

# DIRETRIZES ECOLÓGICAS EM PROJETOS DE RECUPERAÇÃO DE RIOS URBANOS TROPICAIS: ESTUDO DE CASO NO RIO TIJUCO PRETO (SÃO CARLOS-SP, BRASIL).

Evaldo L. G. ESPÍNDOLA

*Biólogo, ph.D, Professor Associado, Núcleo de Estudos de Ecossistemas Aquáticos, Depto de Hidráulica e Saneamento, EESC, Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador Sancarlense nº 400 Cx. Postal 292, São Carlos, SP, Brasil – e-mail: elgaeta@sc.usp.br*

Domingos Sávio BARBOSA

*Biólogo, MSc. Núcleo de Estudos de Ecossistemas Aquáticos, Universidade de São Paulo-EESC. Brasil. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental*

Eduardo Mário MENDIONDO

*Engenheiro Civil, ph.D, Professor Doutor, Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas, Depto de Hidráulica e Saneamento, EESC, Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador Sancarlense nº 400 Cx. Postal 292, São Carlos, SP, Brasil*

## Resumo

Grande parte dos rios urbanos tropicais encontra-se em estado avançado de degradação devido, principalmente, a ausência de tratamento dos efluentes domésticos. Contudo, somente o tratamento dos efluentes não é capaz de reabilitar aspectos funcionais de sistemas lóticos. O projeto de recuperação do Rio Tijuco Preto, financiado pela Prefeitura Municipal de São Carlos, desenvolvido por uma equipe multidisciplinar, teve como um dos pilares a recuperação de aspectos funcionais do sistema, buscando compatibilizar soluções de drenagem urbana, paisagismo e funcionalidade ecológica. O estudo foi desenvolvido em duas etapas: diagnóstico ambiental inicial e a elaboração de diretrizes para as obras de reabilitação. Na fase de diagnóstico, foram realizadas amostragens de água, sedimento e comunidades biológicas (macroinvertebrados), além de análises de características hidráulicas e ensaios ecotoxicológicos. Foi realizada uma análise retrospectiva das características ambientais existentes na década de 60, antes do processo de ocupação massiva. Foram identificadas as regiões do sistema que possuem alto valor para a recolonização de macroinvertebrados (diversidade Shannon de 2,1 e 3,1 bits/ind.) e como criadouros naturais de peixes e anfíbios. Posteriormente, foram elaboradas diretrizes para a realização das obras de recuperação. Em muitos casos, a opção por tecnologias que restabelecem aspectos funcionais dos sistemas lóticos apresentaram menores custos em relação à tecnologia convencional, sem interferir na eficiência da drenagem urbana. Um dos maiores problemas encontrados foi a obtenção de materiais que possuam resistência mecânica as fortes torrentes tropicais e que permitam criar uma estrutura física capaz de sustentar a funcionalidade ambiental em longo prazo.

**Palavras-Chave:** Reabilitação fluvial; rios urbanos; bioindicadores.

## 1. INTRODUÇÃO

Grande parte os rios urbanos tropicais encontra-se em estado avançado de degradação devido, principalmente, a ausência de tratamento dos efluentes domésticos. Contudo, somente o tratamento dos efluentes não é capaz de reabilitar aspectos funcionais de sistemas lóticos uma vez que a dinâmica de fluxo foi alterada devido às obras civis. Da mesma forma, o escoamento superficial das vias urbanas gera diversas formas de poluição difusa.

O projeto de recuperação do Rio Tijuco Preto, financiado no ano de 2003 pela Prefeitura Municipal de São Carlos (Estado de São Paulo, Brasil), desenvolvido por uma equipe multidisciplinar, teve como um dos pilares a recuperação de aspectos funcionais do sistema, buscando compatibilizar soluções de drenagem urbana, paisagismo e funcionalidade ecológica.

O projeto foi desenvolvido em duas etapas: a) diagnóstico ambiental inicial e b) elaboração de diretrizes para as obras de reabilitação. Na fase de diagnóstico, foram realizadas amostragens de água, sedimento e comunidades biológicas (macroinvertebrados), além de análises de características hidráulicas e ensaios ecotoxicológicos. Na fase de elaboração de diretrizes, foram realizadas diversas reuniões com os profissionais envolvidos no planejamento das obras, principalmente engenheiros civis e arquitetos, onde foram discutidas as principais estratégias construtivas que conciliassem funcionalidade ecológica com desempenho de drenagem urbana.

Segundo WADE et al. (1998), uma das diretrizes para o sucesso dos projetos de reabilitação de rios é que as obras realizadas sejam as mais realísticas possíveis, estando em sintonia com os requerimentos funcionais do sistema. Desta forma, durante o processo de consultoria para o planejamento das obras de restauração, foram discutidas diversas soluções técnicas que compatibilizassem a necessidade de eficiência na drenagem urbana, *design* paisagístico e funcionalidade ecológica.

Nas obras civis fluviais dos países em desenvolvimento, o componente da funcionalidade ecológica é um elemento pouco freqüente devido à própria formação dos engenheiros e também pela ausência de manuais e artigos especializados em abordagens construtivas ecologicamente funcionais. A necessidade de se realizar obras com funcionalidade ecológica em rios urbanos é necessária não somente pelo fato de trazer para a área urbana um componente ambiental mais rico, mas também, por fazer com que a água que será exportada para outro município ou área agrícola seja de melhor qualidade.

O presente texto é dividido em três partes: a) diagnóstico ambiental do rio Tijuco-Preto, a qual foi a base da elaboração das diretrizes ecológicas; b) diretrizes de recuperação, que são compostas por um conjunto de recomendações acerca dos materiais empregados e de seu arranjo no sistema e c) considerações finais.

## 2. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO RIO TIJUCO PRETO

### 2.1. Considerações gerais e delimitação da área de intervenção

O rio Tijuco Preto está localizado no perímetro urbano do Município de São Carlos (Estado de São Paulo, Brasil), e é um dos afluentes de pequeno porte do rio do Monjolinho, que nasce no mesmo município (Figura 01). O sistema está inserido totalmente na área urbana e possui uma área de 3,87 Km<sup>2</sup>, com de cerca de 1315 m extensão e largura entre 0,5 e 9,0 m, e a confluência com o rio do

Monjolinho ocorre nas proximidades da Cidade Universitária da Universidade de São Paulo. É um rio perene, com vazão no trecho de foz entre 0,03 e 0,06 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Contudo, em eventos de chuvas torrenciais pode alcançar até 10 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>.

O nome Tijuco, em linguagem Tupi-Guarani (ti'iuka) significa lamaçal, lameiro, charco, local onde se atola muito, termo que é designado a locais que apresentam lama de cor escura. O termo "Preto" deve-se provavelmente pela cor escura que suas águas apresentavam. De modo geral, o termo "água-preta" é adotado para sistemas que apresentam riqueza de substâncias húmicas, que conferem a água uma coloração escura.

As descrições históricas são de grande importância para os projetos de recuperação, pois revelam as condições ambientais que geralmente objetiva-se alcançar. No presente estudo, os relatos dos moradores foram tomados como testemunho das condições ambientais do sistema antes da expansão urbana e, desta forma, como a referência inicial das condições funcionais que se deseja alcançar. Segundo relatos de moradores, o rio Tijuco até a década de 60 (séc. XX), apresentava grande riqueza de fauna e flora, com vegetação semelhante a encontrada nas regiões de Mata Atlântica. Devido a pouca urbanização na época, era possível observar um grande número de pequenas nascentes, denominadas regionalmente de "olhos d'água", que afloravam das encostas arborizadas do sistema. O substrato era tipicamente arenoso-argiloso, com poucos trechos com rochas. Os taludes alcançavam cerca de 30m de altura em encostas com inclinação variável. O canal fluvial apresentava meandros com grandes áreas de deposição e os solos eram predominantemente hidromórficos.

A partir da década de 60, o sistema foi continuamente alterado até apresentar as condições atuais. A bacia apresentava, até o final do ano de 2003, cerca de 95% de impermeabilização, sendo que o canal fluvial pode ser dividido em quatro setores: a) área de nascente, que corresponde a um terreno de aproximadamente 20 x 100 m, limitado por residências e vias públicas, onde encontra-se a principal nascente do rio cercada por vegetação pioneira e palustre; b) trecho com cerca de 200 m de extensão onde o rio foi canalizado e aterrado; c) trecho onde o rio ressurge a superfície através de uma queda de água de aproximadamente 6 m de altura. Neste trecho, de aproximadamente 400m, existem ainda dois afluentes de pequeno porte (nascentes) e entradas de efluentes domiciliares e, d) trecho onde por cerca de 700 metros o rio encontra-se canalizado, tendo às suas margens viárias asfaltadas.

O projeto de recuperação prevê a renaturalização dos trechos indicados acima como *a*, *b* e *c*, onde ainda não foi construído um viário marginal como no trecho *d* à jusante. Assim, a área de intervenção é denominada de trecho de montante do rio Tijuco Preto, pois considera-se que as áreas que apresentam mananciais são as de maior prioridade na bacia. Desta forma, realizou-se uma avaliação limnológica do trecho de intervenção para gerar subsídios à geração de diretrizes de recuperação.

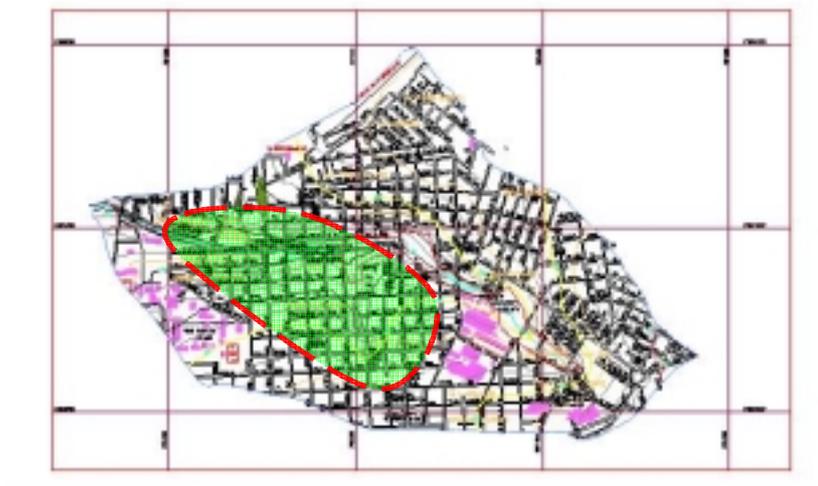


Figura 01: Bacia do Tijuco Preto, inserida da área urbana do município de São Carlos – SP (Brasil), com cerca de 2850 m de extensão. A área de intervenção (cerca de 2000 m) está sombreada em verde. (Fonte: CDCC/USP,2002).

## 2.2. Caracterização Limnológica

A avaliação limnológica compreendeu análises de água, sedimentos, comunidades biológicas (macroinvertebrados) e ensaios ecotoxicológicos. As análises foram realizadas nos laboratórios do Núcleo de Estudos de Ecossistemas Aquáticos (NEEA). Os métodos empregados estão sumarizados no Quadro 1.

Foram realizadas duas campanhas (meses de junho e outubro de 2003) em seis estações de amostragem, sendo quatro no canal principal do rio e duas em mananciais (minadouros) adjacentes ao sistema. Os dados obtidos foram transformados em índices, afim de que permitissem uma melhor interface de comunicação entre todos os membros da equipe, podendo também ser facilmente interpretado por membros da comunidade.

A partir dos dados de qualidade da água foi calculado o IQA (índice de qualidade das águas), conforme metodologia da Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 1992). Este índice integra um conjunto de nove variáveis de grande relevância para a saúde ambiental. A partir da triagem e identificação dos macroinvertebrados aquáticos, foram calculados os índices descritores de comunidades: riqueza, diversidade de taxa e equitatividade. Também foi observada a presença/ausência de peixes e anfíbios nas amostras.

Quadro 1: Metodologias adotadas nas análises de água, sedimentos e comunidades biológicas do rio Tijuco Preto.

<b>Água</b>		
<b>Variável</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Referência</b>
Temperatura (°C), pH Oxigênio dissolvido (mg/l) e Condutividade elétrica ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	Medidor portátil marca HORIBA U-10	
Demanda Bioquímica de Oxigênio DBO <sub>5</sub> (mg/l)		APHA (1995)
Nitrogênio Total Kjeldhal (mg/l), Nitrato ( $\mu\text{g/l}$ ), Nitrito ( $\mu\text{g/l}$ ) e amônio ( $\mu\text{g/l}$ ) e Silicato reativo (mg/l)	Espectrometria de massa	GOLTERMAN ET.AL. (1978) APHA (1995)
Íons Metálicos (Fe, Ca, Mg, Zn, Cr, Cu, Pb, Cd, Ni e Mn)	Espectrometria de absorvância atômica (digestão por HNO <sub>3</sub> )	
Coliformes Fecais e Totais	Collilerti Quanti-Try 2000	IDEXX (1996)
<b>Sedimentos e Comunidades</b>		
<b>Variável</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Referência</b>
Textura granulométrica	Peneiramento	SUGGUIO (1979)
Comunidade de macroinvertebrados		HAUER & LAMBERTI (1996)
<b>Bioensaios ecotoxicológicos</b>		
<b>Modalidade</b>	<b>Organismos</b>	<b>Referência</b>
Testes agudos	<i>Daphnia similis</i> , <i>Ceriodaphnia dubia</i> e <i>C. silvestrii</i>	CETESB (1992)

Os resultados das análises de qualidade de água para o trecho da intervenção, estão sintetizados na Figura 02. As cores representativas indicam o nível de comprometimento da qualidade da água. Observa-se que existe a tendência do comprometimento maior da qualidade no canal fluvial e que os dois mananciais apresentam qualidade relativamente melhor. No Quadro 2, estão apresentados os valores obtidos para cada estação para o IQA e dos índices descritores de comunidade.

Desta forma, pode-se inferir que a qualidade da água é comprometida diretamente pelo lançamento de efluentes e que a qualidade da água subterrânea pode favorecer a reabilitação do sistema. Contudo, na campanha do mês de junho, observou-se que apesar das estações 2 e 6 não estarem alinhadas no eixo longitudinal do rio, houve um tendência do aumento de pH (entre 5,29 e 5,97) e de condutividade elétrica (entre 96 e 160  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) da água no sentido nascente-foz. Este efeito pode ter sido causado pelo efeito cumulativo da concentração de sais dissolvidos ao longo da bacia, que é favorecido pelas chuvas, o que pode ser reflexo da contaminação do solo e das águas subterrâneas.

Quadro 2: Valores médios calculados do IQA e dos índices descritores de comunidade para as estações de amostragem do rio Tijuco Preto em junho e outubro de 2003.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
<i>IQA</i>	85	90	39	35	40	93
<i>Riqueza</i>	6,0	16,0	1,0	1,0	1,0	4,0
<i>Shannon</i>	2,16	3,10	0,00	0,00	0,00	0,31
<i>Eq. Pielou</i>	0,84	0,77	0,00	0,00	0,00	0,15

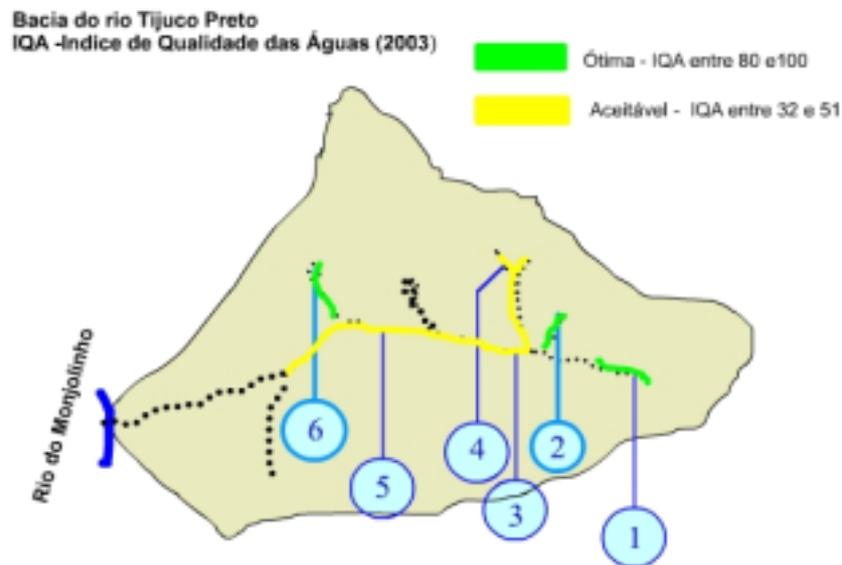


Figura 02: Mapa representativo da qualidade da água no trecho de intervenção do rio Tijuco Preto, com base nos valores calculados de IQA.

Os dados das análises das comunidades de macroinvertebrados (Figura 03), indicam que a nascente (Estação 1) e os mananciais (Estações 2 e 6), são os que apresentam maiores valores de índices de diversidade de taxa, com valores de 2,16; 3,10 e 0,31 bits/ind., respectivamente. Foi encontrado um total de 17 taxa, sendo a maioria pertencente a Classe Insecta. Nas estações 3, 4, 5 e 6, a espécie de macroinvertebrado dominante foi *Chironomus riparius*, que reforça a tese de que a contaminação, principalmente a carga orgânica, é a causa da degradação das comunidades biológicas no sistema. Desta forma, este trecho do rio apresenta grande déficit funcional em relação às regiões de nascente.

Portanto, constata-se que as regiões de nascente apresentam-se como os maiores reservatórios de diversidade biológica do sistema em relação aos trechos de águas correntes do rio Tijuco Preto. Nestes últimos, a contaminação da água a degradação das condições de habitat podem ser considerados como os dois principais fatores que promovem a redução da riqueza e diversidade da comunidade. Esta tese é comprovada pela presença de peixes e anfíbios em maior número nas amostras dos mananciais.

Através das análises da textura granulométrica, pode-se constatar que com exceção da estação 8, que apresenta o fundo rochoso (devido a presença de restos de material de uma ponte), as demais estações caracterizam por sedimentos com textura predominante classificada em areia fina médio siltosa. Nos mananciais o substrato para os macroinvertebrados tornava-se mais complexo devido a presença de diversas macrófitas aquáticas, o que, segundo HYNES (1970), favorece a colonização dos macroinvertebrados.

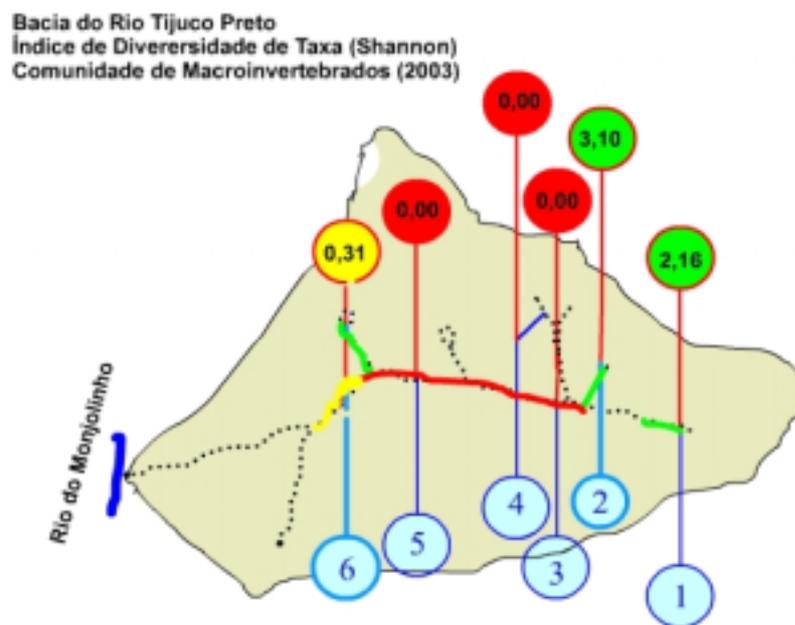


Figura 03: Mapa representativo da diversidade de macroinvertebrados no trecho de intervenção do rio Tijuco Preto, com base nos valores calculados do índice de diversidade de Shannon, para as famílias de organismos.

### 3. ELABORAÇÃO DAS DIRETRIZES ECOLÓGICAS PARA A REABILITAÇÃO FLUVIAL

O processo de elaboração de diretrizes para a reabilitação fluvial teve como fundamento o diagnóstico ambiental e o conjunto de conceitos ecológicos relacionados à ecologia fluvial. Foram diferenciadas duas esferas de atuação das diretrizes ecológicas: a esfera física e a esfera política.

Na esfera física estão as orientações destinadas à execução das obras que envolvem modificações físicas no ambiente (habitat), tais como a reconstrução dos canais fluviais. Na esfera política estão os processos que envolvem a mudança de hábitos da comunidade da bacia, que abrangem os usos preponderantes das águas do sistema bem como as decisões políticas que venham a interferir na dinâmica natural do ambiente.

A esfera política é a mais complexa por envolver diversos conflitos de interesse e decisões que alteram a dinâmica do sistema em longo prazo. Por este motivo, o trabalho foi iniciado dentro desta esfera, procurando-se identificar dentre os principais atores políticos da bacia (Setor Público, Setor

Privado e Comunidade), as tendências de intervenções em curto e médio prazo. A equipe de pesquisa considerou todas as alterações futuras em médio e curto prazo dos setores público e privado, que possuíam respaldo legal, como parte integrante do plano de reabilitação. Este procedimento reduziu os conflitos entre as propostas do projeto e realidade local.

Em outro sentido, com base nos dados do diagnóstico ambiental, atores dos setores público e privado foram alertados sobre os riscos em médio e longo prazo das intervenções desejadas. Da mesma forma, foram esclarecidas as ações prioritárias necessárias para o sucesso das obras de reabilitação fluvial, tais como a retirada dos pontos de despejo de efluentes e a desapropriação de Áreas de Preservação Permanente (APP's), especialmente aquelas encontradas às margens do rio e dos mananciais.

Com a comunidade, o trabalho da equipe de Educação Ambiental permitiu uma troca de informações semelhante à observada entre os setores público e privado. Através de entrevistas, a equipe reconheceu os anseios da população em relação ao rio e sua bacia. Em outro sentido, foram propostas diversas formas de difusão das informações relativas a conservação do rio Tijuco Preto e dos sistemas aquáticos em geral, ainda usado como elemento balizador algumas informações diagnóstico ambiental.

Ressalta-se que o trabalho direto com as comunidades é essencial nos planos de reabilitação fluvial em países em desenvolvimento, pois a base legal e cultural acerca dos usos dos recursos hídricos ainda não privilegia a conservação. Apesar da legislação brasileira de recursos hídricos visar a evolução de diversos parâmetros internacionais de qualidade, a conservação dos sistemas é prejudicada pela força da "prioridade social" que prioriza diversas atividades econômicas.

Com base nas informações sobre o futuro político em médio e longo prazo da bacia, foi possível estabelecer os limites das decisões do projeto no âmbito físico, isto é, o projeto de reabilitação em si. As diretrizes ecológicas foram desenvolvidas com a equipe, tendo como base física o habitat e como base conceitual o habitat funcional.

O objetivo do projeto foi o de elaborar um plano de reabilitação que permitisse conciliar necessidades de drenagem e aspectos funcionais de sistemas lóticos. O primeiro passo foi definir o que é a funcionalidade ecológica dentro da unidade física de trabalho (o habitat). Neste sentido, foi explanado sobre os conceitos de Ward (1989), que descreveu que os sistemas lóticos são tetra-dimensionais, isto é, possuem componentes laterais, verticais e longitudinais que se modificam ao longo do tempo e também as diretrizes traçadas por Boon (1992), que incorporou um quinto componente, a dimensão conceitual humana, como variável de controle no sistema rio.

Desta forma, foi possível estabelecer a primeira diretriz que é a continuidade/conectividade do sistema e a necessidade de atender ao aspecto tetra-dimensional dos rios. Com isto estabelece-se como meta inicial a busca por uma alternativa além da proposta construtiva tradicional, que é a canalização com concreto em um canal retilíneo. Havia a necessidade de manter a comunicação entre o canal e o lençol freático durante todo o percurso do rio, mas com materiais que permitissem dar estabilidade ao fundo do canal.

Apesar do retrospecto histórico revelar que o rio Tijuco Preto possuía substratos não consolidados, como argila e areias, a atual condição de drenagem (com 95% de impermeabilização), impede que se restaure as condições iniciais do sistema antes da urbanização maciça. Desta forma, as novas condições ambientais impõem medidas de criação de outras condições funcionais ao sistema.

O uso de gabiões foi proposto como primeira alternativa, sendo que foram levantadas diversas questões acerca da estabilidade hidráulica e segurança sanitária do sistema. Em países tropicais, ambientes rochosos costumam ser habitats preferenciais de animais como os escorpiões (*e. g. Titius sp.*), que conferem riscos à população. Contudo, os grandes riscos à segurança ocorrem quando o ambiente é infestado por estes animais, sendo que as medidas de controle estão relacionadas ao combate à suas presas (insetos de pequeno porte), que possuem grande relação com as melhorias das

condições sanitárias gerais do ambiente. Para dar suporte a esta tese, foi realizada uma investigação preliminar em um outro sistema do mesmo município que fora construído com gabiões, sendo encontrados poucos indivíduos de escorpiões, o que, neste caso, leva a conclusão que o sistema é seguro, contudo, que sejam feitas investigações em escala regional para que sejam avaliados os riscos de infestação por animais peçonhentos.

Em uma proposta que adequasse aspectos paisagísticos, foi proposto o uso de madeiras (em paliçada) juntamente com os gabiões, formando arranjos versáteis em hidráulica estética e funcionalidade. Os custos foram calculados em relação aos tubos de concreto e o valor obtido no final da obra foi menor. Contudo, a disponibilidade regional dos materiais necessários é uma fator crucial na elaboração dos projetos.

Contudo, nesta etapa dos trabalhos, foi necessário adequar o conjunto da proposta dentro de uma escala espacialmente maior. O conceito de Frissel et al. (1986), que trata da estrutura hierárquica dos habitats aquáticos (Figura 04), foi então avaliado. Este conceito foi importante para se estabelecer em qual escala espaço-tempo estão inseridas as obras e assim definir em que intervalo de tempo as transformações ambientais ocorrem, bem como o grau de sensibilidade dos ambientes construídos.

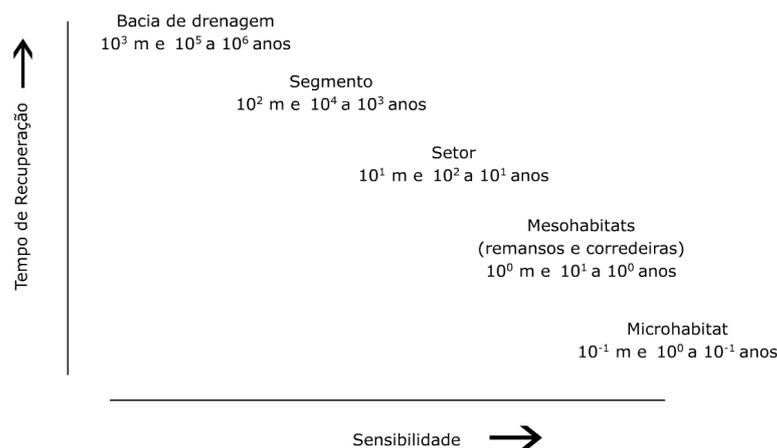


Figura 04: Relação entre tempo de recuperação e escala espacial no sistema de organização hierárquica de bacias hidrográficas (modificado de Frissell *et al.* 1986).

Definiu-se que a estrutura de gabiões e paliçada (de madeira ou bambú) compreendia a escala de microhabitat e que esta estrutura, em princípio, atendia as necessidades ambientais. Fez-se necessária a abordagem em uma escala superior, ou seja, a de mesohabitat. Neste caso, buscou-se estruturar o percurso do canal de forma a simular um sistema de remansos e corredeiras. Como não havia a possibilidade de implantação de curvas em todo o trecho, foram esboçados dois modelos de remansos e corredeiras que pudessem ser instalados em uma perspectiva linear, de modo alternado, em escala compatível com as vazões previstas para o trecho. Neste arranjo, os conceitos associados a ecodinâmica foram de grande importância na compreensão da relação entre os sistemas físicos e a biota aquática. A ecodinâmica possibilita a interação entre conceitos ligados ao fluxo e as condições da biota. Um dos parâmetros que podem ser utilizados para esta finalidade é o número de Froude (Fr).

De acordo com Kemp *et al.* (2000), existe uma tendência à ocorrência de ambientes mais rochosos em regiões com o Fr elevado. Os habitats com Fr menor geralmente estão associados à

deposição de sedimentos finos ou ao desenvolvimento de macrófitas emergentes e flutuantes. Desta forma estes autores concluem, apesar das críticas ao método, que existe uma relação entre habitat funcional e Fr, podendo este parâmetro ser utilizado para o desenvolvimento de projetos de recuperação e manejo de sistemas lóticos.

No presente projeto, pode-se estimar as tendências de riqueza biológica a partir dos dados gerados em modelos numéricos de vazão e estimativas do número de Froude. A partir deste alinhamento, foi possível definir quais locais necessitariam de um conjunto maior de remansos e corredeiras ou ainda estimar onde poderiam ocorrer as formações de bancos maciços de macrófitas.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com base nos conceitos e nas diretrizes, foi possível que a equipe elaborasse um projeto com três tipos de cenários ambientais em médio e longo prazo: sem obras de renaturalização, com obras tradicionais de engenharia e com obras que apresentam funcionalidade ecológica. Constatou-se que as obras tradicionais apresentam maiores custos e menor funcionalidade ecológica, porém a mesma tecnologia podem ser empregada em diversas situações, havendo maior disponibilidade de materiais no mercado.

Os projetos com funcionalidade ecológica apresentaram custos relativamente menores em relação às obras tradicionais de concreto, contudo, com a necessidade de uma fase de planejamento maior e adaptações para cada tipo de caso, além de ser necessário um esforço maior para a busca de materiais e soluções prontas. Recomenda-se o uso de obras "híbridas" onde possam ser adaptadas as tecnologias das duas tendências, como forma de estimular a implantação de sistemas de renaturalização fluvial com funcionalidade ecológica.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem aos pesquisadores do NEEA (Dra. Janete Brigante, Dra. Márcia N. Eler e ao Téc. Amândio M. Nogueira) e aos pesquisadores do projeto "Pró-Tijuco" (Eng. Quím., MSc. Maria R. Chagas, Eng. Alfredo Akira Ohnuma Jr., Arq. Elisânia Magalhães Alves, Arq. Tatiana Bottari, Eng. Andréa Monteiro Lira, Arq. Eduardo Araújo Silva, Biól., M.Sc. Fabiano Tonissi, Arq. Heloísa Ceccato Mendes Silva, Eng. M.Sc. Regina Mambeli Barros, Arq. Renata Bovo Peres, Biól., M.Sc. Roberto Teixeira de Lima, Eng. Flor. Rubens de Miranda Benini e Eng. Thiago Augusto Maziero).

#### **BIBLIOGRAFIA**

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA (1995). *American Water Works Association, Water Pollution Control Federation - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 25<sup>a</sup> ed. New York. 720p.

BOON, P. J. (1992) " *Essential elements in the case for the river conservation In: River conservation and management*" editado por BOON P. J., CALOW; PETTS, G. E; New York. John Wiley & Sons, p 11-36.

- CETESB (1992). *Água - Métodos de avaliação da toxicidade de poluentes a organismos aquáticos*. V.1 (série didática).
- FRISSELL, C. A.; LISS, W. J.; WARREN, C. E.; HURLEY, M. D. (1986) "A hierarchical Framework for stream habitat Classification: Viewing streams in watershed context ". *Environ. Management* 10 (2): p. 199-214.
- GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. (1978). *Methods for physical and chemical analysis of freshwaters*. 2 ed. IBP. Handbook n° 8. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 213p.
- HAUER, F. R & LAMBERTI, G. A. (1996) (ed) *Methods in stream Ecology*. Academic Press. San Diego. p 93-106. London. 674 p.
- HYNES, H. B. (1970) *The Ecology of Running Waters* Liverpool: Liverpool University press. 555p.
- KEMP, J. L.; HARPER, D. M.; CROSA, G. A. (2000) " The habitat-scale ecohydraulics of rivers". *Ecological Engineering* 16: 17-29p.
- MACKERETH, F. J. H., HERON, J., TALLING, J. F. (1978). *Water analysis: some revised methods for limnologists*. England: Scientific Publication. 121p.
- SUGUIO, K. (1973) *Introdução à sedimentologia*. São Paulo: Edgard Blücher/EDUSP. 317 p.
- WADE, P. M.; LARGE, A. R. G & WAAL, L. C. (1998) "*Rehabilitation of degraded river habitats: an introduction* In *Rehabilitation of rivers: principles and implementation*", editado por LARGE, A. R. G. & WADE, P. M. Wiley. Chichester, p 1-10. 331p.
- WARD, J. V. (1989) " The four dimensional nature of lotic ecosystems " *J. N. Am. Benthol. Soc.* V.8 (1): p. 2-8.