

## Recarga de águas subterrâneas com trincheira de infiltração

Alfredo Akira Ohnuma Júnior

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

[akira@uerj.br](mailto:akira@uerj.br)

Luciene Pimentel da Silva

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, Brasil

[luciene.pimenteldasilva@gmail.com](mailto:luciene.pimenteldasilva@gmail.com)

Melissa Cristina Pereira Graciosa

Universidade Federal do ABC, Departamento de Engenharia Ambiental, Santo André/SP, Brasil

[melissa.graciosa@gmail.com](mailto:melissa.graciosa@gmail.com)

Eduardo Mario Mendiondo

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento, São Carlos, São Paulo/SP, Brasil

[emm@sc.usp.br](mailto:emm@sc.usp.br)

**ABSTRACT:** Infiltration trenches have major impact on controlling urban runoff, recovering groundwater levels and increasing its storage capacity. Moreover, infiltration trenches may have impact on increasing catchment's base flow. This paper aims to analyze the potential groundwater recharge from infiltration trenches in the urban lot scale. An infiltration trench was constructed on an experimental basis, with area of  $8,8\text{m}^2$ , diameter of  $0,1\text{m}$  and depth of  $13,0\text{m}$ , designed to retain up to  $5,7\text{m}^3$  of stormflow. Stored volumes in the trench were calculated by mass balance, using automatic registered data every minute on two stage gauge stations (input, output) and a rain gauge. Results indicated a retained volume of  $15\text{m}^3$  after 5 months. This was equivalent to 40% of the total rainfall monitored during this period.

**Keywords:** infiltration trench, groundwater, rainwater.

**RESUMO:** Trincheiras de infiltração têm impacto no controle dos excessos de escoamentos superficiais, na recuperação dos níveis freáticos, contribuindo para o aumento do armazenamento de águas subterrâneas e na recuperação nos níveis de escoamento básico. Este trabalho visa analisar volumes potenciais de recarga das águas subterrâneas com uso de trincheira de infiltração em lote urbano. O experimento consiste da instalação de uma trincheira de infiltração com volume dimensionado para reter até  $5,7\text{m}^3$  e área projetada de  $8,8\text{m}^2$  mais um poço de recarga com diâmetro de  $0,1\text{m}$  e  $13,0\text{m}$  de profundidade. Para o monitoramento dos volumes armazenados na trincheira foram utilizados 02 linígrafos e 01 estação meteorológica para dados de níveis e precipitação. Os resultados indicam um volume de infiltração de  $15\text{m}^3$  em 05 meses de dados monitorados a cada 1 minuto, o que representa 40% do total precipitado correspondente à vazão afluente.

**Palavras-chave:** trincheira de infiltração, águas subterrâneas, águas pluviais.

### 1 ALTERAÇÃO NOS VOLUMES DE ESCOAMENTO

#### 1.1 Redução da capacidade de retenção da água no solo

O processo de adensamento nas cidades, cujo avanço ocorre pelo desordenado crescimento demográfico e elevada ocupação de terras por áreas impermeáveis, resulta em inúmeros

problemas de infra-estrutura urbana, sobretudo na escassez de água e inundações em áreas de risco. Fundamentalmente, a descaracterização da cobertura vegetal consiste da mudança dos padrões naturais de drenagem pelo desmatamento e a impermeabilização do solo (Semads, 2001).

Toda área de bacias urbanas é formada por um aglomerado de pequenos lotes. Predominantemente, seu uso se torna restrito pela forma como o lote é ocupado. Um lote ocupado por área de floresta difere hidrológicamente de um lote que é ocupado integralmente por área construída. O pico do hidrograma resultante na saída do lote construído é significativamente maior do que na saída da área florestada, o que significa que a modificação da cobertura vegetal influencia na variação dos volumes de escoamento superficial na área de captação. A partir do instante em que se retira a camada original do solo, planificando-o e compactando-o, permite-se uma perda da capacidade de retenção da precipitação e da infiltração da água no solo, devido às mudanças nos processos hidrológicos locais (Martins, 2004).

Assim, a impermeabilização do solo sem planejamento com construções de telhados convencionais, pavimentações de ruas por asfaltos e calçamentos em concretos, áreas de estacionamento, entre outras, dificulta o processo de penetração das águas pluviais no solo, o que favorece o aumento da parcela de volume de chuva que se converte em escoamento superficial no solo.

À medida que se eleva o percentual de impermeabilidade na bacia, se eleva direta e proporcionalmente o coeficiente de escoamento *runnoff* da área de contribuição do ponto de descarga na bacia (Schueler, 1987). Diferentes tipos de cobertura do solo desempenham funções variadas na geração do escoamento (Wei *et al*, 2014). Casos extremos indicam um aumento de até seis vezes do pico de cheia em relação ao pico anterior na condição de mudança do coeficiente de escoamento superficial (FCTH/PMSP, 1999). Consequentemente, o tempo de resposta da bacia se altera com a urbanização, tornando-a mais veloz e mais susceptível aos efeitos de redução do tempo de concentração das águas urbanas.

## 1.2 Trincheiras e poços de infiltração

As trincheiras de infiltração surgiram como alternativa aos métodos clássicos de captação das águas pluviais. São estruturas capazes de armazenar a água por um determinado período de tempo, cuja infiltração ocorre naturalmente pelo solo a partir da área drenante na superfície. Também são denominadas trincheiras de percolação ou trincheiras drenantes, sendo consideradas uma das principais técnicas compensatórias em drenagem urbana. Quando instaladas em áreas de lotes, sua aplicação tende a reduzir os volumes de cheias e retardar os picos de hidrogramas (Graciosa, 2005). A concepção de projeto das trincheiras de infiltração tem como objetivo principal neutralizar os efeitos da urbanização como medida de controle na fonte sobre os processos hidrológicos da bacia, na forma de captação e armazenamento de águas pluviais em pequenas áreas de drenagem. Tendo como ano-base 2007, as trincheiras de infiltração possuem custo de implantação estimado em US\$ 50 (dólares) por metro linear construído e custo de operação e manutenção em torno de US\$ 16 (dólares) por metro anualmente (ReCESA, adaptado 2007). Este trabalho visa analisar volumes de recarga das águas subterrâneas a partir da implantação de uma trincheira de infiltração em lote urbano com uso de monitoramento hidrológico.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Área de drenagem do Lote experimental

O lote experimental localiza-se no município de São Carlos, distante 230 Km de São Paulo, capital do Estado de São Paulo, Brasil. O município encontra-se a uma altitude média de 860 metros e

tem área total de 1141Km<sup>2</sup>, mas apresenta apenas 67Km<sup>2</sup> de área urbana, o que representa apenas 6% da área total. A população estimada é de 236.457 habitantes, cuja ocupação está concentrada em 33,25Km<sup>2</sup> da área urbana (IBGE, 2013). Possui clima úmido subtropical, de acordo com a classificação climática Köppen, com precipitação média anual de 1422mm e temperaturas máxima e mínima de 27°C e 15°C (Cepagri/Unicamp, 2014).

A área de estudo está localizada no extremo norte das bacias do município, como contribuinte da Bacia do Córrego do Jararaca, afluente do Rio Mogi Guaçu. O lote possui área total de 500m<sup>2</sup>, com área de contribuição para a trincheira e poço de infiltração de 160 m<sup>2</sup>, correspondente a 120m<sup>2</sup> em grama e 40m<sup>2</sup> em área impermeável de concreto (Figura 1). As Tabelas 1 e 2 apresentam as informações hidrológicas e as características físicas da técnica utilizada no estudo para o dimensionamento pelo Método de Envelopamento Pluvial ou *Rain Envelope Method* (REM), que consiste do cálculo do volume de armazenamento como a diferença entre o volume de entrada e saída da trincheira, baseadas em Jonasson (1984) e Urbanas e Stahre (1993).

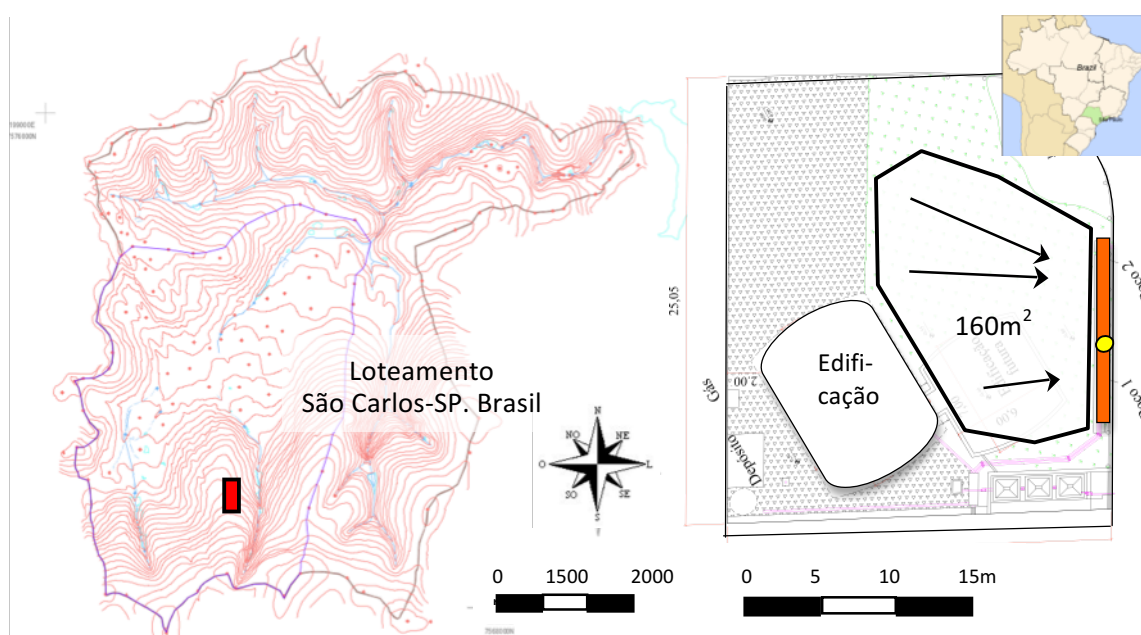


Figura 1. Bacia do Córrego do Jararaca (adaptado Pinto, 2010) e área de loteamento com instalação da trincheira de infiltração no município de São Carlos, SP - Brasil .

Tabela 1. Dados hidrológicos para o dimensionamento da trincheira:

Dado	Discriminação	Valor	Unid.
$T$	Período de retorno	2	anos
$I$	Intensidade pluviométrica	50,0	mm·h <sup>-1</sup>
$V_t$	Volume útil da trincheira	1,08	m <sup>3</sup>

Tabela 2. Características físicas da trincheira executada:

Dado	Discriminação	Valor	Unid.
$H$	Altura útil da trincheira	0,7	m
$B$	Largura da trincheira	0,7	m
$L$	Comprimento da trincheira	12,0	m

Associado à trincheira foram instalados 02 poços tubulares profundos de recarga com penetração do lençol freático, diâmetro de 0,20m e profundidade de 13m e 0,7m com tubo perfurado em PVC e recobrimento com manta geotêxtil. A caracterização do solo por análise granulométrica conjunta pela NBR 6502 e 5734/80 classifica o solo como areia média a fina marrom claro com a seguinte composição: 5% areia grossa, 38% areia média, 21% areia fina,

12% silte e 24% argila. Para evitar o processo de colmatção ou de redução da condutividade hidráulica no interior do dispositivo, foram instaladas mantas geotexteis de recobrimento da área escavada. Como ocorrem eventos intermitentes de precipitação, a fase crítica do processo de colmatção é interrompida a medida que não há suprimento de água de forma contínua para o interior do dispositivo. No entanto, são recomendadas inspeções periódicas, especialmente nos períodos de maior frequência de chuvas.

As medições dos volumes de entrada na trincheira e poço tubular profundo foram realizadas de forma contínua a partir de sensores de pressão ou linígrafos automáticos de precisão, que permitem realizar leituras de níveis a cada minuto. Localizado na seção jusante da estrutura, o poço 2 foi monitorado para obtenção do volume de armazenamento considerando distribuição do nível d'água em todo perfil, inclusive em função da declividade (Figura 2). A estação meteorológica, para obtenção dos dados pluviométricos, foi instalada no próprio lote com coleta de dados também a cada minuto de forma sincronizada com as medições de volumes afluentes à trincheira. O intervalo de discretização dos dados foi programado para um minuto, devido ao reduzido tempo de concentração e da velocidade de escoamento variar muito rapidamente na área de drenagem do lote.

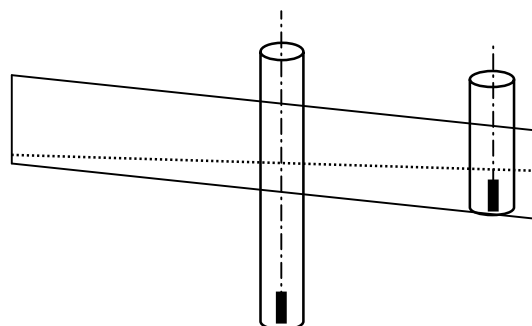


Figura 2. Esquema longitudinal da trincheira e poço: declividade e posição de sensores de níveis.

Para determinação das lâminas de escoamento na trincheira, calcularam-se inicialmente os volumes precipitados ou afluentes obtidos pela multiplicação do nível pluviométrico com a somatória das áreas de contribuição considerando os respectivos coeficientes de escoamento correspondente a cada área (equação 1). As áreas de drenagem e de contribuição à trincheira com 160m<sup>2</sup> referem-se: ao telhado da edificação, ao jardim em grama e à edificação principal.

$$V_{af} = P \cdot \frac{\left( \sum_{i=1}^n C_{e_i} \times A_i \right)}{A_t} \quad (1)$$

$V_{af}$ : volume afluente ou precipitado (m<sup>3</sup>); P: precipitação (mm);  $A_i$ : parcela de área de contribuição (m<sup>2</sup>);  $C_{e_i}$ : coeficiente de escoamento;  $A_t$ : área total (m<sup>2</sup>)

As perdas iniciais foram estimadas como o valor da precipitação acumulada imediatamente anterior ao instante em que se inicia o escoamento.

O volume de armazenamento  $V_{armaz}$  na trincheira foi obtido a partir do monitoramento de nível localizado na seção jusante da trincheira (equação 2). O cálculo deste volume considera o nível d'água distribuído em toda seção da trincheira (Graciosa *et al.*, 2007), incluindo a declividade.

$$V_{armaz}(t) = \left[ \frac{2 \cdot \left[ \frac{h(t)}{h_0} \cdot (B - b) \right] + b}{2} \cdot h(t) \right] \cdot \frac{h(t)}{h_0} \cdot L \cdot \frac{l}{2} \cdot \phi_b \quad (2)$$

$V_{armaz}(t)$ : volume de armazenamento ( $m^3$ );  $h(t)$ : nível no poço de monitoramento (L);  $h_0$ : altura da trincheira (m);  $b$ : base menor da seção transversal da trincheira (L);  $B$ : base maior da seção transversal da trincheira (L);  $L$ : comprimento da trincheira (L);  $\phi_b$ : porosidade da brita.

O volume efluente, também denominado volume de infiltração, foi obtido pela diferença entre o volume afluente e a variação do volume de armazenamento na trincheira (equação 3).

$$\Delta V_{armaz} = V_{af} - V_{ef} \quad (3)$$

$\Delta V_{armaz}$ : variação de volume na trincheira ( $m^3$ );  $V_{af}$ : volume afluente à trincheira ( $m^3$ );  $V_{ef}$ : volume efluente à trincheira ( $m^3$ ).

## 2.2 Cálculo do volume de armazenamento no poço de recarga

A variação do volume de armazenamento  $\Delta V$  foi obtido pela diferença dos níveis máximo e mínimo diários, ou  $\Delta h$ , multiplicado pela área da seção transversal do tubo, conforme equação (4):

$$\Delta V = (N_{Max} - N_{Min}) \times A \quad (4)$$

$\Delta V$ : variação do volume de armazenamento no poço ( $m^3$ );  $N_{Max}$ : nível máximo diário (m);  $N_{Min}$ : nível mínimo diário (m);  $A$ : área da seção transversal do poço ( $m^2$ ).

A variação de níveis ou  $\Delta h$  é determinado pela diferença entre o pico do hidrograma e o ponto mais baixo da curva de recessão antecedente e extrapolada até o instante em que o pico ocorre (Healy e Cook, 2002).

A subtração do nível mínimo diário supõe reduzir a variação do armazenamento ao considerá-lo como escoamento base.

O cálculo da lâmina equivalente ou efetiva de escoamento subterrâneo foi obtido pela relação entre o volume armazenado e a parcela de área de contribuição do escoamento superficial ao poço, cujo valor considera o coeficiente de escoamento da área (equação 5).

$$L_{eq} = \frac{V}{A_c \times C_e} \times 10^3 \quad (5)$$

$L_{eq}$ : lâmina efetiva de escoamento subterrâneo (mm);  $V$ : volume armazenado ( $m^3$ );  $A_c$ : área de contribuição ( $m^2$ );  $C_e$ : coeficiente *runoff*.

No coeficiente de *runoff* utilizou  $C_e = 0,2$  para cobertura em grama exposta a solo arenoso de pequena a média declividade entre 2 e 7% (ASCE, 1969).

## 2.3 Estimativa da taxa de recarga no poço

Para determinação da taxa de recarga utilizou-se inicialmente a equação (6) de Zangar (Bowner, 2002), que considera o escoamento da água no poço tanto pelo fundo como pelas paredes. A equação é válida para  $L_w > 10 \times r_w$ .

$$Q = \frac{(2\pi \times k \times L_w^2)}{\left[ \ln\left(\frac{2L_w}{r_w}\right) - 1 \right]} \quad (6)$$

$Q$ : taxa de recarga ( $m^3$ /dia);  $K$ : condutividade hidráulica (m/dia);  $L_w$ : profundidade da água no poço (m);  $r_w$ : raio do poço (m)

Nas condições em que a profundidade do poço  $L_w$  é 10 vezes menor que o raio  $r_w$ , empregou-se a equação (7) de Darcy:

$$Q = \frac{K \times A \times (h_1 - h_2)}{L} \quad (7)$$

Q: taxa de recarga (m<sup>3</sup>/dia); K: condutividade hidráulica (m/dia); A: área da seção transversal do cilindro (m<sup>2</sup>); h<sub>1</sub>: carga hidráulica no poço 1 (m); h<sub>2</sub>: carga hidráulica no poço 2 (m); L: distância entre os poços (m); G: gradiente hidráulico = (h<sub>1</sub>-h<sub>2</sub>)/L.

A lei de Darcy (equação 7) é portanto aplicada na estimativa de recarga, cujo fluxo é constante e sem extração de água subterrânea, resultando na equação (8) onde a recarga (R) de um aquífero livre é a velocidade (q) multiplicada pelo tempo (Δt) das medidas consecutivas (Scanlon *et al.*, 2002).

$$R = q \times \Delta t \quad (8)$$

A equação (9) também foi utilizada para estimar a recarga, a partir da relação entre a capacidade específica do meio pela variação da altura do nível freático (Healy e Cook, 2002) ou Método de Flutuação de Superfície Livre, conhecido também como WTF (*Water Table Fluctuation*).

$$R = S_y \times \frac{\Sigma \Delta h}{\Delta t} \quad (9)$$

R: recarga direta (m/período); S<sub>y</sub>: rendimento específico (%); ΣΔh: total da variação da elevação do nível no poço (m); Δt: intervalo de tempo de observação (dias).

O cálculo do rendimento específico foi obtido a partir da condutividade hidráulica do solo em equação (10) empírica (Maziero e Wendland, 2008).

$$S_y = 0,117 \times \sqrt[3]{K} \quad (10)$$

S<sub>y</sub>: rendimento específico (%), K: condutividade hidráulica (m/dia).

Para obtenção da condutividade hidráulica K, empregou-se a média ponderada a partir da composição granulométrica do solo e dos valores determinados por Maziero (2005), em estudo do aquífero freático na região central do município de São Carlos-SP para 19 piezômetros instalados em rede de monitoramento de águas subterrâneas (Tabela 3).

Tabela 3. Condutividade hidráulica do solo na região de São Carlos-SP:

Solo	K <sup>(1)</sup> (m/s)	Composição
Areia média siltosa	7,12 x 10 <sup>-5</sup>	38%
Areia fina siltosa	1,07 x 10 <sup>-5</sup>	21%
Areia fina argilosa	1,43 x 10 <sup>-6</sup>	12%
Argila fina siltosa	5,62 x 10 <sup>-8</sup>	24%

(<sup>1</sup>): Maziero (2005)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Volume afluente ao poço profundo P1 e taxa de recarga subterrânea

O escoamento subterrâneo, cujo volume é afluente ao poço profundo, foi monitorado por um período ininterrupto de 6 meses ou 199 dias, entre 25/04/2006 e 10/11/2006. Foram obtidos níveis médios, máximos e mínimos diários para estimar a variação do volume afluente ao poço, à medida que ocorrem naturalmente eventos pluviométricos.

Durante o período analisado, foram registrados 49 dias com total precipitado de 305mm, precipitação máxima diária de 29mm e mínima de 0,3mm. O maior período de estiagem ocorreu entre maio e junho com 33 dias sem chuva. A Figura 3 ilustra em função dos eventos



pluviométricos a variação do volume de armazenamento (esq) e respectivas lâminas acumuladas de precipitação e de escoamento subterrâneo (dir).

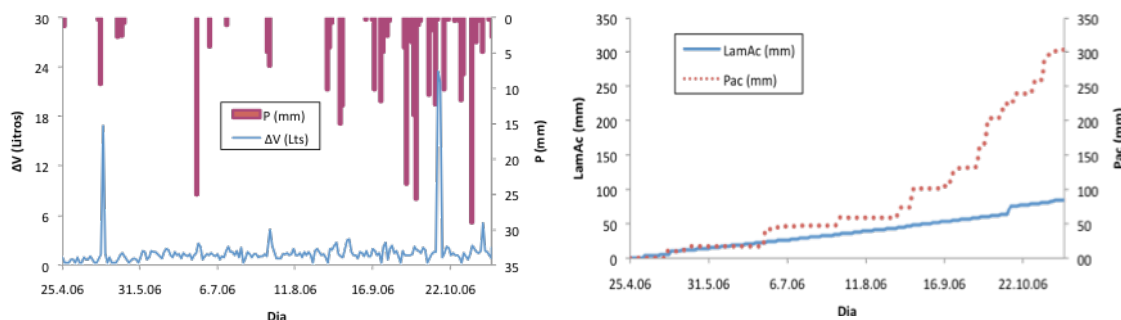


Figura 3. Volume de armazenamento no poço durante eventos pluviométricos .

O evento registrado em 26/06 com precipitação diária de 25mm, após longo período de estiagem, não demonstrou variação significativa do volume na região de saturação ou do lençol a partir da profundidade do poço. Da mesma forma, os eventos observados em 20/09 e 21/09, com total precipitado de 15mm, não ocasionou alteração do volume afluente ao poço. Portanto, embora identificada movimentação de água no interior do poço da zona não saturada para zona de saturação, os dados não permitem informar relação direta entre o volume precipitado e o volume infiltrado no poço, especialmente nas condições de umidade antecedente. Em 14/05 e 16/10 há sobrelevação dos volumes infiltrados de forma que não foram identificadas alterações no descarte de água para drenagem do lote por irrigação manual ou pluviosidade. O descarte provável é de origem montante à área de drenagem do lote com variação brusca na descarga próxima à bacia de microdrenagem, o que pode ter afetado diretamente de forma bastante significativa os volumes afluentes ao poço por escoamento lateral subterrâneo na zona de recarga do aquífero.

A taxa de recarga no poço para uma condutividade hidráulica de 2,5m/dia foi obtida pela equação de Zangar (Bowner, 2002), Darcy e pelo método WTF de Healy e Cook (2002). No método WTF determinou-se a somatória da elevação do nível de 2,3m para um período de 199 dias. A partir das equações (5) e (6) determina-se um rendimento específico  $S_y$  de 13,4%, cuja recarga foi estimada em 154,2mm. Para precipitação total de 305mm, obtém-se uma taxa de recarga de 51% no período entre maio e novembro de 2006. O cálculo pelo método de Zangar e Darcy estabelece variações da taxa de recarga no tempo. Na aplicação da lei de Darcy, admitiu-se que a variação da carga hidráulica é equivalente a distância entre os poços de monitoramento. Em ambos os métodos, considerou-se a flutuação média de nível do lençol freático para determinação de sua profundidade. A tabela 4 apresenta os resultados de estimativa de recarga R no lote para os 03 diferentes métodos analisados e determinação da taxa anual de recarga r (%):

Tabela 4. Parâmetros de determinação da recarga por diferentes métodos:

Método	Zangar	Darcy	WTF
R (mm)	140,0	33,2	154,2
r (%)	46	11	51

Embora com parâmetros de cálculo similares, como no caso WTF e Darcy utilizarem a condutividade hidráulica e dados de níveis do lençol freático, notam-se diferenças significativas nos valores de recarga, especialmente nesses métodos. A justificativa provável ocorre na aproximação do gradiente hidráulico igual a unidade, assim como no valor médio considerado da condutividade hidráulica, e sem campanhas específicas de sua determinação por técnicas conhecidas, como a do *slug test*.

### 3.2 Volume de armazenamento na trincheira

O escoamento subsuperficial na trincheira foi monitorado durante o período de chuvas entre outubro 2006 e março 2007. Devido às condições de contorno do trabalho não foi possível monitorar simultaneamente as flutuações de níveis no poço de recarga e na trincheira de infiltração. Os resultados consistem de mais de 120 eventos distribuídos em 57 dias com intensidades pluviométricas entre 2 e 75mm/h para o intervalo de discretização no monitoramento de 1 minuto. Na determinação do balanço hídrico na trincheira foram calculados os volumes: afluentes ou precipitados, de armazenamento, assim como as lâminas correspondentes à precipitação acumulada e efetiva acumulada ao escoamento subsuperficial. As figuras 5, 6 e 7 à esquerda ilustram o comportamento dos volumes de armazenamento na trincheira, à medida que se eleva o nível d'água, cuja resposta das lâminas de precipitação e de escoamento é observada nas figuras à direita. As lâminas de escoamento sub-superficial correspondem aos volumes armazenados até o nível máximo adquirido pelo evento. A evapotranspiração foi desprezada em cada evento, assim como lâminas de infiltrações com tempo de concentração inferior a 1 minuto e não observadas no monitoramento.

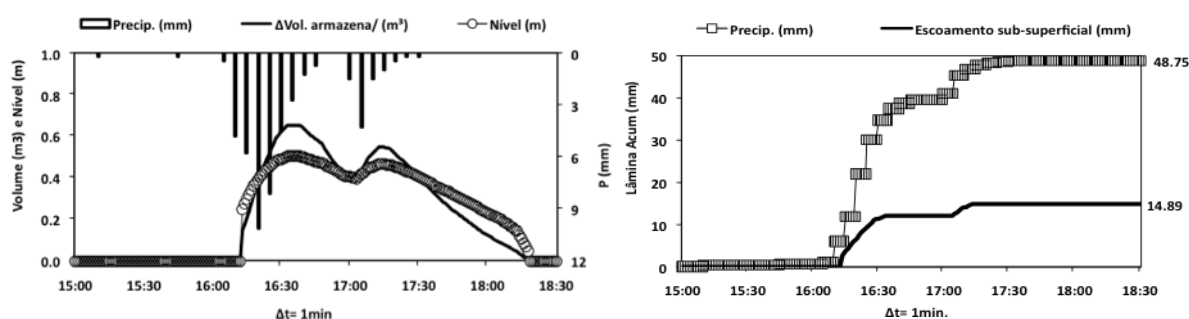


Figura 5. Volume de armazenamento e lâmina equivalente na trincheira em 19/11/2006.

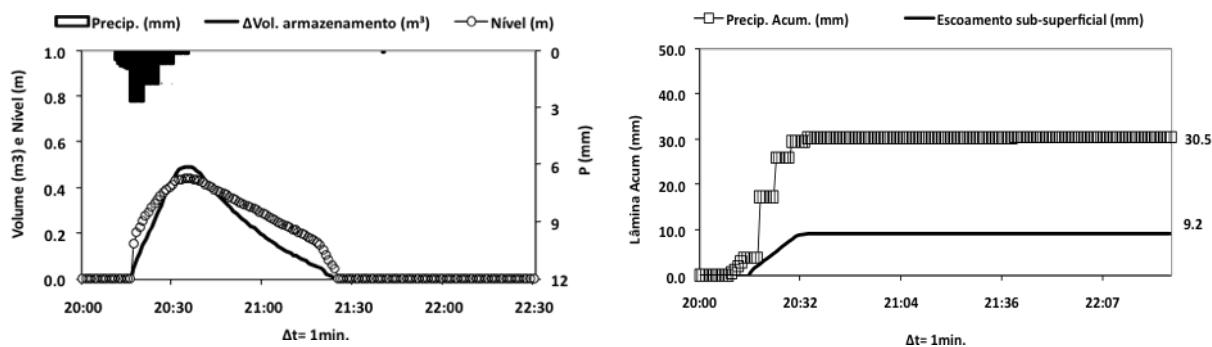


Figura 6. Volume de armazenamento e lâmina equivalente na trincheira em 25/11/2006.

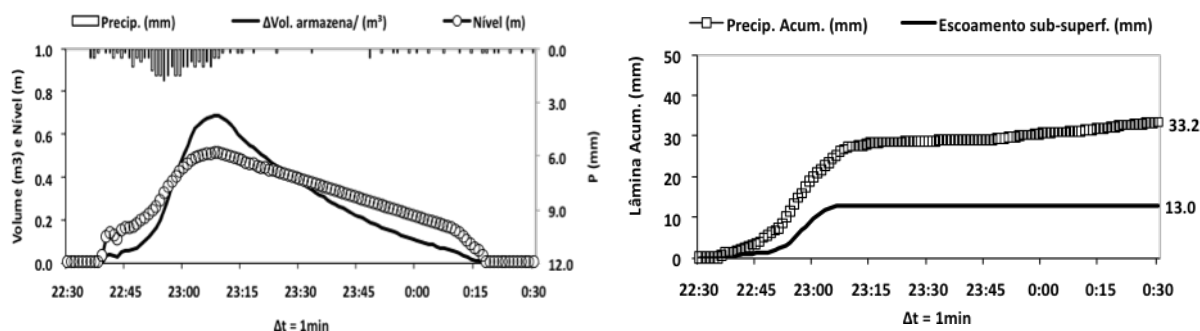


Figura 7. Volume de armazenamento e lâmina equivalente na trincheira em 06/12/2006.



Com a variação do volume de armazenamento, obteve-se a vazão de infiltração, cujos valores consistem da geometria da seção da trincheira, declividade e altura do nível d'água. A partir dos resultados de nível máximo de armazenamento e vazão de infiltração, foi determinada a correlação desses valores para determinação da equação correspondente à curva de calibragem da trincheira, como resultado da relação cota-descarga.

A figura 8 apresenta a correlação dos valores de vazão de infiltração com a altura da lâmina d'água dentro da trincheira. À direita da mesma figura demonstra o comportamento de resposta das vazões afluentes em função das vazões de infiltração em cada evento. Para determinação das vazões de infiltração foram desprezados os eventos sem armazenamento ou com nível d'água igual a zero.

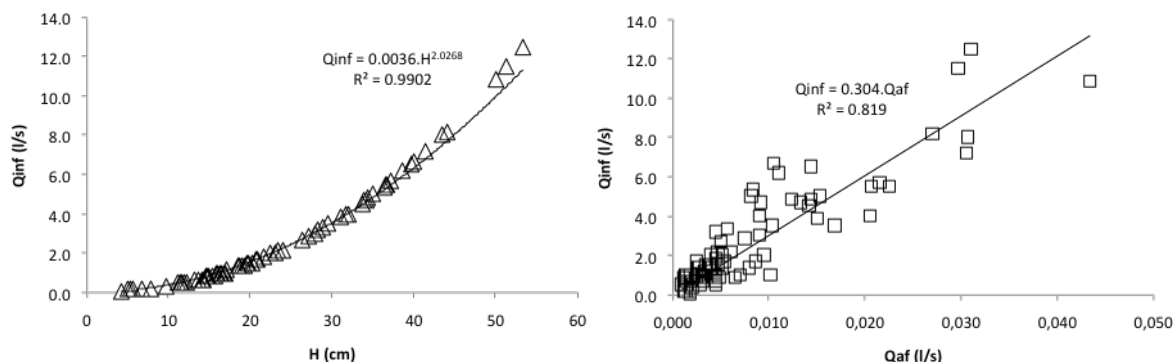


Figura 8. Relação entre vazão de infiltração, nível d'água e vazão afluente.

Do total precipitado sobre a trincheira correspondente à vazão afluente, cerca de 30% foi armazenado para posterior infiltração. Os resultados estimam que 8% da precipitação total são perdas decorrentes de volumes desprezados nos cálculos, como: lâminas de rápida infiltração, evapotranspiração e acúmulos de volume d'água em depressões de áreas impermeáveis. Durante o período de 5 meses de monitoramento, há elevada contribuição de volume d'água na zona não saturada, ainda que no sistema implantado ocorra perda de escoamento superficial para microdrenagem, entre 40% e 60%.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados indicam que as condições de instalação de trincheiras de infiltração influenciam na capacidade de armazenamento das águas pluviais, à medida que ocorre a descarga do volume superficial para o interior do dispositivo. Para determinação do volume de infiltração, recomenda-se monitorar vazões à montante e à jusante da trincheira ou vazões afluentes e efluentes da trincheira. Para otimizar a utilização de tubulações perfuradas de PVC em sistemas de escoamento superficial para descarga de escoamento sub-superficial e uma melhor eficiência no volume de armazenamento, sugere-se dimensionamento de furos e testes com declividade no local, embora tenha ocorrido até 30% de vazão de infiltração. Na utilização de poços de infiltração em zonas de aquífero não-confinado, o monitoramento não apresentou resultados compatíveis da literatura, ainda que os cálculos determinam taxa de recarga de até 51%. Embora observadas características heterogêneas no tipo de solo da região, se obtidos mais resultados em diferentes períodos sazonais, a taxa de recarga anual pode se aproximar dos valores entre 4% e 35% encontrados por Maziero e Wendland (2008).

#### 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e CT-Hidro, Processo N. 142535/2004-4 pelo auxílio de bolsa à pesquisa, ao Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC-USP e ao Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente da Universidade do Estado do Rio de Janeiro e a Finep

pelo Projeto Manejo de Águas Pluviais em Meio Urbano (Maplu) para Rede Cooperativa de Pesquisa Área 1 - Saneamento Ambiental, Tema Prioritário 1.4.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FCTH/PMSP. *Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo*. Reedição eletrônica. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. Prefeitura do Município de São Paulo-SP, abr 1999, 289 p. Disponível em: <[http://www.usp.br/fau/docentes/deptecnologia/r\\_toledo/3textos/07drenag/dren-sp.pdf](http://www.usp.br/fau/docentes/deptecnologia/r_toledo/3textos/07drenag/dren-sp.pdf)>. Acesso em: 20 jun 2014.

GRACIOSA, M.C.P. *Monitoramento de uma trincheira de infiltração instalada em lote residencial para controle do escoamento superficial*. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 17. São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, nov 2007. 12 p.

HEALY, R.W. & COOK, P.G. Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal*, 10, p. 91 — 109, 2002.

JONNASON, S. A. Dimensioning methods for stormwater infiltration systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORMWATER, 3. 1984, Göteborg. *Proceedings*. Göteborg: Chalmers University of Technology., v. 3, p. 1.037-1.046, 1984.

MARTINS, M. J. *Gerenciamento de recursos hídricos e drenagem urbana no município de São João de Meriti: análise espacial do efeito da implementação de microreservatórios em lotes sobre as inundações*. 2004. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, ago 2004.

MAZIERO, T. A. & WENDLAND, E. Variabilidade espacial da recarga em área urbana. In: RBRH, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* Vol. 13 n. 3, p. 35 - 46, Jul/Set 2008.

MAZIERO, T. A. Monitoramento de água subterrânea em área urbana: aspectos quantitativos. 2005, 85 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2005.

PINTO, S. I. G. A adoção da abordagem de empreendimentos para a gestão ambiental de cidades: estudo de caso Bacia do Córrego Jararaca. 2010, 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2010.

ReCESA. *Águas pluviais: técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas: guia profissional em treinamento: nível 2 e 3*. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte : ReCESA, 52 p. 2007.

SCANLON, B.R.; HEALY, R.W.; COOK, P.G. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, 10, p. 18-39, 2002. DOI 10.1007/s10040-0010176-2.

SEMADS. *Enchentes no Estado do Rio de Janeiro, uma abordagem geral*. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Projeto Planágua Semads/GTZ. Rio de Janeiro, v. 8, 2001.

SCHUELER, T. R. Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMPs. Washington: *Metropolitan Washington Council of Governments*, 1987.

URBONAS, B.; STAHR, P. *Stormwater: best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management*. New Jersey, Englewood Cliff: Prentice Hall, 447 p. 1993.

WEI, W; JIA, F; YANG, L; ZHANG, H; YU, Y. Effects of surficial condition and rainfall intensity on runoff in a loess hilly area, China. *Journal of Hydrology*. Volume 513, 26 Mai 2014, Pag. 115–126.