



I CONGRESSO PERNAMBUCANO DE RECURSOS HÍDRICOS

Água para o Desenvolvimento
Recife, 24, 25 e 26 de Março de 2026

DESEMPENHO HIDRÁULICO DE UM JARDIM DE CHUVA EXPERIMENTAL A PARTIR DE ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO E SLUG TESTS

Jallisson Silva Vieira¹; Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral²

Palavras-chave: Jardim de chuva, infiltração, condutividade hidráulica, slug test, sensor de nível.

INTRODUÇÃO

A urbanização intensifica a impermeabilização do solo, alterando o ciclo hidrológico natural e resultando no aumento do escoamento superficial, na redução da recarga de aquíferos e na degradação da qualidade das águas pluviais (Ahiablame; Engel; Chaubey, 2012). Esses impactos mostram a necessidade de soluções sustentáveis e adaptadas ao contexto local para o manejo das águas pluviais urbanas. Nesse cenário, as Soluções baseadas na Natureza (SbN), como os sistemas de biorretenção (jardins de chuva), têm sido amplamente empregadas por promoverem a atenuação do escoamento por meio da infiltração no solo, além de contribuírem para a recarga subterrânea e a melhoria da qualidade da água (Nemirovsky; Lee; Welker, 2015; Welker *et al.*, 2024). O desempenho hidráulico desses sistemas é fortemente controlado pelas propriedades do solo, pelas taxas de infiltração e pela condutividade hidráulica em sua região subsuperficial (Ebrahimian *et al.*, 2019). Apesar de sua crescente adoção, ainda são escassos estudos experimentais integrados que avaliem, em condições reais de campo, a relação entre infiltração superficial, resposta do lençol freático e eventos de chuva, especialmente em regiões tropicais. Assim, este trabalho apresenta uma avaliação hidráulica de um jardim de chuva implantado na Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI/UPE), com base em monitoramento piezométrico, ensaios de *slug test* e testes de infiltração, visando analisar a capacidade de infiltração e o comportamento subsuperficial do sistema.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido em uma célula do jardim de chuva experimental implantado na POLI/UPE, com área superficial aproximada de 3,7 m². O sistema é composto por camada superficial de solo vegetado, camada de material granular (brita) e solo de entorno natural. Foram instalados três poços/piezômetros com diferentes características construtivas e funções hidráulicas:

¹) Universidade de Pernambuco, R. Real da Torre, 825 - Madalena, Recife-PE, (87)99956-1317, jallisson.svieira@upe.br.

²) Universidade de Pernambuco, R. Benfica, 455 - Madalena, Recife-PE, (81)99987-8260, jaime.cabral@poli.br.

PZ1: poço escavado com 0,60 m de profundidade, revestido com tubo de PVC perfurado, instalado até o fundo da camada de brita, destinado à avaliação do comportamento hidráulico da zona superficial e da interface solo–material granular;

PZ2: poço escavado com 2,20 m de profundidade, revestido com tubo de PVC não perfurado, com entrada de água exclusivamente pelo fundo, utilizado para o monitoramento do nível do lençol freático;

PZ3: poço escavado com 1,1 m de profundidade, sem revestimento, em contato direto com o solo natural, utilizado para representar a resposta hidráulica do meio poroso não perturbado.

Todos os poços apresentaram diâmetro hidráulico aproximado de 100 mm, adotando-se raio interno de 0,05 m. Os PZ1 e PZ2 contam com um sensor ultrassônico de nível da Morayelec modelo ME201W. O sensor mede a profundidade do nível de água com base no princípio do tempo de voo do pulso ultrassônico: o equipamento emite uma onda sonora de alta frequência (ultrassom), direcionada verticalmente para a superfície da água no poço ou tubo de observação, quando a onda atinge a superfície da água, ela é refletida de volta ao sensor que mede o tempo decorrido entre a emissão do pulso e a recepção do eco. No PZ3 o nível da água era medido com leitor manual com fita graduada.

Foram realizados ensaios de *slug test* do tipo *rising head* nos três poços (três réplicas em cada), mediante a inserção instantânea de volumes conhecidos de água e o registro do rebaixamento do nível d'água ao longo do tempo. Os dados foram analisados a partir do ajuste exponencial da relação expressa na Equação 1:

$$\ln\left(\frac{h(t)}{h_0}\right) = \lambda t \quad (1)$$

em que $h(t)$ representa a diferença entre o nível instantâneo e o nível de equilíbrio, h_0 a diferença inicial após a inserção do slug e λ o coeficiente angular da regressão linear.

Para os poços PZ1 e PZ3, a condutividade hidráulica foi estimada pelo método de Bouwer & Rice (1976), considerando fluxo radial em meio não saturado ou parcialmente saturado. Para o poço PZ2, foi adotado o método de Hvorslev (1951), adequado a poços com entrada de fluxo restrita ao fundo, sendo o tempo característico do sistema obtido indiretamente a partir do coeficiente λ . Para esse ensaio também foram feitas três réplicas. Os parâmetros geométricos adotados incluíram comprimento efetivo saturado de 0,60 m (PZ1), 0,55 m (PZ3) e 0,10 m (PZ2), além de raio de influência estimado como 10 vezes o raio do poço para os ensaios analisados pelo método de Bouwer & Rice.

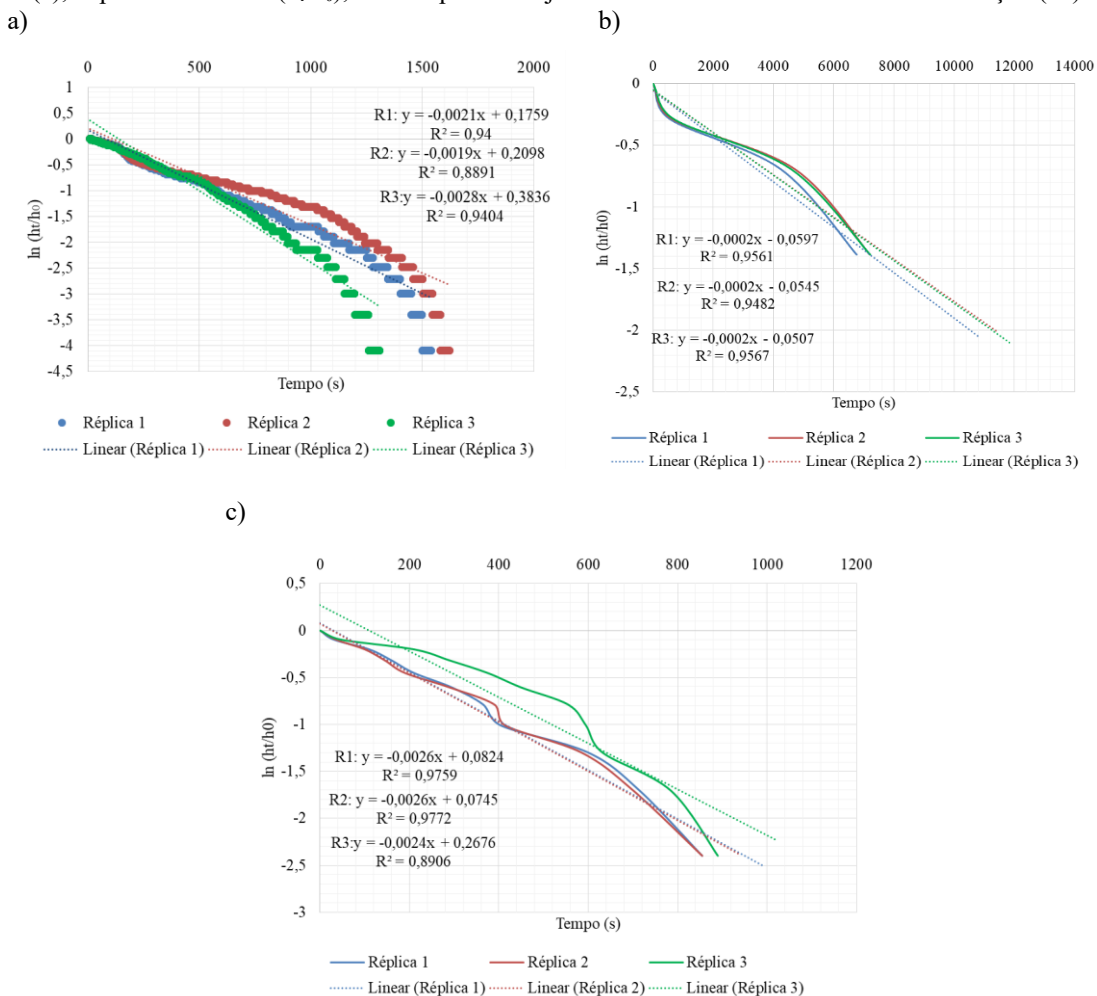
Foram realizados ensaios de infiltração com anel simples na superfície do jardim e no fundo do sistema, a 60 cm de profundidade. Utilizou-se um anel com diâmetro interno de 15 cm, e a infiltração foi monitorada a partir da aplicação sucessiva de volumes conhecidos de água (180 mL), registrando-se o tempo necessário para infiltração de cada volume. A taxa de infiltração foi estimada a partir do regime quase estacionário, desconsiderando-se o primeiro volume aplicado, associado aos efeitos de sucção inicial. A taxa de infiltração foi calculada pela razão entre o volume infiltrado, a área interna do anel e o tempo médio de infiltração, sendo os resultados expressos em m/s e convertidos para mm/h.

RESULTADOS

Os ajustes exponenciais apresentaram coeficientes de determinação elevados (R^2 entre 0,94 e 0,98, conforme mostra a Figura 1), indicando boa representação do processo de dissipação da carga hidráulica. Os valores de condutividade hidráulica estimados

foram da ordem de $3,63 \times 10^{-6}$ m/s para o PZ1, $5,0 \times 10^{-6}$ m/s para o PZ2 e $4,12 \times 10^{-6}$ m/s para o PZ3.

Figura 1 - Curvas de rebaixamento do nível d'água em função do tempo para o PZ1 (a), PZ2 (b) e PZ3 (c), expressas como $\ln(h_t/h_0)$, com respectivos ajustes lineares e coeficientes de determinação (R^2).



O maior valor observado no PZ2 reflete a resposta do meio saturado em profundidade e o mecanismo de escoamento predominantemente vertical, enquanto o menor valor no PZ1 pode estar associado à heterogeneidade da camada de brita e à interface solo-material granular. O PZ3 apresentou valor intermediário, representativo do solo natural.

A taxa de infiltração estimada na superfície do jardim foi de 32,22 mm/h, enquanto no fundo do sistema (60 cm) ficou na ordem de 25 mm/h. Observou-se, portanto, uma redução da capacidade de infiltração com a profundidade, comportamento esperado em função da diminuição da influência de macroporos e do maior controle exercido pela matriz do solo. As taxas de infiltração foram superiores às condutividades hidráulicas estimadas pelos *slug tests*, o que é consistente com as diferenças conceituais entre os métodos, uma vez que o ensaio de anel simples tende a representar um limite superior da capacidade de infiltração superficial.

A comparação entre taxa de infiltração na superfície e no fundo do jardim (f) e condutividade hidráulica (K) indicou a seguinte hierarquia descrita na Equação 2:

$$f_{superfície} > f_{fundo} \sim K \quad (2)$$

Esse comportamento mostra que o jardim de chuva atua como um sistema de armazenamento temporário e retardo, permitindo a infiltração gradual e a percolação em profundidade sem geração de escoamento superficial.

CONCLUSÕES

Os resultados indicam que o jardim de chuva experimental apresentou bom desempenho hidráulico, com elevada capacidade de infiltração e ausência de transbordamento durante o período de monitoramento. As taxas de infiltração medidas na superfície e em profundidade mostraram-se coerentes com as condutividades hidráulicas estimadas a partir dos ensaios de *slug test*, mostrando a consistência entre métodos independentes de avaliação hidráulica. Esses resultados confirmam a eficiência do sistema na promoção da infiltração e no retardo do escoamento superficial, reforçando o potencial dos jardins de chuva como estratégia de infraestrutura verde urbana para mitigação de impactos hidrológicos em áreas urbanizadas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pela bolsa de fomento do primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- AHIABLAME, L. M.; ENGEL, B. A.; CHAUBEY, I. Effectiveness of Low Impact Development Practices: Literature Review and Suggestions for Future Research. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 223, p. 4253-4273, 2012.
- EBRAHIMIAN, A.; SAMPLE-LORD, K.; WADZUK, B.; TRAVER, R. Temporal and spatial variation of infiltration in urban green infrastructure. **Hydrological Processes**, v. 34, n. 4, p. 1016-1034, 2019.
- NEMIROVSKY, E. M.; LEE, R. S.; WELKER, A. L. Vertical and Lateral Extent of the Influence of a Rain Garden on the Water Table. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 141, n. 3, 2015.
- WELKER, A.; BAGHALIAN, S.; FARNSWORTH, M.; TRAVER, R. Quantitative Analysis of the Water Budget of a Rain Garden in Pennsylvania. **Journal of Sustainable Water in the Built Environment**, v. 10, n. 2, 2024.