

# Estimativa da correção do coeficiente de retorno de esgoto sanitário em habitações com sistemas de aproveitamento de água pluvial: estudo de caso da cidade de Bauru, SP

*Estimate of the correction of sewage return rate in housing with rain water recovery systems: case study of Bauru city, SP, Brazil*

Rodrigo Braga Moruzzi\* , Cintia Loturco Pinheiro Leão<sup>1</sup> 

## RESUMO

O coeficiente de retorno ( $f$ ) da rede coletora de esgoto, que apresenta quociente dado pelos volumes água/esgoto micromedidos, é empregado no projeto e na gestão do sistema de coleta de esgoto sanitário. As fontes de suprimento de água alternativas, tais como águas de reúso e de aproveitamento pluvial, não estão contempladas por  $f$ . O presente artigo teve o objetivo de aplicar metodologias para avaliar o potencial do lançamento de água pluvial no sistema de coleta e transporte de esgoto sanitário por meio de práticas de aproveitamento, na cidade de Bauru/SP. As variáveis de interesse foram parametrizadas utilizando o número de habitantes. Foi usado procedimento amostral para a determinação das áreas de telhado disponíveis. Os resultados apontam para correções de  $f$  ( $f_{\text{corrigido}}$ ) na faixa de 0,86 e 1,14.

**Palavras-chave:** aproveitamento de água pluvial; eficiência do sistema; coeficiente de retorno corrigido.

## ABSTRACT

The return coefficient ( $f$ ) of the sewage disposal system, which presents the ratio given by the volume of wastewater by the public supply system water volume is employed in the design and management of sanitary sewer collection system. The use of alternative sources, such as reuse and rainwater harvesting, are not considered by  $f$ . This article aims at applying the methodology to evaluate the potential release of rainwater in the collection and transportation of sanitary sewage system through recovery practices in Bauru city/SP. Variables were quoted by means of number of inhabitants. The statistical sampling procedure was applied for roof area determination. Results pointed out for  $f$  correction ( $f_{\text{corrected}}$ ) values varying from 0,86 to 1,14 for Bauru city.

**Keywords:** rainwater use; system efficiency; return coefficient.

## INTRODUÇÃO

O aproveitamento de água pluvial é uma alternativa para suprimento em usos não potáveis e pode ser aplicado em residências unifamiliares. Sua utilização, no entanto, gera efluentes que podem retornar à rede coletora de esgoto.

No Brasil, somente o suprimento de água tratada fornecida pelo sistema público de abastecimento é medido. O volume de esgoto gerado nas unidades consumidoras é estimado como sendo uma fração do volume da água tratada, micromedida pelos hidrômetros. Essa estimativa, realizada a partir do quociente dado pelos volumes água/esgoto, é definida como coeficiente de retorno e foi nomeada neste artigo como  $f$ .

Assim, o  $f$  e o volume de água tratada micromedida são usados para a determinação do volume de esgoto sanitário a ser coletado e transportado pela rede pública, sendo esse um dado imprescindível para o projeto de redes de esgoto e para a composição tarifária das autarquias e concessionárias de saneamento.

Todavia, qualquer fonte de suprimento de outra origem que não seja o sistema público de abastecimento não é medida pelo hidrômetro, o que pode levar à subestimação do volume de efluente gerado. Para Dornelles, Goldenfum e Tassi (2012), a não contabilização das frações de água pluvial lançadas na rede de esgoto sanitário tem causado resistência ao seu aproveitamento pelas companhias de saneamento.

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Rio Claro (SP), Brasil.

\*Autor correspondente: rmoruzzi@rc.unesp.br

Recebido: 03/07/2015 - Aceito: 31/05/2017 - Reg. ABES: 151601

A medição direta do volume suprido por fonte alternativa é uma opção a ser considerada. Sua aplicação, entretanto, demandaria tempo, planejamento e geraria custos aos usuários e entes administrativos.

Por sua vez, a medição indireta do volume suprido por fonte alternativa é de fácil implementação e pode ser usada para a estimativa do volume de esgoto gerado a partir da água pluvial, indexando seu valor às medidas de água tratada já realizadas por meio dos hidrômetros (MORUZZI, 2016) e (DORNELLES; GOLDENFUM; TASSI, 2012).

Diante disso, este trabalho teve como objetivo analisar o efeito do lançamento de água pluvial, proveniente dos sistemas de aproveitamento, no *f* da rede coletora de esgoto sanitário a partir de um caso de estudo realizado na cidade de Bauru (SP). Especificamente, também foi necessário analisar a área de telhado de casas e apartamentos de domicílios particulares permanentes urbanos abastecidos pelo sistema público.

## METODOLOGIA

Para este artigo, foram aplicadas as metodologias apresentadas por Ghisi (2006), referentes à estimativa de área de captação; Moruzzi, Garcia e Oliveira (2012), referentes à estimação do volume e das eficiências do reservatório do sistema de aproveitamento de água pluvial; e Moruzzi (2016), referentes à correção do *f* de esgoto.

Foram avaliados diferentes cenários de aproveitamento de água pluvial, com foco em domicílios com sistema de aproveitamento para fins não potáveis de abastecimento em configuração híbrida não dedicada, ou seja, abastecidos por água proveniente do aproveitamento pluvial e do sistema público de abastecimento com uso diverso. Entretanto, somente o uso da bacia sanitária com caixa acoplada foi considerado como de potencial retorno ao sistema de coleta de esgoto. O coeficiente de retorno da rede coletora de esgoto foi convenientemente nomeado *f* para não repetir a nomenclatura *C*, tradicionalmente usada para o coeficiente de escoamento superficial, ou coeficiente de *runoff*.

Os dados sobre a área territorial e a população da cidade de Bauru foram obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014); os dados pluviométricos diários, do Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMet, 2014); os dados cadastrais de 2014, da Prefeitura Municipal de Bauru (PMB), por meio da Secretaria Municipal de Planejamento (SEPLAN); e os dados de consumo médio estimado de água tratada, do Departamento de Água e Esgoto (DAE), em março de 2015.

O ano de 2013 foi considerado hidrológicamente representativo para as simulações utilizadas neste estudo. Nesse ano, a média diária acumulada ficou dentro da média diária dos últimos 6 anos, com 95% de confiança.

A determinação da área total de telhado e por habitante para o município de Bauru, bem como da área de telhado para apartamentos e residências, seguiu a adaptação da metodologia de Ghisi (2006).

A área média de telhado por lote, referente às habitações uni e multifamiliares, foi determinada por método estatístico de amostragem.

Para tal, foi necessário definir o elemento morfológico por meio de um estudo piloto, visando à amostragem definitiva. Para a estimativa da amostragem, Bauru foi subdividida em seis setores, obedecendo à divisão do Mapa de Setores da cidade. O lote foi definido como o elemento morfológico de interesse por estar presente em toda a área de estudo. A variável principal adotada para determinar o tamanho da amostra foi a projeção em planta da área de telhado de cada lote, pois está relacionada com as demais variáveis de interesse, como área construída.

A determinação do tamanho da amostra aleatória foi realizada com base na metodologia de Fontes e Barbassa (2003), fundamentada em estudo estatístico por amostragem estratificada aleatória e proporcional. Dessa forma, o número de lotes da amostra foi definido pela Equação 1.

$$n = \frac{(N \cdot \sigma^2)}{\left( \sigma^2 + (N-1) \cdot \left( \frac{E}{z} \right)^2 \right)} \quad (1)$$

Em que:

*n* = o número de amostras total para coleta de campo;

$\sigma^2$  = a variância da variável principal — nesse caso, a área de telhado;

*N* = o tamanho da população, correspondente ao número total de domicílios particulares permanentes urbanos;

*E* = o erro máximo admitido na estimativa da média, adotado como 5%;

*z* = o quantil da distribuição normal, correspondente a 95% de confiabilidade na estimativa da média.

A fim de garantir a distribuição e a proporcionalidade entre as coletas de amostras entre os setores, utilizaram-se a divisão do município em setores e o número de domicílios particulares permanentes urbanos. Dessa forma, a amostragem foi baseada na proporção homogênea entre o número de domicílios particulares urbanos em cada setor e o número total de domicílios particulares urbanos da cidade, conforme a Equação 2.

$$NB = \frac{NLB}{NLT} * n \quad (2)$$

Em que:

*NB* = o número de amostras por setor de coleta;

*NLB* = o número de lotes por setor, correspondente ao número de domicílios particulares permanentes urbanos por setor;

*NLT* = o número total de lotes da cidade, correspondente ao número de domicílios particulares permanentes urbanos da cidade.

O estudo piloto foi realizado de forma a determinar a variância da variável principal, a qual foi baseada em uma amostragem reduzida no cálculo da determinação do tamanho da amostra total. Para este estudo, utilizaram-se os 6 mapas dos setores de Bauru, amostrando 6 lotes dos setores 1 e 2; 6 lotes do setor 2; 6 lotes do setor 3; 7 lotes

do setor 4; e 5 lotes do setor 5, perfazendo um total de 30 lotes-piloto. Esses dados foram coletados por meio de pesquisa *in situ* e usando os dados constantes no Boletim Informativo Cadastral (BIC) de cada lote que fez parte dessa amostragem.

Para a amostragem, os setores foram divididos em quadrículas equidistantes no eixo de coordenadas. A amostragem foi realizada com uso da ferramenta de geração de número aleatório no Excel MS®, garantindo a imparcialidade na escolha dos lotes. Após a escolha das quadrículas a serem amostradas, os lotes foram identificados e o levantamento da área do telhado foi efetuado.

Os procedimentos para estimação da área de telhado por unidade de apartamento foram realizados seguindo proposta de Ghisi (2006), conforme as Equações 3 a 6. O número de habitantes por domicílio foi determinado usando dados do Censo 2014 do IBGE, aplicados na Equação 4.

$$AAH = \frac{AA}{HD} \quad (3)$$

Em que:

$AAH$  = a área de telhado por habitante para apartamentos ( $m^2$ /habitantes);

$AA$  = a área de telhado por apartamento;

$HD$  = o número de habitantes por domicílio.

$$HD = \frac{HM}{NDM} \quad (4)$$

Em que:

$HD$  = o número de habitantes por domicílio;

$HM$  = o número de habitantes do município — população total urbana;

$NDM$  = o número de domicílios do município — domicílios particulares permanentes urbanos.

O número de domicílios abastecidos com água potável foi obtido por meio de levantamento realizado em agosto de 2014, pelo DAE. Tais dados fazem referência ao número de domicílios particulares permanentes urbanos abastecidos com água potável pelo DAE.

A área de telhado por domicílio (casas e apartamentos) foi apresentada na forma da Equação 5, conforme proposto por Ghisi (2006). A área total de telhado para o município foi estimada conforme a Equação 6.

$$AT = (PC * AC) + (PA * AAH * HD) \quad (5)$$

Em que:

$AT$  = a média ponderada da área de telhado por domicílio ( $m^2$ );

$PC$  = a porcentagem de casas;

$AC$  = a área de telhado para casas ( $m^2$ );

$PA$  = a porcentagem de apartamentos;

$AAH$  = a área de telhado para apartamentos por habitante ( $m^2$ .habitante<sup>-1</sup>);

$HD$  = o número de habitantes por domicílio.

$$ATM = AT * NDA \quad (6)$$

Em que:

$ATM$  = a área total de telhado para o município ( $m^2$ );

$AT$  = a média ponderada da área de telhado por domicílio ( $m^2$ );

$NDA$  = o número de domicílios abastecidos com água potável, correspondente aos domicílios particulares permanentes urbanos abastecidos pela rede geral.

Por fim, determinou-se a área de telhado por habitante com base na área total de telhado e no número de habitantes urbanos do município, conforme a Equação 7.

$$AH = \frac{ATM}{HM} \quad (7)$$

Em que:

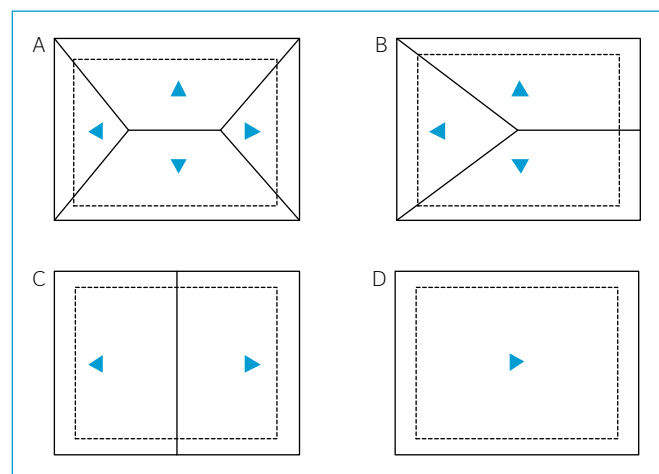
$AH$  = a área de telhado por habitante ( $m^2$ .hab<sup>-1</sup>.);

$ATM$  = a área total de telhado para o município ( $m^2$ );

$HM$  = o número de habitantes no município — população urbana total.

De posse dos dados representativos de áreas potenciais de captação, determinados conforme procedimentos anteriormente descritos, foram realizadas as etapas subsequentes, que visaram avaliar o aproveitamento de água pluvial e o valor corrigido do  $f$  de esgoto.

A área média *per capita* de telhado, determinada conforme a Equação 7, foi empregada para a determinação da superfície de captação do sistema de aproveitamento, adotando configurações geométricas contínuas em caimento múltiplas águas (Figura 1).



**Figura 1** - Configurações geométricas de telhado contínuo com diferentes caimentos em vista em planta. Tais configurações foram investigadas como superfícies de captação de água pluvial, visando ao aproveitamento não potável em sistema híbrido com uso em bacia sanitária com caixa acoplada. (A) Telhado com caimento em quatro águas; (B) telhado com caimento em três águas; (C) telhado com caimento em duas águas; (D) telhado com caimento em uma água.

Para a avaliação do aproveitamento de água pluvial, utilizaram-se os conceitos de eficiência de atendimento e aproveitamento ( $Ea$  e  $Eh$ ) apresentados por Moruzzi, Garcia e Oliveira (2012), conforme as Equações 8 e 9. O coeficiente de *runoff* ( $C$ ) foi adotado como 0,8, tendo em vista a predominância de telhados com cobertura cerâmica. A eficiência do sistema de captação ( $\eta$ ) foi adotada como 1,0, assumindo, portanto, que não há perdas durante a captação. Assumiu-se que a abstração da primeira chuva ( $ff$ ) não ocorrerá, visando avaliar a máxima disponibilidade possível ( $ff = 0$  mm).

$$Ea = \frac{\sum_{i=1}^{365} Va(i)}{\sum_{i=1}^{365} D(i)} \quad Va(i) = \begin{cases} D(i) & \text{se } Vp(i) + S(i-1) \geq D(i) \\ S(i-1) + Vp(i) & \text{se } 0 < S(i-1) + Vp(i) < D(i) \end{cases} \quad (8)$$

Em que:

$Ea$  = a eficiência de atendimento ( $0 < Ea < 1$ );

$Va_{(i)}$  = o volume de água pluvial aproveitado ( $m^3$ );

$D_{(i)}$  = a demanda de água pluvial ( $m^3$ ).

$$Eh = \frac{\sum_{i=1}^{365} Va(i)}{\sum_{i=1}^{365} Vp(i)} \quad \text{para } ff = 0 \quad (9)$$

Em que:

$Eh$  = a eficiência de aproveitamento ( $0 < Eh < 1$ );

$Vp_{(i)}$  = o volume de água pluvial.

Para a correção do  $f$ , foram fixadas as seguintes hipóteses, de acordo com a metodologia de Moruzzi (2016):

- a demanda total ( $DT$ ) refere-se à soma dos usos de água tratada e água pluvial, incidindo o mesmo fator  $f$  sobre as parcelas;
- a água pluvial se destina somente aos usos não potáveis;
- a água pluvial apresenta-se como fonte alternativa, havendo outras formas de abastecimento de água;
- não há criação de nova demanda devido ao uso de água pluvial;
- a demanda diária de água pluvial ( $DAP$ ) permanece constante durante o ano avaliado;
- o conceito de consumo ótimo foi usado para avaliação da disponibilidade, implicando na convergência dos valores de  $Ea$  e de  $Eh$ , ou seja,  $D = Vp$ , conforme as Equações 8 e 9 (MORUZZI; GARCIA; OLIVEIRA, 2012);
- a bacia sanitária hipotética utilizada é do tipo caixa acoplada, abastecida tanto pelo sistema de aproveitamento de água pluvial quanto pelo sistema público de abastecimento, constituindo um sistema híbrido;
- a eficiência total para atendimento da bacia sanitária, correspondente ao valor máximo de 30% do consumo diário total, conforme Pura (1995).

Para a correção do  $f$ , foi necessário determinar as parcelas de água pluvial que abastecem a bacia sanitária com caixa acoplada, nas diferentes configurações estudadas. Essas parcelas foram determinadas a partir das Equações 10 e 11, por meio do cálculo do volume médio ofertado e da eficiência total ( $e$ ). Avaliaram-se diversas configurações de áreas específicas de telhado por habitante ( $m^2.hab^{-1}$ ), volumes específicos de reservatórios ( $m^3.hab^{-1}$ ) e demandas de água total *per capita* (120; 150; 180; 200 e 250 L.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>), com o intuito de analisar o comportamento do coeficiente de retorno corrigido ( $\theta$ ). O valor de  $f_{\text{corrigido}}$  corresponde ao coeficiente de retorno modificado devido ao uso de água pluvial, e sua relação com  $f$  e  $e$  pode ser representada pela Equação 12 (Moruzzi, 2016).

$$V_{mo} = \frac{E_{a/h} \cdot V_a}{365} \quad (10)$$

Em que:

$V_{mo}$  = o volume médio diário de água pluvial ofertada ( $m^3.hab^{-1}.dia^{-1}$ );

$E_{a/h}$  = a eficiência do sistema para a condição de igualdade das eficiências de atendimento e aproveitamento ( $Ea = Eh$ );

$V_a$  = o volume de água pluvial ( $m^3.hab^{-1}.ano^{-1}$ ).

$$e = \frac{V_{mo}}{hab \cdot C_{pc}} \quad \text{Sujeito a: } e \leq 30\%, \text{ para bacia sanitária com caixa acoplada.} \quad (11)$$

Em que:

$e$  = a eficiência total (sujeito a:  $e \leq 30\%$ , para bacia sanitária com caixa acoplada);

$V_{mo}$  = o volume médio de água pluvial ofertada ( $m^3.hab^{-1}.dia^{-1}$ );

$hab$  = o número de habitantes por domicílio;

$C_{pc}$  = o consumo de água *per capita* de 120, 150, 180, 200 e 250 L.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>.

$$\frac{f_{\text{corrigido}}}{f} = \left( 1 + \frac{e}{(1-e)} \right) \quad (12)$$

Em que:

$f$  = o coeficiente de retorno (-);

$f_{\text{corrigido}}$  = o coeficiente de retorno modificado em razão do uso de água pluvial em sistema híbrido (-).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados compilados do DAE levaram ao valor do consumo *per capita* de água de 200 L.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>.

Segundo o cadastro técnico fornecido pela Secretaria Municipal de Planejamento de Bauru (SEPLAN, 2014), a cidade contava, em agosto de 2014, com 206.693 lotes, dos quais 135.736 eram ocupados por empreendimentos verticais (residenciais ou comerciais). Os lotes restantes apresentavam-se vagos na ocasião da pesquisa.

A Tabela 1 apresenta o resultado das amostras nos diferentes setores da cidade, considerando erro máximo de 5% e confiabilidade de 95% na estimativa da média, obtendo-se o total de 658 amostras.

Os dados do Censo 2014 (IBGE) para Bauru apontam 364.562 habitantes e 135.736 domicílios, resultando na média de 2,69 habitantes por domicílio.

Calculadas as áreas de telhado para casas e apartamentos, pôde-se obter os parâmetros da Equação 5 para a determinação da média ponderada de área de telhado para Bauru. A partir da amostragem aleatória proporcional, pôde-se calcular a média das áreas de telhado para casas, obtendo-se o valor de  $139,91 \pm 3,12 \text{ m}^2$ .

Calculou-se a área de telhado para apartamentos, obtendo-se o valor de  $5,58 \text{ m}^2 \cdot \text{hab}^{-1}$ . O número de habitantes por domicílio resultou em 2,69. Assim, a expressão geral que define a média ponderada da área de telhado por domicílio (AT) em Bauru pode ser determinada pela Equação 13.

$$AT = (139,91 \pm 3,12 \cdot PC) + (15,01 \cdot PA) \quad (13)$$

Com referência ao percentual de residências unifamiliares de 93,81% e multifamiliares de 6,19%, determinou-se a média de telhado para os domicílios de Bauru de acordo com a Equação 5, resultando em  $132,18 \pm 2,93 \text{ m}^2$  por domicílio. De posse dos resultados descritos, pôde-se calcular a área total de telhado para a cidade, resultando em  $17,94 \cdot 10^6 \pm 3,97 \cdot 10^5 \text{ m}^2$ . Dessa forma, a área média de telhado *per capita* resultou em  $49,21 \pm 1,01 \text{ m}^2 \cdot \text{hab}^{-1}$ .

Uma vez determinada a área específica de telhado representativa para a cidade de Bauru, pôde-se dar continuidade ao estudo sobre a disponibilidade de água pluvial.

Para isso, foi realizada inicialmente a avaliação do efeito da demanda ótima de água pluvial (D, restrito a  $Ea = Eh$ ) frente aos volumes de reservatório *per capita*. Tais resultados são apresentados na Figura 2. Os valores de eficiência apresentados na Figura 2 se referem apenas ao ponto de convergência das Equações 8 e 9. Verifica-se que o aumento da área

específica resultou no aumento do valor de D e na diminuição das eficiências de atendimento e de aproveitamento de  $Ea$  e  $Eh$ , respectivamente.

Na Figura 3 podem ser observados os volumes médios de água pluvial disponibilizados diariamente para Bauru em 2013, ajustados pela eficiência de atendimento ( $Ea$ ) para diversas áreas específicas de telhado. Nota-se que o potencial de aproveitamento varia de acordo com a área de cobertura e com os volumes específicos do reservatório ( $\text{m}^3 \cdot \text{hab}^{-1}$ ), com tendência a aumentar de forma não linear à medida que aumenta a área específica de telhado ( $\text{m}^2 \cdot \text{hab}^{-1}$ ). Ainda, pode-se observar que o volume do reservatório de água pluvial tem maior efeito no volume médio de água pluvial disponibilizada ( $\text{m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ ) somente para áreas *per capita* maiores que  $15 \text{ m}^2 \cdot \text{hab}^{-1}$ , corroborando os resultados das simulações de Moruzzi (2016).

Na Tabela 2 são apresentados os valores das eficiências totais em relação às demandas investigadas ( $\text{m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ ), em áreas específicas de 4 a  $30 \text{ m}^2 \cdot \text{hab}^{-1}$ , mantendo fixo o volume de reservatório em  $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1}$ , e seus respectivos valores de  $f_{\text{corrigido}}$ . Os resultados

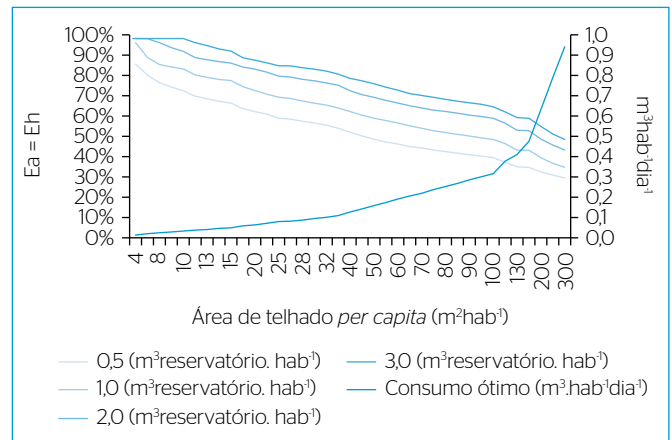


Figura 2 – Eficiências de atendimento ( $Ea$ ) e aproveitamento ( $Eh$ ) para diferentes áreas de telhado e volumes de reservatórios específicos, bem como suas relações com o consumo ótimo diário (D para  $Ea = Eh$ ).

Tabela 1 – Setores de Bauru com suas respectivas populações<sup>1</sup>, número de domicílios<sup>2</sup>, número de amostras e média de área de telhado.

Setores	População residente <sup>1</sup>	Domicílios particulares permanentes <sup>2</sup>	Número de amostras	Média de telhado (m <sup>2</sup> )
1 e 6	14.617	5.442	26	151,94
2	40.682	15.147	74	213,50
3	70.501	26.249	127	141,19
4	171.811	63.970	310	123,32
5	66.951	24.928	121	133,47
Total	364.562	135.736	658	139,91 ± 3,12*

Fonte: <sup>1</sup>IBGE (2014); <sup>2</sup>DAE (2014).  
\*média com intervalo de confiança de 95%.

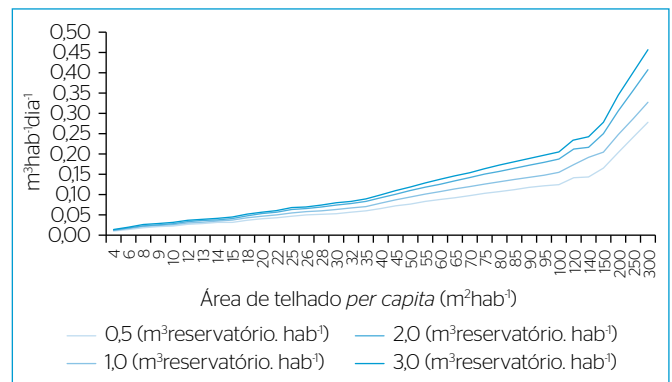
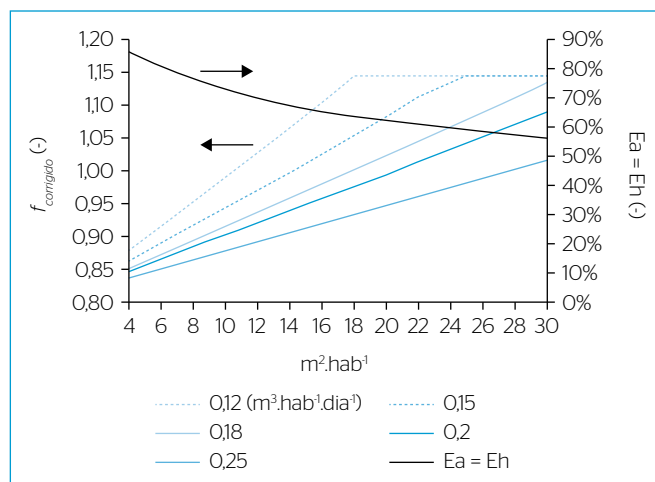


Figura 3 – Volume médio diário de água pluvial ofertada ( $V_{mo}$ ) e sua relação com a área de telhado e com o volume específico de reservatório.

apontaram variações de  $e$  na faixa de 4 a 30%, sendo que esses extremos ocorreram para  $0,25 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  em área específica de  $4 \text{ m}^2 \text{ hab}^{-1}$  e para  $0,12 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  em área específica de  $30 \text{ m}^2 \text{ hab}^{-1}$ , respectivamente. São destacados na Tabela 2 os valores de  $e$  maiores ou iguais a 30%, fração que corresponde ao atendimento pleno da bacia sanitária com caixa acoplada. Nota-se que o atendimento pleno da bacia sanitária pela água pluvial ocorreu somente para área *per capita* de telhado acima de  $15 \text{ m}^2 \text{ hab}^{-1}$ , na demanda total de  $0,12 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  ( $120 \text{ L hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ). Tais resultados indicam que residências de baixo padrão econômico ( $\leq 50 \text{ m}^2$ ) com 4 habitantes não podem atender plenamente com água pluvial a descarga em bacia sanitária com caixa acoplada, mesmo que seja instalado reservatório de  $2 \text{ m}^3$ . Esse fato ressalta a importância de uma análise cuidadosa antes da adoção de qualquer medida corretiva, especialmente para residências de baixo padrão.

Ainda em relação aos dados apresentados na Tabela 2, verificou-se que o  $f_{\text{corrigido}}$  variou de 0,84 a 1,14, e esses extremos ocorreram para  $0,25 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  em área específica de  $4 \text{ m}^2 \text{ hab}^{-1}$  e para  $0,12 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  em área específica de  $30 \text{ m}^2 \text{ hab}^{-1}$ , respectivamente. Tais valores coincidem com os extremos observados para os valores de  $e$ . Para a mesma demanda total, os valores de  $f_{\text{corrigido}}$  responderam diretamente ao aumento de  $e$ . Mantida fixa a área específica, os valores de  $f_{\text{corrigido}}$  responderam de forma inversa ao incremento da demanda total.

Nas Figuras 4 a 6 são apresentados os resultados das simulações que visam avaliar o comportamento do valor de  $f_{\text{corrigido}}$  e das eficiências  $Ea$  e  $Eh$  frente à variação das áreas específicas de telhado e demandas totais, para volumes de reservatório de  $0,5$  a  $2,0 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1}$ , nessa ordem. Fica evidente que, para todas as situações investigadas, os valores de



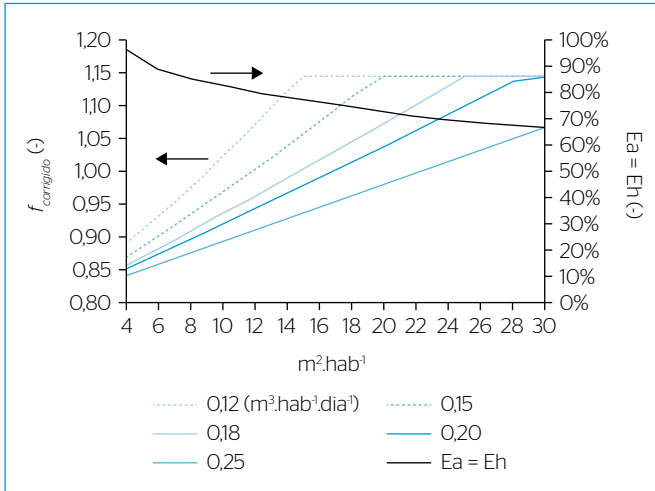
**Figura 4** – Resultados da eficiência ( $Ea = Eh$ ) e do coeficiente de retorno corrigido ( $f_{\text{corrigido}}$ ) para reservatório de  $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1}$  em referência a demandas *per capita* de  $0,12, 0,15, 0,18$  e  $0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$  e áreas específicas de telhado na faixa de  $4$  a  $30 \text{ m}^2 \cdot \text{hab}^{-1}$ . Valores determinados para o ano hidrológico de 2013 com base em precipitação diária. A eficiência total ( $e$ ) foi sujeita à condição  $e \leq 30\%$ , referente à bacia sanitária com caixa acoplada.

**Tabela 2** – Resultados da eficiência e do coeficiente de retorno corrigido para reservatório de  $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1}$ , para as demandas de  $0,12, 0,15, 0,18$  e  $0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$  e áreas específicas de telhado de  $4$  a  $30 \text{ m}^2 \cdot \text{hab}^{-1}$ . Sujeito a:  $e \leq 30\%$ .

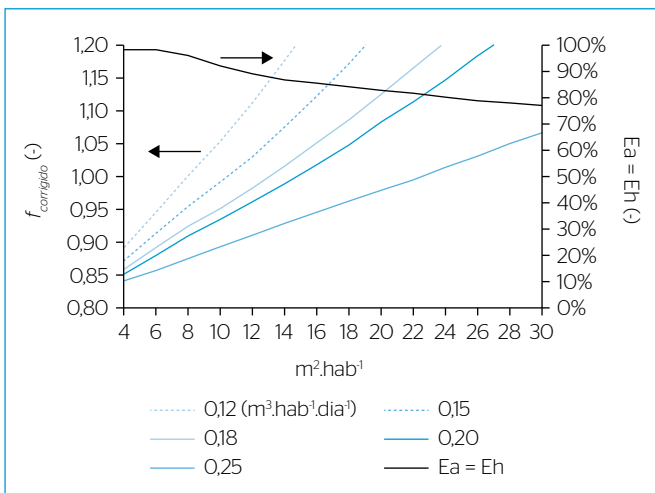
Área de telhado <i>per capita</i> ( $\text{m}^2 \cdot \text{hab}^{-1}$ )	Disponibilidade <i>per capita</i> ( $\text{m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ )	Consumo ótimo <i>per capita</i> ( $\text{m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ )	$Ea = Eh$ ( $0,5 \text{ m}^3$ )	Demanda atendida ( $\text{m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ )	Eficiência para as demandas totais ( $e$ ) ( $\text{m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ )					Coeficiente de retorno corrigido para as demandas totais ( $\text{m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ )				
					0,12	0,15	0,18	0,2	0,25	0,12	0,15	0,18	0,2	0,25
4	4,59	0,013	85%	0,0107	9%	7%	6%	5%	4%	0,88	0,86	0,85	0,85	0,84
6	6,89	0,019	80%	0,0151	13%	10%	8%	8%	6%	0,92	0,89	0,87	0,87	0,85
8	9,19	0,025	76%	0,0192	16%	13%	11%	10%	8%	0,95	0,92	0,90	0,89	0,87
9	10,34	0,028	74%	0,0211	18%	14%	12%	11%	8%	0,97	0,93	0,91	0,89	0,87
10	11,49	0,031	73%	0,0228	19%	15%	13%	11%	9%	0,99	0,94	0,92	0,90	0,88
12	13,78	0,038	70%	0,0263	22%	18%	15%	13%	11%	1,02	0,97	0,94	0,92	0,89
13	14,93	0,041	68%	0,0280	23%	19%	16%	14%	11%	1,04	0,98	0,95	0,93	0,90
14	16,08	0,044	67%	0,0297	25%	20%	16%	15%	12%	1,06	1,00	0,96	0,94	0,91
15	17,23	0,047	66%	0,0313	26%	21%	17%	16%	13%	1,08	1,01	0,97	0,95	0,91
18	20,68	0,057	64%	0,0360	30%	24%	20%	18%	14%	1,14	1,05	1,00	0,98	0,93
20	22,97	0,063	62%	0,0391	30%	26%	22%	20%	16%	1,14	1,08	1,02	0,99	0,95
22	25,27	0,069	61%	0,0421	30%	28%	23%	21%	17%	1,14	1,11	1,04	1,01	0,96
25	28,72	0,079	59%	0,0464	30%	30%	26%	23%	19%	1,14	1,14	1,08	1,04	0,98
26	29,87	0,082	58%	0,0478	30%	30%	27%	24%	19%	1,14	1,14	1,09	1,05	0,99
28	32,16	0,088	57%	0,0505	30%	30%	28%	25%	20%	1,14	1,14	1,11	1,07	1,00
30	34,46	0,094	56%	0,0531	30%	30%	30%	27%	21%	1,14	1,14	1,14	1,09	1,02

$f_{\text{corrigido}}$  respondem de forma inversamente proporcional aos valores das eficiências  $Ea$  e  $Eh$ , já que essas últimas são determinadas relativamente ao consumo ótimo *per capita*.

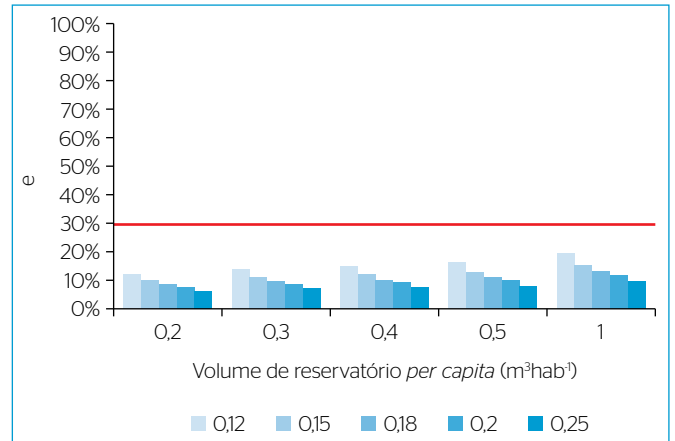
Nas Figuras 7 a 10 são apresentados os valores de  $e$  para diferentes volumes *per capita* de reservatório, considerando a área média *per capita* de telhado para Bauru e para diferentes configurações geométricas contínuas de telhado com caimento em quatro, três, duas e uma



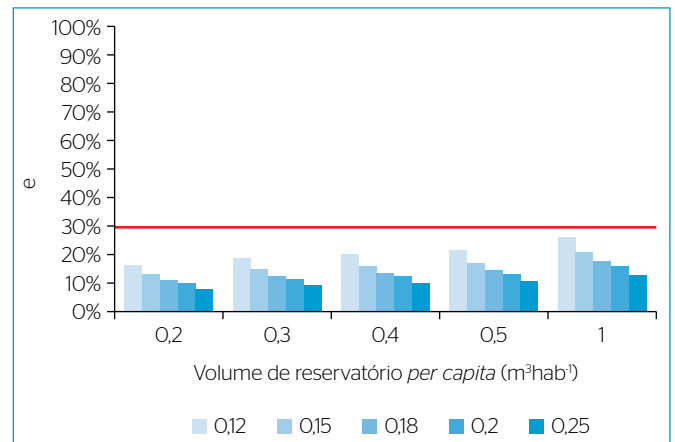
**Figura 5** - Resultados da eficiência ( $Ea = Eh$ ) e do coeficiente de retorno corrigido ( $f_{\text{corrigido}}$ ) para reservatório de  $1,0 \text{ m}^3.\text{hab}^{-1}$  em referência a demandas *per capita* de  $0,12, 0,15, 0,18$  e  $0,25 \text{ m}^3.\text{hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$  e áreas específicas de telhado na faixa de  $4$  a  $30 \text{ m}^2.\text{hab}^{-1}$ . Valores determinados para o ano hidrológico de 2013 com base em precipitação diária. A eficiência total ( $e$ ) foi sujeita à condição  $e \leq 30\%$ , referente à bacia sanitária com caixa acoplada.



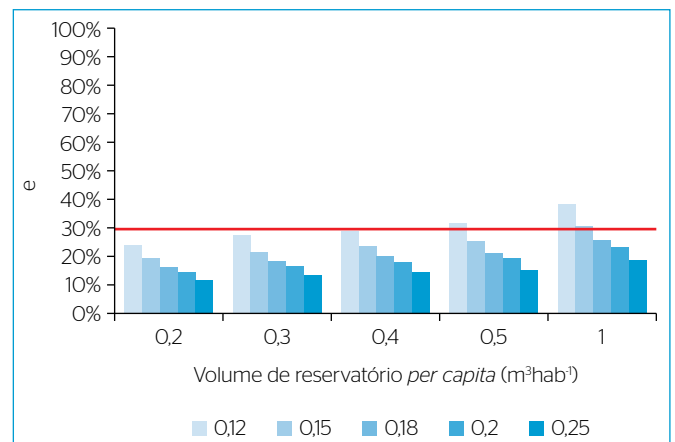
**Figura 6** - Resultados da eficiência ( $Ea = Eh$ ) e do coeficiente de retorno corrigido ( $f_{\text{corrigido}}$ ) para reservatório de  $2,0 \text{ m}^3.\text{hab}^{-1}$  em referência a demandas *per capita* de  $0,12, 0,15, 0,18$  e  $0,25 \text{ m}^3.\text{hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$  e áreas específicas de telhado na faixa de  $4$  a  $30 \text{ m}^2.\text{hab}^{-1}$ . Valores determinados para o ano hidrológico de 2013 com base em precipitação diária. A eficiência total ( $e$ ) foi sujeita à condição  $e \leq 30\%$ , referente à bacia sanitária com caixa acoplada.



**Figura 7** - Eficiência para as demandas totais ( $e$ ) para diferentes volumes *per capita* de reservatório, considerando a área média *per capita* de telhado para configuração geométrica contínua e caimento em quatro águas da cidade de Bauru, SP.



**Figura 8** - Eficiência para as demandas totais ( $e$ ) para diferentes volumes *per capita* de reservatório, considerando a área média *per capita* de telhado para configuração geométrica contínua e caimento em três águas da cidade de Bauru, SP.



**Figura 9** - Eficiência para as demandas totais ( $e$ ) para diferentes volumes *per capita* de reservatório, considerando a área média *per capita* de telhado para configuração geométrica contínua e caimento em duas águas da cidade de Bauru, SP.

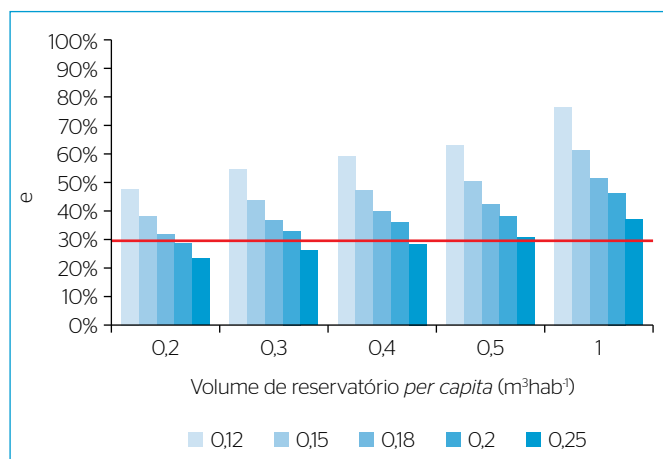
água, como apresentado nos esquemas da Figura 1. Para essas simulações, foi utilizada a área de captação média de Bauru de 49,21 m<sup>2</sup> hab<sup>-1</sup>, e a captação ocorreu somente em um dos caimentos.

Especificamente para as Figuras 7 e 8, fica evidente que todos os valores calculados de *e* foram inferiores a 30%, em todas as demandas totais e volumes *per capita* investigados. Isso indica que a área média de telhado obtida para Bauru não atende plenamente ao requerimento da bacia sanitária com caixa acoplada quando a captação ocorre em uma das quatro ou três águas do telhado (Figuras 1A e 1B).

Para as simulações apresentadas na Figura 9, referentes à configuração geométrica de telhado para duas águas (Figura 1C), verificou-se que os valores calculados de *e* foram superiores a 30% somente na demanda total de 0,12 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> para volumes de reservatório superiores a 0,4 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> e na demanda total de 0,15 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> para volume de reservatório superior a 1,0 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup>. As simulações representadas na Figura 10 mostram que, para o caso da configuração de telhado em uma água, somente a demanda total de 0,25 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> apresentou valores de *e* inferiores a 30% quando o volume de reservatório foi de 0,2 e 0,3 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup>.

As implicações da *e* nos valores de *f*<sub>corrigido</sub> podem ser visualizadas na Tabela 3, para as diferentes configurações apontadas. Em linhas gerais, os valores de *f*<sub>corrigido</sub> variaram de 0,85 a 1,14 em todas as configurações e caimentos estudados, considerando a área média de telhado de 49,21 m<sup>2</sup>.hab<sup>-1</sup> determinada para Bauru. Especificamente, verificou-se que a menor faixa de *f*<sub>corrigido</sub> ocorreu para telhado com caimento em quatro águas.

Para o atendimento da fonte de suprimento alternativa proveniente de água pluvial, com uso restrito à bacia sanitária com *e* menor ou igual a 30%, o fator de correção situa-se entre 1,06 e 1,43 (1,06 ≤ *f*<sub>corrigido</sub> / *f* ≤ 1,43). Para a área média *per capita* de 49,21 m<sup>2</sup> hab<sup>-1</sup>, o *f*<sub>corrigido</sub>



**Figura 10** - Eficiência para as demandas totais (*e*) para diferentes volumes *per capita* de reservatório, considerando a área média *per capita* de telhado para configuração geométrica contínua e caimento em uma água da cidade de Bauru, SP.

máximo foi igual a 1,14 em configuração geométrica de telhado contínua com caimento em uma água. O valor mínimo de *f*<sub>corrigido</sub> foi obtido para telhado contínuo com caimento em 4 águas, com 0,86.

Por fim, vale destacar que os cálculos aqui efetuados se referem ao sistema de aproveitamento otimizado, conforme pressupõe o método apresentado por Moruzzi, Garcia e Oliveira (2012), dentro das condições simuladas para um ano hidrológico específico em medições realizadas para o município de Bauru. Assim, não se recomenda a aplicação irrestrita dos coeficientes de correção aqui apresentados, sob pena de não refletirem as realidades locais.

Ainda, em pequenas residências unifamiliares, o valor disponibilizado pelo sistema de aproveitamento muitas vezes não atendeu

**Tabela 3** - Valores dos coeficientes de retorno corrigidos (*f*<sub>corrigido</sub>) para sistemas híbridos, ou seja, que fazem uso simultâneo de água do sistema público de abastecimento e do sistema de aproveitamento de água pluvial. Volumes reservados *per capita* (m<sup>3</sup>hab<sup>-1</sup>) em diferentes consumos *per capita* (m<sup>3</sup>hab<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup>) para diferentes configurações geométricas contínuas de telhado com caimento em 4, 3, 2 e 1 água, considerando a média de telhado *per capita* de 49,21 m<sup>2</sup>hab<sup>-1</sup> para a cidade de Bauru.

(m <sup>3</sup> hab <sup>-1</sup> )	(m <sup>3</sup> .hab <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )				
	0,12	0,15	0,18	0,2	0,25
<i>f</i> <sub>corrigido</sub> (telhado contínuo com caimento em 4 águas)					
0,2	0,91	0,88	0,87	0,86	0,85
0,3	0,93	0,90	0,88	0,87	0,86
0,4	0,94	0,91	0,89	0,88	0,86
0,5	0,95	0,92	0,89	0,88	0,87
1,0	0,99	0,94	0,92	0,90	0,88
<i>f</i> <sub>corrigido</sub> (telhado contínuo com caimento em 3 águas)					
0,2	0,95	0,92	0,89	0,88	0,87
0,3	0,98	0,94	0,91	0,90	0,88
0,4	1,00	0,95	0,92	0,91	0,88
0,5	1,01	0,96	0,93	0,92	0,89
1,0	1,07	1,00	0,96	0,94	0,91
<i>f</i> <sub>corrigido</sub> (telhado contínuo com caimento em 2 águas)					
0,2	1,05	0,99	0,95	0,93	0,90
0,3	1,10	1,02	0,98	0,96	0,92
0,4	1,13	1,05	1,00	0,97	0,93
0,5	1,14	1,07	1,01	0,99	0,94
1,0	1,14	1,14	1,07	1,04	0,98
<i>f</i> <sub>corrigido</sub> (telhado contínuo com caimento em 1 água)					
0,2	1,14	1,14	1,14	1,12	1,04
0,3	1,14	1,14	1,14	1,14	1,08
0,4	1,14	1,14	1,14	1,14	1,12
0,5	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
1,0	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14



plenamente ao uso investigado. Assim, qualquer medida corretiva deve ser avaliada com cuidado, de modo a não caracterizar um desincentivo às práticas alternativas.

## CONCLUSÃO

A partir dos dados coletados — e aplicando-se a metodologia proposta —, concluiu-se que o município de Bauru (SP) apresenta a área média de telhado de  $139,91 \pm 3,12 \text{ m}^2$  para residências e de  $5,58 \text{ m}^2 \cdot \text{hab}^{-1}$  para apartamentos, resultando em área média ponderada de  $132,18 \text{ m}^2$

por domicílio. A área média *per capita* de  $49,21 \text{ m}^2 \cdot \text{hab}^{-1}$  foi determinada para o perímetro urbano do município.

Os valores de  $f_{\text{corrigido}}$  variaram de 0,86 a 1,14, em todas as configurações e caimentos estudados, considerando a área média de telhado de  $49,21 \text{ m}^2 \cdot \text{hab}^{-1}$  determinada para Bauru. Especificamente, verificou-se que a menor faixa de  $f_{\text{corrigido}}$  ocorreu para telhado com caimento em 4 águas, com referência ao valor de projeto de 0,8.

A correção sugerida restringe-se às unidades que possuem sistema de aproveitamento de água pluvial, em configuração híbrida e dentro das considerações apresentadas neste artigo.

## REFERÊNCIAS

DORNELLES, F.; GOLDENFUM, J.A.; TASSI, R. (2012). Metodologia para Ajuste do Fator de Esgoto/Água para Aproveitamento de Água de Chuva. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n. 1, p. 111-121. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v17n1.p111-121>

FONTES, A.R.M.; BARBASSA, A.P. (2003) Diagnóstico e prognóstico da ocupação e impermeabilização urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 137-147. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v8n2.p137-147>

GHISI, E. (2006) Potential for potable water saving by using rainwater in the residential sector of Brazil. *Building and Environment*, West Lafayette, v. 41, n. 11, p. 1544-1550. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.03.018>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2014) *Portal*. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso: nov. 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS (IPMet). (2014) *Portal*. Disponível em: <<http://www.ipmet.unesp.br>>. Acesso: nov. 2014.

MORUZZI, R.B. (2016) Estimativa do lançamento de água pluvial no sistema de coleta e transporte de esgoto sanitário por meio de práticas de aproveitamento em residências unifamiliares. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41520201600100142009>

MORUZZI, R.B.; GARCIA, M.L.; OLIVEIRA, S.C. (2012) A proposal for reservoir volume calculation in rainwater harvesting systems. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, v. 6, n. 6, p. 707-714.

PROGRAMA DE USO RACIONAL DA ÁGUA (PURA). (1995) *Uso racional da água - USP*. São Paulo: USP.