

Drenagem Sustentável e Revitalização de Rios Urbanos no Âmbito do Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré

*Sustainable Drainage and Revitalization of Urban Rivers in the Framework
of the Tietê-Jacaré Watershed Committee*

*Drenaje Sostenible y Revitalización de Ríos Urbanos en el Ámbito del
Comité de la Cuenca Hidrográfica del Tietê-Jacaré*

Jozrael Henriques Rezende

Prof. Dr. da Faculdade de
Tecnologia de Jahu do
Centro Estadual de Educação
Tecnológica Paula Souza_
Fatec Jahu_CEETEPS
Dep Meio Ambiente e
Recursos Hídricos
jozrael.rezende@fatec.sp.gov.
br

Érica Rodrigues Tognetti
Eng^a. Me. do Departamento
de Águas e Energia Elétrica do
Estado de São Paulo_DAE
comitetj@yahoo.com.br

RESUMO

A degradação dos cursos d'água urbanos da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê-Jacaré (UGRHI TJ) reflete um modelo de desenvolvimento que não considera os aspectos ecológicos e hidrológicos no planejamento e governança das cidades. Os impactos ambientais advindos desta estratégia, tais como a poluição hídrica decorrente da inadequação do saneamento, a escassez de água na estação seca e as inundações e alagamentos frequentes no período chuvoso, evidenciam a necessidade de mudança na maneira de gerir as águas urbanas. É preciso integrar os usos do solo e das águas no âmbito das bacias hidrográficas, com ênfase na infiltração de água no solo e na manutenção das funções ecossistêmicas dos cursos d'água. Este trabalho tem como objetivo apresentar as diretrizes e o termo de referência do programa de drenagem urbana e revitalização de rios da UGRHI TJ.

Palavras-chave: Águas Urbanas; Bacia Hidrográfica; Ecohidrologia; Engenharia Natural.

ABSTRACT

The degradation of urban watercourses at Water Resources Management Unit Tietê-Jacaré (WRMU TJ) reflects a development model that does not consider ecological and hydrological aspects in the planning and governance of cities. The environmental impacts arising from this strategy, such as water pollution resulting from inadequate sanitation, the scarcity of water in the dry season as well as the increasingly frequent inundation and flooding in the rainy season, highlight the need for a change in the way of managing urban waters. It is necessary to integrate the uses of soil and water within the scope of watersheds, with an emphasis on soil water infiltration and maintenance of ecosystem functions in watercourses. This paper aims to present the guidelines and the term of reference of the urban drainage and river revitalization program of WRMU TJ.

Keywords: Urban Waters; Watershed; Eco-Hydrology; Natural Engineering.

RESUMEN

La degradación de los cursos de agua urbanos de la Unidad de Gestión de Recursos Hídricos Tietê-Jacaré (UGRHI TJ) refleja un modelo de desarrollo que no considera los aspectos ecológicos e hidrológicos en la planificación y gobernanza de las ciudades. Los impactos ambientales derivados de esta estrategia, como la contaminación del agua por un saneamiento inadecuado, la escasez de agua en la estación seca y las frecuentes inundaciones en la época de lluvias, resaltan la necesidad de un cambio en la forma de gestionar las aguas urbanas. Es necesario integrar los usos del suelo y de las aguas en el ámbito de las cuencas hidrográficas, con énfasis en la infiltración de agua en el suelo y en el mantenimiento de las funciones ecossistémicas de los cursos de agua. Este trabajo tiene como objetivo presentar los lineamientos y el término de referencia del programa de drenaje urbano y revitalización de ríos de la UGRHI TJ.

Palabras clave: Aguas Urbanas; Cuenca Hidrográfica; Ecohidrología; Ingeniería natural.

1. INTRODUÇÃO

Usualmente, os processos de urbanização das cidades brasileiras adotam, como práticas, a impermeabilização do solo, as retificações, canalizações e tamponamentos dos cursos d'água e a ocupação dos fundos de vale por vias e edificações. A adoção deste resulta na degradação dos corpos d'água receptores das águas residuárias e pluviais, em danos sociais e prejuízos econômicos devidos aos alagamentos e inundações. (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012). A ocorrência frequente desses problemas indica a necessidade de rever os modelos de drenagem e as formas de intervenção nos cursos d'água urbanos. Os rios urbanos podem ser provedores de serviços ecossistêmicos quantitativos, como regulação de cheias, e qualitativos, como purificação da água para o consumo (JACOBI; FRACALANZA; SIVA-SÁNCHEZ, 2015; POSTEL; THOMPSON; BARTON, 2005).

O objetivo da gestão sustentável da água, na visão integradora e sistêmica, é regular as interações hidrológicas e ecossistêmicas com a sociedade, mantendo o equilíbrio, as funções e a resiliência dos ecossistemas fluviais ao mesmo tempo que protege as pessoas e os bens contra os alagamentos e as inundações (LEZY-BRUNO; OLIVEIRA, 2007; ZALEWSKI, 2010). Esse modelo adota o manejo adaptativo dos recursos naturais, reconhecendo as mudanças e a dinâmica dos recursos naturais, com ajustes contínuos conforme a situação se altera, sempre considerando o aprendizado e a interação entre o sistema social e natural (ARAÚJO, 2012).

Esta abordagem ecohidrológica busca mimetizar ou recuperar processos

naturais dos ciclos hidrológico e ecológico, adotando como conceitos básicos: a permeabilidade máxima das águas de chuva ao longo do curso d'água e na bacia hidrográfica, a manutenção das propriedades naturais dos leitos (sinuosidades) e vegetação ciliar nas margens (SANCHES, 2007). A ecohidrologia adota o conceito de melhoria da resiliência do ecossistema como ferramenta de gestão, reforçando a adoção de uma abordagem preventiva e holística da bacia, ao invés do enfoque reativo, setorial e segmentado, típico das práticas de gerenciamento dos recursos hídricos convencionais (ZALEWSKI, 2010 e 2002).

Os processos hidrológicos e ecológicos são estudados de forma conexa a fim de encontrar soluções de longo prazo, que integrem os componentes sociais e a sustentabilidade do ecossistema, melhorando a eficiência do uso da água. Isso é chamado de objetivo multifuncional dos cinco elementos para o fortalecimento da capacidade de suporte de ecossistemas alterados: água, biodiversidade, serviços ecossistêmicos, resiliência e cultura ou dimensão social (UNESCO, 2018).

O sucesso dessa abordagem depende de ações não apenas nos cursos d'água, mas em toda a bacia hidrográfica, por meio da utilização do solo, da vegetação e da rede hídrica natural como componentes da infraestrutura do sistema de drenagem com o potencial de mitigar os efeitos adversos da urbanização (ROLO; GALLARDO; RIBEIRO, 2017). Essa infraestrutura, chamada de verde e azul, utiliza estratégias tais como a infiltração de água, o aproveitamento da drenagem natural e o incremento de sistemas florestais

urbanos, capaz de gerar interferência positiva no armazenamento hídrico das bacias hidrográficas urbanas, no microclima e na qualidade atmosférica (CORMIER; PELLEGRINO, 2008).

Em relação aos rios urbanos, os procedimentos de revitalização com a disponibilização dos serviços desses ecossistemas para as cidades configuram-se como tendências mundiais que fazem parte da revisão do pensamento humano em relação à questão ambiental, social e econômica (LISBOA, 2010).

Nesse contexto, esse trabalho tem como objetivo apresentar o termo de referência do programa de drenagem sustentável e revitalização de rios urbanos da UGRHI TJ.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A elaboração do Termo de Referência do "Programa de Drenagem Sustentável e Revitalização de Cursos d'água Urbanos para a UGRHI TJ" demandou a capacitação dos membros das Câmaras Técnicas de Recursos Naturais, Saneamento e Educação Ambiental (CT-RN, CT-SAN e CT-EA) do Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré (CBH TJ) visando à padronização e nivelamento do conhecimento e das informações. Isso foi conseguido por intermédio de revisão bibliográfica a respeito dos principais temas relacionados ao estudo.

2.1 MANEJO SUSTENTÁVEL E ADAPTATIVO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

Muito embora a gestão sustentável das águas urbanas seja reconhecida como fundamental para promover qualidade de vida, o modelo higienista de drenagem, caracterizado pela evacuação rápida

das águas pluviais e servidas, por meio de impermeabilização de áreas e de sistemas de condutos artificiais, ainda predomina na maior parte das municipalidades brasileiras (ZANANDREA; SILVEIRA, 2019; TUCCI, 2008).

Na tentativa de sanar boa parte das deficiências apresentadas pelos sistemas higienistas, foram desenvolvidos métodos de manejo de águas pluviais planejados em escala de bacia e introduzindo dispositivos de armazenamento e infiltração (detenções, retenções, pavimentos permeáveis, micro reservatórios, valos e trincheiras de infiltração). Estes métodos, denominados Best Management Practices - BMP passaram a ser recomendados mundialmente a partir da década de 70 (URBONAS; STAHR, 1993).

No Brasil a recomendação das "BMP" ocorreu principalmente a partir da primeira década deste século. As maiores diferenças da adoção destas práticas no país, quando comparadas à aplicação de sistemas tradicionais de drenagem, dizem respeito à implementação de detenções (por meio dos chamados "piscinões"), empregadas como "solução" dos problemas da abordagem higienista. O uso isolado dessa medida, porém, tem gerado inúmeros inconvenientes no tocante à veiculação de doenças e odor oriundos da retenção da água próxima à população (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

Ainda na década de 90, a ciência passou a reconhecer o papel do solo e da vegetação no controle das águas pluviais, ao promover a infiltração, a evapotranspiração e o contato da água com plantas e microrganismos, estabelecendo as bases científicas para os sistemas

naturais de drenagem. Neste sentido, as abordagens que mais avançaram foram a Low Impact Development (LID, denominada no Brasil por Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto) de origem norte-americana; a Water Sensitive Urban Design (WSUD) de origem australiana e a Sustainable Drainage Systems (SuDS) de origem britânica (ZANANDREA, SILVEIRA, 2019; SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

A estratégia de manejo sustentável das águas pluviais e servidas surgiu na década de 80 nos EUA a partir dos modelos de desenvolvimento urbano de baixo impacto (Low Impact Development - LID), que utilizam o planejamento multidisciplinar integrado às práticas de tratamento e controle em pequena escala, ou seja, localizadas, para reproduzir o comportamento hidrológico natural em configurações urbanas residenciais, comerciais, industriais ou mistas, já que o uso das medidas estruturais propostas não tem sido capaz de minimizar todos os impactos hidrológicos da eventual má gestão do uso do solo (ZANANDREA, SILVEIRA, 2019; USEPA, 2000).

A estratégia de manejo sustentável e adaptativo de águas pluviais com ênfase na utilização de ecossistemas naturais como infraestrutura está baseada nos seguintes elementos principais (USEPA, 2012):

- Preservação e recuperação da vegetação e manutenção dos caminhos naturais de drenagem e das características nativas do solo, minimizando as áreas impermeáveis e as intervenções no relevo;
- Projetos únicos e específicos, respeitando as peculiaridades locais e naturais em toda a bacia, em detrimento aos modelos

padronizados;

- Incremento da infiltração e da recarga do fluxo de base e dos aquíferos;
- Manutenção das áreas úmidas e dos riachos;
- Direcionamento controlado do escoamento para áreas vegetadas;
- Manejo hídrico o mais próximo possível da fonte de geração do excedente de escoamento de modo integrado, começando pela residência e quarteirão (controle distribuído de pequena escala);
- Planejamento e implementação de sistemas de drenagem que mimetizem os processos hidrológicos naturais com conservação preditiva e preventiva dos sistemas de drenagem visando o aumento de sua eficiência e longevidade;
- Atuação sistêmica na prevenção da poluição e na educação ambiental;
- Atratividade e pertencimento com paisagismo apropriado e limpeza e manutenção rotineiras.

2.2 REVITALIZAÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA URBANOS

As intervenções em cursos d'água para a preservação ou melhoria das condições ambientais podem ser denominadas por diferentes terminologias, implicando em divergências conceituais. Termos como restauração, reabilitação, recuperação, renaturalização e revitalização são amplamente empregados, sem que haja convergência conceitual sobre escopo e abrangência (BAPTISTA; PÁDUA, 2016). Esse trabalho adotou o termo "revitalização" para qualquer experiência inovadora de intervenção em cursos d'água capaz de proporcionar a melhoria do ambiente fluvial e da qualidade da água para usos múltiplos, bem como a recuperação de funções ecológicas

e hidrológicas e a reabilitação das funções sociais dos rios e de suas margens (SELLES, 2001; MACHADO et al., 2010).

Os rios são sistemas lineares abertos que participam de grande parte dos processos hidrológicos ecológicos que ocorrem nas bacias hidrográficas. A dinâmica dos rios ocorre ao longo das dimensões longitudinal (cabeceiras/foz), lateral (calha do rio/margens/planície aluvial) vertical (superfície/fundo), temporal anual (enchente/cheia/vazante/estiagem) e interanual (anos secos/anos normais/anos chuvosos) (BROOKES, 1996; WARD; STENFORD, 1989 apud BARRELA et al 2001).

O regime de pulsos de um rio, composto pelas fases de enchente, cheia, vazante e estiagem, é constituído por um padrão de variabilidade de fases em determinados tempo e espaço; formando um modelo sinusoidal resultante da curva fluviométrica a partir da introdução de um nível de referência, que é normalmente a cota de inundação ou nível de extravasamento do canal do rio (CASCO, NEIFF e NEIFF, 2005;).

Estes processos, quando naturais, são desejáveis, já que determinam a formação de estruturas e arranjos fluviais característicos. Por outro lado, junto às margens e nos leitos de cheia majorados pelas mudanças no uso do solo, existe quase sempre a necessidade de proteção dos taludes fluviais e do leito frente aos danos decorrentes das alterações promovidas no pulso hidrológico dos rios, em particular nas zonas urbanas, visto que o uso e a ocupação do solo para fins urbanos interferem significativamente no balanço hídrico, aumentando o escoamento superficial em detrimento da

infiltração (REZENDE; PIRES; MENDIONDO, 2010; MONTEIRO, 2014).

Nessas áreas, as condições de escoamento e os níveis de água em situações de cheia têm de ser adequadamente geridos de modo a evitar danos, pois as alterações no uso do solo urbano levam ao aumento da vazão máxima em até sete vezes (TUCCI, 2006), com redução do tempo de concentração, devido à impermeabilização e aos condutos artificiais e canalização da drenagem. A alteração do padrão de escoamento na zona urbana provoca ainda redução significativa das vazões de base e do tempo de concentração da bacia que, somados às obras de canalização e retificação, eliminam a maioria dos habitats dos ecossistemas fluviais (BRENNER, 2016; VIEIRA; WILSON JR., 2005).

Os modelos convencionais de gerenciamento das águas urbanas não tratam a prevenção e nem a causa destes problemas. Uma vez ocorrida uma inundação e todas as implicações socioeconômicas decorrentes, o município declara calamidade pública e recebe recursos a fundo perdido, com dispensa de licitação, para a situação emergencial. Como as soluções sustentáveis passam, em sua maioria, por medidas não estruturais, envolvendo restrições à população e interferência nos interesses econômicos de proprietários de áreas de risco, dificilmente a gestão pública municipal busca este tipo de solução (TUCCI, 2003).

A clássica estratégia de transformação de cursos d'água urbanos em canais artificiais retificados com os taludes, e até mesmo o fundo concretados, tem como objetivos drenar rapidamente

as águas pluviais, aumentar a área habitável e ampliar as vias públicas. Os efeitos decorrentes desse tipo de intervenção são observados até hoje, ou seja, a abordagem que atribui aos rios características de canais estáveis e fixos, com várias obras de defesa contra as cheias (diques, proteção das margens, etc.), na grande maioria dos casos provou não ser a melhor solução, ao longo do tempo, levando inclusive a gastos anuais frequentes para a realização de novas obras hidráulicas visando a reparação dos danos, numa espiral interminável de custos crescentes (SANDER et al., 2012; VERÓL, 2013).

Existem aqueles que, a partir de paradigmas já superados, ainda defendem a alteração dos cursos d'água nas áreas urbanas para desempenhar a função hidráulica de drenagem das águas pluviais, ou seja, evitar inundações nas grandes e médias cidades brasileiras. Esta função nunca foi cumprida com êxito e, apesar da insustentabilidade deste modelo demonstrada ao longo de décadas de sofrimento social, perdas econômicas e degradação ambiental, ainda se investiam até a década passada centenas de milhões de reais por ano no Brasil em projetos com essa premissa de transferência rápida do escoamento para jusante (AMORIM, 2004; SEPÚLVEDA, 2010).

As diretrizes para o manejo dos cursos d'água urbanos devem incluir as esferas física, ecológica e política. As duas primeiras dizem respeito às orientações e ações ecohidrológicas e hidráulicas que devem ser seguidas na reconstrução dos habitats e manutenção das características morfológicas dos rios. A esfera política, deve abranger os processos da mudança de comportamento das comunidades que compartilham a

bacia, bem como das decisões de governança (ESPÍNDOLA; BARBOSA; MENDIONDO, 2005). As estratégias atuais para o manejo dos rios têm como premissa a integração sistêmica de parâmetros físicos, químicos, biológicos e morfológicos (Tabela 1).

Para a inserção dos princípios, das estratégias e das diretrizes dos processos de revitalização de cursos d'água urbanos, os objetivos devem ser estruturados de acordo com aspectos dos meios físico (características hidrodinâmicas, morfologia longitudinal, taludes fluviais, zonas de remanso e corredeiras), biótico (ecossistemas aquáticos, de transição e terrestres) e antrópico (cultural, político-social e econômico) (Tabela 2).

Segundo Cardoso (2008) o planejamento das intervenções em cursos d'água urbanos devem ser caracterizadas quanto às condições geomorfológicas, ambientais, sanitárias, hidrológicas/ hidráulicas e de uso e ocupação do solo atuais, para que se possa avaliar os impactos das alternativas de projeto. Os principais itens a serem avaliados em relação ao curso de água e suas áreas ribeirinhas são:

- Forma, sinuosidade e perfil longitudinal do talvegue, do leito e das margens (seções transversais);
- Condições de vulnerabilidade e inundações e processos de erosão e assoreamento;
- Diversidade de habitats;
- Áreas verdes adjacentes ao corpo de água e qualidade da paisagem;
- Proliferação de insetos e condição das áreas ribeirinhas (resíduos sólidos);
- Áreas e equipamentos urbanos e de lazer.

Tabela 1 - Curso d'água urbano degradado e revitalizado: principais características

CURSO D'ÁGUA URBANO	
DEGRADADO	REVITALIZADO
Curso d'água recebe esgoto doméstico e outras águas residuárias sem tratamento.	Todos os efluentes e águas residuárias lançados ao curso d'água previamente tratados.
Saúde pública e vida aquática do curso d'água comprometidas por contaminantes e poluentes.	Saúde pública e ecossistemas aquáticos do curso d'água protegidos de maneira proativa.
Corpo hídrico eutrofizado, com excesso de nutrientes, baixos índices de oxigênio dissolvido e perda de diversidade da fauna nativa, principalmente ictiológica.	Corpo hídrico equilibrado, concentração de nutrientes adequada à cadeia alimentar aquática e níveis de oxigênio propícios à fauna ictiológica nativa.
Baixa resiliência do ambiente aquático às variações de vazão provocadas pela magnitude do pulso hidrológico, devido à impermeabilização e drenagem urbana convencional.	Ambiente aquático resiliente e flexível, com habitats e biodiversidade elevada pela adoção do manejo adaptativo.
Curso d'água com vazões de cheia e de estiagem extremas, devido ao modelo de desenvolvimento com elevada impermeabilização do solo e sistemas de drenagem baseados em condutos artificiais, canalizações e transferências para jusante.	Curso d'água com vazões de cheias minimizadas e vazões de estiagem aumentadas pela adoção de sistemas de drenagem próximos da origem do escoamento, baseados em infiltração e processos hidrológicos naturais.
Curso d'água degradado, taludes fluviais erodidos, calha aprofundada e bacia hidrográfica comprometida por práticas insustentáveis de uso da terra.	Hidrologia da bacia restaurada para manter a continuidade e a integridade física, morfológica e biológica do curso d'água.
Curso d'água homogêneo retificado, canalizado, concretado, por vezes fétido e com elevada carga de resíduos sólidos às margens, depositada no fundo e flutuante.	Curso d'água meandrado, diverso, com áreas de remanso e corredeiras, taludes fluviais estáveis e vegetados, sem a presença de resíduos sólidos no leito e nas margens.
Margens impermeabilizadas ocupadas por edificações e/ou vias públicas. Tubulações do sistema de drenagem lançando águas pluviais sem dissipadores de energia.	Margens vegetadas com mata ciliar ou parques lineares ribeirinhos. Sistemas de drenagem com valas de infiltração, planos de infiltração, retentores de sedimentos, dissipadores de energia, entre outros.

Tabela 2 - Objetivos da revitalização de curso d'água urbanos (Adaptado de COSTA, 2008)

MEIO FÍSICO	<ul style="list-style-type: none"> Preservar áreas naturais Impedir usos que inviabilizem o ecossistema fluvial Recuperar a continuidade do curso d'água Reconstituir as morfologias típicas dos leitos e taludes fluviais Proteger os leitos e taludes fluviais da erosão e do assoreamento
MEIO BIOLÓGICO	<ul style="list-style-type: none"> Restaurar os habitats Regenerar a biota natural Restabelecer as faixas marginais de proteção permeáveis Restaurar as matas ciliares e recuperar as nascentes Implementar parques lineares ribeirinhos
MEIO ANTRÓPICO	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolver cultura de preservação ambiental Urbanizar áreas considerando os aspectos hidrológicos e ecológicos Estimular na população sentimento de pertencimento pelos rios Fazer gestão pública integrando as questões ambientais e hídricas Propiciar elementos paisagísticos de lazer e contemplação

2.3 ENGENHARIA NATURAL / BIOENGENHARIA DE SOLOS

A engenharia natural é embasada no uso da vegetação como elemento estruturante ativo, combinado a elementos inertes em obras de estabilização e de recomposição de encostas, áreas degradadas,

margens e taludes de córregos e rios. Como elementos inertes podem ser citados as madeiras, as rochas, os solos, os polímeros naturais, os geossintéticos, as ligas metálicas e até mesmo o concreto. A engenharia natural compreende um conjunto de abordagens técnicas para a gestão dos sistemas hidrológicos

e ecológicos, desde as disciplinas de caracterização e avaliação dos sistemas biofísicos e de uso até, e mais especificamente, às diferentes disciplinas de construção e gestão dos sistemas hidrológicos e ecológicos (DURLO; SUTILI, 2014).

Está fundamentada no princípio da energia mínima, um postulado segundo o qual os sistemas físicos preferem o estado de menor energia. Este princípio é aplicado nas intervenções nos cursos d'água urbanos a partir de duas premissas: o da intervenção mínima e o da área mínima. O primeiro está relacionado à estabilidade dos sistemas, que é

tanto maior quanto mais próximo do natural forem seus componentes e funções, e quanto mais diversificados forem os sistemas integrantes e os seus reguladores. O segundo é a constatação que qualquer sistema exige uma área mínima para poder evoluir de uma maneira equilibrada, gerando e amortecendo as perturbações associadas à variabilidade intrínseca das funções e processos naturais. Sua aplicação é multidisciplinar (Tabela 3) (FERNANDES; FREITAS, 2011; EUROPEAN FEDERATION FOR SOIL AND WATER BIOENGINEERING - EFBI, 2015).

Tabela 3 - Grupos profissionais, domínios e competências necessárias às intervenções da engenharia natural no Brasil (Adaptado de EFBI, 2015)

Grupo profissional	Domínio de especialidade da Engenharia Natural / Bioengenharia	Competências aplicadas
BIOLOGIA (BOTÂNICA)	Fitossociologia, Geobotânica.	Levantamentos fitossociológicos da vegetação remanescente e macrófitas aquáticas.
BIOLOGIA (LIMNOLOGIA)	Ecossistemas fluviais. Qualidade da água.	Levantamentos de plâncton, fauna bentônica e ictiológica. Índice de qualidade da água.
DIREITO	Legislação urbana, ambiental e de recursos hídricos.	Plano Diretor, Código Florestal, Política de Recursos Hídricos e outras.
ENGENHARIA AGRONÔMICA	Pedologia; conservação dos solos; fertilidade, correção e adubação; semeadura, propagação vegetativa, irrigação, controle de plantas invasoras, pragas e doenças.	Estabelecimento e manejo da vegetação herbácea e arbustiva, práticas de conservação do solo, controle fitossanitário.
ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E AGRIMENSURA	Topografia, batimetria e cartografia.	Levantamentos planialtimétricos, plantas do perfil longitudinal e seções transversais, mapeamento.
ENGENHARIA AMBIENTAL	Plano de bacias hidrográficas, ordenamento e gestão da paisagem, avaliação dos impactos ambientais, aptidão, vulnerabilidade, riscos, impacto de vizinhança, sistemas de gestão ambiental.	Caracterização e manejo de bacias hidrográficas, metodologias de AIA, avaliação de riscos, EIV, gestão ambiental de obras.
ENGENHARIA CIVIL	Sistemas de drenagem sustentáveis, chuvas máximas de projeto, técnicas construtivas.	Projetos de drenagem, fiscalização e direção de obra.
ENGENHARIA FLORESTAL	Silvicultura, produção de mudas florestais, restauração ecológica.	Florestamento, reflorestamento, monitoramento florestal.
ENGENHARIA HIDRÁULICA E DE RECURSOS HÍDRICOS	Obras hidráulicas de proteção transversais e longitudinais, hidrodinâmica fluvial, estabilidade, estudo de vazões.	Cálculos e dimensionamentos de estruturas hidráulicas, vazões máximas e mínimas.
ENGENHARIA SANITÁRIA	Saneamento ambiental.	Tratamento de águas residuárias e pluviais e gerenciamento de resíduos sólidos.
GEOGRAFIA	Climatologia, biogeografia e geografia física. Sistemas de Informação Geográfica	Estudos de clima e relevo, geoprocessamento.
GEOLOGIA	Morfologia, dinâmica e processos fluviais, geologia fluvial.	Pareceres periciais geológicos e estratégias de estabilização de taludes.
GEOTECNIA	Estabilidade e mecânica de solos.	Pareceres, modelação do terreno, estabilização de encostas e taludes, controle da obra geotécnica.
PAISAGISMO	Modelação local do espaço para uso coletivo.	Criação de espaços atrativos em áreas degradadas.
URBANISMO	Organização, racionalização e interação da área.	Regulação, controle e planejamento de uso e interação com outros componentes urbanos.

A engenharia natural trata os ecossistemas fluviais e ribeirinhos como uma rede ecológica que percorre o território da bacia hidrográfica, cuja diversidade deve ser conservada para que o meio fluvial possa manter sua capacidade de realizar as funções ecossistêmicas em articulação com os meios de transição (várzeas e planícies de inundação) e terrestre. As intervenções nos cursos d'água urbanos, portanto, devem considerar minimamente os seguintes tópicos (DURLO; SUTILI, 2014):

- Conservação da rugosidade do leito;
- Construção de espaços de retenção hídrica;
- Controle de águas residuárias e pluviais;
- Cultivo das condições adequadas para a fauna ictiológica nativa;
- Diminuição da velocidade da corrente nos regimes torrenciais;
- Estabilidade dos taludes fluviais através de recursos vivos, complementados com materiais inertes, quando necessários, sem alterar carácter da linha de água;
- Garantia de nível mínimo de escoamento adequado (vazão ecológica);
- Limitação da ocupação urbana e periurbana;
- Manutenção do comprimento natural do curso d'água;
- Maximização da capacidade de arejamento natural;
- Preservação ou aumento da diversidade dos biótopos;
- Reconstrução da mata ripária;
- Reconstrução de zonas úmidas e de encharcamento típicas;
- Recuperação de meandros destruídos por obras de linearização;
- Recuperação e reconstrução de

habitats diversificados para a fauna e flora;

- Reposição de níveis freáticos mais elevados nas várzeas,
- Sombreamento do leito para evitar o aquecimento da água;
- Utilização das várzeas como espaços de acumulação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê - Jacaré (UGRHI TJ). As Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), criadas pela Lei Estadual nº. 9.034 de 1994, estabeleceram a base territorial para o sistema de gerenciamento dos recursos hídricos, dividindo o território do estado de São Paulo em 22 sub-bacias hidrográficas. A UGRHI - TJ é a de nº 13 e possui área total de 11.794,17 km².

São 34 municípios, com população superior a 1.570.000 habitantes. Os municípios: mais importantes são Bauru, São Carlos, Araraquara e Jaú. Ela é formada pelas bacias hidrográficas dos rios Jacaré-Guaçu, Jacaré-Pepira e Jaú, afluentes da margem direita do rio Tietê e Lençóis, Bauru e Claro (Sub-bacia 6) afluentes da margem esquerda, além de outros cursos d'água menores e áreas que drenam para o rio Tietê no trecho situado a jusante da Usina Hidrelétrica de Barra Bonita e a montante da Usina Hidrelétrica de Ibitinga nos reservatórios de Bariri e Ibitinga e suas respectivas áreas de drenagem (Figura 1).

e de revitalização de cursos d'água urbanos;

- Mobilizar e sensibilizar os gestores municipais para a efetivação de estratégias e ações do programa;
- Propor medidas estruturais e não estruturais para aprimorar os sistemas de drenagem urbana;
- Estabelecer diretrizes para a ocupação de fundos de vale e para o manejo dos cursos d'água urbanos;
- Elaborar um projeto executivo piloto de drenagem sustentável e um de revitalização de cursos d'água urbanos em municípios da UGRHI TJ.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os módulos de Diagnóstico, Prognóstico e Plano de Ação foram definidos da seguinte forma:

- Diagnóstico: avaliação da situação atual da drenagem urbana e dos cursos d'água urbanos, suas áreas de preservação permanente e ocupação de fundos de vale das cidades da UGRHI TJ;
- Prognóstico: evolução da situação atual da drenagem urbana e dos cursos d'água urbanos, suas áreas de preservação permanente e ocupação de fundos de vale das cidades da UGRHI TJ, apresentando os cenários espaciais futuros tendencial (se nada for feito), ideal/desejado (sem restrições técnicas e orçamentárias) e possível (com a aplicação das estratégias e ações do programa), nos horizontes temporais de curto (4 anos), médio (8 anos) e longo prazo (12 anos); e
- Plano de ação: conjunto de metas, ações e investimentos de medidas estruturais e não estruturais para que a realidade projetada para o cenário espacial possível seja alcançada nos horizontes temporais previstos; e um conjunto de indicadores para

acompanhar a sua implementação e a consecução de suas metas.

4.1 PRODUTOS DO DIAGNÓSTICO:

O diagnóstico deve constituir a base para a definição das áreas críticas e da ordem de prioridade para a execução das atividades do programa. Deve definir os temas críticos da gestão. Resultados esperados:

- Análise da legislação de uso do solo e outras afins, no âmbito de cada município;
- Avaliação dos Planos Municipais de Drenagem específicos ou do capítulo referente a drenagem dos Planos Municipais de Saneamento;
- Identificação, mapeamento e descrição das áreas críticas de inundação e alagamento em cada município;
- Identificação, mapeamento e descrição dos principais cursos d'água urbanos e periurbanos e da situação das áreas de preservação permanente e dos fundos de vale de cada município, indicando inclusive o tamponamento de trechos;
- Apresentação de iniciativas e experiências exitosas, parcialmente exitosas e fracassadas de drenagem urbana e revitalização de cursos d'água urbanos em municípios da UGRHI TJ;
- Mapas indicando a localização das áreas críticas de inundação, alagamento, corpos d'água degradados, assoreamento, erosão fluvial, voçorocas, disposição inadequada de resíduos, entre outras de pelo um curso de água de cada município;
- Quadros, tabelas e gráficos individuais e detalhados para cada um dos temas descritos como produtos.

4.2 PRODUTOS DO PROGNÓSTICO:

O prognóstico deve caracterizar a evolução tendencial da drenagem urbana e dos cursos d'água urbanos e dos fundos de vale das cidades da UGRHI TJ e definir as estratégias necessárias à mudança deste quadro no curto (4 anos), médio (8 anos) e longo prazo (12 anos). Deve apresentar diretrizes e definir as medidas estruturais e não estruturais, além da ordem e da prioridade das etapas para a elaboração e execução do Plano de Ação. Resultados esperados:

- Compêndio de boas práticas de drenagem sustentável e de revitalização de rios urbanos;
- Materiais informativos e orientativos das principais práticas de drenagem sustentável e de revitalização de rios urbanos existentes e passíveis de aplicação na UGRHI TJ;
- Indicação da localização das principais unidades, elementos e estruturas de drenagem sustentável e de revitalização de rios;
- Descrição e caracterização das medidas estruturais a serem aplicadas na UGRHI TJ, definindo as infraestruturas CINZA (sistemas de drenagem tradicionais, detenções, retenções, micro reservatórios para aproveitamento de água de chuva e outras), VERDE (vegetação e solo como componentes do sistema de drenagem, áreas verdes alagáveis, parques lineares, pavimentos permeáveis, valos e trincheiras de infiltração, entre outras) e AZUL (sistemas naturais hídricos urbanos e periurbanos como elementos de drenagem);
- Estratégias de transição dos modelos sanitários/higienistas para os modelos ecohidrológicos;
- Instrumentos de gestão e de políticas públicas para fomentar

estratégias de drenagem sustentável e de revitalização de rios;

- Modelos de normas para disciplinar a drenagem urbana, o uso do solo, o aproveitamento de água de chuva, a ocupação de fundos de vale, o potencial construtivo a aprovação de loteamentos, entre outros, no âmbito dos municípios;
- Estratégias a serem adotadas para garantir o cumprimento das funções sociais, hidrológicas e ecológicas dos corpos hídricos urbanos e de suas margens;
- Definição de metodologia para estimar o escoamento superficial e os tempos de concentração e de residência da água pluvial tanto na área urbana quanto em áreas rurais da bacia a montante da área urbana para os projetos de drenagem urbana;
- Caracterização das principais estruturas de dissipação de energia; detenção, retenção e residência da água pluvial; e de garantia os usos múltiplos da água;
- Descrição das metodologias para implementação e manejo de parques lineares ribeirinhos; de recuperação de nascentes e da vegetação ciliar;
- Descrição das técnicas recomendadas para o manejo biotécnico dos cursos d'água urbanos, visando recuperar taludes fluviais erodidos, prevenir e controlar o assoreamento, a erosão e a poluição difusa;
- Curso de capacitação em "Estratégias de Drenagem Sustentável";
- Curso de capacitação em "Revitalização/Renaturalização de Rios Urbanos".

4.3 PRODUTOS DO PLANO DE AÇÃO:

O plano de ação deve estabelecer o cronograma e a ordem de execução

das medidas não estruturais e medidas estruturais a serem executadas nos municípios no curto (4 anos), médio (8 anos) e longo prazo (12 anos). Estão previstos ainda dois estudos de caso na forma de projetos executivos pilotos, sendo um de "Drenagem Sustentável" e o outro de "Revitalização de Curso d'água Urbano". Resultados esperados:

- Roteiro para elaboração de Projetos Executivos de "Drenagem Sustentável" visando a orientação técnica dos tomadores quanto ao encaminhamento de solicitações ao CBH TJ;
- Roteiro para elaboração Projetos Executivos de "Revitalização de Curso d'água Urbano" visando a orientação técnica dos tomadores quanto ao encaminhamento de solicitações ao CBH TJ;
- Projeto Executivo Piloto de "Drenagem Sustentável" em cidade da UGRHI TJ;
- Projeto Executivo Piloto de "Revitalização de Curso d'água Urbano" em cidade da UGRHI TJ.

Os projetos executivos pilotos são entendidos como o conjunto dos elementos necessários e suficientes à execução completa da obra, de acordo com as normas pertinentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e deverão com nível de precisão adequado, para caracterizar a obra ou serviço, ou complexo de obras ou serviços objeto da licitação, elaborado com base nas indicações dos estudos técnicos preliminares, que assegurem a viabilidade técnica e o adequado tratamento do impacto ambiental do empreendimento, e que possibilite a avaliação do custo da obra e a definição dos métodos e do prazo de execução. Todos os produtos cartográficos do programa

devem ser gerados em escalas compatíveis e adequadas ao objeto de estudo utilizando o SIRGAS 2000 como DATUM de referência e devem ser gerados metadados conforme os padrões determinados pela Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de procedimentos para a revitalização dos cursos d'água urbanos e para o manejo sustentável das águas pluviais é necessário para aprimorar os modelos de gestão das águas urbanas. É urgente a adoção de soluções inspiradas e apoiadas pela natureza ("Soluções baseadas na Natureza" – SbN) (UNESCO, 2018). As funções hidrológicas dos ecossistemas naturais, como rios, zonas úmidas e planícies de inundação, devem fazer parte das estratégias institucionais de planejamento e gestão dos recursos naturais, em especial dos recursos hídricos. Espera-se, com a realização do programa proposto, que os municípios da UGRHI TJ possam incorporar a ecohidrologia e suas ferramentas para a regulação das interações hidrologia-ecossistema e sociedade, pois essa abordagem sistêmica do gerenciamento integrado dos recursos hídricos pode contribuir para reverter a degradação dos sistemas urbanos; melhorando o bem estar humano; e harmonizar o potencial e a capacidade de suporte dos ecossistemas com as necessidades das pessoas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à VI Jornada de Gestão e Análise Ambiental da UFSCar.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, L. M. *Ocupação de fundos de vale em áreas urbanas. Estudo de caso: Córrego do mineirinho*. São Carlos, SP. 2004. 214 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP. 2004.
- ARAÚJO, M. A. R. A gestão das unidades de conservação à luz da abordagem ecossistêmica. In: *Unidades de Conservação do Brasil: o caminho da gestão para resultados*. Organização NEXUCS. São Carlos: RiMa Editora, 2012. p: 155-187.
- BAPTISTA, M.; PÁDUA, W. L. *Restauração de sistemas fluviais*. Barueri/SP: Manole, 2016.
- BARRELA, W.; PETRERE JR, M.; SMITH, W. S.; MONTAG. L. F. A. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H.F. *Matas Ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: Edusp. p. 1187-207, 2001.
- BRENNER, V. C. *Proposta metodológica para Renaturalização de trecho retificado do Rio Gravataí - RS*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2016
- BROOKES, A. River channel change. In: G.; CALOW, P. (Eds.). *River flows and channel forms*. Blackwell Science Ltd., 1996.
- CARDOSO, A. S. *Desenvolvimento de metodologia para avaliação de alternativas de intervenção em cursos de água em áreas urbanas*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Minas Gerais. 2008.
- CASCO, S.L.; NEIFF, M. e NEIFF, J. J. Biodiversidad en ríos del litoral fluvial. Utilidad del software Pulso In: Aceñolaza, F.G. (Ed.) *Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial Argentino II*. Insugeo, Miscelánea 14: 105-120, 2005.
- CORMIER, N. S.; PELLEGRINO, P. R. M. Infraestrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. *Paisagem Ambiente*, n. 25, p. 125-142, 2008.
- COSTA, S. D. *Estudo da viabilidade de Revitalização de Curso d'água em Área Urbana: Estudo de caso no Rio Córrego Grande em Florianópolis, Santa Catarina*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis - SC. 2008.
- DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. *Bioengenharia: Manejo biotécnico de cursos de água*. 3 ed. 192 p. Porto Alegre: EST Edições, 2014.
- ESPÍNDOLA, E. L. G.; BARBOSA, D. S.; MENDIONDO, E. M. *Diretrizes ecológicas em projetos de recuperação de rios urbanos tropicais: estudo de caso no Rio Tijuco Preto*. São Carlos, São Paulo, 2005.
- EUROPEAN FEDERATION FOR SOIL AND WATER BIOENGINEERING. *European Guidelines for Soil and Water bioengineering (Diretrizes Europeias de Engenharia Natural)*. 150p. 2015.

- FERNANDES, J. P.; FREITAS, A. R. M. *Introdução a Engenharia Natural*. EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, 2011. 107p. ISBN 978-989-97459-5-7
- HOULAHAN, J. E.; FINDLAY, C. S. Estimating the 'critical' distance at which adjacent land-use degrades wetland water and sediment quality. *Landscape Ecology*, v.19, p. 677-690, 2004.
- JACOBI, P. R.; FRACALANZA, A. P.; SILVA-SÁNCHEZ, S. Governança da água e inovação na política de recuperação de recursos hídricos na cidade de São Paulo. *Cadernos Metrópole*, v. 17, n. 33, p. 61-81, 2015. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2015-3303>.
- LEZY-BRUNO, L.; OLIVEIRA, Y. A experiência francesa em gestão de águas: práticas voltadas para a valorização dos recursos hídricos e da paisagem. In: *Resumos expandidos e Programa do Seminário Nacional sobre o tratamento e Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restrições Ambientais ao Parcelamento do Solo*. p.140-141. São Paulo: FAUUSP, 2007.
- LISBOA, A. H. Projeto Manuelzão: uma experiência de revitalização de rios em Minas Gerais, Brasil. In: MACHADO, A.T.G.M. *Revitalização dos rios no mundo*, p. 13-16. Belo Horizonte: Instituto Guaicury, 2010.
- MACHADO, T. G. M.; LISBOA, A. H.; ALVES, C. B. M.; LOPES, D. A.; GOULART, E. M. A.; LEITE, F.A.; POLIGNANO, M. V. (orgs.) *Revitalização de Rios no Mundo: América, Europa e Ásia*. Anais... 344p.: il. Belo Horizonte: Instituto Guaicury, 2010.
- MONTEIRO, J. S. *Indicadores de fragilidade à erosão no apoio à definição de Áreas de Preservação Permanente em Rios*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Maria - RS. 2014.
- POSTEL, S. L.; THOMPSON, J. R.; BARTON, H. Watershed protection: capturing the benefits of nature's water supply services. *Natural Resources Forum*, v. 29, n. 2, p. 98-108, London, 2005.
- REZENDE, J. H.; PIRES, J. S. R.; MENDIONDO, E. M. Hydrologic pulses and remaining natural vegetation in Jaú and Jacaré-Pepira watersheds. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v.53, p.1127-1136, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132010000500017>.
- ROLO, D. A. M. O.; GALLARDO, A. L. C. F. G. RIBEIRO, A. P. Revitalização de rios urbanos promovendo adaptação às mudanças climáticas baseada em ecossistemas: quais são os entraves e as oportunidades? In: *XVII ENANPUR - Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional: caminhos do planejamento urbano e regional*. São Paulo, 2017.
- SANCHES, P. M. O papel dos rios na cidade contemporânea: dimensão social e ecológica. In: *Resumos expandidos e Programa do Seminário Nacional sobre o tratamento e Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restrições Ambientais ao Parcelamento do Solo*. p.69-72. São Paulo: FAUUSP, 2007.
- SANDER, C.; WANKLER, F. B.; EVANGELISTA, R. A. O.; SANTOS, M. L.; FERNADEZ, O. V. Q Intervenções

- antrópicas em canais fluviais em áreas urbanizadas: rede de drenagem do igarapé caranã, Boa Vista/RR. *Acta Geográfica*, v. 6, n. 12, 2012.
- SÃO PAULO. SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS. CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. *Roteiro de Elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica*. Anexo da Deliberação CRH nº 146/2012. 2012
- SELLES, I. M. *Revitalização de Rios - orientação técnica*. Cooperação Técnica Brasil-Alemanha, Projeto PLANÁGUASEMADS / GTZ. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001.
- SEPÚLVEDA, R. O. Qual revitalização queremos? In: MACHADO, A.T.G.M. *Revitalização dos rios no mundo*, p. 171-177. Belo Horizonte: Instituto Guaicury, 2010.
- SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n. 2, p. 9-18, abr/jun 2012.
- TUCCI, C. E. M. Gestão integrada das águas urbanas. REGA – *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 5, n. 2, p. 71-81, jul/dez 2008.
- TUCCI, C. E.; BERTONI, J. C. *Inundações Urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.
- TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. *Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica*. Brasília: MMA, 2006. 302p.
- UNESCO. *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*. 2018. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 170p.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. *Low Impact Development (LID): A Literature Review*. Washington D.C. 35 p. 2000.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. *Terminology of Low Impact Development Distinguishing LID from other Techniques that Address Community Growth Issues*. Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds. Washington, DC, 20460 EPA 841-N-12-003B. 2012
- URBONAS, B.; STAHR, P. *Stormwater: Best Management Practices and Detention for Water Quality, Drainage, and CSO Management*. Prentice Hall: Englewood Cliffs, New Jersey. 1992.
- VERÓL, A. P. *Requalificação fluvial integrada ao manejo de águas urbanas para cidades mais resilientes*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro - RJ. 2013.
- VIEIRA DA SILVA, R. C.; WILSON JR., G. *Hidráulica Fluvial*. COPPE/UFRJ, v. II, 256 p. Rio de Janeiro, 2005.
- ZALEWSKI, M. (ed.). 2002. *Guidelines for the Integrated Management of the Watershed: Phytotechnology and Ecohydrology*. Freshwater Management Series No. 5. PNUMA. Disponível em: www.unep.or.jp/ietc/Publications/Freshwater/FMS5/ Acesso em 17mar2019.

ZALEWSKI, M. Ecohydrology for compensation of Global Change. *Brazilian journal of biology*, 2010, vol. 70, no. 3 (suppl.), p. 689-695. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842010000400001>.

ZANANDREA, F.; SILVEIRA, A. L. L. Uso de técnicas de low impact development no controle de impactos hidrológicos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol.24 n.6, p.1995-1208, 2019. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019188729>.