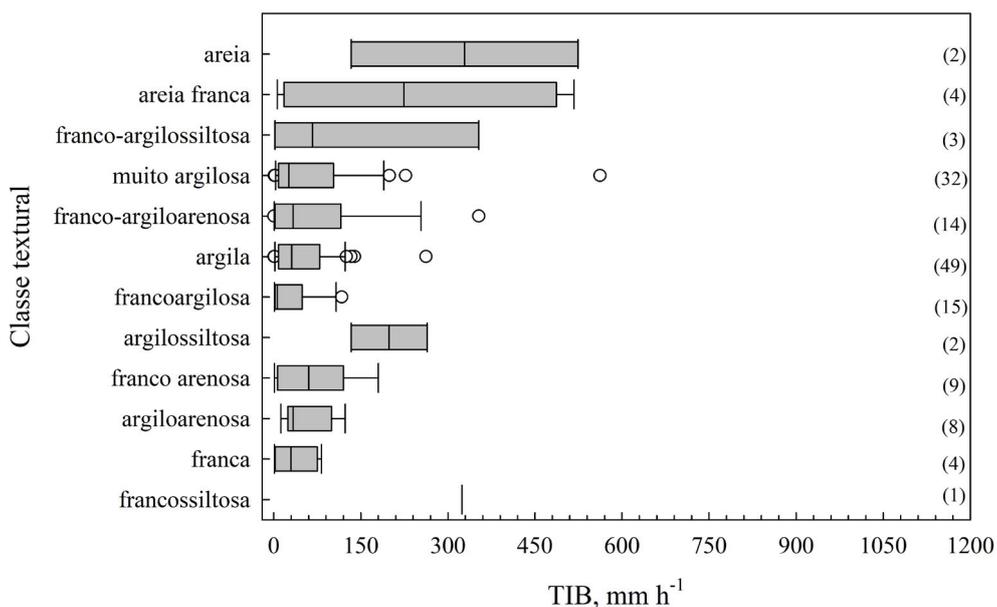
Kslab de 228 mm h<sup>-1</sup>, sendo o máximo valor do banco de dados de 1.073 mm h<sup>-1</sup> encontrado para Kfs em solo de textura areia (Figura 8). Teixeira et al. (2020), em avaliações de propriedades hidráulicas dos solos do Maranhão, atribuíram as causas de variação dos parâmetros avaliados, às classes de drenagem com presença de impedimentos hidráulicos no perfil ou à representatividade do sistema poroso, em especial macroporos que são agentes reguladores nas estimativas de Kfs.

Esses resultados diferem daqueles apresentados por Gupta et al. (2021) no banco de dados SoilKsatDB, num total de 13.267 medições de condutividade hidráulica saturada de 1910 locais foram reunidos a partir da literatura publicada. Os autores encontraram uma maior variação nos valores de Kfs em solos de textura argilosa, o que, segundo eles, indica possível efeito da estrutura do solo na determinação do Kfs.

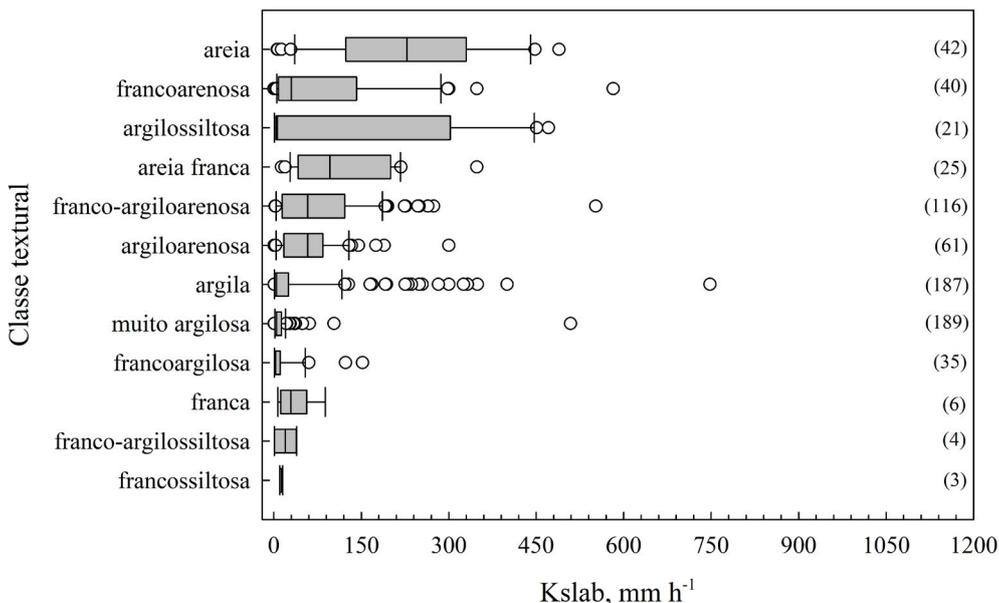
Além disso, os valores de Kfs obtidos a partir das medições de campo (Kfs médio de 110 cm dia<sup>-1</sup>) foram geralmente mais altos do que as medições no laboratório (Kslab de 8 cm dia<sup>-1</sup>). Isso provavelmente devido ao impacto de macroporos em medições de campo, corroborando com os resultados de Kfs para solos de textura argilosa encontrados nesse banco de dados (Figura 5) em relação aos menores valores de Kslab (Figura 7).



**Figura 8.** Distribuição de Kfs por classe textural. Números entre parênteses indicam o número de pontos de avaliação em cada classe textural.



**Figura 9.** Distribuição de TIB por classe textural. Números entre parênteses indicam o número de pontos de avaliação em cada classe textural.



**Figura 10.** Distribuição de Kslab por classe textural. Números entre parênteses indicam o número de pontos de avaliação em cada classe textural.

**Infiltração e condução da água em função do uso e cobertura da terra**

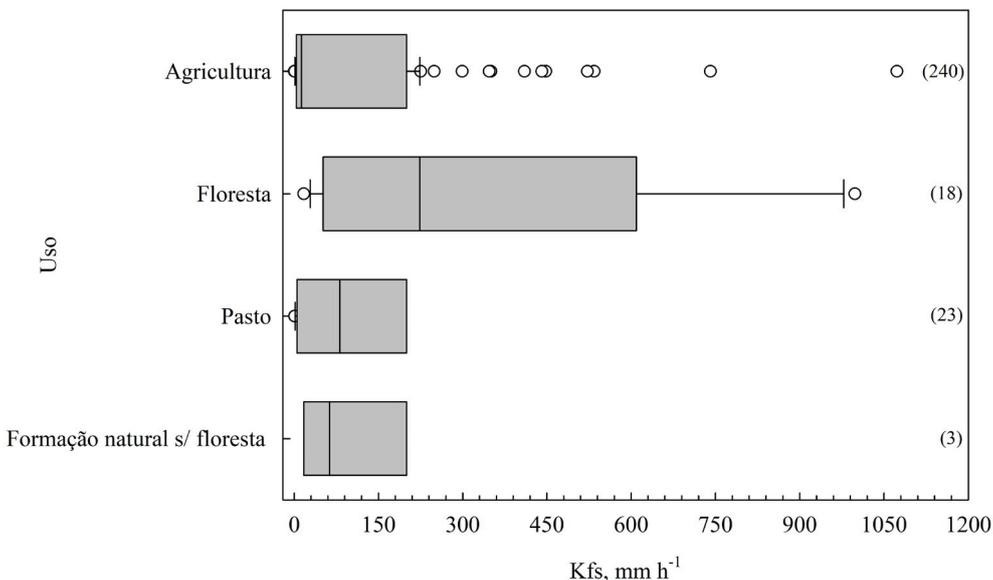
O maior quantitativo dos dados avaliados de Kfs (Figura 11), TIB (Figura 12) e Kslab (Figura 13) em relação ao uso e cobertura da terra foram, respectivamente, em áreas de agricultura (240, 95 e 514). A maior amplitude de variação dos dados de Kfs ocorreu em área de floresta, com valor da mediana igual a 223 mm h<sup>-1</sup> e valor máximo de 1.073 mm h<sup>-1</sup>.

De acordo com Islam, Mailapalli e Behera (2017) no que diz respeito aos usos da terra, os autores concluíram que as medidas de Kfs foram altamente afetadas pelos atributos do solo, como textura, porosidade,

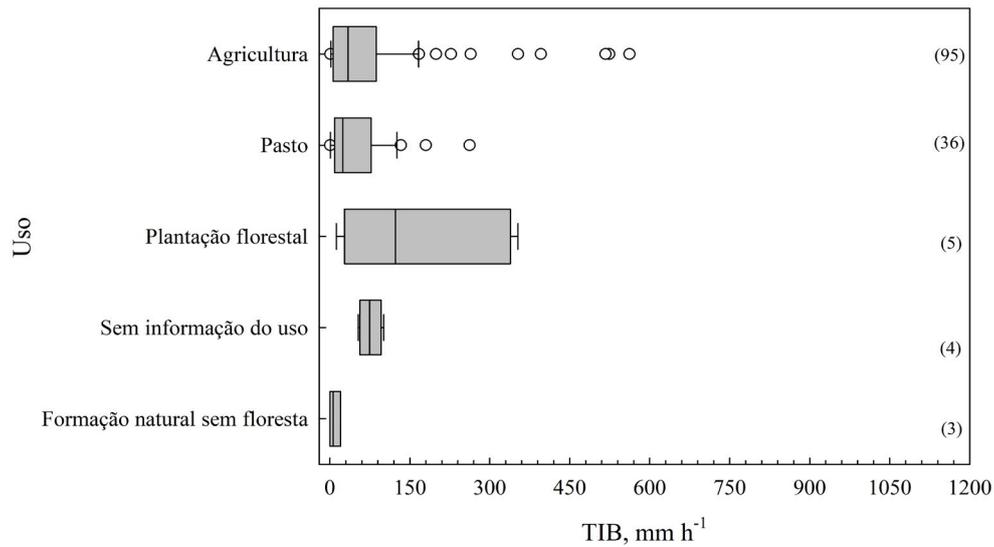
conteúdo de argila e densidade aparente, bem como pelas práticas de manejo em áreas agrícolas.

Para entender a resposta hidrológica dos solos em diferentes tipos de uso e cobertura na bacia do Bonfim, região serrana do Rio de Janeiro, Leal (2011) observou que a cobertura vegetal influencia de maneira positiva na capacidade de infiltração do solo. Neste estudo, os valores de TIB observados nas florestas foram de 2 a 15 vezes maiores que nas áreas agrícolas.

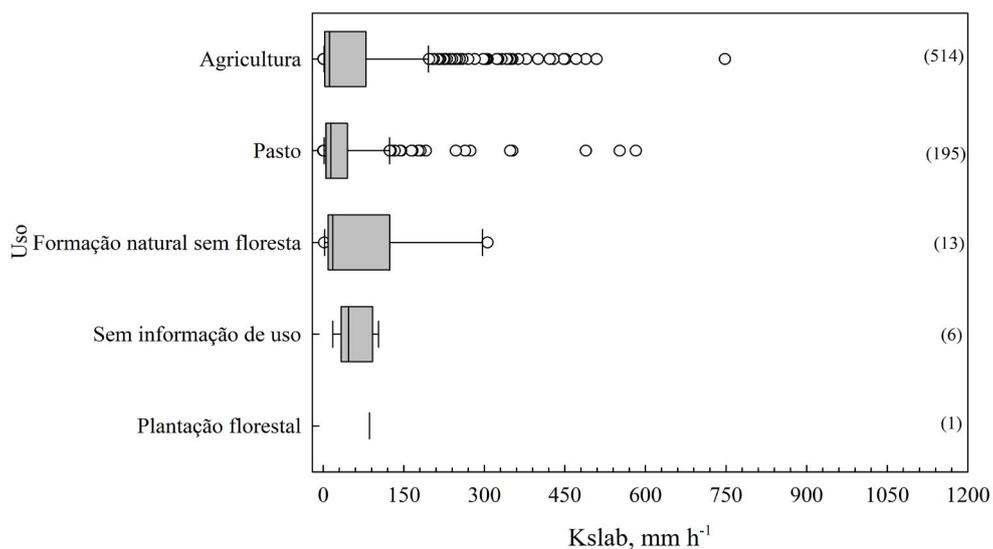
As informações contidas no BD-RJ, apesar dos critérios estabelecidos para inserção dos dados, não eximem as possibilidades dos erros. Entretanto, todas as referências estão aqui citadas.



**Figura 11.** Distribuição de Kfs por uso do solo. Números entre parênteses indicam o número de pontos de avaliação em cada uso do solo.



**Figura 12.** Distribuição de TIB por uso do solo. Números entre parênteses indicam o número de pontos de avaliação em cada uso do solo.



**Figura 13.** Distribuição de Kslab por uso do solo. Números entre parênteses indicam o número de pontos de avaliação em cada uso do solo.

### CONCLUSÃO

A distribuição espacial da infiltração e condutividade hidráulica saturada, organizada e analisada neste banco de dados permite apoiar outros estudos que necessitem de parâmetros hidráulicos em futuras pesquisas no Estado do Rio de Janeiro.

Os valores mínimo e máximo para a condutividade hidráulica saturada avaliada no campo (Kfs) foram de 0,2 mm h<sup>-1</sup> e 1073 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente. Em amostras validadas em laboratório (Kslab), aqueles valores foram de 0 mm h<sup>-1</sup> e 748 mm h<sup>-1</sup>, enquanto que para a taxa de infiltração básica (TIB), foram de 0,3 e 562 mm h<sup>-1</sup>.

A maior variabilidade entre os parâmetros avaliados ocorreu nos Argissolos com coeficiente de variação (CV) de 194% para os dados de Kfs, nos Cambissolos (CV= 288%) para Kslab e nos Neossolos (CV=174%) para TIB.

A maior variabilidade foi também observada na classe textural francoarenosa para os dados de Kfs (CV = 224%), na classe argila para os dados de Kslab (CV = 227%) e na classe muito argilosa para a TIB (CV = 152 %).

Quanto ao uso da terra, a maior variabilidade ocorreu na agricultura para os dados de Kfs (CV=176%) e de TIB (CV=149%) e no pasto para os dados de Kslab (CV=188%).

## Agradecimentos

A Rede ZARC que contribuiu com a bolsa de Mayara Magalhães da Gama de Lima e o CNPq pela bolsa de Iniciação científica de Letícia Guimarães Pimentel.

Ao bolsista de Pesquisa e Inovação do Projeto ZARC Matheus Leal Soares das Neves pela elaboração do mapa dos pontos de avaliação de condutividade hidráulica saturada e infiltração da água nos solos do estado do Rio de Janeiro.

Aos coautores, à pesquisadora Marta Ottoni da CPRM pela dedicação ao banco de dados BD Propriedades Hidráulicas de Solos do Brasil, do qual esse o BD-RJ faz parte. Ao pesquisador Wenceslau Teixeira da Embrapa Solos pela liderança da equipe na busca dos trabalhos científicos e organização dos dados de Kfs, à pesquisadora Aline Mari Huf da UTFPR pela colaboração nos gráficos, na inserção dos dados no BD e revisão de texto, à mestrandia da UERJ Letícia Guimarães pela colaboração no banco de dados e à bolsista Mayara Magalhães Lima pela elaboração do relatório dando suporte a esse documento.

## REFERÊNCIAS

- ABDELBAKI, A. M. Selecting the most suitable pedotransfer functions for estimating saturated hydraulic conductivity according to the available soil inputs. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 12, n. 3, p. 2603-2615, Sept. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.01.030>.
- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000300013>.
- ALMEIDA, K. S. S. A. de; SOUZA, L. da S.; PAZ, V. P. da S.; SILVA, F. T. dos S.; SANTOS, D. N.; PEREIRA, J. da S. L. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado em Latossolo Amarelo Distrocoeso, no município de Cruz das Almas. **Irriga**, v. 22, n. 2, p. 259-274, abr./jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v22n1p259-274>.
- ALVES SOBRINHO, T. **Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil**. 1997. 85 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- BAGARELLO, V.; GIORDANO, G. Comparison of procedures to estimate steady flow rate in field measurement of saturated hydraulic conductivity by the Guelph permeameter method. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 74, n. 1, p. 63-71, Sept. 1999. DOI: <https://doi.org/10.1006/jaer.1999.0437>.
- BALL, B. C.; BATEY, T.; MUNKHOLM, L. J. Field assessment of soil structural quality: a development of the Peerkamp test. **Soil Use and Management**, v. 23, n. 4, p. 329-337, Dec. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2007.00102.x>.
- BERNARDES, R. S. **Condutividade hidráulica de três solos da região Norte Fluminense**. 2005. 69 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/producao-vegetal/wp-content/uploads/sites/10/2018/01/Rejane.pdf>. Acesso em: 7 maio 2024.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. atual. e ampl. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 625 p.
- BHERING, S. B. **Influência do manejo do solo e da dinâmica da água no sistema de produção do tomate de mesa: subsídios à sustentabilidade agrícola do Noroeste Fluminense**. 2007. 211 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/16/teses/716507.pdf>. Acesso em: 7 maio 2024.
- BONINI, A. K.; SECCO, D.; SANTOS, R. F.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Atributos físico-hídricos e produtividade de trigo em um Latossolo sob estados de compactação. **Ciência Rural**, v. 41, n. 9, p. 1543-1548, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000122>.
- BORGES, E.; ANTONINO, A. C. D.; DALL'OLIO, A.; AUDRY, P.; CARNEIRO, C. J. G. Determinação da condutividade hidráulica e da sortividade de um solo não saturado utilizando-se permeâmetro a disco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 11, p. 2083-2089, nov. 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999001100015>.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, L. G. J.; MIERZWA, C. J.; BARROS, M. T. L. de; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGERS, S. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 336 p.
- CALHEIROS, C. B. M.; TENÓRIO, F. J. C.; CUNHA, J. L. X.; SILVA, E. T. da; SILVA, D. F. da; SILVA, J. A. C. da. Definição da taxa de infiltração para dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 665-670, dez. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000600001>.
- CICHOTA, R.; LIER, Q. de J. van; LEGUIZAMÓN ROJAS, C. A. Variabilidade espacial da taxa de infiltração em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 789-798, out. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500003>.

- COELHO, R. D.; MIRANDA, J. H. de; DUARTE, S. N. Infiltração da água no solo: parte II, acúmulo de água sobre a superfície do terreno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 142-145, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000200002>.
- CORRÊA, J. C. Características físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso (typic Acrorthox) do estado do Amazonas, sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 12, p. 1381-1387, dez. 1985. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/112372/1/16391-71342-1-SM.pdf>. Acesso em: 7 maio 2024.
- EMBRAPA. **Redape**: repositório de dados de pesquisa da Embrapa. Disponível em: <https://www.redape.dados.embrapa.br/dataverse/redape>. Acesso em: 13 maio 2024.
- FABIAN, A. J.; OTTONI FILHO, T. B. Determinação de curvas de infiltração usando uma câmara de fluxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 2, p. 325-333, 1997.
- FARIAS, L. N. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos dos solos da Região Norte Fluminense**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/bitstream/tede/268/3/2008%20-%20Luismar%20Nogueira%20Farias.pdf>. Acesso em: 7 maio 2024.
- GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A. Improvements in the visual evaluation of soil structure. **Soil Use and Management**, v. 27, n. 3, p. 395-403, Sept. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00354.x>.
- GUPTA, S.; HENGL, T.; LEHMANN, P.; BONETTI, S.; OR, D. SoilKsatDB: global database of soil saturated hydraulic conductivity measurements for geoscience applications. 2021. **Earth System Science Data**, v. 13, n. 4, p. 1593-1612, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-13-1593-2021>.
- HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York: Academic Press, 1982. 364 p.
- HOOGENBOOM, G.; PORTER, C. H.; BOOTE, K. J.; SHELIA, V.; WILKENS, P. W.; SINGH, P.; WHITE, J. W.; ASSENG, S.; LIZASO, J. I.; MORENO, L. P.; PAVAN, W.; OGOSHI, R.; HUNT, L. A.; TSUJI, G. Y.; JONES, J. W. The DSSAT crop modeling ecosystem. In: BOOTE, K. (ed.). **Advances in crop modelling for a sustainable agriculture**. Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing, 20019. DOI: <http://dx.doi.org/10.19103/AS.2019.0061.10>.
- INSTITUTO DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL (Brasil). **Projeto de irrigação e drenagem da cana-de-açúcar na região Norte Fluminense**. Rio de Janeiro: Sondotécnica Engenharia de Solos, 1983. Projir.
- ISLAM, A.; MAILAPALLI, D.; BEHERA, A. Evaluation of saturated hydraulic conductivity methods for different land uses. **Indian Journal of Ecology**, v. 44, n. 3, p. 456-466, Sept. 2017.
- JARVIS, N.; KOESTEL, J.; MESSING, I.; MOEYS, J.; LINDAHL, A. Influence of soil, land use and climatic factors on the hydraulic conductivity of soil. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 17, n. 12, p. 5185-5195, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-17-5185-2013>.
- LEAL, I. F. **Classificação e mapeamento físico-hídricos de solos do Assentamento Agrícola Sebastião Lan II, Silva Jardim - RJ**. 2011. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: [http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe\\_m/IsaiasFagundesLeal.pdf](http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/IsaiasFagundesLeal.pdf). Acesso em: 13 maio 2024.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 335 p.
- MARTINS, A. L. da S.; TEIXEIRA, W. G.; OTTONI, M. V.; LIMA, M. M. da G. de; PIMENTEL, L. G.; REIS, A. M. H. dos. Infiltração e condutividade hidráulica saturada nos solos do Estado do Rio de Janeiro. In: EMBRAPA. **Redape**: repositório de dados de pesquisa da Embrapa. Disponível em: <https://www.redape.dados.embrapa.br/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.48432/YBZTGJ>. Acesso em: 14 maio 2024.
- MATHIAS, D. T.; LUPINACCI, C. M.; MORUZZI, R. B. Distribuição das taxas de infiltração em áreas afetadas por processos erosivos acelerados e recobertas por materiais antropogênicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 5, p. 923-931, set./out. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018167570>.
- MEDINA, B. J.; LEITE, J. A. Influência de três sistemas de manejo de duas coberturas vegetais na infiltração de água em um Latossolo Amarelo em Manaus-AM. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 11, p. 1323-1331, nov. 1985.
- MESQUITA, M. da G. B. de F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 963-969, maio/jun. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000300052>.
- MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 11, p. 1513-1519, nov. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001100020>.
- MOHANTY, B. P.; ANKENY, M. D.; HORTON, R.; KANWAR, R. S. Spatial analysis of hydraulic conductivity measure using disc infiltrometers. **Water Resources Research**, v. 30, n. 9, p. 2489-2498, Sept. 1994. DOI: <https://doi.org/10.1029/94WR01052>.

MOHANTY, B. P.; KANWAR, R. S.; EVERTS, C. J. Comparison of saturated hydraulic conductivity measurement methods for a glacial-till soil. **Soil Science Society of American Journal**, v. 58, n. 3, p. 672-677, May/Jun. 1994. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800030006x>.

NACINOVIC, M. G. G. **Avaliação de erosão hídrica superficial em parcelas experimentais**. 2013. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: [http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe\\_d/MarioGuilhermeGarciaNacinovic.pdf](http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_d/MarioGuilhermeGarciaNacinovic.pdf). Acesso em: 13 maio 2024.

OGDEN, C. B.; van ES, H. M.; SCHINDELBECK, R. R. Miniature rain simulator for field measurement of soil infiltration. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 4, p. 1041-1043, Jul./Aug. 1997. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100040008x>.

OTTONI, M. V.; OTTONI FILHO, T. B.; SCHAAP, M. G.; LOPES-ASSAD, M. L. R.; ROTUNNO FILHO, O. C. Hydrophysical database for Brazilian soils (HYBRAS) and pedotransfer functions for water retention. **Vadose Zone Journal**, v. 17, n. 1, p. 1-17, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2136/vzj2017.05.0095>.

PREVEDELLO, C. L.; ARMINDO, R. A. **Física do solo com problemas resolvidos**. 2. ed. rev. e ampl. Curitiba: C. L. Prevedello, 2015. 474 p.

PROJETO MapBiomias: projeto de mapeamento anual da cobertura e uso do solo do Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 24 out. 2022.

RAHMATI, M.; WEIHERMÜLLER, L.; VANDERBORGHT, J.; PACHEPSKY, Y. A.; MAO, L.; SADEGHI, S. H.; MOOSAVI, N.; KHEIRFAM, H.; MONTZKA, C.; VAN LOOY, K.; TOTH, B.; HAZBAVI, Z.; AL YAMANI, W.; ALBALASMEH, A. A.; ALGHZAWI, M. Z.; ANGULO-JARAMILLO, R.; ANTONINO, A. C. D.; ARAMPATZIS, G.; ARMINDO, R. A.; ASADI, H.; BAMUTAZE, Y.; BATLLE-AGUILAR, J.; BÉCHET, B.; BECKER, F.; BLÖSCHL, G.; BOHNE, K.; BRAUD, I.; CASTELLANO, C.; CERDÀ, A.; CHALHOUB, M.; CICHOTA, R.; CÍSLEROVÁ, M.; CLOTHIER, B.; COQUET, Y.; CORNELIS, W.; CORRADINI, C.; COUTINHO, A. P.; OLIVEIRA, M. B. de; MACEDO, J. R. de; DURÃES, M. F.; EMAMI, H.; ESKANDARI, I.; FARAJNIA, A.; FLAMMINI, A.; FODOR, N.; GHARAIBEH, M.; GHAVIMIPANAH, M. H.; GHEZZEHEI, T. A.; GIERTZ, S.; HATZIGIANNAKIS, E. G.; HORN, R.; JIMÉNEZ, J. J.; JACQUES, D.; KEESSTRA, S. D.; KELISHADI, H.; KIANI-HARCHEGANI, M.; KOUSELOU, M.; KUMAR JHA, M.; LASSABATERE, L.; LI, X.; LIEBIG, M. A.; LICHNER, L.; LÓPEZ, M. V.; MACHIWAL, D.; MALLANTS, D.; MALLMANN, M. S.; MARQUES, J. D. de O.; MARSHALL, M. R.; MERTENS, J.; MEUNIER, F.; MOHAMMADI, M. H.; MOHANTY, B. P.; PULIDOMONCADA, M.; MONTENEGRO, S.; MORBIDELLI,

R.; MORET-FERNÁNDEZ, D.; MOOSAVI, A. A.; MOSADDEGHI, M. R.; MOUSAVI, S. B.; MOZAFFARI, H.; NABIOLLAHI, K.; NEYSHABOURI, M. R.; OTTONI, M. V.; OTTONI FILHO, T. B.; PAHLAVAN-RAD, M. R.; PANAGOPOULOS, A.; PETH, S.; PEYNEAU, P.-E.; PICCIAFUOCO, T.; POESEN, J.; PULIDO, M.; REINERT, D. J.; REINSCH, S.; REZAEI, M.; ROBERTS, F. P.; ROBINSON, D.; RODRIGO-COMINO, J.; ROTUNNO FILHO, O. C.; SAITO, T.; SUGANUMA, H.; SALTALIPPI, C.; SÁNDOR, R.; SCHÜTT, B.; SEEGER, M.; SEPEHRNIA, N.; SHARIFI MOGHADDAM, E.; SHUKLA, M.; SHUTARO, S.; SORANDO, R.; STANLEY, A. A.; STRAUSS, P.; SU, Z.; TAGHIZADEH-MEHRJARDI, R.; TAGUAS, E.; TEIXEIRA, W. G.; VAEZI, A. R.; VAFAKHAH, M.; VOGEL, T.; VOGELER, I.; VOTRUBOVA, J.; WERNER, S.; WINARSKI, T.; YILMAZ, D.; YOUNG, M. H.; ZACHARIAS, S.; ZENG, Y.; ZHAO, Y.; ZHAO, H.; VERECKEN, H. Development and analysis of the Soil Water Infiltration Global Database. **Earth System Science Data**, v. 10, n. 3, p. 1237-1263, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-10-1237-2018>.

RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. da S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. da S.; BONA, F. D. de. **Diagnóstico rápido da estrutura do solo - DRES**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 63 p. (Embrapa Soja. Documentos, 390). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/160858/1/Doc-390-OL.pdf>. Acesso em: 13 maio 2024.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 13 maio 2024.

SANTOS, R. D. dos; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.

SCHINDLER, U. G.; MÜLLER, L. Soil hydraulic functions of international soils measured with the Extended Evaporation Method (EEM) and 20 the HYPROP device. **Open Data Journal for Agricultural Research**, v. 3, 2017. DOI: <https://doi.org/10.18174/odjar.v3i1.15763>.

SERATTO, C. D.; FRANCHINI, J. C.; SERATTO, F. R.; DEBIASI, H.; SANTOS, E. L. dos; CONTE, O.; MORALES NETO, S.; BRISCHILIARI, V. **Infilômetro de aspersão de Cornell aperfeiçoado: aspectos construtivos, operacionais e de manutenção**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 66 p. (Embrapa Soja. Documentos, 424). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212961/1/DOC-424-final.pdf>. Acesso em: 13 maio 2024.

SILVA, A. de P. **Influência da forma e posição da encosta nas características do solo e na regeneração natural de espécies florestais em áreas de pastagens abandonadas**. 2011. 68 f. (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/bitstream/jspui/1217/2/2011%20-%20Alessandro%20de%20Paula%20Silva.pdf>. Acesso em: 13 maio 2024.

SOIL SCIENCE DIVISION STAFF. **Soil survey manual**. Washington, DC: Government Printing Office, 2017. 603 p. (USDA. Agriculture handbook, 18). Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/The-Soil-Survey-Manual.pdf>. Acesso em: 13 maio 2024.

SOUZA JUNIOR, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; OLIVEIRA, S. W. de; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WEBER, E. J.; LENTI, F. E. B.; PATERNOST, F. F.; PAREYN, F. G. C.; SIQUEIRA, J. V.; VIERA, J. L.; FERREIRA NETO, L. C.; SARAIVA, M. M.; SALES, M. H.; SALGADO, M. P. G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, S.; MESQUITA, V. V.; AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 7, 2735, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12172735>.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 13 maio 2024.

REATTO, A.; PASSOS, R. F. O solo como fator de integração entre os componentes ambientais e a produção agropecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 9, p. xi-xix, set. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900iii>.

TEIXEIRA, W. G. **Land use effects on soil physical and hydraulic properties of a clayey ferralsol in the Central Amazon**. 2001. 268 f. Tese (Doctor Sc. Thesis) – Universitat Bayreuth, Bayreuth. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/197999/1/Land-use.pdf>. Acesso em: 13 maio 2024.

TEIXEIRA, W. G.; OTTONI, M. V.; ARMINDO, R. A.; MARTINS, A. L. da S.; LUMBRERAS, J. F.; SILVA, A. C. da; SILVA, M. B. e; FERREIRA, R. V.; SHINZATO, E. Estimativas e avaliação da velocidade de infiltração e da condutividade hidráulica saturada em solos do estado do Maranhão. In: SILVA, M. B. e; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de (ed.). **Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Maranhão**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. E-book. cap. 15. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/218466/1/Guia-de-campo-da-XIII-RCC-Maranhao.epub>. Acesso em: 13 maio 2024.

TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M.; DONAGEMMA, G. K. Condutividade hidráulica. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 1, cap. 12, p. 125-129. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/194138/1/Pt-1-Cap-12-Condutividade-hidraulica.pdf>. Acesso em: 13 maio 2024.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. G.; ROSSATO, L. Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 1, p. 327-338, Jan. 2000. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.641327x>.

TOMASELLA, J.; PACHEPSKY, Y.; CRESTANA, S.; RAWLS, W.: Comparison of two techniques to develop pedotransfer functions for water retention. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, n. 4, p. 1085-1092, Jul. 2003. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1085>.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. cap. 13, p. 319-344. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-348580-9.50018-3>.

## Anexo A

**Tabela A1.** Descrição das variáveis listadas e analisadas no BD-RJ.

Variáveis	Descrição	Dimensão
Código	Identificador do conjunto de dados de 01 a 958	un
Local	Cidade brasileira	-
Estado	Estado brasileiro	-
Latitude	Coordenada geográfica, latitude	grau decimal
Longitude	Coordenada geográfica, longitude	grau decimal
SiBCS 5ed 1NC	Classificação brasileira do solo primeiro nível categórico	-
Uso e cobertura da terra	Sistema de uso da terra classificado pelo MapBiomass	-
Classe textural do solo	Classificação textural do solo	%
Areia fina	Massa das partículas do solo >0.05 e <0.2mm	%
Areia Grossa	Massa das partículas do solo >0.2 e <2mm	%
Silte	Massa das partículas do solo >0.002 e <0.05mm	%
Argila	Massa das partículas do solo < 0.002 mm	%
Densidade do solo	Densidade do solo	g cm <sup>-3</sup>
Densidade de partícula	Densidade de partícula	g cm <sup>-3</sup>
Porosidade total	Porosidade total determinada considerando os valores de densidade de partícula e a densidade do solo	cm <sup>-3</sup> cm <sup>-3</sup>
CO	Conteúdo de carbono orgânico	g.kg <sup>-1</sup>
Kfs	Condutividade hidráulica saturada no campo	mm.h <sup>-1</sup>
Kslab	Condutividade hidráulica saturada no laboratório	mm.h <sup>-1</sup>
TIB	Taxa de infiltração básica	mm.h <sup>-1</sup>
Classe textural	1:areia; 2: argila; 3: argilosiltosa; 4: franco-argilosiltosa;5: franco-siltosa; 6: muito argilosa	

## Anexo B

### Equipamentos usados para a medição da água no solo



Fotos: Wenceslau Geraldes Teixeira

**Figura B1.** Infiltrômetro de Cornell (A), permeâmetro de Guelph (B), infiltrômetro de anel (anel simples) (C), infiltrômetro de tensão (D).