

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA TAXA DE INFILTRAÇÃO EM JARDIM DE CHUVA**

*Francisco Anderson Paulo Rodrigues<sup>1</sup>; Maria Thereza Rocha Chaves<sup>2</sup> & Teresa Raquel Lima  
Farias<sup>3</sup>*

**Abstract:** The increase in impermeable areas, a consequence of the urbanization process, compromises natural drainage and intensifies surface runoff. To mitigate these impacts, solutions based on sustainable urban drainage, such as rain gardens, have been widely adopted. The effectiveness of these systems depends on the adequate determination of the soil infiltration rate. In this study, four field methodologies were evaluated and compared, in addition to ten indirect equations that correlate soil physical characteristics with the infiltration rate, applied to a rain garden installed on the Fortaleza campus of IFCE. It was found that the simple ring method was the most favorable in terms of execution time, ease of application and savings in water consumption, followed by the methacrylate Infilttest, when compared to the other methods analyzed. Among the indirect equations, the semiempirical models of Hazen and Alyamani and Sen presented the best performance in estimating the infiltration rate in the rain garden studied. It should be noted that the infiltration rate is subject to multiple factors, influenced by the dynamics of hydrological events, variations in the physical properties of the soil and structural changes over time, which reinforces the importance of specific assessments for each situation.

**Resumo:** O aumento de áreas impermeabilizadas, consequência do processo de urbanização, compromete a drenagem natural e intensifica o escoamento superficial. Para mitigar esses impactos, soluções baseadas na drenagem urbana sustentável, como os jardins de chuva, têm sido amplamente adotadas. A efetividade desses sistemas depende da adequada determinação da taxa de infiltração do solo. Nesse estudo, foram avaliadas e comparadas quatro metodologias de campo, além de dez equações indiretas que correlacionam características físicas do solo com a taxa de infiltração, aplicadas a um jardim de chuva instalado no *campus* Fortaleza do IFCE. Constatou-se que o método do anel simples foi o mais favorável em termos de tempo de execução, facilidade de aplicação e economia no consumo de água, seguido do Infilttest de metacrilato, quando comparado aos demais métodos analisados. Dentre as equações indiretas, os modelos semiempíricos de Hazen e de Alyamani e Sen apresentaram melhor desempenho na estimativa da taxa de infiltração no jardim de chuva estudado. Ressalta-se que a taxa de infiltração está sujeita a múltiplos fatores, influenciada pela dinâmica dos eventos hidrológicos, variações nas propriedades físicas do solo e alterações estruturais ao longo do tempo, o que reforça a importância de avaliações específicas para cada situação.

**Palavras-Chave** – Jardim de chuva. Taxa de infiltração. Modelos semiempíricos.

1 e 3) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Departamento de Construção Civil, Fortaleza 60040531, Brasil. E-mails: andersonpaulo025@gmail.com, teresafarias@ifce.edu.br

2) Universidade Federal do Ceará/UFC, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Av. Humberto Monte, s/n, Campus do Pici, Bl. 713, 60451-970 Fortaleza, CE, Brasil. E-mail: mtchaves50@gmail.com

## INTRODUÇÃO

A expansão urbana desordenada, fenômeno decorrente do acelerado processo de urbanização, tem intensificado os desequilíbrios ambientais, comprometendo o bem estar social. Esse crescimento descontrolado é marcado pela substituição de superfícies naturais por áreas impermeabilizadas, agravando impactos hidrológicos, reduzindo a capacidade de infiltração do solo e ampliando os riscos de inundações (AZEVEDO *et al.*, 2022; DANIEL JÚNIOR, 2013; LIMA, 2018; TUCCI, 2005). A impermeabilização das superfícies resulta mudanças na dinâmica hídrica do solo, pois promove o aumento do escoamento superficial e a sobrecarga dos sistemas de drenagem convencionais. Esse fator proporciona maiores ocorrências de alagamentos e cheias, devido a elevação dos picos de recargas, comprometendo a população e deixando-a vulnerável a desastres (MOURA, 2014).

Dentre as alternativas de drenagem sustentáveis conhecidas como técnicas compensatórias de baixo impacto inclusa nas melhores práticas de manejo está o jardim de chuva. O sistema é um dispositivo constituído em camadas que tem por objetivo captar, filtrar e infiltrar a água pluvial no solo, promovendo o seu retorno ao ciclo hidrológico, e favorecendo o reabastecimento dos lençóis freáticos. Nesse tipo de drenagem sustentável, uma das propriedades fundamentais no estudo da eficiência dessas estruturas é a taxa de infiltração, definida como o processo de entrada e percolação de água através superfície do solo. Assim, compreender o comportamento da infiltração da água no solo é um aspecto importante para a análise e modelagem da célula de biorretenção (FAGUNDES *et al.*, 2012; POTT e DE MARIA, 2003; NOGUEIRA *et al.*, 2013).

O desempenho dos jardins de chuva está intimamente interligado a capacidade da estrutura de infiltrar e reter, de forma gradual, o escoamento superficial advindo de superfícies impermeáveis, que exercem influência direta nos processos naturais desenvolvidos pelo ciclo hidrológico (LAMMERS *et al.*, 2022). Entretanto, cada método de obtenção desse parâmetro apresenta aplicações específicas, e dependendo dos objetivos do trabalho e das características do sistema empregado, ficam restritos à aplicação em parcelas experimentais, onde as condições de contorno e técnicas empregadas são bem controladas (BARROS *et al.*, 2014; FAGUNDES *et al.*, 2012).

Souza e Alves (2003) reforçam que é fundamental comparar métodos de obtenção da taxa de infiltração, pois constituem fontes de informações para a seleção do método apropriado às condições específicas do contexto investigativo. Ainda, Florentino *et al.* (2023), Regalado e Muñoz-Carpena (2003), Rodrigues *et al.* (2019) e Oliveira *et al.* (2018) destacam que correlações entre métodos de laboratório, de campo e modelos semiempíricos são raros na literatura, bem como as análises desses resultados encontrados com parâmetros físicos do solo, onde os autores defendem que poderiam explicar melhor o comportamento da infiltração e suas relações com a dinâmica hídrica em regiões onde esses estudos são escassos.

Diante desse cenário, torna-se necessário avaliar metodologias para determinação da taxa de infiltração. Nessa conjuntura, o artigo objetiva correlacionar parâmetros físicos do solo com diferentes métodos de obtenção da taxa de infiltração em um jardim de chuva localizado no município de Fortaleza – CE, a fim de identificar as técnicas que apresentam maior precisão e confiabilidade, visando subsidiar o dimensionamento adequado dessas estruturas.

## MATERIAL E MÉTODOS

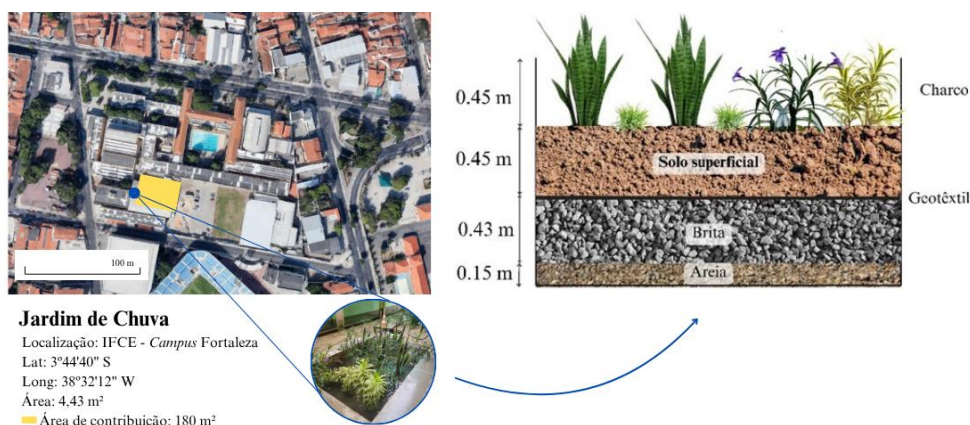
### Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Fortaleza, capital do estado do Ceará. Conforme o último censo realizado em 2022 pelo IBGE (2022), a cidade conta com uma população

de 2.428.708 habitantes, densidade demográfica de 7.775,52 habitantes/km<sup>2</sup>, território é de 312,35 km<sup>2</sup> com 81% da área urbanizada. O clima é classificado como tropical úmido com estações seca e chuvosa distintas e precipitação média anual, de 1430 mm com concentração durante o primeiro semestre do ano, destacando-se nos meses de março e abril (CHAVES, 2024).

Foi realizado um estudo para reconhecer as características geotécnicas do solo do jardim de chuva (Figura 1) implantado no *campus* Fortaleza do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Os ensaios incluíram densidade real do solo de plantio (DNER, 1994), granulometria, massa específica e permeabilidade (ABNT, 2016a; 2016b; 2021). A caracterização e os testes de infiltração foram realizados em dois pontos (P1 e P2) com amostragem a cada 2 m<sup>2</sup> e duas repetições por método (R1 e R2).


Figura 1 – Localização do jardim de chuva.



## Métodos utilizados

Para a determinação da taxa de infiltração no jardim de chuva, foram empregados métodos diretos *in situ* e métodos indiretos baseados em equações semiempíricas. Os ensaios diretos foram realizados no jardim de chuva através de metodologias consolidadas na literatura, como os infiltrômetros de anéis e o teste de rebaixamento sintético, visando avaliar a eficiência, aplicabilidade e representatividade de cada técnica em campo, conforme descrito na Tabela 1. Já os métodos indiretos consistem na aplicação de equações que correlacionam propriedades físicas do solo com a taxa de infiltração. Na Tabela 2 apresenta-se um resumo das metodologias utilizadas, destacando suas principais características e fundamentos.

Tabela 1 – Metodologias *in situ* empregadas neste estudo

Metodologia / Descrição	Referência
 <p><u>Anel simples</u>: chapa metálica cilíndrica, comumente com uma parte cravada ao solo, de modo que não haja vazamento entre o material e o anel.</p>	Oliveira <i>et al.</i> (2018), Medeiros <i>et al.</i> (2022), Jacka <i>et al.</i> (2014), Zukowski <i>et al.</i> (2016).




	<u>Anel duplo</u> : duas chapas metálicas concêntricas também fixadas ao solo, onde o anel externo é um dispersor lateral da água que infiltra no anel interno, evitando com que haja um espalhamento lateral.	Collischonn e Dornelles, (2015), Fagundes <i>et al.</i> (2012), Florentino <i>et al.</i> (2023), Sittisom <i>et al.</i> (2022)
	<u>Infiltest de metacrilato</u> : anel simples com carga variável, dotado de base metálica para fixação no solo e grade ajustável que evita a compactação e o revolvimento da superfície durante o ensaio.	Protótipo desenvolvido e aplicado por Mongil <i>et al.</i> (2013).
	<u>Rebaixamento sintético</u> : simula o escoamento superficial e fornece estimativas mais realistas da taxa de infiltração. Por sua representatividade, foi adotado como referência para a comparação dos demais métodos.	Asleson <i>et al.</i> (2009), Venvik e Googaard (2020) e Winston <i>et al.</i> (2010).

Tabela 2 – Métodos semiempíricos empregados neste estudo

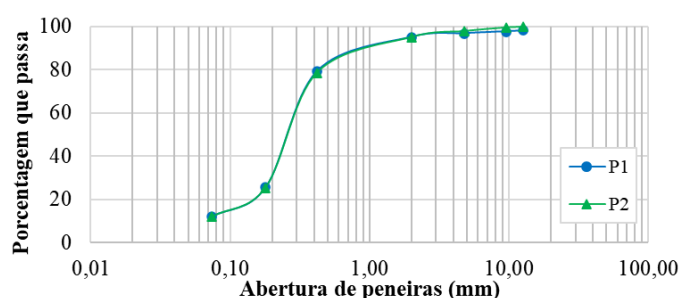
Autores/Referência	Aplicabilidade	Equação
Slitcher (1902)	Tamanho do grão: 0,01 – 0,05 mm	$k = 0,01 \times n^{3,287} d_{10}^2$
Kozeny – Carman (1937)	Permeabilidade em siltes, areias, areias cascalhosas	$k = \frac{1}{180} \left( \frac{n^3}{(n-1)^2} \right) d_{10}^2$
Terzaghi (1995)	Areias muito grossas	$k = 10,7 \times 10^{-3} \left( \frac{n-0,13}{\sqrt[3]{1-n}} \right)$
USBR (1977)	Adequada para areia média	$k = 4,8 \times 10^{-4} \times d_{20}^{2,3}$
Beyer (1964)	Distribuição heterogêneas e grãos mal classificados	$k = 6 \times 10^{-4} \times \log \left( \frac{500}{U} \right) d_{10}^2$
Sauerbrei (Chesnaux <i>et al.</i> , 2011)	Areias e areias siltosas de grande amplitude	$k = \frac{2,436 \times n^3 \times d_{17}^2}{(1-n)^2}$
Chapuis <i>et al.</i> (2005)	Areias com intervalo 0,16 a 1,98 mm	$k = 2,4622 \times \left( d_{10}^2 \times \frac{e^3}{1+e} \right)^{0,7825}$
Alyamani e Sen (1993)	Areias finas e médias	$k = 1,505 \times (I_0 + 0,025 \times (d_{50} - d_{10}))^2$
Hazen (1892)	Areias limpas e cascalhos	$k = C_H \times (d_{10})^2$
Seelhein (1880)	Areias	$k = 0,00357 \times d_{50}^2$

Em que: k é o coeficiente de permeabilidade; n é a porosidade;  $d_{10}$  corresponde ao diâmetro efetivo da partícula, onde 10% do total do solo passa no peneiramento  $d_{20}$  é o diâmetro através do qual 20% do total do solo passa no peneiramento;  $d_{50}$  é o diâmetro através do qual 50% do total do solo passa no peneiramento; e corresponde ao índice de vazios do solo;  $I_0$  é a intersecção formada ligando-se  $d_{10}$  e  $d_{50}$  e projetando-se no eixo do diâmetro das partículas, em mm; e  $C_H$  é o coeficiente de Hazen que varia de 1 a 1000 (adotado 100).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

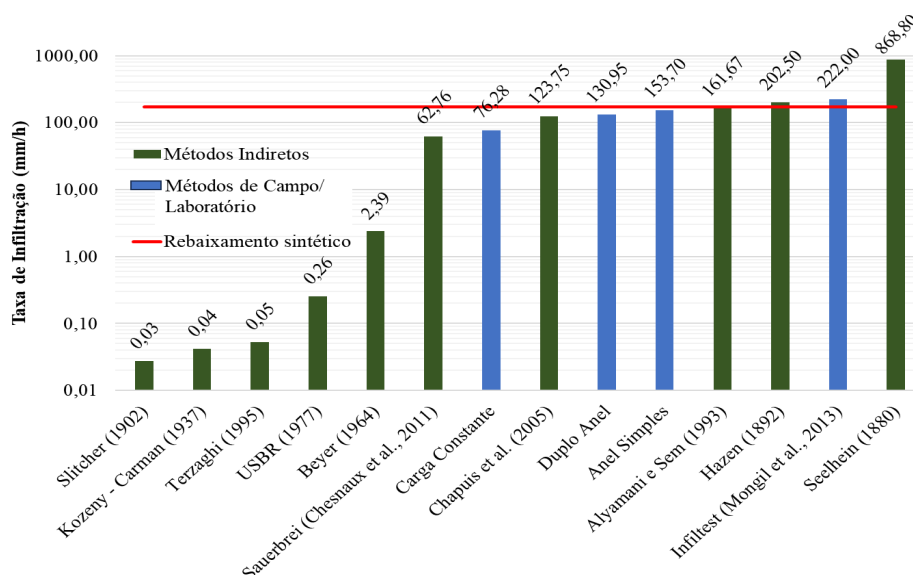
No jardim de chuva a distribuição granulométrica nos pontos P1 e P2 (Figura 2), foram semelhantes e indicaram para a camada superficial de plantio, o material é predominantemente arenoso, correspondendo a 82% de sua composição (11% areia fina, 55% areia média e 16% areia grossa), conforme ABNT (2022). O restante do material é composto por 12% de materiais finos (silte e argila) e 6% de pedregulho. O solo, segundo o diagrama triangular das classes texturais, proposto pelo *United States Department of Agriculture* (USDA), é classificado como areia franca.

Figura 2 – Curva granulométrica do solo de plantio do jardim de chuva.



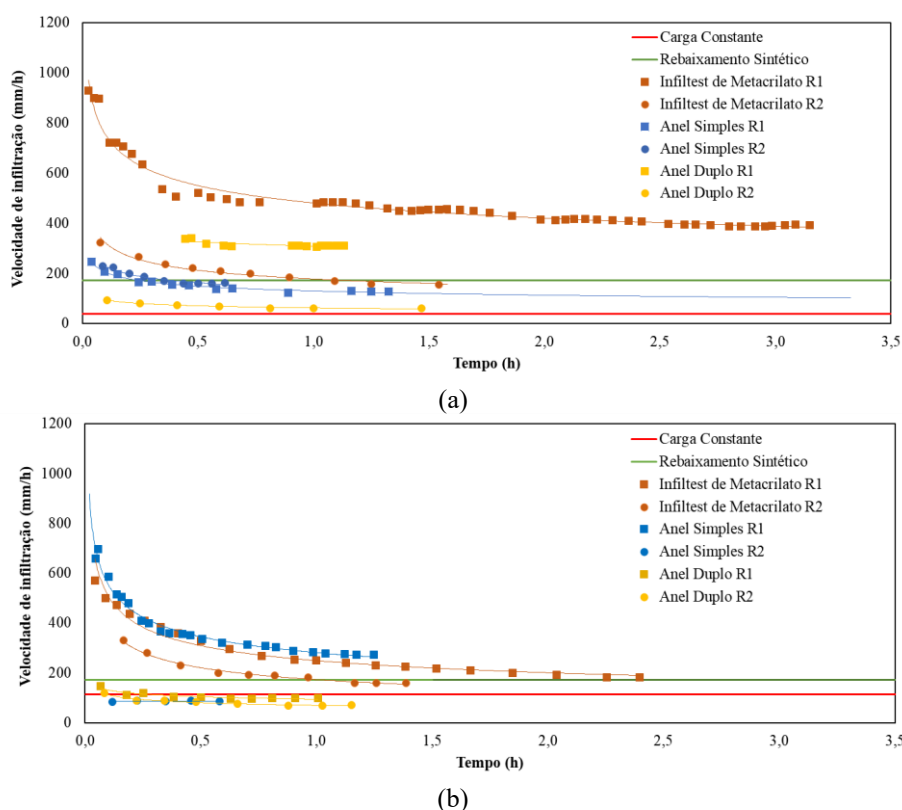
A permeabilidade do solo de plantio, estimada pelo permeâmetro à carga constante, foi de 76 mm/h. Essa propriedade influencia diretamente a infiltração em sistemas de biorretenção, pois promove maior taxa de escoamento infiltrado e reduzindo o tempo de retenção hídrica, o que eleva a eficiência da drenagem (Huang *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2021). Os testes de infiltração, realizados entre novembro e dezembro, utilizaram metodologias *in situ*. A taxa média de infiltração da lâmina superficial, obtida pelo método do rebaixamento sintético, foi de 172 mm/h, com base em 52 eventos de precipitação registrados entre janeiro e maio de 2024. Segundo Woods Ballard *et al.* (2015), valores entre 100 e 300 mm/h atendem aos critérios de desempenho para Sistemas de Drenagem Sustentável, o que confirma a adequação do jardim de chuva analisado. Os resultados das taxas de infiltração estimadas pelas diferentes metodologias são apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Taxas de infiltração (mm/h) no jardim de chuva por metodologia empregada.



A taxa de infiltração variou de 0,02 mm/h a 868,79 mm/h. Considerando todas as metodologias analisadas, com exceção do rebaixamento sintético, a taxa de infiltração foi de 155,51 mm/h. Entre os métodos indiretos, esse valor caiu para 142 mm/h, e para as metodologias de campo esse valor foi mais próximo do estimado pelo real, 169 mm/h. Os modelos de Hazen (1892) e de Alyamani e Sen (1993) mostraram-se mais próximos do estimado pela média dos eventos, enquanto os modelos de Slitcher (1902), Kozeny-Carman (1937), Terzaghi (1995), USBR (1977) e Beyer (1964) subestimaram grosseiramente as taxas de infiltração em comparação com as outras fórmulas avaliadas. O modelo de Sheelhein (1880) apresentou expressiva superestimativa. Para os métodos de campo, o anel simples mostrou-se mais promissor. Na Figura 4 são apresentados os resultados obtidos em campo para os testes de infiltração realizados no jardim. Observa-se que o tempo de drenagem nos métodos limita-se a uma hora e trinta minutos, com exceção das repetições R1 do Infilttest de metacrilato.

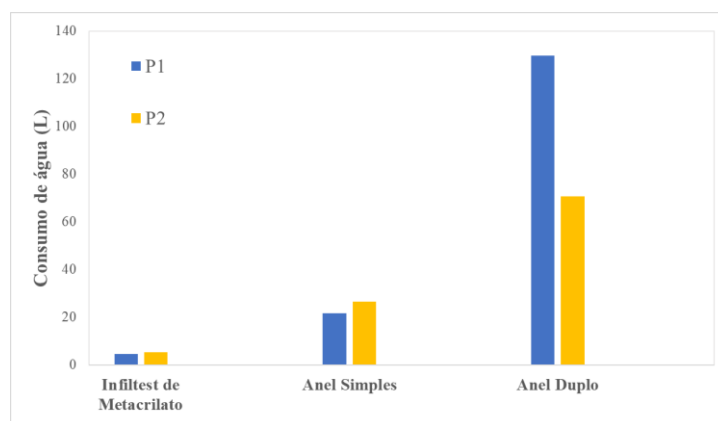
Figura 4 – Curvas de infiltração nos métodos de campo para os pontos (a) P1 e (b) P2.



No ponto P1, verificou-se distanciamento entre as curvas de infiltração obtidas pelos diferentes métodos, com exceção do anel simples, cujos dados apresentaram homogeneidade e proximidade com o teste de rebaixamento sintético. Esse comportamento está associado à constante modificação da camada superficial do solo nesse local, por ser o ponto de entrada do escoamento superficial durante os eventos de precipitação. O estudo de Costa *et al.* (1999), comparou a infiltração em solo utilizando o método do duplo anel e um simulador de chuva, demonstrou que fatores como carga hidráulica, impacto das gotas de chuva e escoamento superficial promovem desagregação e reorganização das partículas do solo, afetando significativamente a taxa de infiltração. Os autores também destacaram que a forma de aplicação da água nos ensaios interfere nos resultados obtidos. No ponto P2, observou-se maior uniformidade entre os métodos, com exceção do anel simples na repetição R2, que apresentou taxa de infiltração inferior. As curvas do anel duplo subestimaram, em

ambos os pontos, a taxa de infiltração do solo, mas tenderam a estabilizar em valores próximos à velocidade de infiltração básica, comportamento influenciado pelo grau de saturação do solo no momento dos ensaios, conforme discutido por Lucas *et al.* (2015). Na Figura 5 são apresentados os valores estimados de consumo hídrico para cada metodologia de ensaio realizada em campo.

Figura 5 – Estimativa do consumo de água por metodologia.



Verificou-se alto consumo de água nos testes com anel duplo em ambos os pontos, especialmente no ponto P1, que exigiu cerca de 50 litros a mais que o ponto P2. Para os métodos do anel simples e do Infiltest de metacrilato, não houve diferença estatisticamente significativa entre os pontos. O Infiltest mostrou-se o método mais econômico, utilizando cerca de quatro vezes menos água que o anel simples e trinta vezes menos que o anel duplo. Zukowski *et al.* (2016), ao realizarem testes em um jardim de chuva na Universidade Villanova, demonstraram que o anel simples é mais eficiente operacionalmente por demandar menor volume de água e tempo, embora estudos e normas internacionais ainda priorize o anel duplo pelo controle do fluxo lateral. Ainda assim, os autores enfatizaram que o anel simples fornece estimativas confiáveis da taxa de infiltração quando aplicado em múltiplos pontos, pois representa bem o comportamento do solo superficial.

## CONCLUSÕES

A correta obtenção da taxa de infiltração é imprescindível para o dimensionamento eficaz de jardins de chuva, pois impacta diretamente no dimensionamento e, consequentemente, na capacidade do sistema em manejar o escoamento superficial. Métodos de *in situ* como o anel simples e o infilttest de metacrilato demonstraram maior consistência e melhor representatividade da dinâmica real do solo nessas estruturas, refletindo a variabilidade espacial, as condições de saturação que influenciam a infiltração e as circunstâncias de manuseio do ensaio. A menor demanda de recursos e a eficiência operacional desses métodos indicam sua facilidade prática em relação ao anel duplo, que, apesar de normatizado internacionalmente, apresenta limitações significativas tanto na precisão quanto na viabilidade de aplicação. Portanto, para garantir a eficiência e a sustentabilidade dos jardins de chuva, é indubitável priorizar metodologias que representam a complexidade e a heterogeneidade do solo em campo, além de ser economicamente mais viável e que promova um menor consumo de água na realização dos testes.

Modelos semiempíricos e indiretos, por sua vez, apresentam variações extremas, subestimando ou superestimando a infiltração, o que compromete sua aplicabilidade direta na obtenção da taxa de infiltração e, consequentemente, no dimensionamento desses sistemas. A baixa representatividade, e

até a incapacidade de alguns desses modelos, de refletir as condições reais do solo superficial do jardim de chuva, frequentemente alteradas pela ação contínua dos eventos pluviométricos e do escoamento superficial, além de alterações sujeitas por agentes externos, reforça a necessidade de ensaios de campo para obter dados confiáveis.

Além disso, a variabilidade observada entre os pontos de teste evidencia que a infiltração é um processo dinâmico e dependente das características locais, exigindo abordagens que considerem essas nuances, como por exemplo uma maior repetição de testes na estrutura. Assim, a escolha do método deve equilibrar precisão técnica e praticidade, assegurando resultados que sustentem o desempenho e a durabilidade das soluções de biorretenção.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pela concessão da bolsa de iniciação científica ao primeiro autor e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado à segunda autora. Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio do projeto “Avaliação de técnicas compensatórias de baixo impacto para o manejo de águas pluviais urbanas” (405958/2023-4).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALYAMANI, M. S.; SEN, Z. (1993). “*Determination of hydraulic conductivity from complete grain-size distribution curves*”. Ground Water, v. 31, n. 4, pp. 551-555.
- ASLESON, B. C., NESTINGEN, R. S., GULLIVER, J. S., HOZALSKI, R. M.; NIEBER, J. L. (2009). “*Performance assessment of rain gardens*”. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA), v. 45, n. 4, p. 1019-1031.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “*NBR 7181: Solo — Análise granulométrica*”. 2. ed. Rio de Janeiro, 2016a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “*NBR 9813: Solo — Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego de cilindro de cravação*”. 2. ed. Rio de Janeiro, 2016b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “*NBR 13292: Solo — Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante*”. 2. ed. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “*NBR 6502: Solos e rochas – Terminologia*”. 2. ed. Rio de Janeiro, 2022.
- AZEVEDO, F. S.; SILVA, G. J. A. D.; SILVEIRA, J. A. R. D.; BARROS FILHO, M. N. M. (2022). “*Simulação hidrológica de biorretenção: análise de eficiência de técnicas compensatórias para mitigar impactos da urbanização*”. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 27, n. 6, 1077-1088.
- BARROS, C. A. P. D.; MINELLA, J. P. G.; TASSI, R.; DALBIANCO, L.; OTTONELLI, A. S. (2014). “*Estimativa da infiltração de água no solo na escala de bacia hidrográfica*”. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, pp. 557-564.
- BURSZTA-ADAMIAK, E.; BINIAK-PIERÓG, M.; DĄBEK, P. B.; STERNIK, A. (2023). “*Rain garden hydrological performance—Responses to real rainfall events*”. Science of the Total Environment, 887, 164153.
- CHAPUIS, R. P.; DALLAIRE, V.; MARCOTTE, D.; CHOUTEAU, M.; ACEVEDO, N.; GAGNON, F. (2005). “*Evaluating the hydraulic conductivity at three different scales within an unconfined sand aquifer at Lachenaie, Quebec*”. Canadian geotechnical journal, v. 42, n. 4, pp. 1212-1220.
- CHAVES, M.T. R. (2024). “*Jardim De Chuva como Solução Baseada na Natureza em Ambiente Tropical Urbano: Critérios de Design, Desempenho Hidrológico e Adaptabilidade Vegetal*”. Dissertação de Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental– Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará.

- CLAYTON, C. R. I. (1995). *“Teoria da Consolidação de Terzaghi e a Descoberta da Tensão Efetiva. (compilado a partir do trabalho de K. Terzaghi e A. W. Skempton)”*. Anais da Instituição de Engenheiros Civis - Engenharia Geotécnica, v. 113, n. 4, p. 191-205.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. (2013). *“Hidrologia para engenharia e ciências ambientais”*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), v. 336.
- CORTEZ, R. M. V.; MOURA, N. C. B.; MACHADO, C. O. J. (2019). *“Análise do desempenho das melhores práticas de manejo para constituição de corredores verdes em Fortaleza – CE”*. Paisagem e Ambiente, v. 30, n. 43, p. e146647-e146647.
- COSTA, L.; RODRIGUES, L.; FARIAS, T.; AGUIAR, M. (2019). *“Determinação do coeficiente de permeabilidade através de métodos indiretos em amostras de areias de duna da cidade de Fortaleza/CE”*. SIMPÓSIO DE SANEAMENTO AMBIENTAL, v. 11.
- DANIEL JUNIOR, J. J. (2013). *“Avaliação de uma biorretenção como estrutura sustentável de drenagem urbana. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)”*. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- de Azevedo Gonçalves, A., de Sousa, E. F., da Silva Lima, I., Salazar, R. D. C., & Gomes Filho, R. R. Determinação da Velocidade de Infiltração Básica da água no Neossolo por meio de anéis de concêntricos na área experimental da UFS. *Ciências Rurais em Foco Volume 2*, 7.
- DEPARTAMENTO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM DA MALÁSIA. (2016). *“Ministério dos Recursos Naturais e Meio Ambiente”*. Urban Storm Water Management (MSMA).
- DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. (1994). *“Solos – determinação da densidade real”*. Norma rodoviária, Método de ensaio. DNER-ME 093.
- DOURADO, L. S.; SILVA, M. A. (2020). *“Jardim de chuva como técnica compensatória: um estudo no município de Goiânia”*. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, GO.
- FAGUNDES, E. A. A.; KOETZ, M.; RUDEL, N.; SANTOS, T. S. D.; Porto, R. (2012). *“Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT”*. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer-Goiânia, v. 8, n. 14, 369-378.
- FERREIRA, L. T. L. M.; NEVES, M. G. F. P.; SOUZA, V. C. B. (2019). *“Método de Puls aplicado a um sistema de biorretenção em escala de lote para simulação de eventos”*. RBRH, v. 24.
- FLORENTINO, R. W.; COELHO, G. R. T.; ZILCH, M. H.; MARTINS, K. G., KUMMER, A. C. B.; VEIGA, T. B. (2023). *“Assessing Horton and Kostikov models focused on estimating soil water infiltration”*. Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação, v. 8, n. 2, pp. 144-155.
- FREITAS, C. F. S. (2004). A produção desequilibrada do meio ambiente urbano de Fortaleza e o papel do movimento ambientalista. ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE E SOCIEDADE, v. 2.
- HAZEN, A. (1892). *“Some physical properties of sands and gravels, with special reference to their use in filtration”*. 24th Annual Report. Massachusetts State Board of Health, Boston.
- IBGE. 2022. Censo 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/indicadores.html>. Acessado em: 14 de abril de 2025.
- JÁČKA, L.; Pavlásek, J.; Kuráž, V.; Pech, P. *“A comparison of three measuring methods for estimating the saturated hydraulic conductivity in the shallow subsurface layer of mountain podzols”*. Geoderma, v. 219, p. 82-88, 2014.
- LAMMERS, R. W.; MILLER, L.; BLEDSOE, B. P. (2022). *“Effects of design and climate on bioretention effectiveness for watershed-scale hydrologic benefits”*. Journal of Sustainable Water in the Built Environment, v. 8, n. 4, p. 04022011.
- LIMA, S. M. S. A. (2018). *“Expansão urbana e sustentabilidade: dinâmica dos padrões espaciais e das alterações na cobertura do solo na cidade de Teresina, Piauí”*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Piauí, Piauí, PI.
- LUCAS, A. H.; SOBRINHA, L. A.; MORUZZI, R. B.; BARBASSA, A. P. (2015). *“Avaliação da construção e operação de técnicas compensatórias de drenagem urbana: o transporte de finos, a capacidade de infiltração, a taxa de infiltração real do solo e a permeabilidade da manta geotêxtil”*. Engenharia sanitária e ambiental, v. 20, pp. 17-28.

- MACEDO, M. B.; LAGO, C. A. F.; MENDIONDO, E. M.; GIACOMONI, M. H. (2019). “*Bioretention performance under different rainfall regimes in subtropical conditions: A case study in São Carlos, Brazil*”. Journal of environmental management, v. 248, 109266.
- MEDEIROS, I. D. S.; SILVA, J. T. G. D.; ARRUDA NETO, J. F. D.; AGUIAR, G. J. D. A.; SILVA, E. L. D.; SILVA, G. L. D. (2022). “*Determinação e análise das características hidrodinâmicas de um solo no agreste pernambucano utilizando a Metodologia Beerkan*”. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 9, n. 22, p. 933-949.
- MELO, T. D. A. T. D.; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. D. S. P.; ANTONINO, A. C. D.; CIRILO, J. A. (2014). “*Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas*”. Ambiente Construído, v. 14, pp. 147-165.
- MONGIL, J.; DÍAZ, V.; NAVARRO, J.; CRUZ, V. (2013). “*Infiltrómetro inundador mejorado de cilindro simple de metacrilato con elementos facilitadores de la medición para test de infiltración económico en campo*”. Proyecto Infiltest. Memoria de investigación. Programa piloto de prototipos orientados al mercado TCUE4. Universidad Católica de Ávila. Ávila.
- MOURA, N. C. B. (2014). “*Biorretenção: tecnologia ambiental urbana para manejo das águas de chuva*”. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- NOGUEIRA, M. L.; ARANHA, P. R. A.; AUGUSTIN, C. H. R. R. (2013). “*Estudo da dinâmica da água infiltrada com o auxílio de método geofísico-Gouveia, Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil*”. Revista Geografias, v. 9, n. 2, p. 21-37.
- OLIVEIRA, D. B. C.; SOARES, W. A.; DE HOLANDA, M. A. C. R. (2018). “*Análise de desempenho de modelos de infiltração unidimensional de água no solo*”. Águas Subterrâneas, v. 32, n. 1, p. 35-42.
- POTT, C. A.; DE MARIA, I. C. (2003). “*Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica*”. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, n. 1, pp. 19-27.
- REGALADO, C. M.; MUÑOZ-CARPENA, R. (2004). “*Estimativa da condutividade hidráulica saturada em solo espacialmente variável com diferentes permeâmetros: uma relação estocástica de Kozeny-Carman*”. Soil and Tillage Research, v. 77, n. 2, p. 189-202.
- SKOROBOGATOV, A.; HE, J.; CHU, A.; VALEO, C.; DUIN, B. V. (2020). “*The impact of media, plants and their interactions on bioretention performance: A review*”. Science of the Total Environment, v. 715, 136918.
- SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. (2003). “*Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 7, p. 18-23.
- TUCCI, C. E. M. (2005). “*Gestão de águas pluviais urbanas*”. Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades.
- USBR U.S. “*Bureau of Reclamation - United States Department of the interior*”. Design of Small Dams. Companhia Editorial S.A. México, D. F. 1977. 639p.
- VENVIK, G.; BOOGAARD, F. C. (2020). “*Infiltration capacity of rain gardens using full-scale test method: effect of infiltration system on groundwater levels in Bergen Norway*”. Land, v. 9, n. 12, p. 520.
- WINSTON, R. J.; HUNT, W. F.; BUSK, K. M.; WOODWARD, M. D.; HARTUP, W. W. (2010). “*Certifying the Landscape Community in Rain Garden Installation: The North Carolina Experience*”. Low Impact Development: Redefining Water in the City, pp. 568-578.
- WOODS-BALLARD, B.; KELLAGHER, R.; MARTIN, P.; JEFFERIES, C.; BRAY, R.; SHAFFER, P. (2007). “*The SUDS manual*”, v. 69. London: Ciria.
- HUANG, J. et al. “*A case in subtropical climate city: Assessing the bioretention hydraulic performance on storm in response to poor permeability soil*”. Journal of Environmental Management, v. 293, p. 112952, 2021.
- ZHANG, S. et al. “*Stormwater retention and detention performance of green roofs with different substrates: Observational data and hydrological simulations*”. Journal of Environmental Management, v. 291, p. 112682, 2021.
- ZUKOWSKI, Z.; EMERSON, C. H.; WELKER, A. L.; ACHEY, B. (2016). “*Evaluation of field hydraulic conductivity data: Comparing spot infiltrometer test data to continuous recession data*”. Geo-Chicago 2016, pp. 517-526.