

## Ensaio preliminares para o dimensionamento de sistemas de infiltração de águas pluviais

### Preliminary infiltration tests for design stormwater infiltration systems

#### RESUMO

Wenes dos Santos Alves  
[wenes@alunos.utfpr.edu.br](mailto:wenes@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, Brasil

Cesar Augusto Medeiros Destro  
[cesardestro@utfpr.edu.br](mailto:cesardestro@utfpr.edu.br)  
Universidade tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, Brasil

O aumento da impermeabilização do solo urbano aliado à falta de planejamento e gestão da água de escoamento superficial desencadeou problemas de drenagem por ocasião dos eventos hidrológicos de alta intensidade. As estruturas de drenagem que promovem a infiltração das águas pluviais podem constituir uma alternativa na gestão das águas superficiais urbanas e minimizar os problemas. Nesse sentido, o presente trabalho objetivou definir a taxa de infiltração de água no solo gramado da UTFPR-Pato Branco para subsidiar o dimensionamento de sistemas sustentáveis de drenagem com foco na infiltração. O trabalho foi realizado utilizando-se do método do infiltrômetro de anel com carga hidráulica constante. Para o ajuste da curva da taxa de infiltração foi utilizado o modelo de Horton. Conclui-se que a taxa de infiltração na área de estudo com cobertura vegetal (grama) é de 0,02 mm/min (ou 12 mm/h). O solo analisado pode ser classificado como franco-argiloso do ponto de vista da taxa de infiltração.

**PALAVRAS-CHAVE:** Escoamento superficial. Sistemas de drenagem urbana sustentável. Teste de infiltração.

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

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



#### ABSTRACT

Urban land use and occupation without infrastructure planning, triggered drainage problems during high-intensity hydrological events. Drainage structures that promote water infiltration may be an alternative to urban water management. In this sense, the present work aimed at defining the soil water infiltration rate at the UTFPR-Pato Branco to support the design of drainage measures focusing on the infiltration. The water infiltration rate in the soil was determined using the double ring infiltrometer method. To adjust the infiltration rate curve, the Horton model was used. The infiltration rate in the study area with vegetation cover (grass) was 0.02 mm/min (or 12 mm/h). The soil in the study area can be classified as clay-loam from the infiltration rate point of view.

**KEYWORDS:** Urban runoff. Sustainable drainage systems. Infiltration test.

## 1. INTRODUÇÃO

A mudança no uso e ocupação do solo urbano, sem o devido planejamento integrado da infraestrutura, desencadeou o surgimento de problemas de drenagem por ocasião dos eventos hidrológicos de alta intensidade (RIGHETTO, 2009). Os problemas com a drenagem urbana foram amplificados no decorrer do tempo devido utilização dos sistemas tradicionais de micro e macrodrenagem. Tais sistemas, objetivam escoar as águas pluviais para jusante da bacia o mais rápido possível, aumentando a capacidade condutora do sistema. No entanto, tem se observado que esta abordagem, além de ser financeiramente dispendiosa, provoca a transferência do ponto de alagamento, exigindo projetos e obras ainda mais caros e complexos (CRUZ; SOUZA; TUCCI, 2007).

Diversos autores (HAASE, 2009; SURIYA, 2012) discutem o impacto da impermeabilização do solo urbano associado aos sistemas tradicionais de drenagem do ponto de vista da hidrologia, e ressaltam que uma mudança de abordagem se faz necessária para garantir a sustentabilidade e resiliência dos ambientes urbanos. Não obstante, as projeções das mudanças climáticas mostram que as chuvas intensas e as inundações se tornarão ainda mais frequentes (BALLARD et al., 2015).

As estruturas de drenagem que promovem a infiltração das águas pluviais (*e.g.* trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, dentre outros) podem constituir uma alternativa na gestão das águas superficiais urbanas. Nesse contexto, o presente trabalho objetivou definir a taxa de infiltração de água no solo gramado da UTFPR-Pato Branco para subsidiar o dimensionamento de sistemas sustentáveis de drenagem com foco na infiltração.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo encontra-se na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), situado no município de Pato Branco, no Sudoeste do Estado do Paraná, com coordenadas geográficas 26°11'48.7" Latitude (Sul) e 52°41'22.1" Longitude (Oeste), altitude aproximada de 760 m, temperaturas médias anuais de 17,1 °C e com clima classificado como subtropical úmido (Cfa).

Figura 1 – Localização dos pontos de ensaio.



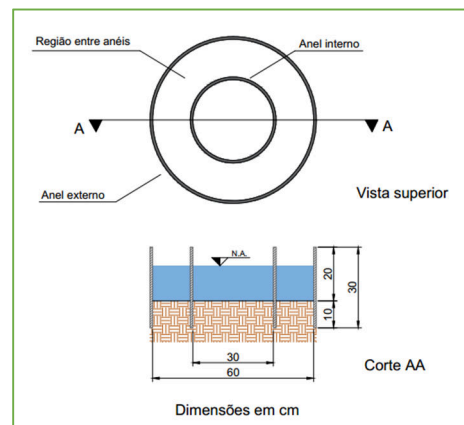
Fonte: Autoria própria (2019)

Os ensaios foram realizados entre os meses de maio e junho de 2019 em dois pontos nas proximidades do bloco M do campus. Como pode ser observado na figura 1. A área dos ensaios é totalmente coberta por grama do tipo Esmeralda (*Zoysia japonica*).

## 2.2. TAXA DE INFILTRAÇÃO

A taxa de infiltração no solo com cobertura vegetal (grama) foi determinada por meio do método do infiltrômetro de anéis concêntricos com carga hidráulica constante. Este método é composto por um anel metálico maior, com 60 cm de diâmetro e 30 cm de altura, e um anel menor, com 30 cm de diâmetro e 30 cm de altura, como apresentado na figura 2.

Figura 2 - Anéis Concêntricos



Fonte: Autoria própria (2019).

Os anéis foram cravados no solo de maneira concêntrica até uma profundidade de 10 cm, como recomenda a ASTM (2018). Introduziu-se água na região entre anéis e no anel interno, sendo as leituras realizadas apenas no anel interno, pois a região entre anéis foi utilizada apenas para neutralizar o efeito da infiltração lateral.

Iniciou-se a contagem de tempo para a infiltração da água no solo, com o nível de água sendo mantido constante a 15 cm, por meio de um reservatório de nível constante para a região entre anéis e um frasco de Mariotte para o anel interno como descrito no item 2.2.

Foram realizadas leituras no frasco de Mariotte em intervalos de tempo de 1, 2, 5, 10 e 15 minutos, totalizando um tempo de 134 minutos no ponto 1 e 119 minutos no ponto 2. O critério de parada para o ensaio foi estabelecido ao obter três valores consecutivos de taxa de infiltração.

Com os valores de infiltração obtidos do ensaio foi utilizado o modelo matemático de Horton (1939) para fazer o ajuste da curva, que é representada pela equação a seguir:

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c)e^{-\beta t} \quad (1)$$

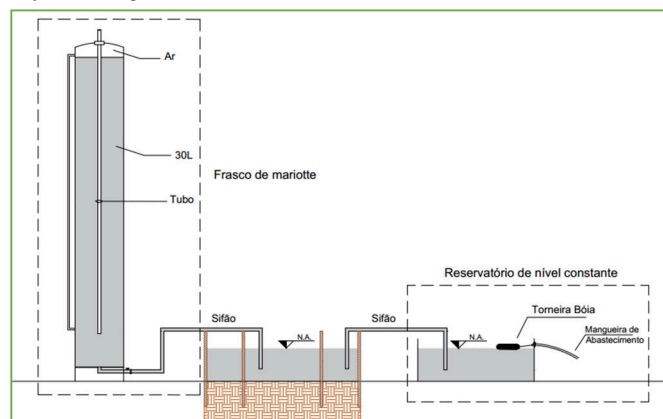
Onde,  $f_p$  é a taxa de infiltração (mm/min) no tempo,  $t$  (min),  $f_0$  é a taxa de infiltração inicial (mm/min),  $f_c$  é a taxa de infiltração estável (ou constante) (mm/min) e  $\beta$  é o coeficiente de decaimento de Horton (minutos<sup>-1</sup>).

### 2.3. FRASCO DE MARIOTTE E RESERVATÓRIO DE NÍVEL CONSTANTE

Na realização do ensaio para obtenção da taxa de infiltração, foi necessário a elaboração de equipamentos com o intuito de manter o nível de água constante dentro do anel interno e na região entre anéis no decorrer do ensaio.

Para a região entre os anéis, foi construído um reservatório de nível constante, que consiste em um recipiente com uma torneira boia. A ligação entre o reservatório e o anel externo é estabelecida por meio de um sifão. O equilíbrio hidrostático entre o reservatório e a região entre os anéis é estabelecido por vasos comunicantes como mostra a figura 3.

Figura 3 - Representação do frasco de Mariotte e do reservatório de nível constante



Fonte: Autoria própria (2019)

Para o anel interno além de manter o nível de água constante dentro do anel, existe uma necessidade adicional de medir o volume de água infiltrada no solo em um intervalo de tempo determinado. Por esse motivo foi exigido uma solução diferente da apresentada para a região entre anéis.

Para cumprir esse objetivo, foi construído um frasco de Mariotte contendo uma mangueira externa transparente de pequeno diâmetro, que possibilita a visualização do nível de água interno e uma régua embutida para medir o decaimento do nível de água no equipamento. A ligação com o anel interno é estabelecida por meio de um sifão como pode ser visualizado na figura 3.

### 2.4. ENSAIO DE UMIDADE

Os ensaios de umidade foram realizados seguindo as recomendações da ABNT (2016) e do manual de métodos de análise de solo da Embrapa (1997). As amostras foram coletadas nos dias dos ensaios de taxa de infiltração com o objetivo de determinar a umidade do solo no momento de execução do ensaio.

Para cada ensaio de infiltração foram coletadas 3 amostras utilizando o anel de Kospecky de bordas biseladas com o objetivo de não deformar o solo. Com as amostras de solo coletadas foram enroladas em papel filme para que não perdesse umidade, em seguida foi levado ao laboratório para serem pesadas e colocadas em estufa.

Os anéis de Kospecky foram pesados antes da coleta das amostras e registrados para o posterior cálculo da umidade. Para o cálculo da umidade foi utilizado a equação recomendada pela ABNT (2016) que é mostrada a seguir:

$$w = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \tag{2}$$

Onde,  $w$  é teor de umidade, expresso em porcentagem (%),  $M_1$  é a massa do solo úmido mais a massa do recipiente, expressa em gramas (g),  $M_2$  é a massa do solo seco mais a massa do recipiente, expressa em gramas (g),  $M_3$  é a massa do recipiente, expressa em gramas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 encontra-se os dados obtidos nos ensaios de umidade do solo.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de determinação do teor de umidade do Solo

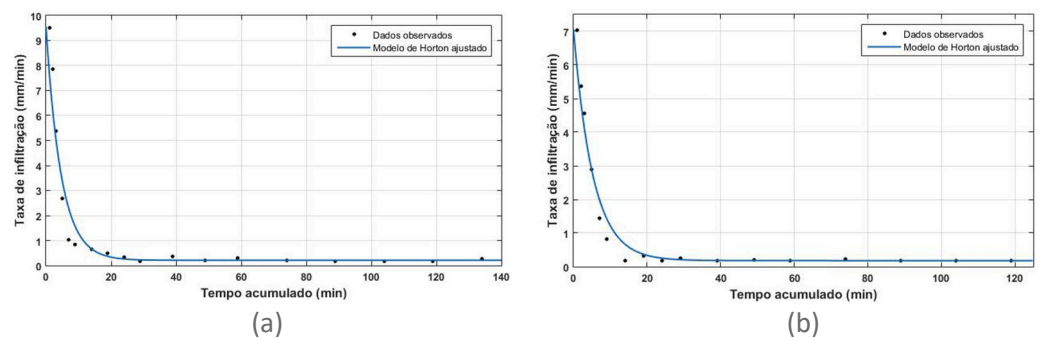
Determinação do Teor de Umidade (%)		
Amostra	Ponto 1	Ponto 2
1	32,47	31,15
2	32,91	30,12
3	30,93	31,01

Fonte: Autoria própria (2019).

Os resultados dos ensaios de umidade do solo mostram pouca variabilidade em ambos os dias de ensaio. Estando o solo levemente úmido ao tato no momento da coleta os valores encontrados no ensaio estão dentro da normalidade, tendo em vista que os teores de umidade variam dependendo do tipo de solo e situam-se geralmente entre 10 e 40%, podendo assumir valores muito baixos no caso de solos secos ou muito altos ultrapassando 150% (PINTO, 2006).

A figura 4 apresenta os dados experimentais obtidos em campo e a curva de infiltração obtida pela aplicação do modelo de Horton.

Figura 4 – Resultados dos ensaios de infiltração. (a) ensaio realizado no dia 16/05 no ponto 1 e (b) ensaio realizado no dia 11/06 no ponto 2.



Fonte: Autoria própria (2019)

Observou-se que as taxas de infiltração inicial são divergentes mesmo com teores de umidade muito próximos e mesmas alturas de lâminas de água. Isso pode ter ocorrido devido ao fato dos ensaios serem realizados em pontos diferentes tendo características do solo levemente distintas.

Em relação aos valores finais das taxas de infiltração, em ambos os ensaios as taxas de infiltração deram 0,02 mm/min (ou 12 mm/h) sendo classificado como solo franco-argiloso de velocidade de infiltração média segundo a classificação

fornecida por Bernardo et al. (2006). Porém, deve ser salientado que a presença de cobertura vegetal pode ter ocasionado um favorecimento da taxa de infiltração de água no solo, devido a caminhos preferenciais formados pelas raízes possibilitando uma maior taxa de infiltração (NUNES et. al., 2012).

#### 4. CONCLUSÃO

Conclui-se que a taxa de infiltração na área de estudo com cobertura vegetal (grama) é de 0,02 mm/min (ou 12 mm/h), o que caracteriza o solo como franco-argiloso. Sugere-se a caracterização do solo, para melhor entendimento da taxa de infiltração encontrada nas condições do teste do infiltrômetro de anel. O teste do infiltrômetro de anel se mostrou uma boa opção para a determinação da taxa de infiltração do solo, por ser simples e prático.

#### 5. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457**: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios caracterização. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 8 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3385**: Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer. West Conshohocken: Astm, 2018. 8 p.
- BALLARD, Bridget Woods et al. **The SuDS Manual**. 2. ed. London: CIRIA, 2015. 940p.
- BERNARDO, Salassier et al. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: Ufv, 2006. 625 p.
- CRUZ, Marcus A. S.; SOUZA, Christopher Freire; TUCCI, Carlos E.M.. **Controle da drenagem urbana no Brasil**: Avanços e mecanismos para sua sustentabilidade. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. Anais. São Paulo: ABRHidro, 2007. p. 1 - 18.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa - CNPS, 1997. 212p.
- HAASE, D. **Effects of urbanization on the water balance – A long-term trajectory**. Environmental Impact Assessment Review. vol. 29, 2009, pp. 211–219.
- HORTON, R. E. **Analysis for runoff-plat experiments with varying infiltration-capacity**. Transactions American Geophysical Union, 20(4), 1939, pp. 693–711.
- NUNES, J.A. S.; SILVEIRA, M. H.D.; SILVA, T. J.A.; NUNES, P. C. M.; CARVALHO, K. S. Velocidade de infiltração pelo método do infiltrômetro de anéis concêntricos em Latossolo Vermelho de cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.15, 2012, p. 1685.
- PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 363p.
- RIGHETTO, Antônio Marozzi (coord.). **Manejo de águas pluviais urbanas**. Rio de Janeiro: Abes, 2009. 396 p.
- SURIYA, S., Mudgal, B. V. Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed – A case study. **Journal of Hydrology**. Vol. 412–413, 2012, pp. 210–219.