

Drenagem Urbana

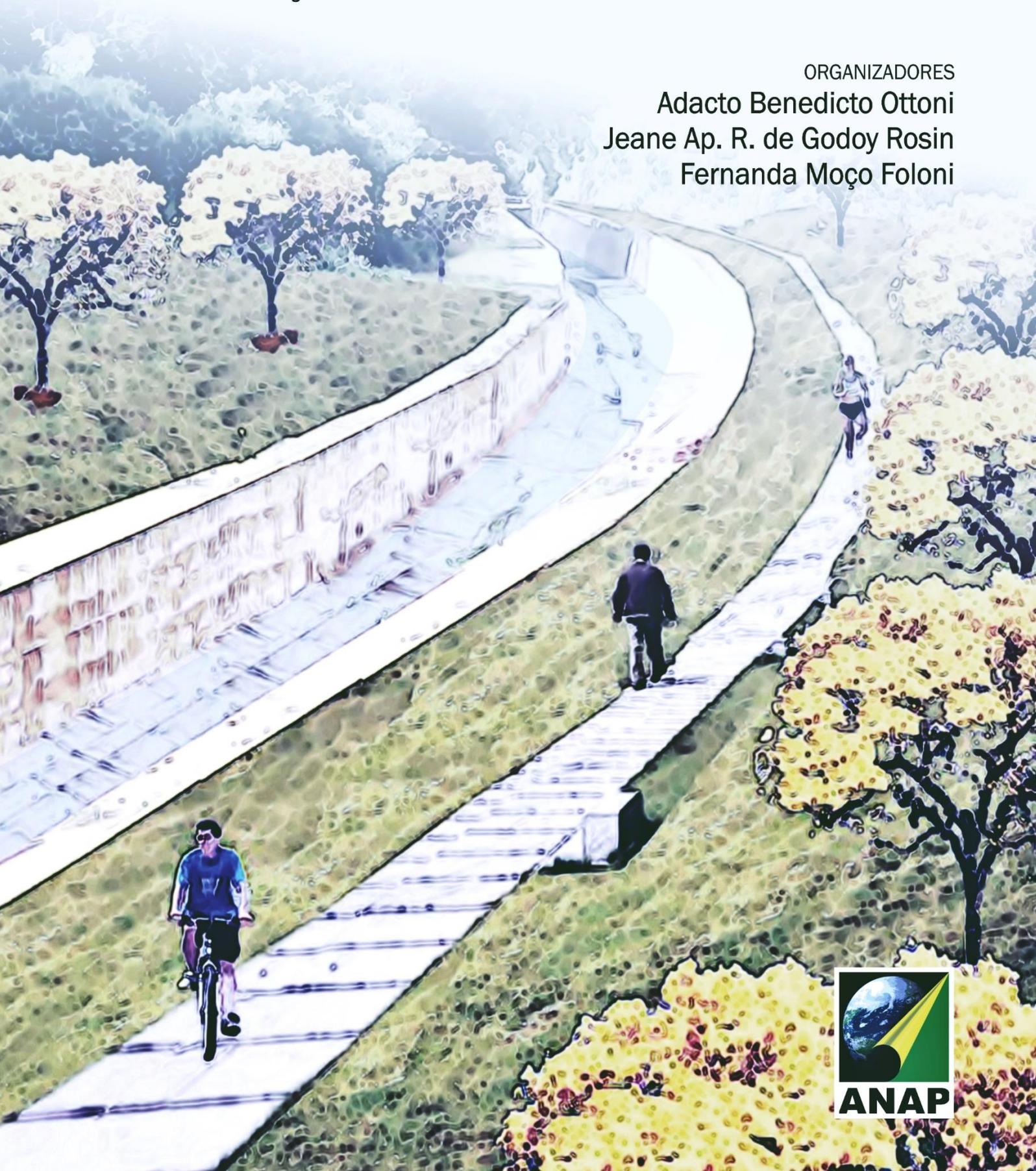
Soluções Alternativas Sustentáveis

ORGANIZADORES

Adacto Benedicto Ottoni

Jeane Ap. R. de Godoy Rosin

Fernanda Moço Foloni



organizadores
Adacto Benedicto Ottoni
Jeane Ap. R. de Godoy Rosin
Fernanda Moço Foloni

Drenagem Urbana

Soluções Alternativas Sustentáveis

1ª Edição

ANAP
Tupã/SP
2018

EDITORA ANAP

Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista

Pessoa de Direito Privado Sem Fins Lucrativos, fundada em 14 de setembro de 2003.

Rua Bolívia, nº 88, Jardim América, Cidade de Tupã, São Paulo. CEP 17.605-310.

Contato: (14) 99808-5947

www.editoraanap.org.br

www.amigosdanatureza.org.br

editora@amigosdanatureza.org.br

Editoração e Diagramação da Obra: *Sandra Medina Benini; Jeane Ap. R. de Godoy Rosin*

Revisão Ortográfica: *Smirna Cavalheiro*

Ficha Catalográfica

OT91d Drenagem Urbana: Soluções Alternativas Sustentáveis / Adacto Benedicto Ottoni; Jeane Ap. R. de Godoy Rosin; Fernanda Moço Foloni (orgs). 1 ed. – Tupã: ANAP, 2018.

118 p; il.; 14.8 x 21cm

ISBN 978-85-68242-70-4

1. Espaço Urbano 2. Águas Plúvias 3. Sustentabilidade
I. Título.

CDD: 710

CDU: 710/49

Índice para catálogo sistemático
Brasil: Planejamento Urbano

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Antônio Cezar Leal – FCT/UNESP

Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira – UFSCAR

Profª Drª Encarnita Salas Martin – FCT/UNESP

Prof. Dr. Erich Kellner – UFSCAR

Prof. Dr. Generoso De Angelis Neto - UEM

Profª Drª Isabel Cristina Moroz Caccia Gouveia – FCT/UNESP

Prof. Dr. Joao Osvaldo Rodrigues Nunes – FCT/UNESP

Profª Drª Maria Cristina Rizk – FCT/UNESP

Prof. Dr. Marcos Norberto Boin - UFGD

Prof. Dr. Paulo Cesar Rocha – FCT/UNESP

Prof. Dr. Ricardo de Sampaio Dagnino – UNICAMP

Profª Drª Rosane Freire – FCT/UNESP

Profª Drª Sandra Medina Benini - UNIVAG

ORGANIZADORAS DA OBRA

Adacto Benedicto Ottoni

Possui Graduação em Engenharia Civil - ênfase em Engenharia Sanitária, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1982), Pós-Graduação em Engenharia Civil Marítima pela Universidade de Trondheim, na Noruega (1985), Mestrado em Engenharia Oceânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1986) e Doutorado em Saúde Pública (Saneamento Ambiental) pela Escola Nacional de Saúde Pública (1996). Atualmente é Professor Associado e Coordenador do Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu" em Engenharia Sanitária e Ambiental da UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro). Tem experiência na área de Engenharia Sanitária, com ênfase em Planejamento Integrado dos Recursos Hídricos, atuando principalmente nos seguintes temas: Desenvolvimento Sustentável, Monitoramento Ambiental, Saúde Pública, Impactos Ambientais e Poluição Hídrica.

Jeane Ap. R. de Godoy Rosin

Professora e Pesquisadora do UNIVAG - Centro Universitário de Várzea Grande-MT. Possui Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de Tupã (1986), Especialização em Planejamento e Gestão Municipal pela FCT/UNESP (2004), Mestrado em Direito do Estado pelo Centro Universitário Eurípedes de Marília (2011) e Doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Presbiteriana Mackenzie/SP (2016) e Pós-doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela FAAC/UNESP - Campus de Bauru-SP (2018). Tem experiência na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase no Planejamento Urbano e Regional, atuando principalmente nos seguintes temas: gestão pública, sustentabilidade urbana, projetos de intervenção urbanística/requalificação de espaços públicos e políticas públicas atreladas ao direito à cidade.

Fernanda Moço Foloni

Formada na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP/Bauru, em 2012. Trabalhou como arquiteta em um escritório de arquitetura em Bauru/SP e como arquiteta paisagista em um escritório de arquitetura de exteriores em São Paulo/SP. Atualmente está cursando mestrado em Arquitetura e Urbanismo na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP/Bauru. Bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) de maio de 2017 a março de 2018. Atua principalmente nos seguintes temas: paisagem, paisagem urbana, águas urbanas, rios urbanos, infraestrutura verde e drenagem sustentável.

SUMÁRIO

Apresentação	07
Capítulo 1	11
O USO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM PARA CONTROLE DOS IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO <i>Luciana Márcia Gonçalves</i> <i>Luana Fernanda da Silva Baptista</i> <i>Rochele Amorim Ribeiro</i>	
Capítulo 2	31
ESTUDO DO GRAU DE IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO E PROPOSTAS DE TÉCNICAS DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL EM ÁREA DO RECIFE <i>Erika Fernanda da Silva Moura</i> <i>Simone Rosa da Silva</i>	
Capítulo 3	43
DIAGNÓSTICO DO PROBLEMA E INDICAÇÕES DE SOLUÇÕES COM SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL PARA O CONTROLE DAS INUNDAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DA PRAÇA DA BANDEIRA, NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO <i>Tania Machado Knaack de Souza</i> <i>Adacto Benedicto Ottoni</i>	
Capítulo 4	59
AVALIAÇÃO AMBIENTAL NO SISTEMA DE AMORTECIMENTO DE CHEIAS DO PARQUE DAS ACÁCIAS, UBERABA (MG) <i>Marcos Fernandes Silva</i> <i>Diego de Souza Sardinha</i> <i>Ana Carolina Borella Anê Marfil</i> <i>Letícia Hirata Godoy</i> <i>Patrícia Diniz Martins</i>	
Capítulo 5	77
PROPOSTA DE SINALIZAÇÃO EM ÁREAS DE RISCO SUJEITAS A ALAGAMENTO EM VIAS URBANAS PARA O MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS – SP <i>Paulo Vaz Filho</i> <i>Katia Sakihama Ventura</i> <i>Pedro Fernando Caballero-Campos</i> <i>Eduardo Tagino Comin</i>	

Capítulo 6 **99**

**OS IMPACTOS DA EROSÃO URBANA E A IMPLANTAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE
MACRODRENAGEM EM RANCHARIA (SP)**

Alyson Bueno Francisco

APRESENTAÇÃO

O problema da drenagem urbana, no Brasil e no mundo, está assumindo uma relevância cada vez maior nas últimas décadas, principalmente devido ao crescimento desordenado das bacias hidrográficas pelo homem. Esse fato gera graves impactos ambientais, como a erosão do solo, a poluição e o assoreamento dos corpos hídricos, e o aumento da impermeabilização do solo. Ao contrário do que atualmente se alega, o aquecimento global não é o principal responsável pelo aumento das enchentes no Brasil nos períodos chuvosos, e sim a antropização crescente e descontrolada das áreas urbanas, que tem sido ampliada cada vez mais para suas áreas periféricas.

Numa bacia hidrográfica preservada com sua vegetação nativa, a floresta presta serviços ambientais fundamentais para o controle das enchentes e conservação do solo. Dessa forma, grande parte das águas das chuvas fica retida nos húmus do solo, no qual as raízes dos vegetais formam fissuras, permitindo a infiltração dessas águas e a consequente recarga dos aquíferos subterrâneos. Como consequência, há o amortecimento das enchentes nos períodos chuvosos, gerando mais água doce e de boa qualidade nos rios nos períodos de estiagem do ano hidrológico, devido à maior recarga fluvial gerada pela alimentação hídrica subterrânea. Esses serviços ambientais executados pela floresta, portanto, contribuem para a regularização das vazões fluviais. Considerando que grande parte da vegetação nativa já não existe, em geral, nas cidades brasileiras e no seu entorno, o conceito contemporâneo e com sustentabilidade ambiental da drenagem urbana consiste na implantação de ações adequadas de gestão ambiental na bacia hidrográfica. Essas ações devem ser planejadas visando realizar efeitos similares aos serviços ambientais executados pela floresta, com a implantação de intervenções de retenção de água na bacia urbana e evitando a concentração de vazões nos rios em suas partes planas e baixas – portanto, reduzindo o risco de transbordamento hídrico fluvial. Ou seja, como principais medidas para mitigar as inundações, deve-se implementar ações de microdrenagem que retenham adequadamente as águas pluviais na bacia, e aumentar a permeabilidade do solo urbano – visando a redução da concentração de vazões na macrodrenagem no período de chuvas intensas -, além de outras ações adequadas de gestão e saneamento ambiental na bacia urbana.

Esta publicação procura exatamente discutir alternativas de soluções dentro do foco da sustentabilidade ambiental, visando reduzir as inundações nas áreas urbanas e proteger a saúde e vida da população. No Capítulo 1, discute-se o uso de técnicas compensatórias de drenagem para controle dos impactos da urbanização, onde a microbacia de estudo está localizada na Área Norte do campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), na cidade de São Carlos (SP); é analisada no Cenário 1 a urbanização convencional, e no Cenário 2 a urbanização convencional com uso de técnicas compensatórias, sendo estudadas: Sistema Integrado de Filtro – Vala-Trincheira (FVT), Plano de Infiltração (PI) e Poço de Infiltração (PO). No Capítulo 2, é estudado o grau de impermeabilização do solo e propostas de técnicas de drenagem urbana sustentável em área do Recife, onde é realizado um diagnóstico do processo de aumento da impermeabilização do solo na área de estudo ao longo do tempo, priorizando-se a solução dos jardins de chuva e dos pavimentos permeáveis. No Capítulo 3, é apresentado um diagnóstico do problema e indicações de soluções com sustentabilidade ambiental para o controle das enchentes na bacia hidrográfica da Praça da Bandeira, na cidade do Rio de Janeiro, onde é feita uma análise crítica das soluções dos pisciões implantada pela Prefeitura; além disso, são apresentados conceitos de soluções de obras de retenção hídrica adequadas, e também outras intervenções de gestão sustentável e de saneamento ambiental da bacia urbana. No Capítulo 4, é feita uma avaliação ambiental no sistema de cheias no Parque das Acácias, em Uberaba (MG), onde são realizados estudos ambientais do sistema de amortecimento de cheias na região e análises de parâmetros de qualidade de água, que permitiram mensurar as condições ambientais das lagoas de amortecimento do parque, com a apresentação de sugestões e recomendações. No Capítulo 5, é apresentada uma proposta de sinalização em áreas de risco sujeitas a alagamentos em vias urbanas para o município de São Carlos (SP), compondo medidas preventivas e não-estruturais para que haja a possibilidade de alertar a população sobre os riscos de enchentes, alagamentos e inundações; o estudo tem como base o referencial teórico especialmente relacionado a desastres e prevenção de risco. No Capítulo 6, são estudados os impactos da erosão urbana e a implantação das estruturas de macrodrenagem em Rancharia (SP), onde é apresentada a evolução temporal e espacial de uma boçoroca localizada na periferia desta cidade, e havendo a implantação de medidas de controle da erosão urbana, com a macrodrenagem na cabeceira desta

boçoroca; o trabalho também alerta sobre as dificuldades enfrentadas pelas pequenas cidades diante do alto custo das obras, e a necessidade de monitoramento e cadastro dos processos erosivos para evitar futuros riscos à população e redução do problema do assoreamento dos rios.

Capítulo 1

O USO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM PARA CONTROLE DOS IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO

Luciana Márcia Gonçalves¹

Luana Fernanda da Silva Baptista²

Rochele Amorim Ribeiro³

INTRODUÇÃO

Os processos históricos, sociais e econômicos, pelos quais as cidades se constroem, caminham em paralelo às transformações espaciais identificadas ao longo do tempo. Neste contexto, o Brasil se caracteriza por passar por um processo intenso de urbanização há aproximadamente 60 anos. Enquanto que em 1960 cerca de 30% da população vivia nas cidades, em 2010 constatou-se que 84,4% moravam em áreas urbanas (IBGE, 2010).

Essa migração trouxe para o país consequências estruturais e sociais: com o aumento da renda per capita, novos padrões de ocupação do espaço foram sendo definidos, estabelecendo novas demandas de infraestrutura. Por outro lado, quando se compara os tipos de infraestrutura existentes, a rede de drenagem se diferencia das demais por não precisar necessariamente de um sistema construído para seu funcionamento, pois a tendência natural do solo é o escoamento e a infiltração das águas, desde que seus caminhos não sejam obstruídos (Baptista et. al., 2011).

No desenvolvimento das cidades que buscam o baixo impacto no processo de urbanização, vários aspectos devem ser considerados, compondo um panorama complexo, integrado e multidisciplinar. Deste modo, é fundamental que o planejamento

¹ Professora Doutora, da Universidade Federal de São Carlos. E-mail: lucianamg@ufscar.br

² Mestre em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de São Carlos. E-mail: baptista.luana@yahoo.com.br

³ Professora Doutora, da Universidade Federal de São Carlos. E-mail: rochele@ufscar.br

urbano tenha como um dos indutores a gestão das infraestruturas. Neste trabalho, dar-se-á destaque para a drenagem urbana sustentável, importante componente do sistema de infraestrutura urbana que pode influenciar consideravelmente no uso e ocupação do solo.

Com o aumento da ocupação das terras urbanizadas, que resultaram na ampliação das áreas impermeabilizadas, o destino das águas pluviais sofreu significativas alterações, causando mudanças no ciclo hidrológico natural. Como forma de conter este impacto, tem-se aplicado nas cidades o manejo sustentável das águas da chuva. Seu princípio é reduzir os danos promovidos pela impermeabilização do solo, diminuir a velocidade de escoamento superficial, as vazões de pico e reduzir o tempo de concentração. Desta forma, o planejamento urbano aliado a técnicas sustentáveis de drenagem urbana estimula a permanência de áreas com cobertura vegetal e a compensação das áreas construídas, a fim de possibilitar o escoamento natural das águas pluviais.

Segundo Tucci (1995), o aumento do escoamento superficial pluvial gera impactos nocivos por meio de inundações de áreas ribeirinhas e pelos alagamentos decorrentes da urbanização e/ou da obstrução do escoamento, já que grande parte da vazão pluvial é canalizada. No processo tradicional de urbanização, as áreas de cobertura vegetal são substituídas por materiais impermeáveis, como o asfalto, por exemplo, reduzindo as taxas de infiltração de água da chuva no solo. Essas alterações interagem de acordo com as áreas onde há maior ou menor precipitação de chuvas. Ademais, quando essas redes de drenagem são construídas, o dimensionamento de suas tubulações se encontra defasado, devido aos processos acelerados de impermeabilização das cidades (Santos, 2006). Como forma de administrar os impactos gerados pela impermeabilização e defasagem da rede, encontram-se, em uso crescente, as técnicas compensatórias (ou alternativas) de drenagem urbana.

Diferentemente da drenagem urbana clássica, onde a gestão das águas visa apenas às situações de cheia, demandando elevados custos com canalização e alterações no curso natural dos rios, a drenagem compensatória destina-se à diminuição dos impactos da urbanização através do aumento das taxas de infiltração da água da chuva no solo e da desaceleração do escoamento superficial das águas, resgatando o hidrograma das condições de pré-urbanização (Tucci, 1995).

As técnicas compensatórias ou *Best Management Practices* (BMPs) foram desenvolvidas nos anos 70, na América do Norte, e se aplicam em locais onde há, preferencialmente, disponibilidade de território e áreas verdes. Conforme Baptista et. al. (2011), os dez primeiros minutos de chuva carregam uma elevada carga de poluição, já que as águas pluviais “lavam” a cidade. Dessa forma, foram desenvolvidas técnicas compensatórias que visam controlar a quantidade de água escoada superficialmente para as galerias e rios, seja pela infiltração ou detenção, pela diminuição da velocidade de escoamento e pelo aumento da taxa de evapotranspiração. Esse tipo de manejo das águas da chuva possibilita a proteção da qualidade da água e a implantação de paisagens ambientalmente mais agradáveis.

As técnicas também são denominadas alternativas por considerarem os impactos da urbanização de forma global, tomando a bacia hidrográfica como base de estudo e buscando compensar, sistematicamente, os efeitos da urbanização. Esta compensação é efetuada através do controle na fonte (em lotes) do excedente de água da chuva com o intuito de evitar sua transferência rápida para as áreas à jusante (de menor cota) (Baptista et. al., 2011). Soma-se a isto o caráter multifuncional, o que permite ganhos urbanos, funcionais e paisagísticos quando associados a espaços coletivos urbanos.

Em vista disto, neste trabalho foram analisadas as técnicas compensatórias sob o ponto de vista da sua funcionalidade e integração com o espaço, através de dois cenários de estudos localizados na microbacia do campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), na cidade de São Carlos (SP). O campus, tal qual nos processos de urbanização clássicos, passa por um processo de expansão física e, conseqüentemente, apresenta uma ampliação das áreas impermeabilizadas advindas das novas necessidades de edificações, vias e estacionamentos. Como método de análise, avaliaram-se os aspectos ambientais, hidrológicos e urbanísticos da microbacia em dois diferentes cenários de desenvolvimento: o Cenário 1: Urbanização convencional, que contempla a drenagem tradicional e o uso da rede pública de drenagem; e o Cenário 2: Urbanização convencional com uso de técnicas compensatórias, que utiliza a implantação das estruturas para promover a desconexão de áreas impermeabilizadas da rede de drenagem. A partir da comparação destes dois cenários de desenvolvimento e seus respectivos aspectos e parâmetros, foi possível verificar e identificar como as técnicas compensatórias

influenciam no resultado da paisagem hidrológicamente funcional. Tais análises serão apresentadas por meio de mapas, tabelas, gráficos e figuras.

MATERIAIS E MÉTODOS

A microbacia de estudo está localizada na Área Norte do campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), da cidade de São Carlos (SP), e possui uma área total de 4,65 ha (Figura 1). Para se obter a real eficácia da aplicação das técnicas compensatórias na microbacia, foram definidos e avaliados os parâmetros relativos aos aspectos ambientais, hidrológicos e urbanísticos em dois cenários de desenvolvimento: o Cenário 1: Urbanização convencional, onde é considerada a rede pública canalizada de drenagem; e o Cenário 2: Urbanização convencional com uso de técnicas compensatórias, onde é considerada a implantação das técnicas, através da desconexão do volume de água das áreas impermeabilizadas que iriam para a rede canalizada.

Figura 1: Localização da microbacia no campus da UFSCar



Fonte: G-Hidro (2015)

Os aspectos ambientais se caracterizam por serem elementos que interagem com o meio ambiente, sejam eles naturais, quando o relacionamos com a dimensão das áreas verdes e massa arbórea, por exemplo, ou humanos, quando o relacionamos com preocupações sanitárias que abrangem questões de saúde pública, como a possibilidade de transmissão de vetores ou contaminação de grandes espaços.

Os aspectos hidrológicos visam o resgate das condições hidrológicas de pré-urbanização. Para isso, são utilizados parâmetros como Volume (V), Vazão de Pico (Q), Tempo de Concentração (Tc), Intensidade (I) e controle da qualidade da água. Com o levantamento desses parâmetros foi possível realizar as devidas comparações hidrológicas entre os cenários propostos.

Para os cálculos, foi adotado o Método Racional, pela sua simplicidade e por ser indicado para situações em que a bacia possui área inferior a 2,5 km² (VISSMAN et. al., 1989).

Integrando os aspectos ambientais e hidrológicos, é possível reconhecer quais parâmetros de projeto garantem a permanência mais adequada das condições naturais do ciclo hidrológico, seja pela configuração estabelecida na paisagem urbana, seja pela sua qualidade.

Já os aspectos urbanísticos são representados por parâmetros que caracterizam a bacia através do seu uso, da infraestrutura existente e da relação entre áreas livres e as áreas ocupadas.

Uma vez definidos os aspectos e parâmetros necessários para a comparação dos cenários, foi estruturada uma tabela baseada nos critérios criados por Tavanti (2009), com o intuito de facilitar a legibilidade de cada cenário (Quadro 1).

Quadro 1 - Quadro de análise dos cenários.

ASPECTOS	PARÂMETROS				
AMBIENTAIS E SANITÁRIOS	Áreas Verdes (m ²)	Área de Gramíneas (m ²)			
		Arborização (unidade)			
		Eucaliptal (m ²)			
	Condutividade Hidráulica Saturada do Solo (Ksat)				
	Compactação				
	Risco de Água com Finos e Poluição				
	Risco de Poluição Subterrânea				
Risco Sanitário					
HIDROLÓGICOS	Coeficiente de Escoamento Superficial Ponderado - C				
	Intensidade (mm/h)				
	Tempo de Concentração – Tc (min.)				
	Tempo de Retorno - Tr (anos)				
	Vazão de Pico - Q (m ³ /s)				
	Volume de Armazenamento para a Área - V _A (m ³)				
	Volume de Armazenamento para Desconexão de Áreas Impermeáveis Diretamente Conectadas- V _{AIDC} (m ³)				
	Volume de Escoamento Superficial Direto - V _{ESD} (m ³)				
URBANÍSTICOS	Áreas Impermeáveis (m ²)	Áreas Impermeáveis Diretamente Conectadas – AIDC (m ²)		Áreas de Edifícios e Telhados (m ²)	
		Áreas Impermeáveis Não Conectadas - AINC (m ²)		Áreas de Calçadas e Platôs (m ²)	
				Meio-fio (m)	
				Via (m ²)	
	Áreas Permeáveis (m ²)	Áreas Verdes (m ²)			
		Áreas de Projeção das Técnicas Compensatórias (m ²)			
		Áreas de Revestimento Permeável - Calçadas, Vias e Estacionamento (m ²)			
		Áreas de Telhado Verde (m ²)			
	Áreas de Expansão (m ²)				
	Área Total Desconectada (m ²)				
	Técnicas Compensatórias	Tipo	Volume (m ³)	Área Ocupada (m ²)	
	Infraestrutura (m)	Água			
		Drenagem Pluvial			
		Elétrica			
		Esgoto Sanitário			
Incêndio					
Telefonia					
Instrumentos Urbanísticos	Área Total Construída - ATE (m ²)				
	Coeficiente de Aproveitamento - CA				
	Gabarito				
	Percentual de Área Permeável (%)				
	Taxa de Ocupação (TO)	Áreas de Edifícios (%)			
		Áreas Impermeáveis (%)			
		Áreas Permeáveis (%)			
		Áreas Verdes (%)			
		Áreas de Vias e Estacionamentos (%)			
Topografia - Inclinação Média da Microbacia (%)					
Uso e Ocupação do Solo					

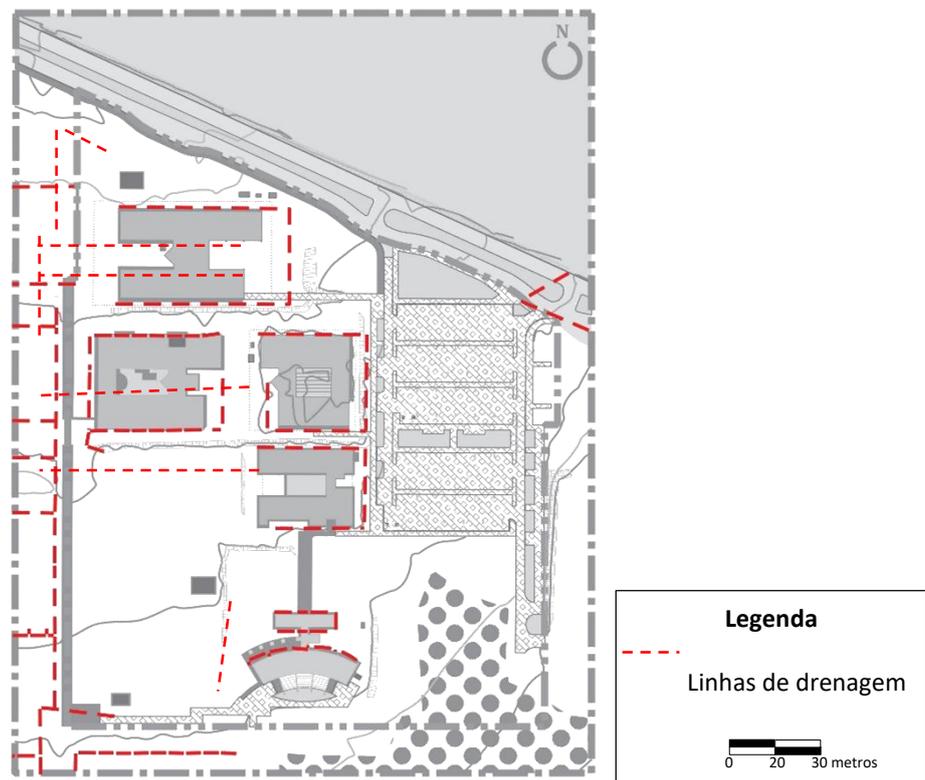
Fonte: Autores.

CENÁRIO 1: URBANIZAÇÃO CONVENCIONAL

Neste cenário, a urbanização junto à rede de drenagem procura escoar toda a água da chuva no menor tempo possível através de tubulações que encaminham essas águas para as áreas a jusante, ou seja, de menor cota.

Para a quantificação deste cenário, foi utilizado o mapeamento disponibilizado pelo Escritório de Desenvolvimento Físico da Universidade (EDF Maio/2013) através do software AutoCAD. Por meio da planta digitalizada foi possível definir os limites territoriais, quantificar espacialmente a microbacia, compreender os aspectos urbanísticos e identificar as áreas impermeáveis conectadas à rede de drenagem convencional (Figura 2).

Figura 2 - Sistema de drenagem convencional da microbacia e parte do entorno.



Fonte: G-Hidro (2015)

Para se entender a dinâmica territorial da microbacia e seu entorno, especialmente os conflitos, foram realizadas visitas *in loco* e ensaios práticos de acordo com as normas específicas, conforme a bibliografia utilizada. No ensaio de duplo anel, foi possível identificar o índice de permeabilidade e infiltração da água da chuva no solo da

microbacia, confirmando a intensa compactação na área a jusante. Esta compactação ocorreu devido ao trânsito de automóveis diretamente sobre o solo exposto. Tais características evidenciam e confirmam o motivo do surgimento de significativos pontos de alagamentos em seu entorno no instante da chuva.

CENÁRIO 2: URBANIZAÇÃO CONVENCIONAL COM USO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS

Este cenário caracteriza-se por receber, sobre o mesmo contexto do Cenário 1: Urbanização Convencional, as técnicas compensatórias construídas pelo grupo de pesquisa G-Hidro (2016) na microbacia de estudo. Neste cenário foram implantadas as técnicas compensatórias com o intuito de reduzir a necessidade de implantação dos dispositivos tradicionais de microdrenagem, como boca de lobo e sarjetas, favorecer a infiltração da água da chuva no solo, diminuir os impactos hidrológicos e tentar resgatar o máximo possível do hidrograma de pré-urbanização.

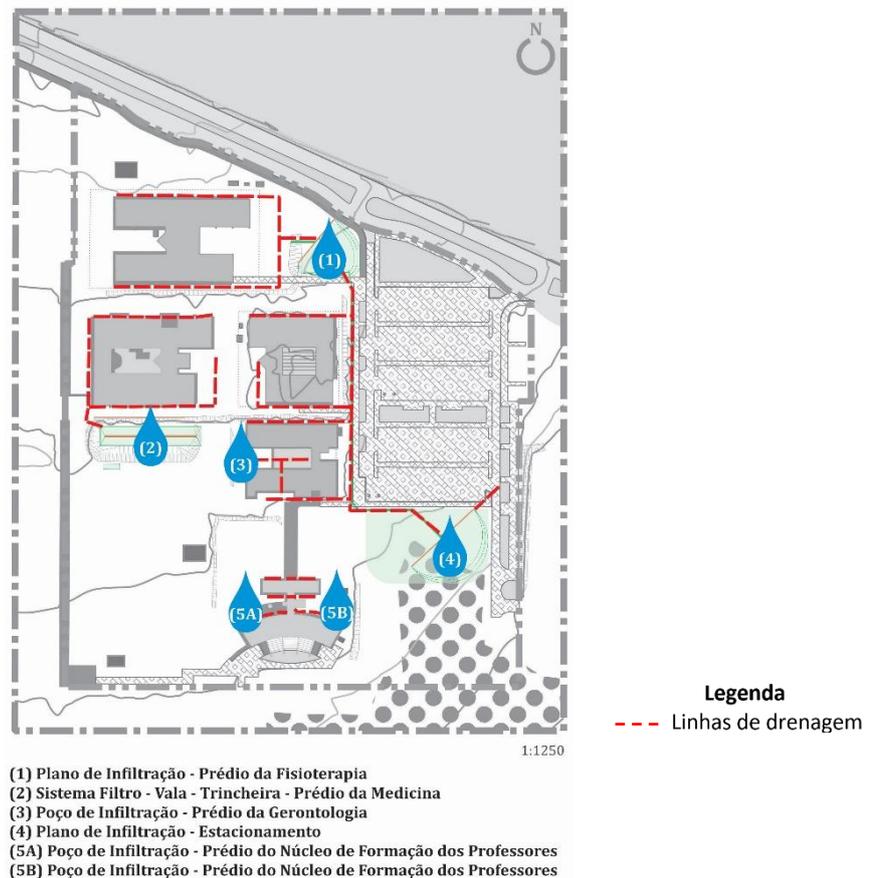
Para atingir os objetivos citados, foram compreendidos os métodos de planejamento e gestão praticados na microbacia, com o intuito de determinar as possibilidades de construção das técnicas compensatórias, já que estas devem possuir dimensão reduzida devido à complexidade da sua construção em espaços já ocupados por edificações. A relação entre a taxa de ocupação do solo e sua influência na composição das áreas impermeáveis também permitiram análises quanto ao desenvolvimento das técnicas.

Trata-se, portanto, de uma abordagem comparativa, na qual a inserção de estruturas compensatórias na microbacia foi avaliada sob o ponto de vista hidrológico, ambiental e paisagístico. Para a elaboração e posterior avaliação do Cenário 2 foram utilizadas estratégias que já consideram a mitigação dos impactos ocorridos pela urbanização, por meio da redução do Coeficiente de Escoamento (C) e da diminuição da Vazão de Pico (Q). Através da implantação de valas vegetadas, aumento dos caminhos e dos fluxos das águas, bem como o estímulo ao acréscimo das áreas de cobertura vegetal, foi verificado a relação existente entre o escoamento das águas da chuva e o desempenho de áreas com vegetação.

Por meio do mapeamento disponibilizado, das visitas *in loco* e da identificação dos controles hidrológicos a serem atendidos, como volume a ser armazenado e espaços a

serem desconectados, foi possível estabelecer e indicar quais estruturas melhor compensam os conflitos e quais as melhores localidades de implantação das técnicas, conforme Figura 3. Dessa forma, se quantificou os parâmetros e estabeleceram-se as comparações necessárias quanto aos ganhos e impactos negativos da paisagem.

Figura 3 - Localização das técnicas compensatórias no Cenário 2.



Fonte: G-Hidro (2015)

Critério de escolhas de tipo e dimensionamento das técnicas compensatórias

Na microbacia foram adotados diferentes tipos de técnicas compensatórias, definidas conforme análise dos seguintes critérios:

- Critérios físicos: leva em consideração a geografia física do local. A topografia da microbacia apresenta duas características importantes para a implantação das técnicas: uma declividade menor que 5%, considerada satisfatória para a implantação das técnicas, pois impede a permanência permanente de um

aporte de água e a não existência de um exutório permanente; o nível do lençol freático ser profundo.

- Critérios urbanísticos e de infraestrutura: consideram o consumo de espaço utilizado para as edificações e o quanto as redes enterradas interferem na possibilidade de intervenções no local. Foi observada a existência de disponibilidade de espaço e a ausência de uma interferência direta das redes existentes a partir do mapeamento disponibilizado pelo EDF.
- Critérios sanitários e ambientais: verificam a possibilidade de contaminação do solo e a proliferação de vetores. Na microbacia, a água é proveniente de telhados, o que impede o risco de poluição do solo e a ausência de estagnação da água no local.

Diante das análises das condições locais e volumes de água a serem infiltrados ou conduzidos, foram definidas as seguintes técnicas: Sistema integrado de Filtro – Vala-Trincheira (FVT), Plano de Infiltração (PI) e Poço de Infiltração (PO). O local de implantação das técnicas foi definido conforme a necessidade de armazenamento do prédio ou da área impermeabilizada a ser compensada, bem como a área livre disponível na proximidade.

As técnicas compensatórias no Cenário 2 encontram-se, quase todas, implantadas por meio de financiamentos de pesquisas, sendo objeto de investigações científicas. Destacam-se nos estudos as seguintes técnicas e seus autores: o Sistema Filtro - Vala - Trincheira (item 2 da Figura) foi estudado por GUTIERREZ (2011) e LUCAS (2011); o Poço de Infiltração do Núcleo de Formação dos Professores (item 5B da Figura) foi dimensionado e estudado por ANGELINI SOBRINHA (2012); os Planos de Infiltração (itens 1 e 4 da Figura) foram estudados por TECEDOR(2015) e SILVA (2015). Já o Poço de Infiltração referente ao item 5A da Figura que, até o momento, não foi construído.

Plano de Infiltração

O Plano de Infiltração é uma estrutura que pode ser definida como uma área rebaixada, com profundidade reduzida, coberta com grama, inclusive nas suas laterais, e que recebe água pluvial vindas de superfícies impermeáveis (MOURA, 2005). Esse tipo de dispositivo deve ser utilizado em terrenos com baixa declividade, visto que em terrenos

acidentados a água ganha velocidade e permanece pouco tempo em contato com o solo, não permitindo sua adequada infiltração (HOLZ e TASSI, 2007). O funcionamento do Plano de Infiltração da microbacia da UFSCar tem seu escoamento ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Funcionamento esquemático dos Planos de Infiltração.



Fonte: G-Hidro (2016)

Após o escoamento para o Plano de Infiltração, as águas pluviais ficam armazenadas por no máximo 24 horas, já que a água pode ser infiltrada no solo ou escoar através de um dispositivo instalado no final da estrutura. O Plano de Infiltração - Prédio da Fisioterapia foi projetado com uma forma de arco de elipse, sendo a dimensão do semieixo maior de 25,85m e do semieixo menor de 19,90m, com um volume total de armazenamento de 111,34m³.

Poço de Infiltração

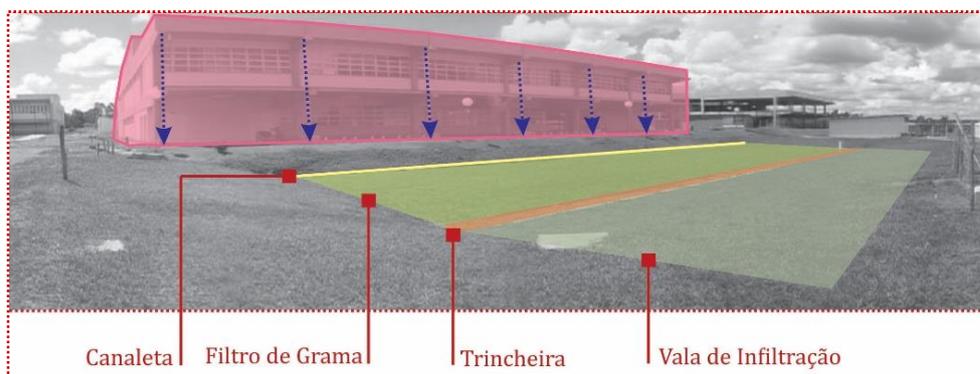
O Poço de Infiltração é uma técnica pontual de controle na fonte e que se caracteriza por necessitar de pequenas áreas para sua implantação. Tem função de minimizar as vazões de pico e aumentar a quantidade de água que infiltra no solo, contribuindo para a diminuição do volume do escoamento superficial (ANGELINI SOBRINHA, 2012). Já o esvaziamento da água neste dispositivo pode ser por infiltração no

solo ou pelo lençol freático. Em locais onde a camada superficial é pouco permeável e as camadas mais profundas permeáveis, este dispositivo se mostra como uma solução bastante adequada (BAPTISTA et. al., 2011).

Sistema Filtro – Vala – Trincheira (FVT)

O Sistema Filtro – Vala – Trincheira (FVT) foi a primeira técnica construída na microbacia. Segundo Baptista et. al. (2011), as trincheiras são técnicas lineares implementadas junto à superfície, com pequena largura e profundidade, porém com dimensões longitudinais mais significativas. Podem ser usadas em canteiros centrais e calçadas, ao longo do sistema viário, em jardins, áreas verdes ou terrenos esportivos. O funcionamento do Sistema FVT ocorre de acordo com Figura 5 e no caso de um extravasamento, as águas são encaminhadas para a rede convencional existente (LUCAS, 2011).

Figura 5 - Funcionamento esquemático do Sistema FVT.



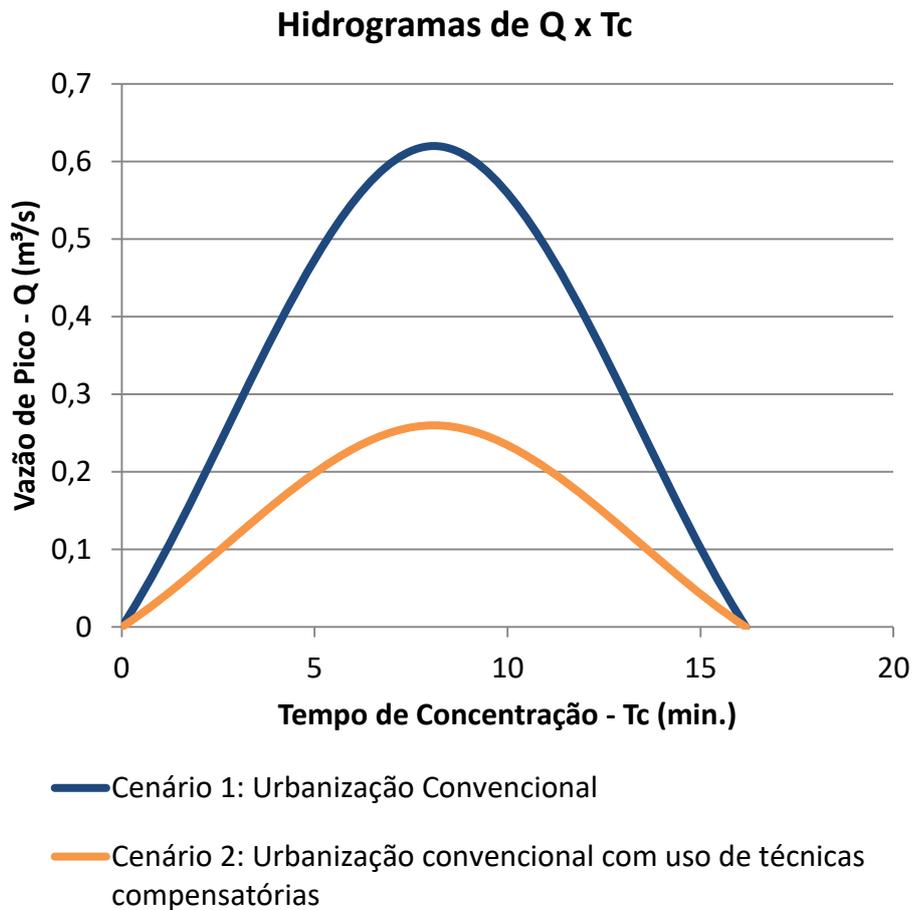
Fonte: G-Hidro (2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ASPECTOS HIDROLÓGICOS

A comparação entre cada cenário teve como principal resultado o Hidrograma de Vazão de Pico (Q) x Tempo de Concentração (T_c), cujos resultados podem ser visualizados no Gráfico 1. Em relação ao Cenário 2, ficou evidente que a inserção de estruturas compensatórias no espaço urbanizado reduziu os impactos negativos hidrológicos, pois houve uma redução de 41,93% da vazão de pico em relação ao Cenário 1.

Gráfico 1 - Hidrogramas comparativos de Q X Tc dos cenários.



Fonte: Autores

No Quadro 3 são demonstrados os valores extraídos das pesquisas individuais e comparados neste trabalho para fins de análise do resultado na microbacia como um todo. O uso dos dispositivos compensatórios fomentou a multifuncionalidade da área ocupada, inserindo novas funções a espaços que antes obtinham apenas valor paisagístico. Sobre as áreas verdes, em ambos os cenários sua superfície permaneceu, sendo equivalente a 67,47% da área da microbacia. Com a implantação dos dispositivos foi possível que houvesse uma redução nas Áreas Impermeáveis Diretamente Conectadas (AIDC), diminuindo o volume das águas pluviais que chega à rede convencional. É interessante destacar que a implantação das técnicas não necessitou de grandes movimentações de terra, garantindo melhorias na relação com os parâmetros hidrológicos. Outra consideração é quanto ao V_{ESD} , que somente com parte das estruturas compensatórias construídas, teve seu volume reduzido em 42,94%. Já o volume

necessário para armazenar as águas provenientes das áreas parcialmente desconectadas da rede foi de 570,65 m³.

Quadro 3 - Comparação entre os cenários quanto aos Aspectos Hidrológicos.

ASPECTOS HIDROLÓGICOS		
PARÂMETROS	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2
Caracterização do Sistema de Drenagem	Escoamento por condutos enterrados	Escoamento por canais gramados e condutos enterrados
Coefficiente de Escoamento Superficial Ponderado - C	0,35	0,15
Intensidade (mm/h)	135,31	135,31
Tempo de Concentração - T _c (min)	8,09	8,09
Tempo de Retorno - T _r (anos)	10	10
Vazão de Pico - Q (m ³ /s)	0,62	0,26
Volume de Armazenamento para a Área - V _A (m ³)	283,54	55,31
Volume de Armazenamento para Desconexão de áreas Impermeáveis Diretamente Conectadas - V _{AIDC} (m ³)	0	570,65
Volume de Escoamento Superficial Direto - V _{ESD} (m ³)	299,62	128,66

Fonte: Autores

ASPECTOS AMBIENTAIS E SANITÁRIOS

O Risco de Água com Finos e com Poluição, além da Poluição Subterrânea, é um dos impactos mais presentes na urbanização convencional. No entanto, com a implantação das técnicas é possível reduzi-los através das premissas projetuais dos próprios dispositivos, já que o solo realiza naturalmente uma filtragem na água. Por isso, no Cenário 2, tais riscos são considerados ausentes. Há um impedimento de que esse material chegue ao nível subterrâneo, pois na urbanização convencional a tubulação encaminha toda água que possui carga poluidora para o corpo receptor final, o rio. Já o risco sanitário está ausente em todos os cenários, devido: ao Cenário 1 possuir o sistema de drenagem convencional dimensionado para escoar toda água da chuva o mais rápido possível; e ao Cenário 2 ter o dimensionamento das técnicas considerando a permanência da água na superfície por no máximo 24 horas. Esta situação somente ocorre em grandes eventos, quando o solo já se encontra saturado. Os dados comparativos entre os cenários ficam evidentes no Quadro 4.

Quadro 4 - Comparação entre os cenários quanto aos Aspectos Ambientais e Sanitários.

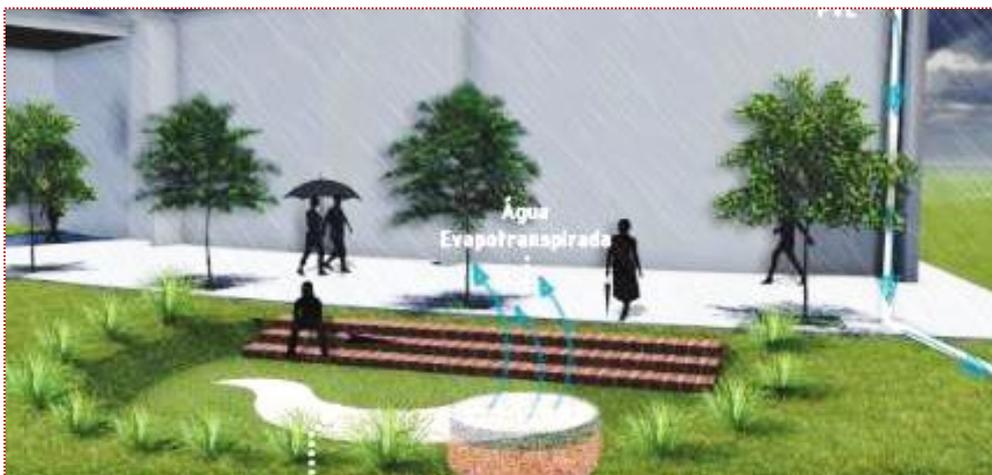
ASPECTOS AMBIENTAIS E SANITÁRIOS		
PARÂMETROS	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2
Microbacia (ha)	4,65	4,65
Áreas verdes (m ²)	Gramados (m ²)	26.484,06
	Arborização (unidade)	193
	Eucaliptal (m ²)	2.479,21
Condutividade Hidráulica Saturada do Solo (Ksat)	Para 30 cm: 5×10^{-5} m/s Para 50 cm: $5,8 \times 10^{-5}$ m/s	Para 30 cm: 5×10^{-5} m/s Para 50 cm: $5,8 \times 10^{-5}$ m/s
Compactação	Variou entre 92,5 na superfície e 72,3 na profundidade de 90 cm	Variou entre 92,5 na superfície e 72,3 na profundidade de 90 cm
Risco de Água com Finos e Poluição	Existente	Ausente
Risco de Poluição Subterrânea	Existente	Ausente
Risco Sanitário	Ausente	Ausente

Fonte: Autores

ASPECTOS URBANÍSTICOS

A paisagem multifuncional foi obtida nos projetos desenvolvidos a fim de revelar a possibilidade de integração das técnicas com o espaço do entorno, inclusive com seus usos. No projeto para o Poço de Infiltração com superfície rebaixada, foi possível oferecer uma integração entre a edificação e o Poço de Infiltração, promovendo usos múltiplos, como infiltração e lazer em uma só estrutura. As características urbanísticas da estrutura podem ser visualizadas na Figura 6.

Figura 6 - Poço de Infiltração com superfície rebaixada.



Fonte: G-Hidro, 2016.

CONCLUSÃO

A comparação para fins de análise da eficiência do Cenário 2 da microbacia de estudo foi realizada a partir da pesquisa relativa aos aspectos ambientais, hidrológicos e urbanísticos, considerando as alterações provocadas pela implantação das técnicas compensatórias no Cenário 2. As estruturas foram executadas nas áreas livres da microbacia de acordo com os dimensionamentos calculados para proceder a desconexão da rede. Os resultados da avaliação dos cenários podem ser resumidos nos seguintes comentários:

(1) Quanto aos aspectos ambientais do Cenário 1, identificou-se que as áreas verdes correspondem a 67,47% dos 4,6 ha totais. Constata-se a existência de risco de água com finos e poluição ou risco sanitário, já que existe uma urbanização e automóveis circulando no local. Conforme encontrado nos ensaios de duplo anel (permeabilidade do solo), realizados pelo G-Hidro (2016), o solo apresentou um K_{sat} que variou de $3,75 \times 10^{-5}$ a 5×10^{-5} , devido à passagem de veículos pesados. Também foi constatado *in loco* que a área do estacionamento é um ponto de alagamento, já que escoar a água das vias do seu entorno.

(2) Quanto aos aspectos hidrológicos do Cenário 1, que por sua vez já apresentam alterações, se comparados a um cenário de pré urbanização, este apresenta-se totalmente canalizado. Considerando o fato de que a microbacia possui o sistema de drenagem canalizado, foi encontrado um T_c de 8,09 min para uma $I = 135,31$ mm/h e uma $Q = 0,62$ m³/s. Por conseguinte, o V_{ESD} foi de 299,62 m³, e o $V_A = 283,54$ m³;

(3) Quanto aos aspectos urbanísticos do Cenário 1 pode-se verificar através das plantas do campus e da constatação *in loco*, que havia grandes áreas impermeabilizadas, inclusive com previsão de expansão das edificações e acréscimo de áreas de calçamento para pedestres. Apesar da área dos edifícios possuírem uma Taxa de Ocupação (TO) de 13,56%, suas calçadas (com largura variando de 1,20 m a 6,00 m), vias e estacionamento ocupam um grande espaço da microbacia, o que causa alterações no volume e percurso de escoamento natural das águas;

(4) Quanto aos aspectos ambientais e sanitários do Cenário 2, afirma-se que não há risco sanitário uma vez que às técnicas compensatórias foram dimensionadas para que a água permaneça na estrutura por no máximo 24 horas. As próprias estruturas fazem

uma filtragem do material particulado, diminuindo assim a carga poluidora das águas que infiltram;

(5) Quanto aos aspectos hidrológicos do Cenário2 foi constatada a eficácia das estruturas implantadas, assim como a sua contribuição para a paisagem e para o sistema de drenagem. As estruturas implantadas foram dimensionadas para escoar as áreas dos telhados próximos a sua localização ou para conduzir através dos canais gramados as águas de calçamentos e estacionamento da microbacia. Visando minimizar os efeitos da urbanização na microbacia, foram dimensionados dispositivos que buscam a retenção e a infiltração das águas precipitadas, fazendo com que as vazões sejam rearranjadas temporalmente e que haja uma diminuição do volume escoado, permitindo a redução de alagamentos e obtendo ganhos na qualidade das águas pluviais. Numa análise global da microbacia, foi identificado um Coeficiente de Escoamento (C) de 0,15 com um $T_c = 8,09$ minutos, para uma intensidade de 135,31 mm/h e um T_r de 10 anos. Consequentemente, sua Vazão de Pico foi para 0, 26m³/s, com um $V_A = 55,31$ m³, um $V_{ESD} = 128,66$ m³ e um $V_{AIDC} = 570,65$ m³, sendo este último correspondente ao somatório do volume de todas as técnicas compensatórias já implantadas;

(6) Por fim, pode-se afirmar que além do evidenciado ganho ambiental e hidrológico, os ganhos agregadores aos aspectos urbanísticos do Cenário 2 comprovam que a implantação das técnicas compensatórias corroboram para a construção de um projeto sustentável do campus, visto que em todos os parâmetros hidrológicos verificados houve uma melhora nos dados identificados no Cenário 2, em especial quanto ao volume escoamento superficial direto (V_{ESD}) e a vazão de pico (Q).

Como a ação antrópica sempre trará modificações à paisagem e consequentes impactos, a importância da busca pelo menor impacto no processo de urbanização tem se tornado cada vez mais relevante. Do ponto de vista hidrológico, manter as condições pré-urbanização, ou minimizar os impactos com dispositivos compensatórios, contribui consideravelmente para a sustentabilidade urbano-ambiental.

Todos os resultados encontrados na microbacia possuem relação com o tipo de urbanização identificada no local e com seu nível de adensamento e uso do espaço. A microbacia de estudo apresenta densidade média abaixo dos valores de áreas adensadas urbanas e possui grandes áreas verdes livres. No entanto, como modelo de referência,

comporta-se como um fragmento de cidade na qual as edificações, pisos e vias impermeabilizam e conduzem ao cenário de enchentes e inundações conhecidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELINI SOBRINHA, L. **Monitoramento e modelagem de um poço de Infiltração de águas pluviais em escala real e com filtro na tampa**. 2012. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana – PPGEU, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

BAPTISTA, M.; BARRAUD, S.; NASCIMENTO, N. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2ª edição. Porto Alegre: ABRH, 2011, 318 p.

G-Hidro – Sistemas Hídricos Urbanos. **Grupo de Pesquisa**. Disponível em: <http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/8736056081026570> Acesso em: maio 2016.

GUTIERREZ, L. A. R. **Avaliação da qualidade da água da chuva de um sistema Filtro-Vala-Trincheira de infiltração no tratamento do escoamento superficial direto predial em escala real em São Carlos – SP**. 2011. 198 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Urbana). Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana – PPGEU, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

HOLZ, J.; TASSI, R. Usando estruturas não convencionais em grandes áreas: o caso do loteamento Monte Bello. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17, 2007, São Paulo. **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, São Paulo, 2007, 19 p. (HOLZ e TASSI, 2007).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. Disponível em: < <http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 4 de Fevereiro de 2012.

LUCAS, A. H. **Monitoramento e Modelagem de um sistema Filtro – Vala – Trincheira de infiltração em escala real**. 2011. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Urbana). Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana – PPGEU, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

MOURA, T. A. M. **Estudo experimental de superfícies permeáveis para o controle de escoamento superficial em ambientes urbanos**. 2005. Dissertação. (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) Faculdade de Tecnologia - Universidade de Brasília, Brasília, DF.

SANTOS, V. D. Drenagem urbana em áreas especiais: o caso da bacia fechada do bairro Oitizeiro, João Pessoa. 2006. 75 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Urbana). Centro de Tecnologia – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

TAVANTI, D. R. **Desenvolvimento urbano de Baixo Impacto aplicado ao processo de planejamento urbano**. 2009, 149 p. (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana – PPGEU, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

TECEDOR, N.; BAPTISTA, L. F. S.; FELIPE, M. C.; BARBASSA, A. P. Aspectos sustentáveis das técnicas compensatórias em drenagem urbana aplicadas no campus da UFSCar. In: 5º Simpósio em Tecnologia do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. FATEC – Jahu - SP. **Anais do 5º Simpósio em Tecnologia do Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. 2013. p. 18-31. SILVA (2015).

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. In: Carlos E. M. Tucci; Rubem La Lina Porto; Mário T. de Barros. (Org.). **Drenagem Urbana**. 1ed. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS) - ABRH Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v. 1,1995. p. 15-36.

VISSMAN W, KNAPP JW, LEWIS GL. **Introduction to Hydrology**. Harper and Row Publishers, New York.(1989).

Capítulo 2

ESTUDO DO GRAU DE IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO E PROPOSTAS DE TÉCNICAS DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL EM ÁREA DO RECIFE

Erika Fernanda da Silva Moura⁴

Simone Rosa da Silva⁵

INTRODUÇÃO

Impermeabilização do solo é a aplicação de materiais como asfalto e cimento na superfície de um terreno, diminuindo significativamente sua capacidade de absorção de fluidos. Fontes (2003) afirma que o processo de urbanização acarreta significativas transformações no uso do solo, as quais, por sua vez, causam grandes impactos nos ciclos hidrológicos das áreas urbanizadas. O escoamento superficial é o fluxo de água que corre sob a superfície de um terreno quando o mesmo já se encontra saturado. Com a transformação do solo natural em impermeável ocorre a diminuição da infiltração das águas pluviais e o aumento do escoamento superficial, que levam à ocorrência de inundações urbanas. A análise do escoamento superficial é um dos pontos mais significativos para o manejo adequado das bacias hidrográficas e para o correto dimensionamento de obras hidráulicas urbanas. Ao analisar o escoamento superficial é possível entender a forma e a velocidade com que a água se desloca na superfície de um terreno, a fim de prever a melhor maneira de transportá-la ou aproveitá-la, evitando a ocorrência de problemas (JUSTINO, 2011). Segundo Silva et al. (2006), o escoamento

⁴ Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela UFPE (2006), especialista em Avaliação e Risco Ambiental pela UPC Barcelona (2010) e mestra em Tecnologia Ambiental pelo ITEP (2014), Faculdade dos Guararapes, professora. E-mail: erikamoura.arquiteta@gmail.com

² Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1989), mestra em Engenharia Civil pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS (1993) e doutora em Engenharia Civil com ênfase em Recursos Hídricos e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (UPE, 2006), professora adjunta. E-mail: simonerosa@poli.br

superficial abrange desde o fluxo de água que escoar na superfície de um terreno após a saturação do solo durante um período de precipitação, como também o fluxo natural dos rios que sofre alterações de volume após chuvas intensas. Em grandes centros urbanos há extensas áreas impermeabilizadas que causam alterações drásticas nas condições de escoamento das bacias hidrográficas.

O impacto de impermeabilização do solo na drenagem urbana já é reconhecido largamente e considerado para efeito de cálculos de projetos hidráulicos, porém a caracterização dessas áreas impermeáveis apresenta ainda algumas questões a serem elucidadas. Entre essas questões, a mais relevante é a distinção entre a área total impermeabilizada e a área efetiva. A área total impermeabilizada representa toda a área de uma bacia ou sub-bacia urbana recoberta por materiais e construções que impedem a infiltração da água da chuva no subsolo. Já a área impermeabilizada efetiva é definida como a área impermeabilizada que possui conexão com o sistema de drenagem urbana já existente. Essas áreas contribuem efetivamente com o escoamento superficial direto, pois em seu percurso não há nenhuma oportunidade de penetração das águas no solo, por não passarem em nenhum momento por áreas permeáveis. Áreas efetivas também são chamadas de áreas impermeáveis diretamente conectadas (AIDC) e foram definidas por La Laina Porto (1995) como “aquelas que despejam água pluvial diretamente na rede de drenagem sem que existam perdas entre o ponto, a superfície e a saída da bacia”. São exemplos de AIDCs ruas, calçadas, estacionamentos pavimentados, telhados, canteiros e jardineiras com pavimento abaixo da área verde. Para efeito de cálculos hidráulicos, a versão original britânica do Método Racional⁶ considera o coeficiente de escoamento superficial das AIDCs como sendo 100%, o que demonstra quão impactante para o sistema de drenagem são essas áreas (LEE; HEANEY, 2003).

Pompêo (2000) fala sobre a evolução do conceito de drenagem urbana no Brasil e destaca que foi somente a partir do século XXI que os debates sobre a drenagem urbana passaram a incorporar o conceito de sustentabilidade, e assim ultrapassaram a visão de que o mesmo seria apenas o conjunto de estruturas construídas por onde as águas pluviais são transportadas. Com o intuito de diminuir os riscos e prejuízos causados por enchentes constantes nos grandes centros, passou-se a considerar, também como

⁶ O Método Racional é um método amplamente utilizado no Ocidente para cálculos necessários em projetos de drenagem urbana. Foi originalmente desenvolvido para estimar vazões máximas de escoamento em pequenas bacias urbanas, cuja proporção de área impermeável é grande.

parte integrante do sistema de drenagem, medidas que minimizem o escoamento superficial através da criação e manutenção de áreas permeáveis em espaços públicos e nos lotes urbanos. Buscando caracterizar esta nova fase conceitual da drenagem urbana, Tucci (2005) também chama de “sustentável” o momento atual do estudo de drenagem urbana iniciado na última década do século XX, que tem como uma de suas características principais a recuperação da capacidade de infiltração da água no solo.

Os jardins de chuva são estruturas verdes que auxiliam o sistema de drenagem e podem ser facilmente instaladas em ruas, parques e lotes. Esses pequenos jardins consistem em canteiros ou rebaixamentos com plantas e solo acrescido de areia para intensificar sua porosidade, aumentando a capacidade de absorção. Segundo Yasaki et al. (2013), a atividade biológica das plantas utilizadas nos jardins de chuva auxilia na remoção dos poluentes das águas pluviais e facilita a sua absorção. Quando acontece um período de precipitação, a água da chuva ou fica acumulada na depressão, sendo gradualmente filtrada e absorvida pelo solo para recarga do lençol freático, ou é coletada em um dreno e descarregada no sistema de drenagem pluvial das ruas. Faz-se necessário o desvio da água dos jardins de chuva para as galerias quando ocorrem eventos de chuva que excedem a capacidade para a qual a estrutura foi projetada. O uso dos jardins de chuva é recomendado para áreas de planícies que tenham solo com capacidade de infiltração entre 7 e 200 mm/h e nível máximo do lençol freático de até 1 m. A área que terá suas águas pluviais direcionadas para cada jardim deve ser menor que 1 ha, ou seja, 10.000 m² e deve ser saneada para evitar a contaminação da água antes da infiltração (YASAKI et al., 2013). Os jardins de chuva têm como característica um design bastante flexível, permitindo sua aplicação em diversas situações e escalas, como: canteiros e calçadas em vias públicas, lotes, parques, praças. Podem ser projetados no formato de valas, bacias, ou pequenos espaços retangulares com estrutura elevada ou encaixada em calçadas (DELETIC et al., 2011).

Yasaki (2013) descreve os pavimentos permeáveis como revestimentos dotados de superfície que permite a infiltração e a detenção temporária da água pluvial. Esses revestimentos têm grande potencial de aplicabilidade visto que não necessitam de espaço urbano extra para seu uso, além de atenderem a dupla função de melhorar a qualidade da água e de reduzir a quantidade do escoamento superficial. Eles estão disponíveis no mercado sob duas formas: estrutura modular e monolítico.

O objetivo geral desta pesquisa foi analisar a evolução da impermeabilização dos solos e relacioná-la ao aumento do escoamento superficial, tendo como objeto de estudo uma área da zona sul da cidade Recife, sinalizada como ponto crítico de alagamento em mapa elaborado pela Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (EMLURB). Como forma de auxiliar a direção e desenvolvimento desta pesquisa, foram determinados os seguintes objetivos específicos: quantificar o aumento da área de solo impermeabilizado em dois momentos históricos, utilizando ferramentas de Sensoriamento Remoto, SIG e levantamentos de campo e sugerir a implantação de técnicas de drenagem urbana sustentáveis para a área de estudo com o intuito de compensar o aumento da impermeabilização do solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa analisou a evolução da impermeabilização do solo em uma área com 785.540 m² ou 78,54 ha do bairro de Boa Viagem, na cidade de Recife, com pontos críticos de alagamentos mapeados pela EMLURB, conforme Figura 1. Para o dimensionamento e a delimitação da área de estudo desta pesquisa tomou-se como base trabalhos de levantamento de áreas impermeáveis diretamente conectadas realizadas anteriormente por Lee e Heaney (2003) e Garotti e Barbassa (2010). Essas duas pesquisas também utilizaram, além das imagens de satélite, o levantamento de campo detalhado para quantificar as áreas impermeabilizadas de espaços densamente ocupados. Lee e Heaney (2003) analisaram a drenagem de uma área residencial de 5,81 hectares em Boulder, Colorado, EUA e nela aplicaram estudos de estimativa de impermeabilização do solo e análise de seus impactos. Os autores também afirmam em sua pesquisa que a maioria das técnicas de sensoriamento remoto que têm sido aplicadas para analisar a impermeabilidade dos solos urbanos não conseguem distinguir a área total impermeável adequadamente, pois a resolução da imagem e a área espacial da copa das árvores de grande porte limitam a sua precisão. Durante a pesquisa de campo realizada neste estudo foi possível verificar vários pontos em que as áreas abaixo da copa das árvores de grande porte estavam completamente impermeabilizadas. Lee e Heaney (2003) concluíram em sua pesquisa que a verificação em campo das áreas impermeáveis mapeadas por satélite é um procedimento extremamente importante para se obter estimativas precisas de

AIDC, embora este levantamento seja de difícil execução. Além da imprecisão do sensoriamento remoto afirmada por Lee e Heaney, a pesquisa de campo feita se justifica pela necessidade da classificação das áreas impermeabilizadas da área de estudo como diretamente conectadas com o intuito de quantificar adequadamente o impacto delas no escoamento superficial.

Figura 1 - Delimitação da área de Estudo com 78,54 ha dentro do bairro de Boa Viagem



Fonte: <<https://pt.wikipedia.org> e <http://www.recife.pe.gov.br/ESIG/>>

Elaborado por: Érika Moura (2016).

A área de estudo está localizada em uma parte da bacia do rio Tejiipió, próxima ao parque dos Manguezais e aos rios Pina, Jequiá e Jordão. Em conjunto com o rio Jiquiá, o rio Tejiipió é o responsável pela drenagem de quase toda a área urbanizada situada no setor oeste do município de Recife. Além disso, recebe as contribuições do escoamento gerado no setor sul, através das linhas de drenagem do rio Jordão e do seu afluente, o canal Setúbal.

A fim de avaliar a evolução dos níveis de impermeabilização dos solos que a ocupação urbana gerou na área de estudo, foram definidas duas datas distintas para a análise e estimativa das áreas impermeáveis. O primeiro momento considerado foi o ano 1975, onde foram vetorizadas ortofotocartas em formato Tif com escala de 1:2000 representadas na Figura 2, pertencentes ao acervo da Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM). Para a interpretação das feições cartográficas e elaboração de mapas de áreas impermeabilizadas utilizou-se o software de GIS e mapeamento AutoCAD Map 3D. Com o uso do AutoCAD Map 3D foi possível fazer uma estimativa das áreas impermeáveis (áreas dos lotes, calçadas e vias) por meio do uso da ferramenta de edição do software e, após demarcadas as áreas de interesse, utilizou-se a ferramenta de cálculo a fim de obter os quantitativos das áreas demarcadas. O segundo momento considerado no estudo foi o ano de 2007. Utilizando-se da mesma metodologia de análise gráfica adotada para as ortofotocartas de 1975, obtiveram-se os quantitativos estimados de área impermeável para 2007 utilizando como base imagens com alta definição fornecidas pela prefeitura do Recife captadas pelo satélite Quickbird (2007) e representadas na Figura 3.

Figura 2 - Montagem com ortofotocartas em escala de 1/2000 do bairro de Boa Viagem



Fonte: Condepe-Fidem (1975)

Figura 3 - Montagem com imagens de satélite em escala de 1/2000 do bairro de Boa Viagem



Fonte: Prefeitura do Recife (2007)

Foram feitas pesquisas de campo para a confirmação das áreas permeáveis abaixo das copas de grandes árvores além da classificação das áreas impermeáveis. Por serem classificadas como diretamente conectadas às áreas de telhados, calçadas e vias asfaltadas foram consideradas impermeáveis. Não foram contabilizados como impermeáveis as pavimentações em paralelepípedo e solos compactados, pois, segundo

Araújo et al. (2000), seus coeficientes de escoamento são 0,60 e 0,66, respectivamente, sendo assim não poderiam ser consideradas AIDCs; em contrapartida, o coeficiente de escoamento para o asfalto é de 0,95. As áreas sombreadas encontradas nas imagens do satélite Quickbird também foram verificadas em visitas de campo, inclusive no interior dos lotes quando autorizadas. Nas Figuras 4 e 5 estão ilustrados exemplos de áreas impermeabilizadas que não seriam visualizadas por imagem de satélite por estarem abaixo de árvores de grande porte, mas que foram constatadas nas pesquisas de campo. Neste estudo, as seguintes categorias foram levantadas, conforme o Quadro 1 a seguir:

Quadro 1 - Categorias de solo levantadas e suas características

Categoria levantada	Título das colunas
1	Solo Permeável
2	Solo Permeável Lotes
3	Solo Permeável Vias
4	Água

Fonte: Erika Moura, 2014.

Figura 4 - Árvores com base impermeabilizada na rua Prof. Eduardo W. Filho



Elaboração: Érika Moura, maio 2013.

Figura 5 - Árvore com base impermeabilizada na rua Tenente João Cícero



Elaboração: Érika Moura, maio 2013.

Após a vetorização foi feita uma classificação das categorias de solo nos mapas também utilizando o AutoCad Map, e as áreas correspondentes a cada categoria foram preenchidas com uma superfície colorida. Foram levantados os valores em m² das áreas impermeáveis para os dois anos considerados, 1975 e 2007, usando a ferramenta (comando) LIST do Autocad Map para o cálculo de áreas de superfícies. Os dados quantitativos das áreas de solo impermeável diretamente conectadas nos dois momentos temporais foram compilados em gráficos e a partir disto foram analisados a evolução das AIDCs e o impacto no escoamento superficial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ano de 1975 a área de estudo possuía um caráter residencial com predominância da tipologia residência unifamiliar, além de um parcelamento do solo em lotes com áreas médias em torno de 500 m². Após a vetorização da área através da ortofotocarta do ano de 1975 obtida na Fidem/Condepe, observa-se que na área delimitada havia muitos terrenos ainda sem construção o que fez com que a porcentagem de áreas permeáveis nos lotes ultrapassasse 50% da área total pesquisada nesse momento, conforme ilustra a Figura 6. Mesmo nos lotes ocupados há um aumento da área de solo permeável, pois as edificações nestes lotes são, em sua maioria, da tipologia residencial unifamiliar. Segundo Ribeiro (2006), a tipologia "residência unifamiliar" conserva mais áreas permeáveis nos lotes, pois para elas funcionarem não é necessário a criação de grande área impermeabilizada para estacionamentos e construção de infraestrutura predial. Sendo a base de estudo uma ortofotocarta monocromática com resolução regular não foi possível classificar com precisão se todas as ruas e calçadas já se encontravam pavimentadas naquele momento; sendo assim, nesta pesquisa todas essas áreas foram consideradas impermeáveis diretamente conectadas (AIDC).

Figura 6 - Mapa de impermeabilização dos solos da área de estudo no ano de 1975



Fonte: Fidem/Condepe

Elaboração: Érika Moura, 2014.

No segundo mapa vetorizado e ilustrado na Figura 7, o do ano de 2007, observou-se um aumento significativo das áreas impermeáveis diretamente conectadas, subindo de 37,17% para 73,13% como representado na Figura 8. Este aumento se deu em

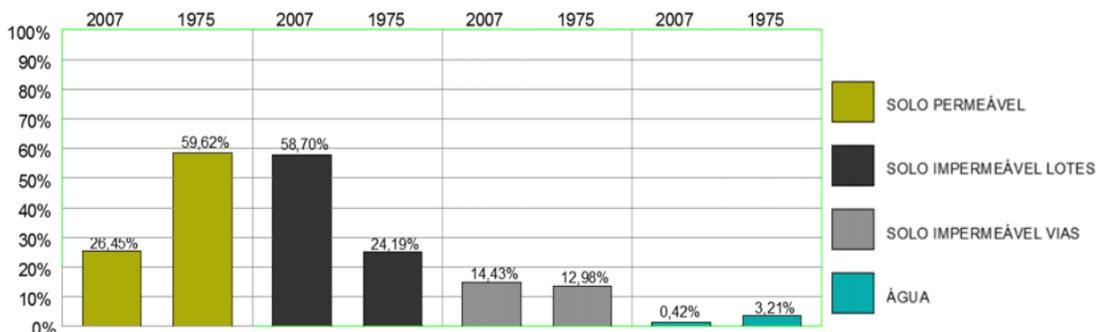
maior parte dentro dos lotes, devido ao número de edifícios de grande porte que foram construídos ao longo dos anos na área. A porcentagem das áreas impermeáveis das ruas e calçadas variou pouco de 1975 a 2007, e esta variação se deu devido a seus alargamentos. Sendo a declividade da área de estudo considerada baixa e a porcentagem de suas AIDCs chegando a 73,13% da área total pesquisada, número muito próximo ao considerado impermeável na área do lote convencional pesquisado por Barbassa e Campos (2010), fica evidente a afirmativa de que o aumento da ocupação e consequente impermeabilização do solo ocorrida com o passar dos anos impacta diretamente no escoamento superficial e nos picos de vazões, fazendo com que sejam encontrados nessas áreas alguns dos pontos críticos de alagamento da cidade.

Figura 7 - Mapa de impermeabilização dos solos da área de estudo no ano de 2007



Fonte: Fidem/Condepe
Elaboração: Érika Moura, 2014.

Figura 8 - Evolução da impermeabilização dos solos da área de estudo entre os anos de 1975 e 2007 após o levantamento



Elaboração: Érika Moura, 2014.

Barbassa e Campos (2010) monitoraram o escoamento superficial em dois tipos de lote, classificando um deles como natural totalmente permeável e o outro como convencional, com 75% de sua área impermeabilizada diretamente conectada. Após a análise em vários eventos de precipitação elevada, concluíram que nos lotes convencionais a cada pico de chuva ocorriam também picos de vazão maiores e em maior número que no lote natural, significando que as vazões do lote convencional foram lançadas prontamente nas galerias pluviais das vias. Diversos estudos realizados desde o início do século passado utilizam a quantidade de área impermeabilizada como coeficiente importante para o cálculo do escoamento superficial e vazão de uma sub-bacia hidrográfica. A área pesquisada no presente estudo totalizou 785.400 m², e os valores referentes ao AIDC obtidos para os anos de 1975 e 2007 são, respectivamente, de 291.933 m² e 574.363 m². Aplicando-se a equação do Método Racional que adota C (Escoamento Superficial) como a fração de AIDC na bacia conforme a equação $C = AIDC / A$, e sendo (A) a área total da sub-bacia pesquisada, foram encontrados como resultados, para o ano de 1975, $C = 0,37$, e para o ano de 2007, $C = 0,73$. Esses valores demonstram um aumento de quase 100% no escoamento superficial durante o período considerado na área em estudo.

Os Jardins de Chuva e os Pavimentos Permeáveis foram as técnicas consideradas mais viáveis para serem aplicadas na área de estudo a fim de atenuar o problema da impermeabilização excessiva ocorrida nas últimas décadas e os consequentes episódios de alagamentos. Em estudo elaborado por Costa et al. (1998), foram levantadas as categorias dos solos do bairro de Boa Viagem e suas características, representadas no Quadro 2. A mesma pesquisa caracterizou o relevo do bairro como plano, com lençol freático localizado entre 1 e 5 metros da superfície, o que garantiria o bom funcionamento dos sistemas.

Quadro 2 - Categorias de solo levantadas e suas características

Parâmetros	Características
Granulometria dos sedimentos	Alternância de areias e argilas
Cimentação dos sedimentos	Argilosa ou ausente
Resistência à penetração	Baixa resistência
Permeabilidade e condutividade hidráulica	Baixa a elevada
Transmissividade	Baixa a média
Coeficiente de armazenamento ou porosidade eficaz	Baixa a elevada

Fonte: Costa et al., 1998.

Além de reduzir parte do volume do escoamento superficial de uma área diminuindo a intensidade dos episódios de alagamentos, os Jardins de Chuva contribuem para melhorar a aridez da paisagem urbana que é comum em bairros mais adensados como o de Boa Viagem, e contribui para a humanização das calçadas, estimulando o uso das mesmas pelos pedestres. As Figuras 9 e 10 mostram uma simulação da inserção de um Jardim de Chuva em calçada da área de estudo.

Figuras 9 e 10 - Simulação de inserção de jardins de chuva em calçada da rua Prof. José Brandão



Elaboração: Erika Moura, 2014.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicam um aumento significativo das áreas de solo impermeável na área de estudo no período de tempo pesquisado, de 1975 a 2007 (37,17% para 73,13%). As áreas impermeáveis foram classificadas em sua maioria como diretamente conectadas e contribuem para o aumento do escoamento superficial da sub-bacia onde se localiza, agravando os episódios de alagamentos na região.

A manutenção das áreas permeáveis de lotes particulares e das vias exerce importante papel na atenuação do escoamento superficial e esta informação deve servir de parâmetro para futuros projetos de ordenamento urbano e para revisões do Plano Diretor da cidade, com a necessidade de criação de mais áreas permeáveis, da inserção de medidas limitadoras da impermeabilização, além da previsão de medidas atenuadoras e compensatórias como a implantação de Jardins de Chuva e pavimentos permeáveis nos lotes e nos espaços públicos, como as calçadas e os parques.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, P.R.; TUCCI, C.E.M.; GOLDENFUM, J.A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. **RBRH – Revista Brasileira dos Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 21-29, jul./set 2000.

COSTA, W.D.; MANOEL FILHO, J.; SANTOS, A.C. et al. Gestão dos recursos hídricos subterrâneos na cidade do Recife/PE. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Montevideu, 1998. **Anais...** Montevideu, 1998.

DELETIC, A.; BROWN, R.R.; WONG, T.H.F. An interdisciplinary research program for building water sensitive cities. In: 12ª CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE DRENAGEM URBANA, Porto Alegre, Brasil, 2011. **Anais...** Porto Alegre, 2011.

FONTES, A.R.M.; BARBASSA, A.P. Diagnóstico e prognóstico da ocupação e da impermeabilização urbana. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 137-142, abr./jun. 2003.

GAROTTI, L.M.; BARBASSA, A.P. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2010.

JUSTINO, E.A. **Estudo do controle do escoamento superficial com o uso de reservatório de retenção na bacia do córrego Lagoinha, município de Uberlândia - MG**. 2003. 193 fls. Dissertação (mestrado) – Engenharia Civil, UFU, Uberlândia, 2003.

LEE, J.G.; HEANEY, J.P. Estimation of urban imperviousness and its impacts on stormwater systems. **Journal of Water Resources Planning and Management**, 2003.

PÔMPEO, C.A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 15-23, 2000.

PORTO, R. La L. **Escoamento superficial direto**. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995.

RIBEIRO, R. A. **Forma urbana e tipo de uso do solo como fatores determinantes para a geração de áreas urbanas impermeáveis**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Arquitetura, Porto Alegre, 2006.

SILVA, B.C.; COLIISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Simulação da bacia do rio São Francisco através do modelo hidrológico MGB-IPH. **ABRH**, São Luis, v.1, p. 1-22, 2005.

SILVA, L.D.B. **Hidrologia**. Apostila de curso. 2006. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/it113-hidrologia.htm>>. Acesso em: 3 jun. 2013.

TUCCI, C.E.M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Porto Alegre: Curso de Gestão das Inundações Urbanas, junho de 2005.

YAZAKI, L. F. O. L. et al. **Projeto Técnico: Pavimentos Permeáveis**. 2013. Disponível em: em:< http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF_Pav%20Permeavel_web.pdf>Acesso em: 01 de abril 2015.

_____. **Projeto técnico: pavimentos permeáveis**. 2013. Disponível em: <http://www.solucoesparacidades.com.br/wpcontent/uploads/2013/10/AF_Pav%20Permeavel_web.pdf> Acesso em: 1 abr. 2015.

Capítulo 3

DIAGNÓSTICO DO PROBLEMA E INDICAÇÕES DE SOLUÇÕES COM SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL PARA O CONTROLE DAS INUNDAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DA PRAÇA DA BANDEIRA, NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

*Tania Machado Knaack de Souza⁷
Adacto Benedicto Ottoni⁸*

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a explosão demográfica e a industrialização provocaram uma urbanização acelerada em escala mundial. No Brasil, ocorreu um processo similar: em 1950, 36,2% da população brasileira era urbana, e em 2010, 84,4% (IBGE, 2010). A migração para as cidades ocorre porque elas representam oportunidades de emprego, moradia, saúde e serviços. Entretanto, o processo de urbanização sem planejamento recrudescer as desigualdades sociais, a degradação ambiental e os índices de pobreza. A falta de moradia, o desemprego crescente, e a falta de serviços básicos geram exclusão social e problemas de saúde nos países em desenvolvimento. A grande concentração populacional, principalmente nas favelas e periferias, agrava os problemas urbanos, como a falta de serviços de saneamento básico. A ocupação sem planejamento do solo urbano tem causado sérios impactos sociais e ambientais nas metrópoles brasileiras, principalmente nos recursos hídricos.

O adensamento populacional, a ocupação urbana desordenada e as inúmeras atividades antrópicas, ocasionam maior impermeabilização do solo e aumento significativo do escoamento superficial, propiciando maior risco de inundações. As obras imediatistas, combatendo apenas os sintomas e não as causas, a falta de políticas públicas adequadas, tendo a bacia hidrográfica como unidade de planejamento,

⁷ Engenheira civil. Universidades Santa Úrsula e Cândido Mendes. E-mail: taniaknaack@yahoo.com.br

⁸ Engenheiro civil sanitaria, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). E-mail: adactoottoni@gmail.com

corroboram para o agravamento do problema. A consequência de todo este descaso é um cenário recorrente e caótico de constantes e críticas inundações, com perdas de vidas humanas, perdas de bens econômicos e proliferação de doenças de veiculação hídrica, gerando situações de calamidade pública, com prejuízos incalculáveis para a população (TUCCI, 2005; SEMADS, 2001).

Na maioria das vezes, as ações para reverter esse quadro crescente de degradação socioambiental concentram-se apenas na tentativa de remoção dos sintomas. A complexidade intrínseca ao tema, com inúmeros fatores atuando nos mais variados níveis, aponta para a necessidade crescente de mais estudos, no sentido de tentar minimizar esses graves problemas socioambientais.

O presente trabalho teve como proposta a identificação das principais causas dos problemas das enchentes numa bacia hidrográfica urbana e suas inter-relações. A área de estudo escolhida foi a bacia hidrográfica da praça da Bandeira, na cidade do Rio de Janeiro. A região abrange a praça da Bandeira, Leopoldina e o entorno do Maracanã, área muito urbanizada e foco de constantes críticas e inundações, gerando situações de calamidade pública. No intuito de minimizar esses problemas, a Prefeitura implantou algumas obras de macrodrenagem para a região.

REVISÃO DE LITERATURA

Foi desenvolvida pesquisa com vistas a fazer um diagnóstico da bacia hidrográfica da praça da Bandeira e uma avaliação das ações estruturais de controle de enchentes na bacia hidrográfica em estudo, entendendo a fisiografia e a rede de macrodrenagem na região.

DRENAGEM URBANA E MEDIDAS PARA CONTROLE DE INUNDAÇÕES

A drenagem urbana tem como objetivo minimizar os riscos de inundações em áreas urbanas, possibilitando um desenvolvimento urbano harmônico. Sua função principal é coletar os escoamentos superficiais provenientes dos eventos pluviométricos e conduzir até o destino final. O adensamento populacional, o grau de urbanização, e os bens materiais nas áreas de risco de inundações determinarão as ações e medidas

recomendáveis para o seu controle. O conceito moderno para combater as inundações urbanas é a gestão sustentável das bacias hidrográficas, com uma visão global das mesmas. Mesmo quando forem necessárias obras de engenharia para proteger a população já estabelecida em áreas inundáveis, outras medidas visando à recuperação gradual do escoamento natural das águas e da regeneração da biota local devem ser implementadas, tais como: recuperação de áreas de retenção natural, recuperação e replantio da mata ciliar e reflorestamento da área da bacia, fiscalização da ocupação das margens e ao descarte de lixo, estabelecimento de política permanente para despoluição gradual das águas e ações de educação e monitoramento ambiental permanente, entre outras (TUCCI, 2005; SEMADS, 2001).

DIAGNÓSTICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DA PRAÇA DA BANDEIRA

Uma das causas das inundações da região da praça da Bandeira tem origem no próprio processo de urbanização da cidade, com o aterramento de áreas sujeitas a inundações frequentes, como manguezais, várzeas e pântanos. O canal do Mangue, atual corpo receptor das águas da bacia hidrográfica da praça da Bandeira, surgiu com o aterramento na Baía de Guanabara para a construção do porto, o que ocasionou o desaparecimento de ilhas e o estreitamento da foz dos rios desta bacia. As inundações na região da praça da Bandeira ainda podem ser agravadas com a combinação de dois fatores naturais: episódios de maré cheia, quando pode ocorrer com a obstrução hídrica fluvial no canal do Mangue e a ocorrência de chuvas intensas, processo pluviométrico normal do clima da cidade, ocasionando o transbordamento dos rios da região (SEMADS, 2001). Nas Figuras 1 e 2 pode-se observar fotografias de algumas dessas enchentes:

Figura 1 - Inundação na praça da Bandeira – 04/01/1942



Fonte: Semads (2001).

Figura 2 - Inundação na Praça da Bandeira – 05/04/2010



Fonte: Ottoni et al. (2010).

A bacia hidrográfica da praça da Bandeira tem uma área total de 4.200 ha (42 km²) e conta como principais contribuintes as sub-bacias dos rios Trapicheiros, Joana e Maracanã. Tem como divisores ao sul e leste a serra Carioca, a oeste o Maciço da Tijuca e ao norte a serra do Engenho Novo e a Baía de Guanabara. A área superior da bacia, constituída por morros e elevações, tem, em muitos locais, declividades médias superiores a 40%. As altitudes máximas estão em torno de 850 metros. Apesar de grande parte desta área declivosa ser coberta por matas densas e vegetação arbustiva com gramíneas, é também onde está localizado o maior número de favelas da bacia. A área de baixada da bacia, onde fica o exutório das suas sub-bacias, é quase plana, com

declividades inferiores a 2,5%, representando cerca de 40% da área total da mesma (GONTIJO, 2012).

Os rios da bacia hidrográfica da praça da Bandeira nascem em áreas preservadas com a existência de florestas nas partes superiores da bacia drenante. No entanto, há uma crescente ocupação irregular do solo nas encostas, propiciando o desmatamento, aumento da erosão do solo e a geração de esgoto e lixo. No período de chuvas intensas há um incremento do escoamento superficial das encostas, sendo o lixo e o esgoto escoados para as calhas dos rios, aumentando o assoreamento fluvial e as vazões nas partes baixas da bacia drenante, o risco de transbordamento dos rios e consequente inundação da região urbana. A falta de rede de saneamento básico, ao longo de toda a bacia drenante, e o lançamento de esgoto *in natura* nas calhas dos rios aumenta a vazão nas partes baixas da bacia, contribuindo para o transbordamento de água poluída dos rios, propiciando a disseminação de doenças de veiculação hídrica, gerando um problema de saúde pública (Figuras 3 a 5). Na Figura 6 apresenta-se a localização geográfica da bacia hidrográfica da praça da Bandeira, localizada no município Rio de Janeiro (OTTONI et al., 2010).

Figura 3 - Acúmulo de lixo nas calhas fluviais



Fonte: Ottoni et al. (2010).

Figura 4 - Ponto de entrada de esgoto bruto no rio Joana



Fonte: Ottoni et al. (2010).

Figura 5 - Água poluída do rio Joana



Fonte: Ottoni et al. (2010).

Outros fatores contribuintes para a formação de áreas de inundação são as restrições aos escoamentos nas calhas fluviais, observados ao longo de toda a bacia drenante, tais como: pilares de pontes, assoreamento por lixo ou resíduos, etc. Nos trechos onde o escoamento se dá sob arruamento, há a possibilidade de formação de bolsões de ar, restringindo o escoamento pleno e ocasionando o transbordamento do rio. Na Figura 7 verifica-se a obstrução parcial da seção de escoamento do rio Trapicheiros,

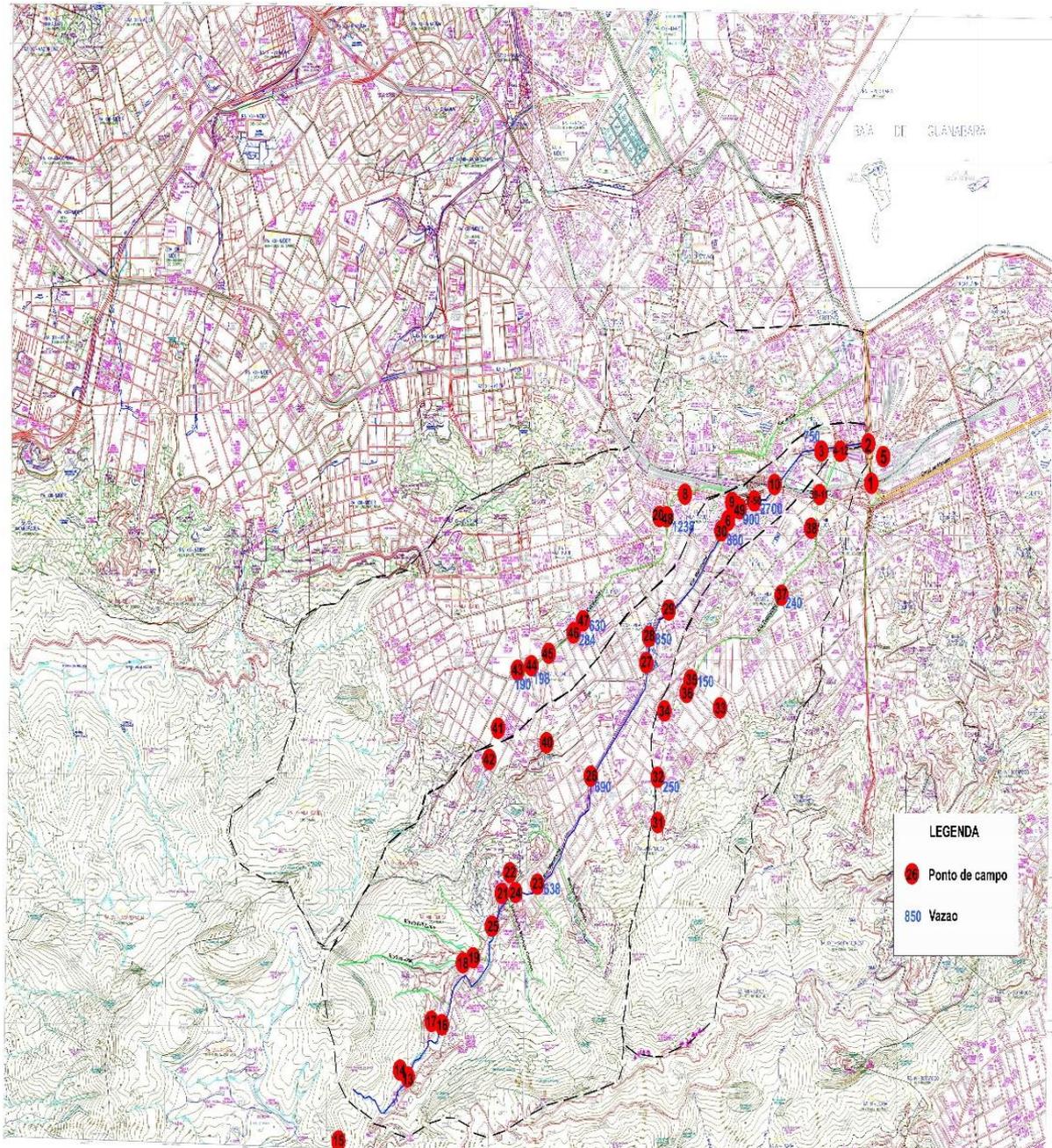
agravando os riscos de transbordamento hídrico de calha durante os períodos de chuvas intensas (OTTONI et al., 2010).

O canal do Mangue, atual corpo receptor das águas da bacia hidrográfica da praça da Bandeira, além de estar bastante assoreado, como mostra a Figura 8, ainda pode sofrer, durante o período de maré de sizígia, efeito de obstrução hídrica fluvial durante uma chuva intensa, também contribuindo para o transbordamento dos rios nas áreas planas e baixas da região (OTTONI et al., 2010).

ANÁLISE CRÍTICA DO PROJETO DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES DA PRAÇA DA BANDEIRA – PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO

No sentido de minimizar os efeitos das inundações na região da praça da Bandeira, a Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro anunciou uma série de obras de macrodrenagem nas bacias e sub-bacias drenantes. O projeto propõe uma série de intervenções para o rio Joana, considerado fator fundamental para a solução dos históricos alagamentos da região. O rio Joana nasce junto ao pico do Andaraí Maior e, no seu trajeto atual, acompanha toda a rua Maxwell até derivar para o rio Maracanã (O GLOBO, 2012).

Figura 6 - Mapa mostrando a localização geográfica da bacia hidrográfica da praça da Bandeira, incluindo os rios Trapicheiros, Maracanã e Joana. Os pontos em vermelho indicam os pontos de inspeção. Os valores em azul indicam as medições expeditas de vazões realizadas pela equipe da UERJ.



Fonte: Ottoni et al. (2010).

Figura 7 - Obstrução do escoamento da seção maior do rio Trapicheiros por viga de ponte



Fonte: Ottoni et al. (2010).

Figura 8 - Assoreamento de calha no canal do Mangue



Fonte: Ottoni et al. (2010).

A implantação do projeto prevê o desvio de parte da vazão total do rio Maracanã para o rio Joana, na altura da praça Varnhagem, passando pela rua Felipe Camarão até encontrar o rio Joana. Com isso será necessária a implantação de galeria de reforço do rio Joana, aumentando a sua seção, em galeria fechada, sob a rua Professor Manuel de Abreu, chegando até a praça, entre o Maracanã e a UERJ. Desse ponto em diante haverá a travessia sob a linha férrea, desviando o rio Joana de seu traçado atual e fazendo-o prosseguir através de um longo túnel, que será perfurado sob os morros de São Cristóvão

e da rua Fonseca Teles. Do outro lado do túnel, o rio Joana seguirá em galeria fechada, sob a rua São Cristóvão, até desaguar na Baía de Guanabara (Figura 9).

Figura 9 - Obra do túnel de desvio do rio Joana



Fonte: Autora (2015).

As intervenções incluem também a implantação de quatro reservatórios de grande porte. Conhecidos como “piscinões”, esses reservatórios foram projetados para acumular, temporariamente, as águas de chuva durante as tempestades. E para serem esvaziados de acordo com a capacidade real da rede de drenagem, retardando o seu trajeto em direção às regiões mais baixas, impedindo assim transbordamentos e alagamentos (Figura 10).

De acordo com Knaack (2012), as intervenções estruturais, previstas no plano de obras da Prefeitura, são importantes e visam à proteção da população da região da praça da Bandeira e seu entorno, tais como o extravasor do rio Maracanã para o rio Joana e o desvio do rio Joana para deságue na Baía de Guanabara. Mas as medidas propostas combatem apenas as consequências das inundações e não as suas causas.

Figura 10 - Obra do reservatório praça Varnhagem



Fonte: Autora (2015).

O resultado é que, com as recentes chuvas intensas ocorridas na bacia hidrográfica da praça da Bandeira, no início de 2016, tanto a praça da Bandeira quanto a praça Niterói, onde se encontravam os dois piscinões já recentemente construídos pela Prefeitura do Rio de Janeiro, ficaram totalmente inundadas, gerando grandes prejuízos e danos à saúde da população, pois os rios Maracanã e Trapicheiros encontram-se altamente assoreados com lixo e esgotos. Ou seja, essas obras não tiveram os resultados esperados de controle das inundações. Como outro caso real, temos a cidade de São Paulo, onde foram construídos vários piscinões sem a adoção de medidas complementares adicionais para dar sustentabilidade ambiental a essas obras. O resultado observado é a ineficácia do projeto, com a continuidade de inundações de grandes proporções na capital paulistana.

As intervenções de controle de inundações nas bacias urbanas, dentro das obras de macrodrenagem, devem vir acopladas a medidas complementares, dentro do conceito de sustentabilidade socioambiental, tais como o manejo hídrico adequado das águas de chuva ao longo de toda a bacia urbana, monitoramento ambiental permanente e programas visando à melhoria das condições sanitárias ao longo da bacia hidrográfica, e propiciando capacitação profissional para a população carente local. As intervenções nas bacias devem ser voltadas para tentar recriar, o máximo possível, o estado natural do meio ambiente.

A seguir, são apresentados os problemas e deficiências mais relevantes observados na análise dos projetos dos piscinões implantados pela Rio-Águas na bacia hidrográfica da praça da Bandeira:

- a) falta de um programa de coleta de esgotos sanitários ao longo da bacia hidrográfica com a gradual despoluição das águas fluviais. Os rios estudados recebem uma quantidade constante e significativa de esgoto bruto, através de vários pontos de lançamento, aumentando muito a sua vazão natural, contribuindo para o assoreamento hídrico e a poluição fluvial, potencializando o risco de inundações;
- b) os reservatórios de retenção não funcionarão como reservatórios de água de chuva (provenientes do escoamento superficial hídrico do solo urbano), e sim como reservatórios de transbordo da água poluída dos rios. Os locais poderão se tornar um local de criação de vetores, podendo gerar doenças de veiculação hídrica, tornando-se um problema de saúde pública. Com a quantidade enorme de lixo lançado nos rios, também há o risco de entupimento das grades na entrada dos reservatórios, podendo causar novas áreas de inundação em locais que antes não sofriam com esse problema, pelo possível desvio das águas que estariam sendo encaminhadas aos referidos piscinões;
- c) falta de um programa representativo de coleta seletiva e de reciclagem do lixo. E concomitante a este projeto, um programa de capacitação/educação ambiental para a população carente local;
- d) não há previsão de um programa efetivo e representativo de recuperação e replantio da mata ciliar e da vegetação das encostas;
- e) não há previsão de um programa de recuperação de áreas de retenção natural;
- f) carência de obras de regularização/correção das singularidades hidráulicas no leito dos rios, na parte baixa da bacia, que reduzem a seção de escoamento, podendo agravar as inundações, tais como: seções de ponte, curvas acentuadas e trechos onde o escoamento está sob o arruamento, o que gera bolsões de ar que diminuem a capacidade de escoamento e aumentam o risco de transbordamento do rio.

CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

Como sugestões de ações para prevenção e mitigação do efeito das inundações na bacia hidrográfica da praça da Bandeira, podemos citar:

- a) recuperação de áreas de retenção natural, visando ao aumento da permeabilidade da área urbana e a retenção das águas de chuva, diminuindo o aporte de água para o sistema de drenagem urbana: a impermeabilização do solo aumenta o escoamento superficial e o risco de inundações nos períodos de chuvas intensas. O uso de pavimentos permeáveis, o aumento de áreas verdes urbanas, de captação e reuso de águas de chuvas são algumas das ações sustentáveis que levam ao aumento da permeabilidade;
- b) recuperação e replantio da mata ciliar e da vegetação das encostas. A recuperação e reflorestamento dessas áreas é fundamental para preservar os aquíferos, reduzir o escoamento superficial e o risco de deslizamento de encostas, diminuindo o assoreamento hídrico e a magnitude das inundações urbanas. Monitoramento permanente da ocupação das encostas e mapeamento atualizado das zonas críticas de risco de deslizamentos. Os assentamentos irregulares agravam os problemas sociais e ambientais, tais como desmatamento, deslizamento de encostas, falta de saneamento básico, com disseminação de doenças de veiculação hídrica, entre outros. Fato este agravado pela não conformidade com a legislação vigente (Código Florestal);
- c) coleta de esgotos sanitários ao longo da bacia hidrográfica da praça da Bandeira, visando ao não lançamento de esgotos no leito dos rios e à gradual despoluição das águas fluviais: a coleta e encaminhamento dos esgotos para a ETE de Alegria causará considerável redução das vazões dos rios e do assoreamento dos mesmos, diminuindo o risco de inundações na parte baixa da bacia drenante nos períodos de chuvas intensas;
- d) implantação de um programa de coleta seletiva e de reciclagem do lixo nas favelas da região, acoplado a um programa de capacitação/educação ambiental para a população carente local. Além de gerar benefícios socioeconômicos para a população das favelas, o programa deve controlar a dispersão do lixo, grande contribuinte para as inundações na cidade. O lixo

lançado nos rios aumenta o assoreamento fluvial e o risco de transbordamento do mesmo nas épocas de chuvas intensas;

- e) obras de regularização/correção para minimizar as perdas de cargas do escoamento hídrico fluvial nas partes planas e baixas da bacia urbana, que elevam o nível d'água e aumentam o risco de transbordamento do rio. Como exemplo, podemos citar: estreitamento de calha por pilar de ponte, curvas acentuadas do leito dos rios, e trechos onde o escoamento está sob o arruamento;
- f) construção de pequenos e médios reservatórios de cheias nos trechos médio e superior dos rios, visando a reter volume considerável de água de chuva, reduzindo a vazão de escoamento e os riscos de transbordamento dos rios nas áreas críticas, como praça da Bandeira e arredores. Esses reservatórios de cheias funcionam como pequenas barragens construídas nas calhas dos rios para controle da inundação. A altura da barragem e o diâmetro do orifício, localizado na parte baixa da barragem, são dimensionados de forma a permitir uma vazão efluente para que não haja transbordamento do rio à jusante. Implantação de bacias de detenção, adequadamente localizadas (normalmente em cota inferior ao arruamento) em áreas de lazer, parques públicos, campos de futebol e áreas similares, com o objetivo de reter escoamentos da rede de esgotos pluviais, durante os períodos de chuvas intensas. Essas bacias correspondem a áreas de reservação de escoamento superficial, ligadas ao sistema de drenagem urbana, de preferência por gravidade, através de um orifício localizado em sua parte inferior. A construção de várias bacias de detenção, estrategicamente localizadas, reduziria significativamente o aporte de escoamento para o leito dos rios, diminuindo a possibilidade de transbordamento dos mesmos e da inundação da região da praça da Bandeira;
- g) limpeza e desobstrução permanente das calhas dos leitos dos rios e dos canais de drenagem, principalmente nos períodos chuvosos. Implantação de monitoramento por georreferenciamento permanente nas áreas críticas locais, visando à proteção ambiental da região e ao controle das ocupações irregulares responsáveis pelo desmatamento, deslizamentos de encostas,

erosão do solo, entre outros. Implantação de monitoramento hidrométrico e de qualidade da água dos rios da bacia hidrográfica, visando ao registro e à análise mais precisa da necessidade de medidas de controle de poluição e de controle de enchentes. Reavaliação e revisão constante do sistema de drenagem pluvial, procurando-se constatar se está apropriada às condições atuais de uso e ocupação do solo.

REFERÊNCIAS

GONTIJO, A. **A história dos rios Tijucanos - Parte I**. Instituto Eventos Ambientais. 2012. Disponível em: <<http://www.ieva.org.br/>> Acesso em: 10 jan. 2012.

KNAACK, T. S. **Análise crítica das causas e soluções sustentáveis para o controle de enchentes urbanas**: o caso prático da Bacia Hidrográfica da Praça da Bandeira. 2012. Monografia (especialização), Engenharia Sanitária e Ambiental, ENSP, FIOCRUZ, Rio de Janeiro, 2012.

O GLOBO. **Projeto de controle de enchentes da Praça da Bandeira**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/videos/t/todos-os-videos/v/catalogo/1784254>>. Acesso em: 27 nov. 2012.

OTTONI, A.; DESTRI, A.; ARAÚJO, M. **Diagnóstico preliminar e sugestões de soluções com sustentabilidade ambiental para as enchentes ocorridas na praça da Bandeira com as chuvas de abril/2010**. Rio de Janeiro: UERJ, 2010.

PIMENTEL DA SILVA, L. **Hidrologia – engenharia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

RIGHETTO, A.M. (coord.). **Manejo de águas pluviais urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Projeto PROSAB.

RIOÁGUAS. **Maracanã e praça da Bandeira - controle de enchentes na bacia do canal do Mangue**. Rio de Janeiro: Fundação Rio-Águas, 2011.

SEMADS. **Enchentes no estado do Rio de Janeiro – uma abordagem geral**. Rio de Janeiro: Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2001. Cooperação Técnica Brasil-Alemanha. Projeto PLANÁGUA-SEMADS/GTZ. 160p.

TUCCI, C.E.M. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade UFRGS, 1995. 428 p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos).

_____. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades/Global Water Partnership/World Bank/Unesco, 2005.

Capítulo 4

AVALIAÇÃO AMBIENTAL NO SISTEMA DE AMORTECIMENTO DE CHEIAS DO PARQUE DAS ACÁCIAS, UBERABA (MG)

*Marcos Fernandes Silva*⁹

*Diego de Souza Sardinha*¹⁰

*Ana Carolina Borella Anhê Marfil*¹¹

*Letícia Hirata Godoy*¹²

*Patrícia Diniz Martins*¹³

INTRODUÇÃO

A busca pela qualidade de vida vem se tornando cada vez mais de suma importância nas grandes cidades. Melhorar a qualidade de vida é uma tarefa que envolve diversos fatores, muitos deles relacionados ao saneamento básico urbano, que nas últimas décadas tem se destacado (FINOTTI et al., 2009). Essas questões podem ser observadas na mudança do comportamento de gestores públicos, que estão mais preocupados com o desenvolvimento sustentável das cidades brasileiras.

A realidade atual das cidades mostra que seu desenvolvimento iniciou em torno das margens de rios e vales acidentados, e com o passar do tempo o crescimento populacional ocorreu de forma descontrolada, produzindo uma alta quantidade de área impermeabilizada em razão da pavimentação de vias públicas e canalização de córregos (FELDMANN, 1992). Com isso é possível perceber que, em geral, a maior parte do volume precipitado em bacias urbanas é escoada em direção a áreas de baixa altitude, causando problemas de inundações.

Na cidade de Uberaba, localizada na região do triângulo mineiro, Estado de Minas Gerais, essa realidade não é diferente. Os córregos que cortam a área urbana do

⁹ Bel em Engenharia Ambiental, UFTM. E-mail: markimfsv@hotmail.com

¹⁰ PhD em Geociências, UNIFAL. E-mail: diegosouzasardinha@gmail.com

¹¹ PhD em Doenças Infeciosas e parasitárias, UFTM. E-mail: ana.anhe@icte.uftm.edu.br

¹² Doutorado em Geociências e Meio Ambiente (2017) pelo Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP. E-mail leticiahirata@gmail.com

¹³ PhD em Ciências da Engenharia Ambiental, UFTM. E-mail: patricia_ambiental@hotmail.com

município foram canalizados por meio de galerias subterrâneas e todas as margens foram pavimentadas, dando lugar às principais vias urbanas. Quando a água é escoada com velocidade, devido a eventos de precipitação, o sistema de drenagem local não suporta o volume solicitado, ocasionando enchentes no centro da cidade, área mais baixa da bacia urbana.

Nesse sentido, foi construído o sistema de amortecimento de cheias do parque das Acácias, cujo objetivo é o de amortecer as vazões de pico por meio da redução do volume de água que é deslocado para o centro de Uberaba durante o período de precipitação. Os reservatórios de amortecimento de cheias são estruturas que acumulam temporariamente as águas pluviais e controlam as vazões de cheia, fazendo com que a vazão de saída do reservatório seja menor que a vazão de entrada, ou seja, amortecem as ondas de cheia e diminuem os riscos de inundações à jusante (TUCCI; BERTONI, 2003).

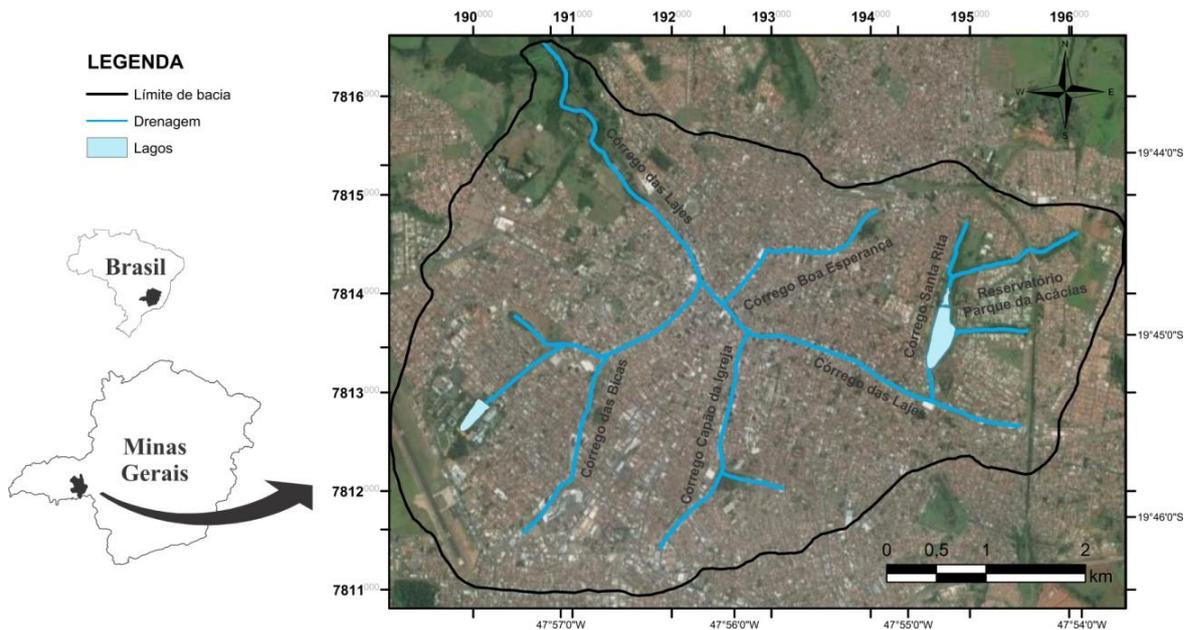
Além da função de regularização de fluxo que o sistema de amortecimento exerce na área, foi criada no local uma infraestrutura para a realização de atividades físicas com quadras poliesportivas, pista de caminhada, academia ao ar livre, quiosques, pista de skate, entre outras estruturas utilizadas para lazer e esporte (PMU, 2005).

Como o sistema de amortecimento de cheias acumula temporariamente as águas pluviais, sedimentos e elementos químicos tendem a se concentrar nesses locais. Assim, o presente trabalho tem como finalidade a avaliação ambiental do reservatório do parque das Acácias, importante sistema de amortecimento de cheias localizado no município de Uberaba (MG).

CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

O reservatório do parque das Acácias é alimentado pelas nascentes do córrego Santa Rita, tributários da bacia do córrego das Lajes. O córrego das Lajes drena toda a área urbana do município de Uberaba (Figura 1), que possui aproximadamente 296 mil habitantes, e está entre as oito maiores cidades do Estado de Minas Gerais (IBGE, 2012).

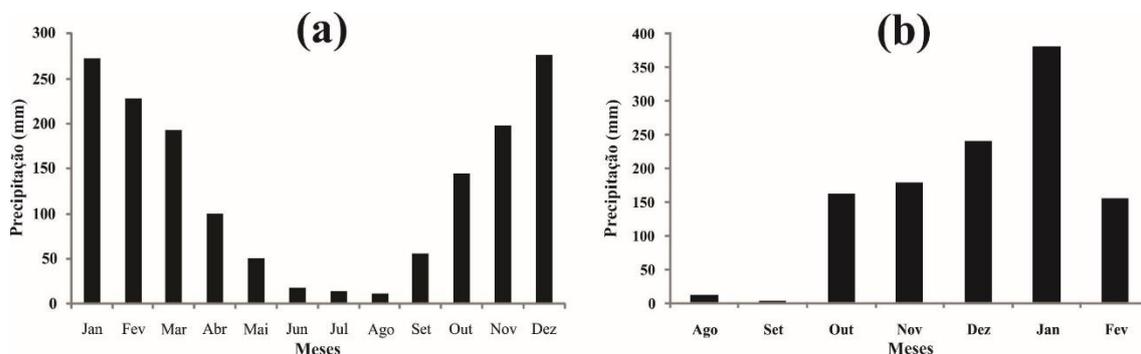
Figura 1 - Bacia do córrego das Lajes com o sistema de amortecimento de cheias parque das Acácias em Uberaba (MG)



Fonte: Modificado de Sardinha et al., 2016.

Segundo o sistema de Köppen (1948), Uberaba está submetida a um clima tropical chuvoso do tipo Aw, de inverno seco e verão úmido. A precipitação média anual é de 130,25 mm, sendo dezembro o mês mais chuvoso, com 276 mm, e agosto o menos chuvoso, com 11 mm (Figura 2a). Em 2011, o município apresentou um índice de 1.137 mm, maior em janeiro (381 mm), e menor setembro (5 mm, Figura 2b).

Figura 2 - (a) Precipitação média mensal entre 1914 e 1994 em Uberaba (MG). Fonte: Prefeitura de Uberaba, 2009; (b) Precipitação total durante o período de pesquisa. Fonte: INMET, 2012.



Fonte: Modificado de Sardinha et al., 2016.

O sistema de amortecimento de cheias é formado por dois reservatórios para a acumulação de água durante eventos extremos de precipitação. Os reservatórios

possuem uma área superficial de aproximadamente 70.000 m² e situam-se entre os paralelos 19°44'51" e 19°45'11" de latitude S e meridianos 47°54'50" e 47°54'52" longitude W, na região centro sul do município de Uberaba (Figura 3).

Figura 3 - Localização e distribuição espacial dos pontos de amostragem



Fonte: Silva et al., 2013.

O reservatório principal do sistema de amortecimento (Figuras 3 e 4a) é classificado como do tipo II, segundo Straskraba e Tundisi (1999). Este tipo de reservatório é caracterizado pelo escoamento da água pela parte superior do sistema, influenciando diretamente na temperatura e na quantidade nutrientes da lâmina de água retida no reservatório.

O reservatório secundário do sistema de amortecimento (Figuras 3 e 4b) trata-se de uma área alagada do tipo pantanosa, comum em ecossistemas lânticos. Esse tipo de ecossistema é caracterizado pelas baixas concentrações de oxigênio dissolvido devido ao acúmulo e decomposição da matéria orgânica. Quando a decomposição ocorre, gera um ambiente que dificulta a sobrevivência de organismos aeróbicos (STRASKRABA; TUNDISI, 1999).

Figura 4 - (a) Reservatório principal do sistema; (b) Reservatório secundário do sistema



Fonte: Autores, 2013.

O sistema de amortecimento abrange os bairros localizados nas regiões nordeste e leste da área urbana do município de Uberaba. A rede de drenagem coleta e transporta as águas pluviais que adentram para o reservatório pelo sistema de escadas hidráulicas. A água é escoada para o reservatório a uma taxa constante, ocorrendo a retenção do volume excedente que adentra no reservatório principal, elevando a lâmina de água. Quando a capacidade máxima de retenção é atingida, a água escoar por um sistema emergencial de ladrões, elevando o nível do segundo reservatório (Figuras 1, 3 e 4).

Quanto ao uso da terra, a ocupação no entorno do parque das Acácias é um fator recente, com a implantação condomínios e bairros residenciais, obras de pavimentação, construção de galerias pluviais e impermeabilização do solo fazem parte da paisagem. Nas nascentes do Córrego Santa Rita, ainda prevalecem sítios e chácaras, pressionados pela especulação imobiliária (Figura 1).

Na área do parque das Acácias afloram rochas do grupo Bauru, formação Uberaba. Essas rochas, segundo Hasui (1968), tratam-se de arenitos muito finos a lamitossiltosos, arenitos finos subordinados, com matriz argilosa, incluindo grande quantidade de materiais de retrabalhamento de rochas ígneas efusivas e intrusivas básicas, ultrabásicas e intermediárias, alcalinas ou não. A topografia é caracterizada por superfícies ligeiramente onduladas, relevo medianamente dissecado com topos convexos e ligeira inclinação sentido área central. O tipo de solo que recobre a área é latossolo vermelho amarelo textura média a argilosa.

MATERIAIS E MÉTODOS

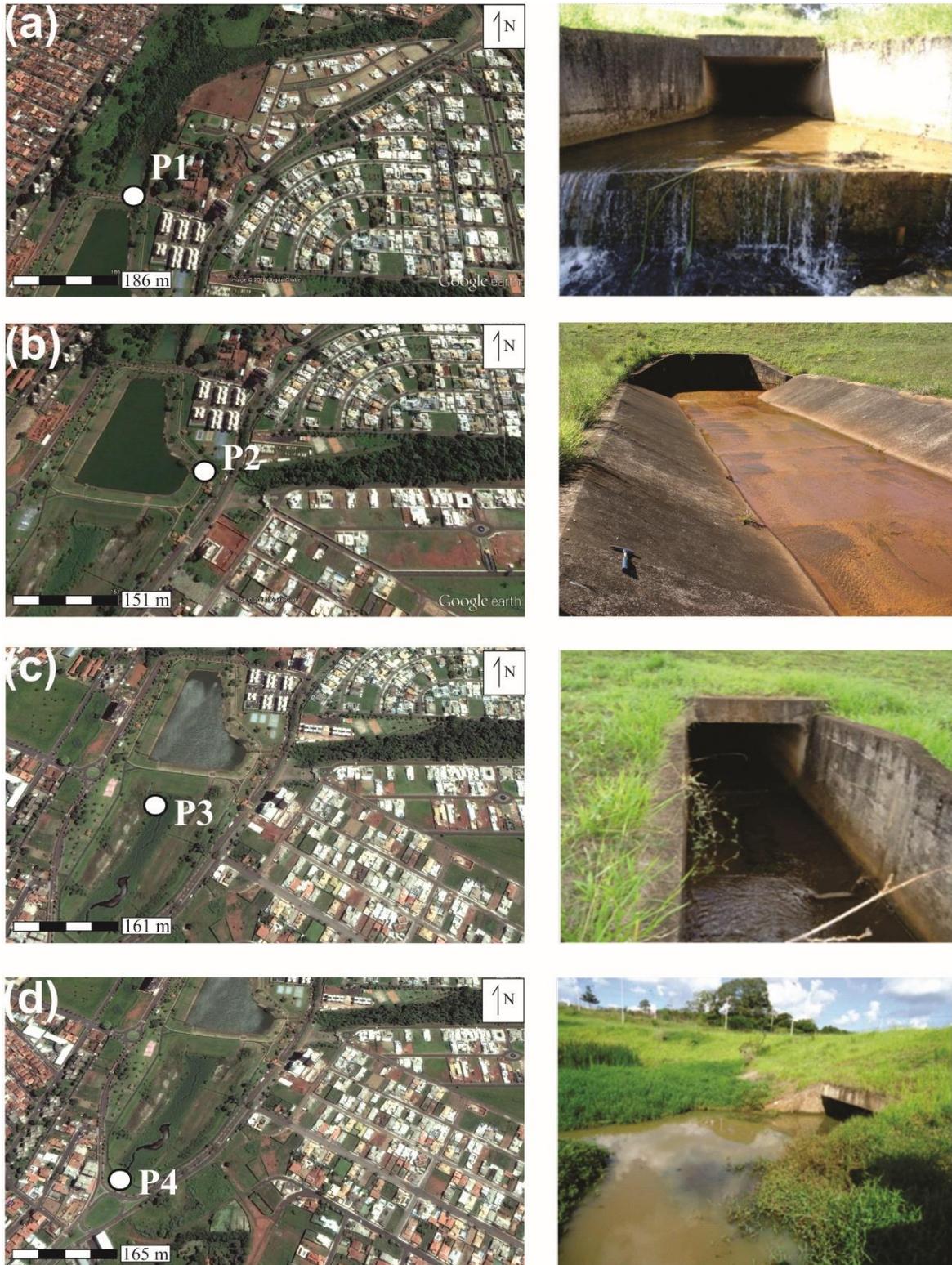
Com a finalidade de subsidiar os elementos fisiográficos necessários e espacializar as informações resultantes, foram confeccionadas cartas descritivas e interpretativas em meio digital, utilizando como base a Carta Topográfica SE-23-Y-C-IV em escala 1:100.000 de Uberaba (BRASIL, 1972). Para isso, foram utilizados os softwares ArcGis 9.3 e CorelDraw X5.

O levantamento de campo para a tomada de coordenadas geográficas foi realizado utilizando equipamento GPS (Global Positioning System) e Trex Vista H da Garmin. Quanto aos aspectos climatológicos, foram obtidos os valores de temperatura média do ar e precipitações mensais durante o período de estudo. Esses dados foram levantados e pleiteados junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2012).

Para a avaliação ambiental, foram selecionados quatro pontos de amostragem, onde também foram realizadas análises de parâmetros físico-químicos e microbiológicos (Figura 5): P1 - entrada norte do reservatório principal, nascente do córrego Santa Rita (19°44'86" S e 47°54'75" W); P2 - entrada leste do reservatório principal, nascente do córrego Santa Rita (19°44'97" S e 47°54'70" W); P3 - exutório do reservatório principal (19°44'59" S e 47°54'49" W), e P4 - exutório do sistema de amortecimento de cheias, reservatório secundário e/ou área alagada (19°45'10" S e 47°54'52" W). As amostragens foram realizadas mensalmente, entre agosto de 2011 a abril de 2012, caracterizando as variações em um ano hidrológico, ou seja, de maiores e menores índices pluviométricos (Figura 2).

Para a avaliação ambiental, foi realizada a identificação das relações entre os principais indicadores biofísicos de impactos ambientais (Tabela 1), segundo metodologia descrita em Sardinha et al. (2007) e Godoy et al. (2013). A classificação de impactos ambientais foi determinada de acordo com a Tabela 2, o maior valor na somatória dos pesos (33) se caracteriza por representar a melhor classificação ambiental da área.

Figura 5- Descrição dos pontos de amostragem: (a) entrada norte do reservatório principal - P1; (b) entrada leste do reservatório principal - P2; (c) exutório do reservatório principal - P3; (d) exutório do sistema de amortecimento de cheias - P4



Fonte das imagens aéreas: Google Earth, 2016. Fotos locais: Autores, 2016.

Tabela 1 - Planilha aplicada em campo com os possíveis indicadores biofísicos para a avaliação ambiental

INDICADORES BIOFÍSICOS	PESO	INDICADORES BIOFÍSICOS	PESO
Erosão no entorno		Odor	
Boçoroca	0	Forte	0
Ravina	1	Moderado	1
Sulco	2	Fraco	2
Sem erosão	3	Ausente	3
Impactos na vegetação		Óleos	
Muito impacto (sem vegetação)	0	Muito alto	0
Médio impacto	1	Alto	1
Pouco impacto	2	Baixo	2
Sem impacto	3	Ausente	3
Fauna no entorno		Espumas	
Ausência de animais nativos	0	Muito alta	0
Pouca presença	1	Alta	1
Moderada presença	2	Baixo	2
Grande presença	3	Ausente	3
Saneamento		Algas/ Clorofila	
Fossa e/ou esgoto	0	Muito alto	0
Dejetos ou urina	1	Alto	1
Entulhos e/ou lixo	2	Baixo	2
Ausência de impacto	3	Ausente	3
Lixo no entorno do recurso hídrico		Larvas e vermes vermelhos	
Muito lixo	0	Muito alta	0
Pouco Lixo	1	Alta	1
Lixo em latões	2	Baixo	2
Sem lixo	3	Ausente	3
Turbidez da água			
Muito alta	0		
Alta	1		
Baixa	2		
Muito baixa	3		

Fonte: Modificado de Sardinha et al. (2007) e Godoy et al. (2013).

Tabela 2 - Intervalos de valores e classificação dos indicadores biofísicos para avaliação ambiental

Intervalo de valores	Classificação do impacto
33-25	Pouco impacto
24-17	Impacto moderado
16-10	Impacto alto
10-0	Impacto preocupante

Fonte: Modificado de Sardinha et al., 2007; e Godoy et al., 2013.

Para qualidade da água, foram realizadas nove amostragens entre agosto de 2011 e abril de 2012. A concentração de oxigênio dissolvido (método eletrométrico de 0,1 - 20,0 mg/L \pm 0,1 mg/L) e temperatura (0 a 50 °C \pm 1 °C) foram analisadas através de eletrodos de leitura direta no próprio local de amostragem com o medidor portátil HQ 40d multi da Hach. A condutividade foi analisada por meio do equipamento Conductivity Probe da Vernier (0 a 100 mg/L TDS \pm 1 mg/L). A vazão foi medida nos pontos de

amostragem P1, P2 e P3, segundo a metodologia descrita por Hermes e Silva (2004). Para isso foi utilizada uma régua limnimétrica de leitura da medida do nível do rio, trena, objeto flutuador e um cronômetro (Equação 1).

$$Q = \frac{Ax Dx C}{T} \quad (1)$$

Onde: Q = vazão (m^3); A = Área da seção transversal do rio (m^2); D = Distância usada para medir a velocidade do rio (m); C = Coeficiente de correção (0,8 para rios com fundo rochoso e 0,9 para rios com fundo lodoso); T = Tempo (s) gasto pelo objeto flutuador para atravessar a distância D .

Amostras também foram coletadas no mês de outubro de 2012 para análise de coliformes totais e termotolerantes. As águas foram coletadas no centro da seção transversal do canal e acondicionadas em vasilhame de polietileno de 500 ml, previamente esterilizado. As análises de coliformes totais, termotolerantes e contagem de bactérias heterotróficas foram realizadas no Laboratório de Microbiologia e Bioprocessos do Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas da UFTM por meio de testes de tubos múltiplos, e testes cromogênico/fluorogênico Colilert, segundo metodologia de Cetesb (2007); Silva et al. (2010) e Brasil (2013).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com o modelo aplicado em campo (Tabela 1) e os intervalos adotados (Tabela 2), os resultados obtidos para cada ponto e sua respectiva classificação em relação à avaliação ambiental se encontram descritos na Tabela 3, indicando pouco impacto ambiental. O ponto P1 está localizado na entrada da nascente principal do córrego Santa Rita, o rio é retificado e adentra ao reservatório por meio de uma galeria (Figura 5a). O local apresenta poucos vestígios de embalagens/resíduos e grande quantidade de algas/clorofila (Tabela 3).

Tabela 3 - Tipo de impacto associado aos indicadores biofísicos de avaliação ambiental: P1 entrada norte do reservatório principal; P2 entrada leste do reservatório principal; P3 exutório do reservatório principal; P4 exutório do sistema de amortecimento de cheias

	Turbidez da água	Lixo no recurso	Impacto saneamento	Fauna do entorno	Impactos na vegetação	Erosão no entorno
Ponto	Ausente Baixa Alta Muito alta	Sem lixo Lixo em latões Pouco lixo Muito lixo	Ausente Entulhos lixo Dejetos ou urina Fossa e/ou esgoto	Grande presença Moderada presença Pouca presença Ausência	Sem impacto Mais de 50% de vegetação Menos de 50% de vegetação Sem vegetação	Sem erosão Sulco Ravina Boçoroca
P1	X	X	X	X	X	X
P2	X	X	X	X	X	X
P3	X	X	X	X	X	X
P4	X	X	X	X	X	X
	Odor	Óleos	Espumas	Algas/ clorofila	Larvas e vermes	Avaliação ambiental
Ponto	Ausente Fraco Forte Muito forte	Ausente Baixo Alto Muito alto	Ausente Baixa Alta Muito alta	Ausente Baixo Alto Muito alto	Ausente Baixa Alta Muito alta	
P1	X	X	X	X	X	
P2	X	X	X	X	X	
P3	X	X	X	X	X	
P4	X	X	X	X	X	

Fonte: Autores, 2016.

O ponto P2, nascente secundária do córrego Santa Rita, também retificado, adentra por meio de galerias fluviais que deságuam em um leito canalizado, desembocando no reservatório por uma escada hidráulica (Figura 5b). P3 situa-se no exutório do reservatório, trata-se de uma galeria que desemboca na área alagada por meio de uma escada hidráulica (Figura 5c). P4 localiza-se no reservatório secundário, após a área alagada (Figura 5d). Esses locais apresentam pouca presença de animais nativos e vegetação, além de feições erosivas, como sulcos nas bordas, provavelmente devido à flutuação do nível da água (Tabela 3).

A vazão nos pontos de amostragem P1, P2 e P3 são maiores nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, de maiores precipitações, segundo (Figura 2b). A maior contribuição é relativa ao ponto P1 com 0,040 m³/s, 0,083 m³/s e 0,068 m³/s. Em P2 os

resultados apresentam uma vazão de 0,019 m³/s, 0,035 m³/s e 0,024 m³/s. Já em P3, os valores para o mesmo período são de 0,075 m³/s, 0,062 m³/s e 0,050 m³/s, indicando uma regularização da vazão, que se mantém praticamente constante no exutório, mesmo durante os meses de maior precipitação.

A turbidez da água pode ser entendida, segundo Wetzel (1983), como o grau de atenuação da intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, decorrente naturalmente da presença de material em suspensão, plâncton, microrganismos, argilas e siltes nas águas. Os valores de turbidez medidos entre todos os pontos estudados registraram pequena variação durante os nove meses de coleta, e as médias, máximas e mínimas estão representadas na Figura 6. O maior valor de turbidez (260 NTU) foi observado na coleta novembro, no ponto P1, provavelmente devido à precipitação no local durante o período coleta, desprendendo material na galeria de drenagem. Nenhum outro ponto excedeu o limite de 100 NTU estabelecido pela Resolução 357 do Conama, para rios de classe 2 (BRASIL, 2005).

Os sólidos em suspensão provêm do carreamento de partículas pelas águas pluviais (SARDINHA et al., 2012). As médias para os pontos P1 e P2 foram respectivamente de 58,8 mg/L e 65,4 mg/L. Já no ponto P3, localizado no exutório do reservatório principal, a média é de 52,1 mg/L, havendo uma redução nos valores de STS, sedimentando as partículas suspensas. O ponto P4, reservatório secundário do sistema de amortecimento, é uma área alagada do tipo pantanosa, comum em ecossistemas lênticos. O local apresenta valores semelhantes de STS ao dos pontos P1 e P2, provavelmente devido ao acúmulo de matéria orgânica e sedimentos, revolvidos em períodos chuvosos.

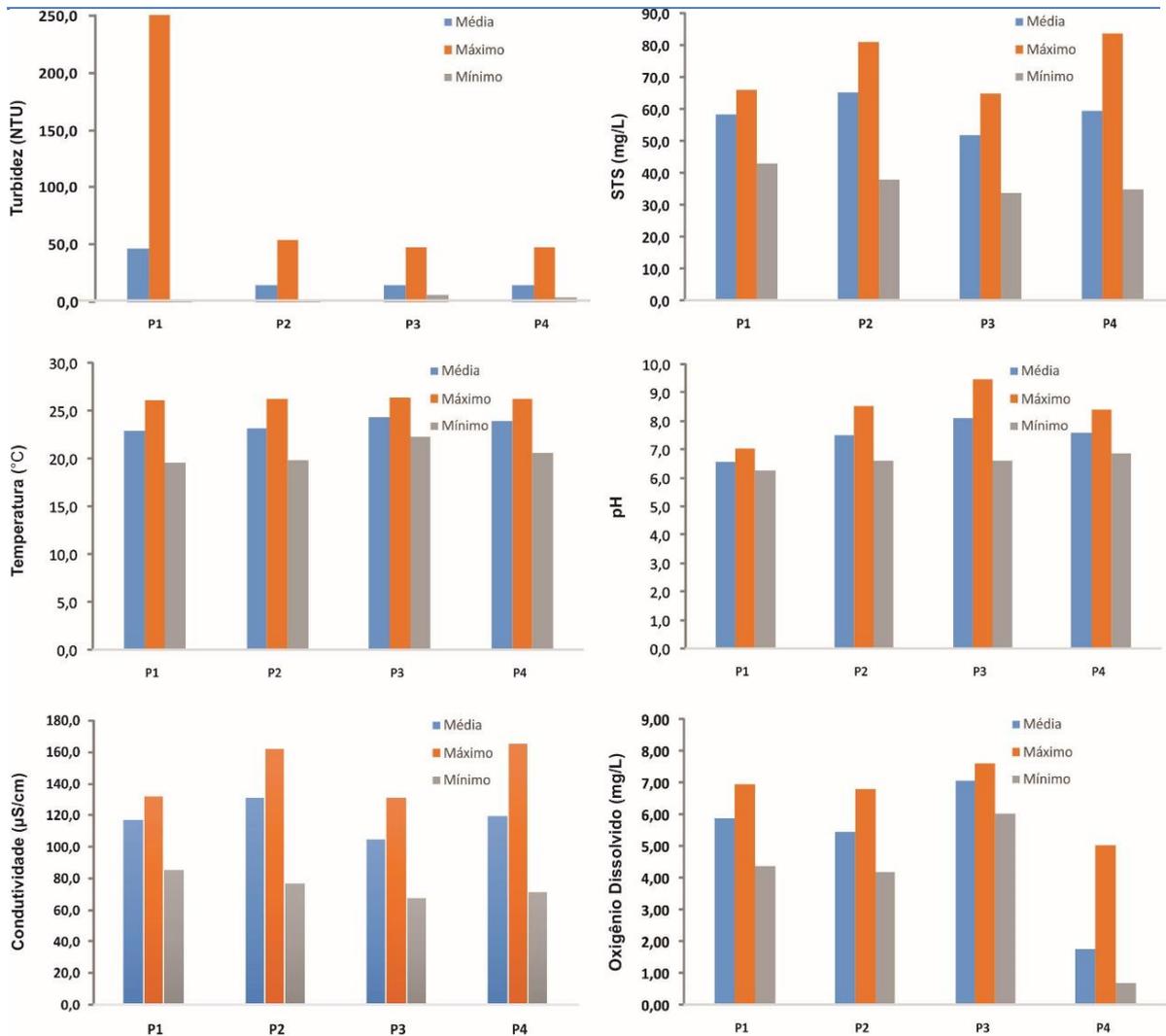
Segundo von Sperling (2007), aumentos na temperatura da água podem estar relacionados com a sua origem natural, transferência de calor por radiação, condução e convecção (atmosfera e solo), ou de origem antrópica, como despejos de origem industrial e doméstica. Os dados de temperatura (Figura 6) foram tomados na superfície, sendo, portanto, influenciadas por fatores como profundidade, estação do ano e período do dia. Dentre os pontos analisados, o valor máximo de temperatura foi registrado em dezembro no ponto P4 (26,5 °C) e o menor valor no ponto P3 (19,8 °C) em agosto, podendo-se assim observar uma variação de aproximadamente 6,7 °C de temperatura da água entre o verão e o inverno.

O pH possui um efeito indireto, segundo Esteves (1998), que pode em determinadas condições contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados, e em outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Dessa forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas pela legislação federal, e os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9 (BRASIL, 2005). Os valores indicam aumento de pH entre a entrada e saída de água no reservatório principal, conforme Figura 6.

A condutividade pode ser entendida como a capacidade que a água tem em conduzir corrente elétrica, variando sua concentração conforme a temperatura e a quantidade de íons presentes. Os valores médios de condutividade foram de 117 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em P1, 105 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em P2, 131 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em P3 e 104 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em P4, próximos do limite superior esperado para águas naturais de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, segundo Hermes e Silva (2004) e Sardinha et al. (2008). A montante do ponto P2 há maior interferência da malha urbana, além de criação de gado e leite, que pode contribuir para o aumento dos valores de condutividade (Figura 6).

As principais fontes de oxigênio dissolvido para a água são a atmosfera e a fotossíntese, e segundo von Sperling (2007), as perdas se devem ao consumo pela decomposição da matéria orgânica (oxidação), difusão para a atmosfera e respiração de organismos aquáticos. Como pode ser observado na Figura 6, houve uma variação média muito grande dos valores de oxigênio dissolvido em todos os pontos de amostragem (variação de 5,3 mg/L). O ponto P4 apresenta os menores valores de OD, por exemplo, as amostras de outubro (0,85 mg/L) e dezembro (0,71 mg/L) se encontrava em condições anaeróbias (OD < 1,0 mg/L). Esse cenário pode ser devido ao processo de decomposição de matéria orgânica que deve ocorrer neste reservatório.

Figura 6 - Valores médios, máximos e mínimos de turbidez, STS (sólidos totais em suspensão), temperatura, pH, condutividade e oxigênio dissolvido: P1 entrada norte do reservatório principal; P2 entrada leste do reservatório principal; P3 exutório do reservatório principal; P4 exutório do sistema de amortecimento de cheias



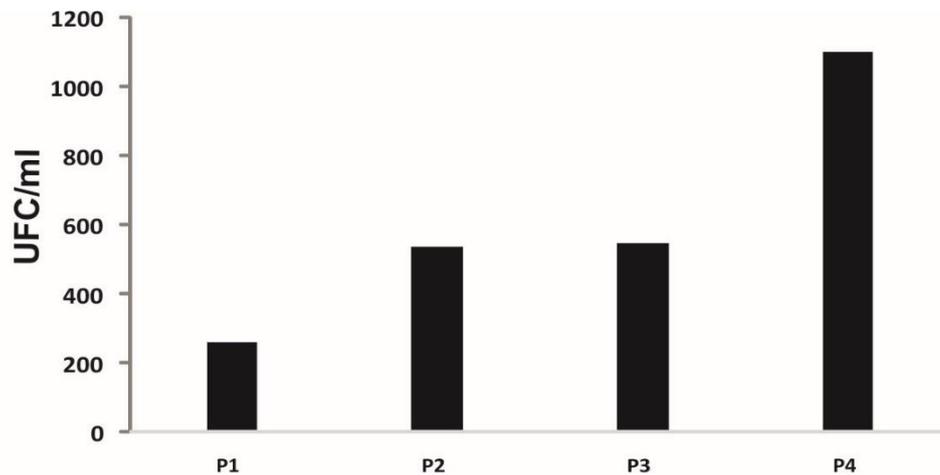
Fonte: Autores, 2016.

O teste confirmativo para coliformes totais e *Escherichia Coli* foi positivo em todos os pontos de amostragem indicando possível contaminação fecal nas águas. A Portaria 2.914 do Ministério da Saúde estabelece que, em 100 mL de amostra deve estar ausente a bactéria *E. Coli* em águas para consumo humano (BRASIL, 2011). Portanto, os pontos analisados não são adequados para consumo ou atividades que envolvam contato direto.

A Portaria 2.914 também estabelece a contagem de bactérias heterotróficas para verificar a qualidade da água para consumo humano, sendo que a contagem padrão de bactérias heterotróficas não deve exceder a 500 Unidades Formadoras de Colônia por mililitro (BRASIL, 2011). As análises foram realizadas em duplicata e os resultados de

contagem padrão de bactérias heterotróficas para os pontos analisados encontram-se na Figura 7.

Figura 7 - Resultado das amostragens para bactérias heterotróficas (UFC/ml - unidades formadoras de colônia por mililitro de amostra): P1 entrada norte do reservatório principal; P2 entrada leste do reservatório principal; P3 exutório do reservatório principal; P4 exutório do sistema de amortecimento de cheias



Fonte: Autores, 2016.

O ponto P4 apresenta maior quantidade, segundo contagem padrão de bactérias heterotróficas, dentre os pontos amostrados, mais que o dobro do valor máximo permitido (500 UFC/ml), segundo Brasil (2011). O acúmulo de matéria orgânica e as águas estagnadas nesta área alagada podem facilitar a proliferação destes microrganismos, contribuindo para a deterioração da qualidade da água que verte sentido centro urbano de Uberaba.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem metodológica empregada neste trabalho teve como finalidade a avaliação ambiental do sistema de amortecimento de cheias do parque das Acácias. Os resultados obtidos através dos parâmetros analisados permitiram avaliar as condições ambientais do recurso hídrico estudado.

Os parâmetros analisados demonstram que as águas que adentram o sistema de amortecimento de cheias, provenientes das nascentes do córrego Santa Rita, encontram-se com pouco impacto ambiental, segundo a metodologia aplicada. As concentrações de

oxigênio dissolvido estão sempre acima de 5,0 mg/L, a temperatura média próxima de 26 °C e a condutividade elétrica menor que 130 µS/cm.

O ponto P4 apresenta menor qualidade, quando comparados todos os parâmetros analisados com os demais pontos amostrados (P1, P2 e P3). A análise microbiológica apresenta maiores contagens em unidades formadoras de colônia por mililitro de amostra de água, inversamente proporcional aos valores de OD, em alguns casos, menores que (1,0 mg/L).

O sistema de amortecimento de cheias do parque das Acácias encontra-se dentro das suas funções, regularização da vazão para diminuição de enchentes na área central do município de Uberaba (MG). No entanto, a falta de gestão adequada reflete na perda da qualidade das águas afluente do reservatório, que em eventos de grande precipitação podem ocasionar enchentes no centro da cidade. Assim, o trabalho mostra a importância da avaliação ambiental como ferramenta de gestão para o poder público municipal.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista – ANAP e sua diretoria executiva, Sandra Medina Benini. Os autores também agradecem aos pesquisadores Marcos Fernandes Silva, Ana Carolina Borella Anê Marfil e Patrícia Diniz Martins, do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM, pelas contribuições e análises microbiológicas realizadas neste estudo.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. Fundação IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta do Brasil em escala 1:100.000**. Folha SE-23-Y-C-IV, 1972.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama 357 de 2005**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acessos em: jun. 2012 a fev. 2013.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria 2.914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acessos em: jun. 2012 a fev. 2013.

_____. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 4. ed. Brasília: Funasa, 2013. 150p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Norma Técnica L5.406**. Coliformes termotolerantes: Determinação em amostras ambientais pela técnica de tubos múltiplos com meio A1 - método de ensaio. 2007. 16p.

ESTEVES, F.A. Fundamentos de limnologia. In: **Interciência**. 2. ed. Rio de Janeiro: [s/e], 1998. 602p.

FELDMANN, F. **Guia da ecologia**: para entender e viver melhor a relação homem natureza. São Paulo: Abril, 1992. 62p.

FINOTTI, A. et al. **Monitoramento de recursos hídricos em áreas urbanas**. Caixas do Sul, RS: Educs, 2009. 272p.

GOOGLE EARTH. **Imagens de satélite**. Disponível em: <<https://earth.google.com/>>. Acesso em: 16 set. 2016.

GODOY, L.H. et al. Potencial Geoparque de Uberaba (MG): geodiversidade e geoconservação. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 395-410, 2013.

HASUI, Y. A formação Uberaba. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE BELO HORIZONTE, 1968, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBG, 1968. p. 167-179.

HERMES, L.C.; SILVA, A.S. **Avaliação da qualidade das águas**: manual prático. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 55p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Banco de dados**: o Brasil município por município. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 2 jun. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Meteogramas precipitação (mm) e taxa de chuva (mm/h)**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acessos em: ago. 2011 a fev. 2012.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERABA. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico e Turismo. **Uberaba em dados**. Uberaba: PMU, 2009. Capítulo 01 – Caracterização. 21p.

SARDINHA, D.S. et al. Impactos do uso público em atrativos turísticos naturais do Município de Altinópolis (SP). **Geociências**, v. 26, n. 2, p. 161-172, 2007.

_____. Avaliação da qualidade da água e autodepuração do Ribeirão do Meio. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 329-338, 2008.

_____. Denudação química e implicações na composição das águas superficiais da bacia do Rio Jaú (SP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 3, p. 337-349, 2012.

_____; GODOY, L.H. O crescimento urbano e o impacto nos recursos hídricos superficiais de Uberaba (MG). **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 4, n. 23, p. 01-20, 2016.

SILVA, N. et al. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água**. 4. ed. São Paulo: Varela; 2010.

SILVA, M.F. et al. **Caracterização ambiental do reservatório do Parque das Acácias - Uberaba (MG)**. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 1, n. 1, p. 12-29, 2013.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J.G. **Reservoir water quality management: guidelines of lake management**. Kusatsu, Japan: International Lake Environmental Committee, 1999. v. 9. 227p.

TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C. **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: ABRH, 2003. 129p.

WETZEL, R.G. **Limnology**. 2nd Edition. USA: Saunders College Publishing, 1983. 767p.

VON SPERLING, M. **Estudo e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 588p.

Capítulo 5

PROPOSTA DE SINALIZAÇÃO EM ÁREAS DE RISCO SUJEITAS A ALAGAMENTO EM VIAS URBANAS PARA O MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS – SP

Paulo Vaz Filho¹⁴

Katia Sakihama Ventura¹⁵

Pedro Fernando Caballero-Campos¹⁶

Eduardo Tagino Comin¹⁷

INTRODUÇÃO

A prevenção a acidentes ou desastres relaciona-se com a preservação física de pessoas e do ambiente à sua volta e, conseqüentemente, ao risco associado a eles. Couto (2009) ressalta que a percepção do risco e a tomada de decisão são elementos indissociáveis à prevenção de risco e podem contribuir para o erro humano, sendo causado por falta de: i) atenção, ii) condições ergonômicas inadequadas, iii) aptidão física ou mental, iv) capacidade, v) informação e vi) motivação.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a NBR ISO 31.000 que trata da Gestão de Risco – Princípios e Diretrizes. Neste documento, *risco* é compreendido como “efeito da incerteza nos objetivos” e representa um desvio (positivo ou negativo) em relação ao esperado e que pode estar associado a eventos potenciais e suas conseqüências (ABNT, 2009).

¹⁴ Engenheiro civil, mestre em Engenharia Urbana (DECiv/UFSCar), professor das Faculdades Integradas de Araraquara e do Centro Universitário Adventista do Estado de São Paulo. E-mail: paulo@villeengenharia.com.br

¹⁵ Engenheira civil e de Segurança do Trabalho, doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento (EESC/USP), professora do Departamento de Engenharia Civil da UFSCar (DECiv/UFSCar). E-mail: katiav@ufscar.br

¹⁶ Diretor da Defesa Civil de São Carlos, colaborador UNISDR em Desastres, mestre em Ciências da Engenharia Ambiental (EESC/USP), professor das Faculdades Integradas de Araraquara. E-mail: caballero.pedro.199@gmail.com

¹⁷ Engenheiro Ambiental e Sanitarista, graduando em Engenharia Civil pelas Faculdades Integradas de Araraquara. E-mail: eduardo_comin@yahoo.com.br

A Norma Técnica P4.261 da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo apresenta um conjunto de termos, entre eles, a destacar (CETESB, 2011):

- Acidente: *“Evento específico não planejado e indesejável, ou uma sequência de eventos que geram consequências indesejáveis”.*
- Perigo: *“Uma ou mais condições físicas ou químicas com potencial para causar danos às pessoas, à propriedade e ao meio ambiente”.*
- Risco: *“Medida de danos à vida humana, resultante da combinação entre frequência de ocorrência de um ou mais cenários acidentais e a magnitude dos efeitos físicos associados a esses cenários”.*

Saito (2015), pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), adota o conceito de risco como a probabilidade de perdas esperadas em virtude das interações entre um perigo natural (fenômeno físico natural com possíveis danos à população, como, por exemplo, a erosão) e as condições de vulnerabilidade (grau de perda) local (UNDP, 2004).

O estudo anterior, elaborado pelo United Nations Development Programme (UNDP), apresenta os seguintes conceitos:

- *Acidente*: evento não programado que, ao ocorrer, gera danos físicos, materiais, financeiros e psicológicos a um ou mais indivíduos, interrompendo o processo natural de uma determinada atividade;
- *Perigo*: situação, conhecida ou não, com potencial de causar lesões e dano à coletividade e ao meio;
- *Risco*: probabilidade de ocorrência de um dano, previsível ou não, em um determinado período ou intervalo de tempo, cujos efeitos são intrínsecos a cada acidente.

A percepção do risco depende da experiência vivenciada, da memória dos fatos, do modo de vida, do comportamento e da tomada de decisão pelo indivíduo em relação ao meio em que vive (FURTADO, 2012). A população, atraída para as áreas de risco, carece de infraestrutura e serviços, particularmente de habitação e saneamento. Euzébio (2009) destaca que essas áreas estão pouco integradas ao planejamento sustentável do meio, a fiscalização nelas é insuficiente ou inexistente quanto ao controle da ocupação.

O conceito de saneamento, dado pelo artigo 3º da Política Nacional de Saneamento Básico, Lei Federal nº 11.445/2007, contempla o abastecimento de água

potável, o esgotamento sanitário, a limpeza e manejo de resíduos sólidos, bem como (BRASIL, 2007):

[...] d) *drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas*: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas.

O termo drenagem, compreendido de forma simplificada como escoamento superficial, está contemplado no conceito de manejo das águas pluviais urbanas, o qual representa o conjunto de serviços de infraestrutura necessário para a detenção, retenção e amortecimento das vazões de cheias, incluindo o tratamento e a disposição dessas águas no meio urbano (FUNASA, 2015).

Ao longo da história, o conceito convencional de drenagem urbana se referia a obras destinadas ao escoamento rápido das águas, transferindo-o para áreas adjacentes ou à jusante do local de acúmulo. No presente momento, o planejamento preventivo das águas urbanas prevalece e busca-se mais intensamente o controle e a minimização dos efeitos adversos das enchentes, alagamentos e inundações de pontos críticos no meio urbano. Assim, integra-se o uso e ocupação do solo com outros setores da engenharia. Por isso os planos municipais são tão importantes em um município.

Os serviços de limpeza urbana e manejo de águas pluviais, normalmente, são mais bem detalhados em documentos específicos como Plano Diretor de Águas Pluviais ou Plano Diretor Urbanístico, quando existentes. Tais documentos, quando associados a outros, potencializam a organização do espaço urbano e permitem considerar as particularidades de cada município.

Os planos de segurança da água, de saneamento ambiental, diretor urbano, de manejo de águas pluviais, de redução de riscos a desastres e de resíduos sólidos são exemplos de mecanismos úteis à gestão dos sistemas hídricos urbanos. Para esses documentos, a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2015) ressalta que o bom plano resulta da consideração de alguns aspectos em sua elaboração, tais como institucionais, legais, culturais, gerenciais, econômicos, políticos, fiscais, entre outros.

O Plano Diretor de Águas Pluviais é uma peça técnica com o propósito de subsidiar o planejamento das águas urbanas, sobretudo propor medidas sustentáveis em uma bacia hidrográfica para mitigar impactos da urbanização no meio urbano. Segundo

Miguez et al. (2016), os impactos do desenvolvimento urbano são causados pela impermeabilização do solo, pela ocupação de área de risco, pela retirada da cobertura vegetal, pelas intervenções físicas nos cursos d'água e pela ocupação das margens dos cursos d'água (Figura 1), entre outros fatores.

Figura 1 - Ocupação às margens do córrego Barra Bonita (Barra Bonita/SP)



Fonte: Autores, 2010.

A urbanização associada à falta de planejamento traz consequências indesejáveis ao meio urbano. Entre elas, o aumento das vazões dos cursos d'água, que ocasiona as enchentes e inundações (TUCCI; COLLISCHONN, 1998; TUCCI, 2002; TUCCI, 2012). Essa afirmação torna evidente que a eficiência do sistema de drenagem urbana está diretamente relacionada à integração do presente tema com outros planos e políticas de controle de uso do solo.

Observa-se, então, que os planos auxiliam o gestor público nas tomadas de decisões para minimizar os problemas decorrentes da ocupação desordenada e prever futuros riscos à segurança humana. Com o planejamento das águas urbanas é possível reduzir custos, melhorar o tráfego de veículos durante as chuvas, ampliar a qualidade dos serviços de saneamento e, conseqüentemente, proporcionar melhor qualidade de vida à população. No entanto, são poucos municípios que dispõem de serviços e leis no setor.

Em 2000, os serviços de manejo de águas pluviais eram empregados em aproximadamente 77% dos municípios. No último levantamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2008, os serviços de drenagem urbana atingiram 94,5% dos municípios brasileiros. Em sua maioria (98,6%), tais serviços foram realizados pelo próprio município (IBGE, 2008).

O mesmo documento ilustra que somente 18,5% do total (5.560) de municípios apresentaram, em 2008, plano diretor de águas pluviais, o que corresponde a 1.028 deles. Em sua maioria, localizados nas Regiões Sudeste e Sul.

Além da ausência e ineficiência de planos, segundo Braga (1997), outros problemas interferem na drenagem urbana em países em desenvolvimento, tais como o avanço demográfico em áreas urbanas, falta de preocupação pela população quanto ao uso do espaço urbano (Figura 2), medidas estruturantes ineficientes, uso impróprio de sistemas de controle de cheias, acúmulo de resíduos sólidos nas bocas de lobo (Figura 3), entre outros.

Figura 2 - Materiais de construção civil dispostos inadequadamente no passeio



Fonte: Autores, 2000.

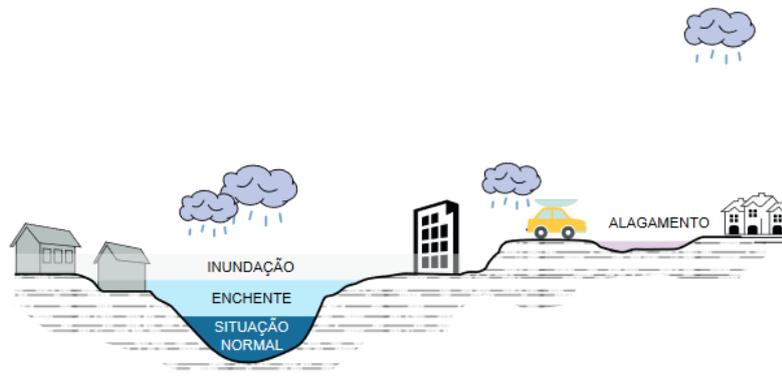
Figura 3 - Obstrução do funcionamento da boca de lobo pelo acúmulo de materiais depositados irregularmente



Fonte: Autores, 2000.

O desafio do poder público municipal é integrar as diretrizes e propor ações para os problemas, especialmente os relacionados a enchentes, inundações e alagamentos (Figura 4).

Figura 4 - Representação dos fenômenos alagamento, enchente e inundação



Fonte: Funasa, 2015.

A Funasa (2015) define esses termos como:

Enchente: “representa o fenômeno de ocorrência de aumento de vazões com transbordamento de um canal de drenagem”.

Inundação: “representa o extravasamento do fenômeno de enchente. Logo, uma enchente pode ou não causar inundações, no entanto, observa-se comumente que esses termos são usados como sinônimos”.

Alagamento: “acúmulo de água nas ruas e nos perímetros urbanos por problema de drenagem”.

A cada dez municípios, quatro sofreram com algum desastre natural, segundo o Perfil dos Municípios Brasileiros (MUNIC) realizado em 2013. Este documento ainda registrou que 2.678 municípios estavam totalmente desprovidos de instrumentos de defesa para prevenir e gerenciar desastres naturais. No que diz respeito às inundações graduais e/ou bruscas e deslizamentos de encostas, a pesquisa identificou que cerca de 2.300 municípios foram atingidos por esses eventos no período de 2008 a 2013. Além disto, constatou-se que 48% dos municípios não apresentavam qualquer instrumento para lidar com essas ocorrências (IBGE, 2013).

Os principais fatores identificados nesta pesquisa foram obstrução dos equipamentos de drenagem (bocas de lobo, por exemplo) e ocupação inadequada do solo, como se observa pela Tabela 1 (IBGE, 2008).

Tabela 1 - Percentual de municípios que sofreram inundações ou enchentes, segundo fatores agravantes

Fatores agravantes	Municípios que sofreram inundações ou enchentes (%)
Obstrução de bocas de lobo	18,44
Ocupação intensa e desordenada do solo	17,61
Obras inadequadas	12,96
Dimensionamento inadequado	12,56
Lançamento inadequado de resíduos sólidos	12,54
Desmatamento	8,72
Outros	7,91
Interferência física no sistema de drenagem	7,58
Lençol freático alto	6,45

OBS.: Os municípios podem ter citado mais de um fator agravante. Fonte: Adaptado de IBGE, 2008.

Nesse contexto, a integração entre setores públicos (departamentos e autarquias municipais) juntamente com a Defesa Civil, instituições de pesquisa e ensino, iniciativa privada e outros colaboradores pode viabilizar a implantação de planos de forma integrada para que o monitoramento das ações preventivas seja efetivo.

Cabe observar que o processo de transparência das informações depende da postura adotada pela Administração Pública a curto, médio e longo prazo, mas é fortemente recomendável que as providências tomadas pelo poder público sejam divulgadas e estejam acessíveis a toda população. Nesse aspecto, dados especialmente organizados para prevenção de ameaças ou perigos existentes podem servir como

instrumento útil à proteção da vida humana e redução dos danos em caso de ocorrência de desastres.

Entende-se *desastre* como a associação de um fenômeno natural perigoso com uma sociedade em uma situação muito vulnerável (CEMADEN, 2016). Também corresponde a (UNISDR, 2009):

Uma interrupção grave do funcionamento de uma sociedade, causando generalizadas perdas humanas, materiais ou ambientais que excedem a capacidade da sociedade afetada para lidar utilizando apenas seus próprios recursos.

A Defesa Civil Nacional considera desastre como (CASTRO, 1999):

Resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais. A intensidade de um desastre depende da interação entre a magnitude do evento adverso e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor afetado.

De forma simplificada, o termo pode ser compreendido como o “resultado do impacto de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre um sistema social” com “sérios danos e prejuízos que excedem a capacidade dos afetados em conviver com o impacto” (MARCELINO, 2008).

Nesse sentido, há necessidade de conhecimento aprofundado das condições de vulnerabilidade no local de intervenção para prever desastres naturais como as inundações.

Kobiyama et al. (2004) esclarecem que as medidas estruturais consistem, basicamente, em obras de engenharia com o intuito de conter vazões de cheias. Alguns exemplos de obras desta natureza são barragens, diques, ampliação da largura de rios, reflorestamento, entre outros. Ele ainda ressalta que essas medidas são mais complexas em relação às não estruturais e são de custo elevado. As medidas estruturantes ou não estruturais contemplam, geralmente, ações de mobilização socioambiental (sensibilização ambiental com participação da sociedade) e instrumentos que corroboram para gerenciamento das águas urbanas, tais como sistemas de alerta e zoneamento ambiental.

Goerl e Kobiyama (2005) ressaltam que são poucas as comunidades que desenvolveram e implantaram sistemas de alerta contra inundações, particularmente em escala local. Os mesmos autores apontam que as principais causas estejam relacionadas: i) à inexistência de ações socioambientais ao público-alvo, sejam elas de cunho educativo

ou focada na preservação ambiental, e também ii) à ausência de medidas preventivas para os desastres.

Em linhas gerais, compete aos municípios desenvolvê-las, conforme recomendações do artigo 8º da Lei Federal 12.608 (BRASIL, 2012). Como exemplo, tem-se o mapeamento e fiscalização das áreas de risco sujeitas a desastres naturais. Com o mapeamento dessas áreas, é possível implementar instrumentos de alerta à população, com orientações práticas nos casos de ocorrência de desastres na área de interesse.

É salutar esclarecer que a implantação dessas medidas não evita a ocorrência dos fenômenos (enchente, inundação ou alagamento) abordados anteriormente, mas permite minimizar e/ou evitar danos psicológicos, ambientais, físicos e materiais, a fim de garantir a integridade da população e do meio.

Considerando o exposto, o objetivo principal foi elaborar, como instrumento de prevenção e alerta à segurança da população, placas de advertência que sinalizam os tipos de riscos (enchentes, inundações e alagamentos). Os objetivos específicos compreendem a identificação de pontos e caracterização de risco que necessitam de alerta a esses eventos, bem como orientações para fomentar discussão sobre o tema na área urbana do município de São Carlos.

METODOLOGIA

O trabalho teve início com a coleta de dados das ocorrências de enchentes, inundações e alagamentos no meio urbano do município de São Carlos. As informações foram obtidas por meio de trabalhos científicos, arquivos impressos do poder público, registros históricos em jornais locais e outras publicações disponibilizadas pela Prefeitura de São Carlos, como o Plano Diretor de Drenagem Urbana Ambientalmente Sustentável.

Após a coleta preliminar de dados, observou-se que a Defesa Civil de São Carlos realizou alguns estudos para a elaboração do Mapa de Riscos Ambientais do município, cujo resultado foi “atestado” e corroborado em um relatório técnico organizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) para a Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Estado de São Paulo. Após isto, o documento final foi entregue ao município para sua implantação.

Nesse documento estavam registrados dados sobre os problemas hidrometeorológicos em São Carlos, ou seja, aqueles cujos valores identificavam lâmina

d'água acima da superfície das vias públicas, durante e após a ocorrência de chuvas intensas. Essa lâmina d'água causa inundação-relâmpago (*flash floods*) e, portanto, valores acima desse limite causam danos elevados aos seres humanos, animais e veículos em geral. Desta forma, foi possível caracterizar e quantificar os pontos críticos de alagamento.

Além disto, para análise dos eventos, utilizou-se o mapa dos “Pontos Críticos de Inundação na Área Urbana de São Carlos”, elaborado pela Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano da Prefeitura Municipal de São Carlos no ano de 2014, bem como foram feitas visitas nos pontos identificados. Cabe esclarecer que foram consideradas as enchentes, inundações e alagamentos resultantes de precipitações com intensidades superiores a 40 mm por hora (valor proposto por estudos realizados pela Defesa Civil).

Com esses dados, a etapa seguinte consistiu no mapeamento e no georreferenciamento das áreas vulneráveis a esses riscos, de modo a associar esta informação com os locais de referência no município (existência de parque municipal, shopping center, terminal rodoviário, via férrea; confluência entre cursos d'água; proximidade ao curso d'água; entre outros).

De posse dessas informações, verificou-se, junto ao Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), a existência de placas de advertência que tratem dos riscos analisados (inundações, enchentes e alagamentos) e que são regulamentadas por este Conselho.

A última etapa do trabalho consistiu na elaboração de placas de advertência, cuja simbologia foi elaborada pela equipe autora deste artigo, com o propósito de alertar os usuários das vias urbanas sobre as áreas potencialmente perigosas e recomendar orientações aos munícipes em caráter preventivo.

Em cada ponto analisado, identificou-se o tipo de risco e a quantidade necessária de placas para que o condutor e pedestres tivessem ampla observação dos pontos suscetíveis à ocorrência de enchentes, inundações e alagamentos.

Como grande parte da população não está habilitada a diferenciar tais fenômenos, optou-se por indicar, nas placas de advertência, o tipo de risco e o símbolo elaborado como forma rápida de identificação desta informação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificados e caracterizados 11 pontos que necessitam de alerta para prevenção de risco a alagamento, com pelo menos uma placa de natureza preventiva. Cabe ressaltar que a mancha transparente, demarcada nas figuras de campo, corresponde à área alagável. As demarcações numeradas e com amarela representam as placas que a serem instaladas para atenção dos usuários nas vias urbanas.

Quadro 1 - Caracterização das placas de advertência sobre risco a alagamentos em vias públicas

Ponto	Logradouro	Coordenadas	Locais de Referência	Placas	
				Quantidade	Identificação
1	Av. Eliza Gonzales Rabelo e rua Franklin Brasiliense entre a rua Oscar de S. Geribelo e a av. Liberdade.	S 21° 59' 58,58" Wo 47° 54' 02,86" Altitude: 810,0 m	Em frente ao parque do Kartódromo, confluência dos córregos do Monjolinho e Santa Maria do Leme	3 unidades	1 -2 - 3
2	Confluência das avenidas Dr. Francisco Pereira Lopes e Trabalhador São-carlense.	S 21° 59' 55,46" Wo 47° 53' 57,01" Altitude: 812,0 m	Defronte à USP, confluência dos córregos Tijuco Preto e Monjolinho	3 unidades	4 -5 - 6
3	Av. Dr. Francisco Pereira Lopes, proximidades da rua Oscar Jensen.	S 21° 00' 06,82" Wo 47° 53' 58,40" Altitude: 810,0 m	Córrego do Monjolinho (proximidades do Restaurante Casa Branca)	1 unidade	7
4	Cruzamento da av. Comendador Alfredo Maffei com a rua Urano Martins e da av. Dr. Francisco Pereira Lopes com a rua Dr. Paulo P. Werneck.	S 22° 00' 10,41" Wo 47° 54' 01,29" Altitude: 810,0 m	Córregos do Gregório e do Monjolinho, a montante da rotatória do Cristo	2 unidades	8 - 9
5	Confluência das avenidas Dr. Francisco Pereira, Com. Alfredo Maffei, Parque Faber e Tancredo de A. Neves.	S 22° 00' 33,47" Wo 47° 54' 20,59" Altitude: 779,0 m	Confluência entre os córregos do Monjolinho, Gregório e Mineirinho, na rotatória do Cristo	4 unidades	10 -11 - 12 13
6	Rua João Lourenço Rodrigues (passagem sob a via férrea).	S 22° 01' 58,56" Wo 47° 53' 27,16" Altitude: 843,0 m	Praça Itália e Supermercado Savegnago	4 unidades	14 -15 - 16- 17
7	Rotatória do conjunto habitacional do CDHU (rua Quanan).	S 22° 02' 18,72" Wo 47° 53' 05,24" Altitude: 850,0 m	Ao lado do CDHU e proximidades da via férrea	2 unidades	18 - 19
8	Rua Geminiano Costa e av. Com. Alfredo Maffei (entre as ruas D. Pedro II e Riachuelo).	S 22° 01' 13,03" Wo 47° 53' 27,70" Altitude: 812,0 m	Área central (ao longo do córrego do Gregório) e mercado municipal	7 unidades	20 - 21- 22 - 23 - 24 - 25 - 26
9	Avenida Getúlio Vargas entre as ruas Dr. José Neubert de Oliveira e José Jorge Abi Saab.	S 22° 02' 07,80" Wo 47° 51' 54,79" Altitude: 880,0 m	Proximidades do trevo de acesso à rodovia SP 310 e defronte Latina e Aufi Veículos	2 unidades	27 - 28
10	Via de acesso ao Parque Ecológico – ponte córrego do Monjolinho (A) e travessia do do Monjolinho sob a rodovia Guilherme Scatena (B).	(A) S 21° 59' 10,11" Wo 47° 52' 36,14" Altitude: 828,0 m (B) S 21° 59' 12,15" Wo 47° 52' 26,85" Altitude: 830,0 m	Parque Ecológico e Captação de Água do Espreado	3 unidades	29 - 30 - 31
11	Rodovia Cônego Washington José Pêra (ponte sobre o córrego da Água Quente).	S 22° 01' 49,97" Wo 47° 55' 50,90" Altitude: 698,0 m	Estação de Tratamento de Esgotos (ETE Monjolinho)	2 unidades	32 - 33

Fonte: AUTORES, 2014.

Figura 5 - Caracterização do ponto 1 (placas 1 a 3), próximo ao Parque do Kartódromo



Fonte: Google Earth (2014), adaptado pelos autores.

Figura 6 - Caracterização do ponto 2 (placas 4 a 6), proximidades da USP – campus 1



Fonte: Google Earth (2014), adaptado pelos autores.

Figura 7 - Caracterização do ponto 3 (placa 7), próximo ao Restaurante Casa Branca



Fonte: Google Earth (2014), adaptado pelos autores.

Figura 8 - Caracterização do ponto 4 (placas 8 e 9), próximo à rotatória do Cristo



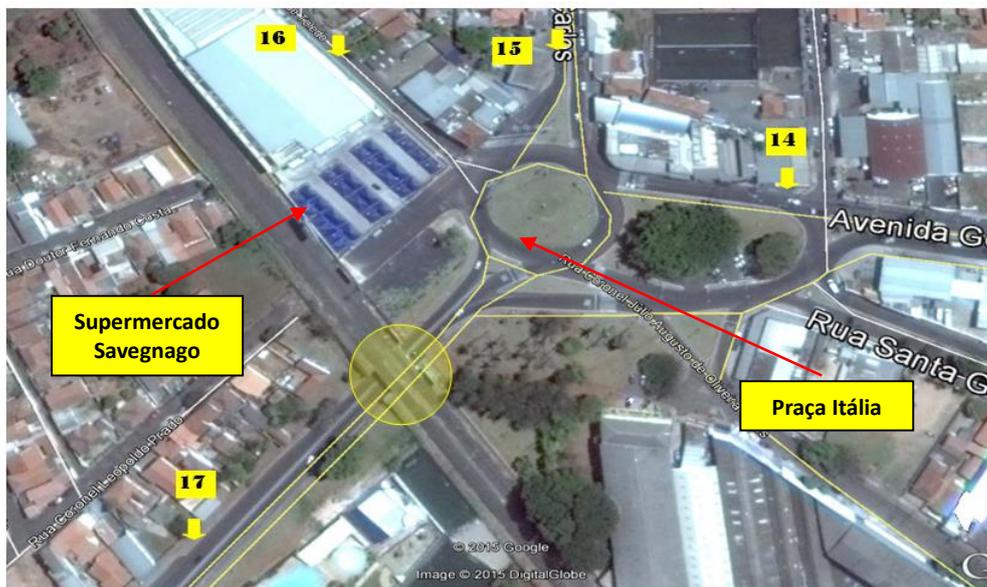
Fonte: Google Earth (2014), adaptado pelos autores.

Figura 9 - Caracterização do ponto 5 (placas 10 a 13) na rotatória do Cristo



Fonte: Google Earth (2014), adaptado pelos autores.

Figura 10 - Caracterização do ponto 6 (placas 14 a 17) nas proximidades da Praça Itália



Fonte: Google Earth (2014), adaptado pelos autores.

Figura 11 - Caracterização do ponto 7 (placas 18 e 19) na região do CDHU



Fonte: Google Earth (2014), adaptado pelos autores.

Figura 12 - Caracterização do ponto 8 (placas 20 a 26) ao longo do córrego do Gregório (proximidades do mercado municipal)



Fonte: Google Earth (2014), adaptado pelos autores.

Figura 13 - Caracterização do ponto 9 (placas 27 e 28) nas proximidades do trevo de acesso à av. Getúlio Vargas



Fonte: Google Earth (2014), adaptado pelos autores.

Figura 14 - Caracterização do ponto 10 (placas 29 a 31) no acesso ao Parque Ecológico de São Carlos



Fonte: Google Earth (2014), adaptado pelos autores.

Figura 15 - Caracterização do ponto 11 (placas 32 e 33) nas proximidades da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) de São Carlos



Fonte: Google Earth (2014), adaptado pelos autores.

As imagens do Google Earth, elaboradas em 2014, auxiliaram a caracterização dos pontos, bem como o levantamento da quantidade necessária de placas (Figuras 5 a 15). Ao todo, foram 33 placas de advertência de risco a alagamentos, como se observa pelo Quadro 1. O custo total estimado para a produção dessas placas foi de R\$ 2.500,00, em março de 2017.

A Figura 16 representa os modelos de placa de advertência de risco a alagamentos propostos, cuja definição da tipologia a ser adotada deve ser fruto de ampla discussão com a sociedade, bem como contar com a participação dos órgãos competentes.

Figura 16 - Propostas de modelo de placa de advertência para risco a alagamento nas vias urbanas



Fonte: AUTORES, 2014.

As placas seguem as orientações da legislação vigente. No entanto, elas não estão regulamentadas em lei. Recomenda-se que para isto sejam providenciadas:

- a) a regulamentação de instrumento (placa de advertência) em lei municipal;
- b) a divulgação do modelo informativo proposto à população;
- c) a apresentação de texto juntamente com representação gráfica para informar sobre o risco em caso de ocorrência de chuvas intensas;
- d) a verificação da dimensão (tamanho físico) adequada dos modelos sugeridos.

O estudo desenvolvido no presente artigo baseou-se em recomendações técnicas de instituições de pesquisa idôneas e da própria Defesa Civil.

As ocorrências de enchentes, inundações e alagamentos nos pontos identificados na área urbana do município datam de muitos anos, chegando a cerca de 80 anos na região do Mercado Municipal, segundo dados da Defesa Civil de São Carlos. Como a mitigação de tais problemas requer investimentos vultosos por parte do poder público, as medidas estruturantes tornam-se complementares às estruturas físicas.

A busca de financiamentos, estabelecimento de parcerias para o desenvolvimento de estudo e discussões com a sociedade sobre o tema em questão são de extrema relevância para minimizar perdas financeiras, humanas e psicológicas.

A elaboração de placas de advertência, como as aqui sugeridas, torna-se instrumento eficaz para o alerta à população quanto aos riscos discutidos e corroboram com a gestão das águas urbanas na escala municipal.

As Figuras 17 a 20 exemplificam a instalação das placas nos pontos recomendados por este estudo.

Figura 17 - Placa instalada no ponto 1 (dez/2017)



Figura 18 - Placa instalada no ponto 2 (dez/2017)

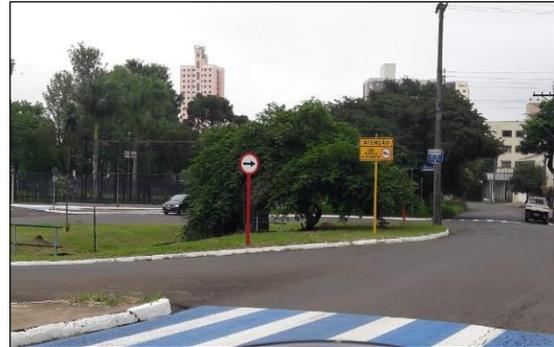


Figura 19 - Placa instalada no ponto 3 (dez/2017)



Figura 20 - Placa instalada no ponto 5 (dez/2017)



Os resultados previstos com a implantação desta medida preventiva são:

- a) minimização do risco de mortes por afogamento;
- b) diminuição do risco de pedestres e motoristas serem atingidos e feridos por objetos trazidos pela correnteza;
- c) redução de danos materiais, decorrentes de avarias em veículos;
- d) redução de doenças de veiculação hídrica, entre as quais destacam-se a leptospirose (pelo contato com a água contaminada) e hepatite (pela ingestão da água contaminada).

Além dos benefícios diretos à população, pode-se dizer que há benefícios indiretos relacionados à:

- a) redução de custos para os munícipes com reparos de veículos danificados ou inutilizados quando expostos a alagamentos;
- b) redução de indenizações pagas pelo poder público, em função de ações movidas por motoristas com veículos danificados por alagamentos.

CONCLUSÕES

Por conta da simbologia inexistente ao risco para alagamento, o objetivo principal foi atingido com a elaboração da placa de advertência para prevenção deste risco.

Foram identificados e caracterizados 11 pontos carentes de informação para alerta do risco e que podem subsidiar discussões na esfera municipal quanto reforçar a atenção da população para este problema.

As placas elaboradas foram viabilizadas pelo poder público, primeiramente, pelo baixo custo em relação aos benefícios obtidos a curto e médio prazos; mas, sobretudo, pela necessidade de a sociedade conhecer sobre este risco e se sentir segura nas vias públicas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Gestão de riscos – princípios e diretrizes** – ABNT NBR ISO 31000:2009. São Paulo: ABNT, 2009. 24p.

BRAGA, B.P.F. Controle de cheias urbanas em ambiente tropical. In: **Drenagem urbana: gerenciamento, simulação e controle**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 1997. p. 51-65.

BRASIL. **Lei Federal 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Política Nacional de Saneamento Básico. Brasília: DOU, 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 1º dez. 2015.

BRASIL. **Lei Federal 12.608**, de 10 de abril de 2012. Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Brasília: DOU, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm> Acesso em: 25 out. 2015.

CASTRO, A.L.C. **Manual de planejamento em defesa civil**. Brasília: Ministério da Integração Nacional/ Departamento de Defesa Civil, 1999. v. 1. 133 p.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS DO MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (CEMADEN). **Série de Debates “Ciência, Riscos e Desastres”**. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/serie-de-debates-ciencia-riscos-e-desastres/>>. Acesso em: 31 out. 2016.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Norma Técnica P4.261: Risco de Acidente de Origem Tecnológica – Método para decisão e termos de referência**. São Paulo: CETESB, 2011. 140p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/11/2013/11/P4.261-Risco-de-Acidente-de-Origem-Tecnol%C3%B3gica-M%C3%A9todo-para-decis%C3%A3o-e-termos-de-refer%C3%Aancia.pdf>>. Acesso em: 7 fev. 2017.

COUTO, H.A. **Comportamento seguro: 70 lições para o supervisor de primeira linha**. Belo Horizonte: Ergo, 2009.

EUZÉBIO, G.L. Cidades – uma tragédia anunciada. Rio de Janeiro: IPEA, 2009. **Revista Desafios do Desenvolvimento**, ano 6, n. 47. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=1209:report-agens-materias&Itemid=39>. Acesso em: 7 fev. 2017.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual do Saneamento**. Brasília: Funasa, 2015. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/eng_saneam2.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2014.

FURTADO, J.R. **Gestão de riscos de desastres**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, 2012. 14p. Disponível em: <http://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2014/10/gestao_de_riscos_de_desastres_0.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2016.

GOERL, R.F.; KOBAYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2005. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf> Acesso em 01/07/2016

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa nacional de saneamento básico de 2008. In: **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Disponível em: <<http://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pnsb/tabelas>>. Acesso em: 1º out. 2016.

_____. **Perfil dos municípios brasileiros 2013** (MUNIC). 2013. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Perfil_Municipios/2013/munic2013.pdf>. Acesso em: 1º out. 2016.

INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (UN-ISDR). **Terminology on disaster Risk reduction**. Suíça: UNISDR, 2009. Disponível em: <<http://www.unisdr.org/we/inform/publications/7817>>. Acesso em: 21 mar. 2010.

KOBAYAMA, M.; CHECCHIA, T.; SILVA, R. V. et al. Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 834-846 (CD-ROM)

MARCELINO, E.V. **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos**. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <<http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.02.16.22/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 1º abr. 2012.

MIGUEZ, M.G.; VEROL, A.P.; REZENDE, O.M. **Drenagem urbana**: do projeto tradicional à sustentabilidade. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 366p.

SAITO, S.M. **Desastres naturais**: conceitos básicos. São José dos Campos – SP: INPE, 2015. Disponível em: <http://www.inpe.br/crs/crectcal/pdf/silvia_saito.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2017.

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. Drenagem urbana e controle de erosão. In: VI SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 1998, Presidente Prudente. **Anais...** Presidente Prudente, 1998.

_____. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, n. 1, p. 5-27, jan./mar. 2002.

_____. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2012.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP). **Reducing disaster risk**: a Challenge for Development. New York: UNDP, 2004. Disponível em: <<http://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/crisis-prevention-and-recovery/reducing-disaster-risk--a-challenge-for-development.html>>. Acesso em: 3 dez. 2016.

Capítulo 6

OS IMPACTOS DA EROSÃO URBANA E A IMPLANTAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE MACRODRENAGEM EM RANCHARIA (SP)

*Alyson Bueno Francisco*¹⁸

INTRODUÇÃO

A drenagem urbana apresenta o controle da erosão urbana como um de seus principais desafios diante dos impactos causados pelo desenvolvimento de boçorocas nas áreas periurbanas.

No interior do Estado de São Paulo, inúmeras cidades, desde a década de 1980, sofrem com a existência de boçorocas, cujo desenvolvimento representa risco às populações e à infraestrutura urbana. De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (2012), existem 30.953 boçorocas em todo o Estado de São Paulo, das quais 949 foram identificadas em áreas urbanas.

As boçorocas são formas erosivas de grande porte causadas pelo aprofundamento de ravinas marcadas pela presença do canal de escoamento de águas do freático em seu fundo de morfologia plana e paredes laterais íngremes. No processo de boçorocamento ocorre a erosão regressiva ou remontante, que se caracteriza como “[...] trabalho de escavação do canal realizado a partir de processos de escoamento superficial concentrado feito a partir da foz em direção às cabeceiras” (ROSSATO et al., 2008, p. 77).

Segundo Iwasa e Prandini (1980), a maior parte das boçorocas do oeste de São Paulo e noroeste do Paraná surgiram nas décadas de 1940 e 1950, justamente no ápice do desmatamento e implantação de áreas agrícolas de café e de algodão. A partir da década de 1970, a expansão das áreas urbanizadas no oeste do Estado de São Paulo, associada às características climáticas tropicais de chuvas concentradas em períodos sazonais, provocou a formação de processos erosivos lineares nas vertentes que recebiam os escoamentos concentrados provenientes das áreas urbanas.

¹⁸ Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista. E-mail: alysonbueno@gmail.com

Até a década de 1990, no Brasil foram publicados apenas 49 trabalhos acadêmicos sobre as boçorocas (IPT, 2012), com destaque para os estudos das boçorocas na cidade de Casa Branca (SP), apresentado por Furlani (1980), e na cidade de Franca (SP), apresentado por Rodrigues (1982).

Até os tempos atuais, no campo das Geociências são poucos os trabalhos acadêmicos que apresentam um estudo específico sobre medidas implantadas para o controle das boçorocas e detalhes sobre o sistema de macrodrenagem urbana.

Entretanto, a partir da década de 1990, as pesquisas em geociências sobre a dinâmica dos processos erosivos foram contribuídas pelos avanços do geoprocessamento, que permitiu a geração de mapeamentos detalhados sobre os focos erosivos e o aprimoramento da precisão dos dados através do sistema de posicionamento global por satélite favoreceu a obtenção de dados de campo georreferenciados. No campo da geomorfologia, Colângelo (1997) afirma sobre a necessidade de uma reformulação metodológica diante o desenvolvimento dos processos erosivos e considera:

Crescente busca por resultados de pesquisa que ofereçam respostas suficientemente objetivas de modo a permitir avaliação, valoração e elaboração de estratégias de intervenção [...] elaborar prognósticos evolutivos implica não apenas a apresentação de projeções numéricas, mas também e necessariamente a realização de mapeamentos [...] Delimitar e graduar áreas de risco de ocorrência de processos erosivos, por exemplo, a partir da perspectiva apontada em diagnóstico e considerados também os fatores intervenientes de origem antrópica, é um problema difícil, cuja solução implica a articulação de uma ampla gama de conhecimentos. (COLÂNGELO, 1997, p. 47).

Com o desenvolvimento das informações espaciais através das inovações no campo do geoprocessamento e o advento da importância de conservação dos recursos hídricos e do solo, no campo da hidrologia ocorreu o aumento do número de pesquisas sobre as transformações no uso da terra nas bacias urbanas. A partir da década de 1990, a importância da ação humana sobre a superfície de uma bacia urbana passou a ser considerada um tema relevante na aplicação dos modelos hidrológicos para estimativas de produção de sedimentos e aumento do escoamento superficial (TUCCI, 2002).

Com a institucionalização do Estatuto da Cidade (2001), foi criado o instrumento do Plano Diretor de Drenagem Urbana, constituindo o planejamento da drenagem urbana e assim efetivando a consideração da bacia urbana como unidade de planejamento. Com este instrumento de política urbana, os municípios passam a considerar a importância de

se elaborar estudos sobre as condições da rede de drenagem urbana através de informações geográficas.

O planejamento da drenagem urbana precisa ser entendido como uma parte do abrangente processo de planejamento urbano, visto que a drenagem urbana está diretamente relacionada aos aspectos do uso da terra e ocupação do solo, do saneamento básico e da infraestrutura de transportes. Nesse sentido, no planejamento da drenagem urbana é importante considerar as medidas não estruturais, como: o zoneamento urbano, as ações de regulamentação da ocupação do solo, as atividades de educação ambiental e sistema de alerta de riscos (CANHOLI, 2014).

No entender de Tucci (2005), a drenagem urbana é formada por um conjunto de medidas infraestruturais que visam a amenizar os impactos aos solos causados pela impermeabilização e urbanização em microbacias hidrográficas, e ressalva:

[...] como em drenagem urbana o impacto da urbanização é transferido para jusante, quem produz o impacto geralmente não é o mesmo que o sofre o impacto. Portanto, para um disciplinamento do problema é necessário a interferência da ação pública através da regulamentação e do planejamento. (TUCCI, 2005, p. 17).

Em relação às dimensões das estruturas e a bacia de contribuição, a drenagem urbana pode ser classificada em microdrenagem e macrodrenagem. A microdrenagem é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais de uma rede urbana, formada por meio-fio, sarjetas, sarjetões, bocas-de-lobo, poços de visita e galerias, responsáveis por garantir o adequado direcionamento das águas pluviais provenientes dos lotes e das vias urbanas. A macrodrenagem envolve os sistemas coletores de microdrenagem para garantir o adequado escoamento das águas pluviais nos fundos de vale e amenizar os impactos da vazão das águas pluviais nos cursos d'água receptores. A macrodrenagem é formada por estruturas de engenharia, especificamente, grandes galerias e estruturas de dissipação de energia, como: vertedores, rampas dentadas, blocos de impacto e degraus (AISSE, 1997).

Nesse sentido, a macrodrenagem urbana é uma medida estrutural com o objetivo de controlar a erosão urbana direcionando adequadamente as águas pluviais até o curso d'água receptor, e o planejamento da macrodrenagem deve considerar as transformações no uso e ocupação do solo. Entretanto, a implantação desta macrodrenagem para controlar a erosão urbana depende de recursos públicos, cujas

idades pequenas apenas conseguem adquirir em caso de situação de calamidade, ou seja, apenas depois que o processo erosivo já atingiu uma situação crítica, como é o mencionado caso de Rancharia-SP neste capítulo.

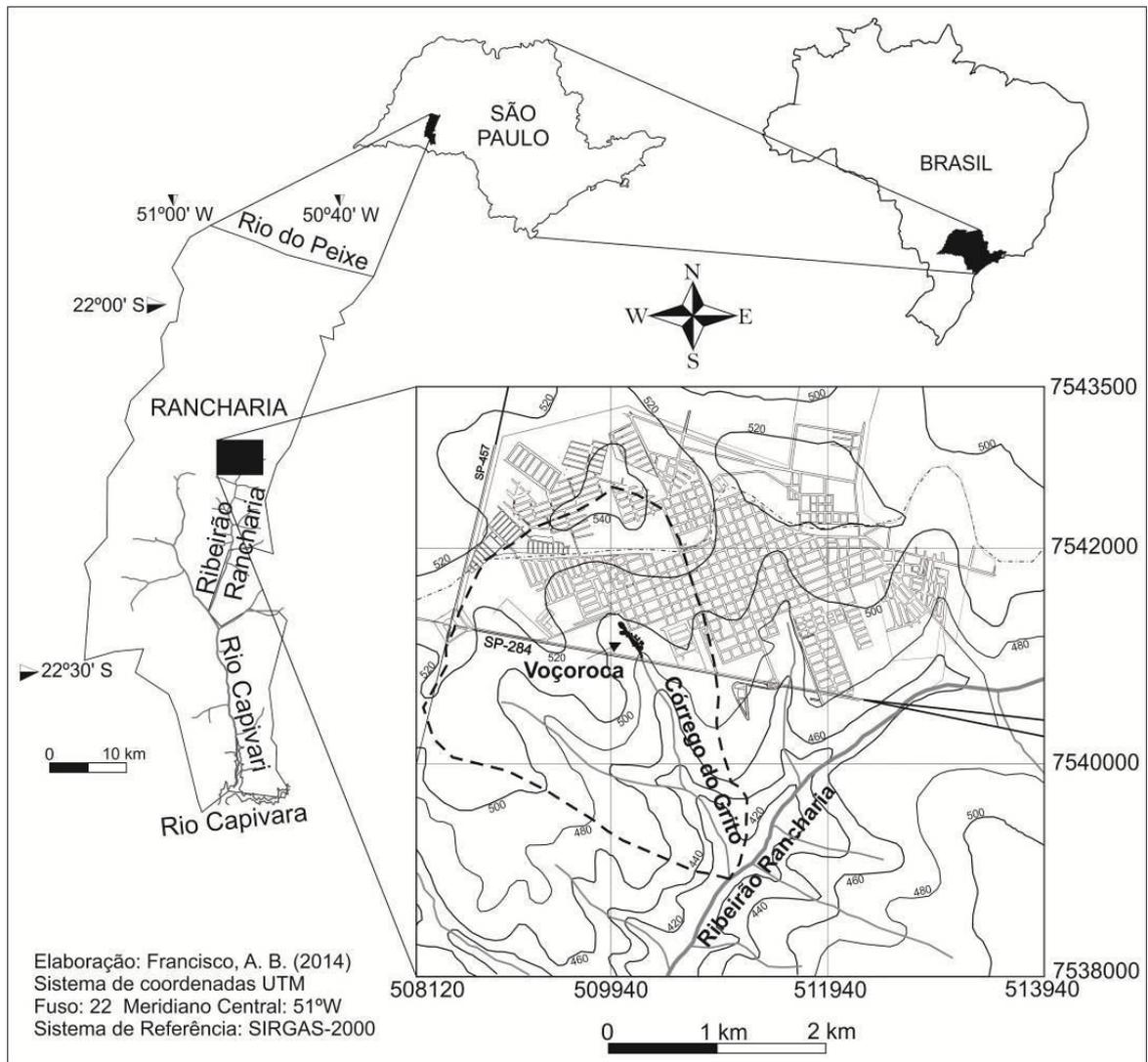
OBJETIVO

Este capítulo visa a apresentar a evolução espacial e temporal da boçoroca do Córrego do Grito em Rancharia-SP, destacando os impactos causados pelo desenvolvimento do processo de erosão remontante à infraestrutura urbana e as medidas de controle da erosão urbana executadas nos anos de 2000 e 2015.

ÁREA DE ESTUDO

A microbacia do córrego do Grito está situada na porção central do município de Rancharia-SP, estando integrada à microbacia do ribeirão Rancharia e à bacia do ribeirão Capivari, fazendo parte da bacia do rio Capivara, que pertence à bacia do rio Paranapanema, e, em termos de regionalização estadual, pertence à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 17 (Médio Paranapanema). Esta microbacia possui uma boçoroca de aproximadamente 400 m de comprimento situada na porção sudoeste do perímetro urbano de Rancharia-SP, como mostra o mapa da Figura 1.

Figura 1 - Mapa de localização da microbacia e da boçoroca do córrego do Grito



Fonte: Elaborado por Francisco, A. B. (2016).

A microbacia do córrego do Grito possui uma área de aproximadamente 657,14 ha, sendo 272,60 ha localizados no perímetro urbano de Rancharia (41,48% da microbacia) e destes 176,35 ha encontram-se urbanizados (26,34% da microbacia). O leito do córrego do Grito possui uma extensão de 2.250 m. O ponto mais elevado da microbacia possui uma cota de 548 m e o ponto mais baixo possui uma cota de 417 m (FRANCISCO, 2016).

O substrato geológico da área é constituído por arenitos da Formação Adamantina com a presença de cimentação carbonática, que estabelece uma condição de maior resistência à erosão geológica com a presença de superfícies de cimeira alinhadas de forma descontínua, presença de depósitos correlativos quaternários nas médias e

baixas vertentes e depósitos tecnogênicos gerados pelas condições de uso da terra (OLIVEIRA, 1994).

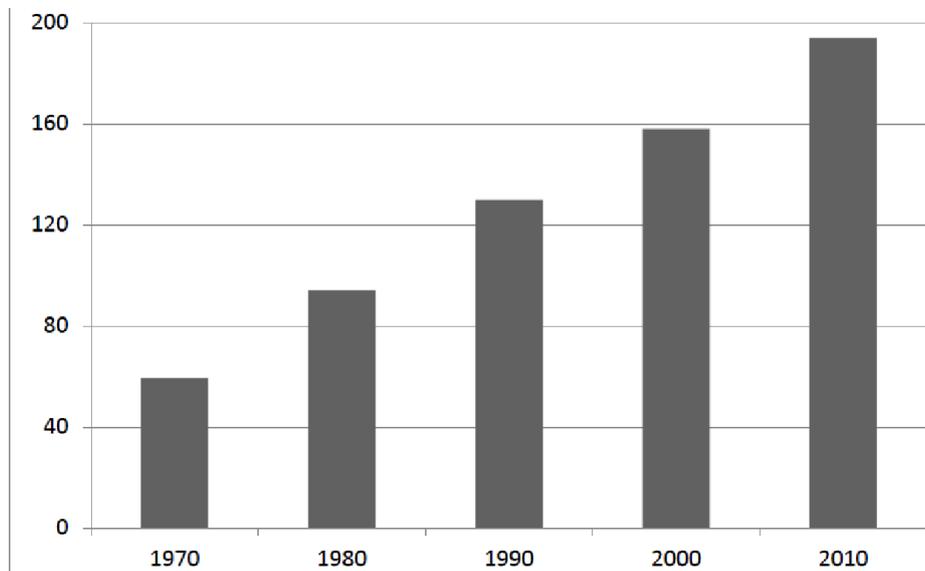
O relevo é caracterizado pelo predomínio de colinas amplas com a presença de declividades mais acentuadas nos trechos com morros de substrato geológico mais resistente, e vertentes convexas, com rupturas de declive que delimitam os fundos de vale. Esta morfologia do relevo local é marcada pela presença de cabeceiras de drenagem em formatos de anfiteatros com áreas propícias ao elevado gradiente hidráulico subterrâneo (OLIVEIRA, 1994).

Os solos predominantes na microbacia do córrego do Grito são o Latossolo Vermelho, o Argissolo Vermelho-Amarelo nas médias e baixas vertentes e a presença de Neossolo Litólico nos fundos de vale (OLIVEIRA, 1994).

Em relação aos aspectos climáticos, segundo Boin (2000), Rancharia está localizada numa área com pluviosidade anual média 1.350 mm, dos quais 450 mm ocorrem no verão, e a erosividade média das chuvas anuais é da ordem de 7.500 MJ.mm/h/ha.

Em relação às mudanças no uso da terra na microbacia do córrego do Grito, conforme dados apresentados por Francisco (2016), ocorreram fases de expansão urbana no setor oeste da cidade de Rancharia que contribuíram para um acréscimo da área urbanizada e, conseqüentemente, das vazões do escoamento superficial. Em 1984, a área urbanizada na microbacia do córrego do Grito era de aproximadamente 94 ha. Entre 1984 e 1997 ocorreu um acréscimo de aproximadamente 36 ha na área urbanizada na microbacia, e entre 1998 e 2010 ocorreu um novo acréscimo da área urbanizada com aproximadamente 48 ha. A Figura 2 mostra esta evolução da área urbanizada na microbacia do córrego do Grito entre as décadas de 1970 a 2010.

Figura 2 - Evolução da área urbanizada na microbacia do córrego do Grito, Rancharia-SP (em hectares)



Fonte: Elaborado por Francisco, A. B. (2016).

O histórico da área degradada pela boçoroca do córrego do Grito remonta à década de 1950, com a implantação do bairro Parque Maria Adelina e plantio de café nas áreas de cabeceira de drenagem da microbacia. A boçoroca está presente na foto aérea de 1962, na qual já apresentava uma área de aproximadamente 7.500 m².

De acordo com Proença (1999), às margens da boçoroca 12 famílias ocupavam a área de risco. Entretanto, essas famílias foram realocadas para moradias de um conjunto habitacional em 2011, cujas habitações construídas na área de risco foram removidas.

A área degradada pela boçoroca do córrego do Grito está localizada no setor sudoeste do perímetro urbano da cidade de Rancharia, e que a boçoroca do córrego do Grito possui uma área de aproximadamente 17.000 m², com 415 m de comprimento e larguras que variam de 15 a 80 m (FRANCISCO, 2016). Em relação ao uso fundiário, cerca de 70% da área degradada é de domínio particular, uma parcela da área é de domínio do Departamento de Estradas e Rodagem (DER) e outra parcela da área é de domínio da Prefeitura de Rancharia.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Na análise espacial e temporal da boçoroca do córrego do Grito foi realizada a coleta de pontos geodésicos com o uso de receptor GNSS Hiper para o georreferenciamento das fotos aéreas e imagens orbitais. A partir das coordenadas dos pontos geodésicos, as fotos aéreas digitalizadas dos anos de 1962, 1972, 1984 (escala 1:25.000) e 1991 (escala 1:10.000) e as imagens orbitais do ano de 2002 foram georreferenciadas no aplicativo Quantum GIS. Neste aplicativo, através de ferramenta vetor a área da boçoroca foi delimitada nas cinco datas, cujo aplicativo Quantum GIS fornece as respectivas áreas da boçoroca.

Em setembro de 2015 foi realizado um levantamento topográfico da boçoroca com o emprego de estação total topográfica, cujos pontos de apoio foram georreferenciados aos pontos geodésicos obtidos com o receptor GNSS. Os dados topográficos foram inseridos no banco de dados do aplicativo Quantum GIS, cuja vetorização dos dados permitiu obter a área da boçoroca em 2015.

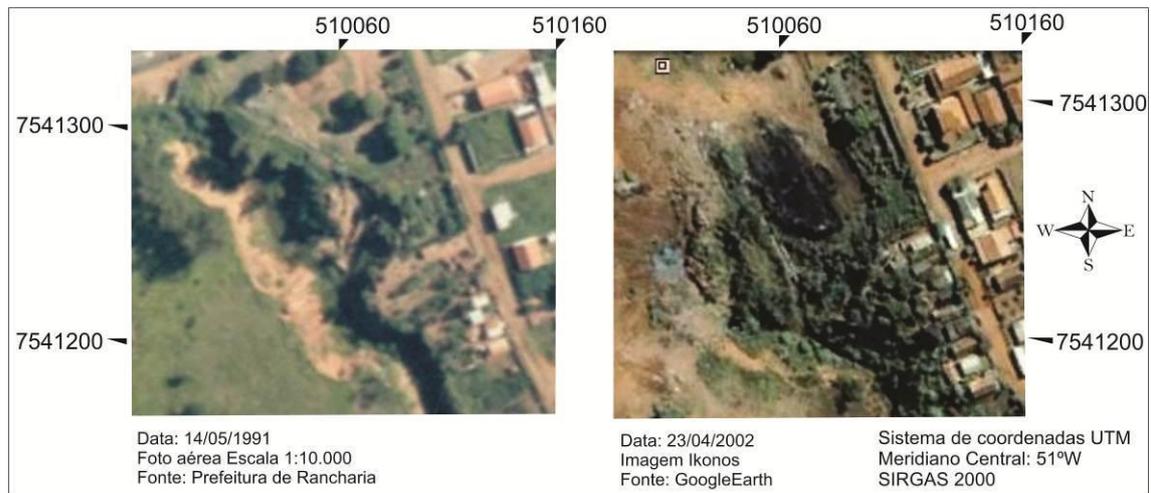
Além da obtenção de dados topográficos, foram analisadas as fotografias da boçoroca obtidas em 1998, projeto e fotografias das obras de controle da erosão urbana em 2000 e acompanhamento de campo do processo de erosão remontante e das obras de controle da erosão urbana em 2015.

RESULTADOS

Na década de 1980, com o adensamento dos bairros urbanos na microbacia do córrego do Grito, ocorre uma fase de desenvolvimento da erosão remontante com a ampliação das dimensões da cabeceira da boçoroca. Conforme análise da foto aérea de 1991, a ruptura de declive da cabeceira da boçoroca apresentava-se 15 m de distância da Avenida Dom Pedro II em Rancharia.

Durante a década de 1990 a cabeceira da boçoroca foi utilizada como área irregular de deposição de resíduos sólidos. Esta situação favoreceu a formação de uma cobertura tecnogênica representando uma área de risco de instabilidade de solo. A Figura 3 apresenta a cabeceira da boçoroca do córrego do Grito em 1991, com a proximidade das rupturas de declive em relação à área urbanizada, e em 2002 com a presença de áreas aterradas com materiais tecnogênicos, situação que representa alta suscetibilidade aos movimentos de solo.

Figura 3 - Área montante da boçoroca do Córrego do Grito em 1991 e 2002

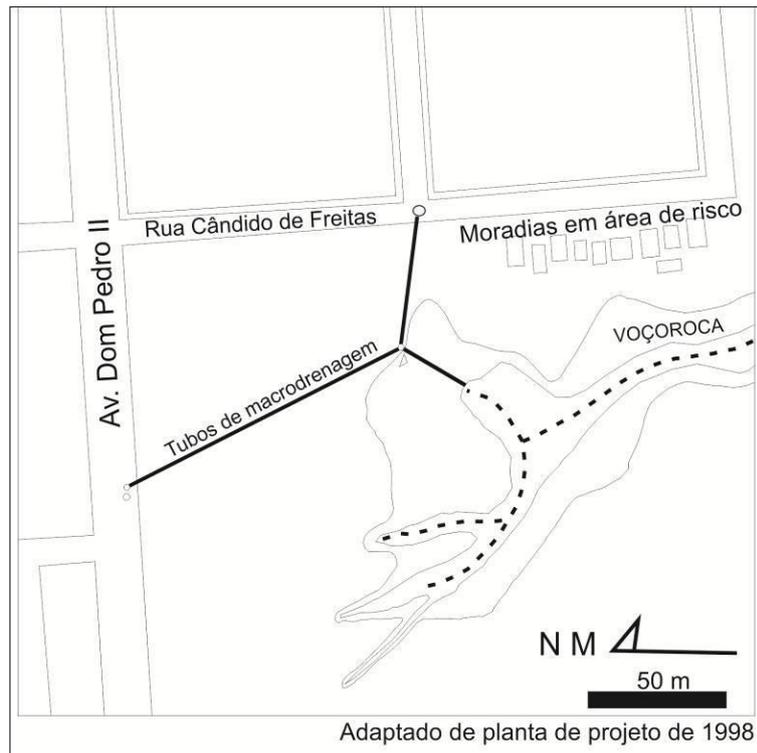


Fonte: Elaborado por Francisco, A. B. (2016).

Em 1997, o desenvolvimento da erosão remontante aumentou a preocupação do avanço da boçoroca em direção à Avenida D. Pedro II e foram solicitados recursos públicos para a implantação de obras de macrodrenagem para controle desta erosão remontante. Após a apresentação de parecer técnico do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1997) e de apresentação de projeto de controle da erosão urbana pela Prefeitura do Município de Rancharia ao Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) em 1998, foi executada a implantação da macrodrenagem urbana para o controle da erosão remontante no ano de 2000.

As Figuras 4 e 5 mostram a localização e as obras de implantação de galerias de águas pluviais no sistema de macrodrenagem urbana na microbacia do córrego do Grito, realizado no ano de 2000, com a finalidade de direcionar as águas pluviais até o curso d'água receptor a fim de amenizar o impacto causado com a erosão remontante, agravada após décadas de ausência de um sistema de macrodrenagem.

Figura 4 - Planta do sistema de macrodrenagem urbana implantado em 2000



Fonte: Organizado por Francisco, A. B. (2016).

Figura 5 - Galerias do sistema de macrodrenagem urbana na cabeceira da boçoroca do Córrego do Grito

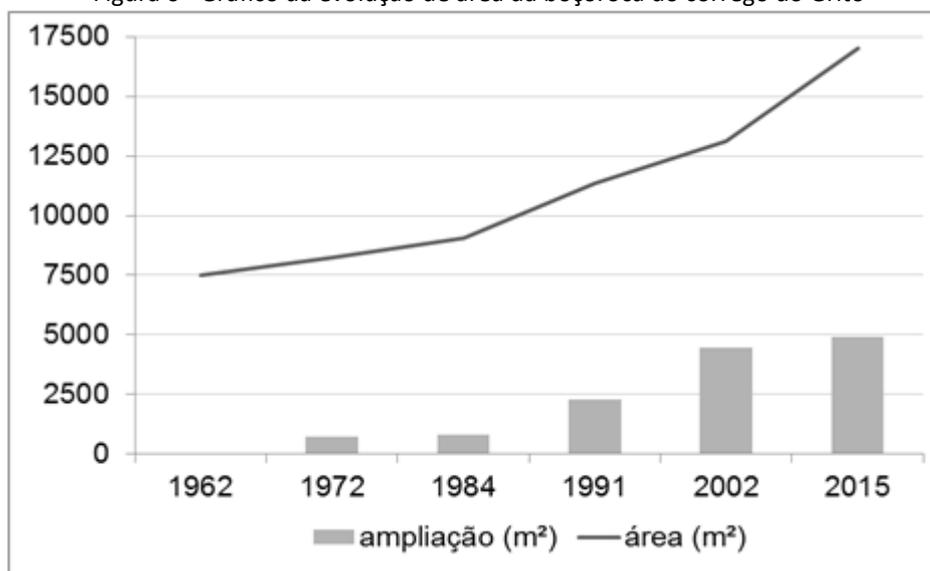


No período entre 1991 e 2002 ocorreu o desenvolvimento de ravinas laterais e um aumento da largura da boçoroca. O desenvolvimento destas ravinas está relacionado ao uso rural devido à utilização da área para criação de gado bovino e a incorreta implantação de um terraceamento, que resultou na concentração do escoamento superficial.

Entre 2002 e 2015 ocorreu o desenvolvimento de processos localizados de perda de solo nas ravinas laterais devido ao uso da pecuária na área, e em 2015 a retomada da erosão remontante provocou a perda de aproximadamente 3.300 m².

A Figura 6 mostra a evolução da área da boçoroca, cujos dados de expansão da mesma demonstram a condição de desenvolvimento do processo erosivo.

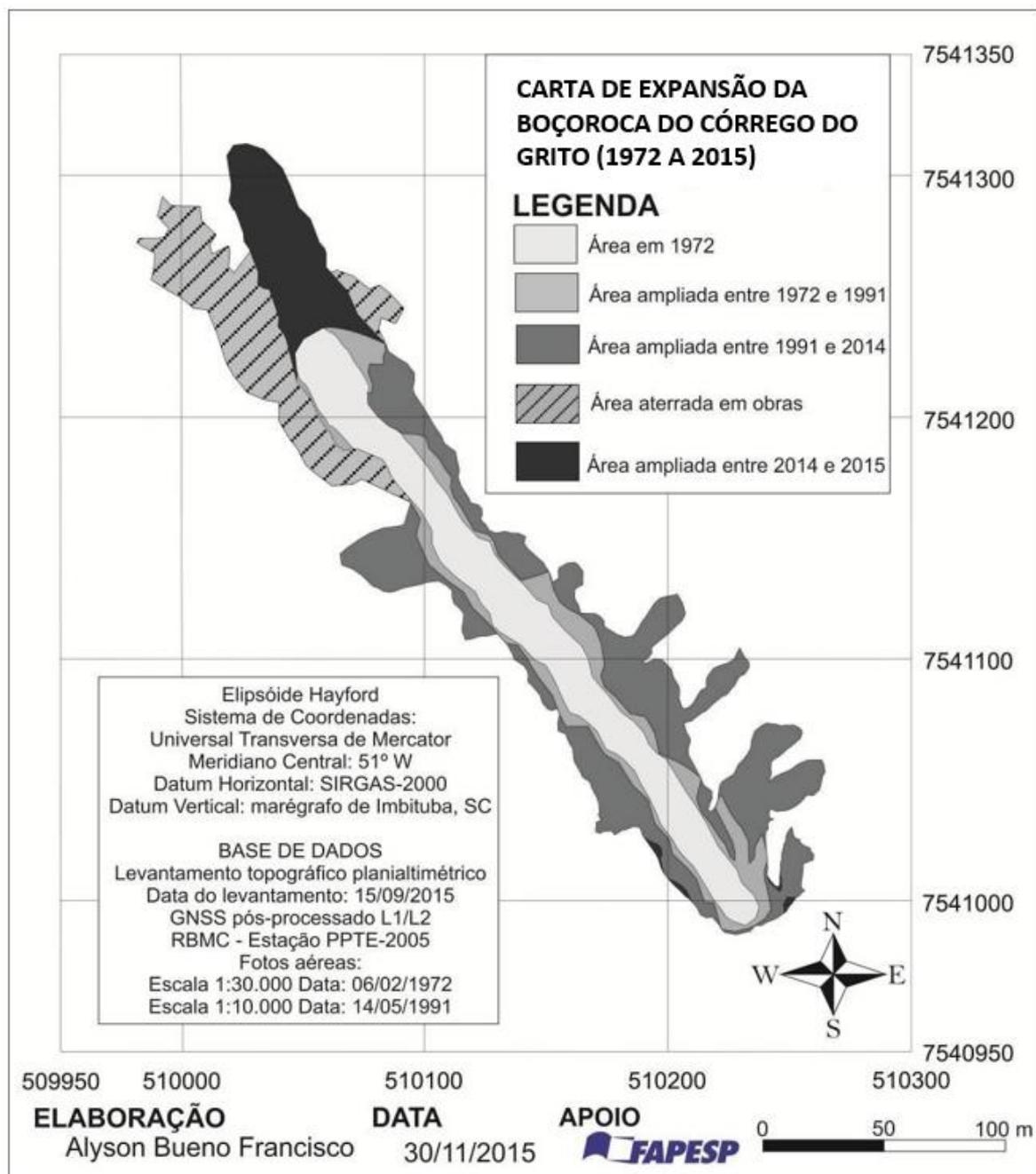
Figura 6 - Gráfico da evolução de área da boçoroca do córrego do Grito



Fonte: Elaborado por Francisco, A. B. (2016).

A Figura 7 apresenta a distribuição espacial da evolução da boçoroca, em que é possível salienta a presença da área ampliada entre 1991 e 2014 com a presença de ravinas laterais, a área aterrada por obras em 2000, e a área decorrente do desenvolvimento da erosão remontante em 2015.

Figura 7 - Carta de expansão da boçoroca do córrego do Grito



Após 15 anos da implantação de galerias de sistema de macrodrenagem urbana, ocorreu a retomada do processo de erosão remontante na boçoroca do córrego do Grito. Esta retomada da erosão remontante se iniciou em janeiro de 2015, sendo que em 30 de junho de 2015 a boçoroca atingiu o leito carroçável da Avenida Dom Pedro II.

O avanço da erosão remontante surpreendeu os moradores dos bairros Jardim Universitário e Jardim Regina. Em depoimento no dia 1º de julho de 2015, Waldemar Rodrigues afirmou: “Ontem o buraco estava antes da cerca. Hoje, era umas seis e meia da

manhã quando ouvi um estrondo e quando fomos ver já tinha atingido a calçada da avenida”.

A Figura 8 mostra os danos causados à infraestrutura urbana com o desenvolvimento da erosão remontante que atingiu a Avenida Dom Pedro II e tornou-se um caso de calamidade pública na cidade de Rancharia.

Figura 8 - Boçoroca atinge a avenida



Fonte: Obtida por Francisco, A.B. Data: 1º/07/2015.

Para garantir o controle da erosão remontante foi implantado um novo sistema de macrodrenagem urbana para direcionar as águas pluviais até o fundo da boçoroca. A Figura 9 mostra a implantação das caixas receptoras da drenagem e os tubos de concreto no sistema de macrodrenagem urbana.

Figura 9 - Implantação do sistema de macrodrenagem urbana



Fonte: Obtida por Francisco, A. B. Data: 13/08/2017.

À jusante do par de tubos de galerias foram implantadas caixas de concreto formando degraus para diminuir a velocidade de escoamento das águas pluviais ao atingirem o leito da boçoroca, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 - Degraus de recepção das águas pluviais



Fonte: Obtida por Francisco, A. B. Data: 16/08/2015.

Após as obras de implantação das galerias de águas pluviais foi realizada a terraplenagem da área com a deposição e compactação de terra sobre essas galerias. Nos taludes do aterro implantado foram plantadas gramíneas, conforme mostra a Figura 11.

Figura 11 - Plantio de gramíneas em área aterrada



Fonte: Cedida pela Prefeitura do Município de Rancharia. Data: 20/08/2015.

Em decorrência das chuvas concentradas entre novembro e dezembro de 2015 e da presença de solo exposto em parte da área aterrada surgiram processos erosivos lineares que ameaçaram a estabilidade das estruturas recentemente implantadas, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Ravina formada no aterro após a implantação das obras de controle da erosão urbana



Fonte: Obtida por Francisco, A. B. Data: 16/01/2016.

Posteriormente, esta ravina foi aterrada e foi implantado um terraço em curva de nível para evitar a concentração de águas pluviais na área aterrada.

Em relação aos recursos gastos com as obras de macrodrenagem, em julho de 2014, de acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (2017), a Secretaria Estadual de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação havia destinado à Prefeitura de Rancharia 197 mil reais, através do Programa de Apoio Tecnológico aos Municípios, com o intuito de financiar o diagnóstico técnico e as obras de estabilização da “erosão da avenida Dom Pedro II” (boçoroca do córrego do Grito). Entretanto, as obras de controle da erosão remontante demandaram recursos públicos de 608 mil reais que foram obtidos pelo estado de calamidade pública (SAIA, 2015).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estruturas de macrodrenagem urbana, apesar de sua importância em amenizar os impactos da vazão das águas pluviais nos cursos d’água receptores, demandam altos custos pelos quais os municípios de pequeno porte dependem de

recursos estaduais e federais para sua implantação. Nesse sentido, na maioria dos eventos de desenvolvimento dos processos erosivos urbanos, as pequenas cidades conseguem recursos para controlar esses processos erosivos apenas quando a situação apresenta-se crítica e em um estágio de perda de infraestrutura urbana, situação que aumenta ainda mais os gastos na recuperação das áreas atingidas.

Diante dos altos custos das obras para o controle da erosão urbana é necessário que as políticas públicas apliquem esforços nas medidas não estruturais através de zoneamentos, planos de drenagem urbana e leis específicas de uso e ocupação do solo para prevenir futuros impactos com o desenvolvimento da urbanização em novas áreas, considerando os aspectos geográficos das microbacias hidrográficas.

O caso da boçoroca do córrego do Grito em Rancharia apresenta aspectos relevantes, como: o histórico que ultrapassa cinco décadas de desenvolvimento do processo erosivo, o desenvolvimento de dois processos de erosão remontante em um intervalo inferior aos 20 anos (1998 e 2015), os altos custos na implantação das obras de controle de erosão urbana com dependência de recursos públicos estaduais e problemas relacionados aos domínios fundiários (uso predominantemente privado) da área degradada que dificultam a efetivação de um projeto de recuperação da área degradada (obras de suavização dos taludes, construção de calha completa do canal de drenagem, construção de praça para fins recreativos, entre outras).

Os órgãos públicos municipais, principalmente em pequenas cidades, necessitam de equipe técnica e recursos para a realização de estudos técnicos para monitorar as boçorocas a fim de evitar riscos. As instituições de pesquisa e ensino podem auxiliar nesses estudos através de conhecimentos e recursos tecnológicos para cadastrar as boçorocas e garantir os levantamentos com informações geográficas das dimensões deste problema.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelos recursos financeiros de sua bolsa de doutorado (Processo nº 2013/05664-4) e pelas orientações do Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli.

REFERÊNCIAS

- AISSE, M. M. Drenagem urbana. In: FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M. et al. (org.). **Drenagem e controle da erosão urbana**. 4. ed. Curitiba: Champagnat, 1997. p. 195-265.
- BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no oeste paulista**: uma análise climatológica aplicada. 2000. 264 fls. Tese (doutorado), Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.
- BRASIL. **Lei 10.257**, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Lex**: Presidência da República, Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm> Acesso em: 21 dez. 2016.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- COLÂNGELO, A. C. Metodologia em geografia física: ciência, tecnologia e geomorfologia experimental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 11, p. 47-56, 1997.
- FRANCISCO, A. B. **A erosão de solos em periferias de áreas urbanas**: a drenagem urbana, as formas erosivas e deposicionais na microbacia do Córrego do Grito, Rancharia-SP. Relatório científico (Bolsa de Doutorado), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2016.
- FURLANI, G. M. **Estudo geomorfológico das boçorocas de Casa Branca**. 1980. 376 fls. Dissertação (Mestrado), Geografia Física, Universidade de São Paulo, 1980.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Diagnóstico e proposição de medidas emergenciais e corretivas para 03 erosões de grande porte, localizadas no perímetro urbano do município de Rancharia (SP)**. São Paulo, Parecer Técnico n. 7.146, 1997.
- _____. **Cadastramento de pontos de erosão e inundação no Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2012. (Relatório Técnico nº 131.057-205).
- _____. Programa de apoio tecnológico prestará serviços voltados ao meio ambiente e à infraestrutura no interior paulista. **Notícias IPT**, 2014. Disponível em: <<http://www.ipt.br/noticia/847.html>> Acesso em: 6 jan. 2017.
- IWASA, O. Y.; PRANDINI, F. L. Diagnóstico da origem e evolução de boçorocas: condição fundamental para a prevenção e correção. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, Curitiba, 1980. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1980. p. 5-34.
- OLIVEIRA, A. M. S. **Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios**: exemplo do Reservatório de Capivara, SP/PR. 1994. 211 fls. Tese (doutorado), Geografia Física, Universidade de São Paulo, 1994.

PROENÇA, A. C. B. **A questão da terra urbana no município de Rancharia**: uma contribuição às famílias faveladas. 1999. Trabalho de Conclusão (Graduação), Geografia, Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista, 1999.

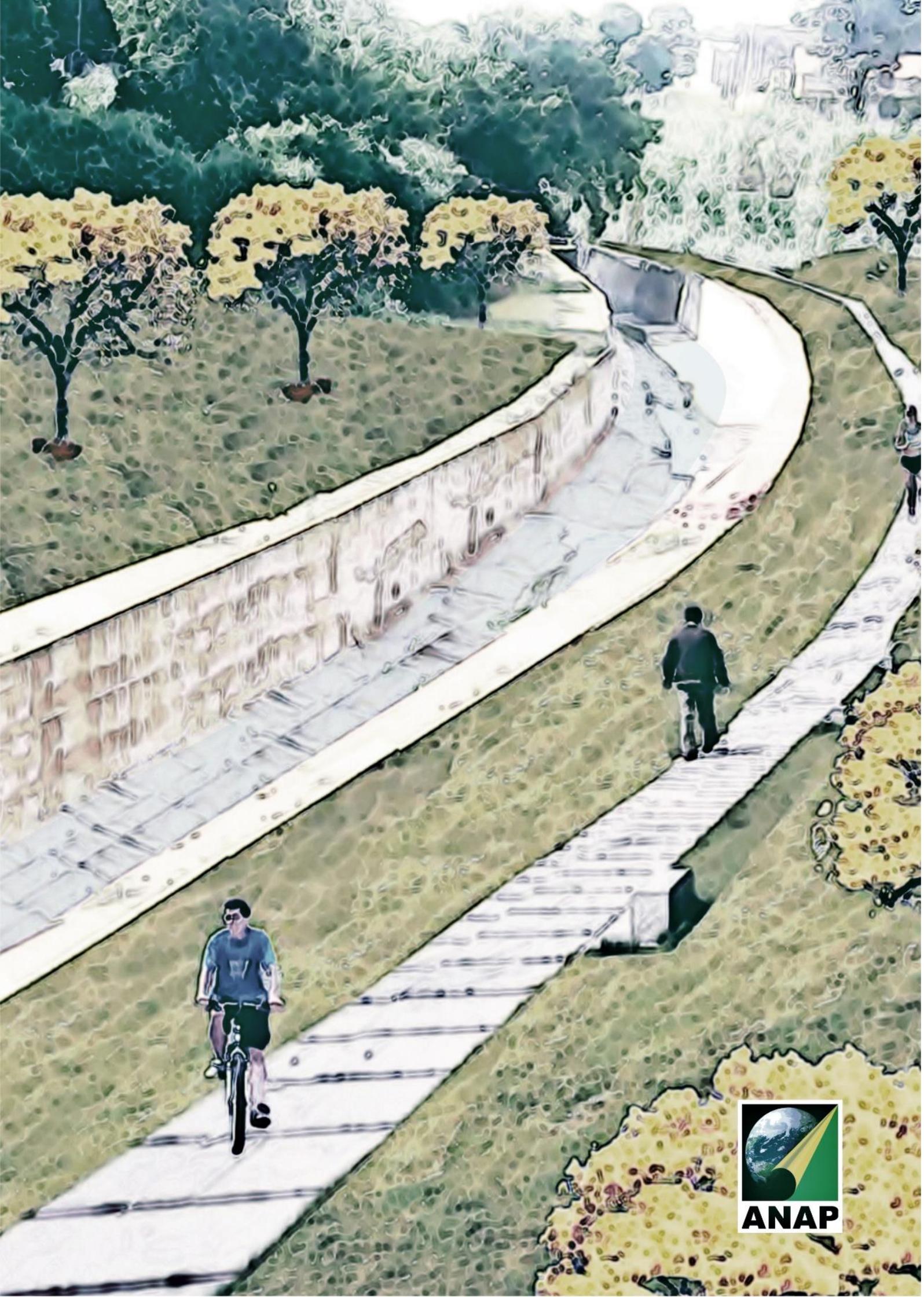
ROSSATO, M. S.; BELLANCA, E. T.; FACHINELLO, A. et al. (org.) **Terra**: feições ilustradas. 3. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

RODRIGUES, J. E. **Estudo de fenômenos erosivos acelerados, boçorocas**. 1982. 162 fls. Tese (doutorado), Ciências, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1982.

SAIA, B. Empresa é contratada para conter cratera em avenida de Rancharia. **O Imparcial**. Disponível em: <<http://www.impacial.com.br>> Acesso em: 9 set. 2015.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 5-27, 2002.

_____. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.



ANAP