



## **Estimativa do escoamento superficial em área residencial**

**doi: 10.4136/ambi-agua.1365**

**Received: 16 Aug. 2013; Accepted: 18 Nov. 2013**

**Meire Regina de Almeida Siqueira<sup>1</sup>; Paulo José Maria Filho<sup>1</sup>; Myriam de Fátima Laurindo de Seixas<sup>1</sup>; Marcelo dos Santos Targa<sup>1\*</sup>; Getulio Teixeira Batista<sup>1</sup>; Nelson Wellausen Dias<sup>1,2</sup>; Paulo Augusto Romera e Silva<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPG-CA)

Universidade de Taubaté, Taubaté, SP, Brasil

<sup>2</sup>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Aracaju, SE, Brasil

<sup>3</sup>Centro Tecnológico de Hidráulica (CTH-SP)

Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

\*Autor correspondente: e-mail: targa.marcelo@gmail.com,

meirereginaa@gmail.com, pjmfilho@sp.gov.br, myriamseixas@gmail.com, gtbatista@gmail.com,

nwdias@gmail.com, romera948@gmail.com

### **RESUMO**

Este trabalho teve como objetivo estimar o escoamento superficial em bacia hidrográfica provocado por eventos extremos que frequentemente causam inundação em áreas urbanas. A estimativa de escoamento foi feita por meio do método Curva Número do Natural Resources Conservation Service – USDA, em uma área residencial do município de Guaratinguetá, São Paulo, Brasil. Avaliou-se a situação atual de uso e cobertura, a impermeabilização das áreas com pastagens e o possível reflorestamento dessas áreas. Para caracterização da área, foram utilizados mapas e imagens de satélite do Bairro Residencial Beira Rio I. Além da caracterização do uso e cobertura do solo, da definição do tipo de solo e sua capacidade em termos de infiltração, foram observadas as precipitações máximas locais, o tipo e eficiência do sistema de drenagem. Este estudo foi realizado em um bairro implantado em 1974, que tem uma área de 792.700 m<sup>2</sup>, uma população de 1.361 habitantes, e uma área inclinada coberta com pastagem degradada (Espigão Guaratinguetá-Piagui) localizada de frente para a área residencial. Essa área residencial, localizada em uma planície próxima ao rio Paraíba do Sul, apresenta um sistema de drenagem deficiente, com tubos de concreto, em sua grande maioria, com diâmetro de 0,60 m e contendo vários pontos em aberto que captam a água com sedimentos advindos da área inclinada adjacente. A técnica do Desenvolvimento de Baixo Impacto (sistema LID) parece ser uma solução viável para a drenagem do bairro. Pode-se concluir que o sistema de drenagem do Bairro Beira Rio I em Guaratinguetá apresenta todas as condições e características que viabilizam a aplicação de um sistema de drenagem urbana com baixo impacto. O repovoamento florestal do Espigão Guaratinguetá-Piagui pode reduzir em 50% o escoamento superficial na bacia e minimizar os problemas de inundação no bairro Beira Rio.

**Palavras-chave:** sustentabilidade, drenagem urbana, ciências ambientais, desenvolvimento de baixo impacto.

## Runoff estimation in residential area

### ABSTRACT

This study aimed to estimate the watershed runoff caused by extreme events that often result in the flooding of urban areas. The runoff of a residential area in the city of Guaratinguetá, São Paulo, Brazil was estimated using the Curve-Number method proposed by USDA-NRCS. The study also investigated current land use and land cover conditions, impermeable areas with pasture and indications of the reforestation of those areas. Maps and satellite images of Residential Riverside I Neighborhood were used to characterize the area. In addition to characterizing land use and land cover, the definition of the soil type infiltration capacity, the maximum local rainfall, and the type and quality of the drainage system were also investigated. The study showed that this neighborhood, developed in 1974, has an area of 792,700 m<sup>2</sup>, a population of 1361 inhabitants, and a sloping area covered with degraded pasture (Guaratinguetá-Piagui Peak) located in front of the residential area. The residential area is located in a flat area near the Paraíba do Sul River, and has a poor drainage system with concrete pipes, mostly 0.60 m in diameter, with several openings that capture water and sediments from the adjacent sloping area. The Low Impact Development (LID system) appears to be a viable solution for this neighborhood drainage system. It can be concluded that the drainage system of the Guaratinguetá Riverside I Neighborhood has all of the conditions and characteristics that make it suitable for the implementation of a low impact urban drainage system. Reforestation of Guaratinguetá-Piagui Peak can reduce the basin's runoff by 50% and minimize flooding problems in the Beira Rio neighborhood.

**Keywords:** sustainability, urban drainage, environmental science, low impact development.

### 1. INTRODUÇÃO

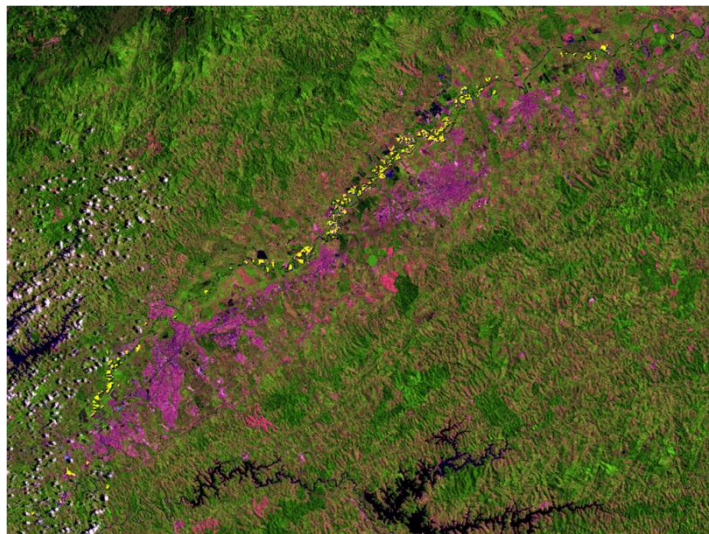
O crescimento urbano ocorrido nas últimas décadas elevou o Brasil à marca de 83% de população vivendo em zona urbana (Tucci, 2008). Esse crescimento urbano foi desordenado e trouxe como principais consequências o aumento do escoamento superficial, a redução da evapotranspiração, a redução do escoamento subterrâneo e o rebaixamento do lençol freático, que, em geral, afetam a conservação da água nas bacias hidrográficas. Além desses aspectos, o aumento da produção de material sólido e da disposição inadequada do lixo pela população resulta, frequentemente, na deterioração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas e afeta a capacidade de escoamento das redes de drenagem, provocando inundações.

Segundo Cardoso Neto (1998), a ocupação urbana ocorre após o desmatamento em áreas com vegetação nativa e tem como consequência o aumento do escoamento superficial e da erosão do solo, comprometendo os canais e as galerias pluviais por meio de assoreamento. Por outro lado, a ocupação das áreas naturais das bacias de inundação de rios intensificou-se, nas últimas décadas, aumentando os danos sociais e materiais causados pelas fortes chuvas devido ao aumento da ocorrência de enchentes nessas regiões.

O sistema de drenagem na maioria das cidades brasileiras, conhecido como microdrenagem, é composto por um conjunto de dutos pluviais ou canais em nível de loteamento ou de rede de drenagem primária. Esse tipo de sistema é projetado para atender à drenagem de precipitações máximas com risco moderado (Tucci, 2002).

Na região do vale do Paraíba paulista, conforme se pode observar na Figura 1, o desenvolvimento das cidades se deu ao longo das margens do rio Paraíba do Sul e, devido ao fato de se localizar no eixo São Paulo - Rio de Janeiro, o vale do Paraíba do Sul estava, já em 2003, tornando-se uma região metropolitana, tendo de fato recebido essa denominação em 2012.

A análise do crescimento urbano é importante para determinar sua influência sobre impactos em bacias hidrográficas e, nesse sentido, o geoprocessamento é uma importante técnica para medidas e análises do crescimento urbano, principalmente em municípios que apresentam problemas de cheias e inundações. Targa et al. (2012), em estudo para estimar a precipitação efetiva e os coeficientes de escoamento, em função das mudanças no uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do igarapé Tucunduba, em Belém, PA, utilizaram as técnicas do Curva Número e de geoprocessamento, que evidenciaram que, em função do aumento da urbanização nos anos de 1972, 1977, 1998 e 2006, a infiltração potencial (S) reduziu drasticamente e, com isso, a precipitação efetiva (escoamento) aumentou em valores médios, para cada ano, de 22,43 mm, 30,90 mm, 53,29 mm e 54,04 mm e os coeficientes de escoamento superficial C de 0,30, 0,41, 0,72 e 0,73 respectivamente.



**Figura 1.** Área urbana (rosa) do vale do Paraíba paulista em 2003, adaptado de Reis et al. (2006).

Siqueira et al. (2006) realizaram estudo de crescimento da malha urbana de Guaratinguetá, SP e das APPs em área urbana, utilizando técnicas de geoprocessamento do software SPRING (Câmara et al. 1996), a partir da Carta do IBGE (1974), na escala de 1:50.000, e por meio de imagem ASTER de 2006. Observaram que a área urbana de Guaratinguetá praticamente dobrou, nas últimas quatro décadas.

Técnicas de geoprocessamento permitiram verificar que 62,9% da área nordeste de Guaratinguetá, a qual inclui o bairro Beira Rio, apresentam problemas críticos relativos à drenagem de águas pluviais (Silva e Sanches, 2010).

O crescimento urbano e seus efeitos na mudança da dinâmica de escoamento superficial vêm ocasionando sérios danos ao meio ambiente bacia do Pararangaba e pesados ônus financeiros ao município de São José dos Campos, SP, principalmente devido à falta de uma legislação que contemple os aspectos do controle das vazões e à não implantação de medidas preventivas que impeçam a ocupação desordenada das bacias (Vendrame e Lopes 2005).

O presente trabalho tem como objetivo determinar a precipitação efetiva e as condições em que ocorre o escoamento superficial na drenagem do Bairro Beira Rio I, no município de Guaratinguetá, SP, considerando o cenário atual: de conservação e de urbanização.

## 2. MATERIAL E MÉTODO

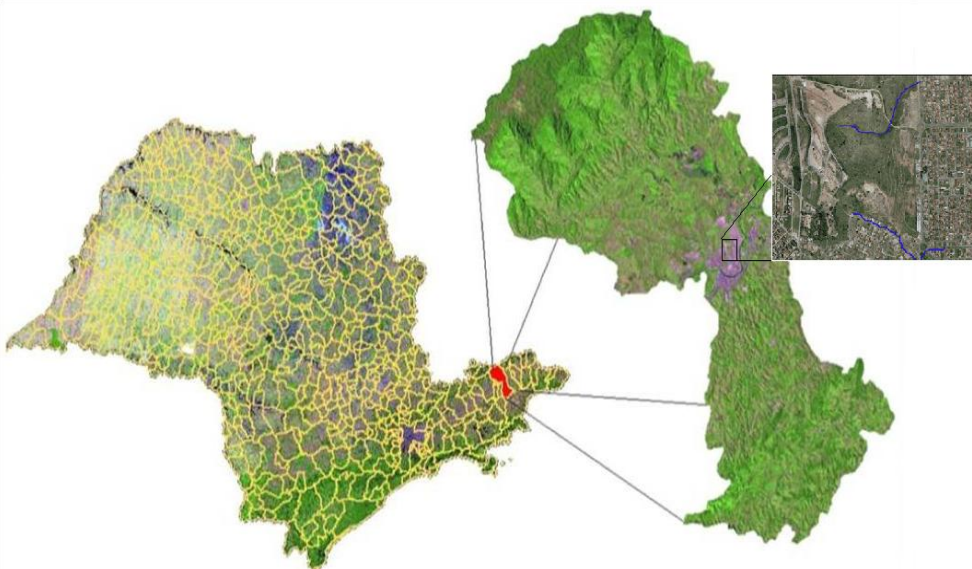
O presente estudo foi desenvolvido com foco no município de Guaratinguetá, SP e, em especial, sobre o sistema de drenagem do bairro residencial Beira Rio I (Figura 2), localizado

na margem esquerda do rio Paraíba do Sul. A área onde está localizado esse bairro, no passado, pertencia à Fazenda Itahiegua, de propriedade da família Bygton. Ali se produzia café, junto ao conhecido espigão Piaguí. Era um local com diversas nascentes, lagos, córregos e vegetação diversificada. O bairro residencial Beira Rio I (Figura 3) foi inaugurado em 1981, com 734 lotes, e sua implantação foi administrada pela Companhia de Desenvolvimento de Guaratinguetá (CODESG), criada pela Lei Municipal nº 1.350/74.

As áreas de várzea em geral, ocupadas irregularmente e são as de maior ocorrência de cheias e inundações quando ocorrem chuvas intensas, como a de janeiro de 2000 que ocasionou muitas perdas em Guaratinguetá (Ponte e Bernardes, 2002).

Guaratinguetá, município localizado no estado de São Paulo, Brasil na região do médio vale do Paraíba, passou a município em 1630 e desenvolveu-se entre as serras da Mantiqueira e do Quebra-Cangalha. Embora, naquela época, a ocupação das áreas do município tenha ocorrido nas colinas ao redor da Igreja Matriz de Santo Antônio, a maior concentração populacional em dias atuais encontra-se nas planícies aluviais do rio Paraíba do Sul.

A cidade de Guaratinguetá, SP ocupa um dos trechos mais estreitos do vale do Paraíba, pois em média 8,8km separam a Serra do Quebra Cangalha da Serra da Mantiqueira, o que proporciona uma quantidade considerável de nascentes próximas ao perímetro urbano, aumentando dessa forma as APPs e, por conseguinte, restringindo áreas para urbanização (Coltrinari, 1975). Contudo, sem muitas opções e planejamento urbano que levasse em conta as questões hídricas e ambientais, as áreas de planícies aluviais foram, paulatinamente, destinadas a loteamentos para as classes média e baixa.



**Figura 2.** Localização do bairro Beira Rio I em Guaratinguetá, SP.

**Fonte:** Siqueira et al. (2006).

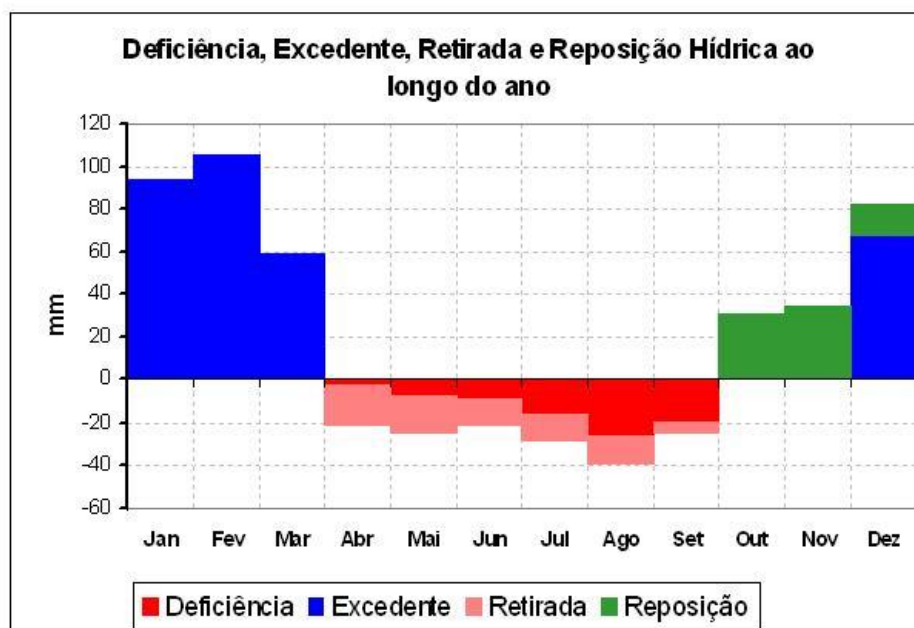
O município de Guaratinguetá apresenta precipitação pluviométrica média anual de aproximadamente 1398 mm (Silva, 2000). O clima é caracterizado como Cwa, tendo verão úmido e inverno seco, segundo classificação de Köppen.

O clima da região do vale do Paraíba pode ser dividido em dois períodos, a saber, um seco, com temperaturas médias entre 15°C e 20°C (abril a setembro), e outro chuvoso, com médias de temperaturas em torno de 25°C (outubro a março), com duração de seis meses cada um (Fisch, 1999).



**Figura 3.** Vista panorâmica do bairro Parque residencial Beira Rio I.  
**Fonte:** Siqueira et al. (2006).

No balanço hídrico médio mensal de Guaratinguetá (Figura 4), pelo método de Thornthwaite-Mather, Siqueira et al. (2006) adotaram uma capacidade de água disponível (CAD) no solo de 100 mm e, por meio do programa “BHnorm”, desenvolvido por Rolim et al. (1998), demonstraram que o município de Guaratinguetá apresenta excedente hídrico no solo nos meses de dezembro a março.



**Figura 4.** Balanço Hídrico no Solo para Guaratinguetá, SP.  
**Fonte:** Siqueira et al. (2006).

Em geral, as áreas mais baixas na bacia hidrográfica apresentam depósitos aluviais recentes com solos dos tipos argilo-siltoso e siltico-arenoso, rasos, com nível freático que varia de 0,60 m a 1,30 m, em média (Coltrinari, 1975). A área da bacia do Beira Rio, em especial, está inserida na Província Geomorfológica do planalto Atlântico, pertencente ao relevo do médio Paraíba (Soares, 2006).

Considerando o georreferenciamento de solos feito por Soares (2006), e com base no levantamento realizado por Oliveira et al. (1999), foi possível identificar a presença de Latossolos Amarelos, junto ao espigão Guaratinguetá-Piaguí, com boa taxa de transmissão de água. Já a área de várzea onde estão localizadas as residências no bairro é formada por solos

classificados como Gleissolos Melânicos, com baixo potencial de infiltração, provenientes de depósitos orgânicos sedimentares aluviais argilo-siltosos.

A estimativa do escoamento superficial foi feita por meio do Método Curva Número NRCS (1997), desenvolvido pelo Soil Conservation Service – USDA, que vem sendo aprimorado desde a década de 1930. O procedimento de determinação do escoamento superficial tem por base a definição do parâmetro CN (Curva Número), o qual depende de fatores de solo, como tipo, condições de uso e ocupação e umidade antecedente. Neste trabalho, seguiram-se as recomendações de drenagem urbana da prefeitura municipal de São Paulo (São Paulo, 1999), de que as perdas iniciais, em áreas com excessiva urbanização, podem ser consideradas como apenas 10% da Infiltração potencial (S), em vez de 20% (Haestad Methods, 2004). Assim, o Escoamento Superficial Direto (NRCS, 1997) em mm foi estimado por meio das Equações 1 e 2:

$$P_e = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{(P + 0,8 * S)} \quad (1)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

em que:

$P_e$  = Precipitação efetiva que potencialmente gera o escoamento superficial em mm.

P = Precipitação máxima em mm.

S = Infiltração potencial máxima em mm.

CN = Número da Curva, adimensional.

Conforme a classificação de grupos de solos descrita por Setzer e Porto (1979), para aplicação do Curva Número no estado de São Paulo, as áreas onde estão localizados os Latossolos Amarelos pertencem ao Grupo de solos do tipo B, enquanto os locais com Gleissolos pertencem ao Grupo de Solos do Tipo D.

A determinação de cada classe de uso e cobertura do solo existente na área de estudo foi feita a partir das fotografias aéreas de Guaratinguetá, ortorretificadas pela FUNCATE (2005), na escala de 1:2500, as quais foram inicialmente mosaicadas no software SPRING versão 4.3.2.

O valor adimensional do CN da Equação 2 deve ser definido por meio de tabela, contudo em situações específicas deve ser ponderado em função da área dos diferentes usos e ocupação do solo, por meio da Equação 3 (Targa, 2011).

$$CN_{pond} = \frac{\sum (CN_c (A_c))}{Area_t} \quad (3)$$

em que:

$CN_{pond}$  = Valor do Número da Curva ponderado, adimensional.

$CN_c$  = Valor do número da curva de cada classe de uso e cobertura do solo da bacia, adimensional.

$A_c$  = Área de cada classe de uso e cobertura do solo da bacia em ha.

$A_t$  = Área total da bacia, em ha.

Para se estimar o escoamento máximo no exutório adotado para a bacia, neste trabalho igualou-se o tempo de duração da precipitação máxima ao Tempo de concentração ( $T_c$ ), o

qual é definido como o tempo necessário para que a água que cai no ponto mais distante chegue até o exutório da bacia. Sua estimativa foi baseada na velocidade média do escoamento superficial, que é a função do espaço a ser percorrido e da declividade equivalente, sendo calculado pela equação de Kirpich (1940).

$$T_c = 57 * \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (4)$$

em que:

Tc = Tempo de Concentração em minutos.

H = Diferença de nível entre o ponto mais distante na bacia e o exutório (m).

L = Comprimento do Talvegue (km).

Com relação ao uso e cobertura do solo do espigão Guaratinguetá-Piagui, neste estudo consideraram-se três situações: a) situação atual; b) situação de urbanização total c) situação de reposição florestal.

Para a situação b), urbanização total do espigão Guaratinguetá-Piagui em que ocorreriam estágios avançados de impermeabilização, adotou-se, na Equação 1, a recomendação do Haested Methods (2004), de que, nesse caso, as perdas iniciais podem ser consideradas como apenas 10% da Infiltração potencial (S), em vez dos 20% recomendados pelo NRCS (1997).

Valores de precipitação máxima com tempos de retorno 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos e tempo de duração igual ao tempo de concentração da bacia para aplicação na Equação 1 foram obtidos a partir dos dados de intensidade de precipitação em mm/min de Guaratinguetá (São Paulo, 1999), descritos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Intensidade de Precipitação máxima em mm/min para Guaratinguetá, SP.

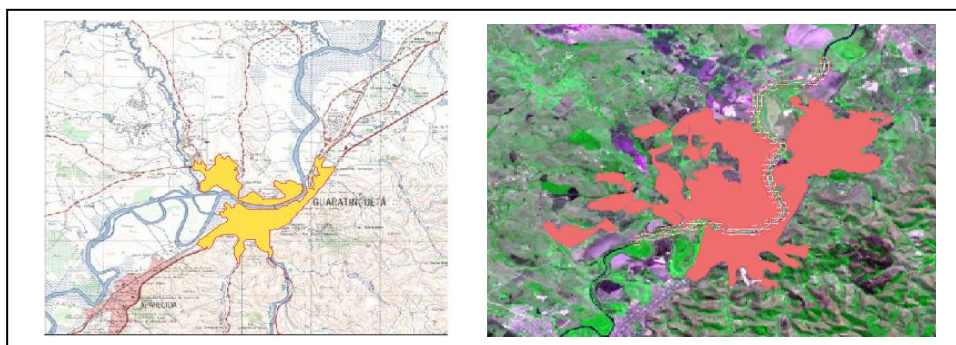
Duração chuva	PERÍODOS DE RETORNO EM ANOS						
	5	10	15	20	25	50	100
(min)							
10	1,875	1,997	2,066	2,115	2,152	2,267	2,380
20	1,527	1,675	1,758	1,816	1,861	1,999	2,137
30	1,213	1,319	1,379	1,421	1,454	1,554	1,653
60	0,796	0,854	0,887	0,910	0,928	0,982	1,037
120	0,514	0,561	0,587	0,605	0,619	0,662	0,706
180	0,434	0,486	0,516	0,536	0,552	0,601	0,650
360	0,261	0,295	0,315	0,329	0,339	0,372	0,404
720	0,155	0,180	0,194	0,204	0,212	0,235	0,259
1080	0,109	0,125	0,134	0,141	0,146	0,161	0,176
1440	0,087	0,101	0,108	0,113	0,117	0,130	0,142

Fonte: São Paulo (1999).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um dos pontos importantes nos municípios que têm problemas das mais diversas ordens, incluindo os de drenagem, é o do crescimento urbano desordenado, que em geral apresenta como característica a ocupação de áreas irregulares. No caso específico de Guaratinguetá, na Figura 5 é demonstrado, por meio de técnicas de geoprocessamento, o crescimento urbano e a existência de APPs em área urbana. A análise das imagens e cartas georreferenciadas permitiu

observar que a área urbana de Guaratinguetá, nas últimas quatro décadas, praticamente dobrou. Conforme demonstram Siqueira et al. (2006) houve maior concentração urbana junto às áreas de planícies inundáveis da margem esquerda do rio Paraíba do Sul, que cresceu de forma irregular, sem nenhuma preocupação com as APPs do rio.



**Figura 5.** Crescimento da área urbana de Guaratinguetá, SP o período de 1974 a 2006.

**Fonte:** Siqueira et al. (2006).

Quando foi liberado para construção das casas, o bairro Beira Rio I não possuía pavimentação, sistema de drenagem e iluminação pública. Dessa forma, durante as chuvas torrenciais as ruas tornavam-se verdadeiros rios, com a água correndo pela superfície, o que era favorecido pela topografia, na região central do bairro em direção à avenida Contorno Leste, onde havia um único canal de drenagem até o rio Paraíba do Sul.

Informações colhidas no local indicaram que as obras de pavimentação e drenagem efetivamente aconteceram em 1996, quando boa parte das casas já havia sido construída. Devido à baixa declividade da porção central do bairro, fez-se necessário o aterramento para a elevação do nível das ruas, deixando muitas casas abaixo do nível de drenagem superficial e, conseqüentemente, vulneráveis às inundações.

Dados cadastrais indicam que o bairro Beira Rio I possui 330.000 m<sup>2</sup> e aproximadamente 554 residências que ocupam mais de 80% do bairro. Com uma população de 1361 habitantes, cujo rendimento familiar mensal, em sua maioria, está entre 5 e 10 salários mínimos, esse bairro pode, portanto, ser considerado de classe média (IBGE, 2000).

Visitas *in loco* evidenciaram no bairro Beira Rio I os seguintes elementos de microdrenagem (Silveira 2002; Tucci 2002): galerias, bocas-de-lobo, tubos de ligação, sarjetas, poços de visita. O bairro conta com três sistemas de galerias feitas em concreto e com diâmetro de 1,5 m, as quais são cobertas por canteiros gramados e são responsáveis por escoar a água da chuva transmitida por meio de tubos de ligação.

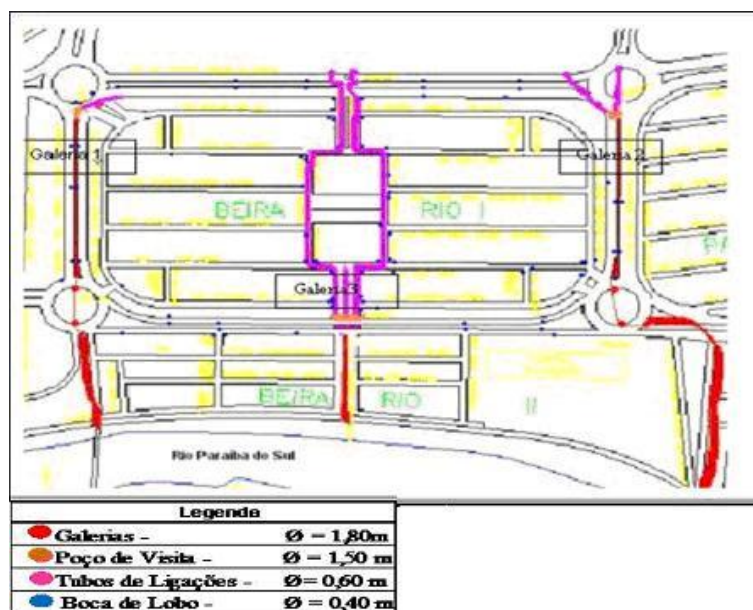
A Galeria 1, localizada no contorno sul do bairro (Figura 6), capta o escoamento superficial da ala sul e também dos bairros vizinhos (Portal das colinas e Parque das Alamedas).

A Galeria 2 passa na avenida Francisco Lopes Neto, limítrofe com o bairro Parque do Sol, capta o escoamento superficial do bairro Beira Rio I e parque do Sol, bem como o escoamento que desce do espigão Piagui com grande carga de sedimentos. A Galeria 2 também é coberta por canteiro até atingir um poço de visita no bairro Jardim Esperança, após o que segue em canal até o rio Paraíba. A Galeria 3 encontra-se no limite entre o bairro Beira Rio I e o bairro Beira Rio II e recebe água dos tubos de ligação de diâmetro de 0,60 m, os quais ligam as bocas-de-lobo e a Galeria 3. Os tubos de ligação percorrem a região central do bairro Beira Rio I, em três redes diferenciadas e lançam o escoamento superficial em 2 poços de visita.



O primeiro poço de visita, de profundidade aproximada 1,50 m, no canteiro central da avenida Professor João Francisco Rodrigues Alckmin, é o ponto de convergência também da rede de boca-de-lobo do canteiro central dessa mesma avenida. O segundo, com aproximadamente 1,80 m, está localizado no bairro Beira Rio II, e se constitui no início da Galeria 3.

Em geral, foi observado o mau estado de conservação dos poços de visitas e das bocas de lobo, os quais se encontravam cheios de resíduos sólidos de toda sorte, cobertos com vegetação e as entradas, embora desprovidas de grades, estavam parcialmente impedidas por resíduos sólidos.



**Figura 6.** Mapa dos elementos do sistema de drenagem do bairro Beira Rio I.

**Fonte:** Adaptado da Carta Municipal de Guaratinguetá, SP, na escala 1:10000 (Guaratinguetá, 2006).

O espigão a montante do bairro é desprovido de cobertura vegetal do tipo floresta, mas conta com cobertura de pastagem rala e degradada que gera, durante chuvas torrenciais de verão, grandes escoamentos e alagamento bairro no Beira Rio e nos bairros subjacentes, os quais têm suas ruas invadidas por água e sedimentos. Como forma de diminuir a força motriz das águas que descem pelo espigão Piagui, a Prefeitura construiu uma série de curvas de nível e diques de contenção (Figura 7a) que realmente auxiliam na redução do escoamento superficial e promovem a infiltração de água no solo, conforme Bertoni e Lombardi Neto (1985). Por outro lado, construiu também valetas (Figura 7b) que direcionam o fluxo para as bocas-de-lobo, as quais recebem a água com elevada concentração de sedimentos, lançando-as diretamente na rede de drenagem.

Outro aspecto que interfere diretamente na forma como ocorre o escoamento é que no Espigão ainda existem nascentes, mas seus córregos, que tinham os exutórios naturais no rio Paraíba, foram canalizados e/ou desviados para a construção do bairro.

As Bocas de lobo no local têm diâmetro de 0,40 m e se concentram na porção central do bairro, onde há maior declividade, e também nas proximidades dos canteiros que contornam o bairro. Dentre todos os elementos de drenagem, são os que menos recebem conservação.

Conforme Silva e Sanches (2010), não se questionam os responsáveis, muito menos suas intenções pela instalação de um sistema de drenagem ineficiente; todavia torna-se importante salientar, de forma clara, os pontos nos quais esses problemas de drenagem são mais

eminentes, no intuito de orientar possíveis ações de planejamento que visem ao desenvolvimento da região nordeste de Guaratinguetá, onde se localiza o bairro Beira Rio. Isso significa pavimentação de ruas, implantação de sistemas de contenção de erosão, manutenção do sistema existente, revisão dos sistemas de drenagem da área e redimensionamento das galerias.

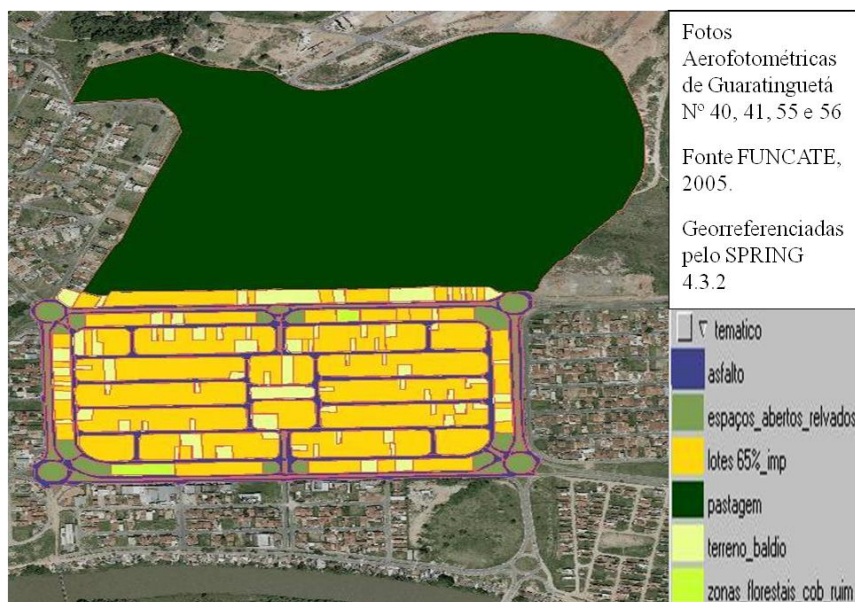


**Figura 7a.** Curvas de nível e diques de contenção.



**Figura 7b.** Valetas de condução de água.

As classes de uso e cobertura do solo existentes no bairro Beira Rio I, em Guaratinguetá, SP, encontram-se na Figura 8.



**Figura 8.** Classes de uso e cobertura do solo do Bairro Beira Rio I, em Guaratinguetá, SP, para a situação atual.

Foram consideradas, para a situação atual, as classes de uso e cobertura do tipo asfalto, terreno baldio em boas condições, espaços abertos relvados, lotes 65% impermeáveis, zonas florestais em condição ruim, todos em solo do grupo D, e pastagem em má condição

hidrológica em solo do grupo B. Para a situação de reflorestamento com espécies nativas da área do espigão Piagui-Guaratinguetá, substituiu-se a classe pastagem por zonas florestais em boa condição. Para a situação de impermeabilização, substituiu-se a classe pastagem do espigão por áreas urbanas (65% de impermeabilização). As áreas de cada classe de uso e cobertura da área de estudo estão definidas na Figura 8, e os valores de CN escolhidos estão demonstrados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Tipos de solo, classes de uso e cobertura, áreas de cada classe e Curva Número definidos como padrão.

Grupo de Solo	Classes de Uso e Cobertura	Área (ha)	Área%	CN
D	Asfalto	7,71	9,73	98
D	Terreno Baldio (boas condições)	4,42	5,58	80
D	Espaços abertos relvados	3,40	4,29	80
D	Lotes (65% impermeável)	22,11	27,89	92
D	Zonas florestais (cobertura ruim)	0,47	0,59	83
B	Pastagem (má condição)*	41,16	51,92	67
B	Zonas florestais (cobertura boa)**	41,16	51,92	55
B	Lotes (65% impermeável)***	41,16	51,92	85

(Área do espigão Piagui \* para condição atual, \*\* para cobertura com floresta e \*\*\* para impermeabilização total).

Os resultados da ponderação da Curva Número, e os valores de Infiltração Potencial para cada situação de uso e cobertura calculados pela Equação 2 encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3.** Curva Número ponderado (CNpond) e Infiltração potencial (S - mm) para cada tipo de tratamento a ser aplicado no espigão Piagui.

Tipos de Uso e Cobertura	CN pond	Infiltração Potencial (S mm)
Atual	78,37	70,12
Impermeabilização (65%) do espigão	87,71	35,59
Reflorestamento do espigão	72,13	98,12

O bairro Beira Rio I tem como contorno, a oeste, o espigão Guaratinguetá–Piagui, divisor das bacias dos ribeirões Guaratinguetá e Piagui, que apresenta altitude máxima de 580 m, com topos amplos e arredondados, altitude mínima no exutório de 525 m. O comprimento do talvegue principal é de 2144 m, condicionando a água a uma declividade média de 25%. Com essas informações, e aplicada a Equação 4 de Kirpich, chega-se ao valor do tempo de concentração de 30 minutos.

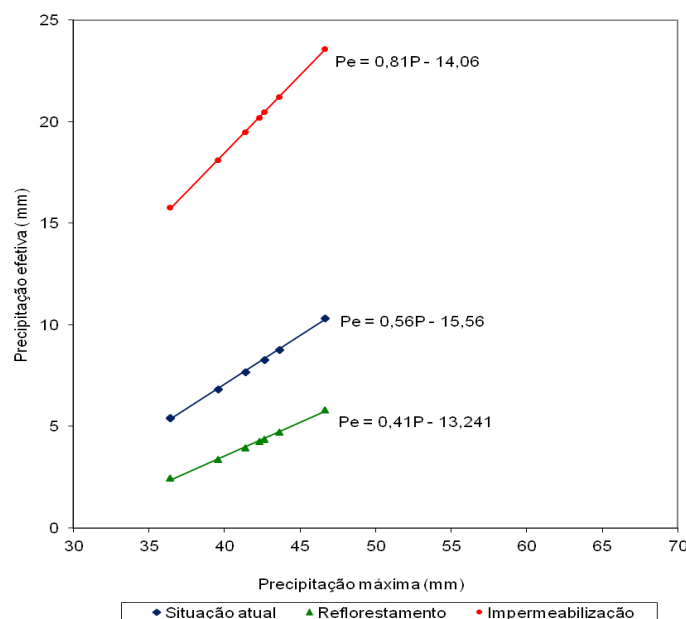
Igualando-se então o tempo de concentração ao tempo de duração da chuva, definiram-se, como consta na Tabela 1 (São Paulo, 1999), os valores de chuva máxima (Tabela 4) para tempos de retorno variando de 5 a 50 anos.

**Tabela 4.** Precipitação máxima em mm para Guaratinguetá, SP.

Duração chuva (min)	PERÍODOS DE RETORNO EM ANOS					
	5	10	15	20	25	50
30	36,39	39,57	41,37	42,63	43,62	46,62

Os resultados de precipitação efetiva em função das precipitações máximas com duração de 30 minutos e tempo de retorno variando de 2, 5, 10, 15, 20, 25 e 50 anos, em função dos

valores de  $CN_{pond}$  e Infiltração potencial (S) para cada situação estudada, estão demonstrados na Figura 9.



**Figura 9.** Precipitação efetiva (Pe) para as Precipitações máximas (P) em função dos tratamentos dados ao espigão Piagui.

Conforme se observa na Figura 9, em geral, quanto maior o valor da precipitação máxima, maior o valor da precipitação efetiva, isto é, maior o valor do escoamento superficial em uma resposta linear. Comparando a situação atual de uso e cobertura com as duas situações propostas para a área do espigão Guaratinguetá-Piagui, observa-se que o reflorestamento do espigão com floresta nativa faz com que o escoamento potencial diminua na área, enquanto a proposta de urbanização faz com que o escoamento potencial aumente grandemente. A resposta da bacia em termos da relação escoamento/chuva para a situação atual mostra que a área responde de modo semelhante a uma área rural com coeficiente de escoamento C ao redor de 0,20, o que demonstra que, embora a área residencial esteja sobre um solo de infiltração deficiente (grupo D), existe, conforme a Tabela 2, um equilíbrio de áreas permeáveis deficientes e impermeáveis de 24% para cada uma. Além desse aspecto, a pastagem, mesmo em condição considerada ruim, está localizada no espigão Guaratinguetá-Piagui, onde começa o escoamento, mas também onde a qualidade do solo em termos de infiltração é melhor (Grupo B).

Por outro lado, quando se pensa em reflorestar a área total do espigão Guaratinguetá-Piagui, realmente se objetiva um resultado interessante em termos de redução do escoamento superficial. A relação escoamento/precipitação nessa condição resulta em coeficientes de escoamento de 0,10, o que realmente demonstra o poder da floresta em frear o escoamento e promover a infiltração, pois nesse caso a infiltração potencial passa de 70 mm, na situação atual, para próximo de 98 mm, no reflorestamento. Outro aspecto que chama atenção na Figura 9 é que o maior valor de precipitação efetiva obtido quando o uso e cobertura do solo é floresta e a chuva máxima é de 46 mm, equivale ao menor valor obtido para a situação atual, quando a precipitação máxima é de 36 mm.

A situação de urbanização do espigão Guaratinguetá-Piagui faz com que o escoamento aumente significativamente, e a relação precipitação efetiva/precipitação indica um coeficiente de escoamento C de 0,5, que é compatível com esse tipo de uso e cobertura, conforme as indicações do DAEE, SP (São Paulo, 1994). Na média, a precipitação efetiva em

mm, na situação de urbanização, é de 320%, superior à precipitação efetiva da situação atual de uso e cobertura do solo, que é 470% superior à precipitação efetiva que ocorreria na situação de reflorestamento do espigão.

As enchentes em 12 bairros considerados áreas de risco, ocorridas em Guaratinguetá nos verões de 2000 e 2006 foram resultados da passagem e da evolução de dois eventos da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) nesses períodos (Brandão e Fisch, 2009).

A ocorrência de situações de alagamento das ruas da parte mais baixa e central do bairro, conforme demonstrado na Figura 10, é muito comum durante os meses de janeiro, fevereiro e março, na região de Guaratinguetá, sendo agravada pela existência de resíduos sólidos nos bueiros.



**Figura 10.** Alagamento das ruas Manoel Ângelo da Silva e Ítalo Cipro, no parque residencial Beira Rio I no dia 29/01/2008.

Especificamente no dia 29 ocorreu uma chuva de 32 mm (INPE, 2008), com duração de 7 horas, o que equivaleria a uma intensidade de 0,07 mm/min. De acordo com a Tabela 1, trata-se de uma chuva com ocorrência menor do que 5 anos e, portanto, muito comum no bairro. Embora seja uma baixa intensidade de chuva, o que contribuiu para o alagamento das ruas da região central do bairro (Figura 10), as chuvas acumuladas nos 5 dias antecedentes a 29/01/2008 foram de aproximadamente 15mm.

Esses resultados permitem afirmar que, se o poder público optasse pelo reflorestamento do espigão Guaratinguetá-Piagui, essa ação, ao longo do tempo, por si só proporcionaria maior equilíbrio ao ciclo hidrológico local e melhores condições de escoamento superficial, diminuindo assim o alagamento do bairro Beira Rio I durante os meses úmidos, pois a variação do escoamento superficial chega a diminuir na média para todos os períodos de retorno, aproximadamente 50% da situação atual para uma situação de reflorestamento do espigão. Por outro lado, também na média para todos os tempos de retorno, a impermeabilização total do espigão Guaratinguetá-Piagui poderia causar aumento de 190% no escoamento superficial, em relação à situação atual, que é de 340% para a situação de reflorestamento.

Apesar da existência de todos os elementos de drenagem sugeridos por Tucci (2002), eles se mostram ineficientes frente às chuvas torrenciais de verão, que provocam alagamentos na região central do bairro, rotatórias, e em suas laterais, principalmente após a criação de novas vias de acesso ao bairro que facilitaram a entrada do escoamento superficial dos bairros vizinhos e de sedimentos provenientes do espigão Guaratinguetá-Piagui.

Além de uma constante manutenção, o sistema de drenagem urbana do bairro Beira Rio I poderia ser adaptado para o emprego do modelo LID ("Low Impact Development" - Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto), que foi desenvolvido por agências do Departamento de Defesa Americano (USDD, 2004) e que consiste em uma estratégia de gerenciamento da água da chuva com a finalidade de manter ou restaurar o ciclo hidrológico natural. Esse sistema sugere que haja um planejamento urbano que considere o ambiente natural, evitando ao máximo a movimentação de terras e respeitando as condições das calhas de drenagem natural, de modo a integrar a ocupação urbana ao meio natural (Souza e Tucci, 2005).

Algumas dessas técnicas poderiam facilmente ser aplicadas ao parque residencial Beira Rio I, promovendo melhoramento na qualidade do escoamento superficial local e diminuindo os impactos por ele causados, por exemplo: 1) repovoamento florestal do espigão Guaratinguetá - Piagui e vedação dos tubos de drenagem ao lado da encosta; 2) direcionamento de fluxos de áreas pavimentadas para áreas vegetadas estabilizadas e de baixo potencial erosivo; 3) estímulo ao escoamento raso em áreas vegetadas; 4) maximização do uso de sistemas de canais abertos (valas de infiltração); 5) aumento e melhoria da vegetação do local e dos lotes; 6) criação de jardins de biodetecção.

#### 4. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o sistema de drenagem do bairro Beira Rio I, em Guaratinguetá, apresenta todas as condições e características que viabilizam a aplicação de um sistema de drenagem urbana com baixo impacto. O repovoamento florestal do Espigão Guaratinguetá-Piagui pode reduzir em 50% o escoamento superficial na bacia e minimizar os problemas de inundação naquele bairro.

#### 5. REFERÊNCIAS

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 1. ed. Piracicaba: Livroceres, 1985. 392p.
- BRANDÃO, R. S.; FISCH, G. F. A Zona de Convergência do Atlântico Sul e seus impactos nas enchentes em áreas de risco em Guaratinguetá-SP. **Revista Biociências**, v. 14, n. 2, p. 95-103, 2009.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, May-Jun 1996. [http://dx.doi.org/10.1016/0097-8493\(96\)00008-8](http://dx.doi.org/10.1016/0097-8493(96)00008-8).
- CARDOSO NETO, A. **Sistemas urbanos de drenagem**. Florianópolis: Laboratório de Drenagem do Departamento de Engenharia Sanitária da Universidade Federal de Santa Catarina, 1998. 19 p.
- COLTRINARI, L. Z. **Contribuição à geomorfologia da região de Guaratinguetá – Aparecida**. 1974. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, 1975.

- FISCH, G. Distribuição da precipitação em Taubaté, Vale do Paraíba (SP). **Revista Biociências**, Taubaté, v. 5, n. 2, p. 7-12, 1999.
- FUNCATE. Fotos aerofotogramétricas do município de Guaratinguetá N° 40, 41, 55 e 56. [S.l.], 2005.
- GUARATINGUETÁ. Secretaria de Planejamento. **Carta Municipal 1:10.000**. Guaratinguetá, 2006.
- HAESTAD METHODS. **Computer applications hydraulic engineering**: connecting theory to practice. 6<sup>th</sup>. Waterbury: Haestad Press, 2004. 375p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Carta do município de Guaratinguetá. Escala 1:50000. Rio de Janeiro, 1974. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 mar. 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estatcart 2000**: dados censitários do município de Guaratinguetá. Rio de Janeiro, 2000. 1 CD-ROM.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Dados de chuvas**. 2008. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/PCD>. Acesso em: mar. 2010.
- KIRPICH, P. Z. Time of concentration of small agricultural watershed. **Civil Engineering**, n. 10, p. 362, 1940.
- NATIONAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE – NRCS (United States). Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall. In:\_\_\_\_\_. **Hydrology**. National Engineering Handbooks. Washington: USDA, 1997. Part 630. Cap. 10. 79p. Disponível em: [www.ftw.nrcs.usda.gov](http://www.ftw.nrcs.usda.gov). Acesso em: 21 nov. 2012.
- OLIVEIRA, J. B; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO, F. B. Mapa pedológico do estado de São Paulo. Legenda expandida. Campinas: IAC; EMBRAPA, 1999. 63p.
- PONTE, C. P.; BERNARDES, G. P. Análise e soluções mitigadoras das regiões afetadas pela inundação de janeiro de 2002, município de Guaratinguetá. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE IMPACTOS AMBIENTAIS URBANOS, 1., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SENISA-URB, 2002. p. 20-23.
- REIS, B. J.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. S.; CATELANI, C. S. Influência das cavas de extração de areia no balanço hídrico do Vale do Paraíba do Sul. **Rem: Revista Escola De Minas**, v. 59, n. 4, p. 391-396, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672006000400007>.
- ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.
- SÃO PAULO (Cidade). Fundação Centro tecnológico de Hidráulica. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. São Paulo, 1999. 289p. Disponível em: <<http://www.fcth.br/public/cursos/canaismares/md.pdf>>. Acesso em: nov. 2012.
- SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE. **Manual de cálculo de vazões máximas, médias e mínimas para as bacias hidrográficas do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1994. 64p.

- SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE. Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo. **Chuva mensal de Guaratinguetá (1940 a 1965)**. São Paulo, 1999. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu?qwe=qwe>. Acesso em: 11 nov. 2012.
- SETZER, J.; PORTO, R. L. L. Tentativa de avaliação do escoamento superficial de acordo com o solo e seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico DAEE**, v. 2, n. 2, p. 81–104, 1979.
- SILVA, F. M.; SANCHES, F. O. Erosão dos solos e urbanização nos bairros da região nordeste de Guaratinguetá: um estudo de caso utilizando imagem Ikonos. *Revista Ciências Humanas*, Taubaté, v. 3, n. 1, 2010. Disponível em: <http://www.unitau.br/revistahumanas>. Acesso em: 21 nov. 2012.
- SILVA, J. U. L. Balanço hídrico na região de Guaratinguetá. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 27., 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n.], 2000.
- SILVEIRA, A. L. L. Problems of modern urban drainage in developing countries. **Water Science & Technology**, v. 45, n. 7, p. 31–40, 2002.
- SIQUEIRA, M. R. A.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. T.; CATELANI, C. S. Mapeamento das áreas de inundações das planícies aluviais de Guaratinguetá através de técnicas de Geoprocessamento. In: SEMINÁRIO DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO PARA ESTUDOS AMBIENTAIS NO VALE DO PARAÍBA, 1., 2006, Taubaté. **Anais...** Taubaté: GEOVAP, 2006. p. 54-64.
- SOARES, P. V. **As Inter-relações de elementos do meio físico natural e modificado na definição de áreas potenciais de infiltração na porção paulista da Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Tese (Doutorado em Ciências) - Departamento de Geociências. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- SOUZA, C. F.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento urbano de baixo impacto. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL RS-SC-PR, 2005, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: ABRH, 2005. v. 1. p. 1-19.
- TARGA, M. S. **Vazão de projeto em bacias hidrográficas rurais com áreas em declive**. Taubaté: Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté, 2011. p. 1-20. Disponível em: <http://www.agro.unitau.br/dspace>. Acesso em: 11 dez. 2013.
- TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. D.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 120-142, 2012. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.905>.
- TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e o uso do solo sobre os recursos hídricos**. In: FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Câmara Temática de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, 2002.
- TUCCI, C. E. M. Urban waters. **Revista do Instituto de Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200007>.
- UNITED STATES. Department of Defense - USDD. **Unified facilities Criteria (UFC)**. Designing: low impact development manual. 2004. Disponível em: <http://www.ccb.org>. Acesso em: 10 jul. 2007.



VENDRAME, I. F.; LOPES, W. A. B. Análise do crescimento urbano e seus efeitos na mudança da dinâmica de escoamento superficial da bacia do Pararangaba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 16-21 de abril de 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2555-2562. Disponível em: <http://martem.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr>. Acesso em: 10 mar. 2013.