

# **ESTUDO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM URBANA COMO PROPOSTA DE GESTÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS**

Alfredo Akira Ohnuma Júnior

Eduardo Mario Mendiando

## **1. INTRODUÇÃO**

As condições hidrometeorológicas adversas ou anormais observadas no ano 2014, caracterizadas por pequenas lâminas de precipitação e baixos níveis de vazão em rios e mananciais, resultaram numa redução significativa de volumes armazenados nos reservatórios de abastecimento, especialmente nas regiões de cidades com alta densidade demográfica, elevado consumo de água e intensa urbanização, como São Paulo e Rio de Janeiro. Segundo o Boletim de Monitoramento dos Reservatórios do Sistema Hidráulico do Rio Paraíba do Sul, cujas informações auxiliam na tomada de decisões para garantir os usos múltiplos dos recursos hídricos para Região Metropolitana do Rio de Janeiro, o final do ano 2014 apresentou 2,6% do volume útil observado no reservatório equivalente, o que corresponde à uma situação bastante crítica e emergencial de respostas de adaptação no atendimento dos usos múltiplos da água (ANA, 2015).

Por outro lado, apesar das condições anormais de estiagens prolongadas jamais observadas na história de dados pluviométricos monitorados desde 1910, principalmente na região Sudeste, chuvas intensas quando ocorrem sobrecarregam redes de drenagem, cuja incapacidade para transportar elevados volumes de escoamento superficial provocam o extravazamento de canais e, conseqüentemente, às inundações urbanas. Como um dos principais responsáveis pelo desencadeamento de uma série de problemas de infra-estrutura urbana, tem-se o desenvolvimento das cidades sem o adequado planejamento, sobretudo nas grandes metrópoles. O uso e a ocupação do solo em áreas irregulares ou próximo das margens dos rios, associados aos eventos pluviométricos extremos, acarretam também riscos de desastres naturais devido à vulnerabilidade de áreas expostas.

Para minimizar os impactos das condições extremas das águas pluviais,

tradicionalmente são adotadas medidas estruturais e não-estruturais, relacionadas às obras de contenção, aos programas ou sistemas de prevenção e combate às cheias urbanas, assim como ações de redução do consumo de água. No entanto, são altos os custos de implantação, manutenção e operação dessas medidas, além de alguns casos demonstrarem baixa eficácia na capacidade de controle de vazões máximas. Tem-se observado que à medida que se estabelece a densificação do espaço urbano, torna-se inviável economicamente adotar medidas de grande porte eficazes para o combate aos eventos adversos (PROSAB, 2009).

Atualmente, inúmeras ações e medidas, como as técnicas compensatórias em drenagem de águas pluviais, têm sido adotadas para contribuir com a manutenção da segurança hídrica e de garantia dos usos múltiplos dos recursos hídricos, sobretudo em bacias urbanizadas. As trincheiras de infiltração são consideradas alternativas 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).

Assim como as trincheiras de infiltração, o plantio de vegetação em coberturas de edificações ajuda a retardar os volumes de escoamento superficial das águas pluviais. Telhados verdes são estruturas que também possuem capacidade de retenção de parte do volume precipitado em função, especialmente de determinadas condições físicas, como: declividade do telhado, umidade antecedente do solo, espessura e composição da camada de substrato (OHNUMA JR. *et al.*, 2015).

A adoção de sistemas de captação, armazenamento e aproveitamento de águas pluviais para uso posterior em edificações, quando bem planejada, implica na redução do consumo por se tratar de uma fonte alternativa de abastecimento de água. A viabilidade na implantação, manutenção e operação do sistema em lotes urbanos para suprir demandas menos exigentes, sobretudo para fins não- potáveis,

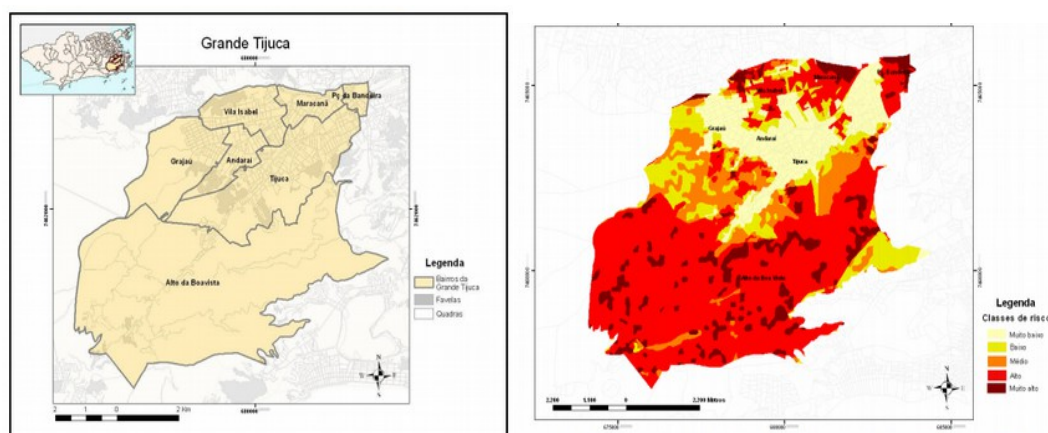
ajuda a desafogar galerias pluviais e mitigar o impacto das inundações e da poluição difusa (OHNUMA JR, 2014).

## 2. OBJETIVOS

Apresentar e discutir técnicas compensatórias de drenagem das águas pluviais aplicadas na microdrenagem urbana na escala de lote como proposta de conservação dos recursos hídricos.

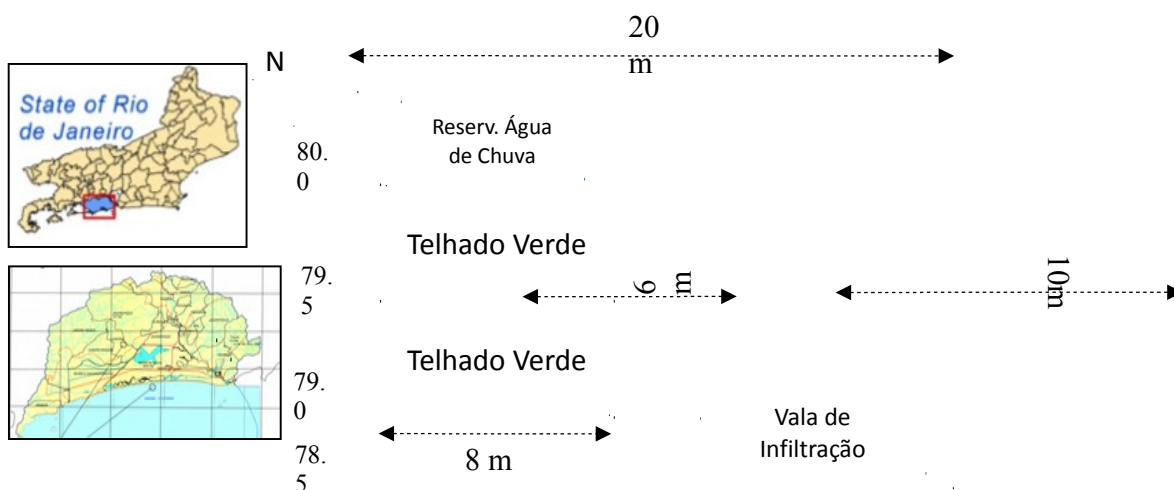
## 3. METODOLOGIA

O trabalho consiste de seleção de uma determinada região densamente urbanizada para composição de técnicas compensatórias de drenagem de águas pluviais em lote domiciliar. Para efeito de cálculo, o estudo associa às condições pluviométricas locais para um dado local hipoteticamente situado na Grande Tijuca, região Norte do município do Rio de Janeiro-RJ, área considerada de elevada densidade demográfica, urbanização e frequência de ocorrência de inundações. Embora com mudanças estruturais significativas de combate às inundações na região (PDMA-RJ, 2010), a Grande Tijuca apresenta classificação de risco hídrico alto (Figura 1) se comparado com outros locais (COSTA, 2014).



**Figura 1:** Mapa de classificação de Índice de Risco Hídrico na Grande Tijuca, RJ (COSTA, 2014).

A seleção de área de lote com uso e ocupação do solo do tipo residencial é hipotética para a implantação das seguintes técnicas compensatórias de drenagem das águas pluviais: sistema de captação e armazenamento de água da chuva, telhado verde e trincheira de infiltração. Para a execução *in loco* das técnicas compensatórias, sobretudo das valas de infiltração, é recomendado localizá-las na cota topográfica inferior do terreno de forma aproveitar às condições do relevo no sentido do escoamento superficial das águas pluviais por gravidade (Figura 2). O lote apresenta área total de 200m<sup>2</sup>, sendo 48m<sup>2</sup> de área de cobertura, 65m<sup>2</sup> de jardim e o restante de área impermeável em concreto para calçamento.



**Figura 2:** Área de implantação de técnicas compensatórias de drenagem urbana em lote residencial no bairro da Tijuca, RJ.

### ***Dimensionamento da trincheira de infiltração***

No dimensionamento das estruturas, além da intensidade pluviométrica e da área de drenagem, são aplicados outros parâmetros de cálculo, como: o coeficiente de escoamento superficial, de forma obter a partir do método racional a vazão efluente e, os dados de consumo de água domiciliar, para se obter as dimensões do reservatório de aproveitamento de águas pluviais. O cálculo da intensidade pluviométrica considera a equação de chuva (1) do pluviômetro de Sabóia Lima (RIO ÁGUAS, 2010). Sendo:  $i$  a intensidade pluviométrica (mm/h);  $TR$  o período de

retorno (anos) e  $t$  como a duração da chuva (minutos).

$$i = \frac{1782 \cdot TR^{0,17}}{(t + 16,6)^{0,841}} \quad (1)$$

O dimensionamento da trincheira é baseado no Método da Curva Envelope ou *Rain Envelope Method* (REM), que consiste do cálculo do volume de armazenamento como a diferença entre o volume de entrada e o volume de saída da trincheira (JONASSON, 1984 e URBONAS e STAHRÉ, 1993). O volume de entrada ou precipitado  $V_p$  é a vazão afluyente multiplicada pela duração da chuva  $\Delta t$ , obtido pela equação (2) que é baseada no método racional, sendo:  $V_p$  o volume precipitado ( $m^3$ );  $c$  como o coeficiente de escoamento;  $i$  a intensidade pluviométrica (mm/h);  $A$  como área de contribuição do lote ( $Km^2$ ) e  $\Delta t$  a duração da chuva (segundos).

$$V_p = (0,278 \cdot c \cdot i \cdot A) \times \Delta t \quad (2)$$

A infiltração acumulada  $I_{ac}$  ( $m^3/m^2$ ) no dispositivo é obtida pela equação (3). O termo  $S$  é a sortividade do solo ( $m^3/s.m^2$ );  $FS$  o fator de segurança devido a perda da infiltração no decorrer do tempo (adimensional) e  $\Delta t$  a duração da chuva (segundos).

$$I_{ac} = \frac{S \cdot \sqrt{\Delta t}}{FS} \quad (3)$$

Considera-se desprezível a superfície lateral de infiltração nas extremidades da trincheira e, após algum tempo de uso, considera-se também que a área da base da trincheira torna-se totalmente colmatada. Portanto, o volume infiltrado  $V_i$  ( $m^3$ ) é o resultado da equação (4) que é a multiplicação da infiltração acumulada  $I_{ac}$  ( $m^3/m^2$ ) pela área de infiltração na trincheira  $A_i$  ( $m^2$ ).

$$V_i = I_{ac} \cdot A_i \quad (4)$$

A diferença entre o volume precipitado  $V_p$  e o volume infiltrado  $V_i$ , cujo resultado da relação com a porosidade da brita  $\phi$ , estima-se o volume final da trincheira de infiltração  $V_{tr}$  (equação 5).

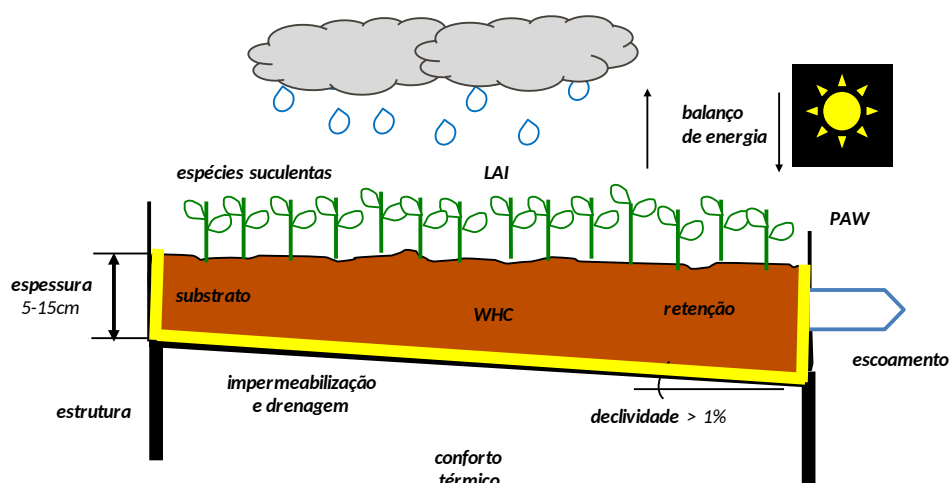
$$V_{tr} = \frac{V_p - V_i}{\phi} \quad (5)$$

De forma obter o volume precipitado, para definição das áreas de contribuição, correspondentes à drenagem efetiva das águas pluviais em direção à trincheira, são consideradas áreas de calçamentos do tipo impermeáveis em concreto e áreas permeáveis em grama.

### ***Influência de variáveis bio-físicas no telhado verde***

A capacidade de retenção de parte do volume precipitado sobre o telhado verde considera o período seco e úmido a partir de dados de precipitação média mensal obtidos pela estação Tijuca entre 1997 e 2014 (ALERTA RIO, 2015). Sobre o telhado verde foi considerada retenção média de 56% no período úmido (OHNUMA JR, ALMEIDA NETO e MENDIONDO, 2014) e 76% no período seco (HAKIMDAVAR *et al.*, 2014).

Os dados de retenção das águas pluviais sobre o telhado verde são estimativos de forma utilizá-los como de referência para o cálculo do coeficiente de escoamento e da precipitação efetiva. O estudo de retenção das águas pluviais na camada de substrato do telhado verde considera variáveis bio-físicas à medida que são capazes de influenciar diretamente no volume armazenado. Além das condições de umidade antecedente e da intensidade pluviométrica do local, que estabelecem às condições de períodos secos e úmidos, fundamentalmente há necessidade de examinar também outras variáveis bio-físicas do telhado verde de forma otimizar a capacidade de retenção hídrica, como (Figura 3): as propriedades do solo (sortividade, condutividade hidráulica, porosidade), a espécie de plantio (densidade foliar, índice de área foliar), a camada de substrato (espessura, composição) e a geometria da cobertura (inclinação, área, volume) (OHNUMA JR *et al.*, 2015).



**Figura 3:** Critérios técnicos fundamentais para instalação de telhados verdes (OHNUMA JR *et al.*, 2015).

Embora haja uma grande variedade de espécies de plantio para aplicação em telhados verdes, as mais recomendadas são aquelas que exigem pouca manutenção, capazes de suportar grandes períodos sem água, como por exemplo as espécies suculentas do tipo *sedum*. Outras espécies recomendadas por dispensarem irrigação intensiva são: rabo de gato (*Acalypha reptans*), orelha de rato (*Dichondra repens*), cambará (*Lantana camara*), clúsia (*Clusia fluminensis*), saião (*Kalanchoe brasiliensis cambess*), capim-chorão (*Eragrostis curvula*), mal-me-quer (*Wedelia paludosa*), esmeralda (*Zoysia japonica*). Telhados verdes extensivos também suportam espécies comestíveis e de interesse social, como hortaliças e temperos do tipo: hortelã, alecrim, manjeriço, cebolinha, etc (OLIVEIRA, PIMENTEL DA SILVA e MARY, 2009; OHNUMA JR, 2008).

### **Sistema de captação, armazenamento e aproveitamento de águas pluviais**

As instalações do sistema de captação, armazenamento e aproveitamento de águas pluviais seguem normas brasileiras, como a: NBR 15527:2007 e NBR 10844: 1989. No entanto, são apreciadas outras metodologias de dimensionamento de reservatórios como alternativas aos métodos apresentados pela NBR

15527:2007, devido questionamentos de projeto e critérios técnicos obtidos em trabalhos similares (FENDRICH, 2009; MIERZWA *et al.*, 2007).

Os métodos de dimensionamento de reservatórios de armazenamento de águas pluviais apreciados neste trabalho estão relacionados com determinados requisitos ou conceitos fundamentais correspondentes por referência (Tabela 1):

**Tabela 1:** Métodos de dimensionamento de reservatórios de aproveitamento de águas pluviais (FENDRICH, 2009 adaptado).

N	Método de Dimensionamento	Referência: Ano	Requisito / Análise
1	<i>Azevedo Neto</i>	NBR 15527:2007	Precipitação anual
2	<i>Prático Alemão</i>	NBR 15527:2007	Demanda mensal de usuários
3	<i>Prático Australiano</i>	NBR 15527:2007	Demanda mensal de usuários
4	<i>Prático Inglês</i>	NBR 15527:2007	Precipitação anual
5	<i>Rippl</i>	NBR 15527:2007	Regularização de vazão
6	<i>Simulação</i>	NBR 15527:2007	Regularização de vazão
7	<i>Máximo Aproveitamento (MMA)</i>	MIERZWA:2007	Precipitação e demanda diária
8	<i>Dias Consecutivos Sem Chuva</i>	KOBIYAMA:2002	Sazonalidade diária

Ambos Métodos do Máximo Aproveitamento (MMA) e do Dias Consecutivos Sem Chuva (MDCSC) estimam reservatórios a partir de demandas diárias, baseado sobretudo nas alturas pluviométricas. Além disso, o MMA simula vazões de entrada em função da área de cobertura e descarte inicial (*first-flush*) a partir de um balanço de vazões para diferentes volumes de reservatórios. Em condições similares de análise da precipitação diária, o MDCSC identifica o maior número de dias consecutivos sem chuvas a partir de uma série histórica obtida de pluviômetro da área de estudo. Os dados consideram dias sem chuva àqueles com menos de 1 mm de precipitação diária (KOBIYAMA e HANSEN, 2002), com ajuste estatístico de distribuição de frequência de Gumbel para diferentes períodos de retorno.



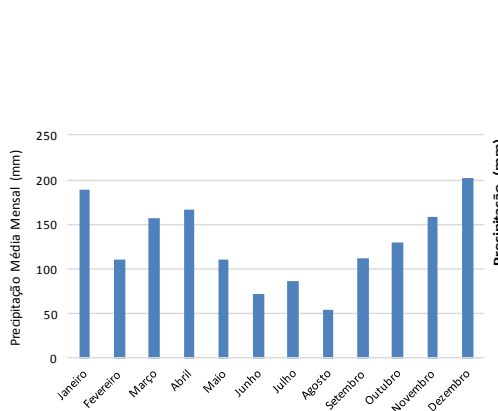
Para estimativa da demanda de aproveitamento da água da chuva para uso não-potável na edificação são avaliadas 3 opções de consumo correspondente à: irrigação de jardins (2 L/m<sup>2</sup>), vaso sanitário (10 L/descarga) e lavagem de pisos (4 L/m<sup>2</sup>), com uso variável estimado, respectivamente de: 6 vezes ao mês (irrigação), 5 acionamentos por pessoa por dia (descarga sanitária) e 4 vezes ao mês na limpeza de pisos (PROSAB, 2006 adaptado). No entanto, dadas às condições do sistema de captação das águas pluviais possuir vegetação na área de cobertura, os usos para lavagem de piso e vaso sanitário foram desconsiderados. Com objetivo de aproveitar possíveis nutrientes originados da vegetação no telhado verde, optou-se pelo aproveitamento da água da chuva a partir de um sistema de fertirrigação de modo promover o uso de uma fonte prontamente disponível de qualidade e na redução do uso de fertilizantes químicos (VAN DER HOEK *et al.*, 2002).

#### 4. RESULTADOS

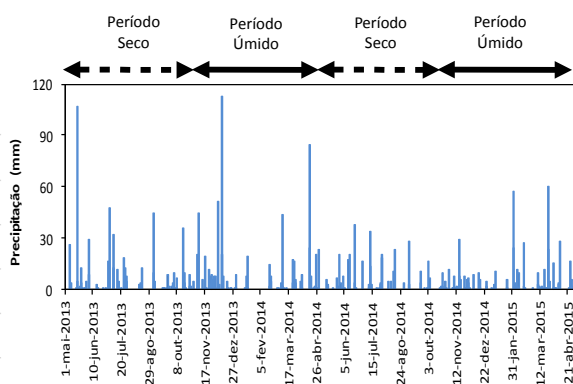
Num total de 18 anos, desde janeiro de 1997 até dezembro de 2014, são obtidas as médias do total pluviométrico mensal monitorado pela estação Tijuca do Sistema Alerta Rio (ALERTARIO, 2015) da Prefeitura do Município do Rio de Janeiro (Figura 4). Com total pluviométrico anual de 1548 mm, obtido pela soma das médias mensais, o bairro da Tijuca está entre as 6 regiões de maior incidência de chuvas no município do Rio de Janeiro, sendo o bairro Alto da Boa Vista o local de maior pluviosidade total anual no município com cerca de 2400 mm.

Na análise dos dados pluviométricos é possível também estabelecer períodos secos (PS) e úmidos (PU) baseados na sazonalidade de ocorrência das chuvas, correspondente aos períodos de maior volume pluviométrico mensal observado pela estação em comparação com a média observada ao longo de 15 anos (Figura 5). Nessas condições, pode-se avaliar períodos de maior capacidade para a captação, o armazenamento e o aproveitamento de parte dos volumes precipitados, assim como estimar períodos em que a precipitação pode superar a capacidade de infiltração da água da chuva no solo de modo que ocorra a geração de maior volume

de escoamento superficial.



**Figura 4:** Precipitação média mensal (mm) da Estação Tijuca (ALERTARIO, 2015) entre 1997 e 2014



**Figura 5:** Exemplo de determinação de períodos correspondentes a precipitação diária úmida e seca

Na avaliação da intermitência pluviométrica, correspondente aos períodos secos e úmidos, considera-se o total de precipitação média mensal entre 1997 e 2014 define-se os maiores volumes (Tabela 2).

**Tabela 2:** Média mensal de precipitação P (mm) da estação Tijuca entre 1997 e 2014 (ALERTA RIO, 2015).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez	Total
P (mm)	190	111	156	166	110	73	87	55	113	129	159	201	1548
Condição	PU	PU	PU	PU	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PU	PU	

NOTA: PU: Período Úmido; PS: Período Seco

### **Parâmetros de cálculo para o dimensionamento da trincheira de infiltração**

Ao considerar um período de retorno TR de 2 anos para uma chuva de

duração com 30 minutos, determina-se uma intensidade pluviométrica de 79,2 mm/h a partir da equação de chuva de Sabóia Lima (RIO ÁGUAS, 2010). O volume precipitado correspondente a vazão de entrada pela duração da chuva é obtido com a equação do método racional. Os resultados finais para o dimensionamento da trincheira de infiltração consideram os parâmetros de entrada da Tabela 3 e os resultados obtidos na Tabela 4.

**Tabela 3:** Dados de entrada para o cálculo da trincheira de infiltração pelo Método da Curva Envelope.

N	Descrição	Variável	Valor
1	Período de Retorno	$TR$	2 anos
2	Duração da chuva	$t$	30 minutos
3	Coeficiente de escoamento da edificação	$C_{edif}$	0,90
4	Coeficiente de escoamento de grama	$C_{grama}$	0,15
5	Sortividade do solo	$S$	0,00571
6	Fator de segurança	$FS$	2
7	Porosidade da brita	$\square$	45%

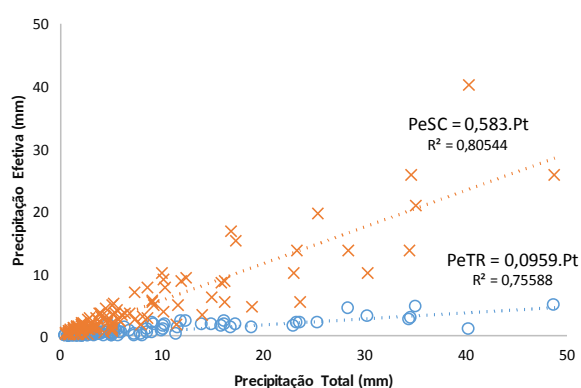
**Tabela 4:** Resultados de cálculo da trincheira de infiltração pelo Método da Curva Envelope.

N	Descrição	Variável	Valor
1	Intensidade pluviométrica	$I$	79,7 mm/h
2	Área de edificação	$A_{edif}$	87 m <sup>2</sup>
3	Área de grama	$A_{grama}$	113 m <sup>2</sup>
4	Vazão gerada pela área de edificação	$Q_{edif}$	$1,73 \times 10^{-3}$ m <sup>3</sup> /s
5	Vazão gerada pela área de grama	$Q_{grama}$	$0,38 \times 10^{-3}$ m <sup>3</sup> /s
6	Vazão total gerada pela área do lote	$Q_{total}$	$2,11 \times 10^{-3}$ m <sup>3</sup> /s
7	Volume precipitado	$V_{prec}$	3,80 m <sup>3</sup>
8	Sortividade do solo corrigido	$S'$	0,002855
9	Infiltração acumulada	$I_{acum}$	0,1211 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
10	Altura da trincheira	$H$	0,8 m
11	Comprimento da trincheira	$L$	8,0 m
12	Volume infiltrado	$V_{inf}$	0,78 m <sup>3</sup>
13	Volume da trincheira	$V_{trinc}$	6,72 m <sup>3</sup>
14	Largura da trincheira	$B$	1,05 m

A sortividade do solo relacionada com o fator de segurança e a duração da

chuva a partir da equação (3) se obtém a correção da taxa de infiltração acumulada. O volume infiltrado e o volume da trincheira são obtidos pelas equações (4) e (5). Os resultados finais estimam as dimensões da trincheira de infiltração com (8,0 x 1,0 x 0,8) m<sup>3</sup>, cujo volume tem capacidade para suportar uma chuva com período de retorno de 2 anos de intensidade até 79,2 mm/h.

Quando o uso e a ocupação do solo é do tipo tradicional resulta cerca de 58% de escoamento do total precipitado. Na mesma área, com as valetas de infiltração, pode-se reduzir para 9% a parcela do volume de escoamento superficial (Figura 6).

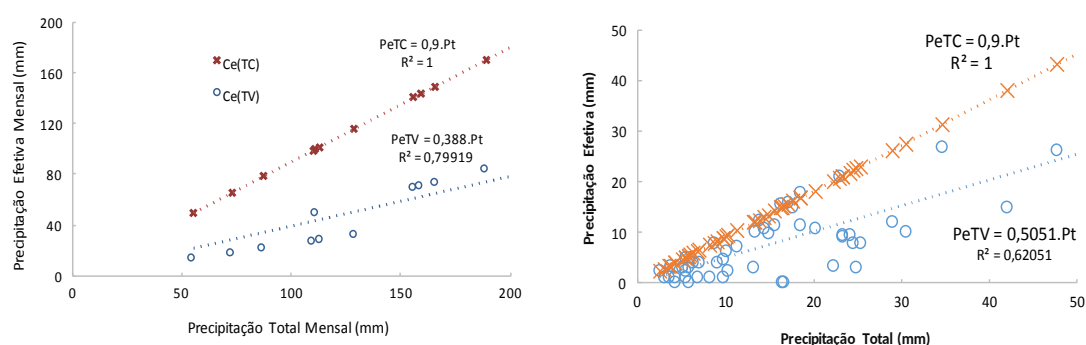


**Figura 6:** Coeficiente de escoamento gerado pela trincheira de infiltração e sistema de drenagem convencional.

Na condição de vazões excedentes são previstas à instalação de tubulações de saída na seção jusante da trincheira de modo permitir o extravasamento para o sistema de microdrenagem. Pode-se instalar também poços de infiltração na seção jusante do dispositivo capazes de assegurar não somente volumes excedentes, como promover o armazenamento temporário para posterior infiltração e recarga do aquífero subterrâneo. É fundamental observar também as propriedades físicas do solo, associadas às intensidades pluviométricas e respectivas condições de umidade antecedente, pois são critérios de controle da infiltração da água da chuva, de forma possibilitar maiores volume de reservação.

### **Estudo de retenção das águas pluviais sobre o telhado verde**

A capacidade de retenção das águas pluviais sobre o telhado verde considera a relação entre o total precipitado e a precipitação efetiva  $P_e$  de forma obter o coeficiente de escoamento superficial do telhado verde. Quando avaliada a eficiência de coberturas com vegetação em relação às telhas convencionais de fibrocimento (TC), os telhados verdes (TV) podem reduzir de 90% de parcela do escoamento superficial para 38% de volume escoado (Figura 7).



**Figura 7.** Eficiência na retenção de águas pluviais pelo telhado verde (TV) em relação às telhas convencionais (TC).

O efeito de amenizar o *runoff* consiste do armazenamento das águas pluviais na camada do substrato e liberação de forma distribuída do excesso no decorrer do tempo. A capacidade de armazenamento do solo depende diretamente das variáveis bio-físicas do telhado verde e dos eventos de precipitação e podem diminuir à medida que aumenta a umidade do solo no decorrer dos eventos. Portanto, o volume ou o coeficiente de escoamento do telhado verde pode variar, sobretudo pela diminuição da taxa de infiltração em função do tempo e da umidade do solo que está diretamente relacionada com os eventos de precipitação antecedente.

### ***Dimensionamento do reservatório de captação, armazenamento e aproveitamento de águas pluviais***

O sistema de captação das águas pluviais com aproveitamento para fins menos nobres ou de uso não-potável (Tabela 5) é composto essencialmente pelo reservatório, cujas dimensões devem ser compatíveis com a área do terreno, índices pluviométricos e consumo de água em função do tipo de ocupação. Para estimativa de uso do vaso sanitário, considera-se ambiente familiar composto por 4 pessoas e 30 dias ao mês. O sistema de irrigação prevê aplicação em área total de 113 m<sup>2</sup>, composta por áreas de telhado verde com 48 m<sup>2</sup> e 65 m<sup>2</sup> de jardinagem. A área de 87 m<sup>2</sup> corresponde a área de limpeza de piso que consiste de calçamentos em áreas externas e garagem.

**Tabela 5:** Potencial de volume total de água consumido em edificação domiciliar (PROSAB, 2006 adaptado).

<b>Uso</b>	<b>Consumo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Total Mês (L)</b>	<b>Total Mês (m<sup>3</sup>)</b>
Vaso Sanitário	10 L/descarga	5 vezes/dia.pessoa	6000	6,00
Lavagem de piso	4 L/m <sup>2</sup>	4 vezes/mês	1392	1,39
Irrigação	2 L/m <sup>2</sup>	6 vezes/mês	1356	1,36
		TOTAL	8748	8,75

Neste trabalho, a irrigação de áreas de vegetação é a demanda considerada para o aproveitamento das águas pluviais. Embora seja para uso não-potável, recomenda-se realizar controle de qualidade da água da chuva e verificação de necessidade de tratamento específico, especialmente quando em condições de:

- armazenamento por longos períodos de tempo,
- superfícies com potencial de elevada carga de poluição e
- regiões densamente urbanizadas.

Os métodos Prático Australiano, da Simulação e do Máximo Aproveitamento

(MMA) possibilitam instalar dispositivo de descarte da precipitação inicial de 0,5 mm. O descarte considerado resulta uma separação de 24 litros de volume precipitado, sendo o limite mínimo estabelecido pela NBR 15527:2007 que recomenda até 8 mm de lavagem do telhado pela precipitação inicial. O descarte é recomendando devido períodos secos antecedentes revelarem maior concentração de contaminantes de modo que a lavagem do telhado pela primeira precipitação transporta as partículas e materiais presentes nas superfícies de captação.

A partir dos métodos de dimensionamento propostos são obtidos os resultados dos volumes de armazenamento em função da demanda diária ou mensal e precipitação diária ou anual (Tabela 6). À rigor, cada método estabelece critérios próprios que resultam volumes bastante diferentes para a mesma edificação ou usuário entre 0,7 m<sup>3</sup> e 9,4 m<sup>3</sup> para uma demanda de 1,36 m<sup>3</sup>/mês ou 45,2 L/dia para uso na irrigação de áreas verdes como jardinagem e telhado verde.

**Tabela 6:** Volumes de reservatório para diferentes métodos de dimensionamento.

<b>N</b>	<b>Método de Dimensionamento</b>	<b>Volum e (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Condição / Critério</b>
1	<i>Azevedo Neto</i>	9,4	3 meses de pouca chuva
2	<i>Prático Alemão</i>	0,7	6% do volume captado
3	<i>Prático Australiano</i>	5,3	99% de confiança e volume cheio inicial
4	<i>Prático Inglês</i>	3,7	5% do volume de chuva
5	<i>Rippl</i>	5,2	Acumulado da demanda mensal subtraído do volume captado
6	<i>Simulação</i>	1,2	Menor volume com máximo aproveitamento e escoamento de 80% do volume precipitado
7	<i>Máximo Aproveitamento (MMA)</i>	5,0	Coeficiente de escoamento de 0,8
8	<i>Dias Consecutivos Sem Chuva (MDCSC)</i>	1,2	Período de retorno de 5 anos

Com exceção do método de Azevedo Neto, os cálculos determinaram volumes razoáveis de armazenamento para implantação do sistema. Dessa forma, para usos menos restritivos de potabilidade e de pouca demanda residencial, os métodos se mostraram eficientes, ainda que as variações na capacidade de armazenamento sejam significativas.

Por outro lado, métodos como Rippl e Prático Australiano estimam reservatórios de capacidade até  $60 \text{ m}^3$  quando demandas para o aproveitamento das águas pluviais em vasos sanitários, o que torna inviável quando os espaços são reduzidos interno ao lote da edificação. Em ambos métodos foi considerado captação do excesso escoado pelo telhado verde de 15%. As equações sugeridas pelas metodologias de Rippl e Prático Australiano não são consideradas muito válidas para o dimensionamento de reservatórios que possuem demanda elevada. O MMA para grandes áreas de captação e demandas maiores resulta capacidades de reservatórios mais adequadas de execução. Para se obter resultados satisfatórios no MMA e no Método da Simulação, de modo a resultar volumes de reservatórios satisfatórios para a demanda de irrigação, foi considerado coeficiente de escoamento de 0,8.

O MDCSC considerou reservatório com capacidade de  $1,3 \text{ m}^3$  a partir de 29 dias consecutivos sem chuvas e período de retorno de 10 anos. O período é determinado por análise estatística de Gumbel para probabilidade de ocorrência do evento baseada em série história de 18 anos entre 1997 e 2014 do pluviômetro da Tijuca monitorado pelo Sistema Alerta Rio (2015). Com demanda de 45,2 litros/dia, o MDCSC obteve também reservatórios de  $1,2 \text{ m}^3$  e  $1,0 \text{ m}^3$  para 26 (TR = 5 anos) e 22 (TR = 2 anos) dias consecutivos sem chuvas, respectivamente.

Os cálculos do sistema de captação, armazenamento e aproveitamento das águas pluviais resultam redução de parte do volume de água potável, em função de uso alternativo na irrigação de jardins e do telhado verde. Desse modo, pode-se reduzir até 15% ao ano com o volume de chuva aproveitável ao substituir o consumo de águas consideradas nobres pelas águas pluviais.



### **Análise de custo de implantação e manutenção de técnicas compensatórias**

Para a execução da trincheira de infiltração, assim como das outras técnicas compensatórias, recomenda-se o acompanhamento de profissional especializado de forma obter a máxima eficiência dos processos hidrológicos envolvidos, sobretudo na orientação das etapas de construção e acompanhamento de serviços específicos, como por exemplo, por estar sujeita às condições de colmatção. A trincheira de infiltração necessita de manutenção periódica de modo a preservar a eficiência do dispositivo na retenção das águas pluviais, como: remoção de sedimentos superficiais, lavagem de britas, substituição de manta geotêxtil, poda da cobertura vegetal e limpeza de drenos das vazões excedentes.

Os custos de implantação e de manutenção por dispositivo são estimativos de forma apresentar informações básicas do investimento da técnica compensatória. Nos serviços estão inclusos leis sociais de 125% e Benefício de Despesas Indiretas no valor de 30% (Tabela 7).

**Tabela 7:** Estimativa de custo de implantação das técnicas compensatórias (OHNUMA JR., 2008 adaptado).

<b>N</b>	<b>Dispositivo</b>	<b>Dimensão</b>	<b>Custo Implantação</b>	<b>Custo Manutenção</b>
1	Trincheira	3 m <sup>3</sup>	U\$ 60/m <sup>3</sup>	U\$ 20/m <sup>3</sup> .ano
2	Telhado verde	48 m <sup>2</sup>	U\$ 50/m <sup>2</sup>	U\$ 10/m <sup>2</sup> .ano
3	Água de chuva	3 m <sup>3</sup>	U\$ 400/m <sup>3</sup>	U\$ 20/m <sup>3</sup> .ano

Na análise dos custos de manutenção das técnicas compensatórias, considera-se sobretudo a limpeza dos reservatórios, seja de acumulação ou de retenção das águas pluviais. Em particular, no telhado verde são avaliados serviços de: poda, irrigação, adubação e substituição de manta geotêxtil, com custo estimado anualmente de US\$ 10 (dólares) por metro quadrado de área efetiva de drenagem. Os custos de manutenção do sistema de captação, armazenamento e aproveitamento de águas pluviais incluem limpeza do reservatório e filtros, descarte inicial e cloração.

Na apropriação de técnicas compensatórias de drenagem pluvial em lotes urbanos, os resultados apresentam melhoria na eficiência da retenção das águas pluviais de até 80% a mais quando comparado com sistemas de drenagem convencionais.

## **5. CONCLUSÕES**

Quando bem projetada e executada, a adoção de técnicas compensatórias de drenagem urbana como sistemas de captação e reservação de águas pluviais para uso posterior em edificações, implica na redução do consumo de água potável por se tratar de uma fonte alternativa de abastecimento de água. Comparado com sistemas tradicionais de drenagem das águas pluviais e de uso e ocupação do solo, o uso de sistemas de infiltração em áreas de lotes residenciais garantem uma eficiência de até 80% a mais na retenção de parte do volume total precipitado de modo que possibilita reduzir o deflúvio superficial, além de fornecer condições potenciais de aumentar o volume de recarga das águas subterrâneas.

Nesse sentido, a viabilidade na implantação, manutenção e operação das diferentes técnicas compensatórias é para suprir demandas menos exigentes, sobretudo para fins não-potáveis, além de desafogar galerias pluviais e mitigar o impacto das inundações e da poluição difusa. Na execução do projeto, as técnicas compensatórias das perdas de volumes das águas pluviais em lotes residenciais estabelecem-se como mecanismos de controle do escoamento ao priorizar projetos de reservação das águas pluviais e não de canalização. Estabelecem-se portanto como oportunidades de garantir a segurança hídrica na atual gestão das águas urbanas de modo compensar o desequilíbrio das condições de disponibilidade dos recursos hídricos, oferta e demanda.

## 6. REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Águas - Brasil. **Boletim de Monitoramento dos Reservatórios do Sistema Hidráulico do rio Paraíba do Sul / Agência Nacional de Águas**, Superintendência de Usos Múltiplos e Eventos Críticos. Brasília: ANA, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Instalações Prediais de Águas Pluviais. **ABNT/NBR 10844:1989**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Água de Chuva: Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis - Requisitos. **ABNT/NBR 15527:2007**.

COSTA, A.J.S.T. Água, risco e vulnerabilidade: os conceitos de Risco Hídrico e de Vulnerabilidade Hidrossocial. In: **VII Congresso Brasileiro de Geógrafos**. Associação dos Geógrafos Brasileiros. Vitória-ES. 2014.

FENDRICH, R. Detenção Distribuída e Utilização das Águas Pluviais. In: **XI Simpósio Nacional de Sistemas Prediais – SISPRE**. UFPR, UTFPR. Curitiba-PR. 2009.

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.

HAKIMDAVAR, R.; CULLIGAN, P.; FINAZZI, M.; BARONTINI, S.; RANZI, R. **Scale dynamics of extensive green roofs**: Quantifying the effect of drainage area and rainfall characteristics on observed and modeled green roof hydrologic performance. *Ecological Engineering*, v. 73, p. 494-508. 2014.

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.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I.; DA SILVA, M.C.C.; RODRIGUES, L.D.B. Águas pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. **REGA. Revista de Gestão de Águas da América Latina**, v. 4, p. 29-37, 2007.

OHNUMA JR, A.A.; PIMENTEL DA SILVA, L.; MAGALHÃES, F.R.; MARQUES, M.G. Influência de Fatores Climáticos em Telhados Verdes. Revista [...]. Em avaliação, 2015.

OHNUMA JR, A.A.; ALMEIDA NETO, P; MENDIONDO, E.M. Análise da Retenção Hídrica em Telhados Verdes a Partir da Eficiência do Coeficiente de Escoamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Volume 19 n.2, 41-52, 2014.

OHNUMA JR, A.A. **Medidas não-convencionais de reservação d'água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP. 306 p., 2008.

OLIVEIRA, E.W.N.; PIMENTEL DA SILVA, L.; MARY, W. Telhados verdes em habitações de interesse social e retenção das águas pluviais para drenagem urbana sustentável. In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, Campo Grande-MS. 2009.

PROSAB, Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Uso racional da água em edificações**. Rio de Janeiro. ABES, 325 p., 2006.

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.

VAN DER HOEK, W.; HASSAN, U. M.; ENSINK, J. H. J.; FEENSTRA, S.; RASCHIDSALLY, L.; MUNIR, S. et al. **Urban wastewater: a valuable resource for agriculture**. A case study from Horoonabad, Pakistan. Colombo: International Water Management Institute, 2002. (Research Report, 63)