

A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento

JOSÉ GALIZIA TUNDISI, TAKAKO MATSUMURA-TUNDISI, DANIELA CAMBESES PARESCHI, ANNA PAULA LUZIA, PAULO H. VON HAELING e EDUARDO H. FROLLINI



Foto Elias Grimberg

Represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa), uma das três represas da bacia do Tietê/Jacaré.

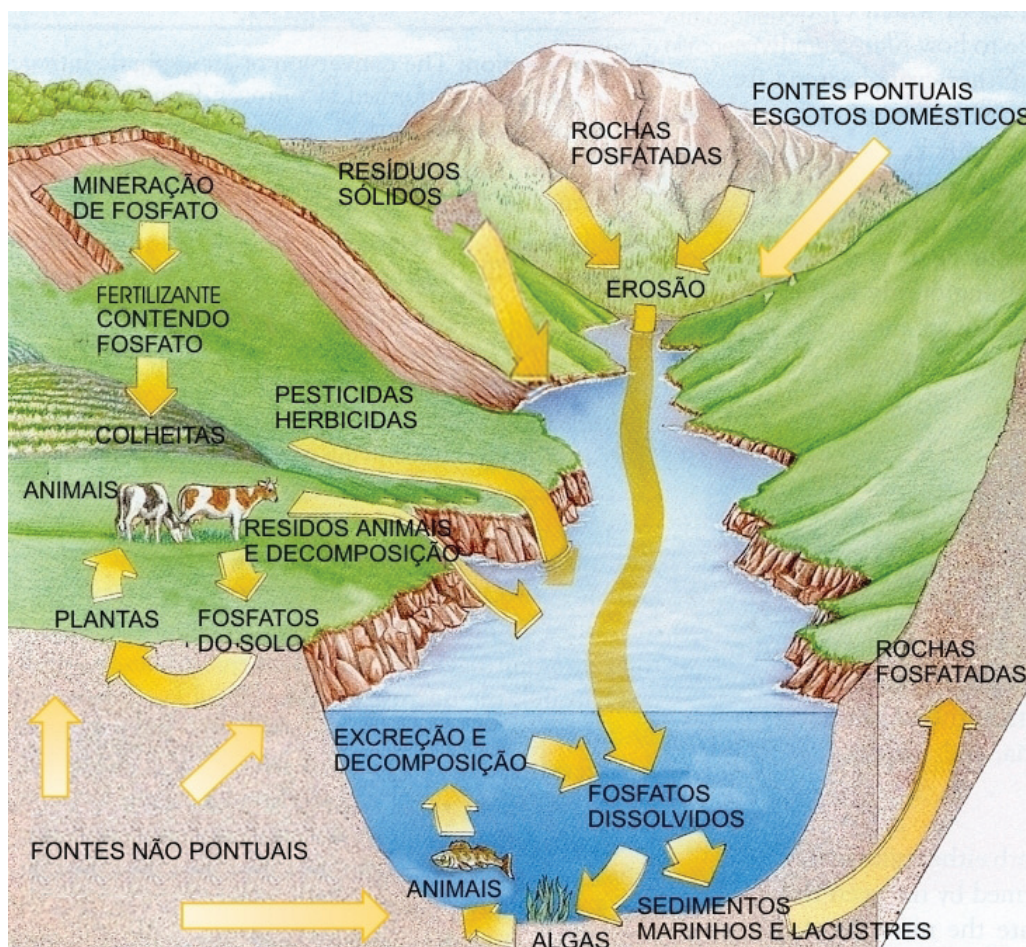
Introdução

BACIA HIDROGRÁFICA é a unidade biogeofisiográfica que drena para rio, lago, represa ou oceano. O conceito de bacia hidrográfica como unidade de pesquisa, gerenciamento e aplicação das informações básicas, é resultado de longa evolução iniciada praticamente com a implementação do conceito de *carga* por Vollenweider (1968) e consolidado com os estudos de Likens (1984, 1992) demonstrando os experimentos e o trabalho de longa duração no Hubbard-Brook, uma pequena bacia hidrográfica situada nos Estados Unidos.

Atualmente, portanto, esse conceito está bem estabelecido e consolidado, representando um grande processo de descentralização da gestão baseada em pesquisa e inovação aplicada a cada bacia hidrográfica. Nesse contexto, escalas espaciais e temporais são fundamentais para considerar.

A Figura 1 representa o conceito de bacia hidrográfica com todos os principais componentes importantes para a pesquisa e o gerenciamento.

Neste trabalho, os autores sintetizam o conhecimento existente e a sua aplicação para gestão na bacia do Tietê/Jacaré, Estado de São Paulo.



Fonte: Modificada de Dobson & Beck (1999).

Figura 1 – A bacia hidrográfica como unidade.

A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré e suas características principais

O Estado de São Paulo tem atualmente 22 Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (22 Ugrhis) que são as unidades necessitando de articulação entre pesquisa, gerenciamento e aplicação de inovações. A Figura 2 mostra essas unidades de gestão e sua distribuição espacial no Estado de São Paulo, destacando-se a unidade de gestão n.13 que é a bacia do Tietê/Jacaré, localizada no centro do Estado. A Figura 3 delinea as características principais da bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré com seus 34 municípios.

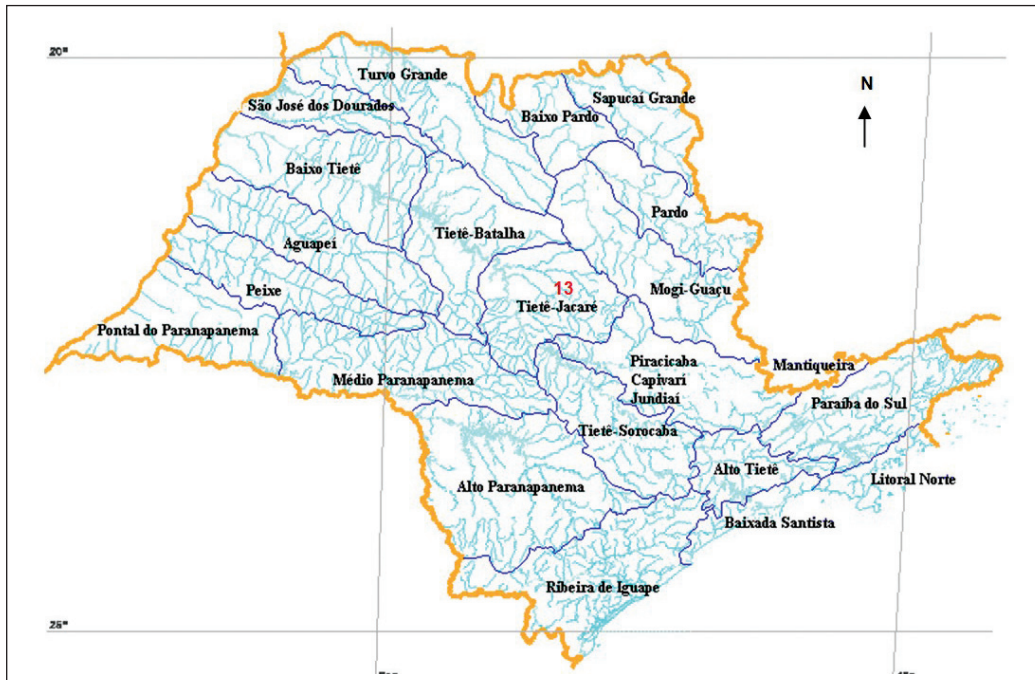


Figura 2
As 22 Unidades de Gestão de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.
A bacia do Tietê/Jacaré, n.13, localiza-se no centro do Estado.

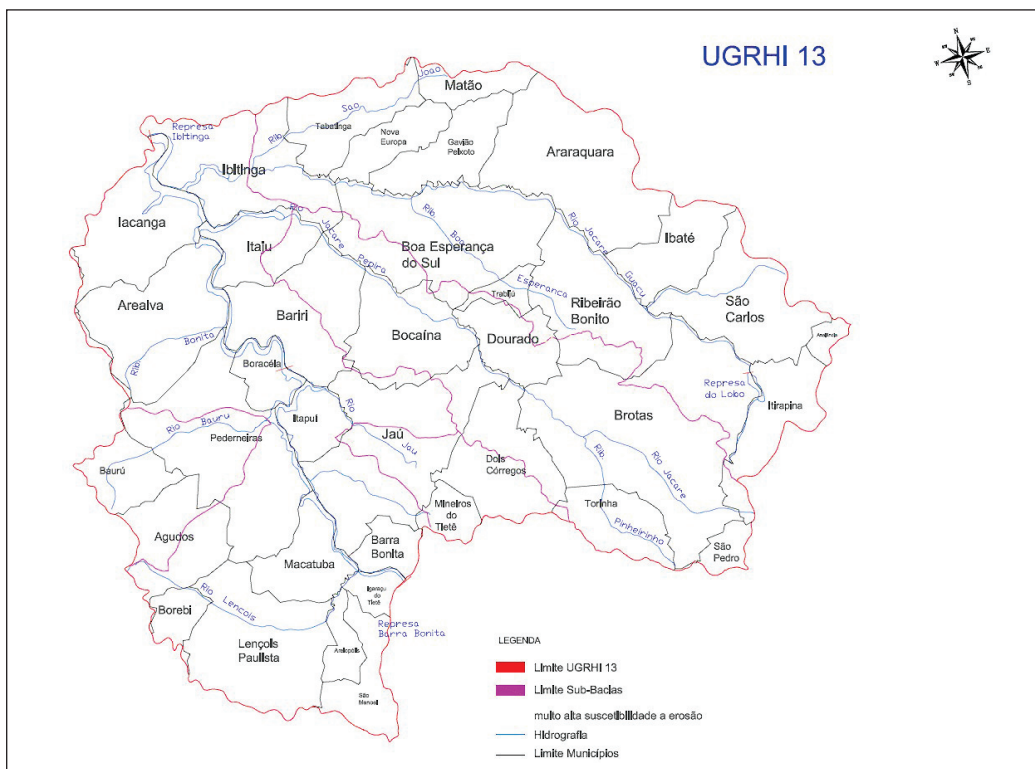


Figura 3 – Municípios da bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré.

Essa bacia hidrográfica, localizada no centro do Estado de São Paulo (entre 49°32' - 47°30' longitude e 21°37' - 22°51' de latitude), engloba três rios principais, o Rio Tietê (em um total de 150 km da barragem de Barra Bonita até a barragem da Ibitinga), o Rio Jacaré-Guaçu e o Rio Jacaré Pepira. A essa unidade pertencem três reservatórios: Bariri, Ibitinga e UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa). A área de drenagem da bacia é de 11.749 km². O clima dessa unidade de gestão, pela classificação de Koppen, situa-se entre clima tropical úmido (de outubro a março) e inverno seco (de abril a setembro). O relevo é variável com o ponto máximo de altitude a 800 m na região de São Carlos onde se encontram as numerosas nascentes que alimentam a bacia hidrográfica. A unidade Tietê/Jacaré está na Depressão Periférica do Estado de São Paulo e onde se encontram os aquíferos Bauru/Serra Geral/Botucatu. Em sua maioria, a bacia é formada por solos de areias quartzosas profundas a moderadas e em menores quantidades ocorre latossolo roxo eutrófico.

A Tabela 1 mostra a disponibilidade hídrica e os usos múltiplos da água na bacia do Tietê/Jacaré.

Tabela 1 – Disponibilidade hídrica na bacia do Tietê/Jacaré e usos múltiplos da água

Disponibilidade Hídrica		
Vazão disponível em condições críticas – 26m ³ /s		
Precipitação total anual média (mm) – 1.310		
Vazão superficial média (m ³ /s) - 97		
Vazão superficial mínima (m ³ /s) – 40		
Vazão de referência (m ³ /s) – 286		
Disponibilidade subterrânea (m ³ /s) – 12,9		
Usos e Demandas (m³/s)		
Uso Superficial	Vazão	Lançamento
Doméstico	1,99	2,42
Industrial	6,81	4,85
Irrigação	12,71	-
Rural	0,25	-
Total	21,77	7,27

Fonte: <http://www.sigrh.sp.gov.br>, acesso em 2005

A Figura 4 mostra a principais sub-bacias.

A Figura 5 mostra a média mensal da precipitação na bacia do Rio Tietê/Jacaré (últimos vinte anos), verificando-se um período de precipitação mais intenso no verão e um período de menor precipitação no inverno. A precipitação anual é da ordem de 4.400 mm.

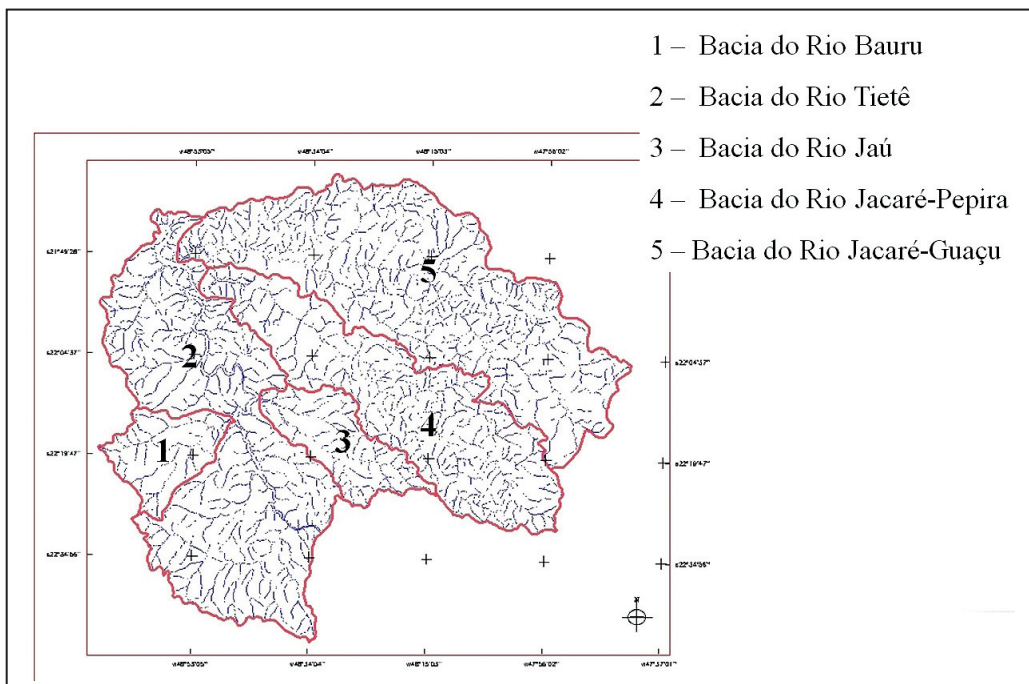
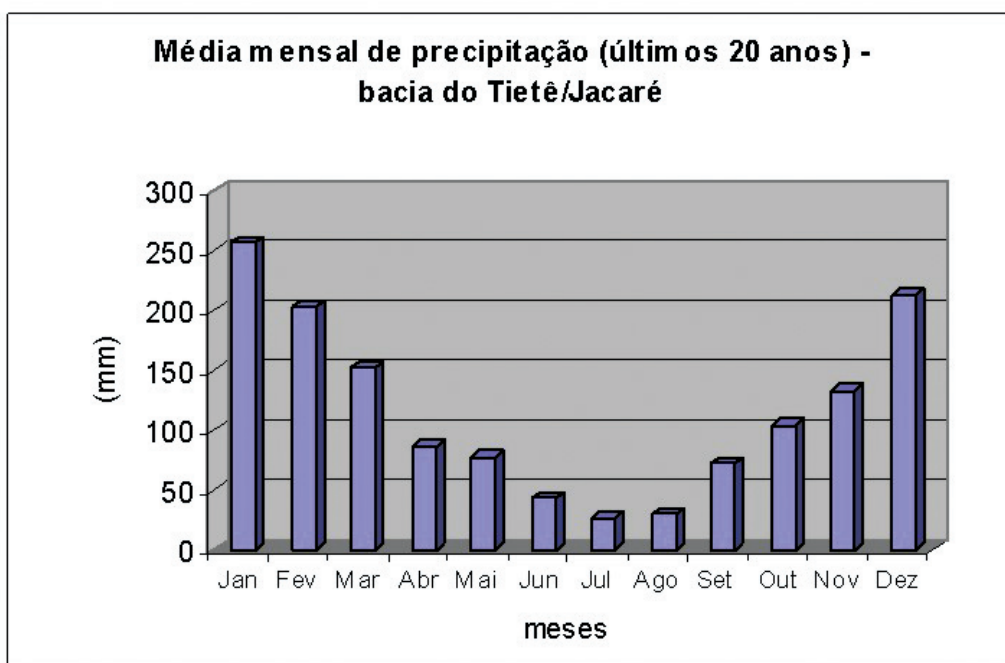


Figura 4 – Divisões das sub-bacias principais da bacia do Tietê/Jacaré.



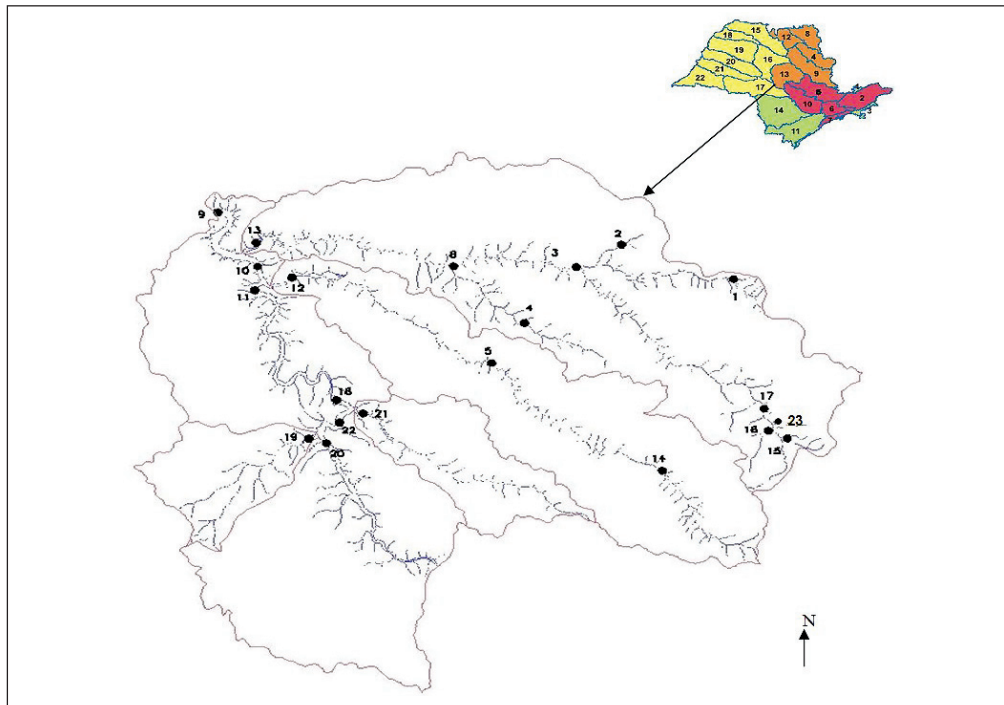
Fonte: Relatório Finep/Cthidro (2007).

Figura 5 – Média mensal da precipitação nos últimos 20 anos da bacia do Tietê/Jacaré.

Metodologia de estudos

Durante um período de três anos, 2005 a 2007, o Instituto Internacional de Ecologia realizou extensos estudos na bacia do Tietê/Jacaré. Esses estudos foram aplicados na identificação dos principais problemas apoiados em diferentes tecnologias. Uma síntese da metodologia é apresentada:

- Geoprocessamento para identificação dos usos do solo, áreas urbanas, rede hidrográfica e áreas de vegetação natural. Foram verificadas áreas de maior suscetibilidade a erosão, e identificados os principais usos do solo.
- Análise da qualidade da água dos principais rios com pontos de amostragem representativos em toda a bacia do Tietê/Jacaré (Figura 6). Nessas análises foram determinadas as condições físicas, químicas e biológicas e identificadas as principais fontes pontuais de contaminação e eutrofização. Foram identificadas cargas pontuais e não-pontuais de nutrientes, especialmente N e P, a partir das análises da qualidade da água dos tributários; foi estimada a contribuição do material em suspensão em razão dos usos do solo e da cobertura vegetal. A comunidade bentônica indicadora da qualidade das águas foi também estudada. A avaliação do grau de contaminação com metais pesados, pesticidas e herbicidas também foi realizada.
- Elaboração do banco de dados com as informações hidrológicas, disponibilidade e demandas hídricas, usos do solo, dados climatológicos e informações econômicas sobre a bacia hidrográfica, população e usos múltiplos da água.



Fonte: Relatório Finep/Cthidro (2007).

Figura 6 – Pontos de coleta nas principais sub-bacias da bacia do Tietê/Jacaré.

Usos do solo, atividades econômicas e vulnerabilidades da bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré

Nos 34 municípios da bacia hidrográfica, com uma população total de aproximadamente 1.200.000 habitantes, as principais atividades econômicas são o agronegócio (usinas de açúcar e álcool, mineração, curtumes e fundições). Os usos do solo são, portanto, caracterizados por atividade agroindustrial e agropecuária.

Na zona rural predominam extensas culturas de cana-de-açúcar, laranja, pastagens e áreas de reflorestamento com *Eucalyptus* sp e *Pinus* sp. Na bacia hidrográfica restam apenas 11,31% de áreas de vegetação nativa que consiste em cerrados e florestas ripárias ao longo do curso dos tributários.

Como um exemplo representativo dos usos do solo, as Tabelas 2 e 3 mostram, respectivamente, os diferentes usos em porcentagem de ocupação do solo e das áreas naturais em duas sub-bacias.

Tabela 2 – Áreas percentuais de uso e ocupação do solo na Bacia do Rio Jacaré-Guaçu

Ocupação	% da Área
Pastagens	33,83
Cana-de-açúcar	23,49
Vegetação rasteira residual	16,21
Reflorestamento	7,7
Vegetação baixa residual	5,05
Culturas temporárias	4,55
Culturas perenes	3,41
Cidades (acima de 30.000)	2,55
Várzea	1,3
Cerrado	1,22
Campo cerrado	0,32
Floresta secundária	0,29
Cerradão	0,09

Fonte: Souza (1996).

A Figura 7 mostra os usos do solo na bacia Tietê/Jacaré.

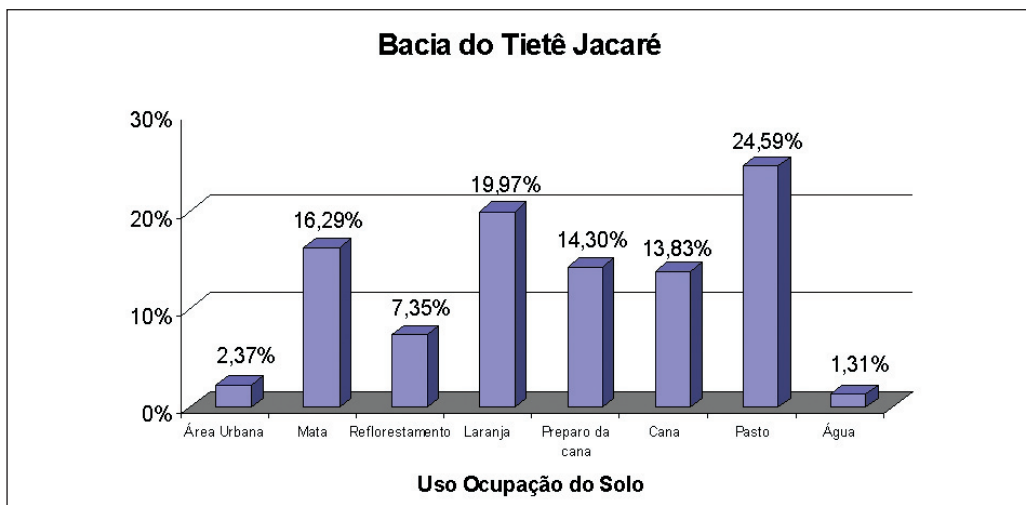
As principais vulnerabilidades da bacia do Tietê/Jacaré em razão dos usos do solo, atividades econômicas e das áreas urbanas existentes são:

- Despejos de resíduos domésticos (esgotos) sem tratamento na maioria dos municípios da bacia hidrográfica, agravando as condições de contaminação e eutrofização de rios e represas (Pamolare, 2001).

Tabela 3 – Áreas percentuais de uso e ocupação do solo na bacia do Rio Jaú

Ocupação	% da Área
Pastagens	68,24
Cana-de-açúcar	23,04
Café	6,06
Silvicultura	1,33
Cidades	0,59
Floresta	0,27
Outros usos	0,27
Cerrado	0,09
Indústrias	0,05
Culturas anuais	0,04
Citrus	0,03

Fonte: Souza (1996).



Fonte: Baseado em imagem Landsat (2004).

Figura 7

Percentual de áreas utilizadas pelas atividades humanas e áreas de vegetação nativa na bacia do Tietê/Jacaré.

- Extensas áreas de ocupação do solo com culturas, produzindo grandes quantidades de matéria em suspensão, o que causa perda de $20 \text{ ton} \times \text{hectare}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$ do solo, colmatando rios e represas e comprometendo a qualidade da água. A aplicação de fertilizantes e pesticidas no solo aumenta a vulnerabilidade dos corpos de água a estes contaminantes e aumenta os custos do tratamento das águas.
- Aumento das fontes não-pontuais de nitrogênio e fósforo.

- A ausência de vegetação em grande área da bacia compromete o efeito tampão desta vegetação, aumentando a drenagem e carreando substâncias e elementos para os corpos de água (Tundisi et al., 2006).
- As áreas alagadas que também podem ter um efeito-tampão importante na bacia hidrográfica (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008) ficam comprometidas pelo avanço das áreas agrícolas. A redução dessas áreas é um das grandes vulnerabilidades da bacia hidrográfica.
- Comprometimento dos rios urbanos em razão da degradação das áreas urbanas e da má gestão ambiental nos municípios. Esse comprometimento dos rios urbanos na maioria dos municípios atinge toda a bacia, despejando água contaminada nos rios principais.
- Aumento da demanda da água nas regiões urbanas e aumento dos usos da água para irrigação, especialmente durante os períodos de seca e inverno, agravando o déficit hídrico natural existente nesse período.
- Comprometimento dos aquíferos pelo uso desordenado do solo, despejo de resíduos. Comprometimento da recarga pela deficiência da vegetação e aumento da contaminação dos aquíferos.
- Perda de espécies nativas terrestres e aquáticas pela ausência da vegetação, poluição das águas e introdução de espécies exóticas de peixes nos reservatórios (Rocha et al., 2005).
- Uma das vulnerabilidades recentes na bacia hidrográfica é a presença do mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*), espécie invasora que tem produzido inúmeros danos aos sistemas aquáticos, e alterando canais, tubulações e estruturas com prejuízos para a sua manutenção. Essa espécie invasora já causou danos extensos em represas e estruturas da bacia da Prata (Penchaszadeh, 2005).
- Os usos múltiplos da água na bacia hidrográfica são diversificados: *abastecimento público; transporte e navegação nos reservatórios; pesca e aquíicultura; irrigação; turismo e recreação nos rios e reservatórios; usos industriais; curtumes e mineração*. O conjunto desses usos gera resíduos que contribuem para o aumento das vulnerabilidades da bacia hidrográfica.

Proposta de gestão

Considerando-se a disponibilidade de recursos hídricos e a demanda, as principais atividades econômicas e as vulnerabilidades dessa unidade de gestão, uma proposta referente à aplicação do conhecimento existente foi elaborada. Essa proposta considera as seguintes abordagens:

- Valoração dos serviços dos ecossistemas (MEA, 2003).
- Integração de processos econômicos, sociais e ambientais no programa de desenvolvimento sustentado da bacia. A questão principal é: dado o conjunto de ações e atividades humanas existentes e a disponibilidade de recursos hídricos, qual a vocação da bacia hidrográfica que deve ser

mantida? Como se adapta essa vocação (atualmente predominantemente agrícola) à disponibilidade de recursos hídricos?

- Uma das principais vocações é o agronegócio em larga escala, seguido de atividades localizadas em diferentes municípios.
- Desenvolvimento do índice de *qualidade da bacia hidrográfica*; esse índice propõe duas categorias: *condição* da bacia determinadas por características gerais, usos do solo e qualidade da água, e a *vulnerabilidade* especialmente com relação ao abastecimento público, potencial de eutrofização e determinação de áreas de impacto relacionadas ainda com a saúde humana e a qualidade da água.

Esses índices, desenvolvidos por Matsumura-Tundisi (2006) e Dupas et al. (2006) têm os seguintes objetivos:

- a) Índice de integridade biótica em razão de parasitas de peixes – a determinação da qualidade da água leva muitas vezes ao aumento e à diversificação de parasitas de peixes (Silva-Souza et al., 2006).
- b) Indicadores de qualidade da água para abastecimento público.
- c) Índices de contaminação dos sedimentos.
- d) Qualidade das águas em função de poluentes tóxicos; pesticidas; herbicidas; metais pesados.
- e) Índices de perda de área alagadas.
- f) Porcentagem de área de florestas preservadas ou de perda de áreas florestadas na bacia hidrográfica.

Na categoria *vulnerabilidade* destacam-se:

- Espécies aquáticas em risco (Rocha et al., 2006).
- Cargas de poluentes tóxicos.
- Potencial de drenagem urbana.
- Potencial de drenagem de áreas rurais.
- Mudanças populacionais.
- Possíveis impactos nas águas superficiais e subterrâneas.

A proposta de gestão deve incluir cenários para o futuro com um horizonte de trinta anos. Questões propostas para cenários:

- Usos de água na agricultura: tendência atual e futuros usos em razão do tipo de cultura e de produção agrícola.
- Taxa de crescimento de população e potencial de urbanização e despejo de esgoto doméstico.
- Alterações hidrológicas e na disponibilidade hídrica em razão das mudanças globais: cenários preditivos e quantitativos. A bacia do Tietê/Jacaré poderá perder 30% de sua disponibilidade hídrica em razão das mudanças globais (informação pessoal de Eneas Salati). Os cenários de-

verão incluir adaptações e ajustes da economia e do abastecimento de água a esses processos, incluindo também redução de demanda; com as mudanças globais pode aumentar o potencial de eutrofização e contaminação de rios e represas (Pamolare, 2001; Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008; Paerl & Huisman, 2008).

- Cenários em relação aos aquíferos: uso atual das águas subterrâneas, usos projetados e suas repercussões na reserva e na qualidade das águas subterrâneas.
- Cenários quanto ao impacto do saneamento básico, especificamente tratamento de esgotos, e as respostas físicas, químicas e biológicas dos rios e represas da bacia hidrográfica a esse tratamento. Os cenários *negativos* devem referir-se aos impactos do não-tratamento dos esgotos e à progressão da contaminação e eutrofização, nos próximos trinta anos.
- Cenários quanto aos usos do solo e seus impactos na erosão, no transporte de sedimentos e na sedimentação de rios e represas. Avaliação da taxa de sedimentação em represas em razão dos usos do solo e da ausência de cobertura vegetal.
- Cenários quanto aos efeitos do reflorestamento de bacia hidrográfica com espécies nativas, manutenção de mosaicos de vegetação e florestas ripárias, fundamentalmente na preservação dos mananciais e na qualidade de água (Tundisi et al., 2006).

A Figura 8 apresenta as integrações do banco de dados, índices da integridade ecológica da bacia hidrográfica e o seu papel na estratégia de planejamento e gestão da bacia.

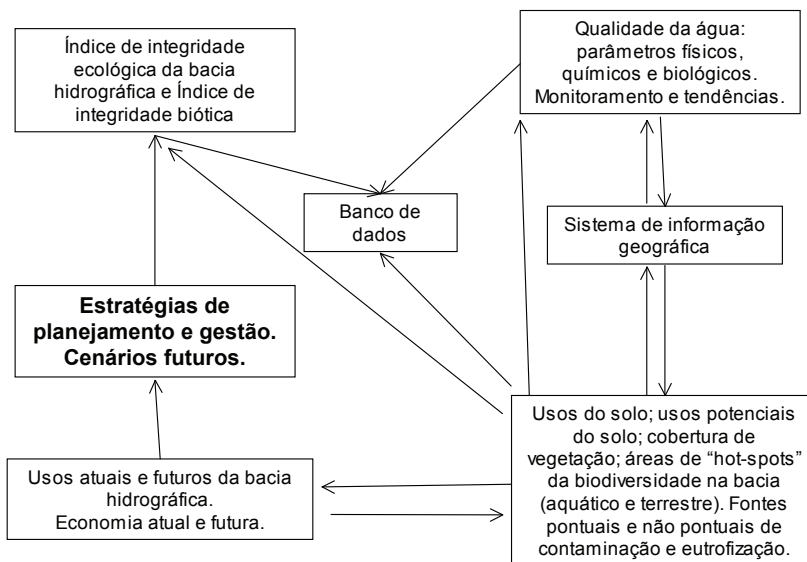


Figura 8

Integração do banco de dados, usos atuais a futuros do solo e atividades econômicas com as estratégias de planejamento e gestão da bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré.

Ações futuras para conservação e recuperação da bacia do Tietê/Jacaré

No conjunto de propostas para ações efetivas, destacam-se as prioridades:

- Tratamento de esgotos dos municípios.
- Reflorestamento com espécies nativas.
- Recuperação das florestas ripárias.
- Conservação e recuperação das áreas alagadas.
- Controle dos efluentes industriais.
- Educação das populações para a sustentabilidade.
- Promoção de projetos de difusão científica para a população.
- Recuperação dos reservatórios hidroelétricos.
- Monitoramento intensivo e controle dos principais pontos de fontes pontuais.
- Capacitação de gerentes de recursos hídricos dos municípios.
- Estabelecimento de um processo contínuo de informação e consulta para o Comitê da bacia do Tietê/Jacaré com a finalidade de promover a utilização do banco de dados e do resultado das pesquisas na gestão.

Essas ações futuras estão sendo discutidas no âmbito dos municípios e no comitê da bacia do Tietê/Jacaré para desenvolver mecanismos de implantação nos próximos anos. A aplicação dos conceitos de eco-hidrologia e ecotecnologias será desenvolvida em conjunto com as prefeituras municipais da bacia do Tietê/Jacaré (Zalewski, 2008).

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do projeto Finep/Cthidro, convênio 01.04.0999.01 e o continuado apoio do CNPq e da Fapesp aos projetos na bacia do Tietê/Jacaré.

Referências bibliográficas

DOBSON, C.; BECK, G. G. *Watersheds: a practical handbook for healthy water*. Canada: Friensens, Altona, Manitoba, 1999.

DUPAS, F. A. et al. Indicadores ambientais no planejamento e gestão de bacias hidrográficas. In: TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; SIDAGIS GALLI, C. (Ed.) *Eutrofização na América do Sul: causas, tecnologias de gerenciamento e controle*. IIE, Iiega, IAP, Ianas, ABC, 2006. p.491-506.

LIKENS, G. E. Beyond the shoreline: a watershed ecosystem approach. *Verh. Internat. Verh. Limnol.*, v.22, p.1-22, 1984.

_____. *The ecosystem approach: its use and abuse*. Oldenhorf/Luhe: Germany: Ecology Institute, 1992. 166p.

- MATSUMURA-TUNDISI, T. (Coord.) Desenvolvimento de indicadores de qualidade das bacias hidrográficas do Tietê/Jacaré (SP) e do Rio Miranda (MS) para manutenção da qualidade da água. Projeto Finep/Cthidro, 2006.
- MATSUMURA-TUNDISI, T. Desenvolvimento de indicadores da qualidade das bacias hidrográficas do Tietê/Jacaré (SP) e do Rio Miranda (MS) para o enquadramento e manutenção da qualidade dos corpos de água. *Relatório síntese*. Finep/Cthidro, 2008. 37 p.
- MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). *Ecosystems and Human Well Being: a framework for assessment*. Island Press, 2003. 245p.
- PAERL, H. W.; HUISMAN, J. Blooms like it hot. *Science*, v.320, p.57-8, 2008.
- PAMOLARE Planejamento e gerenciamento de lagos e reservatórios: uma abordagem integrada ao problema da eutrofização. Unesco, ANA, IIE, Unep, 2001. 385p.
- PENCHASZADEH, P. E. (Coord.) *Invasores: invertebrados exóticos en el rio de La Plata y región marina aledaña*. Buenos Aires: Eudeba, 2005.
- ROCHA, O. et al. *Espécies invasoras em águas doces: estudos de caso e propostas de manejo em São Carlos*. São Carlos: Editora da UFSCar, 2005.
- _____. Cianotoxicidade em águas doces tropicais: o impacto da eutrofização. In: TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; SIDAGIS GALLI, C. (Ed.) *Eutrofização na América do Sul: causas, tecnologias de gerenciamento e controle*. IIE, Iiega, IAP, Ianas, ABC, 2006. p.337-52.
- SILVA-SOUZA, A. T. et al. Parasitas de peixes como indicadores de estresse ambiental e eutrofização. In: TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; SIDAGIS GALLI, C. (Ed.) *Eutrofização na América do Sul: causas, tecnologias de gerenciamento e controle*. IIE, IIEGA, IAP, Ianas, ABC, 2006. p.373-86.
- SOUZA, A. D. G. *Subsídios ao planejamento e operacionalidade de sistemas de monitoramento da qualidade de água*. Estudo de caso: bacias do Rio Jaú e Jacaré-Guaçu (SP). São Carlos, 1996. (Dissertação de Mestrado) – Universidade de São Paulo.
- TUNDISI, J. G. Bridging water research, innovation and management: enhancing global water management capacity. In: PROCEEDINGS OF THE VI REGIONAL WORKSHOP “Water Resources and Water Use Problems in Central Asia and Caucasus”. IAP, IWEP, Russian Academy of Sciences, 2008. p.86-94.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631p.
- TUNDISI, J. G. et al. (Ed.) *Eutrofização na América do Sul: causas, tecnologias de gerenciamento e controle*. IIE, Iiega, IAP, Ianas, ABC, 2006. 531p.
- _____. Conservação e uso sustentável de recursos hídricos. In: BARBOSA, F. A. (Org.) *Ângulos da água: desafios da integração*. Belo Horizonte: Editora da UFMG. 2008. p.157-83.
- VOLLENWEIDER, R. A. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Tech. Report. DAS/CSI6827, OECD, Paris, 1968.
- ZALEWSKI, M. Ecohydrology in the face of the Anthropocene. *Ecology and Hydrobiology*, v.7, n.2, p.99-100, 2008.

RESUMO – A bacia do Tietê/Jacaré é uma das 22 Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (Ugrhis) do Estado de São Paulo. Um estudo desenvolvido de 2005 a 2007 detalhou as principais características dessa bacia hidrográfica, os usos do solo, a cobertura vegetal, as fontes pontuais e não-pontuais de eutrofização e contaminação e as vulnerabilidades da bacia, que conta com 34 municípios e uma população de 1.200.000 habitantes. A montagem de um banco de dados com as informações ecológicas, hidrológicas, climatológicas e econômicas possibilitou estabelecer um programa de planejamento e gestão baseado em vulnerabilidades da bacia hidrográfica, impactos das mudanças globais e futuras perspectivas para a gestão dos recursos hídricos. Um *índice de qualidade* da bacia hidrográfica foi desenvolvido com a finalidade de apoiar o planejamento de longo prazo e a gestão de águas superficiais e subterrâneas.

PALAVRAS-CHAVE: Bacia hidrográfica, Planejamento, Gestão, Banco de dados, Recursos hídricos.

ABSTRACT – The Tietê/Jacaré watershed is one of the units of management of water resources of São Paulo State. São Paulo State has 22 units of management of water resources. A study on the characteristics of the watershed and an evaluation of its environmental situation was carried out from 2005 to 2008. With a population of 1.200.000 inhabitants distributed in 34 towns and an economic activity predominantly agribusiness and industrial activities, this watershed has an extensive hydrographic network, sufficient water resources and intense economic activity. The study considered soil uses; vegetation cover; water quality of rivers, reservoirs, underground waters, erosion processes, vulnerability of the aquatic biota to eutrophication and contamination. With the ecological, hydrological, ecological and economic data, a data bank was established and a management plan with scenarios, perspectives and integration of planning with future activities was developed. An *index of watershed quality* was developed as a basis for this planning and management activity.

KEYWORDS: Watershed, Planning, Management, Data bank, Water resources.

José Galizia Tundisi, Takako Matsumura-Tundisi, Daniela Cambeses Pareschi, Anna Paula Luzia, Paulo Henrique Von Haeling e Eduardo Henrique Frollini são pesquisadores do Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos-SP. @ – iie@iie.com.br
@ – takako@iie.com.br

Recebido em 10.7.2008 e aceito em 14.7.2008.