

ÁGUAS DO BRASIL

ANÁLISES ESTRATÉGICAS

Organizadores:

Carlos E. de M. Bicudo

José Galizia Tundisi

Marcos C. Barnsley Scheuenstuhl



ÁGUAS DO BRASIL

ANÁLISES ESTRATÉGICAS

Organizadores:

**Carlos E. de M. Bicudo, José G. Tundisi e
Marcos C. Barnsley Scheuenstuhl**



© Direitos autorais, 2011, de organização da
Academia Brasileira de Ciências
Rua Anfílopio de Carvalho, 29 – 3º Andar
20030-060 – Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Tel: (55 21) 3907-8100
Fax: (55 21) 3907-8101

© Diretor de publicação reservados por
Academia Brasileira de Ciências e
Instituto de Botânica
Av. Miguel Stéfano, 3687, Água Funda
04301-902 - São Paulo – SP – Brasil
Tel: (11) 5067-6000
Fax: (11) 5073-3678

Ficha catalográfica elaborada pela Seção de Biblioteca do Instituto de Botânica

Bicudo, C.E.de M.; Tundisi, J.G.; Scheuenstuhl, M.C.B. , orgs.
B583a Águas do Brasil: análises estratégicas / Carlos E. de M. Bicudo; José G.
Tundisi; Marcos C. Barnsley Scheuenstuhl – São Paulo, Instituto de Botânica, 2010.
224 p.
Bibliografia

ISBN: 978-85-85761-32-5

1. Água. 2. Recursos hídricos. 3. Reuso. I. Título

CDD 551.481
CDU 556.581

*Dedicamos esta obra a todos os estudantes e
estudiosos da água em nosso país.
Que todos saibam dar à água o valor que merece
e uma posição de destaque em sua pesquisa.*

Apresentação

Nos anos 60, o primeiro astronauta que circundou a Terra notou maravilhado, que o planeta era azul. Esta beleza singular deve-se, sem dúvida alguma, às grandes massas de água que constituem a hidrosfera do planeta e, em particular, aquelas que compõem os oceanos e mares, em cerca de dois terços da superfície do planeta. Todavia, é importante considerar que somente 2,6 % são de água doce. Além disso, 99,7 % desse total não estão disponíveis seja porque estão congelados – formando as calotas polares a norte e a sul (76,4 %), seja porque integram os aquíferos (22,8 %). Apenas uma fração ínfima, de cerca de 0,3 % dos 2,6 % do total das águas doces, encontra-se prontamente acessível como água superficial, formando áreas alagadas, rios, lagos e represas.

Se olharmos a questão sob o prisma da qualidade, a preocupação com a disponibilidade de água é ainda maior. Pode-se dizer que estamos enfrentando uma grande crise de água: vamos continuar tendo água, mas será difícil utilizá-la.

A Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA) não tem poupado esforços para garantir a preservação e promover a recuperação dos recursos hídricos no Estado. Na atual gestão, a SMA desenvolve 21 Projetos Ambientais Estratégicos, cabendo destacar que alguns deles abordam diretamente a temática dos Recursos Hídricos, tais como: projeto Aquíferos, que visa a promover a proteção das águas subterrâneas do Estado; projeto Cobrança pelo Uso da Água, com o objetivo de incentivar o uso racional da água; e fomento às pesquisas na temática de recursos hídricos, pelo projeto Pesquisa Ambiental.

Além desses, não podemos nos esquecer do projeto Mananciais, que busca a proteção e a recuperação dos mananciais de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo, seja nas “fábricas de água”, seja nas “caixas d’água”, como os reservatórios Billings, Cantareira e Guarapiranga. Para cuidar daquelas, uma ação importante é a recuperação das áreas ciliares e das nascentes pelo projeto Mata Ciliar, com o objetivo de garantir a conectividade dos fragmentos e a qualidade dos recursos hídricos.

O livro “Águas do Brasil: análises estratégicas” é o primeiro produto do Grupo de Estudos da ABC, Academia Brasileira de Ciências sobre o assunto água. O ciclo da água foi abordado a partir de uma visão integrada, buscando aliar soluções tecnológicas e ecológicas e integrando aspectos quantitativos e qualitativos desse tão importante bem ambiental. Matérias como gestão dos recursos hídricos e agricultura irrigada, água e saúde, água e economia, conservação e reúso como instrumentos de gestão, água no semi-árido brasileiro, água na Amazônia, urbanização e recursos hídricos, educação para a sustentabilidade dos recursos hídricos, água subterrânea, disponibilidade, poluição e eutrofização das águas e ciência, tecnologia e inovação, são da maior importância para o momento presente do nosso país e, em especial, do Estado de São Paulo. São assuntos cuja discussão certamente irá contribuir para a gestão sustentável dos recursos hídricos por intermédio do trabalho articulado dos diferentes campos da ciência, avançando para uma visão sistêmica da água que, enfim, permitirá aos profissionais gestores a possibilidade de uma ação integrada de antevisão dos problemas e de antecipação de soluções.

A SMA tem a satisfação de poder contar com parceiros de grande envergadura institucional para esse trabalho, como o MCT, Ministério de Ciência e Tecnologia, o CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e a FINEP, Financiadora de Estudos e Projetos. Sente-

se também especialmente honrada por publicar o primeiro aporte do Grupo de Estudos sobre Recursos Hídricos da ABC.

Estão de parabéns os organizadores desta obra, todos os profissionais especialistas que conduziram as pesquisas e souberam somar seus resultados nos 13 capítulos que compõem este livro e a ABC, por juntar tantas cabeças privilegiadas. A eles nossos agradecimentos.

Boa leitura!

Pedro Ubiratan Escorel de Azevedo
Secretário do Meio Ambiente do Estado de São Paulo

Apresentação

A crise da água no século XXI é, além de uma crise de escassez e estresse de água, mais do que tudo uma crise de gerenciamento. Novas e criativas possibilidades de gerenciamento e governança da água podem, por um lado, ser desenvolvidas a partir de uma interação de pesquisadores e gerentes sob a forma de apoio a projetos de gestão e cursos de treinamento. Por outro lado, entretanto, análises estratégicas permanentes e de prospecção tecnológica são cada vez mais necessárias para diminuir a vulnerabilidade e os riscos de desabastecimento, deterioração da qualidade e de escassez da água.

Com base neste pressuposto e entendendo ser este um desafio que requer ação, a ABC, Academia Brasileira de Ciências estruturou, em março de 2008, o Grupo de Estudos sobre Recursos Hídricos, que tem por objetivo agregar renomados pesquisadores brasileiros que trabalham com o tema para estabelecer a visão da Academia sobre estratégias de otimização do uso dos recursos hídricos em nosso país. Em maio de 2008, por ocasião da Reunião Magna da ABC, o Grupo realizou sua primeira reunião de trabalho, bem como o simpósio “Recursos hídricos no Brasil: desafios estratégicos”. Estas duas atividades foram fundamentais para o lançamento das bases do trabalho do Grupo de Estudos coordenado pelo Acadêmico José Galizia Tundisi.

O Grupo promoveu em agosto de 2008, em parceria com a IANAS, Rede Interamericana de Academias de Ciências e com o IAP, InterAcademy Panel on International Issues, um Seminário Regional e um Curso de Capacitação para as Américas, focalizando o tema “Água, meio-ambiente e sociedade: uma abordagem integrada”. Afora diversos pesquisadores e gerentes de recursos hídricos brasileiros, participaram desses eventos realizados na cidade de São Carlos gerentes e pesquisadores de 13 países da América Latina e da região do Caribe, todos profissionais do mais alto nível vinculados aos sistemas nacionais de águas de seus respectivos países.

Em setembro de 2008, o Grupo realizou uma reunião de trabalho, onde foi decidida a produção de um Livro Branco sobre Águas no Brasil, apresentando uma visão estratégica sobre o uso dos recursos hídricos no país. Para elaboração de uma primeira versão desse livro, foram criados grupos de trabalho que tiveram por desafio elaborar textos sobre temas estratégicos fundamentais. Os grupos trabalharam de forma intensa ao longo de 2009 e apresentaram o resultado deste esforço inicial no simpósio “A crise da água e o desenvolvimento nacional: um desafio multidisciplinar”. A reunião foi realizada em Belo Horizonte, em outubro de 2009, a partir de uma parceria da ABC com a UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais e a FAPEMIG, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais.

A presente publicação traz a público uma síntese das discussões realizadas em Belo Horizonte, representando um primeiro produto do Grupo de Estudos da ABC sobre Recursos Hídricos. Novas análises e avaliações serão desenvolvidas nos próximos meses, apontando para a consolidação do Livro Branco sobre Águas no Brasil. Através deste esforço, a ABC busca contribuir com a sociedade brasileira em um tema tão fundamental para a melhoria das condições de vida de nosso povo.

É importante que se destaque que este trabalho se desenvolve a partir de uma visão inovadora, que aponta para a superação de uma dicotomia hoje existente entre águas subterrâneas e de superfície. A partir de uma visão integrada e holística, o ciclo da água é visto em sua totalidade, compreendendo-se que existe uma fonte comum de problemas (poluição, superexploração,

uso excessivo), que resultam em diferentes processos (eutrofização, contaminação) e sintomas (toxicidade, salinização). O trabalho do Grupo buscou aliar soluções tecnológicas e ecológicas, integrando aspectos quantitativos e qualitativos do recurso água. Tal perspectiva permite a gestão sustentável dos recursos hídricos a partir da construção de pontes conceituais que fomentam o trabalho articulado dos diferentes campos da ciência, que passam a oferecer uma visão sistêmica que propicia aos gestores a possibilidade de uma ação integrada que busca antever os problemas e antecipar soluções.

Com esta iniciativa, a ABC busca estimular a mobilização de pesquisadores e gestores de recursos hídricos, fomentando uma maior interação entre estas duas comunidades. Tal interação facilitará a transferência do conhecimento existente àqueles que dele necessitam para o desenvolvimento de um processo de gestão que seja racional e estruturado a partir de bases científicas. Da mesma forma, o fortalecimento dos canais de diálogo entre estes dois atores possibilitará aos gerentes apresentarem aos cientistas os principais problemas e gargalos na gestão estimulando, desta forma, o desenvolvimento de novas pesquisas e inovações que busquem atender às demandas prementes no campo do gerenciamento dos recursos hídricos.

Por fim, vale destacar que esta iniciativa da ABC se insere no escopo das Metas do Milênio das Nações Unidas (ONU), que têm como um de seus componentes a melhoria da oferta de água, a longo prazo e de forma sustentável, aos milhões de homens e mulheres que hoje não dispõem de acesso satisfatório a este bem tão crucial para a subsistência humana.

Não podemos deixar de ressaltar o apoio fundamental do MCT, Ministério de Ciências e Tecnologia e suas agências CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e FINEP, Financiadora de Estudos e Projetos na promoção dos trabalhos dos grupos de estudos da ABC, dentre os quais figura o Grupo de Estudos sobre Recursos Hídricos. Agradecemos também ao apoio do Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, sem o qual a publicação desse livro não seria possível.

Jacob Palis
Presidente da ABC

Apresentação

O Brasil é um país privilegiado com relação aos seus recursos naturais e, entre estes, os recursos hídricos superficiais e subterrâneos têm relevante papel ecológico, econômico, estratégico e social. Com aproximadamente 14 % das águas doces do Planeta Terra, o Brasil apresenta, entretanto, sérios problemas de diagnóstico, avaliação estratégica e gestão de seus recursos hídricos.

Embora o último relatório de conjuntura da ANA, de 2009, aponte para reais progressos na gestão e no diagnóstico da situação das águas superficiais e subterrâneas (quantidade e qualidade), há ainda necessidade de futuros avanços na análise estratégica dos recursos hídricos como insumo econômico, com repercussões na área social e no desenvolvimento do Brasil.

Este foi o propósito de estabelecer uma comissão científica na Academia Brasileira de Ciências, voltada para os recursos hídricos, com a finalidade de organizar seminários e análises estratégicas e de posicionamento e avaliações críticas. Esta comissão de especialistas tem, portanto, uma missão fundamental, que é a de incluir a Academia Brasileira de Ciências em um importante processo de contribuição para aprofundar o conhecimento científico, promover novas idéias e novos mecanismos de gestão de recursos hídricos e oferecer à sociedade brasileira, aos governos federal, estaduais e municipais um conjunto consistente de informações que poderá nortear políticas públicas nesta área e se some a outras iniciativas. Esta atividade da Academia Brasileira de Ciências está articulada com dois importantes programas internacionais: o programa de águas do IANAS (Interamerican Network of Academies of Science) e o programa de águas do IAP (Interacademy Panel). O programa do IANAS tem por finalidade apoiar as Academias de Ciências dos diferentes países das Américas a estabelecer comissões de recursos hídricos com a finalidade de preparar estudos promovendo uma visão estratégica dos recursos hídricos nacionais e apresentar novas perspectivas e soluções inovadoras para a gestão dos recursos hídricos. E o programa do IAP tem por finalidade apoiar uma rede mundial de capacitação de gestores em recursos hídricos, que tenham visão integrada e sistêmica do processo.

O presente volume é um dos resultados deste esforço da ABC. Contribuições de especialistas em mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, água e saúde humana, qualidade de água, águas subterrâneas, reuso da água, água e economia, além das análises sobre inovação, semi-árido e Amazônia apresentam, neste volume, um conjunto apreciável de análises, de informações e de novas idéias de alto nível, que preenchem, perfeitamente, as atribuições da Comissão de Recursos Hídricos junto à Academia Brasileira de Ciências.

Os especialistas realizaram um trabalho que é, sem dúvida, uma contribuição valiosa e aponta para o futuro. A todos os autores nossos melhores agradecimentos e os parabéns pelo trabalho e pelo seu comprometimento com o futuro do Brasil.

José Galizia Tundisi

Presidente da Comissão de Recursos Hídricos
Academia Brasileira de Ciências
Chairman – IAP Water Programme

Conteúdo

CAPÍTULO 1 – Gestão dos recursos hídricos e agricultura irrigada no Brasil	15
Marcos V. Folegatti, Rodrigo M. Sánchez-Román, Rubens D. Coelho e José A. Frizzone	
CAPÍTULO 2 – Água e saúde: aspectos globais e nacionais	27
Ulisses Confalonieri, Léo Heller e Sandra Azevedo	
CAPÍTULO 3 – Água e economia	43
Eugênio Miguel Cânepa, Jaildo Santos Pereira e Antônio Eduardo Lanna	
CAPÍTULO 4 – Conservação e reuso como instrumentos de gestão para atenuar os custos de cobrança pelo uso da água no setor industrial	59
Ivaniildo Hespanhol	
CAPÍTULO 5 – A questão da água no semi-árido brasileiro	81
José Almir Cirilo, Suzana M.G.L. Montenegro e José Nilson B. Campos	
CAPÍTULO 6 – Amazônia: recursos hídricos e sustentabilidade	95
Adalberto L. Val, Vera Maria F. de Almeida-Val, Philip M. Fearnside, Geraldo M. dos Santos, Maria Teresa F. Pinlade, Wolfgang Junk, Sérgio R. Nuzawa, Solange E. da Silva e Fernando Antonio de C. Dantas	
CAPÍTULO 7 – Urbanização e recursos hídricos	113
Carlos E.M. Tucci	
CAPÍTULO 8 – Educação para a sustentabilidade dos recursos hídricos	133
Myriam Krasilchik, Luiz Marcelo de Carvalho e Rosana Louro Ferreira Silva	
CAPÍTULO 9 – Água subterrânea: reserva estratégica ou emergencial	149
Ricardo Hirata, José Luiz Gomes Zoby e Fernando Roberto de Oliveira	
CAPÍTULO 10 – Disponibilidade, poluição e eutrofização das águas	165
Carina Cidagis Galli e Donato Seiji Abe	
CAPÍTULO 11 – Ciência, tecnologia, inovação e recursos hídricos: oportunidades para o futuro	179
José Galizia Tundisi e Takako Matsumura Tundisi	
CAPÍTULO 12 – Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos	201
José A. Marengo, Javier Tomasella e Carlos A. Nobre	
CAPÍTULO 13 – Síntese	219
Carlos E. de M. Bicudo, José G. Tundisi e Marcos C. Barnsley Scheuengstuhl	

1

GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS E AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL

GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS E AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL

Marcos V. Folegatti¹

Rodrigo M. Sánchez-Román²

Rubens D. Coelho³

José A. Frizzone⁴

RESUMO

A gestão dos recursos hídricos no Brasil experimentou um salto de qualidade nos últimos 30 anos, quando se firmou o enfoque multiobjetivo de gestão pública e eficaz: (a) sustentabilidade ambiental, social e econômica; (b) legislação e instituições compatíveis; e (c) novos arranjos políticos, de caráter participativo da sociedade. A Lei de Gestão dos Recursos Hídricos do Brasil (9.433/1997) é um marco desta nova fase, assim como a criação da Agência Nacional de Águas em 2006. A gestão compartilhada dos recursos hídricos impõe-se como um desafio para a sociedade, pois os recursos financeiros públicos tornam-se diluídos em função do aumento da população, dos problemas ambientais e da crise econômica mundial. O Brasil sendo um produtor de *commodities* poderá se beneficiar da crise econômica mundial e do aquecimento global em função de sua extensão territorial e posição geográfica no globo terrestre. Perante este dilema, como a sociedade poderá enfrentar a escassez de água no futuro próximo? Este é o desafio que se impõe sobre os gestores das políticas públicas.

Palavras chave: recursos hídricos, agricultura, escassez, governabilidade, política, irrigação

¹ Professor Titular, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, mvfolega@esalq.usp.br

² Pós-doutorando, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, rmsroman@esalq.usp.br

³ Professor Associado, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, rdcoelho@esalq.usp.br

⁴ Professor Titular, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, frizzone@esalq.usp.br

ABSTRACT

Water resources management in Brazil had a substantial quality improvement during the last 30 years. During that period, a multi-objective public administration point of view was established, which had led to: (a) environmental, social and economic sustainability; (b) compatibility among public institutions and public laws; and (c) new set of policies to promote people's participation. Water resources management law (9.433/1997) and the creation of the National Water Agency (Agência Nacional de Águas/2006) are benchmarks of this period. A share water resources management organization is a social challenge due to the fact that public financial resources becomes diluted as population grows, environmental problems increase and the world's economic crises amplify its consequences. Brazil being a commodities producer could benefit from the world economic crises and the global warming tendency, considering its geographic extension and location. Facing this dilemma, how the Brazilian society will confront new water resources demands in the near future? This is the challenge set to public policies decision takers.

Keywords: water resources, agriculture, shortage, governability, policies, irrigation

SITUAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA AMÉRICA LATINA E NO BRASIL

América Latina e Caribe incluem ao redor de 8,4 % da população mundial. O escoamento superficial médio anual das precipitações naturais na região é de 13.120 km³, representando 30,8 % do volume do planeta. A precipitação é da ordem de 1.500 mm ano⁻¹, sendo 50 % superior à média mundial; mas, dois terços do volume escoado concentra-se em três bacias hidrográficas (Orinoco, Amazonas e Rio da Prata). Além disso, 25 % das áreas da região são áridas ou semi-áridas, em consequência da desuniformidade da distribuição das precipitações.

Os principais usuários dos recursos hídricos na região são: a irrigação agrícola, o abastecimento de água potável (urbano e rural) e o saneamento, incluindo transporte e diluição de esgotos pela água, e a geração de energia hidroelétrica. A eficiência média da irrigação na região é de 45 % (IDB 1998).

No último século, a demanda total de água aumentou seis vezes, enquanto que a população cresceu somente três vezes (Tucci 2009). O aumento acelerado da demanda de recursos hídricos cria, inicialmente, o problema da escassez quantitativa do recurso, sendo que, concomitantemente, diminui a qualidade das águas pelo aumento da população. Este aumento produz um incremento na industrialização, no uso de agrotóxicos na agricultura e no uso inadequado do solo e da água. As águas poluídas pelas atividades antropogênicas retornam com qualidade inferior aos corpos d'água¹ de que foram retirados.

No mundo todo e no Brasil, a agricultura é o maior consumidor de água. Estima-se que 69 % das águas consumidas no mundo são dedicadas à agricultura, 23 % à indústria, e 8 % ao abastecimento da população. No Brasil, essas porcentagens são, respectivamente, 68 %, 14 % e 18 % (Tucci 2009). Ainda no Brasil, 54 % dos domicílios têm coleta de esgoto (MMA/ANA 2007), mas somente 20 % do esgoto urbano passa por alguma estação de tratamento (Kelman 2007).

Ao longo do tempo, a demanda gerada pela água tem diminuído a disponibilidade *per capita* e sua qualidade vem deteriorando criando, assim, conflitos pelo uso da água, uma vez que a água de qualidade inferior não pode ser utilizada livremente para o consumo, a produção ou para o lazer.

¹ Tem-se estimado que, em média, para cada volume unitário de água utilizado (para fins domésticos e industriais) retornado aos corpos receptores, à contaminação afeta de 8 a 10 volumes equivalentes de água natural (WMO/IDB 1996)

Estimou-se que a América do Sul apresentaria um aumento na demanda de água de 70 % entre 1990 e 2025, enquanto que o consumo da agricultura iria variar de 81 % para 69 % no mesmo período. Os maiores aumentos percentuais correspondem à indústria e à evaporação da água dos reservatórios, porém, a agricultura continuará sendo o principal consumidor de água, seguido pela evaporação dos reservatórios, pelo abastecimento da população e, finalmente, pela indústria (IDB 1998).

A matriz energética brasileira é dependente da disponibilidade hídrica, já que ao redor de 90 % da produção provém de hidrelétricas. Caso a tendência observada de mudanças climáticas se confirme nos próximos anos, o Brasil poderá ser, por possuir uma matriz fortemente dependente dos fatores hidrológicos, beneficiado ou prejudicado em função das futuras oscilações que possam vir ocorrer em território nacional. Sendo assim, a matriz energética deverá sofrer alterações com o apoio de outras fontes e estratégias de uso do recurso hídrico (Tucci 2009).

Numa pesquisa realizada em 2004 pelo Ibope, 88 % dos brasileiros acreditava que o país iria enfrentar problemas de abastecimento de água a médio ou longo prazo, sendo que 74 % dos entrevistados apoiaria projetos de lei que estipulassem o pagamento do volume de água consumida com o objetivo de criar programas para conscientização das pessoas sobre o uso eficiente da água e a recuperação e proteção das bacias. Entretanto, 70 % dos entrevistados disse jamais ter ouvido falar dos comitês de bacias hidrográficas; dos que ouviram falar deles 92 % não conhece ninguém que participe de um comitê de bacia hidrográfica. Esta pesquisa mostrou que os entrevistados possuem consciência dos problemas futuros que a escassez de água possa proporcionar, sendo que o mecanismo poderoso de gestão que representam os comitês de bacia hidrográfica (CBH) não tem permeado na sociedade brasileira como se esperava.

AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL

Em diversos debates no Brasil e no Mundo sobre o gerenciamento dos recursos hídricos do planeta, chegou-se à conclusão de que a irrigação é um instrumento efetivo de auxílio na produção de alimentos que a futura e crescente população mundial vai demandar. Entretanto, quanta água deverá ser alocada para a produção de alimentos e quanta dela deverá ser mantida para o funcionamento dos ecossistemas?

Esta é uma discussão de extrema importância. Sabe-se que a agricultura irrigada é a que mais desvia água do meio ambiente para a produção de alimentos. Atualmente, a irrigação é praticada em 17 % das áreas aráveis do planeta, produzindo 40 % dos alimentos do mundo e utilizando ao redor de 70 % de todas as águas retiradas dos corpos d'água do planeta. Estima-se que para garantir as demandas de alimentos, a área irrigada deve crescer entre 20 % e 30 % até o ano 2025 (Nunes 2009).

Embora o Brasil seja o detentor de aproximadamente 12 % das águas doces do planeta, a maior parte (70 %) dessa água está na bacia Amazônica. Os 30 % restantes do volume de água doce disponível, têm que se abastecer 93 % da população do Brasil, incluindo aqui a agricultura irrigada. Esta atividade econômica consome quase que a metade da água em cerca de 5 % da área cultivada; entretanto, o consumo humano urbano e rural corresponde a 27 % do uso total (MMA/ANA 2007).

Com esta visão, o Ministério do Meio Ambiente e a Agência Nacional de Águas (MMA/ANA 2007) apontaram que serão necessárias, até 2020, mudanças estruturais para três dos principais usuários das águas do país: agricultura, geração de energia e diluição de esgoto doméstico e industrial. Mas, outras mudanças terão que ser consideradas já que os recursos estão distribuídos de forma desigual em termos geográficos e populacionais, demandando uma visão nacional de distribuição dos recursos humanos e econômicos para garantir a sustentabilidade ambiental dos diversos ecossistemas onde existam pólos econômicos.

Três dos oito países com maior bio-capacidade do mundo (Estados Unidos, China e Índia) são devedores ecológicos. As demandas ecológicas excedem sua própria capacidade. Dos outros oito, o Brasil tem 5,3 ha por pessoa de bio-capacidade disponível e 3,5 ha por pessoa de demanda ecológica, com um balanço positivo de 2,3 ha (WWF 2008). Quanto à demanda hídrica², o Brasil utiliza 1.400 m³ de água por pessoa por ano; destes, 1.250 m³ por pessoa por ano são de produtos originados no país e 150 m³ por pessoa por ano são de produtos importados. A demanda hídrica média mundial é de 1.240 m³ por pessoa por ano.

Os componentes da demanda hídrica do Brasil são amostrados na Figura 1, com os valores relatados por WWF (2008).



Figura 1. Componentes da demanda hídrica, enfatizando os valores do Brasil (elaborada pelos autores baseados em dados de WWF 2008).

O Brasil irriga atualmente 3,4 milhões de hectares (Cristhophidis 2006), sendo que, desse total, 2,2 milhões de hectares são irrigadas por sistemas pressurizados. Segundo ANA (2004), a vazão equivalente (contínua de 24 horas) atualmente consumida nas áreas irrigadas do Brasil é de aproximadamente 589 m³ s⁻¹. O território nacional tem um potencial de irrigação cujas estimativas variam entre 22 e 30 milhões de hectares. Embora a área irrigada no Brasil não seja proporcionalmente grande, observa-se que, em determinados cultivos, seu uso é intensivo, especialmente nas áreas comerciais. Nos últimos 25 anos, a produtividade dobrou, fato devido, em parte, ao aumento da utilização da irrigação. A irrigação ineficiente tem gerado salinização e problemas de drenagem em 15.000 ha, principalmente, do nordeste do país (AQUASTAT 2000). A área irrigada no Brasil é responsável por mais de 16 % do volume total da produção e 35 % do valor econômico total da produção, enquanto que no mundo estes números são da ordem de 44 % e 54 %, respectivamente.

² Demanda hídrica de um país é o volume total de água utilizada globalmente para produzir os bens e serviços consumidos pelos seus habitantes. Algumas vezes, é chamada de conteúdo virtual de água de um produto. As exportações de um país não estão incluídas no valor estimado da demanda hídrica. Como exemplos de demanda hídrica, pode-se indicar que são precisos: (a) 2.900 L de água para produzir uma camisa de algodão, sendo que 3,7 % do uso global de água na produção agrícola é utilizado para cultivar algodão. Isto equivale a 120 L por pessoa por dia; (b) 15.500 L de água por kg de carne de boi produzida, sendo que 23 % da água utilizada na agricultura é utilizada na produção de produtos pecuários. Isto equivale a 1.150 L por pessoa por dia; (c) 1.500 L de água por quilograma de açúcar de cana produzida, sendo equivalente a 3,4 % da água utilizada na agricultura. Isto equivale a 100 L por pessoa por dia quando consumidos 70 g de açúcar (WWF 2008).

Nos próximos 10 anos, tem-se a perspectiva de ampliação de 12 milhões de hectares na área total de cana-de-açúcar no Brasil. Novas áreas de expansão da cultura poderão impulsionar a implementação da irrigação em maior escala nesta cultura.

As demais culturas com grandes áreas plantadas (soja, algodão, trigo, mandioca e milho) apresentam baixa perspectiva de irrigação em larga escala (Coelho 2007), uma vez que o Brasil é bastante competitivo no mercado exterior, com base na agricultura que aproveita as águas de chuva para garantir a umidade no solo necessária para o desenvolvimento das culturas³.

Para muitas pessoas, a irrigação é tida como muito custosa e, portanto, financeiramente questionável pelos baixos preços dos produtos nos mercados internacionais. Uma revisão das experiências do Banco Mundial (Jones 1995) mostrou que os projetos de irrigação produziram, num todo, taxas de retorno econômico positivas, em média 15 % maior que o custo de oportunidade do capital e maior que a média de outros projetos agrícolas sem irrigação.

Alguns críticos apóiam-se nos equívocos cometidos nos anos 70 do século passado, quando o aumento do suprimento de água e o desenvolvimento de infra-estrutura ocorreram sem um suporte técnico bem avaliado para melhorar o desempenho do projeto, o que é essencial para o sucesso da irrigação. Desde então, as lições têm sido aprendidas e as condições mudado e é tempo para avançar. Corretamente aplicada e com metas bem definidas para a assistência técnica, a agricultura irrigada pode ajudar a resolver vários problemas como, por exemplo: escassez de água, pobreza e produção de alimentos, promovendo e otimizando o desenvolvimento regional, gerando divisas e empregos, garantindo a segurança alimentar, aumentando e diversificando a produção, diminuindo os riscos da agricultura e melhorando a qualidade de vida. Entretanto, para que isto ocorra é necessário que haja um planejamento do uso do solo e da água nas diferentes sub-bacias em que é possível irrigar.

Segundo Hall (1999), algumas das políticas mais importantes que surgiram das lições do passado e dos recentes fóruns internacionais são: (a) *economia de água*: existe grande aceitação dos mecanismos de mercado e do conceito da água como um bem econômico; (b) *manejo integrado dos recursos hídricos*: a necessidade de manejar holisticamente a água tornou-se uma mensagem familiar para todos os que trabalham com recursos hídricos; e (c) *reforma institucional*: o enfoque sobre as questões institucionais tem grandes implicações para a irrigação.

O desenvolvimento da agricultura irrigada é, portanto, prioritário e existe uma base sólida para que sejam estabelecidas ações em nível político. O foco prioritário deve ser maximizar a produtividade do recurso, proporcionando mais alimento com menos água ou, de preferência, mais riqueza com menor uso de recurso. A publicação "Factor Four" (von Weizsacker *et al.* 1997), do Clube de Roma, divulga este conceito para todas as atividades produtivas, propondo a meta de dobrar a riqueza usando a metade do recurso. Isto deveria ser uma meta conveniente para a agricultura irrigada.

O Governo pode desempenhar um papel catalítico ao proporcionar maior suporte aos programas de pesquisa e assistência técnica para a agricultura irrigada. Como destaca Hall (1999), cinco temas devem ser focalizados: (a) *aumento da eficiência de uso da água* – particularmente importante para melhorar a produtividade de grandes projetos de irrigação; (b) *aumento da produtividade dos pequenos* – particularmente relevante para as condições do semi-árido brasileiro e dos cinturões verdes ao redor das grandes cidades, envolvendo custos efetivos de projetos baseados nas necessidades parcelares, com especial atenção para os recursos humanos, melhoria da capacitação e da reforma institucional, melhor serviço de extensão e suporte à infra-estrutura para crédito e outros *inputs* e acesso aos mercados; (c) *desenvolvimento de uma aproximação*

³ Esta agricultura é conhecida como *agricultura de sequeiro*.

integrada para manejo e uso da água - requer multi-disciplinaridade, visão holística e desenvolvimento de ferramentas para ajudar os tomadores de decisão resolver o problema de alocação e assegurar o desenvolvimento sustentável; (d) *formação de capacidade local para agricultura irrigada* – muitos dos conhecimentos e trabalhos de pesquisas não são adequadamente disseminados e demonstrados. Campos-piloto para testar e demonstrar novas e boas práticas, dias de campo ou de demonstração para transferir tecnologia e *workshops* serão necessários para maximizar o uso dos conhecimentos adquiridos por consultores, universidades e instituições de pesquisa; e (e) *suporte para inovação* – esta talvez seja a chave para o sucesso futuro na obtenção de mais riqueza com menor uso de recurso. Soluções inovadoras devem ser desenvolvidas para encontrar estratégias efetivas de manutenção para melhorar a sustentabilidade e evitar o ciclo de construção-negligência-reconstrução.

MANEJO INTEGRADO DOS RECURSOS HÍDRICOS: VISÃO DEMOCRÁTICA E SUSTENTÁVEL

Existem determinados aspectos inerentes aos recursos hídricos, tal como acontece com o petróleo ou qualquer outro bem não renovável e lucrativo, que mostram que a água poderia se transformar numa fonte significativa de poder econômico ou militar para uma nação. Quando a demanda de água superar a oferta, algumas nações irão justificar suas ações militares (ofensivas ou defensivas) em nome da preservação econômica e da segurança nacional (Schvartz & Singh 1999).

Uma estratégia efetiva para a sustentabilidade dos recursos hídricos (SRH) envolve a preservação ecológica integral das nascentes que fornecem a água, o uso racional do recurso hídrico, o acesso igualitário ao fornecimento da água e a participação direta dos consumidores para escolher como seriam desenvolvidos e manejados os recursos hídricos na bacia hidrográfica (Miller 2003). A SRH implica que as múltiplas dimensões (econômica, biológica, política, espiritual e cultural) dos temas relativos aos recursos hídricos sejam levadas em consideração.

A difusão de métodos participativos e alternativos de avaliação é um processo que deverá estar, em breve, em aplicação nos CBH em todo o país, na medida em que a crise hídrica mundial se aprofunde e se considere que a participação do cidadão é um elemento importante da Lei nº 9.433. Sendo assim, ter-se-á que trabalhar em um processo que desenvolva a cooperação, a resolução das necessidades mútuas e o esforço das partes de ampliar suas opções de repartição/distribuição, de tal forma que decisões mais inteligentes e com maiores benefícios para todos sejam propostas e aprovadas (Delli Pricoli 2003).

As negociações baseadas em aproximações sistêmicas reapresentarão, inevitavelmente, a complexidade da situação. O processo de identificar interesses e objetivos comuns, assim como de explorar ações potenciais de solução, ajudará a melhorar a situação se o processo de negociação estiver baseado na colaboração mediante o aprendizado e na construção de um consenso que impeça futuros conflitos e venha a piorar a situação atual.

O uso de aproximações sistêmicas é uma metodologia participativa efetiva na tomada de decisões e na solução efetiva de problemas de manejo. Esta metodologia pode ser uma ferramenta útil nos comitês de bacia, para ampliar a participação da população, assumindo o papel de geradora de informação e/ou simulação, transformando-se assim em sistemas de suporte à negociação.

Para Nandalal & Simonovic (2003), a análise sistêmica tem encontrado ampla aplicação no planejamento dos recursos hídricos. No manejo integrado dos recursos hídricos, os CBH poderão utilizar a tecnologia de comunicação e informação provenientes de modelos específicos desenvolvidos com o objetivo de simular as outorgas, os níveis de contaminação, os preços a serem cobrados aos diversos consumidores, a disponibilidade dos recursos hídricos, etc., na bacia de interesse baseado

na análise sistêmica. Já existem no país aproximações neste sentido realizadas por Orellana-González (2006), Orellana-González *et al.* (2008) e Sánchez-Román *et al.* (2008a, 2008b).

Existe uma *cegueira hídrica*⁴ que necessita ser urgentemente enfrentada, já que sem água não temos vida nem desenvolvimento nem proteção dos habitats naturais dos quais somos dependentes. Se a água estiver contaminada, ela não estará acessível e é imperioso que sua qualidade seja recuperada através de tratamentos adequados.

A crescente demanda por recursos hídricos é um problema de governabilidade. O acesso à água pode ser manipulado dos pontos de vista da tecnologia, economia e política. Compreender as conexões ocultas do mundo dos recursos hídricos, incluindo aqui a água virtual⁵ inerente nas *commodities* agrícolas que são comercializadas no mundo, constitui um primeiro passo para a solução do problema. Uma situação de privilégio que o Brasil desfruta no mundo atual e precisa ser considerada nas negociações comerciais no mundo é a quantidade de água virtual embutida nas *commodities* produzidas pela agricultura brasileira e que precisa ser adequadamente valorizada.

Existem três soluções para o déficit hídrico: (a) a redução das taxas de crescimento populacional; (b) a mudança nos hábitos alimentícios; e (c) a adaptação do nível de desenvolvimento local em função da disponibilidade de recursos hídricos.

Boas políticas hídricas de sustentabilidade não são alcançadas apenas com a adoção de princípios ambientais corretos. Por outro lado, os princípios econômicos de eficiência para conseguir o uso eficiente dos recursos hídricos não são a solução única para o problema. A sustentabilidade dos recursos hídricos é atingida na arena política. As vozes da sociedade, da economia e do meio ambiente tentarão se impor, de forma contínua, às suas prioridades e demandas por recursos hídricos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os temas relativos aos recursos hídricos constituem as ilustrações práticas mais claras das características multidimensionais dos problemas ambientais. Para amenizar os problemas mundiais da crise da água, mais estudos no âmbito das análises sistêmicas devem ser realizados para o planejamento adequado dos recursos hídricos.

Os métodos sistêmicos têm sido muito utilizados nos processos de negociação, destacando-se quando são utilizados em recursos hídricos. Mas, todos estes métodos têm apresentado certa complexidade para o público leigo já que são essencialmente científicos e fortemente baseados na engenharia, com a limitação de que não têm sido ampliados para analisar a segurança hídrica.

O poder das vozes vem mudando ao longo do tempo. Os profissionais ligados ao manejo e desenvolvimento de políticas vinculadas aos recursos hídricos têm resistência de reconhecer a natureza política da criação das políticas que regulamentam os recursos hídricos. Preferem assumir que a informação relativa à meteorologia, hidrologia, custos de distribuição da água e o valor das *commodities* agregado pela água serão suficientes para guiar os elaboradores de políticas. Os líderes políticos têm a tendência de evitar riscos, concentrando-se nas soluções imediatas dos problemas mais cotidianos. Problemas mais complexos, que podem provocar

⁴ Expressão utilizada como uma forma literária para expressar o fato de que a crise dos recursos hídricos está sendo ignorada, provavelmente pela percepção ilusória de abundância.

⁵ *Água virtual* é a água requerida para produzir, de forma intensiva, *commodities* tais como cereais. Os importadores não precisam mobilizar água no lugar onde a produção das *commodities* acontece nem onde estas são consumidas. A *água virtual* é a solução sonhada pelos políticos, onde a economia se encontra em situação de estresse hídrico. A *água virtual* é economicamente invisível e politicamente silenciosa (Allan 2002).

atritos políticos por envolver princípios econômicos e ecológicos recebem pouca atenção nos discursos políticos e poucos recursos para serem legislados. Dentro destes problemas complexos, está a política dos recursos hídricos.

Existe um paradoxo que diz que os pessimistas hídricos estão equivocados em suas posições pessimistas, mas que estas são úteis como ferramentas políticas; e os otimistas hídricos estão certos, mas este otimismo é perigoso já que transmite uma noção de segurança que favorece as posições políticas de *laissez faire, laissez aller, laissez passer* incorretas na presente situação.

Nosso foco profissional de técnicos vinculados à agricultura irrigada terá que ser: (a) promover reformas das obras existentes com o intuito de melhorar a eficiência no uso da água e não de construir mais obras; (b) estabelecer critérios e mecanismos nacionais para oferecer uma assistência técnica competente para todos os produtores; (c) objetivar os investimentos tanto em pesquisa quanto no manejo dos sistemas de irrigação, para melhorar a eficiência no uso da água; e, finalmente, (d) visar ao aumento da produtividade agrícola dos pequenos produtores rurais. Este é o desafio dos profissionais vinculados à agricultura irrigada no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro a esta pesquisa através do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação (INCTEI), junto ao Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

REFERÊNCIAS CITADAS

- Agência Nacional de Águas (ANA). 2004. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 118 p.
- Allan, T. 2002. Water resources in semi-arid regions: real deficits and economically invisible and politically silent solutions. In: Turton, A., Henwood, R. (eds.) *Hydropolitics in the developing world: a Southern African perspective*. African Water Issues Research Unit (AWIRU), Pretoria, 137 p.
- AQUASTAT. 2000. Country profiles: Brazil. Food and Agricultural Organization. Disponível em: <http://fao.org/nr/water/aquastat/countries/brazil/index.stm>. Acesso em 15 de fevereiro de 2009.
- Christofidis, D. 2006. Água: gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil (Relatório Técnico). PROÁGUA, 18 p.
- Coelho, R.D. 2007. Contribuições da irrigação pressurizada para o Brasil. Tese de Livre Docência, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 192 p.
- Delli Pricoli, J. 2003. Participation, consensus building and conflict management training course. UNESCO-IHP-WWAP: IHP-VI Technical documents in Hydrology, PC-CPs. Nº 22.
- Hall, A.W. 1999. Priorities for irrigated agriculture. *Agricultural Water Management* 40: 25-29.
- IBOPE. Água no Brasil: a visão dos brasileiros. O que o brasileiro pensa sobre a conservação e o uso da água no Brasil. Disponível em: [http://www2.ibope.com.br/CalandraKBX/lesmng.nsf/Opinioao%20Publica/Downloads/opp_wwf_brasil_110305.pdf/\\$File/opp_wwf_brasil_110305.pdf](http://www2.ibope.com.br/CalandraKBX/lesmng.nsf/Opinioao%20Publica/Downloads/opp_wwf_brasil_110305.pdf/$File/opp_wwf_brasil_110305.pdf). Acesso em 10 de fevereiro de 2009.

- IDB, Inter-American Development Bank. 1998. Technical study: integrated water resources management in Latin America and the Caribbean, Nº ENV-125. Ed. L.E. Garcia. IDB: Washington, DC. 66 p.
- Jones, W.I. 1995. The World Bank and Irrigation: a World Bank operations evaluation study. World Bank, Washington, DC.
- Kelman, J. A poluição e a seca. Disponível em: http://www.brasilpnuma.org.br/pordentro/artigos_004.htm. Acesso em 15 de fevereiro de 2009.
- Miller, G.T. 2003. Living in the environment: principles, connections and solutions. Cole Publishers, Thomson Brooks. 720 p. (13ª edição).
- MMA/ANA, Ministério do Meio Ambiente, Agência Nacional de Águas. 2007. GEO Brasil - Recursos Hídricos: Componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. MMA, ANA, Brasília, 264 p.
- Nandalal, K.D.W. & Simonovic, S.P. 2003. State of the art report on systems analysis methods for resolution of conflicts in water resources management. UNESCO-IHP-WWAP: IHP-VI Technical documents in Hydrology, PC-CPs. Nº 4.
- Nunes, V.S. Agricultura irrigada x Saúde ambiental: existe um conflito. Disponível em: http://www.wwf.org.br/informacoes/noticias_meio_ambiente_e_natureza/?3620. Acesso em: 15 de fevereiro de 2009.
- Orellana-González, A.M.G. 2006. Sustentabilidade dos recursos hídricos em São Miguel do Anta, Minas Gerais: um enfoque de dinâmica de sistemas. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 128 p.
- Orellana-González, A.M.G., Sánchez-Román, R.M., Folegatti, M.V., Silva, R.T. & Zolin, C.A. 2008. Efeito das variações nas quantidades de água revertidas das bacias PCJ à Bacia do Tietê. In: Anais do 1º Simpósio dos Pós-Graduandos no CENA/USP, Piracicaba, CENA/USP.
- Sánchez-Román, R.M. & Folegatti, M.V. 2008a. Sustentabilidade da agricultura irrigada nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí: uma perspectiva em dinâmica de Sistemas. Modelo em dinâmica de sistemas para a gestão dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Relatório de Pós Doutorado em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 175 p.
- Sánchez-Román, R.M., Folegatti, M.V. & Orellana-González, A.M.G. 2008b. Water resources assessment at Piracicaba, Capivari and Jundiaí River Basin: a dynamic systems approach. In: Proceedings of 21st Century Watershed Technology: Improving Water Quality and Environment, Concepción, ASABE.
- Schwartz, D. & Singh, A. 1999. Environmental conditions, resources and conflicts: an introductory overview and data collection. UNEP, Nairobi.
- Simon, S. 2007. Complexity, democracy and sustainability: promoting water security through Systemic online negotiations. Systemic Practice and Action Research 20: 273-291.
- Tucci, C.E.M. Existe crise da água no Brasil? Disponível em: <http://www.iph.ufrgs.br/corpodocente/tucci/publicacoes/EXISTECRISEDAAgua.pdf>. Acesso em 08 de fevereiro de 2009.
- Von Weizsacker, E., Lovins, A.B. & Lovins, L.H. 1997. Factor Four: doubling Wealth, Halving Resource Use. Earthscan, London, 322 p.
- WMO/IDB. 1996. Water Resources Assessment and Management Strategies in Latin America and the Caribbean. In: Proceedings Conference on Water Resources. San José, Costa Rica, WMO/

2

ÁGUA E SAÚDE: ASPECTOS GLOBAIS E NACIONAIS

ÁGUA E SAÚDE: ASPECTOS GLOBAIS E NACIONAIS

Ulisses Confalonieri¹

Léo Heller²

Sandra Azevedo³

RESUMO

Embora seja essencial para o bom funcionamento biológico, desde a saúde humana até os ecossistemas, muitos países e grande parte da população mundial estão submetidos a estresse hídrico. As alterações no ciclo hidrológico ocasionadas pelo processo de mudança climática global tendem a agravar esta situação. Quase 90 % dos cerca de 4 bilhões de episódios anuais de diarreia em todo o mundo são atribuídos a deficiências no esgotamento sanitário e na provisão de água de boa qualidade. No Brasil, os principais problemas de saúde pública associados à água são: doenças diarreicas, doenças transmitidas por vetores (ex. malária e dengue), esquistossomose e outras helmintoses, leptospirose e intoxicação por cianotoxinas. Sugere-se para o Brasil o estabelecimento de metas quantitativas de redução na incidência de diarreia infantil e o desenvolvimento de indicadores integrados para utilização no monitoramento das condições de saúde relacionadas à água e ao saneamento.

Palavras-chave: água, saúde, saneamento, infecções, toxinas, clima, cianobactérias, indicadores

ABSTRACT

Although water is recognized as essential for the appropriate functioning of biological systems and human health, many countries and a large part of the global population are water stressed. The expected changes to the hydrological cycle brought about by the process of global climate change will aggravate this situation. Almost 90 % of the 4 billion diarrhea episodes occurring globally each year are linked to deficiencies in sewage disposal and the supply of safe water. In Brazil, the most important public health problems associated to water are: diarrheal diseases,

¹ Professor Titular, Universidade Federal Fluminense e LAESA/CPqRR/FIOCRUZ, pmags@ensp.uffcrj.br

² Professor Associado, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, heller@desa.ufmg.br

³ Professor Associado, Instituto de Biofísica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, sazevedo@biof.ufrj.br

schistosomiasis and other helminth infections, leptospirosis, vector-borne diseases (e.g. malaria and dengue fever) and poisoning by Cyanobacteria toxins. It is suggested, for Brazil, the setting of quantitative goals for reduction in childhood diarrhea in the next five years as well as development of integrated indicators for the monitoring of water-and-sanitation-related health problems.

Key words: water, health, sanitation, infections, toxins, climate, Cyanobacteria, indicators

INTRODUÇÃO

É bem conhecida a importância da água para os processos vitais e para a saúde humana. A água é essencial para o funcionamento biológico em todos os níveis, desde o metabolismo dos organismos vivos até o equilíbrio dos ecossistemas. Isto se aplica também à biologia humana, já que é essencial para sua fisiologia, conforto e higiene.

Estima-se, no entanto, que cerca de 1,5 bilhões de pessoas não tenham, em todo o mundo, acesso a água de boa qualidade (UN Statistics Division 2008). Cerca de 80 países sofrem de estresse hídrico ("water stress"), definido como situações nas quais há um escoamento superficial de chuva menor que 1000 m²/pessoa/ano (Arnell 2004). A população nestas regiões compreende cerca de 40 % do total mundial.

Em 2002, 21 % da população dos países em desenvolvimento não tinham acesso continuado a fontes adequadas de água (UNSD 2008). As Nações Unidas têm como parte de uma das Metas de Desenvolvimento do Milênio ("Millennium Development Goals", MDGs) a redução em 50 %, até 2015, da proporção da população mundial, em 1990, sem acesso à água de boa qualidade para beber e ao esgotamento sanitário adequado.

Com a perspectiva de mudanças importantes no ciclo hidrológico - em níveis local, regional e global resultantes do aquecimento global - as sociedades enfrentam um enorme desafio para o manejo de recursos hídricos e para a provisão de água potável. Em vista deste quadro, é enfatizada neste artigo a relação entre a quantidade e a qualidade da água e a saúde humana; e os desafios que existem para a melhoria do acesso à água de boa qualidade. São considerados, sumariamente, alguns aspectos globais e é dada ênfase a problemas nacionais e regionais brasileiros em relação à água e suas implicações sanitárias.



Figura 1. Rio Aquidauana durante a cheia (MS) (fotografia U.E.C. Confalonieri).

ÁGUA E SAÚDE

Estima-se que cerca de 10 % da carga global de doenças seja devida à má qualidade da água e a deficiências na disposição de excretas e na higiene (Prüss-Ustin *et al.* 2008). Quase 90 % dos cerca de 4 bilhões de episódios anuais de diarreia, em todo o mundo, (que causam 1,5 milhões de mortes em menores de cinco anos) são atribuídos a deficiências no esgotamento sanitário e na provisão de água de boa qualidade. Por outro lado, sabe-se que até 94 % dos casos de diarreia são passíveis de prevenção (WHO/UNICEF 2006).

A água relaciona-se à saúde humana de várias maneiras e as principais são:

1. Como veículo de agentes microbianos causadores de gastroenterites, especialmente por causa da contaminação fecal, ou de outras infecções como leptospirose, comum em inundações urbanas.
2. Como veículo de agentes tóxicos, quer naturais (ex. toxinas biológicas, como as das cianobactérias; arsênico) ou de origem antrópica (outros contaminantes químicos).
3. Como reservatório de vetores de doenças, como os mosquitos transmissores da malária e da dengue e os hospedeiros intermediários (caramujos) que albergam o verme causador da esquistossomose (*Schistosoma mansoni*).
4. Impactos físicos diretos (ex. inundações em áreas povoadas) ou indiretos (ex. danos à produção de alimentos ou à infra-estrutura de saúde, etc.).



Figura 2. Córrego em área inundada do Pantanal de Aquidauana, MS (fotografia U.E.C. Confalonieri).

SITUAÇÃO NO BRASIL

Alguns critérios clássicos existem em saúde pública para a definição de prioridades para intervenção. De modo geral, admitem-se três aspectos principais:

1. Número de indivíduos afetados.
2. Gravidade dos processos mórbidos (medidas pela mortalidade e incapacidade).
3. Existência de tecnologias de prevenção/controle.

No caso dos agravos relacionados à água, ao aplicarmos estes critérios, podemos definir as seguintes condições, dentre as mais importantes:

- 1. Diarréia infantil:** ainda é importante causa de morbidade no país (ver página 7).
- 2. Doenças transmitidas por vetores:** destacam-se a malária, praticamente restrita a ambientes modificados na região Amazônica (com cerca de 540 mil casos em 2006) e a dengue, mais importante nas grandes cidades, com cerca de 700 mil casos em 2008 (incidência em 2007 de 295,7 casos/100 mil habitantes).
- 3. Esquistossomose e outras helmintoses:** a esquistossomose origina-se na contaminação fecal (por doentes) de corpos d'água como riachos, lagoas e açudes, que contenham populações do molusco do gênero *Biomphalaria*. É endêmica na região Nordeste e partes da Sudeste. Estima-se a existência de 8 milhões de portadores no país. Na região Nordeste, em 2004, foram diagnosticados 43.759 casos novos (incidência de 87,8 casos/100 mil habitantes).
- 4. Leptospirose:** geralmente ocorre como consequência da contaminação de águas de inundações urbanas pela urina do rato de esgoto, que contém a bactéria causadora. Está, portanto, relacionada à ocupação do solo urbano em áreas deficientes em drenagem, esgotamento sanitário e coleta de resíduos sólidos, o que facilita a proliferação dos roedores. Entre 1996 e 2005, foram diagnosticados 33.174 casos no país. A maior epidemia já registrada no Brasil foi no verão de 1996, na cidade do Rio de Janeiro, com 1.790 casos e 49 óbitos.
- 5. Intoxicação por cianotoxinas:** em nosso país, o trabalho de Teixeira *et al.* (1993) descreve uma forte evidência de correlação entre a ocorrência de florações de cianobactérias no reservatório de Itaparica (Bahia) e a morte de 88 pessoas, entre as 2.000 intoxicadas e que apresentaram um quadro grave de gastroenterite pelo consumo de água do reservatório entre março e abril de 1988. Entretanto, o primeiro caso confirmado mundialmente de mortes humanas causadas por toxinas de cianobactérias (cianotoxinas) ocorreu no início de 1996, quando 130 pacientes renais crônicos passaram a apresentar, após terem sido submetidos a sessões de hemodiálise em uma clínica da cidade de Caruaru, Estado de Pernambuco, um quadro clínico compatível com uma grave hepatotoxicose. Desses, 60 pacientes vieram a falecer até 10 meses após o início dos sintomas. As análises confirmaram a presença de cianotoxinas no sistema de purificação de água da clínica e em amostras de sangue e fígado dos pacientes intoxicados (Azevedo 1996, Carmichael *et al.* 1996, Jochimsen *et al.* 1998, Pouria *et al.* 1998, Carmichael *et al.* 2001, Azevedo *et al.* 2002).
- 6. Situações complexas devido à falta crônica de água:** é importante destacar que a relação da água com as afecções à saúde a ela relacionadas é, em geral, muito complexa e mediada por vários fatores de natureza físico-geográfica, sócio-ambiental, econômica e cultural. A Figura 1 ilustra esta afirmativa mostrando como as mudanças climáticas podem afetar a água, além de outros fatores de risco, e provocar doenças no semi-árido nordestino, requerendo atenção inter-setorial.

A Figura 3 mostra a forma complexa e multifatorial de como a escassez de água no Nordeste afeta a saúde e os sistemas de atenção médica. Embora as altas temperaturas e a baixa umidade tenham impactos diretos sobre a fisiologia humana, a maior parte dos problemas de saúde decorre, indiretamente, de processos sócio-ambientais desencadeados pela seca. Os impactos mais importantes são os problemas nutricionais, os quais são exacerbados pela queda na produção de alimentos, e as consequências dos processos migratórios resultantes da economia afetada (CEDEPLAR/FIOCRUZ 2008). Estes são, principalmente, a redistribuição espacial de doenças crônicas, infecciosas ou não (ex. Calazar) e o aumento na demanda sobre os sistemas de saúde nas áreas de destino dos migrantes. Embora haja certa capacidade adaptativa das populações locais às secas, principalmente através de ações governamentais de mitigação, os modelos pro-

(de 62 para 75 %). A população rural, embora tenha exibido acréscimo de cobertura no mesmo período, permanece com apenas 16 % dos domicílios atendidos, ainda que aqui caiba uma discussão sobre a solução tecnológica mais adequada para populações dispersas. Da mesma forma, o indicador cobertura contém informação apenas parcial, pois não fornece indicações sobre o destino dos efluentes. Além disso, cabe a discussão sobre a ambigüidade do indicador, pois a mera existência de cobertura por coleta de esgotos não, necessariamente, proporciona uma efetiva melhoria nas condições de saúde e ambientais. A rede coletora em locais desprovidos de interceptores e tratamento de esgotos pode até provocar uma acentuação dos problemas à saúde humana, caso a solução anteriormente prevalente, invariavelmente de infiltração dos efluentes no subsolo por diferentes tipos de fossas, se mantivesse funcionando medianamente. Neste caso, a rede termina por concentrar os esgotos nos corpos de água do meio urbano, expondo as populações e aumentando a circulação ambiental de microrganismos patogênicos. A própria presença de interceptores e estações de tratamento não constitui garantia de proteção à saúde humana e à qualidade da água dos corpos receptores, se considerarmos a eficiência freqüentemente reduzida dessas últimas em remover microrganismos patogênicos.

Quanto à natureza do atendimento, a PNSB (IBGE 2000) informa que 4.097 (42 %) dos 9.848 distritos brasileiros possui rede coletora, mas que apenas 1.383 deles têm estações de tratamento (14 % do total). Contudo, apenas 118 realizam desinfecção dos esgotos. Do total do volume de esgotos coletado, apenas 35 % recebem algum tipo de tratamento, resultando em cerca de 9.400.000 m³ de esgotos brutos encaminhados diariamente aos corpos de água do país, considerando somente aquele coletado por rede. É também merecedora de registro a informação de que 3.288 distritos com rede (80 %) não possuem qualquer extensão de interceptor provocando, potencialmente, a deterioração da qualidade das águas dos corpos receptores situados nas malhas urbanas.

Na avaliação do atendimento populacional pelos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário é necessário destacar as assimetrias com que ocorre. Estas podem ser verificadas segundo várias dimensões. Além da desigualdade de acesso estar associada ao local de moradia, se urbano ou rural, ela apresenta também uma relação surpreendentemente não clara com a renda, qual seja: os mais pobres são os mais excluídos. Ademais, estudos vêm mostrando que o porte das cidades e seu nível de desenvolvimento humano associam-se positivamente com a possibilidade de terem serviços com maior cobertura (Rezende 2005).



Figura 4. Lagoa na região do Pantanal Sul, MS (fotografia U.E.C. Confalonieri).

PERSPECTIVAS

- 1. MDG:** há várias interconexões entre as Metas de Desenvolvimento do Milênio e água, esgotamento sanitário e saúde. Talvez, a que sofra consequências mais diretas seja a redução da mortalidade infantil (Meta 4 dos "MDG's") por doenças diarreicas, através da melhoria no acesso a serviços de saneamento e abastecimento da água. A meta mais especificamente relacionada corresponde à Meta 7 (Sustentabilidade Ambiental), que prevê a redução do déficit através dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Com isto, serão alcançadas não só melhorias nos níveis de saúde, mas também na conservação dos ecossistemas e uma menor pressão sobre os recursos hídricos comumente escassos (WHO/UNICEF 2006, Schuster-Wallace *et al.* 2008). Prevê-se que o Brasil conseguirá atingir a meta referente ao abastecimento de água, mas terá dificuldades em alcançar a que se refere ao esgotamento sanitário. Da mesma forma, a melhoria no manejo da água, com sistemas aperfeiçoados, reduz a oportunidade para formação de criadouros de mosquitos transmissores de dengue e malária (Meta 6: Combater o HIV/AIDS, malária e outras doenças).
- 2. Mudança climática global:** o IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) projetou, em seu Quarto Relatório de Avaliação (2007), a redução na precipitação pluviométrica, especialmente nos trópicos secos, o que aumentará o número de pessoas vivendo sob regime de estresse hídrico. Há também projeções de redução, nas próximas décadas, da disponibilidade de água doce em regiões litorâneas como consequência da intrusão salina decorrente de um aumento do nível do mar (efeito do aquecimento global). Também se espera que a redução no fluxo dos rios e o aumento na temperatura da água levarão à perda de qualidade da água pela redução da diluição de contaminantes, pelo menor teor de oxigênio dissolvido na água e pelo aumento na atividade microbológica (Bates *et al.* 2008). Como conclusão, o trabalho do IPCC aponta que as mudanças nos regimes de chuva e temperatura provocadas pela mudança climática global tornarão mais difíceis os processos de provisão de água limpa, drenagem e saneamento. Atualmente, o manejo dos recursos hídricos e sua infra-estrutura têm sido baseados em conhecimentos sobre climas estáveis. As políticas e regulamentações no uso de recursos hídricos deverão incorporar informações oriundas dos cenários regionais de mudança de clima. Para o Brasil, estudos e o desenvolvimento de cenários climáticos apontam para as regiões Norte e Nordeste como as que deverão ser mais intensamente afetadas pelo processo de mudança climática global (Baettig *et al.* 2007, Marengo 2007, Ambrizzi *et al.* 2007, Marengo 2008).
- 3. Pesquisa, vigilância e monitoramento:** dada a importância da água para saúde humana, ações setoriais de pesquisa e monitoramento são necessárias para um conhecimento mais completo da relação água/saúde no país. Devem ser mantidas iniciativas governamentais tal como a de 2008, para o incentivo a estudos de avaliação integrada de risco à saúde humana em populações expostas à água contaminada (Fundos Setoriais de Recursos Hídricos e de Saúde). Também são importantes iniciativas de coleta, organização e disponibilização de dados sobre água, esgotamento sanitário e enfermidades a estes relacionados. Deve ser mencionada, a este respeito, a iniciativa do Ministério da Saúde (Coordenação Geral de Vigilância Ambiental) e da Fundação Oswaldo Cruz, na formação do atlas digital "Água Brasil". Reunindo indicadores de saúde, qualidade da água e saneamento, em nível municipal, em todo o país, o atlas permite a visualização de problemas de abastecimento de água, padrões de consumo e perfil epidemiológico de enfermidades de veiculação hídrica (<http://www.aguabrasil.iact.ocruz.br>).
- 4. Universalização dos serviços de saneamento:** é patente a necessidade de ampliação da cobertura pelos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, visando reposicionar o Brasil no patamar de desenvolvimento perseguido pelo país e intensificar o impacto

na saúde da população. Não são pequenos os desafios para atingir uma situação de universalidade e equidade pelos serviços, assegurando o acesso a toda a população urbana e rural à qualidade dos serviços e à sua sustentação ao longo do tempo. A inclusão das populações da periferia dos grandes centros e da população rural, a garantia da segurança da água fornecida e a implantação de meios para a disposição adequada dos resíduos constituem importantes desafios. Verdadeiros avanços nessa direção requererão uma combinação de esforços, ou seja, uma política pública adequadamente desenhada e implementada, a disponibilização de recursos financeiros e o aperfeiçoamento da gestão dos serviços. Essas iniciativas necessitam, efetivamente, de uma adoção integrada, rompendo a visão de que apenas recursos financeiros são suficientes para superar os problemas da área. De certa forma, há um reconhecimento da importância de priorização das ações de saneamento e de que o sucesso das políticas públicas impõe a adoção de uma visão integrada e de longo prazo, reconhecendo o papel dos diferentes atores sociais com a nova legislação federal aprovada no País (Brasil 2005, 2007). Entretanto, a vontade política de superar previsíveis entraves para este avanço será indispensável para o sucesso da implementação desses instrumentos legais.

5. Proteção da saúde humana em relação à exposição a agentes tóxicos: embora as cianobactérias sejam um dos componentes naturais de qualquer ecossistema aquático, a atenção para a ocorrência desses microrganismos em mananciais de abastecimento público é relativamente recente. A crescente eutrofização de reservatórios tem sido produzida, principalmente, pelas descargas de esgotos domésticos e industriais dos centros urbanos e pela poluição difusa originada nas regiões agricultáveis. Esta eutrofização artificial produz mudanças na qualidade da água, incluindo o aumento da incidência de florações de microalgas e cianobactérias, com consequências negativas sobre a eficiência e o custo do tratamento da água. Em nosso país, o problema das florações é intensificado pelo fato de que a maioria dos reservatórios de água para abastecimento apresenta as características necessárias para o crescimento intenso de cianobactérias durante o ano todo. É impossível considerar as cianobactérias como microrganismos patogênicos no sentido clássico, pois embora muitas linhagens de diferentes espécies desses organismos possam produzir metabólitos secundários bioativos e tóxicos para células de diversos grupos de animais, grande parte desses compostos só é liberada para a água após a lise das células das cianobactérias. A qualidade da água poderá ser mais comprometida pela presença das toxinas em sua forma dissolvida do que por células viáveis de cianobactérias que, potencialmente, devem ser removidas em grande parte durante o tratamento convencional da água. Este pode, por sua vez, levar ao rompimento das células desses microrganismos pelo uso de compostos químicos nas diversas etapas desse processo. As cianobactérias estão também frequentemente associadas à produção de compostos que conferem gosto e odor à água potável. Embora esses compostos não possam ser considerados tóxicos, sua presença leva preocupação às autoridades de saúde pois, muitas vezes, implica na rejeição, por parte da população, da água potável fornecida e aumento da busca por fontes alternativas de abastecimento, com aumento do risco à saúde pública. Registros comprovados da ocorrência de florações tóxicas no Brasil iniciaram-se na década de 1980. Os ambientes aquáticos localizados em áreas com forte impacto antropogênico apresentavam alta percentagem de dominância de cianobactérias e ocorrência de florações. Em pelo menos 11 dos 26 estados brasileiros já foram identificadas espécies tóxicas de cianobactérias, sendo a maioria dos registros provenientes de reservatórios de usos múltiplos (Azevedo 2005). Em muitos casos, as cianobactérias causadoras dos danos desaparecem do reservatório antes que as autoridades de saúde pública considerem uma floração como risco possível, pois são geralmente desconhecedoras dos danos possíveis resultantes da ocorrência de florações de cianobactérias e, portanto, assumem que os processos de tratamento da água usuais são capazes de remover qualquer problema potencial. Entretanto, várias toxinas de cianobactérias são, quando em solução, dificilmente removidas através de um processo convencional de tratamento sendo, inclusive, resistentes à fervura. Com o apareci-

mento freqüente de florações de cianobactérias em reservatórios de abastecimento público, as autoridades de meio ambiente tentam, de modo geral, controlar as florações com a aplicação de sulfato de cobre ou de outros algicidas. Este método causa lise desses organismos, liberando as toxinas freqüentemente presentes nas células para a água bruta do manancial. Tais ações podem causar exposições agudas às toxinas. Além disso, há evidências de que populações abastecidas por reservatórios que apresentam extensas florações podem estar expostas a baixos níveis de toxinas por longos períodos (Hilborn *et al.* 2008). Esta exposição prolongada deve ser considerada como um sério risco à saúde, uma vez que as microcistinas, exatamente o tipo mais comum de toxinas de cianobactérias, são potentes promotoras de tumores e, portanto, o consumo continuado de pequenas doses de hepatotoxinas pode levar a uma maior incidência de câncer hepático na população exposta. A exposição crônica ou episódica a toxinas de cianobactérias é, certamente, a principal via de exposição humana a esses compostos, principalmente considerando a via oral, através da água de abastecimento. Por outro lado, os estudos já desenvolvidos no Brasil por Magalhães *et al.* (2001) e Magalhães *et al.* (2003) demonstraram que peixes (tilápias) e crustáceos também são capazes de acumular microcistinas em seu tecido muscular, às vezes, até com níveis muito acima do limite recomendado pela OMS, o que representa um sério risco para a população que consome esse pescado. Os impactos causados pelas cianobactérias tóxicas em ambientes aquáticos brasileiros têm sido potencializados pela atividade de piscicultura intensiva com introdução de tanques rede, inclusive em reservatórios de usos múltiplos, que incluem o abastecimento público, e pelo cultivo intensivo de camarões, em reservatórios e ambientes estuarinos.

- 6. Metais pesados e micro-contaminantes orgânicos:** a concentração de metais pesados no meio ambiente ocorre devido aos lançamentos antropogênicos associados a efluentes de indústrias metalúrgicas e químicas ou a atividades de mineração, que têm como destino, na maioria das vezes, os ambientes aquáticos. Somente há poucos anos, a comunidade científica começou a dar atenção à exposição humana a certos metais pesados, como metilmercúrio (MeHg), Cd e Pb, entre outros que, mesmo em doses moderadas e contínuas, podem provocar efeitos tóxicos irreversíveis à saúde humana, principalmente ao sistema nervoso central. Os sistemas aquáticos são particularmente sensíveis aos poluentes por apresentarem cadeias alimentares mais longas, que podem favorecer fenômenos de biomagnificação, ou seja, de aumento na concentração entre dois níveis tróficos sucessivos. Reservatórios são ambientes mais suscetíveis à contaminação por metais e outros micropoluentes, pela mobilização destes a partir do solo inundado. As represas tropicais destacam-se, novamente, nesse particular (Kehrig *et al.* 1999). Uma das consequências potenciais importantes do represamento é a produção mais intensa de metilmercúrio, associada à degradação anaeróbia da matéria orgânica inundada como já foi fartamente documentado em reservatórios localizados em regiões de clima temperado e boreal (Guimarães *et al.* 2000). Em reservatórios tropicais, espera-se que esse processo de metilação do Hg seja favorecido, devido às temperaturas elevadas e regulares, à intensidade da atividade microbiana e à frequência e duração da estratificação da coluna d'água, com desenvolvimento de condições redutoras no hipólímnio. Mais recentemente, o problema da contaminação ambiental por micropoluentes orgânicos (pesticidas e bifenilas policloradas ou PCBs) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) também está sendo investigado em sistemas aquáticos. A maioria desses compostos tem utilização proibida ou restrita e sua produção controlada na maioria dos países do mundo. Apesar de proibido o uso do DDT (diclorodifeniltricloroetano) na maioria dos países desenvolvidos, este produto foi, tem sido e provavelmente ainda será intensamente utilizado no controle de insetos vetores de doenças e de pragas na agricultura em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento. Os PCBs, amplamente utilizados no passado em transformadores elétricos de grande porte, também tiveram sua produção e uso restringidos, porém, alguns equipamentos ainda os utilizam. Entretanto, para ambientes tropicais existem poucas informações a respeito do comportamento e do destino final desta classe de substâncias.



Figura 5. Tempestade sobre Belo Horizonte, MG (fotografia U.E.C. Confalonieri).

RECOMENDAÇÕES

Sugere-se, como elemento orientador de políticas públicas, o estabelecimento de metas de redução da morbidade e mortalidade por agravos relacionados à falta de acesso à água tratada de boa qualidade. Neste sentido, pela relação direta com a quantidade e qualidade da água e com a disposição adequada das excretas, a diarreia infantil se destaca como um problema maior e um indicador adequado, cuja redução é possível através de intervenções de fácil execução. Propõe-se o estabelecimento de uma meta de redução percentual até o ano de 2014 (prazo de cinco anos) na mortalidade por diarreia em crianças menores de cinco anos no Brasil.

Dado o caráter multisetorial do “problema água” e suas relações estreitas com a saúde, sugere-se o desenvolvimento, aperfeiçoamento e aplicação de um índice composto relacionado à “água/saúde/ambiente/sociedade”, capaz de servir como ferramenta para o monitoramento do acesso, da qualidade e do uso da água e suas relações com indicadores específicos de saúde. A idéia é ter um indicador quantitativo que permita comparações e possa ser aplicado em diferentes escalas (desde as comunidades até o nível nacional), como um instrumento abrangente, capaz de capturar as relações entre a vida social, a água e os impactos de seus usos na saúde. Uma possível alternativa seria a adaptação do “Water Poverty Index” (Sullivan, 2002, Sullivan & Meighs 2007, Lawrence et al. 2002).

REFERÊNCIAS CITADAS

- Ambrizzi, T., Rocha, R.P., Marengo, J.A., Pissnitchenko, I., Alves, L.M. & Fernandez, J.P.R. 2007. Cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul, para o século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 3.IAG/USP, CPTEC/INPE, 112 p.
- Arnell, N.W. 2004. Climate change and global water resources: SRES emission scenarios and socioeconomic scenarios. *Global Environ Change* 14: 31-52.

- Azevedo, S.M.F.O. 1996. Toxic cyanobacteria and the Caruaru tragedy. IV Simpósio da Sociedade Brasileira de Toxinologia.
- Azevedo, S.M.F.O., Carmichael, W.W., Jochimsen, E., Rinehart, K., Lau, S., Shaw, G. & Eaglesham, G. 2002. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru, Brazil. *Toxicology* 181: 441-446.
- Azevedo, S.M.F.O. 2005. South and Central America: toxic cyanobacteria. In: Codd, G.A., Azevedo, S.M.F.O., Bagchi, S.N., Burch, M.D., Carmichael, W.W., Harding, W.R., Kaya, K. & Utkilen, H.C. (eds.). *Cyanonet: a global network for cyanobacterial bloom and toxin risk management*, IHP-Unesco, Paris, p. 115-126.
- Baettig, M., Wild, M. & Imboden, D.M. 2007. A climate change index: where climate change may be most prominent in the 21st century. *Geophysics Research Letters* 34: L01705
- Bates, B., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. & Palutikof, J. 2008. Climate change and water. IPCC/ TSU, Technical Paper. 210 p.
- BRASIL. 2007. Lei 11.445. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.
- BRASIL. 2005. Lei 11.107. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos.
- Carmichael, W.W., An, J.S., Azevedo, S.M.F.O., Lau, S., Rinehart, K.L., Jochimsen, E., Holmes, C. & Silva, L. 1996. Analysis for microcystins involved in outbreak of liver failure and death of humans at a hemodialysis center in Caruaru, Pernambuco, Brazil. IV Simpósio da Sociedade Brasileira de Toxinologia.
- Carmichael, W.W., Azevedo, S.M.F.O., An, J.S., Molica, R., Jochimsen, E., Lau, S., Rinehart, K., Shaw, G. & Eaglesham, G. 2001. Human fatalities from Cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins. *Environmental Health Perspectives* 109: 663-668.
- CEDEPLAR & FIOCRUZ. 2008. Migrações, mudanças climáticas, saúde segurança Pública: cenários para o Nordeste brasileiro, 2000-2050. Relatório de Pesquisa, Belo Horizonte, CEDEPLAR/ FICRUZ, Março de 2008, 775 p.
- Cox, P.A., Banack, S.A., Murch, S.J., Rasmussen, U., Tien, G., Bidigare, R.R., Metacalf, J.S., Morrison, L.F., Codd, G.A. & Bergman, B. 2005. Diverse taxa of cyanobacteria produce b-N-methylamino-L-alanine, a neurotoxic amino acid. *PNAS* 102: 5074-5078.
- Fristachi, A. & Sinclair, J. 2008. Occurrence of cyanobacterial harmful algal blooms workgroup report. In: Hudnell, K.H. (ed.). *Cyanobacterial harmful algal blooms: state of the science and research needs*. Springer, New York, p. 37-97.
- Guimarães, J.R.D., Meili, M., Hylander, L.D., Castro e Silva, E., Roulet, M., Mauro, J.B.N. & Lemos, R.A. 2000b. Net mercury methylation in five tropical flood plain regions of Brazil: high in the root zone of floating macrophyte mats but low in surface sediments and flooded soils. *Science Total Environment* 261: 99-107.
- Hilborn, E.D., Fournie, J.W., Azevedo, S.M.F.O., Chernozhuk, N., Falconer, I.R., Gage, M., Hooth, M.J., Jensen, K., Macphail, R., Rogers, E., Shaw, G. & Stewart, I. 2008. Human Health Effects Workgroup Report. In: Hudnell, K.H. (ed.). *Cyanobacterial harmful algal blooms: state of the science and research needs*. Springer, New York, p. 589-616.
- IBGE. 2000. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Brasília: IBGE.
- Jochimsen, E.M., Carmichael, W.W., An, J.S., Cardo, D., Cookson, S.T., Holmes, C.E. M., Antunes, M.B., Melo, A.D., Lyra, T.M., Barreto, V.S.T., Azevedo, S.M.F.O. & Jarvis, W.R. 1998. Liver failure and death following exposure to microcystin toxins at a hemodialysis center in Brazil. *The New England Journal of Medicine* 36: 373-378.

- Kehrig, H.A. 1999. Investigação dos níveis de metilmercúrio em amostras ambientais e humanas. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Lawrence, P., Meigh, J. & Sullivan, C. 2002. The Water Poverty Index: an international comparison. Keele Economics Research Papers, 24 p.
- Magalhães, V.F., Marinho, M.M., Domingos, P., Oliveira, A.C., Costa, S.M., Azevedo, L.O. & Azevedo, S.M.F.O. 2003. Microcystins (Cyanobacteria hepatotoxins) bioaccumulation in fish and crustaceans from Sepetiba Bay (Brasil, RJ). *Toxicon* 42: 289-295.
- Magalhães, V.F., Soares, R.M. & Azevedo, S.M.F.O. 2001. Microcystin contamination in fish from the Jacarepaguá Lagoon (RJ, Brazil): ecological implication and human health risk. *Toxicon* 39: 1077-1085.
- Marengo, J.A., 2008. Água e mudanças climáticas. *Estudos Avançados* 22: 83-96.
- Marengo, J.A., Nobre, C.A., Salati, E. & Ambrizzi, T. 2007. Caracterização do clima atual e de definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Ministério do Meio Ambiente, SBF/ProBio, Brasília, 54 p.
- Pouria, S., Andrade, A., Barbosa, J., Cavalcanti, R., Barreto, V., Ward, C., Preiser, W., Poon, G., Neild, G. & Codd, G.A. 1998. Fatal microcystin intoxication in haemodialysis unit in Caruaru, Brazil. *The Lancet* 352: 21-26.
- Prüss-Ustin, A., Bos, R., Gora, F. & Bartram, J. 2008. Safer Water, better health. Costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health. WHO, Geneva, 53 p. (http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/saferwater/en/index.html).
- Rezende, S.C. 2005. Utilização de instrumentos demográficos na análise da cobertura por redes de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Schoof, R.A. 2003. Final guide for incorporating bioavailability adjustments into human health and ecological risk assessments at Department of Defense Facilities. Parte 2: Technical Background Document for Assessing Metals Bioavailability. Update Prepared for U.S. Tri-Service Ecological Risk Assessment Workgroup.
- Schuster-Wallace, C., Grover V., Adeel, Z., Confalonieri, U.E.C. & Elliot, S. 2008. Safe water as the key to global health. United Nations University, INWEH, Canada, 28 p.
- Sullivan, C. 2002. Calculating a Water Poverty Index. *World development* 30: 1195-1210.
- Sullivan, C. & Meigh, J. 2007. Integration of biophysical and social sciences using an indicator approach: addressing water problems at different scales. *Water Research Management* 21: 11-128.
- Teixeira, M.G.L.C., Costa, M.C.N., Carvalho, V.L.P., Pereira, M.S. & Hage, E. 1993. Gastroenteritis epidemic in the area of the Itaparica Dam, Bahia, Brazil. *Bulletin of the Pan American Health Organization* 27: 244-253.
- United Nations Statistics Division. 2008. Millennium Development Goals Indicators (<http://mdgs.un.org/unsd/mdg/default.aspx>).
- WHO/UNICEF, 2006. Protecting and promoting human health. *In*: Water, a shared responsibility. The UN Water Development Report 2, UNESCO, Paris. p. 202-240,

3

ÁGUA E ECONOMIA

ÁGUA E ECONOMIA

Eugênio Miguel Cánepa¹

Jaildo Santos Pereira²

Antonio Eduardo Lanna³

RESUMO

Este artigo aborda uma das questões relevantes que confronta a água com seus aspectos econômicos: o uso de instrumentos econômicos para a gestão de recursos hídricos. Considera, inicialmente, os aspectos históricos e conceituais. Na segunda etapa, analisa a legislação brasileira de recursos hídricos. Na terceira etapa, os princípios usuário pagador (PUP) e poluidor pagador (PPP) são considerados, de onde são originadas as contribuições para adoção de instrumentos econômicos de gerenciamento de recursos hídricos. Finalmente, realiza o confronto entre esses preceitos e a realidade atual do gerenciamento de recursos hídricos no Brasil, mostrando que muito ainda existe para se avançar.

Palavras-chave: análise de custo-benefício, análise de custo-efetividade, cobrança pelo uso da água, gestão de águas doces, Princípio Poluidor Pagador, Princípio Usuário Pagador

ABSTRACT

This paper addresses one of the important issues that faces water against its economic aspects: the use of economic instruments to manage water resources. First, historic and conceptual issues are considered. In a second part, the Brazilian water resource legislation is analyzed. In a third part, the water user pays principles (UPP) and water polluter pays principles (PPP) are considered, with their contributions towards adoption of economic instruments for water resources management. Finally, a comparison between these principles and the reality of the current Brazilian water resources management is presented, showing that there is still much to move.

Key words: benefit-cost analysis, cost-effectiveness analysis, Polluter Pays Principle, User Pays Principle, water charges, water resources management

¹ Fundação de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, canepa@cientec.rs.gov.br

² Universidade Federal do Recôncavo Bahiano, jaildo@yahoo.com

³ AlfaSigma Consultoria, edulanna@gmail.com

INTRODUÇÃO

Este artigo aborda um aspecto do vasto tema “água x economia”, qual seja: em que medida os múltiplos usos das águas doces e, especialmente, os despejos de efluentes em nossos mananciais, estão afetando o valor econômico e o preço desse recurso natural que, até algumas poucas décadas atrás, constituía-se num “bem livre” ou num bem/recurso de livre acesso em suas diversas funções: insumo produtivo, diluidor/assimilador de efluentes, fornecedor das chamadas amenidades ambientais¹. Atualmente, a situação é totalmente diferente.

A compreensão deste fenômeno é imediata se atentarmos para os dados coletados e trabalhados por Williamson & Milner (1991), que nos proporciona uma esclarecedora visão histórica. Segundo os autores, nos 200 anos de Revolução Industrial até o ano 1990, a população planetária praticamente sextuplicou (passando de 1 para 6 bilhões de habitantes), enquanto que o Produto Mundial Bruto – ressalvada a questão dos números-índices – foi multiplicado por aproximadamente 33 vezes. Este último dado significa, em média, uma duplicação a cada 40 anos. Levando em conta a propriedade das progressões geométricas de razão 2, de que o último termo da progressão é maior que a soma dos precedentes, isto, por sua vez, implica que, em termos aproximados, no período 1990-2030 o planeta experimentará uma pressão – em termos de uso de espaço, uso de recursos naturais e despejo de efluentes – maior do que a dos 200 anos anteriores.

Este fenômeno de crescimento exponencial – típico, a partir da Revolução Industrial, mas absolutamente novo na História do Planeta – constitui o cerne do *seminal paper* de Boulding (1964) sobre a *economia do cowboy* x a *economia da espaçonave*: não estamos mais diante da economia da grande planície e da abundância de recursos naturais; o entorno natural do sistema econômico não é mais um reservatório ilimitado de matérias primas e de amenidades ambientais, nem uma fossa na qual se possa, naturalmente, despejar e reciclar os detritos a preço zero. É preciso compreender, além disso, que os problemas de *stress* e degradação ambiental não resultam, em si próprios, da utilização dos recursos naturais e da emissão de resíduos pelas atividades humanas, pois tal utilização e emissão sempre ocorreu. Os problemas, isto sim, resultam de seu volume em relação à capacidade de sustentação e assimilação dos meios de suporte e receptores: o meio ambiente tornou-se escasso e precisa ser “economizado”. E, à semelhança do que ocorreu com as terras férteis – o primeiro recurso natural a se tornar escasso relativamente às necessidades – os bens naturais farão jus, crescentemente, a um preço, a uma *renda de escassez*.

Para agravar ainda mais as coisas – perfeitamente compreensível, aliás, no contexto do crescimento exponencial da população, da produção e dos problemas, como nos mostram McKinney *et al.* (2007) – já não estamos mais em presença da degradação “local” de nossos rios e das nossas calotas de ar metropolitanas, mas sim em um nível em que os problemas de sobreexploração e poluição dos bens naturais atingiram uma escala planetária: comprometimento da camada de ozônio, aquecimento global e mudança climática, diminuição da biodiversidade e das áreas florestais.

Em grande parte dos países avançados, especialmente na Europa Ocidental, a gestão dos recursos hídricos vem sendo feita dentro de uma tendência que veio a ser chamada de *publicização das águas*. Este fenômeno² insere-se num contexto maior de tendência na política ambiental, que se caracteriza por três componentes principais, a saber: (1) uma forte e crescente intervenção governamental, caracterizando uma verdadeira apropriação estatal do meio ambiente; (2) diversificação de instrumentos de política, assumindo crescente destaque a utilização, dentre outros, de dois instrumentos econômicos, a cobrança (o chamado Princípio Usuário Pagador – PUP) e as licenças negociáveis de poluição; e (3) implementação da política ambiental, em ge-

¹ Para um exame abrangente das questões relativas às águas, veja Rebouças *et al.* (1999) e Tundisi (2003).

² A exposição também vale no que tange à administração da poluição do ar.

ral, dentro de um marco analítico denominado de Análise de Custo-Efetividade (Cost-Effectivity Analysis), que visa à consecução de objetivos de qualidade dos corpos receptores, objetivos esses quase sempre socialmente acordados ao menor custo para a sociedade como um todo.

A Política Ambiental acima delineada é o ponto culminante de um processo que tem mais de um século de duração, iniciando com disputas em tribunais no fim do século XIX e primeira metade do século XX, passando pela famosa *Command and Control Policy*, desde o fim da Segunda Guerra Mundial e vigindo, exclusivamente, até o fim dos anos 70.³

A COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA

Quando se trata da cobrança pelo uso da água é comum ouvir a alegação de que a água já é paga pelo consumidor. A resposta a essa objeção levará à conceituação dos quatro preços da água. Numa grande cidade típica, um consumidor urbano paga dois preços pela água potável que consome, quais sejam:

1. preço correspondente ao serviço de captação, tratamento para potabilização e distribuição de água tratada ao consumidor;
2. preço correspondente ao serviço de esgotamento sanitário, isto é, a coleta de esgotos do consumidor, transporte e destinação final da água usada ao corpo hídrico.

Neste esquema, o corpo hídrico - quer como fonte do recurso, quer como fossa dos resíduos - é de livre acesso, gratuito. Nos primórdios do desenvolvimento e da urbanização, com baixa renda per capita e baixa densidade populacional, esses dois preços cobrados pela água eram perfeitamente funcionais, cobrindo os custos que a sociedade tinha na provisão dos serviços de abastecimento e esgotamento sanitário. A gratuidade da água na natureza era possível, pois sendo ela abundante em relação às necessidades, todos os demais usos (higiene, pesca, navegação, agricultura irrigada, etc.) eram viáveis, não sofrendo interferência do uso urbano, a capacidade de suporte e de assimilação do corpo hídrico era suficiente para todos os usos, a preço zero.

Entretanto, à medida que se processou o desenvolvimento econômico, a crescente renda per capita, bem como o crescimento populacional das cidades, gerou a necessidade de alimentar a população pela intensificação da agricultura irrigada, de fabricação de uma série de produtos de consumo para a sociedade moderna, de transportar esses produtos, etc. Em um estágio inicial desse processo de crescimento econômico, o despejo de esgotos de volta ao corpo hídrico, ao exceder sua capacidade de autodepuração, provocou uma degradação de qualidade de tal ordem que comprometeu a balneabilidade, a pesca e o próprio abastecimento de água potável, que foi encarecido via aumentos de custos de tratamento. Num estágio mais avançado, a retirada de água, ao se tornar excessiva em relação à capacidade de suporte do corpo hídrico, gerou problemas de ordem quantitativa, constatados pelo aparecimento de conflitos de uso de água. Seja como for, o fato é que os corpos hídricos na imediação dos grandes núcleos de desenvolvimento tornaram-se escassos tanto pela quantidade insuficiente quanto pela qualidade degradada; e a totalidade de seus usos, com livre acesso e a preço zero, não é mais possível.

É nesta situação que a sociedade pode decidir pela intervenção do Poder Público - no limite, estabelecendo a propriedade estatal do recurso, que passa a não ser mais de livre acesso - no sentido de racionar e racionalizar os usos. Por um lado, pode ser aplicado um sistema de atribuição de cotas de uso ou as outorgas de direitos de uso de água, como forma de normativamente

³ Para uma visão detalhada desta evolução, veja Lustosa et al. (2003).

conciliar as disponibilidades com os usos de água. Trata-se aqui de um instrumento de gestão incorporado à classe denominada como comando-e-controle.

Por outro lado, pode ser aplicado o Princípio-Usuário-Pagador como instrumento econômico para promoção do racionamento e da racionalização de uso, buscando a mesma conciliação entre as disponibilidades e usos de água, pela via de estímulos econômicos, implicando em mais dois preços para a água:

3. preço correspondente à retirada e ao consumo de água, no sentido de racionalizar o consumo viabilizando, inclusive, o investimento em dispositivos poupadores ou que aumentam a oferta de água; e
4. preço correspondente ao despejo de esgotos no rio (o mais conhecido Princípio-Poluidor-Pagador), no sentido, também, de refrear seu lançamento⁴ e viabilizar investimentos, por exemplo, em estações de tratamento.

O pagamento dos preços 1 e 2 não é novidade no cenário brasileiro. Paga-se às concessionárias dos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário e paga-se pela água fornecida nos perímetros irrigados. Em todos os casos, busca-se manter a saúde financeira das concessionárias de forma que possam assumir os custos de provisão dos serviços e de suas expansões para atendimento às crescentes demandas.

Os preços 3 e 4, sim, são novidades trazidas pelas modernas políticas de gestão de recursos hídricos e integram o chamado Princípio-Usuário-Pagador (PUP), constituindo-se num instrumento crescentemente utilizado no sentido de viabilizar os diversos usos do corpo hídrico que se tornou escasso. São esses preços as principais referências conceituais dos sistemas de cobrança pelo uso de água aos quais o atual artigo se reporta.

A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS

A tendência de *publicização das águas* teve eco em nosso país, culminando com a promulgação da Constituição Federal de 1988, onde se estabelece a propriedade estatal das águas (art. 20, I e art. 26, III, águas como bens da União ou das unidades federadas). A partir daí, vários estados da federação avançaram de maneira notável, ao promulgarem suas Constituições Estaduais e as respectivas Leis relativas à gestão das águas sob seu domínio, ao incorporarem em sua política de gestão a utilização da cobrança pelo uso dos recursos hídricos (ver, especialmente, as leis paulista – Lei 7.763/91 e gaúcha – Lei 10.350/94). Finalmente, a Lei Federal 9.433/97, dando guarida a estas leis pioneiras, também incorporou a cobrança como instrumento importante na gestão das águas. A Lei Federal 9.984/2000 (Agência Nacional de Águas – ANA) é, evidentemente, um complemento essencial à Lei 9.433.

O sistema proposto para o Brasil, nesse corpo de leis, coloca-o no caminho da adoção de uma política custo-efetiva e inspira-se, em maior ou menor grau, na experiência alemã das Companhias de Águas, do início do século XX, e na do sistema francês de comitês/agências de bacia, estabelecido nacionalmente, a partir de 1964. O modelo francês de gestão de recursos hídricos é um modelo descentralizado e participativo, que opera através dos comitês de bacias hidrográficas, verdadeiros “parlamentos das águas” encarregados de gerir as águas das respectivas bacias numa perspectiva condominial, com o suporte técnico das agências de bacia.

⁴ Se a tarifa, por unidade despejo, for suficientemente alta, custará menos ao agente tratar ponderável parcela do esgoto e pagar pela poluição residual, do que pagar pelo despejo total do esgoto gerado.

Na legislação em implantação, distinguimos claramente, através do dispositivo relativo ao *Enquadramento de corpos de água* em classes de qualidade, de acordo com os usos aos quais se destinam, o estabelecimento dos padrões de qualidade como metas estabelecidas pelas autoridades ambientais, ouvida a sociedade, e que deverão ser atingidas gradualmente pelos respectivos comitês de bacia. Para tanto, os comitês deverão utilizar vários instrumentos de gestão, onde se destacam: (1) *Planos de Bacia* – instrumentos de planejamento das intervenções necessárias à consecução das metas; (2) *Diretrizes de Outorga* – visando à compatibilização dos diversos usos das águas na bacia; e (3) *Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos* (o chamado *Princípio Usuário Pagador – PUP*) – instrumento econômico por excelência, que visa à indução de um uso mais moderado e racional dos recursos hídricos e ao financiamento das intervenções necessárias e previstas no plano de bacia.

Em 2002, teve início a cobrança pelo uso da água no país. Essa primeira aplicação do Princípio Usuário Pagador ocorreu na bacia do rio Paraíba do Sul (cujo rio principal, que dá nome à bacia, tem suas águas de domínio federal) através do Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Em 2006, iniciou-se a cobrança nas bacias dos rios Piracicaba, Jundiá e Capivari, através do Comitê PCJ. É de se ressaltar que na experiência brasileira no que tange à poluição – e diferentemente do sistema francês que serviu de inspiração – a cobrança é prevista, até o momento, relativamente tão somente aos componentes da carga orgânica (a Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO). A carga não orgânica e a chamada “carga tóxica” (metais pesados, etc.) será, provavelmente, tratada, ainda por algum tempo, através dos padrões de emissão (Política de Comando-e-Controlle).

O PRINCÍPIO USUÁRIO PAGADOR (PUP)

No marco de uma Política Ambiental custo-efetiva na área dos recursos hídricos, predomina em caráter quase absoluto, como instrumento de incentivação, a cobrança pelo uso dos recursos: o chamado Princípio Usuário Pagador (PUP). O PUP engloba a cobrança pela captação de água do manancial (que não tem um nome próprio), pelo seu consumo⁵ e a cobrança pelo despejo de efluentes (o “velho” Princípio Poluidor Pagador – PPP).

A COBRANÇA POR CAPTAÇÃO DE ÁGUA

Para manter a argumentação nos seus aspectos essenciais, vamos examinar um caso hipotético com apenas dois grupos de usuários. Consideremos o caso de uma área que tem seu abastecimento de água urbano e agrícola (irrigação) propiciado por um trecho de rio que banha a região. A Figura 1a apresenta a demanda de água bruta, por período (ex. mensal), do setor agrícola para fins de irrigação (Da). A Figura 1b apresenta a demanda em igual período da Companhia de Abastecimento de Água para fins de potabilização e distribuição aos residentes urbanos (Du).

⁵ Por isso, muitas vezes, o termo Princípio Usuário Pagador é usado para designar a cobrança por captação e consumo de água. Parece-nos conveniente, entretanto, manter a designação PUP para a captação, o consumo e o despejo de efluentes, pois usuário dos recursos hídricos é tanto aquele que capta e consome água do manancial quanto o que nele verte efluentes.

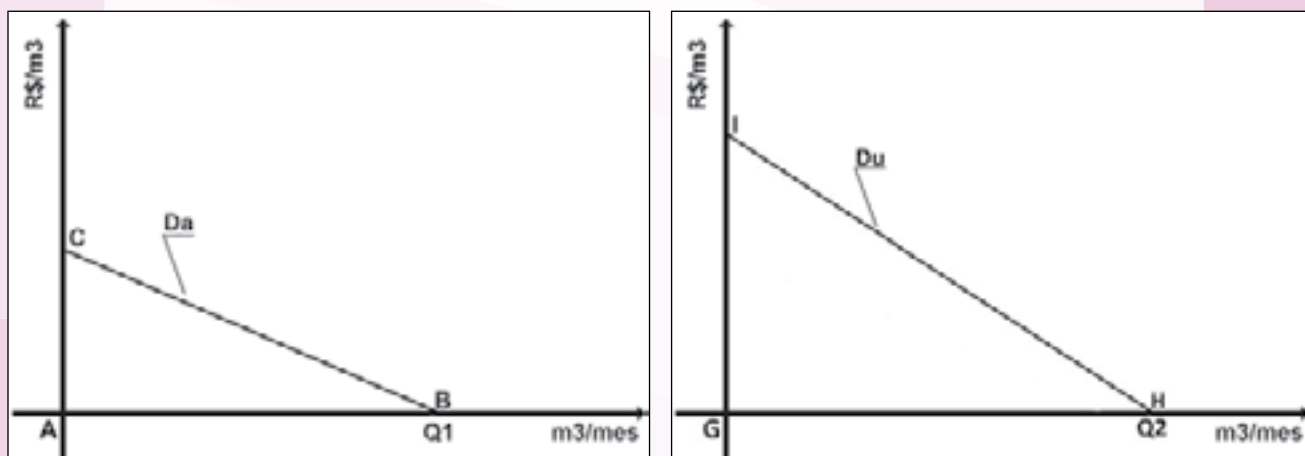


Figura 1 – Cobrança pela captação de água

Se a vazão disponível, no período, para abastecimento e irrigação for maior do que a soma $Q1 + Q2$, a retirada nesse período corresponderá a essa soma, sendo a retirada a preço zero para os dois grupos de usuários. De fato, havendo abundância relativa do recurso hídrico, não há razão para restringir a demanda pela imposição de um preço à retirada de água bruta.

Entretanto, se a vazão, no período, é inferior à soma $Q1 + Q2$, a maximização do Benefício Social Líquido Total (área sob a curva de demanda) exige que o consumo de ambos os grupos seja contido até o ponto em que o Benefício Social Líquido Marginal seja igual para ambos os consumidores. Isto pode ser obtido pela cobrança de um preço (justamente a cobrança pela retirada de água) igual a TT' na Figura 2, onde as curvas de Benefício Social Líquido Total de ambos os consumidores são colocadas, uma contra a outra, em cotejo com a oferta fixa limitada (vazão periódica) de água bruta pelo rio. Como pode ser visto no gráfico, qualquer ponto de consumo diferente de AT , para os consumidores agrícolas (irrigantes) e GT , para os consumidores urbanos, resulta num Benefício Social Líquido Total inferior ao máximo, uma vez que o benefício marginal ganho por qualquer grupo que aumente seu consumo é inferior ao benefício marginal perdido pelo outro grupo.

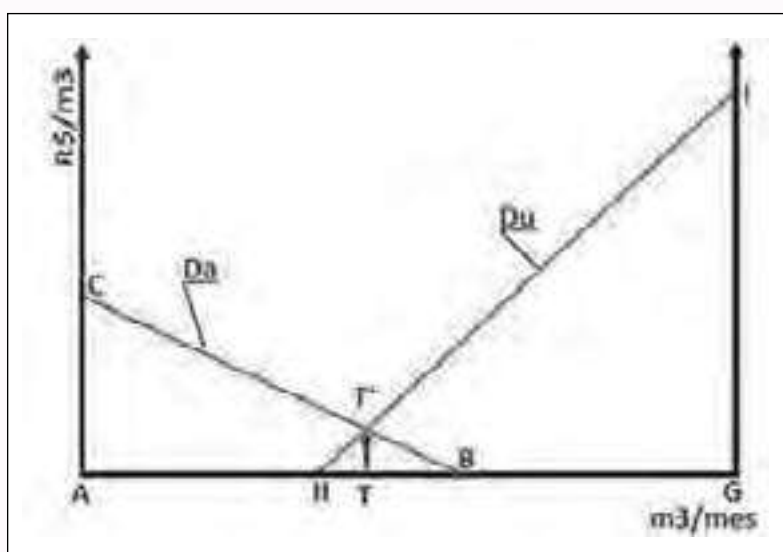


Figura 2. Sazonalidade da cobrança pela captação de água

Cabem aqui duas observações. Primeiro, a Figura 2 serve para explicar a sazonalidade da cobrança pela retirada de água, mesmo em situações contemporâneas. Ocorre que, em certas regiões, em época de chuvas, o rio pode ser considerado abundante em relação à demanda total e, assim, configurar uma situação em que não há necessidade de cobrar a retirada para refrear o consumo. A cobrança por retirada aplica-se apenas em época de estiagem, quando se configura, efetivamente, uma situação como a retratada na Figura 2. Em segundo lugar, o tipo de análise acima realizado aplica-se, identicamente, ao caso das águas subterrâneas, isto é, caso a demanda total, suprida pela captação, seja inferior à recarga do aquífero, nada precisa ser cobrado; em caso contrário, a cobrança se justifica.

Algumas observações de ordem prática são necessárias. Para a aplicação do critério de eficiência acima delineado é preciso, evidentemente, dispor das curvas de demanda de água para cada setor envolvido. Estas dependem, por sua vez, da determinação de uma “função de produção” da água, isto é, uma função que relacione as diversas quantidades de água bruta captada com a produção do setor. Isto estabelecido, é possível, via análise microeconômica de otimização, determinar quais as quantidades que cada setor captará de água aos diversos preços possíveis.

A aplicação pura e simples do critério de eficiência pode levar a situações de impasse como, por exemplo, a demanda de um grupo pode ser tão alta (a demanda da companhia de abastecimento, digamos) em relação à do outro grupo (os irrigantes, por hipótese) que o estabelecimento de um preço eficiente, por ser muito elevado, levaria um dos setores à inviabilização. Assim, raramente são calculadas as funções de produção e de demanda da água para todos os setores, optando-se pela utilização de preços determinados por aproximação/negociação. Estes preços são, geralmente, acordados de modo a financiar, parcial ou totalmente, as intervenções na bacia destinadas ao aumento ou aproveitamento das águas (barragens de regularização de vazão, canais, etc.).⁶

Entretanto, para fins de planejamento por parte de uma autoridade centralizada ou para os fins de negociação ao nível do comitê de bacia, é essencial contar, ao menos, com a função de demanda do setor agrícola (irrigantes), dados os níveis de consumo do setor, bem como sua importância econômica⁷. Uma curva de demanda do setor agrícola calculada com razoável aproximação permite explicitar o nível de subsídio eventualmente necessário para o setor, bem como o grau de cobertura, no financiamento das obras necessárias para a efetivação da irrigação (é de todo conveniente que a tarifa cubra, ao menos, os custos de operação e manutenção contribuindo, em parte, para os custos de capital).

A imposição de um preço às companhias de abastecimento de água potável por retirada de água bruta levanta uma questão relevante. Na medida em que a cobrança pelo uso for repassada ao usuário urbano, na tarifa final, (e isto teria que ser feito sob pena de o consumidor não receber o sinal do preço “total” da água tratada que recebe), a companhia de água poderá enfrentar problemas de lucratividade. De fato, embora a companhia seja um monopólio natural, ela não está isenta de enfrentar, por parte do consumidor, uma elasticidade no preço da demanda. Se esta elasticidade for igual ou maior que um, a companhia pode, após o repasse da cobrança, experimentar uma queda de receita própria, para uma produção igual ou algo menor. Dada sua estrutura de custos, onde predominam os custos fixos, isto pode comprometer a sua lucratividade⁸.

⁶ Para uma visão sintética do assunto, veja Musad et al. (1999). Um exame mais amplo e profundo, incluindo a questão da tarifa por despejo de efluentes, pode ser encontrado em Hartmann (2009).

⁷ A referência clássica no que se refere à demanda de água para irrigação é James & Lee (1971). Para uma aplicação a um caso brasileiro, veja Pedrosa (2008).

⁸ Obviamente, esses efeitos ocorrerão quando o valor cobrado for significativo para resultar em uma redução de uso de água; nesse momento, as experiências brasileiras não atingiram esse patamar.

A COBRANÇA PELO DESPEJO DE EFLUENTES (PPP)

Na Figura 3, o segmento Od representa, em termos percentuais, o total de emissões/ano de um poluente qualquer (DBO, por exemplo) no momento atual, em um dado curso de água. Por hipótese, a aplicação dos chamados *modelos de dispersão* permite estabelecer que, para se atingir o nível de qualidade estabelecido por ocasião do Enquadramento, é necessário abater anualmente o percentual Oc. Como, em geral, no início do processo, uma meta de tal ordem é muito ambiciosa, ela é desdobrada em metas parciais a serem atingidas progressivamente em períodos sucessivos de quatro ou cinco anos. Assim, teríamos, por exemplo, a meta Oa a ser atingida em cinco anos, Ob em 10 e, finalmente, Oc, em 15. Traçada uma curva de custo de abatimento (custo marginal de longo prazo), CMg – que ordene, de maneira crescente, o custo de abatimento dos diversos setores poluidores⁹ – é possível, mediante tarifas sucessivas e crescentes ao longo do tempo, ir atingindo as metas estabelecidas. Assim, a tarifa de OT1 \$/ton-ano permite o abatimento da proporção Oa e, deste modo, atingir a primeira meta parcial. De fato, dada esta tarifa, todos os agentes poluidores cujo custo de abatimento de poluição for inferior à tarifa (trecho Oa da curva CMg) preferirão abater poluição em vez de despejar e, portanto, pagar a tarifa. Os demais poluidores, entretanto, como os do trecho ad, cujo custo de abatimento é superior à tarifa, optarão por pagar o preço OT1 e continuar despejando seu efluente. Terminado este “programa” (que, em geral, leva alguns anos), pode-se passar à segunda etapa adotando uma tarifa mais alta, OT2. Agora, serão os do trecho ab que preferirão abater (em acréscimo aos do trecho Oa, que continuam abatendo, evidentemente), enquanto os do trecho bd pagarão um preço mais alto, mas, ainda assim, não tratarão por enquanto seus efluentes. E assim sucessivamente, até a consecução da meta final.

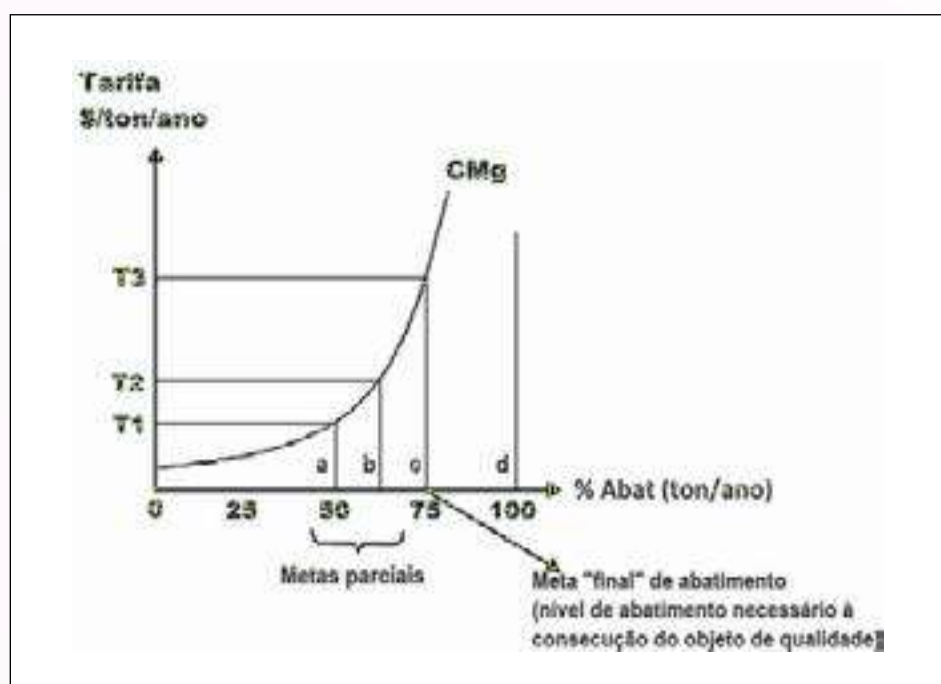


Figura 3. O PPP no contexto de uma política custo-efetiva de combate à poluição.

⁹ Tal curva é construída pela agência de bacia tendo por base informações sobre as tecnologias de abatemento disponíveis comercialmente (em geral, *end-of-pipe*).

A descrição acima ilustra o aspecto **incitativo** da cobrança pelo uso do recurso. De fato, preços crescentes induzem, incitam os agentes utilizadores a “moderar” seu uso até atingir o nível desejado. Mas, também servem para ilustrar o aspecto complementar do potencial de **financiamento** aos abatimentos a serem feitos. Tomemos o caso da primeira etapa acima mencionada: o uso da tarifa de OT1 \$/ton-ano. Os “pagadores” do trecho ad, que produzem uma receita OT1 x ad, possibilitam ao comitê/agência aportar os recursos financeiros (ou, pelo menos, parte) para que os “abatedores” do trecho Oa possam realizar os investimentos necessários aos respectivos abatimentos. O mesmo raciocínio, naturalmente, se aplica às etapas subseqüentes.

No sistema descentralizado e participativo em implantação no Brasil, este aspecto de instrumento de financiamento atribuído à tarifa é bem explícito. E mais, os comitês, como verdadeiros “parlamentos das águas” que são, terão alçada para decidir o tipo de financiamento a ser concedido, se a juros de mercado, a juros subsidiados ou a fundo perdido. Não é demasiado dizer que a conjugação destes dois aspectos, o de instrumento incitativo e de financiamento, à disposição de um órgão representativo da sociedade (o comitê) representa uma promessa muito importante em matéria de recuperação da qualidade e da quantidade de nossos cursos de água, propiciando uma efetiva possibilidade de compatibilização do crescimento econômico com a proteção de um recurso natural dos mais essenciais, sabidamente um dos “*trade-offs*” mais complexos da economia contemporânea.

Esta abordagem custo-efetiva suscita questões teórico-práticas de extrema relevância, que podem ser melhor apreciadas tendo por base uma aplicação prática como a que se encontra em Cánepa *et al.* (1999). Entretanto, algumas questões de ordem geral são consideradas a seguir.

No caso de decisão descentralizada, através de comitês de bacia, a discussão do *nível de cobrança x metas de abatimento* é um item crucial da interação comitê/agência de bacia. De fato, a explicitação das várias alternativas de abatimento, os respectivos níveis de cobrança incitativos, as repercussões financeiras sobre os agentes, as repercussões ambientais sobre os níveis de qualidade do corpo de água e sua aproximação mais ou menos rápida aos objetivos estabelecidos no enquadramento, os possíveis subsídios inter-setoriais, etc., fazem parte dos deveres da agência no sentido de embasar a discussão e a decisão por parte do comitê que, apesar de ser um verdadeiro “parlamento das águas”, não pode decidir sem a base técnica propiciada pela respectiva agência; no caso de administração centralizada, por autoridade ambiental diretamente, todos estes itens também devem ser abordados, mas por um colégio menor de decisores.

Curvas como a da figura 3 têm uma primeira característica, um fato tecnológico relevante, qual seja: o caráter acentuadamente exponencial, especialmente nos níveis de abatimento que se aproximam de 100%, em outras palavras, nos custos exponencialmente crescentes de abatimento da poluição na medida em que os níveis de abatimento aumentam. Este fato serve para explicar uma consequência muito importante em termos de política pública de combate à poluição. Em geral, uma comunidade poderá empreender um programa de despoluição a custos relativamente baixos durante os primeiros 10-15 anos e, assim, usar a tarifa incitativa. Não obstante, à medida que nos vamos aproximando de níveis altos de abatimento, exigidos pela escassez crescente do meio receptor e pelos objetivos de qualidade estabelecidos no enquadramento original, as tarifas terão, para serem incitativas, também que ser reajustadas exponencialmente: a realidade inescapável de curvas de custo marginal desse tipo é o de que, com base na tecnologia correntemente conhecida, o preço relativo do meio ambiente recuperado aumenta desmesuradamente. Para lidar com esse fenômeno, há dois caminhos complementares: em primeiro lugar, usar crescentemente tarifas puras de

financiamento das intervenções, mantendo seus valores assimiláveis pelos agentes poluidores, embora, é claro, retardando o processo de alcance das metas do Enquadramento¹⁰; em segundo lugar, estimulando a inovação tecnológica, fazendo a curva de custo marginal “girar” no sentido horário.

Em qualquer caso concreto de gestão de recursos hídricos, evidentemente, nunca é “atacado” um único problema. Assim sendo, quase sempre temos um combate em várias frentes: DBO₅, material em suspensão, carga tóxica, nitrogênio, etc. Neste caso, então, devemos construir, *para cada poluente*, curvas análogas às da Figura 3. No entanto, duas coisas aqui podem acontecer, a saber: de um lado, as tecnologias de abatimento e seus custos são independentes entre todos os poluentes; neste caso, constroem-se curvas como as da Figura 3 para cada poluente (podendo, inclusive, haver reordenação da “escada” dos diversos setores); de outro lado, as tecnologias de abatimento, com seus custos associados, podem ser conjuntas para dois ou mais poluentes (por exemplo, a tecnologia que abate DBO₅ também abate material em suspensão). Neste caso, é preciso fazer uma alocação proporcional do custo total entre os dois ou mais poluentes inter-relacionados, a fim de não incidir em dupla contagem nos custos e inflar as tarifas desnecessariamente¹¹.

Os requisitos informacionais de todo este sistema são bastante amigáveis. O comitê/agência ou a autoridade ambiental precisa, basicamente, de três conjuntos de dados: estimativas (e, depois, cadastro) de fontes poluidoras e respectivos níveis de lançamento, custos de investimento e operacionais das alternativas de abatimento comercialmente disponíveis e modelos de dispersão/assimilação de poluentes no meio receptor. Diversos estudos feitos no Brasil mostram que já podemos contar com tais conjuntos para a maioria de nossos cursos de água.

A EXPERIÊNCIA BRASILEIRA NA GESTÃO DAS ÁGUAS INTERIORES

Embora a legislação brasileira tenha, como já vimos, todos os ingredientes para acolher uma gestão dos recursos hídricos dentro do marco custo-efetivo, a experiência até o momento, 15 anos após a promulgação das principais leis estaduais e 10 anos após a lei federal das águas, deixa muito a desejar, pois o processo de implantação/implementação é muito lento e tímido, como segue:

1. Só um poluente é contemplado no PPP (DBO);
2. As tarifas não têm nenhum caráter incitativo, são tarifas apenas de financiamento, de rateio de custo de intervenções acordadas;
3. Além disso, ainda que de financiamento, as tarifas poderiam se enquadrar num marco custo-efetivo; mas, não é isso que acontece, pois as intervenções são estabelecidas após a arrecadação, através de projetos “candidatos” que nada têm a ver com a curva escalonada da Figura 3;
4. Os órgãos ambientais, ainda orientados pela “velha” política de Mandato-e-Controle, não absorveram a radical novidade da nova legislação. Não faltam juristas da área do Direito Ambiental assegurando que a nova legislação é complementar à antiga. Ora, se a velha política de Mandato-e-Controle, com seus padrões de emissão para todos os setores for mantida, não há necessidade nenhuma de se efetuar cobrança pelo uso dos recursos hídricos (na melhor das hipóteses, só a retirada de água seria cobrada).

¹⁰ Evidentemente, é possível iniciar o processo de abatimento da poluição utilizando, desde logo, tarifas puras de financiamento. Isso implica em acordos específicos com os segmentos produtivos que receberão os recursos arrecadados e farão o tratamento. Para uma aplicação à mesma bacia do Rio dos Sinos, veja Pereira et al. (1999).

¹¹ O caso da bacia do Rio dos Sinos é ampliado para contemplar esta possibilidade em Cánepa & Pereira, 2002.

A demora de implantação de um sistema custo-efetivo de gestão de recursos ambientais como o ar e as águas – com grande atraso em relação ao que já foi obtido por países avançados – pega nosso país num momento de extrema gravidade. Como foi visto no início do presente artigo, a situação mundial atual é a da emergência de problemas verdadeiramente globais, que também devem ser enfrentados. Ora, fazer isto quando ainda não se conseguiu nem sequer equacionar completamente a questão dos bens naturais locais/regionais, é um *handicap* considerável.

REFERÊNCIAS CITADAS

- Agência Nacional DE Águas (Brasil). 2007. A implementação da cobrança pelo uso de recursos hídricos e Agência de Água das Bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Brasília: ANA, SAG. 112 p.
- Barraqué, B. 1997. As políticas da água na Europa. Instituto Piaget, Lisboa. 374 p.
- Boulding, K. E. 1966. The economics of the coming spaceship earth. In: Jarret, H. (ed.). Environmental quality in a growing economy. Johns Hopkins University Press, Baltimore. 115 p.
- Braga, B. *et al.* 2002. Introdução à Engenharia Ambiental. Prentice-Hall, São Paulo. 305 p.
- Cánepa, E.M. 2002. O Sistema Estadual de Recursos Hídricos do RS e a indução à inovação. Trabalho apresentado no Congresso Internacional das Instituições de Pesquisa Tecnológica (Bienial Congress WAITRO), realizado em Porto Alegre, RS, setembro de 2002. 15 p.
- Cánepa, E.M., Pereira, J.S. & Lanna, A.E.L. 1997. A Política de Recursos Hídricos e o Princípio Usuário Pagador. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 4(1): 103-117. (Trabalho originalmente apresentado ao II Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, SP, 1997).
- Cánepa, E.M. & Pereira, J.S. 2001. O Princípio Poluidor Pagador: uma aplicação de tarifas incitativas múltiplas à Bacia do Rio dos Sinos, RS. Trabalho apresentado no IV Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, realizado em Belém, PA, novembro de 2001. 23 p.
- Conselho de Recursos Hídricos/RS. 1996. Simulação de uma proposta de gerenciamento dos Recursos Hídricos na Bacia do rio dos Sinos: relatório final. Trabalho elaborado por Magna Engenharia, com a colaboração do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, Porto Alegre, RS – Relatório final, 193 p.
- Granziera, M.L.M. 2001. Direito das águas: disciplina jurídica das águas doces. Atlas, São Paulo. 256 p.
- Hartmann, P. 2008. A Cobrança pelo uso da água como instrumento na Política Ambiental: estudo comparativo e avaliação econômica dos modelos de cobrança pelo uso de água bruta propostos e implementados no Brasil. Este livro será brevemente lançado, editado pela Assembleia Legislativa do RS com a colaboração (na tradução do original alemão) da Fundação Konrad Adenauer. 500 p.
- Kolstad, C.D. 2000. Environmental economics. Oxford University Press, New York. 401 p.
- Lustosa, M.C.J., May, P.H. & da Vinha, V. 2003. Política Ambiental. In: May, P.H. et al. (orgs.). Economia do Meio Ambiente: teoria e prática. Elsevier, Rio de Janeiro. 318 p.
- Mckinney, M.L., Schoch, R.M. & Yonavjak, L. 2007. Environmental Science: systems and solutions. Jones and Bartlett Publishers, Sudbury, MA. 642 p. (4ª edição).
- Mendes Thame, A.C. (org.). 2000. A cobrança pelo uso da água. Iqual, São Paulo. 254 p.
- Nicolazo, J-L. 1989. Les Agences de l'Eau. Ed. Johanet, Paris. 201 p.
- Pearce, D.W. 1976. Environmental Economics. Longman, London. 202 p.

- Pereira, J.S., Lanna, A.E.L. & Cánepa, E.M. 1999. Desenvolvimento de um sistema de apoio à cobrança pelo uso da água: aplicação à bacia do Rio dos Sinos, RS. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 4(1): 77-101.
- Rebouças, A.C., Braga, B. & Tundisi, J.G. (orgs) 1999. *Águas doces no Brasil: capital ecológico: uso e conservação*. Ed. Esculturas, São Paulo. 717 p.
- Rhin-Meuse Informations (jornal do Comitê e da Agência Rhin-Meuse): número especial de setembro-outubro de 1989. 12 p.
- Rhin-Meuse Informations (jornal do Comitê e da Agência Rhin-Meuse): número especial de dezembro de 1989 e janeiro de 1990. 12 p.
- Tietenberg, T. 1992. *Environmental and natural resource economics*. Harper Collins, New York. 678 p. (3ª edição).
- Tundisi, J.G. 2003. *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. RiMA Editora, São Carlos. 260 p.
- Williamson, J. & Milner, C. 1991. *The world economy*. New York University Press, New York. 461 p.

4

CONSERVAÇÃO E REÚSO COMO INSTRUMENTOS DE GESTÃO PARA ATENUAR OS CUSTOS DE COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA NO SETOR INDUSTRIAL

CONSERVAÇÃO E REÚSO COMO INSTRUMENTOS DE GESTÃO PARA ATENUAR OS CUSTOS DE COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA NO SETOR INDUSTRIAL

Ivanildo Hespanhol¹

RESUMO

A escassez, o aumento dos conflitos pelo uso da água, os custos associados à sua cobrança, a resposta do mercado financeiro às empresas que promovem práticas conservacionistas e os apelos da imagem ambiental positiva vêm estimulando o setor industrial a implementar programas extensivos de gestão ambiental. Um inventário efetuado recentemente sobre o meio ambiente brasileiro mostrou que o mundo corporativo, particularmente o setor industrial, considera a gestão ambiental um instrumento fundamental para promover a sustentabilidade empresarial. O objetivo básico do inventário foi identificar o conjunto de práticas adotadas pelo setor produtivo para reduzir o insumo de produtos naturais e gerar menor quantidade de efluentes. O inventário relata um significativo engajamento de empresas industriais e agrícolas em metas de redução de consumo de água, reúso e reciclagem de efluentes industriais. Mostra, ainda, que uma grande maioria possui sistemas de tratamento de efluentes ou desenvolve programas para reduzir a geração de efluentes.

Para avaliar os benefícios econômicos que podem ser aportados pela prática de reúso, foi efetuada uma simulação envolvendo 2.311 indústrias paulistas levando em conta a cobrança pelo uso da água e pelo lançamento de efluentes, de acordo com a legislação vigente no Estado de São Paulo. A simulação demonstrou que 60 % de reúso de efluentes, porcentagem perfeitamente factível na grande maioria das indústrias, reduz significativamente os custos associados à cobrança pelo uso da água.

Entretanto, a universalização da prática de reúso de água no Brasil em todos os setores está, ainda, longe de se concretizar e só ocorrerá através de uma decisão político-institucional e da

¹ Professor Titular, Universidade de São Paulo, Diretor do CIRRA, Centro internacional de Referência em Reúso de Água, CIRRA/IRCWR, ivanhes@usp.br

promulgação de um arcabouço legal realista, que possa ser efetivamente implementado através dos comitês de bacias hidrográficas.

Palavras chave: conservação de água, reúso industrial, gestão ambiental, cobrança pelo uso da água

ABSTRACT

Scarcity, water conflicts, water charges, the response from the financial market to conservationist enterprises and the appeal to a positive environmental image stimulates the industrial sector towards implementation of extensive programs on environmental management.

A recent survey on the Brazilian environment has shown that a large amount of companies, particularly from the industrial sector, has taken environmental management as the basic tool for promoting corporate sustainability. The main purpose of the survey was to identify the categories of practices adopted by the productive sector to reduce the intake of natural products and to produce less effluents. The survey concluded that most of the industrial and agricultural companies surveyed have adopted goals for demand management, water reuse and effluent recycling. It also showed that most of them have built wastewater treatment plants or are implementing actions to reduce the emission of effluents.

In order to evaluate the benefits brought about by the practice of water reuse within the industrial sector, it has been performed a simulation by collecting data from 2,311 industries operating within the State of São Paulo, taking into consideration water charges related to water intake and effluent disposal, according to the local legislation. Results have shown that by performing 60 % of industrial water reuse, an amount perfectly feasible within the largest majority of industries, will bring about a significant reduction of water charges.

However, full adoption of the water reuse practice in Brazil is still far away from being attained at all. It will occur in a large scale only after a strong political decision is made and a comprehensive and realistic legal framework is enacted, which can be effectively implemented by the watershed committees.

Key words: water conservation, industrial reuse, environmental management, water charges

INTRODUÇÃO

A escassez e o aumento dos conflitos pelo uso da água geraram a emergência da conservação e do reúso como componentes formais da gestão de recursos hídricos. Os benefícios inerentes à utilização de água recuperada para usos benéficos, ao contrario de disposição ou descarga, inclui a preservação de fontes de qualidade elevada, proteção ambiental e benefícios econômicos e sociais (Asano 2008).

No setor industrial, a realização do almejado empreendedorismo sustentável depende do nível em que for efetuada a conservação dos recursos naturais, particularmente do recurso água, através, principalmente, da implementação dos conceitos de gestão ambiental, eco-eiciência do processo produtivo e aplicação de práticas de produção limpa.

As indústrias assumiram o desafio e o comprometimento pode se desenvolver em níveis diversos, dependendo do grau de conscientização ambiental dentro das empresas. Numa primeira etapa, pode ocorrer apenas o controle ambiental nas saídas, numa fase sequencial a integração do controle ambiental nas práticas e processos industriais e, finalmente, a integração do controle ambiental em toda a empresa (Donaire 2007).

A resposta do mercado financeiro às empresas que promovem tais práticas conservacionistas vem, continuamente, agregando valor e segurança a seus ativos e proporcionando maior retorno aos investidores.

Além dessas características internas, diversos outros condicionantes exógenos limitam sustentabilidade do setor industrial, tanto no que tange aos aspectos econômicos quanto aos associados à disponibilidade de infra-estrutura para uma produção adequada. Esses fatores surgidos, principalmente, a partir do final do século passado são, conforme mostrado em seguida, condicionantes impostos por mercados internacionais e restrições legais e econômicas de âmbito nacional.

Entretanto, face aos novos fatores e conceitos que promovem o papel das indústrias através da aplicação de práticas de gestão limpas, o setor industrial vem demonstrando, nas últimas décadas, que o desafio de produzir e, ao mesmo tempo, de utilizar com parcimônia os recursos naturais, está sendo atingido de maneira satisfatória através do uso de novas tecnologias e da aplicação adequada dos conceitos modernos de gestão ambiental.

A INDÚSTRIA BRASILEIRA E A GESTÃO AMBIENTAL

Um inventário efetuado recentemente sobre o meio ambiente brasileiro (Análise-Gestão Ambiental, Anuário 2007) mostrou que o mundo corporativo, particularmente o setor industrial, considera a gestão ambiental como um instrumento fundamental para promover a sustentabilidade empresarial. O objetivo básico do inventário foi o de identificar o conjunto de práticas adotadas pelo setor produtivo para reduzir o insumo de produtos naturais e gerar menor quantidade de efluentes. Os resultados foram surpreendentemente animadores. O resumo dos 412 registros que integram o anuário é extremamente positivo, pois 44 % das empresas só contratam fornecedores que empregam procedimentos de gestão ambiental, 47 % utilizam fontes renováveis de energia, 49 % pesquisam tecnologias para reduzir as emissões atmosféricas, 53 % possuem ISO 14.001, 59 % desenvolvem programas de plantio de árvores, 61 % têm metas de redução do consumo de água e energia elétrica, 81 % declaram, no organograma, a quem cabe a responsabilidade sobre gestão ambiental e 81 % praticam a coleta seletiva de lixo.

Os exemplos mostrados em seguida expressam alguns dados do inventário, indicando os esforços relativos à redução de recursos naturais e de proteção ambiental pelos setores industrial e agrícola, de serviços e comercial. Eles relacionam, além de diversas práticas ambientais, ações de monitoramento, garantias de conformidade legal, investimento em tecnologias de tratamento, campanhas de conscientização e metas de reúso (uso de esgotos, efluentes industriais ou de água de qualidade inferior tratados, para fins benéficos); e de reciclagem (forma particular de reúso, na qual efluentes industriais, tratados ou não, são usados diretamente no mesmo processo, esquema ou sistema industrial). A tabela 1 mostra que 66 % das empresas industriais e agrícolas consultadas desenvolvem metas de redução de consumo de água, 55 % de reciclagem e que apenas 3 % delas não praticam qualquer ação relativa à redução da demanda. A tabela 2 mostra que 48 % das empresas desses setores têm metas de reúso e 43 % de reciclagem de efluentes industriais. Indica, ainda, que uma grande maioria das empresas (80 %) possuem sistemas de tratamento de efluentes e que 59 % estão engajadas em reduzir a geração de efluentes através de investimento em tecnologia de tratamento.

Verifica-se, portanto, que embora o “custo meio ambiente” seja bastante expressivo em relação ao custo global de produção, as empresas do setor industrial e agrícola (particularmente as vinculadas ao agro-negócio), consideram que a inclusão das políticas de gestão ambiental se converte em benefícios de ganho de qualidade e de competitividade industrial (Pio 2008).

Tabela 1. Consumo de água, em porcentagem de empresas por alternativa. Resposta estimulada e múltipla (Análise Gestão Ambiental, Anuário 2007).

Ações que reconhecem como prática	Indústria e agricultura (%)	Serviços (%)	Comércio (%)
Monitoramento com indicadores específicos	3	51	67
Reciclagem	55	17	27
Meta de redução	66	45	73
Programa estruturado	38	13	33
Campanha de conscientização de funcionários	63	52	47
Não desenvolvem ações específicas	3	18	13

Tabela 2. Tratamento de efluentes, em porcentagem de empresas por alternativa. Resposta estimulada e múltipla (Análise Gestão Ambiental, Anuário 2007).

Ações que reconhecem como prática	Indústria e agricultura (%)	Serviços (%)	Comércio (%)
Monitoramento com indicadores	79	37	53
Metas de reúso	48	15	20
Metas de reciclagem	34	8	7
Processo para diminuir geração	59	23	27
Investimento em tecnologia para reduzir a geração	49	15	27
Possuem unidade de tratamento	80	40	53
Garantia de conformidade legal no manuseio, transporte e destinação	77	50	53
Não desenvolvem ações específicas	2	24	33
Outras	4	10	0

A indústria química, por exemplo, transformou-se a partir de meados do século 20 em um dos maiores e mais globalizados setores da economia mundial. Porém, a importância e a diversidade dos produtos químicos e sua influência na melhoria da qualidade de vida da população mundial deve ser analisada em função do elevado consumo de água e de energia e dos impactos potenciais negativos que causam sobre o meio ambiente e a saúde pública. Para contornar essa polaridade, a International Conference on Chemical Management-ICCM ocorrida em 6 de fevereiro de 2006, em Dubai, Emirados Árabes Unidos, promulgou o Strategic Approach to International Chemicals Management-SAICM, que estabelece as políticas para ações internacionais sobre perigos químicos, especificando que, até o ano 2020, os produtos químicos deverão ser produzidos e utilizados de maneira a minimizar impactos negativos significantes sobre o meio ambiente e a saúde pública.

Em termos de proteção ambiental, particularmente no que concerne à conservação e ao reúso de água, a indústria química brasileira vem respondendo adequadamente aos preceitos estabelecidos no SAICM (Abiquim 2008). Conforme mostrado na Figura 1, as indústrias químicas associadas à Associação Brasileira de Indústrias Químicas-Abiquim, apresentaram uma redução do indicador de consumo de água de 9,22 metros cúbicos por tonelada de produtos fabricados para 6,99, o que equivale a uma redução de aproximadamente 24 %. Em termos de redução da emissão de efluentes, como mostrado na Figura 2, o indicador variou de 4,19 metros cúbicos por tonelada de produto para 1,89, o que equivale a uma redução de aproximadamente 55 %.

Essas variações extremamente positivas dos indicadores de consumo e de emissão de efluentes ocorreram, certamente, em função do crescimento da prática do reúso efetuado pelas empresas do setor. O aumento dessa prática, ocorrido durante um período de 6 anos foi superior a 88 %, variando de 3,7 % de reúso sobre o total para 31,5 %, conforme mostrado na Figura 3.



Figura 1. Indústria química nacional: resultado das medidas de gestão da demanda de água e a correspondente redução dos custos de tratamento (Abiquim 2008)

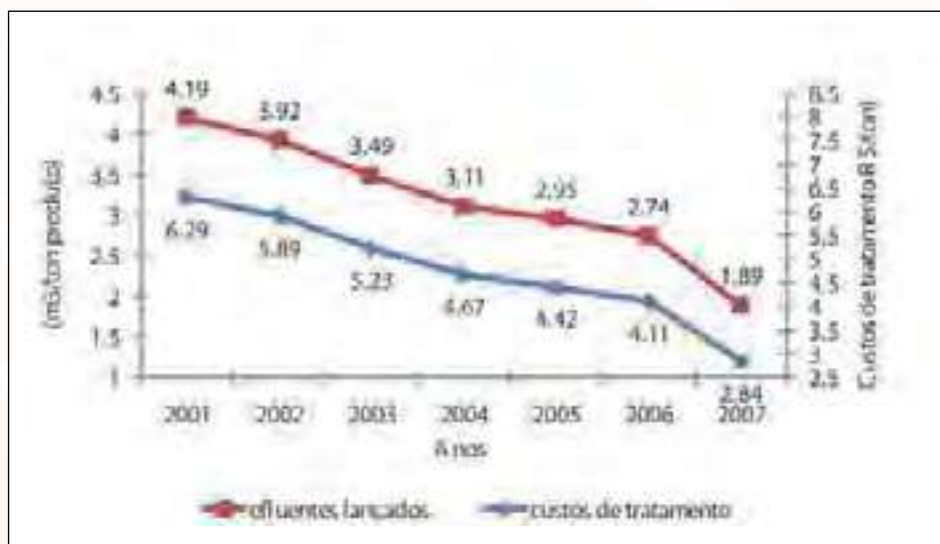


Figura 2. Indústria química nacional: redução da emissão de efluentes entre 2001 e 2007 e a correspondente redução dos custos de tratamento (Abiquim 2008)

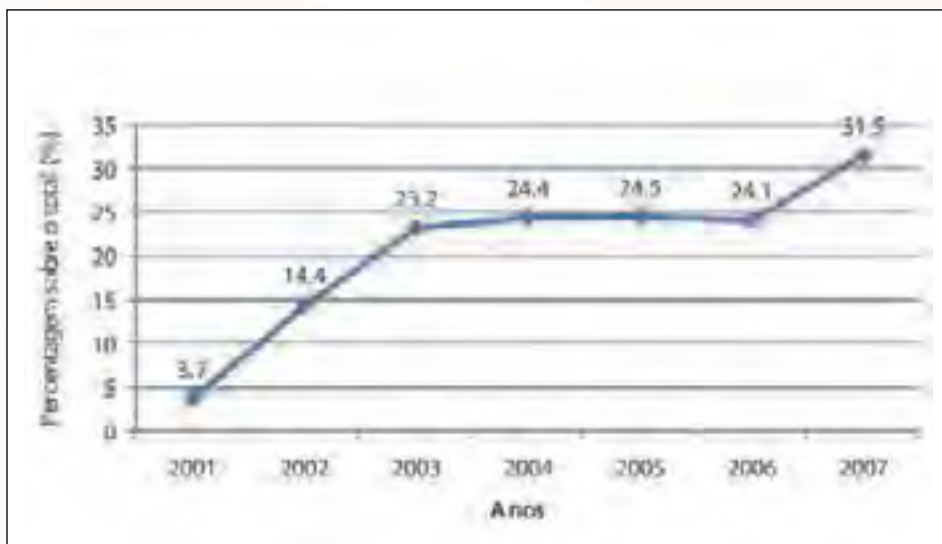


Figura 3. Indústria química nacional: acréscimo da porcentagem de reúso de água entre 2001 e 2007 (Abiquim 2008)

OPORTUNIDADES E CONDICIONANTES PARA A SUSTENTABILIDADE INDUSTRIAL

O texto “How Smart Companies Use Environmental Strategy to Innovate, Create Value and Build Competitive Advantage”, sub-título do livro *Green to Gold* (Esty & Winston 2006) define, ao contrário do que alguns empresários ainda consideram como empecilho, a mais notória oportunidade para promover a sustentabilidade industrial. Os autores cunharam o termo “eco-advantage” que estabelece temas e oportunidades para o desenvolvimento de negócios em uma sociedade ambientalmente sensitiva. Além de salientar que empresas competentes criam vantagens competitivas através de gestão estratégica de desafios ambientais, adverte que decisões ambientais inadequadas podem gerar problemas de relações públicas, destruir mercados e carreiras e provocar a perda de bilhões. Companhias que não incluem idéias ambientais aos seus arsenais estratégicos se arriscam a perder oportunidades em mercados que são continuamente moldados por fatores ambientais.

Outro resultado benéfico gerado pela aplicação de estratégias corretas de gestão ambiental é a obtenção de uma imagem empresarial positiva, ou “eco-imagem”, que pode trazer retornos superiores àqueles proporcionados por programas extensivos de propaganda e marketing.

Embora haja, atualmente, uma visão estratégica de se adaptar às demandas ambientais e de saúde pública exigidas pelo mercado, a indústria está submetida a dois grandes instrumentos de pressão. De um lado, as imposições resultantes das relações do comércio internacional, ou seja, as normas e certificações ambientais e de saúde pública que, embora possam ter caráter exclusivo de protecionismo de mercados e produtos, exigem, cada vez mais, um comprometimento ambiental e higiênico da produção, particularmente daquela que é exportada; e, do outro lado, os recentes condicionantes legais e econômicos associados à gestão de recursos hídricos, particularmente os relativos à cobrança pelo uso da água (Pio 2005).

Para adaptar-se a este novo cenário, a indústria optou por aprimorar os processos industriais e desenvolver sistemas de gestão ambiental para atender às especificações do mercado interno e externo e implementar sistemas e procedimentos direcionados para a gestão da demanda de água e a minimização da geração de efluentes.

OPÇÕES PARA PROMOVER A SUSTENTABILIDADE INDUSTRIAL EM TERMOS DE RECURSOS HÍDRICOS

Dependendo da disponibilidade de água e, em função de tecnologias emergentes, a viabilidade da produção industrial sob o aspecto de infra-estrutura hídrica está condicionada à avaliação das seguintes opções, que não são necessariamente excludentes: (1) manter a situação tradicional, isto é, utilizar água do sistema público de distribuição e dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos; (2) adquirir água de reúso ou água de utilidade produzida por companhias de saneamento, através de tratamento complementar de seus efluentes secundários; ou (3) tratar e reusar, na medida do possível, os seus próprios efluentes após tratamento adequado (Hespanhol, 2008).

4.1. Manter a situação tradicional

A indústria utiliza frações variáveis de água naturais, superficial ou subterrânea, e do sistema público de distribuição. Qualquer que seja a fonte utilizada, ela terá que arcar com os custos associados à cobrança pelo uso da água e pelo lançamento dos efluentes e, se utilizar água da rede pública, também os custos associados às tarifas correspondentes. De maneira geral, as águas superficiais são poluídas, exigindo, na maioria das vezes, investimentos significativos para se obter níveis de qualidade adequados aos usos correspondentes. Quando há disponibilidade local, a tendência é de preferir águas subterrâneas que, pelo fato de terem, geralmente, melhor qualidade, podem ser utilizadas após se submeterem a sistemas de tratamento relativamente simples.

O consumo de água superficial vem sendo reduzido em quase todo o País por uma grande maioria de segmentos industriais. No Estado de São Paulo, no período 1990-2000, a redução foi de aproximadamente 15 %, como mostrado na Tabela 3 (DAEE 2000).

Tabela 3. Variação do Consumo de Águas Superficiais por Segmentos Industriais no período 1990-2000 (DAEE 2000).

Segmento Industrial	Captação superficial (m^3s^{-1})	
	1990	2000
Açúcar e álcool	46,24	42,3
Químico e petroquímico	17,97	15,9
Papel e celulose	13,20	11,6
Metalúrgico	10,64	7,0
Alimentos e bebidas	10,55	6,7
Têxtil	4,19	4,0
Total	102,79	87,5

Da mesma maneira, o consumo de água dos sistemas públicos de distribuição vem diminuindo gradativamente. Os volumes faturados pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo-SABESP (Sabesp, 2000) mostraram, no Estado de São Paulo, uma queda de consumo de 40 %, como indicado na Tabela 4.

Tabela 4. Volumes faturados de água e esgoto pela SABESP no período 1998-2000 (Sabesp 2000).

Ano	Volume de água (10 ⁶ m ³)	Volume de esgoto (10 ⁶ m ³)
1998	39,0	25,0
1999	34,0	28,0
2000	33,0	30,0
2001	31,0	27,0
2002	31,0	28,0
2003	30,8	29,2
2004	23,4	23,2

Embora a utilização de águas superficiais implique em menores investimentos para tratamento, a redução do consumo deve, em parte, ser atribuída à gestão da demanda posta em prática pelo setor industrial. Isso ocorre, também, em relação ao consumo dos sistemas públicos, embora, neste caso, a razão básica esteja associada às tarifas elevadas impostas pelas companhias de saneamento. A Tabela 5 mostra as tarifas industriais praticadas pela SABESP na maior parte da Região Metropolitana de São Paulo, RMSP, após o reajuste que entrou em vigor em 10 de setembro de 2007 (Sabesp, 2007).

Tabela 5. Tarifa industrial dos serviços de fornecimento de água e coleta de esgotos praticada pela Sabesp na maior parte da RMSP (Sabesp 2007).

Fornecimento (m ³ mês)	Tarifa de água (R\$)	Tarifa de esgoto (R\$)
0 a 10	24,94 / mês	24,94 / mês
11 a 20	4,84 / m ³	4,84 / m ³
21 a 50	9,31 / m ³	9,31 / m ³
Acima de 50	9,69 / m ³	9,69 / m ³

4.2. Adquirindo água de reúso oferecida pelas companhias de saneamento

Embora em um ritmo ainda bastante lento, algumas companhias municipais e estaduais de saneamento começam a fornecer água de reúso para atender a uma gama relativamente significativa de usos urbanos não potáveis e industriais.

A Sabesp elaborou, através de uma empresa de consultoria, um projeto (Sabesp 2004) que analisa o potencial de reúso de efluentes tratados num raio de aproximadamente 5 km de suas principais estações de tratamento de esgotos (Barueri, ABC, Suzano, São Miguel e Parque Novo Mundo). Foram efetuados, em cada uma das regiões, análise de mercado de consumidores, estimativas de demandas atuais e futuras e estudo da disposição a pagar (valor espontâneo). O investimento total previsto é da ordem de R\$ 140 milhões, dos quais aproximadamente R\$ 71 milhões proviriam de recursos próprios e R\$ 69 milhões seriam obtidos através de financiamento. O estudo econômico foi desenvolvido para um período de 25 anos, com juros de 15 % ao ano. O período de retorno foi estimado em sete anos e a taxa interna de retorno em 18 %.

O estudo de mercado caracterizou, basicamente, um grande potencial de atendimento do setor industrial, dando preferência a águas de reúso com qualidade para ser utilizada como água de reposição em torres de resfriamento.

Os custos por metro cúbico de água de reúso, em função da demanda e a disposição a pagar, são apresentados na Figura 4. Note-se que o valor médio da água de reúso (R\$ 1,58 / m³) é aproximadamente o mesmo do valor espontâneo (R\$ 1,55 / m³).

O sistema tarifário proposto é apresentado na Figura 5. O preço, mesmo para a faixa de consumo menor (até 10.000 m³ / mês), ou seja, de R\$ 1,89, é muito inferior aos preços para água potável praticados pela Sabesp, para quaisquer faixas de consumo

Por essa razão, fica evidente que as companhias de saneamento não têm interesse na prática de reúso, pois o processo redundaria em significativa perda de receita. As companhias que anunciam a venda de seus efluentes tratados alegam que o mercado de reúso será dirigido apenas a novos consumidores. Essa asserção não é compatível com a realidade do mercado, porque todos os clientes passarão a demandar água de reúso onde esta estiver disponível, face às grandes diferenças de tarifas constatadas.

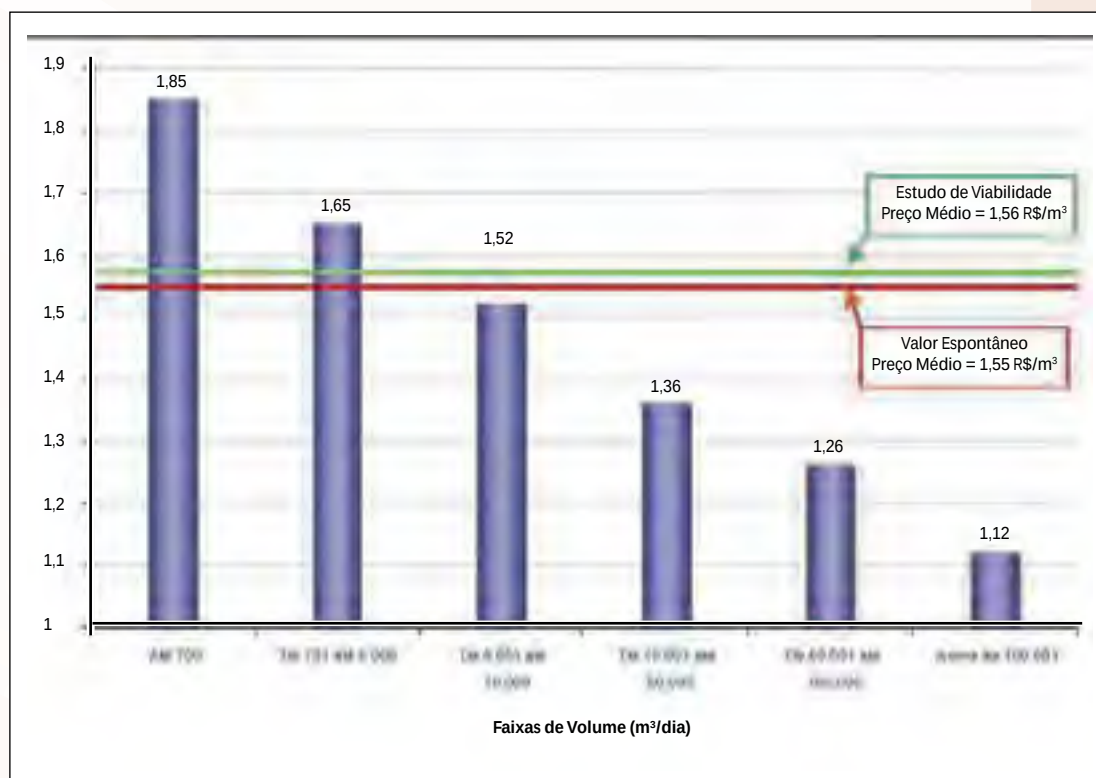


Figura 4. Custos associados a faixas de volumes mensais. O estudo de viabilidade de *Pinu* um valor médio de R\$ 1,58/m³ e o valor espontâneo de R\$ 1,55 / m³ (Sabesp 2004).

A prática de reúso de uma maneira ampla, que possa gerar uma significativa redução da demanda de recursos hídricos, só ocorrerá através de uma decisão político-institucional e da promulgação de um arcabouço legal realista, que possa ser efetivamente implementado através dos comitês de bacias.

4.3. Tratar e reutilizar seus próprios efluentes

No domínio do Estado de São Paulo, a cobrança pelo uso da água vem sendo efetuada com base na Lei N° 12.183 de 29 de dezembro de 2005, que foi regulamentada pelo Decreto N° 50.667 de 30 de março de 2006. A cobrança pelo uso da água, mesmo em bacias hidrográficas onde a legislação ainda não tenha sido implementada, condicionou a indústria, por precaução, a duas

ações básicas, que são: gestão da demanda e redução dos volumes de efluentes produzidos, através da adoção da prática do reúso.

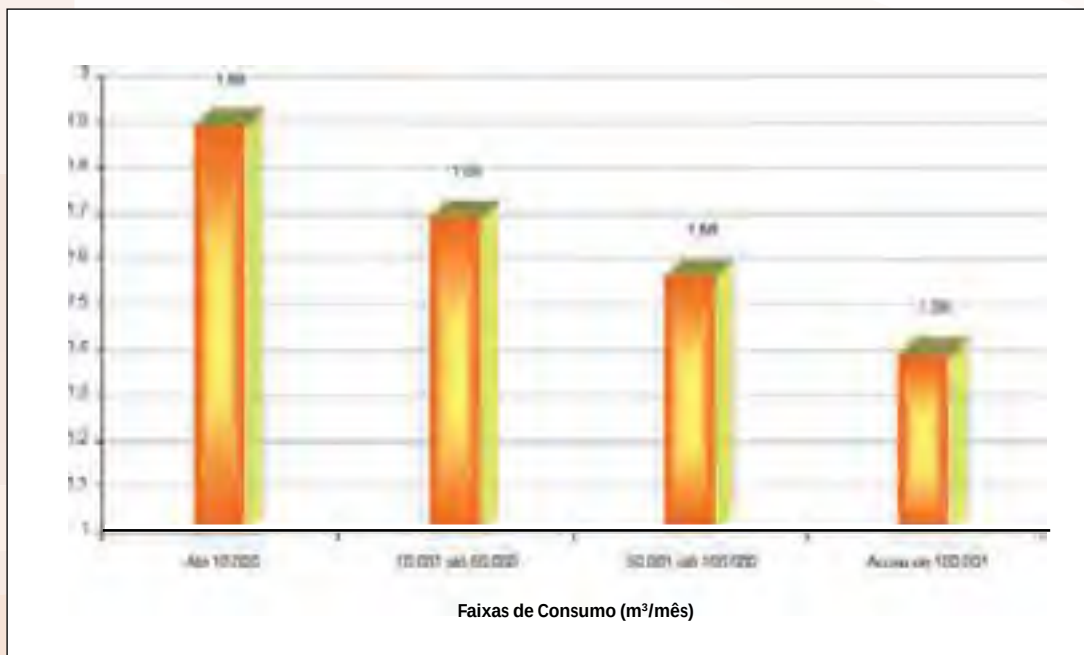


Figura 5. Sistema tarifário proposto em função de faixas de consumo (Sabesp 2004).

A Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, FIESP, considerando os efeitos econômicos que possam advir da cobrança pelo uso da água no setor industrial produziu, com o suporte técnico do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água-CIRRA/IRCWR e da DCT Engenharia, um manual sobre conservação e reúso de água na indústria (FIESP/CIESP 2004). Diversos outros manuais contemplando os setores de açúcar e álcool, petroquímico, siderurgia, celulose e papel, farmacêutico, etc. serão desenvolvidos futuramente para orientar as práticas de conservação e reúso de água em setores específicos. Seguindo os passos da FIESP, a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro-FIRJAN produziu, com o suporte do CIRRA/IRCWR, o Manual de Conservação e Reúso de Água na Indústria (Hespanhol *et al.* 2006). Da mesma maneira, o Sindicato da Indústria de Construção Civil do Estado de São Paulo, SINDUSCON elaborou, com o suporte técnico de diversas empresas, incluindo o CIRRA/IRCWR, um manual sobre conservação e reúso de água em edificações (SINDUSCON, ANA, FIESP, COMASP 2006).

A metodologia a ser aplicada pela indústria visando à redução da demanda e o reúso de seus próprios efluentes atenuando, dessa maneira, os custos associados à cobrança pelo uso da água está resumida na Figura 6.



Figura 6. Programa integrado de gestão da água na indústria, através das práticas de conservação e reúso de água (FIESP/CIESP 2004).

As etapas básicas para um programa de gestão na indústria são, conforme mostrado na Figura 6, as seguintes:

4.4. Gestão de demanda

Visa a reduzir os volumes de água captados de quaisquer fontes. Como, há pouco mais de uma década, a água era considerada um recurso ilimitado e de baixo custo, não havia preocupação do setor industrial em quantificar o consumo de água em cada um de seus setores. Portanto, a primeira parte da gestão da demanda consiste na medição e monitoração setorizada do consumo, isto é, levantar e registrar o consumo de água para usos específicos, tais como: lavagem de peças e reatores, processo industrial, consumo doméstico, geração de energia, aquecimento ou resfriamento, consumo humano, etc.

Paralelamente, deve ser efetuado o controle das perdas físicas no sistema industrial como, por exemplo, a fuga de água em tubulações, conexões, reservatórios e equipamentos, as perdas associadas ao mau desempenho de sistemas e as perdas por negligências dos usuários. Um programa de detecção de perda invisíveis também deve ser realizado.

A ação que pode exigir grandes recursos de capital é a que aborda a atualização de máquinas, aparelhos e equipamentos que compõem o sistema produtivo, inclusive os de instrumentação e controle. O objetivo é substituir sistemas antigos por unidades modernas, que utilizem menos água e/ou gerem volumes menores de efluentes. Os equipamentos que não forem substituídos devem, também, ser investigados, analisando as práticas operacionais correspondentes no que tange à real necessidade de água, tanto em termos de qualidade quanto de quantidade.

O estabelecimento de indicadores de consumo ($\text{m}^3 \text{água} / \text{unidade de produto}$) e de geração de efluentes ($\text{m}^3 \text{efluentes} / \text{unidade de produto}$) constituem importantes mecanismos de controle que devem ser considerados pelas indústrias com base em informações disponíveis no Brasil e no exterior. O manual produzido pela FIESP ((FIESP/CIESP 2004) apresenta, em seu Anexo I, indicadores de consumo internacionais para o ano 1990 por segmento industrial. A maioria desses

indicadores deve ser adaptada às condições locais de cada tipo de indústria e em relação aos novos desenvolvimentos tecnológicos relativos a processos industriais e sistemas de tratamento atualmente disponíveis.

4.5. Gestão de oferta

Direcionada para o aproveitamento de fontes alternativas de água em substituição às tradicionais. Muitas indústrias utilizam apenas água de sistemas públicos, considerando que esta possua qualidade adequada para os seus usos. Ocorre, muitas vezes, que a qualidade dessas águas é superior à qualidade necessária, havendo possibilidade de, a um custo menor, substituí-la por uma água de qualidade inferior, eventualmente disponível na própria indústria, com ou sem tratamento adicional.

As opções para eliminar ou reduzir a captação de fontes tradicionais são:

- os próprios efluentes industriais, que poderão ser utilizados com ou sem tratamento.
- águas pluviais coletada dos telhados ou, eventualmente, de áreas pavimentadas internas.
- águas subterrâneas, complementadas com recarga gerenciada dos aquíferos subjacentes, eventualmente existentes no terreno da indústria, utilizando os efluentes industriais adequadamente tratados.

Como sistemática para suporte à indústria em programas de reúso de água, o Centro Internacional de Referência em Reúso de Água, CIRRA/IRCWR estabelece, após a fase de gestão de demanda, as seguintes ações básicas preliminares: (1) identificação e caracterização de todos os efluentes de importância; e (2) identificação do potencial de reúso na indústria, com avaliação de qualidades e vazões necessárias e locação dos pontos de uso. Essas duas condições de contorno definem o sistema de tratamento a ser implantado. Esses sistemas de tratamento devem ser implantados de maneira progressiva atendendo, com operações e processos unitários mais simples, aos usos que demandam água de menor qualidade, acrescentando-se unidades avançadas à medida que níveis de qualidade maiores se façam necessários. Uma vez efetuado o “lay out” de todo o sistema, em termos de tratamento e distribuição de água recuperada, são efetuados os balanços de massas para identificar os ciclos de concentração e, finalmente, é aplicada a metodologia “pinch” que otimiza o sistema de reúso a ser utilizado (Mierzwa & Hespagnol 2005).

Embora se disponha de uma experiência ainda limitada da implantação da metodologia de conservação e reúso em indústrias, já são disponíveis dados para estimar que, quando não ocorrem custos adicionais significativos para transporte e disposição final de lodos resultantes do tratamento, os custos médios dos efluentes tratados variam entre R\$ 0,80/m³ a R\$ 1,20/m³.

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE

A viabilidade da produção industrial na RMSP, no que tange ao uso de água e geração de efluentes, pode ser avaliada com base nos custos e preços apresentados nos itens 4.1 a 4.3 acima.

A água industrial oferecida pelo sistema público de distribuição tem tarifa variando entre R\$ 4,84/m³ a R\$ 9,69/m³, dependendo do consumo mensal (Tabela 5), enquanto que a oferta de água de reúso oscila entre R\$ 1,39/m³ a R\$ 1,89/m³, também em função da demanda mensal (Figura 5). Como o custo estimado do tratamento e reúso dos efluentes produzidos na indústria oscila entre R\$ 0,80/m³ a R\$ 1,20/m³, torna-se evidente que esta é a opção pela qual o setor industrial mostrará maior interesse.

Os custos de tratamento e reúso no âmbito da indústria merecem, entretanto, as seguintes considerações. Em primeiro lugar, esses custos dependem das características de cada indústria específica,

sendo necessário um estudo de viabilidade para cada uma delas, considerando os custos de capital envolvidos, período de amortização, taxas de juros, taxas internas de retorno, etc. Um outro aspecto a considerar é que os custos associados a tratamento de efluentes, necessários para atender aos padrões de emissão estabelecidos na Resolução CONAMA 357, não devem ser associados aos custos de reúso. Apenas os custos relativos a tratamentos adicionais, necessários para atender a níveis de qualidades superiores aos padrões de emissão, deverão ser atribuídos aos custos do reúso.

ESTADO ATUAL DO REÚSO INDUSTRIAL NO BRASIL E NO ESTADO DE SÃO PAULO

O reúso industrial, assim como outras modalidades de reúso, vem se disseminando muito rapidamente em todo o Brasil. Nos Estados da Bahia, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte, já ocorrem algumas práticas isoladas, embora haja uma maior concentração nas regiões sul e sudeste do país. Na bacia do Paraíba do Sul, onde já está implantada a cobrança pelo uso da água, o reúso é praticado por aproximadamente 50 % das grandes indústrias, 16 % das de médio porte e por 11% das de pequeno porte. Dos mais de 32 milhões de metros cúbicos de água captados, 25 %, ou seja, pouco mais de 8 milhões de metros cúbicos são reutilizados, principalmente pelo setor metalúrgico. (IPEA 2004)

As indústrias relacionadas na tabela 6 investiram recursos significativos em programas de conservação e reúso de água obtendo de 40 a 80 % de redução no consumo de água (FIESP 2005).

Tabela 6. Grandes indústrias com investimentos significativos em sistemas de conservação e reúso de água (FIESP 2005).

INDÚSTRIA	ATIVIDADES PRINCIPAIS
3 M of Brasil	Indústria química
Aegis	Indústria microeletrônica
Alpargatas Santistas Têxtil	Fabricação de tecido índigo
AlSCO Toalheiro Brasil	Lavanderia industrial
AmBev	Produção de bebidas
AMP do Brasil	Terminais, conectores e sistemas de conexão
Brastemp	Eletrodomésticos
BSH Continental	Unidade de fogões
BSH Continental	Unidade de refrigeradores
Burigotto	Carrinhos para bebês e acessórios
Cermatex	Indústria têxtil
Coats Corrents	Indústria têxtil
Companhia Brasileira de Bebidas	Produção de bebidas
Continental	Produção de eletrodomésticos
DaimlerChrysler	Montagem de veículos
Dow Chemical	Fabricação de produtos químicos
Elekeiroz	Indústria química
Ferro Enamel do Brasil	Indústria química
Ford Motor Company	Indústria mecânica
Freios Vargas	Sistemas de freios para veículos
INA Brasil	Fabricante de rolamentos
Janssen Farmacêutica	Indústria farmacêutica
Kodak of Brazil	Indústria fotográfica
Mahle Metal Leve	Indústria Metalúrgica
Maxion Componentes	Indústria metalúrgica
Natura	Indústria de cosméticos
Pilkington Brasil	Fabricante de vidros
Pólo Petroquímico de São Paulo	Produtos petroquímicos
Replan / Revap / Petrobrás	Refino de petróleo
Rhodia	Indústria química
Rohm and Haas Química	Indústria química
TRW Automotive	Indústria metalúrgica
Volkswagen	Montagem de veículos
Votorantim	Indústria de papel e celulose

SIMULAÇÃO DA REDUÇÃO DE CUSTOS ASSOCIADOS À COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA PROPORCIONADOS POR REÚSO, EM ALGUMAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

O Estado de São Paulo possui cerca de 130.000 indústrias. Dessas, aproximadamente 8.000 são grandes e médias, sendo as demais classificadas como micro empresas.

Para avaliar os benefícios econômicos que podem ser aportados pela prática de reúso, foi efetuada uma simulação com 2.311 indústrias paulistas, consideradas, em conjunto, como se estivessem operando em uma única unidade industrial, levando em conta a cobrança pelo uso da água e pelo lançamento de efluentes, de acordo com a legislação vigente no Estado de São Paulo (Mierzwa & Hespanhol 2005a). O número de indústrias por unidades hidrográficas, as vazões captadas e os efluentes lançados são apresentados na tabela 7 (DAEE 2000a).

Tabela 7. Demanda de água industrial em 2.311 indústrias locadas no Estado de São Paulo (DAEE 2000a).

Unidade hidrográfica	Número de indústrias	Vazão captada ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)				Lançamento de efluentes ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
		Superficial	Subterrânea	Rede	Total	
Piracicaba	440	13,88	0,33	0,70	14,91	11,17
Tietê/Sorocaba	383	9,60	0,57	0,22	10,39	7,05
Alto Tietê	593	7,67	1,20	1,17	10,04	7,02
Baixo Tietê	37	1,79	0,03	0,02	1,84	1,62
Tietê/Batalha	19	1,39	0,04	0,09	1,52	1,25
Tietê/Jacaré	77	8,49	0,35	0,01	8,85	6,85
Aguapeí	20	0,76	0,03	0,02	0,81	0,60
Peixe/Sto. Anastácio	63	0,57	0,22	0,06	0,85	0,55
Baixo Paranapanema	56	2,72	0,18	0,01	2,91	2,65
Alto Paranapanema	23	3,48	0,01	0,02	3,51	0,49
Ribeira de Iguape	9	1,33	0,00	0,00	1,33	1,32
Baixada Santista	43	12,97	0,05	0,20	13,22	10,76
Litoral Norte	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Paraíba do Sul	164	7,20	1,13	0,19	8,52	4,51
Mantiqueira	3	0,04	0,00	0,00	0,04	0,01
Alto Pardo/Mogí	182	5,38	0,17	0,11	5,66	4,93
Sapucaí/Grande	26	0,02	0,04	0,04	0,10	0,08
Baixo Pardo/Mogí	98	24,33	0,51	0,14	24,98	20,11
Pardo/Grande	22	1,38	0,03	0,00	1,41	0,70
S. José dos Dourados	5	0,23	0,00	0,00	0,23	0,20
Turvo/Grande	46	1,45	0,16	0,02	1,63	1,51
Total	2311	104,68	5,05	3,02	112,75	83,47

A vazão total captada pelas 2.311 indústrias relacionadas é de $112,75 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ e o total de efluentes lançado é de $83,47 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$. Portanto, o consumo de água das 2.311 indústrias é de $112,75 - 83,47 = 29,28 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$.

A cobrança pelo uso da água, de acordo com a legislação vigente, onera a vazão captada, a vazão consumida e a vazão dos efluentes lançados, esta última associada às suas concentrações de Resíduo Sedimentável (RS), Carga Inorgânica (CI), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO).

O cálculo dos valores a serem cobrados é efetuado pela equação:

$$C = \text{captação} + \text{consumo} + \text{diluição de efluentes (DBO+DQO+RS+CI)}$$

Ou, na sua forma estendida:

$$C = (PUF_{CAP} * Q_{CAP}) + (PUF_{CONS} * Q_{CONS}) + (PUF_{DBO} * Q_{DBO} + PUF_{DQO} * Q_{DQO} + PUF_{RS} * Q_{RS} + PUF_{CI} * Q_{CI})$$

onde:

Q_{CAP} = vazão captada;

Q_{CONS} = vazão consumida;

Q_{DBO} = vazão de lançamento associada à DBO;

Q_{DQO} = vazão de lançamento associada à DQO;

Q_{RS} = vazão de lançamento associada à RS;

Q_{CI} = vazão de lançamento associada à CI;

PUF_{CAP} = preço unitário unitário para captação = $PUB_{CAP} \cdot X_1 \cdot X_2 \dots X_n$

PUF_{CONS} = preço unitário unitário para consumo = $PUB_{CON} \cdot X_1 \cdot X_2 \dots X_n$

PUF_{DBO} = preço unitário unitário para DBO = $PUB_{DBO} \cdot Y_1 \cdot Y_2 \dots Y_n$

PUF_{DQO} = preço unitário unitário para DQO = $PUB_{DQO} \cdot Y_1 \cdot Y_2 \dots Y_n$

PUF_{RS} = preço unitário unitário para RS = $PUB_{RS} \cdot Y_1 \cdot Y_2 \dots Y_n$

PUF_{CI} = preço unitário unitário para CI = $PUB_{CI} \cdot Y_1 \cdot Y_2 \dots Y_n$

X_i = Coeficientes multiplicadores associados à captação e mananciais superficiais e subterrâneos (utilidade do uso, classe do corpo receptor, sazonalidade, outros);

Y_i = Coeficientes multiplicadores associados a lançamentos, diluição, transporte e assimilação de efluentes (origem, classe do corpo receptor, sazonalidade, outros);

PUB = Preços básicos associados à captação, consumo, DBO, DQO e CI

A simulação foi efetuada para as características seguintes:

Corpo receptor de Classe 2

Efluente industrial, com carga de DBO e CI apenas;

Regime sazonal;

$$Q_{CAP} = 112,75 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ (tab. 7);}$$

$$Q_{CON} = 112,75 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} - 83,47 \text{ m}^3/\text{s} = 29,28 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1};$$

$$Q_{DBO} = Q_{CI} = 83,47 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1};$$

$$PUB_{CAP} = \text{R\$ } 0,03/\text{m}^3 \text{ (média) dando } PUF_{CAP} = \text{R\$ } 0,036/\text{m}^3;$$

$$PUB_{CON} = \text{R\$ } 0,06/\text{m}^3 \text{ (média) dando } PUF_{CON} = \text{R\$ } 0,072/\text{m}^3$$

$$PUB_{DBO} = \text{R\$ } 0,55/\text{kg} \text{ (média) dando } PUF_{DBO} = \text{R\$ } 1,07/\text{kg}$$

$$PUB_{CI} = \text{R\$ } 1,00/\text{kg} \text{ (média) dando } PUF_{CI} = \text{R\$ } 10,00/\text{kg};$$

$$X_1 = 1,2 \text{ (indústria); } X_2 = 1,0 \text{ (Classe 2); } X_3 = 1,0 \text{ (sazonalidade);}$$

$$Y_1 = 1,3 \text{ (indústria);}$$

$$Y_2 = 1,5 \text{ (Classe 2).}$$

O resultado da simulação considerando de 0 a 60 % de reúso é mostrado na Tabela 8. A análise da Tabela 8 mostra que se as 2.311 indústrias consideradas estivessem concentradas em uma única unidade industrial, o custo pelo uso da água, sem reúso, seria de aproximadamente R\$ 1 milhão por dia. Reusando aproximadamente 60 %, porcentagem perfeitamente factível na grande maioria de indústrias, o custo ficaria reduzido a aproximadamente R\$ 400 mil por dia.

Tabela 8. Potencial de redução da cobrança pelo uso da água em função do reúso, no Estado de São Paulo.

Demanda (m ³ /s)	Reuso (% demanda)	Geração de efluentes (m ³ s ⁻¹)	DBO (kg/m ³)	Pagamento lançamento (R\$/dia)	Cobrança total (R\$/dia)
112,75	0	83,47	0,060	462.998,10	995.840,70
	10	72,20		400.484,70	898.273,10
	20	60,92		337.915,90	800.619,00
	30	49,64		275.347,10	702.996,00
	40	38,37		212.833,80	605.397,40
	50	27,09		150.265,00	507.774,35
	60	15,82		87.751,64	410.175,64

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No setor industrial, a realização do almejado empreendedorismo sustentável depende do nível em que for efetuada a conservação dos recursos naturais, particularmente do recurso água, através, principalmente, da implementação dos conceitos de gestão ambiental, de eco-eficiência do processo produtivo e a aplicação de práticas de produção limpa.

Alem dessas características internas, diversos outros condicionantes exógenos limitam a sustentabilidade do setor industrial, tanto em relação aos aspectos econômicos quanto aos associados à disponibilidade de infra-estrutura, para uma produção adequada. Esses fatores surgidos, principalmente, a partir do final do século passado são condicionantes impostos por mercados internacionais e restrições legais e econômicas de âmbito nacional.

Entretanto, face aos novos fatores e conceitos que promovem o papel das indústrias através da aplicação de práticas de gestão limpa, o setor industrial vem demonstrando, nas últimas décadas, que o desafio de produzir e ao mesmo tempo utilizar com parcimônia os recursos naturais, está sendo atingido de maneira satisfatória através do uso de novas tecnologias e da aplicação adequada dos conceitos modernos de gestão ambiental.

A concepção moderna de empreendedorismo industrial não considera os investimentos em gestão ambiental como detrimenais aos balanços financeiros das empresas, mas como elementos positivos, com potencial para agregar valor e segurança a seus ativos e proporcionar maior retorno aos investidores. Outro resultado benéfico gerado pela aplicação de estratégias corretas de gestão ambiental é a obtenção de uma imagem empresarial positiva, ou "eco-imagem", que traz retornos superiores àqueles proporcionados por programas extensivos de propaganda e marketing.

Dependendo da disponibilidade de água e em função de tecnologias emergentes a viabilidade da produção industrial fica condicionada à análise das seguintes opções, que não são necessariamente excludentes: (i) manter a situação tradicional, isto é, utilizar água do sistema público de distribuição e dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos; (ii) adquirir água de reúso ou água de utilidade produzida por companhias de saneamento, através de tratamento com-

plementar de seus efluentes secundários; ou (iii) tratar e reusar, na medida do possível, os seus próprios efluentes, após tratamento adequado.

A análise quantitativa dessas opções permite concluir que o reúso interno praticado no âmbito das próprias indústrias leva a um custo unitário da água inferior àqueles associados à coleta e ao tratamento de águas superficiais e das tarifas praticadas pelas companhias de saneamento, tanto as relativas aos sistemas de abastecimento público quanto as que distribuem água de reúso.

O reúso industrial vem se disseminando muito rapidamente em todo o Brasil. A prática é associada a benefícios ambientais, sociais e econômicos e constitui, dentro da atual sistemática de cobrança pelo uso da água, um fator de extrema importância para a sustentabilidade industrial.

Entretanto, a universalização da prática de reúso de água no Brasil, face à potencial perda de receita das companhias de saneamento que poderiam implanta-la em larga escala, está ainda longe de se concretizar. O reúso aplicado de maneira ampla e proporcionando uma significativa redução da demanda de recursos hídricos só ocorrerá através de uma decisão político-institucional e da promulgação de uma legislação realista, que possa ser efetivamente implementada através dos comitês de bacias hidrográficas.

Uma vez que relativamente pouco já foi desenvolvido no Brasil há, ainda, uma grande margem para atuação das empresas no que tange à aplicação de sistemas de gestão ambiental adequados. É provável que, em um futuro não muito longínquo, novas demandas sociais, ambientais, de saúde pública e legais, levem a uma situação crítica em termos de investimentos no setor, fazendo com que o mercado corporativo seja obrigado a estabelecer um balanço entre benefícios auferíveis e investimentos em gestão. Uma dessas demandas, que deverá ocorrer proximamente, será a imposição legal para que as indústrias incluam em seus balanços patrimoniais seus respectivos passivos ambientais, acumulados durante longos anos de operação.

REFERÊNCIAS CITADAS

- Abiquim. 2008. Relatório de atuação responsável 2008, ano base 2007, ano 4, Associação Brasileira da Indústria Química, São Paulo. 28 p.
- Análise-Gestão Ambiental, Anuário 2007. A gestão ambiental das maiores empresas do Brasil. São Paulo. p. 54-195.
- Asano, T. 1998. Wastewater reclamation and reuse. Water Quality Management Library, Technomic Publishing Inc., Lancaster. Vol. 10, 1528 p.
- DAEE. 2000. Síntese do Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Departamento de Águas e Energia Elétrica, Secretaria de Energia e Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, São Paulo.
- DAEE. 2000a. Demanda de Água Industrial no Estado de São Paulo. Departamento de Águas e Esgotos do Estado de São Paulo, São Paulo.
- Donaire, D. 2007, Gestão ambiental na empresa. Editora Atlas S.A., São Paulo, 169 p., 2ª Ed.
- Esty, D.C. & Winston, A.S. 2006. Green to gold: how smart companies use environmental strategy to innovate, create value, and build competitive advantage. Yale University Press, New Haven. 366 p.
- FIESP. 2005. www.fiesp.org.br, adaptado.
- FIESP/CIESP. 2004. Conservação e reúso de água: manual de orientações para o setor industrial. Centro Internacional de Referência em Reúso de Água, CIRRA/IRCWR e DCT Engenharia, São Paulo, vol. 1, 92 p.

- Hespanhol, I. 2008. A new paradigm for urban water management and how industry is coping with it. In: Jimenez, B. & Asano, T. (Eds). Water reuse: an international survey of current practice, issues and needs. IWA Publishing, London. Scientific and Technical Report N° 20, p. 467-482.
- Hespanhol et al. 2006. Manual de conservação e reúso de água na indústria. Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 31 p.
- IPEA. 2004. Relatório da pesquisa de campo sobre uso industrial da água: estimação de funções de demanda de água e custo de controle de poluição. Rio de Janeiro.
- Mierzwa, J.C. & Hespanhol, I. 2005. Água na indústria: uso racional e reúso. Oficina de Textos, São Paulo. 143 p.
- Mierzwa, J.C. & Hespanhol, I. 2005a. Simulação dos custos associados à cobrança pelo uso da água de 2.311 indústrias, com e sem reúso de água, de acordo com a legislação vigente no Estado de São Paulo. Centro Internacional de Referência em Conservação e Reúso de Água, CIRRA/IRCWR do PHD/Politécnica/USP, São Paulo. Documento interno. 6 p.
- Pio, A.A.B. 2008. Tecnologias e metodologias disponíveis e o dimensionamento do papel público-privado para a boa aplicação da gestão ambiental na indústria. Painel Reúso de Água, Seminário Internacional de Meio Ambiente, Indústria e Sustentabilidade, X SIMAI, 14 de novembro, São Paulo.
- Pio, A.A.B. 2005. Reflexos da gestão de recursos hídricos para o setor industrial paulista. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo. 164 p.
- SABESP. 2007. Comunicado 03/05: tarifas e demais condições a vigorarem a partir de 10 de setembro de 2007, São Paulo.
- SABESP. 200. Reúso urbano na Região Metropolitana de São Paulo. Diretoria de Produção e Tecnologia, Unidade de Negócios de Tratamento de Esgotos, São Paulo.
- SABESP. 2000, <http://www.sabesp.com.br>, adaptado.
- SINDUSCON, ANA, FIESP, COMASP. 2006. Conservação e reúso de água em edificações. Diversos autores e colaboradores, São Paulo. 152 p., 2ª ed.

5

A QUESTÃO DA ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

A QUESTÃO DA ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

José Almir Cirilo¹

Suzana M.G.L. Montenegro²

José Nilson B. Campos³

RESUMO

As características edafo-climáticas e sócio-econômicas do semi-árido brasileiro requerem tecnologias específicas de utilização e conservação dos recursos hídricos. Além do quadro de escassez, a utilização incorreta dos recursos hídricos aumenta a fragilidade da região ao processo de desertificação. O impacto de possíveis mudanças climáticas pode ainda interferir negativamente em processos produtivos, na saúde e na qualidade de vida na região, pela redução da disponibilidade hídrica. Nesse contexto, devem-se abordar o problema de escassez de água e abastecimento a comunidades difusas, levando em consideração tecnologias alternativas, de baixo custo e fácil apropriação pela população. Algumas dessas alternativas e a relevância das obras de integração entre bacias hidrográficas para a região são discutidas neste artigo, destacando a importância da gestão dos recursos hídricos com foco na conservação e uso sustentável.

Palavras-chave: gestão dos recursos hídricos, regiões semi-áridas, conservação de recursos hídricos.

ABSTRACT

Soil, climate conditions and socio-economic characteristics in the Brazilian semi-arid region require specific technologies aiming at water resources use and conservation. In addition to the water scarcity condition, incorrect use of water resources in the region enhances the susceptibility to desertification. Impacts of possible climate change may also negatively interfere in the

¹ Professor Titular, Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, mvfolega@esalq.usp.br

² Pós-doutorando, Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, rmsroman@esalq.usp.br

³ Professor Associado, Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, rdcoelho@esalq.usp.br

productive processes, health conditions, quality of life and water availability. In this context, non-convention and low cost technologies, with easy assimilation by the communities, must be an approach deal to water scarcity problem and supply diñused population. In the present paper, some of these alternative technologies and the importance for the river basin region integration and water transport across long distances are discussed, highlighting the role of water resources management aiming at conservation and sustainable use.

Keywords: water resources management, semi arid regions, water resources conservation.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade e usos da água na região Nordeste do Brasil, particularmente na região semi-árida, continuam a ser uma questão crucial no que concerne ao seu desenvolvimento. É fato que grandes esforços vêm sendo empreendidos com o objetivo de implantar infra-estruturas capazes de disponibilizar água suñciente para garantir o abastecimento humano e animal e viabilizar a irrigação. Todavia, esses esforços ainda são, de forma global, insuñcientes para resolver os problemas decorrentes da escassez de água, o que faz com que as populações continuem vulneráveis à ocorrência de secas, especialmente quando se trata do uso difuso da água no meio rural. De qualquer modo, a ampliação e o fortalecimento da infra-estrutura hídrica, com uma gestão adequada, constituem requisitos essenciais para a solução do problema, servindo como elemento básico para minimizar o êxodo rural e promover a interiorização do desenvolvimento. Além de obras, a última década do século passado trouxe para o país um novo paradigma: a necessidade da gestão dos recursos hídricos. De fato, a partir dessa época, implantou-se nos estados, com o suporte da União e da Lei nº 9433/1997, a chamada Lei das Águas, uma nova ñlo-soñ: controle do uso por meio de instrumentos como outorga e da, ainda incipiente, cobrança pelo uso da água bruta; planos de recursos hídricos para as bacias hidrográficas e os estados; estruturação de entidades gestoras e organismos de bacia; e programas de obras estruturadoras. Pode-se até afirmar que, em função das diñculdades históricas, os maiores avanços na gestão dos recursos hídricos, comparando-se as regiões do país, vêm ocorrendo no Nordeste.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO NORDESTE SEMI-ÁRIDO

O Nordeste do Brasil situa-se entre as latitudes 1º e 18º 30' S e as longitudes 34º 30' e 40º 20' W e ocupa a área de 1.219.000 km², que equivalem a aproximadamente um quinto do território brasileiro. A região abrange os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, nos quais vivem 18,5 milhões de pessoas e dos quais 8,6 milhões estão na zona rural (Cirilo *et al.* 2007: 33).

O clima da porção semi-árida é caracterizado por um regime de chuvas fortemente concentrado em quatro meses (fevereiro-maio) e uma grande variabilidade interanual. As fortes secas que ña-gelam a região sempre moldaram o comportamento das populações e foram preponderantes para a formulação de políticas públicas regionais.

O denominado Polígono das Secas foi criado pela Lei nº 175 de janeiro de 1936, como área a ser objeto das políticas de combate às secas. O Polígono foi alvo de várias modiñcações, tendo sido, inclusive, inserido na Constituição Federal de 1946. Atualmente, o Polígono foi substituído pela Região Semi-árida do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (MMA 2004). O Ministério da Integração Nacional (Brasil 2005, 2007) redeñniu os limites da região semi-árida do Nordeste.

POTENCIALIDADES HÍDRICAS REGIONAIS: ÁGUAS SUPERFICIAIS

O Nordeste semi-árido é uma região pobre em volume de escoamento de água dos rios. Essa situação pode ser explicada em função da variabilidade temporal das precipitações e das características geológicas dominantes, onde há predominância de solos rasos baseados sobre rochas cristalinas e, conseqüentemente, baixas trocas de água entre o rio e o solo adjacente. O resultado é a existência de densa rede de rios intermitentes, com poucos rios perenes e destaque para os rios São Francisco e Parnaíba. Os rios de regime intermitente são encontrados na porção nordestina que se estende desde o Ceará até à região setentrional da Bahia. Entre estes, destaca-se o Jaguaribe, no Ceará, pela sua extensão e potencial de aproveitamento: em sua bacia hidrográfica encontram-se alguns dos maiores reservatórios do Nordeste, como Castanhão e Orós.

A potencialidade hídrica superficial é representada pela vazão média de longo período em uma seção de rio. Trata-se de um indicador importante, pois possibilita uma primeira avaliação da carência ou abundância de recursos hídricos de forma espacializada numa dada região.

A Figura 1 indica as potencialidades hídricas superficiais expressas por unidade de área (indicadas em litros por segundo por quilômetro quadrado) nas diferentes bacias hidrográficas da região, como resultado dos estudos hidrológicos desenvolvidos para o trabalho da ANA/MMA intitulado “Atlas Nordeste: abastecimento urbano de água” (ANA 2005).



Figura 1. Vazões específicas médias das bacias hidrográficas do Nordeste do Brasil (Fonte: ANA 2005).

POTENCIALIDADES HÍDRICAS REGIONAIS: ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

No que se refere à ocorrência de águas subterrâneas, como o território nordestino é em mais de 80 % constituído por rochas cristalinas, há predominância de águas com teor elevado de sais captadas em poços de baixa vazão: da ordem de $1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Exceção ocorre nas formações sedimentares, onde as águas normalmente são de melhor qualidade e pode-se extrair maiores vazões, da ordem de dezenas a centenas de $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$, de forma contínua (Cirilo 2008). A Figura 2 mostra, de forma esquemática, a ocorrência dos aquíferos no Nordeste.

Rebouças (1997) ressaltou, a partir de estudos anteriores, que as reservas de água doce subterrânea nas bacias sedimentares do Nordeste permitem a captação anual de 20 bilhões de m^3 por ano, sem colocar em risco as reservas existentes. Esse volume equivale a 60 % da capacidade do reservatório de Sobradinho, na Bahia (34 bilhões de m^3), principal responsável pela regularização das vazões do rio São Francisco; ou o triplo da capacidade do açude Castanhão (6,7 bilhões de m^3). Trata-se, portanto, de volume considerável de água. Segundo Cirilo (2008), é necessário ressaltar, no entanto, as peculiaridades dessas reservas, que são:

- concentração espacial (no caso do semi-árido, Piauí e Bahia detêm os principais aquíferos. No restante da região, as ocorrências são de manchas sedimentares esparsas);
- em muitos aquíferos, a profundidade encarece o custo de implantação e operação dos poços (Chapada do Araripe, município de Bodocó, no lado pernambucano, há um poço com 950 m de profundidade e capacidade de $140 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, onde o nível dinâmico da água está a mais de 300 m abaixo da superfície do solo); e
- existe muita incerteza sobre os mecanismos de recarga dos aquíferos sedimentares do semi-árido, bem como sobre a dimensão dessa recarga; por essa razão, uma exploração intensiva pode colocar em risco essas fontes.

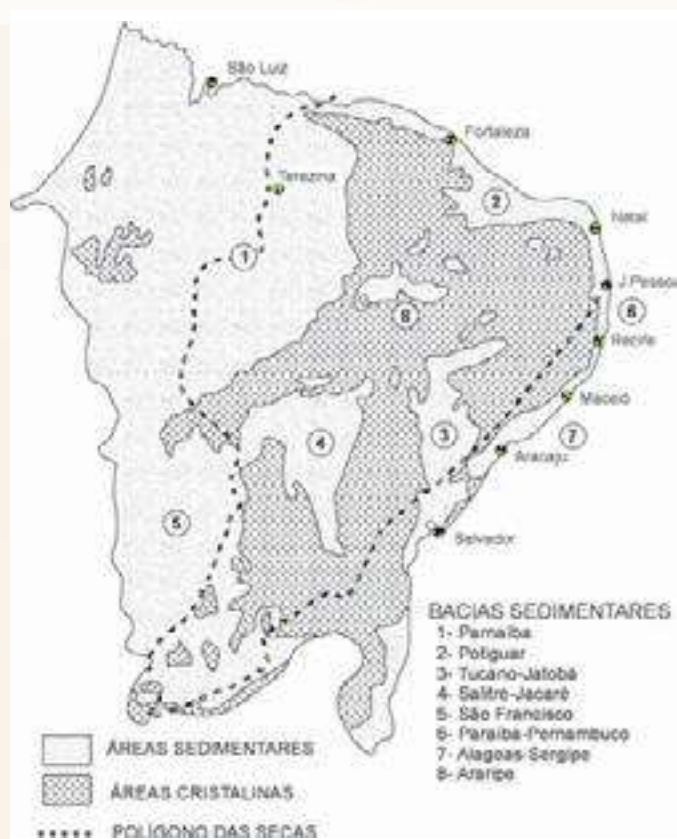


Figura 2. Distribuição das rochas sedimentares e cristalinas na área de abrangência do Polígono das Secas da SUDENE (fonte: Demetrio et al. 2007).

Pelas razões expostas, Cirilo (2008) afirmou que as águas subterrâneas devem ser, nas reservas sedimentares do semi-árido nordestino, usadas criteriosamente, de preferência para o abastecimento humano (diversas cidades do Nordeste situadas sobre as bacias sedimentares ou próximas a elas são abastecidas por essas fontes) e que não faz sentido considerar que essa potencialidade seja capaz de atender às demandas regionais, até porque seriam necessárias grandes transferências de água para isso.

SAÚDE PÚBLICA

A incidência de doenças de veiculação hídrica associadas à má qualidade da água consumida por parte significativa da população do semi-árido, especialmente a que reside nas zonas rurais, e a precariedade ou inexistência de estruturas de tratamento de esgoto, relete, principalmente, nos indicadores de mortalidade infantil na região. Costa (2009) desenvolveu pesquisa em que relacionou a queda significativa de doenças, como por exemplo a diarreia, sobre a população infantil de áreas rurais de Pernambuco, após a implantação de sistemas regulares de abastecimento de água ou mesmo de tratamento de água em sistemas simplificados.

OCORRÊNCIA DE PROCESSOS DE DESERTIFICAÇÃO NO NORDESTE

A Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (UNCCD) conceituou *desertificação* como o processo de degradação das terras em regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, em decorrência de fatores como a ação antropogênica e as mudanças climáticas. Essa degradação é a perda ou redução da produtividade econômica ou biológica dos ecossistemas secos causada pela erosão do solo, deterioração dos recursos hídricos e perda da vegetação natural.

De acordo com estudo do Ministério do Meio ambiente (BRASIL 2002: 42), as áreas do Nordeste com sinais extremos de degradação, os chamados “Núcleos de Desertificação”, são Gilbués no Piauí, Irauçuba no Ceará, Seridó na fronteira dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte e Cabrobó, em Pernambuco. Estima-se que o processo de desertificação vem comprometendo uma área de 181.000 km² decorrente de impactos difusos e concentrados sobre o território da região.

A super-exploração dos recursos naturais nessa região tem efeitos de médio prazo sobre a qualidade ambiental na região, onde predominam, como atividades econômicas, as culturas de subsistência, a pecuária extensiva e alguns perímetros de agricultura irrigada. Muitas áreas irrigadas apresentam sinais de salinização pela deficiência ou ausência de drenagem dos solos. Em cerca de 600 mil hectares irrigados no Nordeste registram-se sinais de salinização e/ou de compactação do solo em aproximadamente 30 % da área (MMA 2002).

IMPACTOS POTENCIAIS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O relatório do IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*, denominado IPCC AR4 (disponível no site <http://ipcc-wg1.ucar.edu/>) sobre as mudanças climáticas concluiu, com mais de 90 % de confiança, que o aquecimento global dos últimos 50 anos é causado pelas atividades humanas. Segundo Marengo (2007), os resultados deste estudo para a América do Sul indicam que as mudanças climáticas mais intensas para o final do Século XXI, relativas ao clima atual, vão acontecer na região tropical, especialmente na Amazônia e no Nordeste do Brasil. Estas duas regiões são, portanto, as mais vulneráveis do Brasil às mudanças de clima.

Numa atmosfera mais aquecida espera-se, de modo geral, a ocorrência de precipitações pluviiais mais intensas nas regiões mais úmidas, além de veranicos e ondas de calor mais frequentes. Na

região semi-árida, a maioria dos cenários de mudanças climáticas sinaliza para, com o aumento da temperatura: o aumento da evaporação nos corpos d'água e, conseqüentemente, a redução do volume escoado nos mesmos; a redução da recarga dos aquíferos em até 70 % até o ano 2050 e, portanto, da realimentação da vazão dos rios; a concentração do período chuvoso em um espaço de tempo ainda menor, com redução da precipitação (cenário pessimista: para um aumento da temperatura de 2 a 4 °C, 15 a 20 % a menos de chuva; cenário otimista: 1 a 3 °C mais quente, 10 a 15 % de redução de chuva); a tendência de "aridização" da região, com a substituição da caatinga por vegetação mais típica de regiões áridas, como as cactáceas.

A alteração dos processos hidrológicos na região semi-árida pode significar diferentes tipos de prejuízos para as comunidades que vivem nessas regiões. Por exemplo, é provável que ocorra aumento da salinização da água subterrânea e superficial em virtude da elevação da evapotranspiração (Bates *et al.* 2008). Além disso, nas bacias hidrográficas dessas regiões, as conseqüências de mudanças no regime de vazões podem trazer prejuízos para a geração de energia hidroelétrica e para a manutenção de projetos de irrigação e abastecimento da população. Devem ser realizados estudos hidrológicos para predição e avaliação das conseqüências da mudança do regime de vazões e dos processos hidrológicos nas bacias do Semi-Árido Nordeste. Pinto & Assad (2008) destacaram que na maior parte do Brasil a elevação da evapotranspiração deverá, com seu conseqüente reflexo na eficiência hídrica do solo, acarretar um crescimento do risco climático para a produção agrícola. Baseado em cenários do IPCC e simulações de cenários com as condições futuras para plantio de diferentes culturas, os referidos autores destacaram que o aumento de temperatura deverá diminuir o número de municípios com potencial agrícola nos anos de 2020, 2050 e 2070. Segundo ainda os mesmos autores, com a estimativa pelo IPCC de aridificação do semi-árido do Brasil e da perda da produtividade de várias culturas, deverão ser produzidas conseqüências do ponto de vista de segurança alimentar na região.

SOLUÇÕES PARA PROBLEMA DA ÁGUA NO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO

As secas e suas conseqüências

Desde os primórdios, as secas marcaram a história do Nordeste. Fernão Cardin (citado por Souza 1979) relata que houve uma grande seca e esterilidade na província (Pernambuco) e desceram do sertão, ocorrendo-se aos brancos no litoral cerca de quatro ou cinco mil índios. Também merece destaque a citação ao Professor João de Deus de Oliveira (Paulino 1992) que relata movimentos dos Tabajaras e Kariris acossados pelas secas. Depreende-se dessas narrativas que os movimentos migratórios já aconteciam dos sertões já aconteciam mesmo em uma época de baixa densidade demográfica.

A ocupação dos sertões foi bastante retardada em decorrência, principalmente, das secas. Contudo, após uma carta régia, os criadores de gado tiveram que adentrar os sertões. De 1845 a 1876, aconteceram 32 anos sem secas intensas, que resultaram no aumento das populações e dos rebanhos sem o aumento da infra-estrutura hídrica. Veio, então, uma seca intensa e duradoura de 1877 a 1879, que resultou em trágica mortandade da região com estimativa de cerca de 500.000 óbitos. Foi a partir desse choque que atingiu a sociedade brasileira que começou uma busca de soluções estruturais (Campos & Studart 1997). Foi nessa seca, que se atribui a Dom Pedro II a frase: "venderei a última pedra da minha coroa antes que um nordestino venha a morrer de fome".

De qualquer maneira, foi a partir dessa tragédia que ações mais efetivas, ainda em ritmo lento, começaram a ser tomadas. O açude Cedro no Ceará, hoje um monumento histórico de baixa capacidade hidrológica, foi iniciado ainda na época do Império.

A busca de soluções

O enfrentamento do problema da escassez de água de qualidade no semi-árido não se deu através de uma solução única. A implantação de infra-estruturas hidráulicas, isoladas ou combinadas, constituem as ações necessárias para mitigar a problemática da água no semi-árido. A definição de infra-estrutura adequada e de estratégia de ação ou de gestão deve buscar o aumento da disponibilidade pelo aumento da eficiência do uso e controle da demanda e do desperdício, notadamente no que se refere à irrigação.

As infra-estruturas podem ser agrupadas para atender dois tipos de demanda: a demanda concentrada e a demanda rural difusa. Na primeira, por exemplo, nas cidades e perímetros de irrigação grandes vazões são supridas e distribuídas entre usuários próximos uns dos outros. Na demanda rural difusa, há uma dispersão espacial muito grande e as soluções são específicas. Vamos iniciar pelos problemas regionais associados ao clima para contextualizar as soluções praticadas e propostas.

Perfuração de poços

No Nordeste, estima-se que cerca de 100.000 poços tenham sido perfurados. Pelo fato de a maior parte da região semi-árida do Nordeste ser de formação cristalina, poços usados como solução para o suprimento das diferentes necessidades estão sujeitos às seguintes limitações:

- baixas vazões, na maioria dos casos até $2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$;
- teores de sais superior, em parcela significativa dos poços, ao recomendado para consumo humano; e
- altos índices de poços secos, dadas as peculiaridades geológicas.

Os poços perfurados no cristalino têm profundidade da ordem de 50 m ao passo que nas bacias sedimentares as profundidades são variadas, na maioria dos casos entre 100 e 300 m.

A perfuração de poços em solos cristalinos tem sido feita em conjunção com dessalinizadores de osmose reversa para a demanda rural. Em áreas sedimentares, tem sido usada para atender ou complementar a demanda das cidades.

Não obstante os dessalinizadores se mostrem eficazes na melhoria da potabilidade da água, problemas precisam ser gerenciados, como segue: destinação do rejeito proveniente da salinização, alto custo de manutenção e logística de operação complexa. Para a destinação do rejeito, algumas soluções têm sido adotadas, como: uso de tanques com lâminas d'água delgada para incremento da velocidade de evaporação e a conseqüente deposição de sais; acumulação em tanques para a criação de peixes como tilápia rosa e camarão marinho; cultivo de *Atriplex nummularia*, planta com grande capacidade de absorção de sais, originária da Austrália e introduzida, com sucesso, no Chile, apresentando-se como excelente forrageira, que contém entre 16 e 20 % de proteínas e tem uma sobrevida de até 20 anos (Montenegro & Montenegro 2004, Porto *et al.* 2006).

Cisternas rurais

A construção de cisternas para guardar água de chuva é natural e intuitiva e tem, por isso, sido praticada há milênios. Há registros de cisternas de mais de dois mil anos em regiões como a China e o deserto de Negev, hoje território de Israel e Jordânia (Gnadlinger 2000).

As cisternas com capacidade de acumulação normalmente entre 7 e 15 m^3 representam a oferta de 50 litros diários de água durante 140 a 300 dias, admitindo que esteja cheia no final da esta-

ção chuvosa e nenhuma recarga tenha ocorrido no período. Tomados os devidos cuidados com a limpeza do telhado, da cisterna, da calha e da tubulação, é uma solução fundamental para o atendimento das necessidades mais essenciais da população rural difusa. Embora existam aos milhares, espalhadas por todo o Nordeste, a quantidade de cisternas ainda é ínfima quando comparada à necessidade da população rural difusa.

Contudo, deve-se ter em mente que no clima do semi-árido a cisterna não consegue, sem outras fontes, dar sustentabilidade às populações. Deve ser usada como parte da solução para as populações difusas. Um exemplo dessa limitação está na instalação dos Jesuítas em Dom Maurício, no município de Quixadá. Os Jesuítas estabeleceram-se na área no final do século XVIII e construíram um convento/colégio com sustentação hídrica baseada em um conjunto de grandes cisternas. Na seca de 1915, eles fecharam o convento/colégio por absoluta falta de água. Atualmente, o convento é administrado por freiras que utilizam as cisternas em conjunto com outras fontes de água, como um pequeno açude das proximidades.

Barragens subterrâneas

As barragens subterrâneas justificam-se pela necessidade de incrementar a acumulação das águas nos aquíferos aluviais das bacias de rios intermitentes. O regime de precipitações com chuvas em geral de curta duração e elevada intensidade e a limitada capacidade de infiltração do solo faz com que boa parte dessa precipitação seja perdida por rápido escoamento superficial. Dispositivos comuns de captação do escoamento superficial nessas bacias hidrográficas constituem os açudes e barreiros que, devido às altas taxas de evaporação características do semi-árido, têm parte significativa de seu volume armazenado perdido antes da utilização. A evaporação também tende, nesses casos, a incrementar a salinidade das águas captadas nesses dispositivos, tornando sua utilização imprópria para diversos fins. A barragem subterrânea promove a infiltração e o armazenamento da água de chuva no depósito aluvial, com maior proteção à evaporação e à salinização quando comparada com os açudes e barreiros (Costa *et al.* 2000). Apesar de ser uma tecnologia bem antiga e de simples execução, não vinha sendo aplicada no Brasil como um tipo de obra hídrica estruturadora. Diversos estados do Nordeste vêm construindo barragens subterrâneas, a exemplo de Pernambuco, Paraíba e Bahia.

Reaproveitamento/tratamento de águas servidas

De forma geral, a destinação de esgotos com baixo ou nenhum tratamento ainda continua sendo os corpos d'água. As consequências são: poluição, doenças de veiculação hídrica, destruição da biodiversidade e redução da disponibilidade de água potável. A disposição de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, em rios e reservatórios tem resultado na eutrofização de mananciais e na floração de algas tóxicas chamadas cianofíceas, que constituem verdadeiras pragas para os reservatórios. Essas algas liberam toxinas (neurotoxinas e hepatotoxinas) que podem causar sérios danos à saúde humana, até mesmo a morte. O tratamento da água é, além de difícil, extremamente dispendioso.

No Nordeste, o reuso de água para atividades industriais vem surgindo em setores como, por exemplo, na produção de confecções. Ainda é muito tímida resumindo-se, praticamente, a projetos-piloto e à reutilização de efluentes sanitários, tratados ou não, para atividades agrícolas.

Um dos agravantes desse problema é a construção de sistemas de distribuição de águas sem destinação apropriada para as águas usadas. Os pequenos reservatórios são particularmente vulneráveis a esse problema. A intermitência dos rios limita, drasticamente, o poder de autodepuração dos mesmos. Esse é um tema onde ainda há muito campo para pesquisas.

Campello Netto *et al.* (2007: 494) comentaram que, em certos países, como Israel, razões culturais e déficit hídrico favorecem a aplicação de resíduos ao solo em vez de descarregá-los nos corpos d'água. A aplicação de resíduos orgânicos na agricultura tem recebido maior atenção por causa dos custos e dos problemas ambientais associados com a disposição de resíduos, além de, como citado, da baixa disponibilidade de água limpa para os processos de produção. No Nordeste, o reuso de água para atividades industriais vem surgindo em setores como, por exemplo, a produção de confecções. Hespanhol (2003) destacou que, nas condições de escassez de água no Nordeste semi-árido, pode-se salientar como palavras-chave em termos de gestão o reuso e a conservação; o autor analisou o potencial de reuso de água no Brasil para diversos usos, particularmente para os não potáveis. Ainda é muito tímida e praticamente se resume a projetos-piloto, a reutilização de efluentes sanitários, tratados ou não, para atividades agrícolas.

Transporte de água a grande distância

No que se refere ao abastecimento humano nas cidades do semi-árido que não dispõem de mananciais próximos, a construção de adutoras é a solução mais adequada, seja a partir de reservatórios de maior porte, seja a partir de poços em áreas sedimentares (com maior restrição para que sejam identificadas as potencialidades dessas reservas no que tange, principalmente, aos mecanismos de recarga), ou mesmo a partir de rios e reservatórios mais distantes, mesmo em outras bacias hidrográficas, configurando as chamadas transposições ou transferências de água entre bacias.

Grandes aduções foram construídas ou estão em construção ou projetadas para abastecer as cidades do semi-árido. Por exemplo, o Canal da Integração, no Ceará, em fase de conclusão, deve conduzir águas da bacia do Jaguaribe por 225 km, a partir do reservatório Castanhão até Fortaleza. Daí, as águas são distribuídas por toda a Região Metropolitana de Fortaleza, incluindo a área do Porto de Pecém.

Outra situação hoje vivenciada é o início das obras para transposição de águas do rio São Francisco (BRASIL 2000) para os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Segundo o Ministério da Integração Nacional, no final do projeto haverá retirada contínua de $26,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de água, equivalentes a 1,4 % da vazão garantida pela barragem de Sobradinho ($1.850 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Esta vazão será destinada ao consumo da população urbana de 390 municípios do Agreste e do Sertão dos quatro estados do Nordeste Setentrional. Nos anos em que o reservatório de Sobradinho estiver vertendo, a vazão aduzida poderá chegar a $127 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

O chamado Eixo Norte da transposição foi projetado para uma capacidade máxima de $99 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e deverá operar com uma vazão contínua de $16,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, destinada ao consumo humano. Os volumes excedentes transferidos serão armazenados em reservatórios existentes nas bacias receptoras. No Estado de Pernambuco, os Eixos Norte e Leste servirão, ao atravessarem o seu território, de fonte hídrica para sistemas adutores existentes ou em projeto, responsáveis pelo abastecimento de populações do Sertão e do Agreste.

CONCLUSÕES

O fortalecimento da infra-estrutura hídrica do Nordeste como política de convivência com as secas tem sido praticado desde os tempos do Império. Muito já foi construído e não se tem mais a vulnerabilidade do início do século passado. Contudo, ainda há muito a ser feito. Há necessidade, também, de tornar os investimentos mais eficientes. Há ainda, entretanto, um grande segmento da população rural que vive em condições vulneráveis e com baixo acesso a água de boa qualidade.

Para elaborar uma boa política, é importante que se entenda a particularidade das soluções. Não se pode imaginar que grandes canais e adutoras irão abastecer as populações rurais difusas, exceto aquelas próximas ao traçado das obras. Portanto, cisternas, pequenos reservatórios, poços, dessalinizadores devem ter seu uso ampliado e melhorado, particularmente no que tange à sua operação e manutenção. Pequenos açudes e barragens subterrâneas devem, onde for adequado, ser empregados para fomentar a agricultura familiar de forma sazonal. A piscicultura nos grandes reservatórios é fonte importante de alimentação e renda, respeitados os limites para evitar a eutrofização dos mesmos.

Com a prática da gestão de recursos hídricos, fomentada através da Lei nº 9.433, ações emergenciais devem ser substituídas por ações de planejamento e gestão da água de forma integrada, participativa e descentralizada, em apoio às ações dos órgãos gestores locais, estaduais e organizações não governamentais. Em essência, o que todos queremos para o Brasil é um país justo, desenvolvido e ambientalmente correto. Contudo, um país meio desenvolvido é um país subdesenvolvido. Assim, a continuação de políticas públicas para reduzir as desigualdades regionais é ainda uma tarefa para políticos e governantes. A busca pelo correto entendimento dos processos e políticas regionais é a colaboração que os pesquisadores e cientistas podem dar.

REFERÊNCIAS CITADAS

- ANA, Agência Nacional de Águas. 2005. Atlas Nordeste: abastecimento urbano de água. Brasília, DF.
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., WU, S. & Palutikof, J.P. 2008. Climate change and water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva. 210 p.
- BRASIL. 2000. Ministério da Integração Nacional. Projeto de transposição de águas do rio São Francisco para o Nordeste Setentrional. Brasília, 10 vols.
- BRASIL. 2002. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Avaliação das águas do Brasil. Brasília. 86 p.
- Campello Netto, M.S.C., Costa, M.R. & Cabral, J.J.S.P. 2007. Manejo integrado de água no semi-árido brasileiro. In: Cirilo, J.A., Cabral, J.J.S.P., Ferreira, J.P.L., Oliveira, M.J.P.M., Leitão, T.E., Montenegro, S.M.G.L. & Góes, V.C. (orgs.). O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semi-áridas. ABRH, Editora Universitária da Universidade Federal de Pernambuco. p. 473-501.
- Campos, J.N.B. & Studart, T.M.C. 1997. Droughts and water policy in Northeast of Brazil: background and rationale: water policy. Universidade de São Paulo, São Paulo. Vol. 11(29): 127-154.
- Cirilo, J.A. 2008. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido brasileiro. Universidade de São Paulo, São Paulo. Vol. 63: 61-82.
- Cirilo, J.A., Costa, W.D., Goldemberg, D., Abreu, G.H.F., Azevedo, L.G.T. & Baltar, A.M. 2003. Soluções para o suprimento de água de comunidades rurais difusas no semi-árido brasileiro: avaliação de barragens subterrâneas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 00: 5-24.
- Cirilo, J.A., Góes, V.C. & Asfora, M.C. 2007. Integração das águas superficiais e subterrâneas. In: Cirilo, J.A., Cabral, J.J.S.P., Ferreira, J.P.L., Oliveira, M.J.P.M., Leitão, T.E., Montenegro, S.M.G.L. & Góes, V.C. (orgs.). O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semi-áridas. ABRH, Editora Universitária da Universidade Federal de Pernambuco. p. 167-175.
- Costa, M.R. 2009. Qualidade e sustentabilidade hídrica: avaliação de estratégias e políticas de convivência com o semi-árido. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

- Costa, W.D., Cirilo, J.A., Abreu, H.F.G. & Costa, M.R. 2000. Monitoramento das barragens subterrâneas no Estado de Pernambuco. In: V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste ABRH/LARHISA, Natal, Anais em CD.
- Demetrio, J.G.A., Feitosa, E.C. & Saraiva, A.L. 2007. Aquíferos Fissurais. In: Cirilo, J.A., Cabral, J. J. S. P., Ferreira, J.P.L., Oliveira, M.J.P.M., Leitão, T.E., Montenegro, S.M.G.L. & Góes, V.C. (orgs). O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semi-áridas. ABRH, Editora Universitária da Universidade Federal de Pernambuco. p. 105-132
- Gnadlinger, J. 2000. Técnicas de diferentes tipos de cisternas, construídas em comunidades rurais do semi-árido brasileiro. Anais do 1º. Simpósio sobre Captação de Água de Chuva no Semi-Árido Brasileiro.
- Hespanhol, I. 2003. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. BAHIA ANÁLISE & DADOS. Salvador. Vol. 13, número especial, p. 411-437.
- Marengo, J. 2007. Aquecimento global e as conseqüências das mudanças climáticas no Nordeste do Brasil. CPTEC/INPE, São José dos Campos, SP. 54 p.
- Montenegro, S.M.G.L. & Montenegro, A.A.A. 2004. Aproveitamento sustentável de aquíferos aluviais no semi-árido. In: Cabral *et al.* Água subterrânea: aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- MMA, Ministério do Meio Ambiente. 2004. Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca. PAN Brasil. 213 p.
- MMA, Ministério do Meio Ambiente. 2002. GEOBRASIL 2002: perspectivas do meio ambiente no Brasil. Edições IBAMA. 440 p.
- Paulino, F.S. 1992. Nordeste, poder e subdesenvolvimento sustentado: discurso e prática. Edições Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- PERNAMBUCO. 2008. Secretaria de Recursos Hídricos, Plano Estratégico de Recursos Hídricos e Saneamento. Secretaria de Recursos Hídricos. Recife. 112 p.
- Pinto, H.S. e Assad, E. 2008. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. EMBRAPA Agropecuária/UNICAMP, São Paulo. 82 p.
- Porto, E.R., Amorim, M.C.C., Dutra, M.T.D., Paulino, R.V., Brito, L.T.L. & Matos, A.N.B. 2006. Rendimento da *Atriplex nummularia* irrigada com efluentes da criação de tilápia em rejeito da dessalinização de água. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 10: 97-103.
- PROJETO ÁRIDAS. 1994. Nordeste: uma estratégia de desenvolvimento sustentável. Brasília, 217 p.
- Rebouças, A.C. 1997. Água na Região Nordeste: desperdício e escassez. Universidade de São Paulo, São Paulo. Vol. 11(29): 127-154.
- Souza, J.G.O. 1997. Nordeste brasileiro: uma experiência de desenvolvimento regional. Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza. 410 p.
- SUDENE. 1980. PLIRHINE: Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste.

6

AMAZÔNIA: RECURSOS HÍDRICOS E SUSTENTABILIDADE

AMAZÔNIA: RECURSOS HÍDRICOS E SUSTENTABILIDADE^{1, 2}

Adalberto L. Val^{3,4}

Vera Maria F. de Almeida-Val^{4,5}

Philip M. Fearnside⁴

Geraldo M. dos Santos⁴

Maria Teresa F. Piedade⁴

Wolfgang Junk⁴

Sergio R. Nozawa⁵

Solange T. da Silva⁶

Fernando Antonio de C. Dantas⁶

RESUMO

Os recursos hídricos na Amazônia afetam todos os ecossistemas naturais e alterados, incluindo as populações humanas. A evapotranspiração da floresta amazônica fornece vapor d'água que é transportado por ventos para outras regiões brasileiras e para países vizinhos. As quantidades enormes de água envolvidas nos processos hidrológicos na Amazônia conferem uma grande importância aos seus recursos hídricos e aos impactos em potencial no caso de alterações. A diversidade de peixes e de outros organismos aquáticos é enorme, assim como é a importância econômica e alimentar dessa fauna para a população humana. Há impactos de poluição, inclusive na metilação de mercúrio, em reservatórios hidrelétricos. As barragens bloqueiam a

¹ Texto preparado para a Academia Brasileira de Ciências para integrar o documento do Grupo de Trabalho sobre Recursos Hídricos. Este texto é uma síntese preparada a partir da contribuição inicial de cada um dos autores.

² Agradecimento especial a Rubens Tomio Honda (CUNL, afiliado ABC), Mônica Stropa Ferreira Nozawa (CUNL), Efrem Ferreira (INPA), Jansen Zuanon (INPA) e Elizabeth Mendes Leão (INPA).

³ Membro titular e Vice-Presidente para a Região Norte da Academia Brasileira de Ciências.

⁴ Pesquisadores e Professores dos Programas de Pós-graduação em Ecologia e Biologia de Água Doce e Pesca Interior do INPA, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

⁵ Professores do Programa de Pós-graduação em Biologia Urbana do CULN, Centro Universitário Nilton Lins.

⁶ Professores do Programa de Pós-graduação em Direito Ambiental da UEA, Universidade do Estado do Amazonas.

migração de peixes e alteram os ciclos de inundação dos rios. As hidrelétricas emitem metano, contribuindo para o aquecimento global. As características químicas dos diferentes tipos de água afetam processos como o transporte de carbono orgânico, o suprimento de nutrientes para o plâncton - que forma a base da cadeia alimentar nos ecossistemas aquáticos - e a quantidade de íons biodisponíveis que afetam a sensibilidade dos organismos ao cobre e a outros elementos tóxicos. Vários dos principais rios na região drenam mais que um país, como é o caso do rio Madeira, cuja bacia drena partes da Bolívia e do Peru, além do Brasil. Tratados internacionais exigem a salvaguarda dos direitos dos outros países que compartilham os recursos hídricos em bacias transfronteiriças. As hidrelétricas em construção no Brasil no rio Madeira implicam em diversos impactos nos países vizinhos, inclusive o bloqueio da migração dos grandes bagres. Uma das prioridades para a tomada de decisões racionais sobre os recursos hídricos amazônicos é a expansão do conhecimento científico sobre os sistemas aquáticos na região. Uma série de projetos nacionais e internacionais visa a melhorar esse conhecimento e há programas de pós-graduação voltados a aumentar a capacidade para pesquisas na área. A população humana na região depende do funcionamento dos ecossistemas aquáticos e compartilha o destino destes sistemas, dos quais os seres humanos constituem um componente central.

Palavras-chave: água, aquecimento global, barragem, biodiversidade, ciclo hidrológico, desenvolvimento, hidrelétrica, impacto ambiental, peixe, reservatório, rio

ABSTRACT

Water resources in Amazonia affect all natural and human-altered ecosystems in the region, including their human populations. Evapotranspiration by the Amazon forest provides water vapor that is transported by wind to other regions of Brazil and to neighboring countries. The enormous quantities of water involved in hydrological processes in Amazonia give great importance to the region's water resources and to potential impacts in the case of alteration. The diversity of fish and other aquatic organisms is enormous, as is the importance of this fauna as economic and food resources for the human population. There are impacts from pollution, including mercury methylation in hydroelectric reservoirs. Dams also block migration of fish and alter the flooding cycles of rivers. Hydroelectric dams release methane, thereby contributing to global warming. The chemical characteristics of different types of water affect processes such as the transport of organic carbon, the supply of nutrients to the plankton that are the base of the food chain in aquatic ecosystems, and the quantity of bio-available ions that affect sensitivity of organisms to copper and other toxic elements. Several of the major rivers in the region drain more than one country, as is the case for the Madeira River, whose basin drains parts of Bolivia and Peru, in addition to Brazil. International treaties require protecting the rights of other countries that share aquatic resources in trans-border watersheds. The hydroelectric dams under construction in Brazil on the Madeira River imply a variety of impacts in the neighboring countries, including blocking the migration of large catfish. One of the priorities for rational decision making on aquatic resources in Amazonia is expansion of scientific knowledge on aquatic systems in the region. A series of national and international projects are engaged in improving this knowledge, and masters and PhD programs are increasing the capacity for research in the area. The human population in the region depends on the functioning of aquatic ecosystems. People share the fate of these ecosystems, in which they constitute a central component.

Key-words: biodiversity, dam, development, environmental impact, fish, global warming, hydrological cycle, hydroelectric dam, reservoir, river, water

CARACTERIZAÇÃO E EXTENSÃO HÍDRICA

Apenas três por cento da água existente no mundo são águas doces correntes e destes, um quinto deve-se à descarga do rio Amazonas no oceano. A bacia hidrográfica do Amazonas é a mais extensa rede hidrográfica do globo terrestre, ramificando-se por todos os países do norte da América Latina, desde os sopés andinos até o Oceano Atlântico (Eva & Huber 2005), contando com 25.000 km de rios navegáveis em cerca de sete milhões de km², dos quais 3,8 milhões estão no Brasil (IBGE 2007). Esta bacia continental se estende por todo o norte da América do Sul, sendo que 63 % dela se encontram em território brasileiro, o que traz várias questões transnacionais nas áreas social, econômica, da biodiversidade e ambiental, entre outras, e impõe uma análise plural dos espaços normativos e da diversidade cultural na região. Esta questão de escala teve e ainda tem profundas implicações nos processos de planejamento regional e, não raras vezes, é completamente negligenciada.

O rio Amazonas descarrega no oceano Atlântico 175.000 m³ de água doce a cada segundo, o que representa 20 % de toda a água doce que entra nos oceanos do mundo todo. O encontro desse imenso volume de água com o mar resulta em um barulho de grandes proporções, denominado “pororoca” (da língua Tupi, grande estrondo) (revisado por Val *et al.* 2006). Este volume de água resulta da contribuição de uma infinidade de pequenos corpos de água completamente anastomosados no interior da floresta, que têm importante papel no ciclo da água na região amazônica e demais regiões adjacentes. Essa descarga equivale a cinco vezes a do rio Congo (África) e 12 vezes a do rio Mississipi (Estados Unidos da América). Os corpos d’água de todas as formas e origens criam um plano topográfico singular com um extensivo conjunto de áreas de transição entre o ambiente aquático e a terra firme, que (Sioli 1984) denominou de “aquatic landscape”. Mais de 20 % da região Amazônica pode ser considerada área úmida (Junk 2000).

As áreas alagáveis amazônicas associadas aos grandes rios são definidas como ambientes que recebem, periodicamente, o aporte lateral de águas desses rios devido à flutuação anual de seus níveis. Estas áreas cobrem 6 % da Amazônia brasileira, isto é, cerca de 300.000 km², e são classificadas, conforme sua fertilidade, em várzeas (4 %) e igapós (2 %). As várzeas são as áreas de maior fertilidade e são habitadas por 90 % da população rural do Amazonas (Junk 2000). Os igapós são, em contraste, pobres em nutrientes inorgânicos, ricos em material orgânico dissolvido e suas águas são extremamente ácidas, com cor clara ou, mais frequentemente, preta (Sioli 1975, Furch 2000). O contraste entre esses dois ambientes se estende também à flora.

A diversidade ambiental na Amazônia é ampliada pelos diferentes tipos de água, como as águas pretas do rio Negro, as brancas do rio Amazonas e as claras do rio Tapajós. Também, do ponto de vista biológico, a conexão com a bacia do Orinoco tem papel relevante. Essa conexão se dá por meio do canal de Cassiquiare, na parte superior do rio Negro. Os principais afluentes do rio Orinoco têm sua origem nos Andes, que também trazem de lá significativas quantidades de sedimentos. Contudo, uma quantidade de sedimentos ainda maior, da ordem de $1,2 \times 10^9$ t, é transportada pelo rio Amazonas para a costa Atlântica (revisto por Lara *et al.* 1997), onde se localiza uma extensa zona de interface.

A diferença de densidade e o volume de água fazem com que a água doce se mova por sobre a água salgada por centenas de quilômetros, transportando o sedimento diretamente para dentro do oceano Atlântico, em vez de permitir o depósito na entrada do estuário. A circulação nessa zona costeira é influenciada por fortes correntes locais. Aproximadamente a metade do sedimento é acumulada na costa, enquanto que a outra metade é dispersa no oceano. Assim, essa zona de interface, uma das maiores do mundo, é fortemente influenciada pela própria dinâmica do rio Amazonas, com seu fluxo máximo no final de maio e o mínimo em novembro.

QUALIDADE E ACOMPANHAMENTO DOS SISTEMAS HÍDRICOS

Além da coloração, as águas da Amazônia apresentam profundas diferenças químicas, físicas e biológicas que, também, estão fortemente relacionadas com as áreas de drenagem. De fato, as águas barrentas do sistema Solimões-Amazonas apresentam pH próximo ao neutro, uma grande quantidade de material em suspensão proveniente dos Andes e das margens dos rios, baixos níveis de carbono orgânico dissolvido e níveis de nutrientes relativamente mais altos do que os encontrados nos demais tipos de água da região. Em contraste, as águas pretas são ácidas, com pH entre 3,2 e 5, ricas em carbono orgânico dissolvido, particularmente em ácidos húmicos e fúlvicos, são muito pobres em íons, com concentrações próximas às da água destilada. Além disso, as águas da Amazônia apresentam, em geral, freqüentes episódios de baixa disponibilidade de oxigênio (Furch 1984, Val *et al.* 2006). A existência de uma rica ictiofauna nesses ambientes é possível graças a uma diversidade sem paralelos, de ajustes morfológicos, bioquímicos e fisiológicos para manter a homeostase iônica, bem como para garantir a transferência de oxigênio para os tecidos (Val & Almeida-Val 1995). Esse conjunto de características biológicas pode ser utilizado para o acompanhamento da qualidade ambiental, já que se correlaciona diretamente com as variações naturais do ambiente. Ressalte-se, entretanto, que mudanças das características ambientais para além das amplitudes naturais podem refletir em outros níveis da organização biológica (Val *et al.* 2003).

O modelo do ligante biótico (BLM – *Biotic Ligand Model*) prediz a quantidade de íons biodisponíveis, que podem causar toxicidade aos organismos aquáticos. Para isso, o modelo considera várias características físico-químicas do ambiente aquático incluindo, diferente de seus precursores, a variável “quantidade de carbono orgânico dissolvido”. A aplicação deste modelo para peixes em três diferentes ambientes da Amazônia revelou que a sensibilidade desses animais ao cobre está fortemente relacionada com os níveis de cálcio e carbono orgânico dissolvido na água (Bevilacqua 2009). Modelos desse tipo, bem como a definição de bioindicadores moleculares para acompanhamento da qualidade ambiental, são importantes para a Amazônia, que já experimenta diversos pontos de pressão antropogênica.

FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS HÍDRICOS

Devido à sazonalidade da precipitação, os grandes rios da região apresentam pulsos de inundação, com ciclos de cheia e vazante, que constituem a principal função de força para o sistema amazônico. A inundação pode durar vários meses. Nas áreas alagáveis, a interação entre o corpo d’água e a biota marginal é decisiva. A produção primária alóctone das florestas marginais tem grande importância para as teias alimentares dos corpos d’água e das planícies marginais. Quando as águas baixam, as áreas inundadas podem ser reduzidas a apenas 20 % da área total da fase aquática, o que tem importantes implicações ecológicas. A supressão de ambientes rompe a conectividade e concentra e isola organismos de muitas espécies. Essas comunidades respondem, adaptativamente, às condições peculiares determinadas pelos pulsos de inundação. Muitas árvores nas áreas alagáveis formam anéis de crescimento (pela redução da taxa de crescimento) como resposta à inundação (Worbes 1997), o que permite o uso de tais informações para o manejo adequado dessas áreas ameaçadas pela agropecuária e uso inadequado de seus recursos naturais (Junk 2000).



Figura 1. Vertedouro da barragem de Tucuruí, no rio Tocantins, Estado do Pará. Água sai do reservatório a uma profundidade de 20 m, onde carrega grandes quantidades de metano. A pulverização em gotículas libera este gás de efeito estufa para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global (Fotografia por Philip M. Fearnside).



Figura 2. Local originalmente escolhido para a hidrelétrica de Jirau, rio Madeira, Estado de Rondônia (na época de baixa vazão). O rio Madeira carrega grandes quantidades de sedimentos, fato que agrava a formação de um remanso superior, causando inundação em Bolívia, no trecho do rio acima do reservatório propriamente dito (Fotografia por Philip M. Fearnside).



Figura 3. Reservatório de Samuel, no rio Jamari, Estado de Rondônia. Decomposição das árvores mortas libera CO₂, contribuindo para o aquecimento global (Fotografia por Philip M. Fearnside).

As mudanças do clima global também afetarão a Amazônia, com previsão de diminuição significativa das chuvas pelo menos na parte leste e nos bordos da bacia, bem como ampliação dos efeitos de eventos como El Niño e La Niña. Além disso, as previsões indicam (Junk *et al.* 2009): (a) que as áreas úmidas costeiras serão afetadas pela subida do nível do mar e que a incidência de fogo tenderá a aumentar de forma alarmante, (b) que os pequenos igarapés e suas áreas alagáveis poderão secar completamente durante as épocas secas, com graves consequências para a fauna e a flora, (c) que as áreas desconectadas nos interflúvios, nas veredas e nos buritizais, especialmente em áreas de cerrado, experimentarão impactos de significativa amplitude, com efeitos sobre a biodiversidade desses locais.

As áreas úmidas ao longo dos grandes rios são relativamente flexíveis, porém, são necessários sistemas de proteção para as populações humanas locais como, por exemplo, programas robustos de previsão do nível do rio (Schöngart & Junk 2007), para que as atividades econômicas como a pesca, a agricultura e o extrativismo madeireiro, feitos em consonância com as flutuações de nível do rio, possam ser ajustadas a esses fenômenos. Entretanto, muito antes que os impactos das mudanças climáticas se façam sentir, o manejo inadequado do ecossistema de áreas alagáveis causará significativo desequilíbrio (Junk *et al.* 2009).

DIVERSIDADE DE ORGANISMOS AQUÁTICOS DA AMAZÔNIA

Em linhas gerais, a diversidade aquática amazônica é composta pelos mesmos grupos amplamente distribuídos pelo mundo, ou seja, por algas, plantas superiores, poríferos, rotíferos, insetos, moluscos, crustáceos, anfíbios, aves, peixes, répteis e mamíferos, lembrando que alguns desses grupos vivem na água, mas passam algum tempo em terra firme e vice-versa. Pela conspicuidade e biomassa que representam, merecem destaque os três últimos e as plantas aquáticas.

Os peixes da Amazônia se destacam pelo elevado número de espécies, isto é, constituem cerca de 10 % da ictiofauna de água doce do mundo ou 80 % da ictiofauna brasileira. Mais importante do que isso, os peixes constituem a principal fonte de alimentação, trabalho, lazer e renda da população local, cujo consumo 'per capita' é da ordem de 100 kg ano⁻¹, isto é, mais de seis vezes a média mundial. Sem dúvida, a atividade pesqueira, incluindo também os recursos da pesca esportiva, da pesca de peixes ornamentais e da piscicultura, constitui um dos maiores sustentáculos da economia amazônica e brasileira, gerando mais de 100 mil empregos diretos (Cabral Jr & Almeida 2006) e cerca de 10 vezes esse número se forem considerados os empregos indiretos.

Os quelônios, especialmente as tartarugas, se destacam pela importância histórica e cultural na alimentação humana, tanto na forma de ovos quanto de carne. Por causa da pressão da pesca e da destruição dos habitats aquáticos onde vivem e nidificam, uma das 14 espécies amazônicas, o tracajá *Podocnemis unifilis*, se encontra na lista da IUCN (International Union for Conservation of Nature) como animal vulnerável. Os jacarés, representados por quatro espécies (*Caiman crocodilus*, *Melanosuchus niger*, *Paleosuchus palpebrosus* e *P. trigonatus*), têm um papel de destaque no ecossistema como topo da cadeia alimentar e predadores vorazes. São caçados há décadas por sua pele e sua carne utilizada na culinária local.

Os mamíferos se destacam pelo porte avantajado e pelo fato de que uma das cinco espécies existentes nos ecossistemas aquáticos da região, a ariranha *Pteronura brasiliensis*, se encontra na lista da IUCN como ameaçada de extinção. As outras quatro espécies (peixe-boi *Trichechus inunguis*, lontra *Lontra longicaudis*, boto-tucuxi *Sotalia fluviatilis* e boto-vermelho *Inia geoffrensis*) são listadas como insuficientemente conhecidas. Apesar disso, continuam sendo caçadas.

As macrófitas se destacam por serem produtores primários, a partir dos quais se origina a matéria orgânica, constituindo o principal elo da cadeia alimentar. Elas são particularmente importantes nos sistemas de várzea, entre as quais predominam os capins silvestres *Paspalum repens* e *Echinochloa polystachia*, sendo esta última uma das plantas com mais alta produtividade conhecida, cerca de 100 t ha⁻¹ e fator de conversão de energia solar de 4 % (Piedade *et al.* 1992). Além da alimentação, essas plantas provêm refúgio para uma infinidade de organismos que vivem na água ou fora dela.

O ambiente de cada espécie é um conjunto complexo de fatores químicos, físicos e biológicos que interagem ao longo dos processos evolutivos, proporcionando as condições de vida e determinando a área de distribuição das espécies. Também é por meio das interações entre espécies, populações e comunidades que se desenvolvem as relações de predação, competição, parasitismo e simbiose, que na Amazônia assumem expressão maiúscula.

Apesar da importância da biodiversidade aquática, ou talvez por isso mesmo, ela vem sofrendo significativa pressão, alteração e perdas. Há perigo de que seu equilíbrio, já fragilizado, possa ser rompido. Entre as muitas causas, o desmatamento e a série de problemas dele decorrentes, tais como assoreamento, alterações e eliminação de habitats e a poluição de córregos, especialmente daqueles que banham as cidades, se destacam e carecem de avaliação e ações para sua completa eliminação.

FUNÇÃO, VALORAÇÃO E QUESTÕES SOCIAIS

Na Amazônia, a água é primordial para o homem porque, além de sua função fisiológica, ela representa o principal meio de transporte, o principal meio de obtenção de energia e de produção de alimento. No entanto, o uso e a exploração da água podem causar diversos impactos sociais. O cálculo de valoração desse recurso em grandes projetos deve incluir os custos sociais.

O consumo doméstico de água pelas populações humanas da Amazônia é muito pequeno quando comparado com o volume de água existente na região. Não obstante, na Amazônia, água própria para consumo pode escassear por poluição e pela ocorrência de infecções e parasitas em populações rurais e urbanas.

O transporte por água é o único meio de alcançar grande parte da Amazônia. A grande maioria dos assentamentos humanos está situada ao longo de rios navegáveis e as hidrovias são importantes para o acesso dessas populações às suas moradias. Apesar de parecer uma atividade não prejudicial ao meio ambiente, as ondas criadas pelo tráfego de barcas podem afetar áreas nas margens dos rios.

No que tange à geração de energia, o potencial hidrelétrico da Amazônia brasileira é grande graças às quedas topográficas nos afluentes do rio Amazonas a partir do Escudo Brasileiro (na parte sul da região) e do Escudo Guianense (no lado norte). A escala de desenvolvimento hidrelétrico planejada para a Amazônia é enorme: 68 hidrelétricas estão previstas no “Plano 2010”. Entretanto, os problemas sociais e ambientais causados pelas hidrelétricas também são enormes. O deslocamento de populações rurais e indígenas das áreas dos reservatórios pode ser um impacto severo em alguns locais. A UHE Tucuruí no rio Tocantins inundou parte de três reservas indígenas (Parakanã, Pucuruí e Montanha) e sua linha de transmissão passou por outras quatro (Mãe Maria, Trocará, Krikati e Cana Brava). Há uma disparidade na magnitude dos custos e benefícios com grandes desigualdades entre quem paga os custos e quem desfruta dos benefícios. Populações locais frequentemente recebem os principais impactos, enquanto que as recompensas beneficiam, principalmente, grandes centros urbanos e, no caso da maior represa (Tucuruí), outros países (Fearnside 1999, 2001).

A energia gerada por represas amazônicas faz, frequentemente, pouco para melhorar a vida das pessoas que vivem perto dos projetos. A UHE de Tucuruí fornece energia subsidiada para usinas multinacionais de alumínio em Barcarena, Estado do Pará (ALBRÁS e ALUNORTE, da Nippon Amazon Aluminum Co. Ltd. ou NAAC, um consórcio de 33 empresas japonesas) e em São Luis, Estado do Maranhão (ALUMAR, da Alcoa), enquanto que as populações que vivem no local do projeto têm iluminação por lâmparas a querosene.

As hidrelétricas também causam problemas de saúde às populações que ali vivem com malária e arboviroses. A malária é endêmica nas áreas onde são construídas as represas, aumentando a incidência quando populações humanas migram para essas áreas. O desequilíbrio ambiental pode causar aumento dessas doenças pelo aumento nas populações dos vetores (Tadei *et al.* 1983, Tadei *et al.* 1991). Outro problema é a metilação do mercúrio, que ocorre em reservatórios de hidrelétricas como foi indicado por seus altos níveis em peixes e em cabelos humanos em Tucuruí (Leino & Lodenius 1995). Altas concentrações de mercúrio ocorrem nos solos e na vegetação da Amazônia e podem ter sido originadas ao longo de milhões de anos (Roulet *et al.* 1996, Silva-Forsberg *et al.* 1999). Outros usos da água também podem resultar em assimetrias sociais e econômicas. Recursos hídricos são essenciais na produção de comida, tanto em terra quanto em ecossistemas aquáticos. A irrigação, entretanto, ainda afeta só uma parte pequena da agricultura na Amazônia, embora isto possa mudar no futuro. A mais conhecida iniciativa em grande escala na Amazônia foi o projeto de irrigação de arroz em Jari, atualmente abandonado (Fearnside & Rankin 1985, Fearnside 1988). A provisão de água para gado representa uma alteração significativa de recursos hídricos em paisagens desmatadas. Esta água é principalmente

provida por pequenos reservatórios (açudes) criados por meio do represamento de igarapés que passam por pastagens. A falta de água já é uma limitação à pecuária em anos secos. Por outro lado, na interface entre ambientes aquáticos e terrestres, as deposições de nutrientes por sedimentação durante períodos de inundação são fundamentais à agricultura na várzea amazônica (Junk 1997).

Por fim, é importante citar o papel das águas da Amazônia no clima e na manutenção da hidrologia de diversas regiões do país. Os sistemas aquáticos na Amazônia são ligados ao ciclo d'água regional e ao transporte de vapor d'água para regiões vizinhas, inclusive o centro-sul do Brasil (Fearnside 2004). A água entra na região como vapor advindo do oceano Atlântico. Ventos pre-va- lecentes na região sopram de leste para oeste e muito da água que cai como chuva na região é devolvida ao ar por meio da evapotranspiração (Salati 2001). Quando o ar alcança os Andes, uma parte significativa é direcionada para o sul, levando vapor d'água para o centro-sul brasileiro e para os países vizinhos. Modelos indicam que aproximadamente metade do vapor d'água que entra na Amazônia é transportada para fora da região em direção ao sul, por meio de ventos (Marengo *et al.* 2004, Correia *et al.* 2006, Marengo 2006, D'Almeida *et al.* 2007).

Sistemas aquáticos amazônicos também têm papéis importantes no ciclo de carbono global. Os sedimentos dos Andes e da erosão do solo dentro da região amazônica são transportados ao oceano pelos rios amazônicos, especialmente pelos rios Madeira, Solimões e Amazonas. Estes sedimentos, que podem ser depositados e remobilizados na várzea, levam uma quantidade significativa de carbono. O carbono orgânico dissolvido entra nos rios a partir do escoamento terrestre e da água do solo ao longo da região, também representando um fluxo de carbono importante ao oceano. São emitidas quantidades grandes de CO₂ da água no rio Amazonas (Richey *et al.* 2002). Nutrientes também transportados pelo rio Amazonas sustentam a alta produtividade do plâncton no estuário do Amazonas e a consequente remoção de CO₂ atmosférico por sedimentos oceânicos (Subramaniam *et al.* 2008). Hidrelétricas podem causar o rompimento destes fluxos e aumentar a emissão de outros gases de efeito estufa como o metano (Kemenes *et al.* 2007).

ÁGUAS DA AMAZÔNIA E DIREITO AMBIENTAL INTERNACIONAL

A Bacia Hidrográfica do Amazonas é a mais extensa rede hidrográfica do globo terrestre e estende-se dos Andes até o delta no oceano Atlântico (Eva & Huber 2005) e figura, portanto, como uma bacia de dimensões continentais atingindo vários países da América do Sul, como já foi mencionado¹. Retirar sobre a questão das águas na Amazônia e o direito ambiental internacional conduz a uma análise da pluralidade de espaços normativos e da diversidade cultural na região. Tal qual relata o poeta Thiago de Mello, o regime das águas corresponde a um elemento no cálculo da vida do homem, determinando os ciclos econômicos: grandes vazantes, fartas colheitas (tempo de grandes pescarias e de bom plantar), grandes cheias, duras calamidades e amargas misérias (o peixe deixa o rio, as plantações são destruídas) (Mello 2002). No que tange ao direito ambiental internacional na bacia amazônica, devemos considerar três perspectivas: (1) o caráter multinacional da bacia, (2) as migrações biológicas e (3) o uso compartilhado e sustentado dos recursos nela contidos.

¹ Não há que confundir a bacia hidrográfica do Amazonas (bacia hidrográfica internacional) com a Região Hidrográfica Amazônica, que é constituída pela bacia hidrográfica do rio Amazonas situada no território brasileiro, pelas bacias hidrográficas dos rios existentes na Ilha de Marajó, além das bacias hidrográficas dos rios situados no Estado do Amapá, que deságuam no Atlântico Norte, perfazendo um total de 3.870.000 km², de acordo a Divisão Hidrográfica Nacional (Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, CNRH n° 32, de 15 de outubro de 2000).

A noção de rio internacional, ou seja, de rios navegáveis que atravessam ou separam os territórios de dois ou mais Estados, mudou com o reconhecimento do conceito de curso de água internacional e de bacia hidrográfica internacional sem, todavia, existir, quer na teoria quer na prática, um consenso em relação ao alcance de tais expressões. As “Regras de Helsinque” referentes à utilização das águas dos rios internacionais adotadas em 1966 pela Associação de Direito Internacional e revistas em 2004 por meio das “Regras de Berlim” tiveram o objetivo de regulamentar a proteção e uso das águas continentais. Seu papel foi fundamental na formulação da regra da utilização equitativa das águas transfronteiriças, bem como no desenvolvimento de regras de proteção das águas continentais e recursos naturais compartilhados (Silva 2008a), havendo, no contexto de revisão dessas regras, o reconhecimento da integridade ecológica das águas em três dimensões: (1) biológica, (2) química e (3) física, sem dissociá-las das dimensões sociais e econômicas.

A Convenção das Nações Unidas sobre a Utilização dos Cursos de Água Internacionais para Fins Distintos da Navegação de 1997 não adotou os conceitos de rio internacional ou de bacia hidrográfica internacional (McCauley 2001). Adotou, entretanto, o conceito de curso de água internacional como “*um sistema de águas de superfície e de águas subterrâneas que constituem, pelo fato de suas relações físicas, um conjunto unitário e chegam normalmente a um ponto comum*”². Nesta Convenção estabeleceu-se: (1) a utilização e participação equitativas e racionais; (2) a obrigação de não causar danos significativos; (3) a obrigação geral de cooperar, fundada na igualdade soberana, integridade territorial e vantagem mútua; (4) a troca regular de dados e informações sobre a qualidade das águas; e (5) o princípio de igualdade entre todos os usos.

O Tratado de Cooperação Amazônica (TCA) assinado em 3 de julho de 1978 pelas repúblicas de Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Guiana, Peru, Suriname e Venezuela com o objetivo de promover o desenvolvimento harmônico dos respectivos territórios amazônicos e afirmar a soberania nacional sobre os recursos naturais, entrou em vigor a 2 de agosto de 1980. A noção de bacia amazônica abrangeu não apenas a bacia hidrográfica internacional, mas, igualmente, suas eco-regiões (Silva 2008b) e o TCA tratou, em seus dispositivos, da função que as águas do Amazonas e demais rios amazônicos internacionais exercem na comunicação entre os países e da utilização racional dos recursos hídricos, sem, contudo, estabelecer critérios específicos para uma utilização racional. O Protocolo de Emenda ao Tratado de Cooperação Amazônica, adotado em Caracas a 14 de dezembro de 1998 e em vigor a 2 de agosto de 2002, instituiu a Organização do Tratado de Cooperação Amazônica (OTCA), dotada de personalidade jurídica competente para celebrar acordos com as partes contratantes, com Estados não membros e com outras organizações internacionais (Silva 2008c). TCA e OTCA têm como função primordial a produção e a difusão de informações e funcionam como um fórum político internacional. Não tendo uma regra de resolução de disputas ou de delegação para a OTCA, as normas jurídicas domésticas em matéria ambiental têm um papel fundamental na regulamentação dos modos de apropriação e uso dos recursos naturais na região.

Dentre as migrações biológicas nas águas da bacia hidrográfica do Amazonas destacam-se a dos grandes bagres, principalmente a dourada e a piramutaba, cujos estoques são economicamente importantes notadamente para o Brasil, Colômbia e Peru, além da Bolívia e do Equador. Ao longo de sua vida, os bagres migradores percorrem os principais rios de água branca da bacia amazônica, ultrapassando tanto as fronteiras estaduais como as internacionais (Vieira 2005). O atual conhecimento das migrações dessas espécies sugere que elas migram desde o Brasil, ao longo do rio Amazonas – área de criação – até o Alto Solimões em território brasileiro, colom-

² Dois tipos de aquíferos estão excluídos dessa definição, quais sejam: os que não são recarregáveis e os que não estão ligados a um corpo de água.

biano e peruano – área de desova (Ruñno 2000). Embora se possa identificar acordos informais para o período de defeso de certas espécies como o pirarucu na região de fronteira com o Brasil, Colômbia e Peru (Vieira 2005) há, ainda, necessidade de adoção de normas jurídicas para o manejo dos recursos pesqueiros compartilhados, bem como alocação de meios financeiros e humanos para o controle da atividade pesqueira.

Os dispositivos do Tratado de Cooperação Amazônica estabelecem a preservação das espécies na região por meio da promoção da *“pesquisa científica e o intercâmbio de informações e de pessoal técnico entre as entidades competentes dos respectivos países, a fim de ampliar os conhecimentos sobre os recursos (...) da fauna de seus territórios amazônicos, as quais serão matéria de um relatório anual apresentado por cada país”* (art. VII). Ademais, a Comissão de Pesca Continental para a América Latina em sua X Reunião, realizada no Panamá, no período 7-9 de setembro de 2005, recomendou: (a) o reconhecimento pelos governos da América Latina do valor social, econômico e ambiental das pescas continentais; (b) o fortalecimento das capacidades institucionais e locais (comunitárias) para o manejo ecossistêmico das pescas; (c) o fortalecimento da cooperação entre países para o manejo e uso sustentável de bacias compartilhadas; (d) o desenvolvimento de avaliações integradas para otimização da pesca recreativa em bacias compartilhadas; (e) a melhoria na coleta de informação e desenvolvimento de ferramentas para facilitar o manejo das bases de dados; e (f) a criação de áreas de conservação biológica em bacias compartilhadas. Por fim, projetos de infra-estrutura e atividades potencialmente poluentes que coloquem em risco os recursos migratórios devem ser submetidos a estudos prévios de impacto ambiental³.

O conceito de *recurso natural compartilhado* foi introduzido no direito internacional com a Carta dos direitos e deveres econômicos dos Estados que estabeleceu, por um lado, o dever de cooperar na exploração dos recursos naturais compartilhados e, por outro, o princípio da soberania permanente dos Estados sobre os recursos naturais que se encontram em seu território. A natureza, o espaço e as ações humanas sobre este, constituem objetos de profícuos e densos estudos no âmbito das ciências, especialmente das naturais, das humanas e das sociais. A regulação desses espaços e das relações humanas que os transforma são objetos de estudos, reflexões e normatizações jurídicas, aqui centradas no campo do direito.

Ao longo da história, a Amazônia sempre foi palco de paradoxais e, na maioria das vezes, equivocadas visões, conceituações, processos, lutas e disputas pelo, aqui muito certo, controle e apropriação dessas riquezas. É neste sentido, no campo do controle e da apropriação das riquezas, dentre as quais aquilo que se encontra em suas águas ou com elas interagem, que as preocupações sobre a Amazônia tomam o caráter político, considerando-se a totalidade biológica que o espaço amazônico configura e, portanto, formal e juridicamente sujeito a diferentes incidências normativas, tanto no plano interno dos estados nacionais, quanto no âmbito externo, da comunidade internacional de estados soberanos.

Nesse ambiente dos espaços líquidos amazônicos, o estabelecimento de fronteiras físicas para uso dos recursos biológicos transfronteiriços encontra o primeiro obstáculo material na própria natureza da Amazônia, onde a água predomina, domina e determina o universo de relações sociais e políticas (Tocantins 2000). Em primeiro lugar, porque as fronteiras amazônicas envolvem

³ É possível citar o “Complexo Madeira” um conjunto de obras de infra-estrutura envolvendo quatro barramentos, formando um complexo de quatro usinas hidrelétricas e uma malha hidroviária de 4.200 km navegáveis, no âmbito de um futuro programa de integração de infra-estrutura e energia de transportes entre Brasil, Bolívia e Peru, além da linha de transmissão associada ao trecho (D’Almeida 2008). Nem o Peru, nem a Bolívia foram consultados em relação a esse projeto e, apesar dos impactos transfronteiriços negativos, foi expedida a licença ambiental prévia para o “Complexo Madeira”, com 33 condicionantes impostas pelo IBAMA, sendo que, em sua maioria, eles versam sobre as três questões que anteriormente embasaram a negação da mesma licença, a saber: (a) questões relacionadas à sedimentação, (b) questões que indicam a possibilidade de contaminação por mercúrio e (c) questões sobre os efeitos das usinas sobre ictiofauna da região (Silva 2008b).

aquelas relacionadas às diferentes espacialidades estatais e as dos povos indígenas e das populações tradicionais; em segundo, porque os diferentes modos de relação com as águas implicam em diferentes formas e naturezas de regulação. No campo jurídico, o uso dos recursos biológicos transfronteiriços é regulado pela Convenção da Diversidade Biológica, CDB, adotada pelo Brasil e promulgada por meio do Decreto nº 2.519, de 16 de março de 1998. A CDB configura, no plano hierárquico das normas, um tratado internacional que objetiva promover a conservação da diversidade biológica, a utilização sustentável dos seus componentes e a repartição justa e equitativa dos benefícios derivados da utilização dos recursos genéticos, estabelecendo princípios, normas e âmbitos de jurisdição.

Assim, a proteção e a conservação das águas na Amazônia demandam uma visão da bacia hidrográfica em toda sua extensão, bem como da intrínseca relação do ciclo hidrológico das águas, florestas, sócio e biodiversidade no respeito às diferentes visões da água e dos modos de viver e usar. Devem ser consideradas, também, as normas jurídicas dos países da região, bem como as fontes do direito internacional dentre as quais se encontram os tratados internacionais ambientais dos quais os países da região são parte.

FUTURO DOS SISTEMAS HÍDRICOS DA AMAZÔNIA

As águas da Amazônia representam um bem ambiental, econômico e social que demanda amplos estudos em todas as dimensões, que possibilitem intervenções mais seguras, de tal forma a viabilizar seu uso e sua conservação. Além disso, não há como considerar o bioma de forma fragmentada. Há necessidade de ações integradas em todo o sistema, o que demanda um conjunto de entendimentos com outros países e, portanto, intervenções das esferas específicas dos governos desses países. O avanço desses entendimentos dependerá de informações robustas, que permitam acordos de amplo espectro. Sem dúvida, aqui reside um dos principais gargalos: há uma tímida capacidade instalada nas instituições da região, brasileiras e dos demais países amazônicos para produção dessas informações.

Na Amazônia brasileira, há apenas um programa de pós-graduação específico, voltado para a capacitação de pessoal para o estudo da água na região, o de Biologia de Água Doce e Pesca Interior (INPA). Os estudos da água da Amazônia, nas suas mais variadas vertentes, são também realizados no âmbito deste e de outros programas como os de Ecologia (INPA), Recursos Pesqueiros (UFAM) e Clima e Ambiente (INPA-UEA). Estes programas, ainda que com uma ampla demanda, têm sua capacidade limitada pelo número de orientadores disponíveis. Mesmo assim, um bom conjunto de profissionais foi capacitado e atua não só em vários estados brasileiros, mas também nos países vizinhos. A cooperação científica com outros países tem tido papel relevante, como é o caso do quase cinquentenário acordo de cooperação entre o INPA e o Instituto Max-Planck.

A demanda atual por informação envolve, além dos estudos básicos de dinâmica ambiental, os de modelagem avançada. Estes estudos devem subsidiar a tomada de decisões acerca das novas hidrelétricas planejadas para a Amazônia, das atividades de mineração, incluindo petróleo, da abertura de novas estradas, do manejo de espécies aquáticas de importância comercial e do uso dos cursos de água para transporte e comunicação. Além disso, é vital a utilização de tecnologias modernas para o desenvolvimento de novos produtos e processos, com base na diversidade biológica e na química dos ambientes aquáticos da Amazônia. Testes iniciais revelaram a existência de milhares de compostos orgânicos dissolvidos apenas nas águas do rio Negro, que precisam ser analisados quanto às suas origens e propriedades orgânicas. A expansão desses estudos para outras tipologias aquáticas da Amazônia é necessária.

Portanto, o homem da região precisa estar no centro dos estudos dos ambientes aquáticos da Amazônia. Apenas na Amazônia brasileira são cerca de 25 milhões de pessoas que têm na água as bases de comando de suas vidas, de suas interações com o ambiente, na obtenção de seus alimentos diários, no ir e vir. Então, o homem da Amazônia é parte central dos ambientes aquáticos dessa vasta região.

REFERÊNCIAS CITADAS

- Bevilacqua, A.H.V. 2009. O uso do Modelo do Ligante Biótico (BLM) para avaliação da contaminação por cobre em águas da Amazônia, p. 32. In: *Biologia de Água Doce e Pesca Interior*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.
- Cabral Jr, W. & Almeida, O.T. 2006. Avaliação do mercado da indústria pesqueira na Amazônia. In: Almeida, O.T. (ed.) *A indústria pesqueira na Amazônia*. Ibama/Provarzea, Manaus. p. 17-39.
- Correia, F.W.S., Alvalá, R.C.S. & Manzi, A.O. 2006. Impacto das modificações da cobertura vegetal no balanço de água na Amazônia: um estudo com Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA). *Revista Brasileira de Meteorologia* 21: 153-167.
- D'Almeida, V., Vörösmarty, C.J., Hurtt, G.C., Marengo, S.L., Dingmanb, S.L. & Keine, B.D. 2007. The effects of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia: a review on scale and resolution. *International Journal of Climatology* 27: 633-647.
- Eva, H.D. & Huber, O. 2005. Proposta para definição dos limites geográficos da Amazônia: síntese dos resultados de um seminário de consulta a peritos organizado pela Comissão Européia em colaboração com a Organização do Tratado de Cooperação Amazônica, CCP ISpra 7-8 de junho de 2005. European Commission, OTCA a. e. http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/lead-min/Documentation/Reports/Global_Vegetation_Monitoring/EUR_2005/eur21808_bz.pdf (ed.).
- Fearnside, P.M. 1988. Jari at age 19: lessons from Brasil's silvicultural plans at Carajás. *Interciencia* 13: 12-24.
- Fearnside, P.M. 1999. Social impacts of Brazil's Tucuruí dam. *Environmental Management* 24: 485-495.
- Fearnside, P.M. 2001. Environmental impacts of Brazil's Tucuruí dam: unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environmental Management* 27: 377-396.
- Fearnside, P.M. 2004. A água de São Paulo e a floresta amazônica. *Ciência Hoje* 34: 63-65.
- Fearnside, P.M. & Rankin, J.M. 1985. Jari revisited: changes and the outlook for sustainability in Amazonia's largest silvicultural estate. *Interciencia* 10: 121-129.
- Furch, K. 1984. Water chemistry of the Amazon basin: the distribution of chemical elements among fresh waters. In: Sioli, H. (ed.) *The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Junk Publishers, Dordrecht. p. 167-200.
- Furch, K. 2000. Chemistry and bioelement inventory of contrasting Amazonian forest soils. In: Junk, W.J., Ohly, J., Piedade, M.T.F. & Soares, M.G.M. (eds) *The Central Amazonian floodplain ecosystems: actual use and options for sustainable management*. Backhuys Publishers, Leiden. p. 109-126.
- IBGE. 2007. IBGE participa do mapeamento da verdadeira nascente do rio Amazonas 15 de junho de 2007. http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_impressao.php?id_noticia=908: acesso em 27 de fevereiro de 2009.

- Junk, W.J. 1997. *The Central Amazon Floodplain: ecology of a pulsating system*. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Junk, W.J. 2000. Neotropical floodplains: a continental-wide view. In: Junk, W.J., Ohly, J., Piedade, M.T.F. & Soares, M.G.M. (eds) *The Central Amazonian floodplain ecosystems: actual use and options for sustainable management*. Backhuys Publishers, Leiden. p. 5-24.
- Junk, W.J., Piedade, M.T.F., Parolin, P., Wittmann, F. & Schöngart, J. 2009. Ecophysiology, biodiversity and sustainable management of Central Amazonian floodplain forests: a synthesis. In: Junk, W.J., Piedade, M.T.F., Parolin, P., Wittmann, F. & Schöngart, J. (eds) *Central Amazonian floodplain forests: ecophysiology, biodiversity and sustainable management*. Springer Verlag, Berlin.
- Kemenes, A., Forsberg, B.R. & Melack, J.M. 2007. Methane release below a tropical hydroelectric dam. *Geophysical Research Letters* 34: 1-5.
- Lara, L.B.L.S., Fernandes, E.A.N., Oliveira, H., Bacchi, M.A. & Ferraz, E.S.B. 1997. Amazon estuary: assessment of trace elements in seabed sediments. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 216: 279-284.
- Leino, T. & Lodenius, M. 1995. Human hair mercury levels in Tucuruí area, state of Pará, Brasil. *The Science of the Total Environment*, 175: 119-125.
- Marengo, J.A. 2006. On the hydrological cycle of the Amazon basin: a historical review and current state-of-the-art. *Revista Brasileira de Meteorologia* 21: 1-19.
- Marengo, J.A., Soares, W.R., Saulo, C. & Nicolini, M. 2004. Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalyses: characteristics and temporal variability. *Journal of Climate* 17: 2261-2280.
- McCauley, S. 2001. The contribution of the UN Convention on the law of the non-navigational uses of international watercourses. *International Journal of Global Environmental Issues* 1: 250-263.
- Mello, T. 2002. *Amazonas: Pátria das Águas*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.
- Piedade, M.T.F., Junk, W.J. & Mello, J.A.N. 1992. A floodplain grassland of the central Amazon, In: Long, S.P., Jones, M.B. & Roberts M.J. (eds) *Primary productivity of grass ecosystems of tropics and sub-tropics*. Chapman & Hall, London. p. 127-158.
- Richey, J.E., Melack, J.M., Aufdenkampe, A.K., Ballester, V.M. & Hess, L.L. 2002. Outgassing from Amazonian rivers and wetland as a large tropical source of atmospheric CO₂. *Nature* 416: 617-620.
- Roulet, M., Lucotte, M., Rheault, I., Tran, S., Farella, N., Canuel, R., Mergler, D. & Amorim, M. 1996. Mercury in Amazonian soils: accumulation and release. In: Bottrell, S.H. (ed.) *Proceedings of the Fourth International Symposium on the Geochemistry of the Earth's Surface*. Ilkely, UK. p. 453-457.
- Ruano, M. 2000. Perspectivas do manejo dos bagres migradores na Amazônia. In: *Recursos pesqueiros do Médio Amazonas: biologia e estatística pesqueira*. Coleção Meio Ambiente. Série Estudos Pesca. IBAMA, Brasília, DF. p. 141-152.
- Salati, E. 2001. Mudanças climáticas e o ciclo hidrológico na Amazônia, In: *Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia*. Fleischesser, V. (ed.) Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF. p. 153-172.
- Schöngart, J., & Junk, W.J. 2007. Forecasting the flood-pulse in Central Amazonia by ENSO-indices. *Journal of Hydrology* 335: 124-132.

- Silva-Forsberg, M.C., Forsberg, B.R. & Zeidemann, V.K. 1999. Mercury contamination in humans linked to river chemistry in the Amazon basin. *Ambio* 28: 519-521.
- Silva, S.T. 2008a. Proteção internacional das águas continentais: a caminho de uma gestão solidária das águas. In: XVI CONPEDI, Pensar Globalmente: Agir Localmente. Vol. 16. Fundação Boiteux, Florianópolis. p. 957-973.
- Silva, S.T. 2008b. Tratado de Cooperação Amazônica: estratégia regional de gestão dos recursos naturais. *Revista de Direito Ambiental* 52.
- Silva, S.T. 2008c. Direitos dos povos indígenas e direitos à água na América Latina: da proteção internacional. In: *Pueblos Indígenas, Desarrollo y Participación Democrática*. Colaço, T. & Costa, J.A.F. (eds) Boiteux, Florianópolis. p. 45-59.
- Sioli, H. 1975. Tropical rivers as expressions of their terrestrial environments. In: Golley, F.B. & Medina, E. (eds) *Tropical ecological systems: trends in terrestrial and aquatic research*. Springer Verlag, Berlin. p. 275-288.
- Sioli, H. 1984. The Amazon and its main afluents: hydrogeography, morphology of the river courses and river types. In: Sioli, H. (ed.) *The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht. p. 127-165.
- Subramaniam, A., Yeager, P.L., Carpenter, E.J., Mahoney, C., Björkman, K., Cooley, S., Kustka, A.B., Montoya, J.P., Sañudo-Wilhelmy, S.A., Shipe, R. & Capone, D.G. 2008. Amazon river enhances diazotrophy and carbon sequestration in the tropical North Atlantic Ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105: 10460-10465.
- Tadei, W.P., Mascarenhas, B.M. & Podestá, M.G. 1983. Biologia de anofelinos amazônicos, 8: conhecimentos sobre a distribuição de espécies de *Anopheles* na região de Tucuruí-Marabá (Pará). *Acta Amazonica* 13: 103-140.
- Tadei, W.P., Scarpassa, V.M. & Rodrigues, I.B. 1991. Evolução das populações de *Anopheles* e de *Mansonia* na área de influência da Usina Hidrelétrica de Tucuruí (Pará). *Ciência e Cultura* 43: 639-640.
- Tocantins, L. 2000. O rio comanda a vida. Valer, Manaus.
- Val, A.L. & Almeida-Val, V.M.F. 1995. *Fishes of the Amazon and their environments: physiological and biochemical features*. Springer Verlag, Heidelberg.
- Val, A.L., Almeida-Val, V.M.F. & Chippari-Gomes, A.R. 2003. Hypoxia and petroleum: extreme challenges for fish of the Amazon. In: Rupp, G. & White, M.D. (eds) *Fish physiology, toxicology, and water quality*. EPA, USA, Proceedings of the Seventh International Symposium, Tallin, Estonia. Vol. 1. p. 227-241.
- Val, A.L., Almeida-Val, V.M.F. & Randall, D.J. 2006. Tropical environment. In: *The physiology of tropical fishes*. Val, A.L., Almeida-Val, V.M.F. & Randall, D.J. (eds) Elsevier, London. Vol. 21. p. 1-45.
- Vieira, E. 2005. Legislação e plano de manejo para a pesca de bagres na bacia Amazônica, p. 69-74. In: Fabrício, N.N. & Barthelm, R.B. (eds) *O manejo da pesca dos grandes bagres migradores: piramutaba e dourada no eixo Solimões-Amazonas*. Ibama, ProVárzea, Manaus.
- Worbes, M. 1997. The forest ecosystem of the floodplains. In: Junk, W.J. (ed.) *The Central Amazon floodplain: ecology of a pulsating system*. Ecological Studies 126. Springer Verlag, Berlin. p. 223-265.

7

URBANIZAÇÃO E RECURSOS HÍDRICOS

URBANIZAÇÃO E RECURSOS HÍDRICOS

Carlos E. M. Tucci¹

RESUMO

O mundo está se tornando urbano como resultado do desenvolvimento econômico e a distribuição do trabalho. Em países em desenvolvimento a população está estabilizada e a população urbana já é grande, mas em países em desenvolvimento a população urbana está aumentando e em 2050 a população mundial será de 9 bilhões e a maioria do crescimento ocorrerá nas cidades. A urbanização aumenta a competição pelos mesmos recursos naturais (ar, água e terra) num pequeno espaço para todas as necessidades humanas de vida, produção e recreação. O meio ambiente é formado pelo espaço natural e população é um ser vivo e dinâmico com efeitos inter-relacionados, que se não for controlado pode levar a cidade ao caos. No ambiente urbano a força modificadora é a urbanização. A infra-estrutura de água geralmente inclui água e saneamento. Usualmente saneamento se refere apenas a coleta e tratamento de efluentes domésticos e industriais, mas não incluem drenagem e resíduos sólidos. Os serviços de Águas Urbanas disponibilizados pela cidade devem incluir: abastecimento de água, esgotamento e tratamento de esgoto, drenagem e resíduos sólidos. Eles são componentes de um ambiente urbano sustentável que inclui a conservação ambiental, saúde e aspectos sócios econômicos do desenvolvimento urbano. Os principais problemas relacionados com a cidade e estes elementos têm sido gerenciados de forma fragmentada. O plano diretor urbano geralmente não considera todas as infra-estruturas como as águas urbanas. A gestão das águas urbanas também é fragmentada já que não existe uma integração entre os serviços ou uma empresa gerenciando o conjunto destes serviços. Os resultados são pobres e não há indicação de eficiência. Este artigo apresenta uma visão de conjunto dos principais aspectos relacionados com o desenvolvimento das águas urbanas e sua sustentabilidade. Baseado nos problemas encontrados é apresentado as diretrizes da Gestão integrada das Águas Urbanas e os elementos para planejar este serviço visando obter as metas principais que são a melhoria de qualidade de vida e um ambiente protegido.

Palavras - chaves: urbano/água/gerenciamento/sustentabilidade

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tucci@iph.ufrgs.br

ABSTRACT

The world is becoming increasingly urban as result of economic development and jobs distribution. In developed countries the population is stabilized and urban population is already large, but in developing countries the population is still growing and in 2050 the world population will be about 9 billion and most of its grow will be in the cities. Urbanization increases the competition for the same natural resources (air, land and water) in a small space for human needs on living, production and amenities. The environment formed by natural space and by the population (socio-economic and urban) is a living and dynamic being that generates a set of interconnected effects, which if not controlled, can lead the city to a chaos. In the urban environment the driving force is the urbanization. Urban water infra-structure generally includes both water supply & sanitation facilities (WSS). Usually Sanitation refers to domestic and industrial sewage collecting and treatment. Usually it does not include urban stormwater or solid waste management systems. *Urban water related facilities* provided by the cities include water supply, sanitation, stormwater and solid waste. They are components of a sustainable urban environment which includes the environment conservation, health and economic social aspects of the urban development. The main problem related to the city and its elements has been the fragment way as the management is developed. The urban master plan usually does not take into account all the infra-structures such as urban waters. Urban water facilities are also fragmented, since usually there are not services covering all aspects by one institution or integrated. The outputs are poor and there are not indicators of efficiency. This paper presents an overview of the main issues related to urban water development and sustainability. Based on these issues is presented the frameworks of the Integrated Urban Water Management (IUWM) and the elements for planning the services in order to obtain the main goals of urban waters which is quality of live and environment protection.

Key words: /urban/water/management/sustainability

POPULAÇÃO E URBANIZAÇÃO

A urbanização é um processo de desenvolvimento econômico e social resultado da transformação de uma economia rural para uma economia de serviços concentrada em áreas urbanas. Este processo foi marcante no século XX. Em 1900, 13 % da população global eram urbanas. Em 2007, a população urbana era 49,4 %, ocupando apenas 2,8 % do território global (tab. 1). Em 2050, estima-se em 69,6 % (tab. 1) a população urbana mundial, sendo que todo o acréscimo de 6 para 9 bilhões de pessoas será para as áreas urbanas, acrescido de parte da população rural que deve se mover para as áreas urbanas (UM 2009).

O mundo está se tornando urbano como resultado do desenvolvimento econômico e do aumento do emprego das cidades. Os países desenvolvidos não mostram mais crescimento populacional, apenas crescimento baseado na imigração, enquanto que todo o aumento será em países agrícolas e mais pobres. Observa-se, neste processo, que a urbanização é inibidora do crescimento populacional, pois a medida que a população urbana cresce, a taxa de natalidade diminui. Geralmente, a população se estabiliza quando atinge 2,1 filhos por casal, reduzindo ao longo das gerações, quando cai abaixo deste fator. Na Figura 1, pode-se observar a redução do crescimento populacional com a urbanização em países da América do Sul e Central.

O Brasil cresceu de 90 para 190 milhões desde 1970 e a população urbana passou de 55 para 83 %. Isto significa que 158 milhões de pessoas vivem nas cidades, ocupando 0,25 % do território brasileiro.

Tabela 1. Distribuição da população Mundial (UM 2009).

Região	% urbano		
	2007	2025	2050
Mundo	49,4	57,2	69,6
Regiões mais desenvolvidas ^a	74,4	79,0	86,0
Regiões menos desenvolvidas ^b	43,8	53,2	67,0
Países poucos desenvolvidos ^c	27,9	38,1	55,5
Outros países menos desenvolvidos ^d	46,5	56,4	70,3
Menos desenvolvidos, excluindo China e	44,1	52,1	65,7
África sub-Sahara ^e	35,9	45,2	60,5

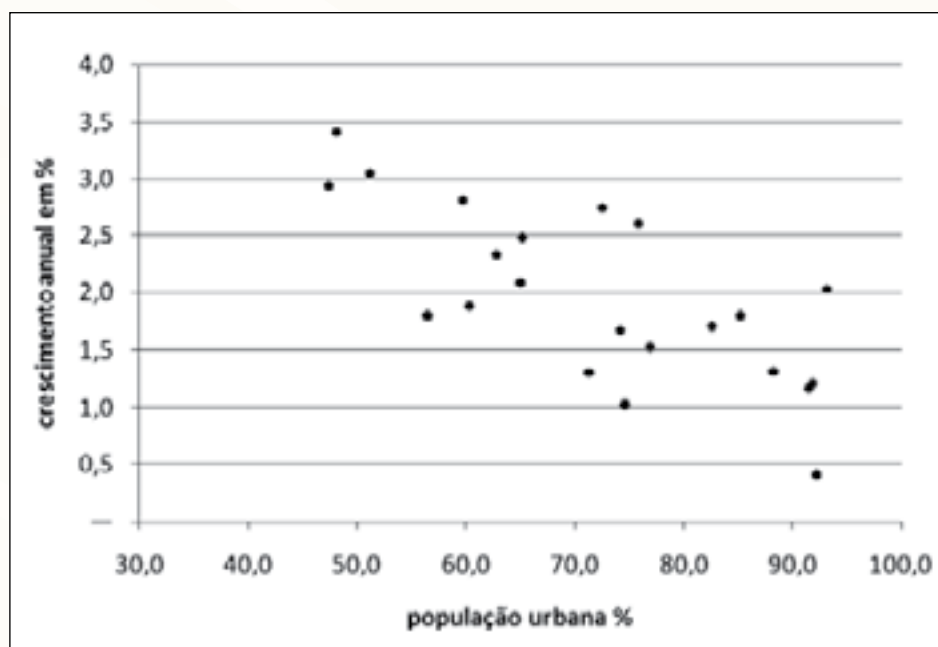
a. Europa, América do Norte, Austrália, Nova Zelândia e Japão.

b. África, Ásia (excluindo Japão), América Latina e Caribe.

c. 34 países da África, 10 da Ásia, 5 da Oceania e 1 da América Latina e do Caribe.

d. Países menos desenvolvidos, excluindo os poucos desenvolvidos.

e. Todos da África exceção aos do Norte da África e do Sudão.

**Figura 1. Crescimento populacional e população urbana.**

PROCESSOS DE URBANIZAÇÃO

A urbanização aumenta o desenvolvimento econômico numa economia agrícola para industrial e de serviços. Grandes aglomerados urbanos se formaram. Existem, atualmente, 388 cidades no mundo com mais de 1 milhão de habitantes e 16 acima de 10 milhões, sendo que em 2010 estão previstas 60 cidades com população acima de 5 milhões (Mcgranahan & Marcotulio 2005). Existe uma forte correlação entre a densidade da população e a economia, que explica as áreas urbanas como centro de produção, compra e venda, empresas e trabalhadores. O PIB de um país aumenta com o aumento dos grandes centros. Países com alta renda possuem 52 % de sua população em grandes cidades (> 1 milhão) e países de baixa renda apenas 11 %. O Brasil possui 27 % da sua população em cidades com mais de 500 mil habitantes.

O crescimento urbano no Brasil tem ocorrido, principalmente, em regiões metropolitanas (RM) e em cidades que são pólos regionais. As regiões metropolitanas possuem um núcleo principal (cidade primária) com várias cidades vizinhas (cidades secundárias, fig. 2). O crescimento do núcleo tende a ser reduzido com o tempo, enquanto que a periferia cresce de forma acelerada. No Brasil, as cidades com mais de 1 milhão de habitantes cresce à taxa de 0,9 % ao ano, enquanto que cidades centros regionais (100 a 500 mil habitantes) crescem à taxa de 4,8 % (IBGE 1998). Em nível global, as cidades com > 500 mil habitantes representam 46 % da população total. As cidades secundárias e vilas são a interconexão das áreas urbanas e as rurais.

A urbanização no Brasil, bem como em muitos países em desenvolvimento, vem ocorrendo de forma espontânea, apesar existência do Plano Diretor Urbano. O que se observa é uma parte da cidade construída e dirigida, na maioria, dentro de normas e padrões ditados pelos Planos Diretores, chamada aqui de cidade “legal”; e a parte da cidade que se expandiu de forma ilegal pela população pobre na forma de “favelas”, ou seja, áreas geralmente públicas invadidas e loteadas de forma aleatória, sem infra-estrutura e com arruamento desordenado, quando existe.



Figura 2. Áreas Metropolitanas (WDR 2009).

A Figura 3 mostra como as favelas crescem junto com o crescimento da população e como diminui à medida que o país se torna mais urbano. Na medida em que se urbaniza, o país tende a se tornar mais rico. Delhi, na Índia, possui 1.160 grupos de favelas num total de população de 15,6 milhões (WDR 2009).

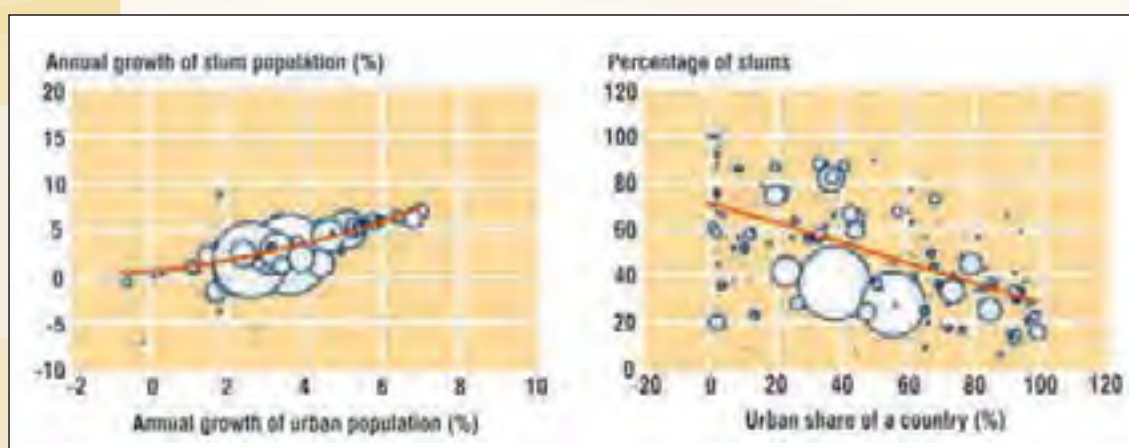


Figura 3. Crescimento das favelas com a urbanização e sua queda com o seu nível (Kilroy 2008 em WDR 2009).

Os principais problemas relacionados com a infra-estrutura e urbanização em países em desenvolvimento são:

- *Grande número de pessoas em pequeno espaço* com inadequados transportes públicos, água e saneamento, poluição do ar e inundações. Este ambiente inadequado reduz as condições de saúde e a qualidade de vida da população, aumentando os impactos no meio ambiente.
- *Aumento dos limites da cidade de forma não-controlada devido à migração rural na busca de emprego.* Por exemplo, Manaus em 2004 recebeu ao redor de 40 mil migrantes em 2004, atraídos por emprego. Esta ocupação ocorreu nas áreas de mananciais, contaminando esta fonte de abastecimento de água. Nesta vizinhança, geralmente existe falta de segurança, infra-estrutura e há domínio por grupos criminosos relacionados com o tráfico de drogas.
- *Urbanização é espontânea e o planejamento urbano é realizado para a parcela da população com renda média.* As favelas se desenvolvem de maneira informal, pela invasão de áreas públicas por população pobre ou organizada por especuladores para este tipo de população. Parte das áreas invadidas é de risco de inundação ou de escorregamento.
- *O Planejamento Urbano é realizado para a cidade formal, enquanto que a cidade informal é desenvolvida sem controle, em áreas públicas próximas da disponibilidade de serviço para população de baixa renda.*
- *Limitada capacidade institucional* das cidades quanto à legislação, à aplicação da lei, à manutenção e ao suporte técnico-econômico.
- *Falta de gestão integrada das águas urbanas:* a gestão da infra-estrutura de água é realizada de forma totalmente fragmentada, resultando em serviços de baixa qualidade, quando existem.

USOS E IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NOS RECURSOS HÍDRICOS

Visão geral

O desenvolvimento urbano é um processo geográfico, desde que, em muitas cidades, o desenvolvimento ocorre de jusante para montante na bacia e da costa para o interior nas cidades costeiras.

A água é suprida de fontes existentes à montante ou em bacias vizinhas ou, ainda, da água subterrânea (ou combinações destas). Após o uso da água pela população, a mesma retorna para os rios sem tratamento ou pelo extravasamento das fossas. Desta forma, o esgoto polui os rios, que não podem ser usados como fonte de abastecimento. O abastecimento procura utilizar água de fontes sem contaminação, jogando água poluída para jusante. Como o desenvolvimento ocorre para montante, com o tempo, as fontes existentes são contaminadas pelos novos desenvolvimentos, além de competir com a agricultura pelo uso da água. Quando a cidade não tem capacidade de suprir a população, esta procura por seus próprios meios obter água perfurando poços ou comprando água (aumentando de forma exponencial o custo da água). A população pobre tende a perfurar poços rasos, já contaminados pelo esgoto enquanto que a população de maior renda perfura poços profundos, mais seguros, mas que podem produzir rebaixamento dos níveis do terreno pelo esgotamento da água. Em regiões costeiras, isto pode produzir intrusão salina.

A urbanização também aumenta as áreas impermeáveis e a canalização, o que aumenta os picos de cheia e sua frequência para a mesma precipitação. A urbanização também aumenta a velocidade da água e a produção de sedimentos e dos resíduos sólidos que escoam para a drenagem. Devido à falta de serviços de limpeza e manutenção, estes sólidos produzem redução da capacidade de escoamento e aumentam a poluição devido, também, à lavagem das impurezas das superfícies urbanas (grande quantidade de metais).

Bombeando água subterrânea junto com a redução de infiltração pelas áreas impermeáveis, pode provocar rebaixamento dos níveis de terreno, piorando as condições de cheias em áreas baixas, além do próprio efeito da maré em cidades costeiras.

Em resumo, águas urbanas em países em desenvolvimento estão numa espécie de ciclo de contaminação e seus principais problemas são os seguintes (Fig. 4):

Contaminação das fontes de abastecimento (rios e águas subterrâneas) pelo desenvolvimento urbano e despejo de efluentes sem tratamento nos rios que escoam para estas fontes.

Falta de tratamento de esgoto: grande parte das cidades não possui coleta ou tratamento de esgoto. O esgoto é despejado nos rios sem tratamento, poluindo rios urbanos e destruindo o meio ambiente.

- *A urbanização aumenta as áreas impermeáveis*, produzindo aumento das cheias e diminuição da infiltração para os aquíferos. Áreas impermeáveis e canalização dos rios urbanos aumentam cerca de sete vezes as cheias, a produção de sedimentos e a qualidade da água pluvial.
- *Ocupação das áreas de risco* como, por exemplo, as de inundação e as de escorregamento de encostas.
- Contaminação dos rios provenientes da água pluvial urbana e da agricultura.
- Retirada da água subterrânea junto com a redução da infiltração produz o rebaixamento do solo e aumenta as inundações em áreas baixas.
- A falta de serviços em resíduos sólidos diminui a capacidade dos rios devido à sua sedimentação, com aumento das inundações.

A combinação de todos estes fatores mantém a área urbana em risco. Considerando que a área urbana é o motor econômico do país, esta condição insustentável pode levar a um risco importante para o desenvolvimento do país.

Principais riscos

A fonte principal dos problemas é o desenvolvimento urbano sem controle. Os principais riscos são:

- *Saúde da população*: alguns dos riscos são: (a) falta de tratamento de efluente e serviços de coleta e a disposição de resíduos sólidos produz uma fonte de contaminação interna na cidade que ajuda a propagar doenças ou epidemias; (b) contaminação das fontes de água como reservatórios por nutrientes, permitindo o desenvolvimento de algas e a toxidade no abastecimento; e (c) doenças que se propagam por falta de higiene e por meio da água, como dengue, leptospirose, diarreia, hepatite e cólera, entre outras.

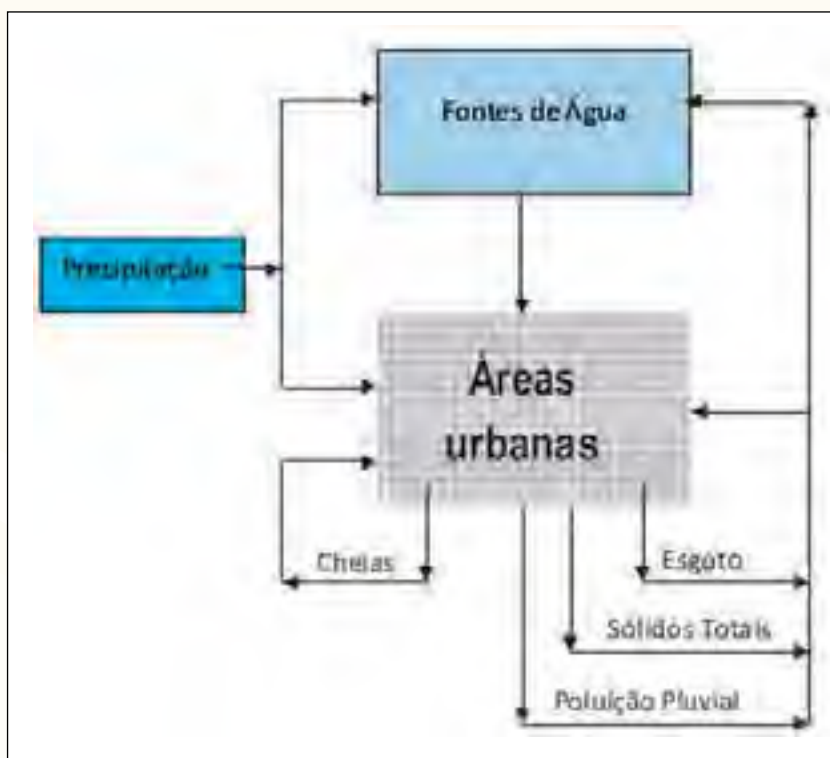


Figura 4. Ciclo de contaminação urbana em países em desenvolvimento.

Inundações: aumento do risco e frequência de ocorrência das cheias, vulnerabilidade econômica e social da população.

Deterioração do meio ambiente: áreas degradadas por erosão, meio ambiente dos rios e áreas costeiras, diminuindo a capacidade de recuperação destes ambientes devido as altas cargas poluentes.

Redução da água segura: a falta de água segura leva a população a buscar alternativas que são sempre muito mais caras. O preço internacional de 1 m³ de água é de US \$ 1,00 a 3,00. No Brasil, 20 litros vendidos para as residências custam da ordem de US\$ 200,00 to 300 m³.

Geral: aumentando a vulnerabilidade da população, a redução da resistência depende da forma como o desenvolvimento urbano ocorre.

GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS URBANAS

Estrutura da gestão da cidade

A estrutura da Gestão de Águas Pluviais se baseia nos seguintes grupos de componentes (Fig. 5):

Planejamento urbano: disciplina no uso do solo da cidade com base nas necessidades de seus componentes de infra-estrutura.

Serviços de águas urbanas: abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos e drenagem urbana.

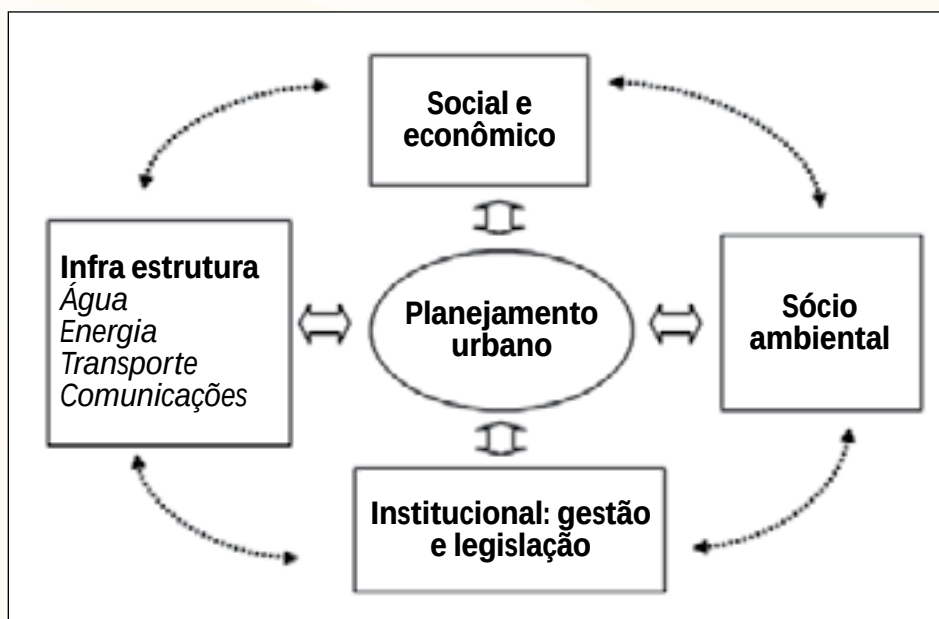


Figura 5. Estrutura da gestão integrada.

- Metas dos serviços: conservação do meio ambiente urbano e qualidade de vida, nas quais estão incluídas a redução de cheias e a eliminação de doenças de veiculação hídrica.
- Institucional: baseia-se no gerenciamento dos serviços, na legislação, na capacitação e no monitoramento de forma geral.

A gestão da cidade relacionada com a infra-estrutura da água envolve: (a) uso do solo (agente externo ao sistema de águas); (b) serviços da cidade (abastecimento, esgoto, drenagem e resíduos sólidos); e (c) metas (meio ambiente: conservação do ambiente urbano e saúde da população) (Fig. 6).

Os serviços

Os serviços da cidade prevista na Política Nacional de Saneamento são os seguintes:

- Abastecimento de água: envolve a entrega de água segura para a população e envolve os seguintes componentes: conservação dos mananciais, regularização, adução, tratamento da água e distribuição.
- Esgoto sanitário: coleta do esgoto, tratamento e disposição do esgoto no sistema hídrico.
- Drenagem urbana: sistema de coleta da água pluvial, transporte e disposição no sistema hídrico.
- Resíduos sólidos: coleta de resíduos, limpeza das ruas e disposição dos resíduos.

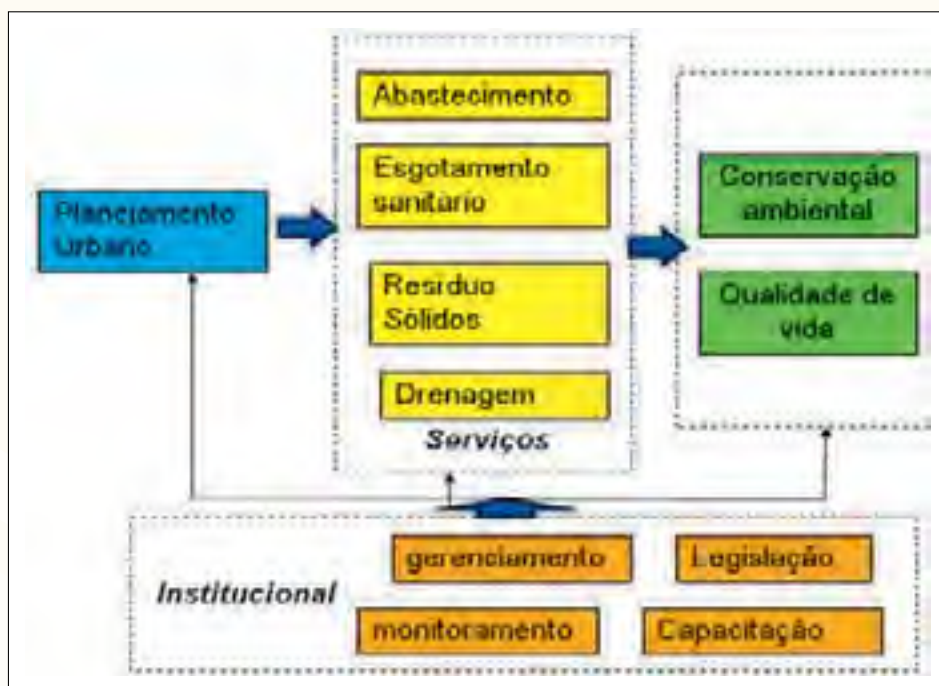


Figura 6. Estrutura dos componentes da Gestão Integrada Urbana.

Na Figura 6, são caracterizadas as principais relações entre os sistemas de infra-estrutura no ambiente urbano relacionado com a água. O desenvolvimento urbano representado pela ocupação do uso do solo é o principal fator de impacto.

A seguir, serão discutidas as interações geradas entre os sistemas hídricos nas áreas urbanas em função de uma gestão deiciente e desintegrada, que são:

- **Abastecimento urbano:** as principais interfaces com os outros sistemas são: (a) os esgotos sanitário e pluvial contaminam os mananciais superficiais e subterrâneos; (b) o depósito de resíduos sólidos como aterros que podem contaminar as áreas de mananciais; e (c) as inundações podem deixar sem funcionamento o sistema de abastecimento e destruir a infra-estrutura das redes pluvial e sanitária, além da Estação de Tratamento de Esgoto.
- **Esgoto sanitário e drenagem urbana:** as principais inter-relações são: (a) quando o sistema é misto, o sistema de transporte é o mesmo, com comportamento diverso nos períodos sem e com chuva e a gestão deve ser integrada; e (b) quando o sistema é separador, existem interferências de gestão e construtivas devido à ligação de esgoto sanitário na rede de drenagem e águas pluviais no sistema de esgoto produzindo ineficiências de funcionamento.
- **Drenagem urbana, resíduo sólido e esgotamento sanitário:** (a) na medida em que o sistema de coleta e limpeza dos resíduos é ineficiente, ocorre um grande prejuízo para o sistema de escoamento pluvial devido à obstrução dos condutos, canais e riachos urbano; e (b) a erosão urbana modifica o sistema de drenagem e pode destruir o sistema de esgotamento sanitário.

Estes serviços têm como objetivo a qualidade de vida (saúde e segurança quanto a eventos de cheia) da população e o meio ambiente. Para atingir estes objetivos é necessário estabelecer uma capacidade institucional que garanta estes serviços, atingindo as metas esperadas. Esta capacidade depende de: (a) Gestão: as instituições que desenvolve os serviços e os controles dos mesmos; (b) Legislação: mecanismos legais que garantam os serviços, atingindo as metas previstas; (c) Programas de suporte: são programas que apóiam a gestão e a implementação da legislação como o monitoramento, capacitação, e avaliação dos indicadores das metas.

Integração

A gestão integrada (Fig. 7) trata de desenvolver os diferentes componentes da gestão urbana, iniciando pelo planejamento do espaço urbano. A visão integrada inicia no planejamento do desmembramento e na ocupação do espaço na fase do loteamento, quando o projeto deve procurar preservar o ravinamento natural existente. Ao contrário do que se projeta atualmente, apenas com base na maximização da exploração do espaço independente da rede de drenagem natural, o projeto sustentável preserva o sistema natural e distribui a ocupação em lotes menores, conservando maior área verde comum, retirando o meio-fio das ruas de menor movimento e integrando o asfalto a gramados ou outros sistemas naturais vegetais, para que toda a água infiltrasse.



Figura 7. Visão integrada (Tucci 2005).

No âmbito de esgotamento sanitário, deve-se desenvolver a ligação da rede de esgoto com padrão adequado e executado através da gestão da empresa de serviços de água e saneamento. Desta forma, são evitadas ligações inadequadas, tratamento de esgoto com padrões adequados e avaliação deste tratamento e dos sistemas hídricos que recebem este efluente. Quanto aos resíduos sólidos, deve-se buscar aprimorar a coleta domiciliar e a limpeza das ruas, a disposição automática de retenção de lixo e a educação da população com sistemas de reciclagem economicamente eficientes.

Portanto, é necessário desenvolver estratégias dentro das seguintes plataformas principais: (a) *para novos desenvolvimentos* buscar utilizar os princípios de desenvolvimento sustentável, que se baseiam na ocupação sustentável do espaço, na eliminação da poluição dos efluentes e na redução de resíduos, com minimização do uso de energia e transporte eficiente. Este processo pode ser desenvolvido, em parte, com regulação (*command-control*) e parte por incentivos econômicos para empreendimentos como certificação ambiental; e (b) *para a cidade existente* as medidas corretivas devem buscar atuar sobre a bacia hidrográfica urbana, de forma integrada, evitando transferência de impactos. Este planejamento deve ser realizado dentro de todos os componentes dos serviços.

PLANO DO SANEAMENTO AMBIENTAL DOS MUNICÍPIOS

Características

A atuação preventiva no desenvolvimento urbano reduz o custo da solução dos problemas relacionados com a água. Planejando a cidade com áreas de ocupação e controle da fonte da drenagem, a distribuição do espaço de risco e o desenvolvimento dos sistemas de abastecimento e esgotamento, os custos serão muito menores do que quando ocorrem as crises, onde o remédio passa a ter custos inviáveis para a cidade.

A Figura 8 e a tabela 2 caracterizam, de forma bastante ampla, os componentes do Plano de Saneamento Ambiental. *O grande desafio é desenvolver a integração destes elementos. A melhor forma de obter esta integração é definir, claramente, as metas que devem ser atingidas para cidade e os meios que devem ser desenvolvidos para atingir estas metas. Com base nestes elementos, aparecem as interfaces destes componentes de planejamento.*

Os objetivos gerais e específicos são apresentados na tabela 3 e as relações causas-efeito-plano, na tabela 4. As metas são definidas por meio de indicadores objetivos de cada serviço, que podem ser estabelecidos pelo Plano Nacional de Saneamento Ambiental. Estes indicadores devem ser em número reduzido e buscar a eficiência e conservação dos recursos hídricos. Enquanto a ocupação urbana tem como principal indicador a densidade habitacional, que se relaciona diretamente com o abastecimento de água, o esgoto e o resíduo relacionam-se com a população, enquanto seja possível estabelecer a relação da densidade habitacional com a área impermeável, fator este que influencia as inundações ou a capacidade do sistema de drenagem urbana. Da mesma forma, a área impermeável é um fator de definição dos impactos ambientais.

Tabela 2 Características do conteúdo dos planos na cidade.

Sistema	Ação	Finalidade	Entidade
Desenvolvimento urbano	Plano Diretor de Uso do Solo	Regular a ocupação da cidade	Município ou DF
Abastecimento de água	Plano de Abastecimento de Água	Ampliar o atendimento de água até a sua cobertura total	Município ou Estado
Esgoto sanitário	Plano de Esgoto Sanitário	Construir redes de coleta de esgoto e estações de tratamento para melhoria da qualidade da água e redução das doenças	Município ou Estado
Drenagem urbana e erosão	Plano Diretor de Drenagem Urbana ou de Águas Pluviais	Regular o aumento da vazão das propriedades e erosão gerada; controlar o impacto das áreas degradadas e com inundações.	Município
Resíduo sólido	Plano de Resíduo Sólido	Sistema de coleta domiciliar, limpeza de ruas e disposição final dos resíduos.	Município
Meio Ambiente	Plano Ambiental	Recuperação de áreas degradadas, conservação e planejamento dos espaços	Município

Além dos indicadores de impactos e projeto, é necessário identificar indicadores de metas de serviços para os objetivos do Plano.

Plano de Ação

O desenvolvimento do Plano de Saneamento Ambiental depende de um Plano de Ação das atividades previstas dentro do mesmo. Na Figura 9, é apresentada uma sugestão da estrutura de atividades do Plano de Ação, distribuídos em curto, médio e longo prazo (com tempos a serem definidos de acordo com a situação).

Curto Prazo: são medidas urgentes e, na maioria, não-estruturais, para conter os impactos potenciais futuros devidos ao desenvolvimento urbano sem sustentabilidade.

Algumas das ações são:

- *Proteger os mananciais:* ações como: (a) avaliar as cargas de contaminação nas bacias hidrográficas que são mananciais; (b) propor uma regulação para a ocupação da bacia dos mananciais; e (c) propor ações prioritárias para desenvolver o projeto e implementar os sistemas de esgoto e tratamento para as áreas de ocupação de mananciais. Esta atividade deve ser desenvolvida com urgência para recuperação e evitar a contaminação das fontes de água.
- *Proposta de arranjo institucional:* estas atividades devem considerar os aspectos institucionais da bacia para propor um mecanismo de gestão das águas das bacias e urbanas; As principais ações são: (a) legislação para drenagem urbana, resíduos sólidos e controle da qualidade da água; e (b) legislação para implementação e recuperação de custo dos sistemas de águas urbanas.

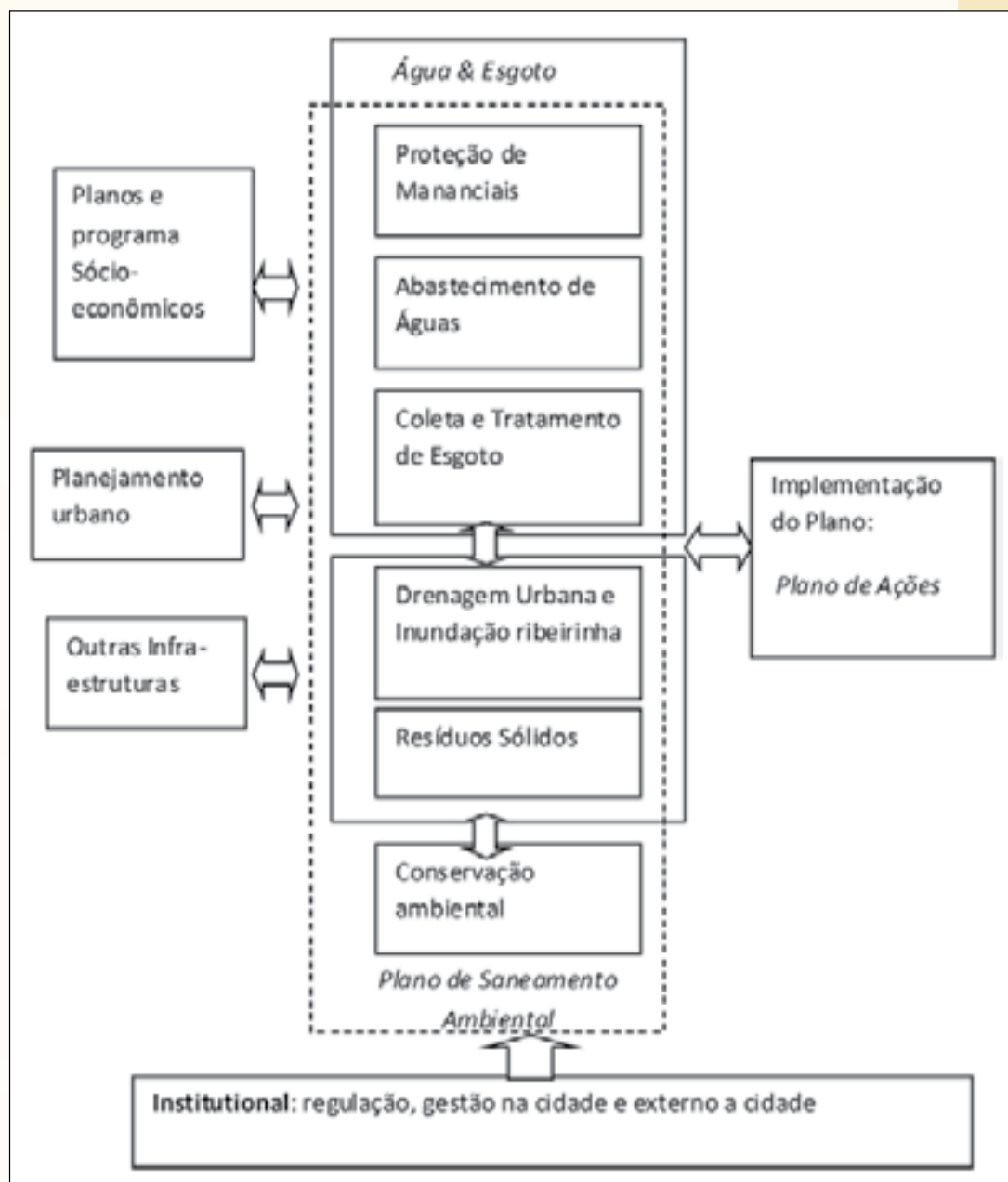


Figura 8. Componentes da Gestão Integrada do Saneamento Ambiental.

Tabela 3. Objetivos.

Objetivo	Objetivo específico
Entrega de água segura para abastecimento humano, animal, industrial, comercial e agrícola. Conservação ambiental dos ambientes aquáticos e terrestre. Reduzir a vulnerabilidade da população ao risco de inundações e a disponibilidade de água.	Desenvolver novos padrões de ocupação considerando: (a) limites para densificação e áreas impermeáveis; (b) reserva de áreas para parques e áreas amortecimento; e (c) utilização de mecanismo econômico para incentivar medidas ambientais. Proteção de mananciais: (a) uso de incentivos econômicos para reduzir a ocupação das áreas de mananciais; (b) controle das cargas e limite de ocupação; e (c) recuperar as áreas de mananciais. Conservação e eficiência nos sistemas de abastecimento de água reduzindo a vulnerabilidade. Sistema de coleta de tratamento baseados na meta anual de sustentabilidade dos rios urbanos e na eficiência de coleta e tratamento. Drenagem urbana: controle dos impactos futuros com regulação e impactos atuais com medidas de controle nas bacias. Resíduos sólidos: reduzir a quantidade de resíduos no ambiente e reciclagem. Conservação: eliminar áreas degradadas, evitar fragmentação do ambiente urbano e melhor o controle da qualidade da água pluvial e sanitária. Recuperar a recarga das águas subterrâneas.

Médio Prazo: um resumo destas atividades é o seguinte:

- *Plano de abastecimento de água e esgotamento sanitário:* este plano deve possuir uma concepção integradora, já que as ações devem priorizar a recuperação das fontes de abastecimento de água.
- *Controle da gestão das inundações por bacia urbana:* o plano deve desenvolver um plano de controle de cheias por bacias urbanas considerando, também, a proteção dos mananciais, a geração de resíduos sólidos e a interconexão das redes.
- *Implementar os arranjos institucionais:* nesta fase, os arranjos institucionais planejados na fase anterior devem ser implementados para permitir o desenvolvimento do planejamento dentro de uma estrutura de gestão municipal sustentável.
- *Implementar o plano de resíduos sólidos:* a implementação do Plano de Resíduos sólidos pode iniciar na fase anterior, como um piloto, mas nesta fase deve cobrir toda a área. Este plano deve incluir a reforma institucional.

Tabela 4. Relação das causas e dos Planos.

Principais Causas	Aspectos específicos	Planos
Desenvolvimento urbano insustentável	Alta densidade, áreas impermeáveis, falta de proteção das superfícies do solo.	Regulação das águas urbanas para ocupação urbana.
Falta de serviços de águas urbanas	População sem abastecimento de água; falta de rede de coleta e tratamento de esgoto; falta de serviços coleta e limpeza de resíduos sólidos; falta de gestão da drenagem urbana e controle de inundações.	Água e Esgoto. Resíduos Sólidos. Gerenciamento de Inundações. Meio Ambiente. Saúde.
Gerenciamento ruim	Obras insustentáveis como canais, condutos, etc. Falta de legislação de controle dos novos desenvolvimentos.	Institucional.

- **Plano Ambiental:** desenvolvimento de um plano para a bacia e um plano estratégico de compensação ambiental que envolva todas as ações do Plano de Saneamento Ambiental. Este Plano deve traçar metas ambientais definidas para a área.

O desenvolvimento do plano deve delinear as áreas de interface entre os mesmos e sua abordagem. É importante que o plano não seja fragmentado em vários, mas seja desenvolvido dentro de uma mesma estrutura.

Longo Prazo: esta fase representa a etapa de implementação das medidas, junto com os projetos previstos nos Planos.

CONCLUSÃO

A gestão das águas urbanas é, atualmente, realizada de forma muito fragmentada, levando a problemas significativos de impactos e consequências danosas para a sustentabilidade urbana.

Foram analisados os principais aspectos que levam à urbanização das cidades de países em desenvolvimento como, por exemplo, o Brasil e as características das condições de renda que levam ao planejamento de uma cidade formal e uma cidade desenvolvida de forma ilegal sem infra-estrutura. Observa-se que, com o crescimento econômico, a cidade ilegal diminui de forma geral, mas cabe ao poder público induzir ao desenvolvimento de uma cidade sustentável, que reduza estas condições desfavoráveis da mesma forma em que crie condicionantes de vida adequada para a população urbana.

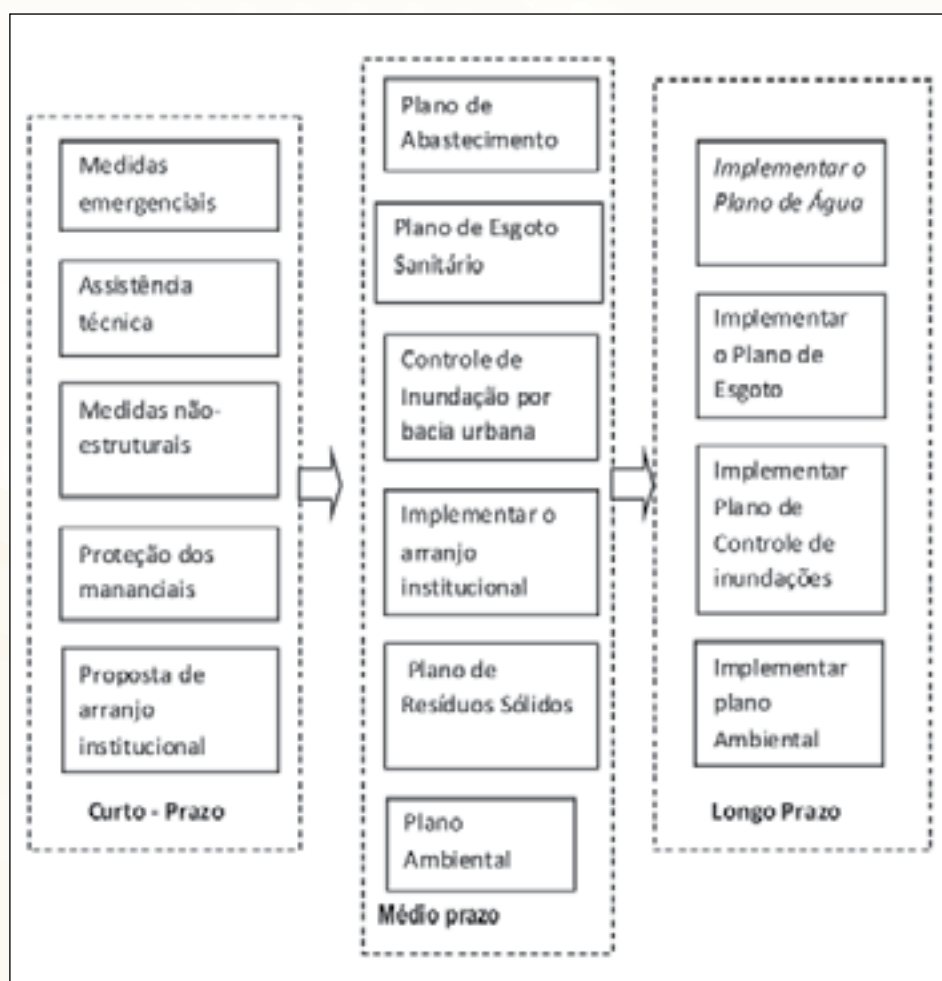


Figura 9. Plano de Ação.

A população do mundo está se tornando urbana e a tendência é de que, na metade deste século, quase 70 % da população esteja nas cidades. Da forma como as cidades são planejadas e desenvolvidas, este processo pode se tornar desastroso, pois de um lado faltarão recursos naturais, que serão destruídos pelo próprio desenvolvimento urbano. Isto ocorre porque os serviços que a cidade deve prover nas diferentes esferas, não possuem ligação entre si. Imagine um doente na UTI de um hospital onde os médicos que o atendem, de diferentes especialidades, não conversam entre si e não estão interessados em sua sobrevivência. A cidade está na UTI e ninguém está interessado no resultado final da combinação dos serviços.

A gestão integrada da cidade e das águas urbanas deve buscar planejar e operar de forma integrada os serviços na cidade. Este é um grande desafio num setor extremamente corporativista, que enxerga muito pouco fora de sua atividade específica. Por exemplo, quantas empresas de saneamento que você conhece, medem a qualidade de um rio para conhecer o efetivo resultado do tratamento de esgoto ou mesmo da mudança da qualidade da água que retira dos mananciais? Quantas empresas de serviços buscam metas de sociedade? A maioria trabalha com quilômetro de rede e investimentos, que não são metas de sociedade.

O planejamento integrado do saneamento da cidade é fundamental dentro destas idéias, como já prevê a Lei de Saneamento no Brasil. O grande problema será transformar isto em realidade, num mundo de profissionais com visão estreita do que é saneamento.

Este artigo apresentou as relações entre a urbanização e os serviços relacionados com os recursos hídricos, caracterizando os princípios da gestão integrada e os planos e ações que podem ser desenvolvidos na cidade para a busca da sustentabilidade.

REFERÊNCIAS CITADAS

- IBGE. 1998. Anuário Estatístico do Brasil – 1997. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro (CD-ROM).
- McGranahan, G. & Marcotulio, P. 2005. Urban Systems. *In*: Ecosystem and human well-being: current state and trends. Vol. 1. Island Press, Londres.
- MMA. 2000. Cidades sustentáveis: subsídios à elaboração da Agenda 21 Brasileira. IBAMA, MMA, Brasília.
- Tucci, C.E.M. 2005. Programa Nacional de Águas Pluviais. Ministério das Cidades PMSS, Brasília.
- UN. 2009. Urban and rural. http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007_urban_rural.htm (acessado em 15 de Janeiro de 2009).
- WDR. 2009. World Development Report 2009. World Bank, Washington.

8

EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS

EDUCAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS

Myriam Krasilchik¹

Luiz Marcelo de Carvalho²

Rosana Louro Ferreira Silva³

RESUMO

No presente trabalho, apresentamos uma análise de aspectos considerados fundamentais para situar a educação ambiental como elemento essencial para se pensar na sustentabilidade dos recursos hídricos. Inicialmente, elencamos alguns aspectos históricos da consolidação da Educação Ambiental no Brasil, ressaltando o destaque dado ao tema 'recursos hídricos' em projetos, programas e políticas públicas. Em seguida, são abordados aspectos sociais e institucionais dos recursos hídricos e sua interface com a educação ambiental, tomando como referência a Política e o Plano Nacional dos Recursos Hídricos, a Política Nacional de Educação Ambiental e os Parâmetros Curriculares Nacionais. No contexto da produção acadêmica, são apresentados dados quantitativos e qualitativos da pesquisa em educação ambiental, particularmente as que possuem foco na temática dos recursos hídricos, indicando direcionamentos e perspectivas na produção do conhecimento nessa área em escala nacional. Finalizamos o trabalho apontando perspectivas para uma educação ambiental crítica, apresentando possibilidades de identificação de concepções de práticas e materiais didáticos, destacando a centralidade do conceito de bacia hidrográfica, que proporciona a análise sistêmica dos problemas relacionados aos recursos hídricos, sendo a Educação Ambiental considerada um instrumento para fortalecimento da gestão participativa e para o necessário diálogo de saberes, e ressaltando que essa abordagem sistêmica e interdisciplinar deve estar presente nos espaços de formação inicial e continuada de professores.

¹ Professora Emérita da Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.

² Professor da Universidade Estadual Paulista, "campus" de Rio Claro, Coordenador do GT22 Educação Ambiental da ANPED.

³ Professora Adjunta da Universidade Federal do ABC.

Palavras chave: educação ambiental, recursos hídricos, abordagem holística, pesquisa e reflexão crítica.

ABSTRACT

In this paper we present an analysis of fundamental aspects to contextualize the environmental education as an essential component to discuss water resources sustainability. First, we point out historical factors concerning the establishment of Environmental Education in Brazil, underscoring water resources in projects, programs and public policies. After that, we discuss social and institutional factors associated with water resources and their interface with environmental education, in reference to the *National Policy and Plan for Water Resources (Política e Plano Nacional dos Recursos Hídricos)*, the *National Policy for Environmental Education (Política Nacional de Educação Ambiental)* and the *National Curricular Guidelines (Parâmetros Curriculares Nacionais)*. Within the academic context, we present quantitative and qualitative data from research in the field of environmental education, particularly research projects that focus on water resources, indicating their trends and perspectives in knowledge production on a national level. Finally, we suggest perspectives for a critical environmental education and highlight ways under which the approach underlying pedagogical practices and textbooks can be identified, mainly concerning the core concept of river basins that allows a systemic analysis of problems associated with water resources. These suggestions are based on the premises that environmental education may be an important tool to empower participatory management and knowledge exchange, and that this systemic and interdisciplinary approach should be a consistent component of pre-service and in-service teacher education programs.

Key-words: environmental education sustainable development, water sustainability, holistic approach, research and critical reflection.

INTRODUÇÃO

A Assembléia Geral da ONU declarou em dezembro de 2002 que o período de 2005 a 2014 deveria ser considerado a Década da Educação para o Desenvolvimento Sustentável sob a coordenação e implementação global da UNESCO.

Entre os objetivos do programa da Década constam a reorientação e a revisão de programas educacionais, desde a escola infantil até a universidade, incluindo o desenvolvimento de conhecimentos, habilidades e valores relativos à sustentabilidade, importantes para sociedades atuais e futuras.

O mesmo documento considera um dos desafios da Década ir além de educação ambiental ou EA, como é internacionalmente denominado o componente educacional destinado à restauração e proteção ambiental.

Embora a proposição do desenvolvimento sustentável possa ser vista como pertinente sob certos aspectos e contextos segundo Sauvé (2005), não    mais possível deixar de considerar a concep  o utilitarista da educa  o e a representa  o 'recursista' do meio ambiente embutido nesse modelo. Para alguns educadores, a proposta da UNESCO vem esvaziar uma perspectiva social e política já muito bem articulada no movimento da educa  o ambiental (González-Gaudiano 2007). São considera  es como essas que reforçam nossa compreensão de que a análise dessa eventual transi  o não pode ser feita sem considerar a história da EA no Brasil nos últimos 50 anos, período marcante da crise ambiental.

Sem desconsiderar o papel fundamental que o movimento ambientalista historicamente desempenhou e ainda vem desempenhando para as a  es de educa  o ambiental, as primeiras

notícias de programas específicos de atividades destinadas a proteger o ambiente provêm da iniciativa dos professores de escolas do hoje chamado ensino fundamental, em alguns casos com a parceria de professores universitários. Como exemplo, já na década de 50, alunos e docentes de uma escola secundária tinham como objetivo discutir e impedir a poluição pelo restilo despejado pelas usinas produtoras de álcool e açúcar no rio Piracicaba.

No Rio de Janeiro, essa preocupação com os impactos ambientais do processo de urbanização já transparecia em livro publicado em 1958 com o que ocorre nas “praias onde deveria se instalar a vegetação pioneira substituída por muros de pedra ou pela proliferação de vegetação constituída por capim e plantas introduzidas substituindo as plantas nativas” (Santos 1958).

Na década de 60, refletindo a situação do mundo em plena Guerra Fria, foram desenvolvidos projetos para a escola média com o objetivo de atualizar conteúdos e formar cientistas, estabelecendo um marco no ensino de Ciências. Nesses projetos, aspectos relacionados com os impactos ambientais e suas consequências ocupavam um espaço destacado. As sociedades científicas como, por exemplo, o American Institute of Biological Sciences com o apoio do governo produziram a chamada primeira geração de projetos como o Biological Science Curriculum Study (BSCS), originalmente produzido no EUA que já destacava a relação recíproca de organismos e ambiente quando se analisa o que o homem fez para e com o ambiente, criando a necessidade de conservação e introduzindo a ecologia nos currículos.

Contribuiu, significativamente, para a expansão dos programas de EA a introdução da disciplina Ecologia nas universidades e, como temática do currículo de Biologia em escolas de ensino médio, refletindo o progresso científico que permitiu o desenvolvimento de métodos mais precisos para medir o meio físico, conhecer os organismos como fisiologia e genética, modelos para simular situações ecológicas, estudos de relações entre organismos de um ecossistema entre outros aspectos.

Já nessa época não se pretendia que as questões ambientaisicassem restritas aos biólogos, pois não podiam ser confinadas a uma disciplina, mas, deveriam percolar todo o ensino e considerar as consequências das mudanças ambientais provocadas ou não pela ação do ser humano.

As crises ambientais da década de 70, que envolviam aspectos políticos, sociais e econômicos, demoliam a convicção de que ciência era a panacéia para resolver os problemas da humanidade e influenciavam nos programas de educação ambiental que, no início da década de 80, permearam os currículos da educação básica e passaram a incluir essas novas dimensões em projetos desenvolvidos por Universidades em parceria com o Ministério da Educação e Secretarias de Educação, em que foram criados Centros de Treinamento de Professores de Ciências, funcionando em São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador, Belo Horizonte e Porto Alegre.

Nessa fase, o Centro de Treinamento de Professores de São Paulo preparou um projeto de ensino de Ciências para o curso fundamental (5ª a 8ª série)¹, em que além de tratar de temas relativos a problemas ecológicos e ambientais: lixo, poluição da água, energia, propunha modificações nas modalidades didáticas por meio de jogos, debates, experiências de laboratório evitando a passividade e memorização comuns nos cursos de Ciências. Muitos desses exercícios são usados até hoje por professores e autores de livros didáticos.

A partir desse contexto e por influência de movimentos internacionais marcados por diversas conferências organizadas pelas Nações Unidas como a “Primeira Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e Desenvolvimento” realizada em 1972 em Estocolmo, na Suécia, o Congresso de Belgrado realizado em 1975, cujo documento final estabelece as metas e princípios

¹ “Ciências Ambientais para o primeiro grau”, de 1982, sob responsabilidade da SEPS/PREMEN/FENAME.

da EA, a Conferência de Tbilisi-Geórgia realizada em 1977, que estabelece os princípios orientadores da EA e remarca seu caráter interdisciplinar, crítico, ético e transformador, a segunda conferência da ONU sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano, realizada em 1992 no Rio de Janeiro e iniciativas do Ministério do Meio Ambiente e do Ministério da Educação e outras instituições que abriram várias vertentes de trabalho catalisadas por políticas públicas e iniciativas de escolas, mídia e organizações.

Paralelamente, as universidades passaram, em seus cursos de pós-graduação, a realizar pesquisas para analisar objetivos, concepções, valores e significados da Educação Ambiental, tanto na escola como em atividades extracurriculares. A Tabela 1 abaixo esquematiza a evolução contextualizada em várias fases. É importante notar que no resumo foram colocadas as tendências predominantes que em muitos casos se superpõem e convivem dependendo das políticas, valores e condições vigentes.

Tabela 1. Aspectos principais da evolução da Educação Ambiental no Brasil.

Período	1950-1970	1970-1990	1990-...
Situação mundial	Guerra fria	Crises sociais e econômicas	Competição tecnológica. Globalização
Situação brasileira	Industrialização	Ditadura	Democratização
Objetivos da Educação	Formar cientistas	Formar cidadão trabalhador	Formar cidadão engajado
Objetivos da E.A	Ecologia	Conservação da natureza. Desenvolvimento sustentável	Desenvolvimento sustentável. Sociedades sustentáveis
Metodologia predominante	Transmissão de conhecimentos	Jogos, debates, laboratório	Projetos governamentais. Estudo do Meio com atuação na comunidade
Atores sociais	Ambientalistas e professores	Ambientalistas e professores	Ambientalistas, professores, empresários, mídia, etc
Conferências e documentos	Primavera silenciosa – Raquel Carson Clube de Roma	Tbilise Belgrado ONU 1972	Rio 92 Rio + 10 I, II, III e IV Conferências Mundiais de EA
Políticas públicas	Apoio a projetos de Centros de Ciências pelo MEC	Pontualmente em algumas legislações ambientais e presença na Constituição de 1988	Leis, resoluções, pareceres e propostas curriculares próprias (PCNs)
Concepção de E.A. predominante	Conservadora	Pragmática	Pragmática e crítica
Pesquisa	Avaliação de projetos	Avaliação de projetos - pesquisas	Pós-graduação nas Universidades

É possível identificar hoje um amplo aspecto de iniciativas que refletem o interesse e as preocupações causadas pela atual situação ambiental e o papel da educação na transformação necessária. As organizações governamentais tentam, em seus vários níveis, implantar políticas públicas por meio de mecanismos de regulação, publicações e programas de formação continuada para professores e líderes comunitários. Sem dúvida, a pesquisa ocupa hoje um espaço importante na análise das causas e consequências dos problemas ambientais e o papel que a educação tem na preparação do cidadão bem informado e atuante na busca de mudanças.

É interessante observar, no entanto, que alguns temas têm ocupado um lugar de destaque nos projetos e programas de educação ambiental e dentre estes, sem dúvida, os chamados recursos hídricos. Esta tendência que pode ser observada em nosso país e fora dele pode, sem dúvida, ser explicada primeiro pelo significado deste elemento da natureza nos processos de manutenção da vida no Planeta Terra e, segundo, provavelmente pelos níveis de impacto das atividades humanas provocadas nos corpos d'água. Esta preocupação que se reflete nas propostas de educação ambiental em nosso país, possivelmente explique as tentativas, em termos de políticas públicas, de dar um tratamento integrado às diversas e complexas dimensões que envolvem a gestão do tema água.

ASPECTOS SOCIAIS E INSTITUCIONAIS DOS RECURSOS HÍDRICOS E SUA INTERFACE COM A EDUCAÇÃO AMBIENTAL

O processo de institucionalização dos sistemas de recursos hídricos está baseado em antecedentes históricos da legislação, que culminaram com a edição da Lei nº 9.433/97, que trata da Política Nacional dos Recursos Hídricos e, em concordância com as discussões geradas em diversas conferências internacionais sobre o tema, adotou um sistema de gestão integrada e participativa das águas.

Complementar a essa política, em 2006, o governo federal propôs seu fortalecimento por meio do Plano Nacional de Recursos Hídricos, buscando o aperfeiçoamento do sistema de gestão integrada no país. Entre os eixos críticos e desafios, tal política ressalta que a consolidação da gestão participativa exige um processo sistemático de educação e cooperação entre os agentes e os atores públicos e privados, bem como a necessidade de esforços na formação de pessoal para participação nos entes colegiados do sistema, incluindo a formação de novos profissionais e a conseqüente adequação dos currículos (Brasil 2006).

No entanto, a conexão com a educação aparece de forma bastante incipiente nesse plano. Ao prever a articulação e a integração da Política de Recursos Hídricos com outras políticas públicas correlatas, o documento não cita as políticas públicas relacionadas à educação, embora inclua outras áreas de extrema relevância, como saúde, saneamento e energia.

Embora sem prever essa articulação, o plano tem um de seus sub-programas (que faz parte do Programa IV, Desenvolvimento Tecnológico, Capacitação, Comunicação e Difusão de Informações em Gestão Integrada de Recursos Hídricos) que dispõe sobre "Capacitação e Educação, em Especial Ambiental, para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos" e tem como escopo básico a perspectiva de formar agentes multiplicadores, para diferentes públicos-alvos, para que a Política Nacional de Recursos Hídricos seja difundida no país. No entanto, ressalta que, no que concerne à educação ambiental, o desenvolvimento será restrito a temáticas e metodologias de interesse da GIRH, mantendo a execução descentralizada aos estados e aos comitês de bacias hidrográficas, considerando as diretrizes básicas da Agenda 21, do Tratado de Educação Ambiental para Sociedades Sustentáveis e da Carta da Terra (Brasil 2006: 126).

Dessa forma, embora sem uma parceria com as políticas públicas de educação e sem estratégias de implementação, a EA é considerada um instrumento para fortalecimento da gestão participativa dos recursos hídricos.

Pensando na formação para a gestão participativa, o Tratado de Educação Ambiental para Sociedades Sustentáveis e de Responsabilidade Global, assinado durante a Rio-92, destaca o caráter permanente da educação ambiental na busca da construção de sociedades socialmente justas e ecologicamente sustentáveis. Vários princípios do tratado fornecem elementos para pensar na participação da coletividade em processos de gestão, como os que indicam que a educação ambiental deve ser planejada para capacitar as pessoas a trabalhar comunitariamente de maneira justa e

humana, bem como promover a cooperação e o diálogo entre indivíduos e instituições, com a finalidade de criar novos modos de vida baseados em atender às necessidades básicas de todos.

Particularmente sobre currículos, os Parâmetros Curriculares Nacionais editados pelo MEC a partir de 1996 trazem a questão ambiental como um tema transversal. Em um dos blocos de conteúdo intitulado “A natureza cíclica da natureza”, a água é utilizada como eixo importante para se trabalhar a ideia de ciclo. Alguns tópicos propostos abordam a compreensão dos fatores físicos e socioeconômicos, a construção da noção de bacia hidrográfica identificando onde se situa a escola, a questão da água e sua historicidade, o conhecimento dos oceanos, o uso da água em diferentes culturas e o desperdício da sociedade industrial. Tal proposta tem por objetivo fornecer subsídios aos alunos para defender transformações no gerenciamento desse recurso natural, apontando para sustentabilidade e o desenvolvimento de atitudes pessoais coerentes (Brasil 1998: 210).

A Política Nacional de Educação Ambiental instituída pela Lei nº 9795/99 considera a educação ambiental um “processo por meio do qual o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente e bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade. Essa noção de ambiente como um bem ou recurso, embora não seja consensual para os educadores ambientais, é semelhante à adotada na Política Nacional de Recursos Hídricos e reflete o entendimento da Constituição Brasileira de 1988.

É importante ressaltar que a noção de bacia hidrográfica, bem como os Comitês de Bacia Hidrográfica, são essenciais nas políticas e ações que vêm se estabelecendo no Brasil e, particularmente, no Estado de São Paulo.

Como exemplo da importância que a noção de bacia hidrográfica representa para a EA, a Rede Paulista de Educação Ambiental, que surgiu a partir da conferência Rio-92, é composta por pessoas e instituições que desenvolvem atividades de EA e que são denominadas elos da rede. Os elos são organizados segundo as Bacias Hidrográficas ou UGRHs, Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A REPEA tem como objetivo a articulação, isto é, uma atuação conjunta que visa a fortalecer a Educação Ambiental no Estado de São Paulo.

Conforme foi ressaltado por Corte & Bacci (2008), as bacias são palcos de processos naturais e sociais, uma vez que, embora se caracterizem por fatores físicos, são influenciadas pela ocupação humana e pela ação dos diversos grupos sociais que nela habitam.

No entanto, quando em cursos de formação continuada e durante a análise de materiais de apoio, observa-se que o conceito de bacia hidrográfica ainda está distante de muitos professores e livros didáticos. A questão da água é, muitas vezes, tratada em seu aspecto comportamental de economia e uso racional nas residências, sem um contexto maior do entendimento das relações sociais e históricas que acontecem na bacia hidrográfica da qual fazem parte (Otalara 2008). É importante que os processos formativos de educação ambiental destaquem que não existem problemas isolados, pois eles se encontram inseridos em uma rede que constitui uma cadeia de eventos sucessivos. Ao analisar projetos de educação ambiental sob a ótica da gestão de recursos hídricos, Bustos (2003) destacou que, pela legislação atual, a busca de soluções deixou de ser função exclusiva dos eruditos da área, integrando a participação dos cidadãos, a integração da problemática sócio-ambiental e a formação de parcerias que são essenciais no processo de gestão participativa. Nesse sentido, a educação ambiental assume um caráter insubstituível.

Para qualquer projeto de educação ambiental, o diagnóstico da realidade local, incluindo aspectos sociais, culturais, naturais e históricos, entre outros, torna-se essencial, uma vez que não existem modelos de EA que se adaptem a todas as realidades. A incorporação dos temas recur-

sos hídricos e educação ambiental em leis, decretos e programas curriculares não garantem, por si só, sua efetiva articulação tanto na escola como nas comunidades. Considerando o caráter público e a igualdade de direitos sobre os bens naturais garantida na constituição, a água, assim como a maioria de assuntos relacionados ao meio ambiente é passível de conflitos. Uma educação ambiental na perspectiva crítica deveria fornecer elementos para a formação de um sujeito capaz tanto de identificar a dimensão conflituosa das relações quanto de se posicionar diante dela (Carvalho 2004).

Esses conflitos estão refletidos na atual crise da água que, conforme apontou Tundisi *et al.* (2008), apresenta dimensões em âmbito local, regional, continental e planetário, contribuindo para o aumento e exacerbação das fontes de contaminação; a alteração das fontes de recursos hídricos – mananciais – com escassez e diminuição da disponibilidade; o aumento da vulnerabilidade da população humana em razão de contaminação e dificuldade de acesso à água de boa qualidade; e as interferências na saúde humana e na saúde pública, com deterioração da qualidade de vida e do desenvolvimento econômico e social. O autor enfatizou a posição central dos recursos hídricos quanto à geração de energia, produção de alimentos, sustentabilidade da biodiversidade e a mudanças globais. Ressaltamos a centralidade histórica da temática dos recursos hídricos tanto em processos de definição de políticas públicas relacionadas com a temática ambiental quanto para a educação ambiental.

EDUCAÇÃO AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS: O CONTEXTO DA PESQUISA

De fato, temas relacionados a água, recursos hídricos, bacias hidrográficas ou mananciais têm sido dos mais destacados pelo histórico movimento preservacionista e conservacionista tendo, mesmo nos dias atuais, uma posição de destaque quando se trata de discussão ou proposição de políticas referentes à proteção ambiental (Millenium Ecosystem Assessment 2005, Sutherland *et al.* 2006, 2009).

A mesma tendência pode também ser observada quando nos referimos ao contexto da pesquisa em educação ambiental, ou seja, às pesquisas que buscam analisar e compreender processos de educação ambiental. Várias são as pesquisas que discutem tais processos relacionados com recursos hídricos, como se constata com uma simples busca no Banco de Dissertação e Teses da CAPES. A partir da palavra-chave “educação ambiental” temos como resultado a identificação de 2.600 dissertações de mestrado ou teses de doutorado. O contexto da pesquisa em educação ambiental tem nos revelado um cenário surpreendente em alguns aspectos. Alguns autores têm chamado a atenção para o crescimento considerado vertiginoso nesta área. É interessante observar que, embora seja recente o chamado processo de ecologização ou ambientalização da sociedade com o desenvolvimento de práticas denominadas de educação ambiental, é surpreendente o trabalho que realizamos recentemente, procurando traçar um panorama desta produção em nosso país, apontando certas tendências na área e identificando alguns de seus dilemas que, em nossa avaliação, não são muito diferentes daqueles da própria pesquisa em educação no nosso país (Carvalho *et al.* 2009). De qualquer forma, fica evidente, do ponto de vista numérico, esta expansão vertiginosa quando se analisa o número de dissertações e teses relacionadas com educação ambiental desenvolvidas junto aos diferentes programas do sistema nacional de pós-graduação (Fracalanza 2004, Fracalanza *et al.* 2005).

Uma busca a partir do cruzamento das palavras “água” e “educação ambiental” identificou 353 documentos, o que corresponde a 13,5% das teses e dissertações realizadas nos diversos programas de pós-graduação do país e relacionadas com educação ambiental. Cruzando com a palavra “recursos hídricos”, chegamos ao total de 135 documentos, o que representa 5,19 % do total das teses e dissertações. Esses números são significativos pelo menos do ponto de vista numérico, quando se considera a diversidade temática da questão ambiental. Outro dado bastante

interessante é que existem hoje, cadastrados no Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq, 103 grupos de pesquisa que, de alguma forma, incorporam a temática “educação ambiental e água” em suas linhas de pesquisa. São evidentes os esforços da comunidade acadêmica no sentido de fortalecer o campo da pesquisa em educação ambiental e dar visibilidade e divulgação aos conhecimentos gerados pelas pesquisas. A partir da articulação de pesquisadores, foi possível a constituição, em 2003, de um grupo de estudos junto à Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Educação (ANPED), associação esta reconhecida como representativa da área tanto pelas instituições que trabalham com a pesquisa em educação ambiental no Brasil, quanto pelo conjunto dos pesquisadores em educação. Em 2005, o grupo de estudos se transformou em Grupo de Trabalho, constituindo hoje o GT-22 “Educação Ambiental” junto à ANPED que, em seus encontros anuais, reúne diversos grupos de pesquisa em educação ambiental para discutir a produção da área e os rumos da pós-graduação e da pesquisa em educação no país. Merece ainda registro a constituição do GT de Educação Ambiental na Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade (ANPPAS) que, da mesma forma, trata a pesquisa em Educação Ambiental. Em diversas reuniões científicas realizadas em nosso país, são inúmeros os trabalhos relacionados com a educação ambiental e, em vários destes eventos, grupos de trabalho são organizados para discussão das tendências e perspectivas de várias dimensões da educação ambiental. Em relação a eventos científicos, cabe destacar o esforço conjunto de grupos de pesquisa vinculados a três universidades públicas no Estado de São Paulo (UNESP/Rio Claro, UFSCar, USP/Ribeirão Preto) na proposição e realização dos Encontros de Pesquisa em Educação Ambiental (EPEA) já mencionados e que vêm sendo realizados desde 2001 e que teve sua quinta versão no final de outubro de 2009.

Com a intenção de buscar uma primeira aproximação com as pesquisas em educação ambiental que, especificamente, têm explorado o tema recursos hídricos procuramos identificar, junto aos trabalhos apresentados nas quatro edições do EPEA, aqueles com tais características.

A intenção desta análise não é traçar um panorama que garanta a representatividade das tendências dos trabalhos na área de Educação Ambiental que tratam dos temas recursos hídricos ou água, mas indicar direcionamentos e perspectivas na produção do conhecimento nessa área em escala nacional. Dessa forma, mesmo reconhecendo os limites que a análise de textos publicados nos anais de um evento específico possa impor à nossa discussão, acreditamos que tal fonte pode nos permitir traçar essas tendências e perspectivas, tendo em vista a abrangência nacional deste evento, sua especificidade quanto aos objetivos de divulgação e discussão de pesquisa em educação ambiental e o número de trabalhos que têm sido encaminhados para divulgação e discussão nas diferentes versões do evento.

A partir dos dados sistematizados por Rink (2009) em sua dissertação de mestrado, que tem como título “A análise da produção acadêmica apresentada nos Encontros de Pesquisa em Educação Ambiental (EPEA)”, pode-se obter as primeiras informações sobre o conjunto dos trabalhos de pesquisa em educação ambiental relacionados com recursos hídricos publicados nos Anais do EPEA.

Ao classificar os textos analisados tendo como critério o tema ou área de conhecimento privilegiada no artigo, Rink (2009) identificou 23 textos (7,6 % em relação ao total de trabalhos apresentados nos quatro EPEAS já realizados) que têm, pelo menos, como um de seus temas centrais a questão dos recursos hídricos. Esse número é superado apenas pelo número de trabalhos que centraram sua atenção na área de conhecimento da Ecologia (em uma abordagem mais ampla). Esse dado é mais uma evidência que confirma a direção anteriormente enunciada de ser recursos hídricos um dos temas que têm recebido atenção especial dos pesquisadores.

As análises efetuadas por Rink (2009) revelaram outros aspectos interessantes. Entre os trabalhos que tratam de temáticas relacionadas à água, pode-se observar certa preponderância de

relatos que analisam e discutem o trabalho educativo em contextos escolarizados, em especial aqueles relacionados com as séries iniciais do Ensino Fundamental. Outra observação da autora é a de que a maioria dos trabalhos com a referida temática está voltada para tentativas de identificar concepções, representações, percepções e conceitos do público envolvido na pesquisa sobre recursos hídricos (Rink 2009). O mesmo tem sido observado também em relação a outros temas explorados pelas pesquisas apresentadas no EPEA, tendência denominada por Carvalho (2008) como busca dos sentidos atribuídos à educação ambiental.

Merece ainda registro o fato de ter sido observado nos trabalhos publicados pelos Anais do EPEA, que muitos que analisam e avaliam um determinado projeto de educação ambiental em escolas de ensino fundamental têm como temática central a questão dos recursos hídricos. O mesmo pode ser dito dos trabalhos que exploram o potencial da pedagogia dos projetos para os trabalhos em educação ambiental (Rink 2009).

PERSPECTIVAS DE UMA EDUCAÇÃO AMBIENTAL CRÍTICA PARA OS RECURSOS HÍDRICOS

É importante que o professor ou outros atores que busquem trabalhar com a gestão participativa de recursos hídricos utilizando a educação ambiental como elemento para esse fortalecimento, consiga identificar qual a concepção predominante nas atividades propostas. Com objetivo de auxiliar docentes nas análises e proposições de ações em educação ambiental e tendo como norte uma perspectiva crítica, apresentamos uma classificação em três categorias de educação ambiental (Silva 2007): conservadora, pragmática e crítica, resumidas na Tabela 2.

Tabela 2. Concepções de educação ambiental (adaptado de Silva, 2007).

Conservadora	Pragmática	Crítica
• Dicotomia ser humano-ambiente. • Ser humano como destruidor. • Retorno à natureza primitiva. • Ser humano faz parte da natureza em sua dimensão biológica. • Atividades de contemplação. • Datas comemorativas e outras, atividades pontuais. • Atividades externas de “contato com a natureza” com fim em si mesma.	• Antropocentrismo (ser humano como centro de tudo). • Perspectiva fatalista – precisa proteger o ambiente para poder sobreviver. • Lei de ação e reação (natureza vingativa). • Atividades “técnicas/instrumentais” sem propostas de reflexão (ex. apenas separar materiais para reciclagem ou ganhar brindes para isso). • Resolução de problemas ambientais como atividade fim. • Propostas de atuação individual. • Proposta de modelos de comportamento ambiental.	• Ser humano pertence à teia de relações sociais, naturais e culturais e vive em interação. • Relação com o meio é historicamente determinada. • Propostas de atividades necessariamente interdisciplinares. • Resolução de problemas como temas geradores. • Exploram-se potencialidades ambientais locais/regionais. • Reconhecimento de conflitos. • Ênfase na participação coletiva. • Questões de igualdade de acesso aos recursos naturais e distribuição desigual de riscos ambientais são discutidas.

Tal categorização torna-se importante uma vez que não existe um consenso ou uma homogeneidade das práticas e dos materiais didáticos que se intitulam como sendo de Educação Ambiental. Dessa forma, busca-se permitir que os educadores ou outros atores sociais relacionados à questão ambiental sejam capazes de identificar as concepções que pretendem explorar em suas práticas, bem como tenham elementos para analisar materiais didáticos e projetos e orientar decisões sobre seu uso e formas de apropriação e re-significação em diferentes contextos.

Dentre os diferentes aspectos que a pesquisa nesta área revela e os valores que se apresentam como significativos, apontamos, embora sucintamente, aqueles que nos pareceram mais relevantes para o desenvolvimento de trabalhos educativos relacionados com a temática ambiental em uma perspectiva crítica. São eles:

A tendência observada de propor a bacia hidrográfica como referência para análise de aspectos relacionados com a água ou recursos hídricos. Esta perspectiva constitui um avanço significativo, uma vez que se propõe a discutir os problemas relacionados aos recursos hídricos na escala espacial, na qual atuam os fatores de degradação. A abrangência regional desse tratamento chama a atenção para a necessidade de integração da discussão sobre diferentes questões ambientais como, por exemplo, a conservação dos solos e das matas ciliares, ampliando o alcance dos programas de Educação Ambiental. A partir de análises mais integradas destas diferentes questões, pode-se trabalhar de forma mais concreta um conceito que traga uma certa dificuldade aos educadores, principalmente, quando se está tratando com alunos do ensino fundamental ou com comunidades cujos integrantes têm pouca experiência no tratamento de conceitos mais abstratos. Conforme proposto por Bacci & Pataca (2008), trabalhar no contexto de bacia hidrográfica permite as articulações entre o singular e o histórico, a partir do qual se criam situações de aprendizagem.

Tomar a Bacia Hidrográfica como unidade de análise permite ainda colocar os educandos em contato próximo com diferentes agentes sociais e diferentes setores sociais, que são responsáveis por processos de gestão dos recursos hídricos. Experiências deste tipo podem ajudar os envolvidos no processo educativo a terem uma melhor dimensão da necessidade de integração de esforços, para que medidas que sejam, de fato efetivas em processos de mitigação de impactos ambientais ou de busca de solução para problemas relacionados com a preservação e conservação das águas, sejam implementadas. Além disso, estas experiências oferecem oportunidades valiosas para que se entenda a necessidade de participação de toda a comunidade nos processos de transformação que desejamos, contribuindo para que sejam evitadas abordagens que enfatizem e reforcem alterações de hábitos e de atitudes individuais muito presentes em propostas de educação ambiental.

O contato com diferentes agentes, setores sociais e grupos diversos da comunidade leva-nos a considerar outro princípio que pode ser favorecido a partir de abordagens mais sistêmicas como esta: é o necessário diálogo dos saberes no tratamento da questão ambiental. Um exemplo é o projeto “Construção de um processo participativo de educação e mudança” desenvolvido nos municípios paulistas Espírito Santo do Turvo e Vera Cruz por uma equipe composta de professores da ESALQ, FSP, FE e o Instituto Agrônomo de Campinas (Krasilchik *et al.* 2008). Em propostas em que se pretende que grupos diversos sejam envolvidos e se sintam participantes do processo, torna-se necessário que os diferentes saberes tenham espaço de reconhecimento e sejam considerados no jogo entre saberes e poderes presentes na nossa sociedade. Não se trata de desconsiderar o significado e o papel do conhecimento científico nestes processos. Trata-se, isto sim, de preparar os cientistas que dele participam para ouvir e dialogar com outras possibilidades de interpretação dos complexos fenômenos, com os quais lidamos quando trabalhamos com a temática ambiental.

Merece registro a freqüente menção às potencialidades e possibilidades de que os trabalhos que consideram a bacia hidrográfica como unidade de estudo abrem para o desenvolvimento de atividades de campo. Embora seja importante reafirmar nossa compreensão de que não há procedimentos de pesquisa “*a priori*” considerados como próprios para a atividade de educação ambiental, os trabalhos de campo oferecem caminhos para alterar nossas práticas pedagógicas tanto quando nos encontramos em contextos escolares quanto em outros contextos educacionais.

Ao analisar projetos de educação ambiental com recursos hídricos executados na Bacia do Alto Tietê, Bustos (2003) constatou que a pouca efetividade dos projetos ocorreu pela falta de articulação, integração, acompanhamento e continuidade, focalizando a necessidade de um planejamento sistêmico para tais ações e a dificuldade de se trabalhar em um projeto de gestão integrado e participativo.

Ficam evidentes os desafios que esses caminhos nos impõem, principalmente quando analisamos a cultura de nossas organizações educacionais e a força das práticas recorrentes em seus processos para enfrentar esses desafios. Cada um dos pontos antes indicados nos coloca em contato, por exemplo, com um dos princípios que sejam tomados como de maior consenso quando nos referimos à educação ambiental, qual seja, a perspectiva interdisciplinar. Os textos de pesquisa apresentados nos EPEA e tomados como documentos para esta análise evidenciam a grande dificuldade para as abordagens que exigem a integração de diferentes áreas de conhecimento. Esta tendência já também evidenciada no trabalho de Rink (2009). A autora nos chamou a atenção, por exemplo, para pesquisas realizadas no contexto escolar que, embora insistam e enfatizem a perspectiva interdisciplinar, acabam sendo trabalhadas com o envolvimento de apenas uma disciplina. Muitas vezes, os esforços de integração têm como resultado o envolvimento de mais de uma área de conhecimento sem ocorrer, no entanto, uma experiência com características mais marcadamente interdisciplinares.

Não há possibilidade de formação deste educador para um trabalho interdisciplinar se ele não tiver experiências concretas nos espaços formativos, para que possam ser vivenciados princípios e práticas interdisciplinares. O enfrentamento deste desafio passa, necessariamente, por um esforço conjunto de todos os níveis, espaços e possibilidades de formação dos atores que se dedicam à educação ambiental.

REFERÊNCIAS CITADAS

- Bacci, D.L.C. & Patacca, E.M. 2008. Educação para a água. Estudos avançados 22(63): 211-226.
- Brasil. 1998. Parâmetros curriculares Nacionais – terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental: temas transversais. Brasília, Secretaria de Educação Fundamental/Ministério de Educação. p. 171-242.
- Brasil. 2006. Plano Nacional de Recursos Hídricos: Síntese Executiva. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. 135 p.
- Bustos, M.R.L. 2003. A educação ambiental sob a ótica da gestão de recursos hídricos. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo. 194 p.
- Carvalho, I.C.M. & Schmidt, L.C. 2008. A pesquisa em educação ambiental: uma análise dos trabalhos apresentados na ANPED, ANPPAS e EPEA de 2001 a 2006. Pesquisa em Educação Ambiental 3(2): 147-174.
- Carvalho, I.M.C. 2004. Educação Ambiental: a formação do sujeito ecológico. São Paulo, Cortez. 256 p.
- Carvalho, L.M. 1989. A temática ambiental e a escola de primeiro grau. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo. 282 p.
- Carvalho, L.M. 2006. A temática ambiental e o processo educativo: dimensões e abordagens. In: Cinquetti, H.S. & Logarezzi, A. (orgs.) Consumo e resíduos: fundamentos para o trabalho educativo. São Carlos: Editora da UFSCar. 212 p.
- Carvalho, L.M., Tomazello, M.G.C. & Oliveira, H.T. 2009. Pesquisa em Educação Ambiental: panorama da produção brasileira e alguns de seus dilemas. Cadernos Cedes (Impresso) 29: 13-28.

- Fracalanza, H. 2004. As pesquisas sobre Educação Ambiental no Brasil e as Escolas: alguns comentários preliminares. In: Taglieber, J.E. & Guerra, A.F.S. (orgs.) Pesquisa em Educação Ambiental: pensamentos e reflexões de pesquisadores em Educação Ambiental. Pelotas: Editora Universitária. p. 55-77.
- Fracalanza, H., Amaral, I. A., Megid Neto, J. & Eberlin, T.S. 2005. A Educação Ambiental no Brasil: panorama inicial da produção acadêmica. In: V Encontro de Pesquisa em Educação em Ciências, 5. Bauru. Anais... Bauru: Abrapec. 1 CD.
- González-Gaudiano, E. 2007. Educación Ambiental: trayectorias, rasgos y escenarios. México, Plaza y Valdés Editores. 235 p.
- Klinckmann (supervisor) 1970. Biology Teachers Handbook: Biological Sciences Curriculum Study. New Jersey, John Wiley and Sons. 690 p.
- Krasilchik, M., Pontuschka, N.N. & Ribeiro, H. 2006. Pesquisa Ambiental: construção de um processo participativo de educação e mudança. São Paulo, Editora Universidade de São Paulo, 256 p.
- Millenium Ecosystem Assessment . 2005. Ecosystems and human well-being: current state and trends. Findings of the conditions and trends working groups. In: Hassan. R., Scholes, R. & Ash, N. (eds.) Washington, DC, Island Press. Vol. 1, 917 p.
- Otalara, A.P. 2008. O tema Água em livros didáticos de primeira a quarta séries do Ensino Fundamental. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 126 p.
- Rink, J. 2009. Análise da produção acadêmica apresentada nos Encontros de Pesquisa em Educação Ambiental (Epea). Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 214 p.
- São Paulo (Estado). 2003. Educação ambiental: 20 anos de políticas públicas. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente. 96 p.
- Santos, N.D. 1958. Práticas de Ciências. Rio de Janeiro, Gráfica Olímpica Editora. 234 p.
- Sauvé, L. 2005. Educação Ambiental: possibilidades e limites. Educação e Pesquisa 31(2): 317-321.
- Silva, R.L.F. 2007. O meio ambiente por trás da tela: estudo das concepções de educação ambiental dos filmes da TV Escola. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo. 258 p.
- Sutherland, W.J., Adams, W.M., Aronson, R.B., Aveling, R.A., Blackburn, T.M., Broad, S., Ceballos, G., Côté, I.M., Cowling, R.M., Da-Fonseca, G.A.B., Dinerstein, E., Ferraro, P.J., Fleishman, E., Gascon, C., Hunter Jr, M., Hutton, J., Kareiva, P., Kuria, A., MacDonald, D.W., Mackinnon, K., Madgwick, F.J., Mascia, M.B., Mcneel, Y.J., Milner-Gulland, E.J., Moon, S., Morley, C.G., Nelson, S., Osborn, D., Pai, M., Parsons, E.C.M., Peck, L.S., Possingham, H., Prior, S.V., Pullin, A.S., Rands, M.R.W., Ranganathan, J., Redford, K.H., Rodriguez, J.P., Seymour, F., Sobel, J., Sodhi, N.S., Scott, A., Vance-Borland, K. & Watkinson, A.R. 2009. One hundred questions of importance to the conservation of global biological diversity. Conservation Biology 23(3): 557-567.
- Sutherland, W.J., Armstrong-Brown, S., Armsworth, P.R., Brereton, T., Brickland, J., Campbell, C.D., Chamberlain, D.E., Cooke, A.I., Dulvy, N.K., Dusic, N.R., Fitton, M., Freckleton, R.P., Godfray, H.C., Grout, N., Harvey, H.J., Hedley, C., Hopkins, J.J., Kift, N.B., Kirby, J., Kunin, W.E., MacDonald, D.W., Markee, B., Naura, M., Neale, A.R., Oliver, T., Osborn, D., Pullin, A.S., Shardlow, M.E.A., Showler, D.A., Smith, P.L., Smithers, R.J., Solandt, J.-L., Spencer, J., Spray, C.J., Thomas, C.D., Thompson, J., Webb, S.E., Yalden, D.W. & Watkinson, A.R. 2006. The identification of 100 ecological questions of high policy relevance in the UK. Journal of Applied Ecology 42(4): 617-627.
- Tundisi, J.G. 2008. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. Estudos avançados 22(63): 299-322.

ÁGUA SUBTERRÂNEA: RESERVA ESTRATÉGICA OU EMERGENCIAL

ÁGUA SUBTERRÂNEA: RESERVA ESTRATÉGICA OU EMERGENCIAL

Ricardo Hirata¹

José Luiz Gomes Zoby²

Fernando Roberto de Oliveira³

RESUMO

As águas subterrâneas no Brasil vêm sendo progressivamente exploradas para o abastecimento de cidades e núcleos urbanos, assim como para a indústria, irrigação e turismo. Estima-se que haja, pelo menos, 416 mil poços no país, com um aumento anual de 10,8 mil novas captações, atendendo a 30-40 % da população. Esse volume explorado ainda é muito pequeno quando comparado às potencialidades de suas reservas renováveis de 42 mil m³ s⁻¹. Apesar da sua expressiva contribuição para o desenvolvimento socioeconômico de muitas regiões do país e do seu papel ecológico na manutenção do fluxo de base dos corpos de água, a gestão da água subterrânea ainda é incipiente e não reflete sua relevância atual e estratégica. A falta de políticas públicas para o setor mostra-se na lacuna de conhecimento do estágio de utilização e das potencialidades dos aquíferos, bem como dos riscos de contaminação antropogênica a que estão submetidos e que afetam sua qualidade. A **matriz hídrica** do país não contempla, de forma correta, esse recurso e faz perder oportunidades de uso eficiente, o que permitiria reduzir custos na instalação e operação de sistemas de abastecimento de água e torná-la mais protegida em eventos associados à mudança climática. Os desafios enfrentados para a gestão envolvem: (a) o disciplinamento do uso da água subterrânea, reconhecendo as áreas de maior demanda e avaliando os perigos de superexploração; (b) a proteção dos aquíferos e de suas captações quanto à contaminação antrópica; e (c) o estabelecimento de bases técnicas que permitam aproveitar, de forma integrada e sinérgica, os recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Palavras-chave: água subterrânea, gestão de recursos hídricos, superexploração, contaminação, uso integrado.

¹ Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, rhirata@usp.br

² Agência Nacional de Águas, jlzoby@ana.gov.br

³ Agência Nacional de Águas, fernando@ana.gov.br

ABSTRACT

Groundwater in Brazil is being increasingly used for the industry, agriculture, tourism and public water supply. Estimated production wells number is about 416,000 and each year 10,800 new wells are drilled. Between 30 and 40 % of population uses groundwater as water source. The country's aquifers total renewable resource estimate of about $42,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ is not nearly being used. Very little is being done in terms of this resource management, and actions taken are not compatible with its importance. Nonexistence of a knowledge basis for the exact groundwater exploitation amount, as well as for its general contamination risks, is originated by the lack of public groundwater management policies. Water resources management should take groundwater into account in order to reduce water supply systems' costs and make them less sensitive to climate changes. A better groundwater management should: (a) organize its use, identifying critical areas and avoiding overexploitation; (b) protect aquifer recharge areas from contamination; and (c) develop technical solutions for a more efficient combined use of surface and groundwater.

Key words: groundwater, water resources management, overexploitation, contamination, integrated use.

INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas são fundamentais para o desenvolvimento humano. No Brasil, elas desempenham importante papel no abastecimento público e privado, suprindo as mais variadas necessidades de água em diversas cidades e comunidades, bem como em sistemas autônomos residenciais, indústrias, serviços, irrigação agrícola e lazer. Menos reconhecido, mas igualmente importante, é seu papel ecológico, fundamental para manutenção da flora, fauna e paisagens estéticos ou paisagísticos em corpos d'água superficiais, pois a perenização da maior parte dos rios, lagos e pântanos é feita pela descarga de aquíferos, através dos fluxos de base. Esse mesmo fluxo de base também é importante para auxiliar na diluição de esgotos e evitar o assoreamento dos rios pelo acúmulo de sedimentos e lixo nas cidades devido à sua perda de capacidade de arrasto.

Avaliações preliminares dão conta que os aquíferos servem ao abastecimento para 30-40 % da população do país, sobretudo em cidades de médio e pequeno porte, embora também sejam relacionadas várias capitais como, por exemplo, Natal, Fortaleza, Belém, Maceió, Recife, Porto Velho e São Paulo, onde o abastecimento é feito, em alguma proporção, pelo recurso subterrâneo. No Estado de São Paulo, 70 % dos núcleos urbanos são abastecidos total ou parcialmente pelas águas subterrâneas, incluindo cidades de porte como Ribeirão Preto, Marília, Bauru e São José do Rio Preto. No semi-árido nordestino, as comunidades rurais têm um importante manancial nas águas subterrâneas, assim como a irrigação no oeste da Chapada do Apodi, entre os estados do Ceará e do Rio Grande do Norte. Pouco comentado também é o fato de que toda a água mineral é subterrânea, embora a recíproca não seja verdadeira. Além disso, as águas subterrâneas são responsáveis pelo turismo através das águas termais ou minerais em cidades como Caldas Novas em Goiás, Araxá e Poços de Caldas em Minas Gerais, Lindóia em São Paulo, assim como pelo suprimento do forte e crescente mercado de água mineral e potável de mesa engarrafada, que movimenta em torno de US\$ 450 milhões por ano (Queiroz 2004).

Muito embora as águas subterrâneas mostrem sua importância na *matriz hídrica* do país, ela ainda é pouco explorada. O potencial das águas subterrâneas é enorme, sobretudo quando se analisa que, em escala global, 98 % das reservas de água doce e líquida se encontram em aquíferos. Essa grande capacidade de armazenamento e resistência contra longos períodos de estiagem, como os que se observam, com maior frequência, devidos às mudanças climáticas, fazem dos recursos hídricos subterrâneos um grande aliado na redução dos estresses hídricos que populações têm enfrentado ou ainda enfrentarão.

Na direção da gestão sustentável dos recursos hídricos, a Lei nº 9.433/97, da Política Nacional de Recursos Hídricos, representou o marco jurídico de uma nova forma de pensar o aproveitamento dos recursos hídricos, a partir de uma visão sustentável, considerando a administração descentralizada e a participação da sociedade civil. A criação desta lei e os avanços obtidos em sua implementação ao longo dos últimos 12 anos foram significativos e reforçados pela crescente importância que a sociedade vem atribuindo aos recursos hídricos. Entretanto, embora na lei esteja explícita a visão da gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas na bacia hidrográfica, a apreciação dos gestores e mesmo dos usuários é o da competição entre os recursos, mais do que sua integração. Assim, contemplar separadamente mananciais superficiais e subterrâneos representa, além de uma simplificação, uma limitação na efetiva solução dos problemas que a sociedade exige resposta (Zoby & Matos 2002). As águas subterrâneas não devem, nesse contexto, serem vistas apenas como uma coadjuvante no abastecimento de água de cidades, comunidades ou mesmo de um empreendimento, mas como uma alternativa de igual importância como manancial e sob o ponto de vista econômico.

O objetivo desse trabalho é discutir esses temas mostrando o uso e as potencialidades do recurso hídrico subterrâneo no país, indicando as alternativas para uma exploração integrada e otimizada, beneficiando o ambiente, a sociedade e a economia.

AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL

As reservas renováveis de água subterrânea no Brasil, ou seja, suas recargas efetivas, alcançam $42.289 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ($1.334 \text{ km}^2 \text{ a}^{-1}$) e correspondem a 24 % do escoamento dos rios em território nacional (vazão média anual de $179.433 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) e 49 % da vazão de estiagem (considerada como a vazão de estiagem com 95 % de permanência). Somente os 27 principais aquíferos sedimentares, que ocupam 32 % da área do país, totalizam a $20.473 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Essa gigantesca vazão de água é distribuída, de forma simplificada, em dois grandes grupos, a saber: aquíferos de rochas e materiais sedimentares e aquíferos de rochas fraturadas (ANA 2005a, 2005b, Hirata *et al* 2006).

Aquíferos de rochas sedimentares: os terrenos sedimentares ocupam cerca de 4,13 milhões de km^2 , ou seja, 48,5 % do país, associando-se às grandes bacias sedimentares do Proterozóico/Paleozóico, Proterozóico/Mesozóico e Paleozóico e às bacias menores do Mesozóico e Cenozóico (Fig. 1, Tab. 1). Nesses terrenos, encontram-se 27 sistemas aquíferos de porosidade granular e, subordinadamente, cársticos e fraturados, com área de afluência ou de recarga de 2,76 milhões de km^2 (32 % do país). A principal bacia sedimentar proterozóica brasileira é a do rio São Francisco, a qual compreende dois sistemas aquíferos importantes de dimensões regionais, o Sistema Aquífero Bambuí (Neoproterozóico) e o Sistema Aquífero Urucuia-Areado (Cretáceo), totalizando 175 mil km^2 . As maiores bacias brasileiras têm idade paleozóica e são: *Bacia do Paraná* (Ordoviciano a Cretáceo, com 1 milhão de km^2 na porção brasileira), ressaltando os sistemas aquíferos Bauru-Caiuá, Guarani, Tubarão, Ponta Grossa e Furnas; *Bacia do Parnaíba* (Siluriano a Cretáceo, com 600 mil km^2), destacando-se os sistemas aquíferos Itaperucu, Corda, Motuca, Poti-Piauí, Cabeças e Serra Grande; e *Bacia do Amazonas* (Ordoviciano a Terciário, com 1,3 milhões de km^2), com os sistemas aquíferos Boa Vista, Solimões e Alter do Chão (Fig. 1). As bacias sedimentares do Mesozóico têm dimensões menores do que as do Paleozóico, concentram-se nas regiões costeiras ou próximas a elas e são, em geral, de grande espessura, podendo alcançar milhares de metros (Fig. 1).

Aquíferos em sistemas fraturados: os terrenos cristalinos pré-cambrianos, que se comportam como aquíferos fraturados típicos, ocupam a área de cerca de 4,38 milhões de km^2 (aproximadamente 51,5 % do território brasileiro) e coincidem, em grande parte, com o Cráton do Amazonas e os cinturões de dobramento do Neoproterozóico, englobando parte do embasamento do Cráton do São Francisco (Fig. 1, Tab. 2). O embasamento dos crátons e cinturões de dobramento

está constituído, predominantemente, por rochas de alto grau metamórfico (gnáisses-migmatitos-granito e granulito), com rochas máficas e ultramáficas subordinadas, ademais de restos de associações metavulcanossedimentares de baixo a médio grau metamórfico. Os cinturões de dobramento são intrudidos por granitos e constituídos por rochas metassedimentares (terrigenas e carbonáticas) ou metavulcanossedimentares (vulcânicas, terrígenas e carbonáticas) em fácies metamórficas variadas de xisto verde a anfibolito. Basaltos e diabásios da Formação Serra Geral (Eocretáceo) da Bacia do Paraná constituem, em conjunto com as rochas pré-cambrianas, os principais aquíferos fraturados do país.



Figura 1. Crátons brasileiros com faixa dobradas e seus limites.

De forma geral, os aquíferos do país apresentam excelente a boa qualidade natural de suas águas em quase todo o seu território. A química natural é controlada, basicamente, pelas rochas e sedimentos que conformam o aquífero e pelo clima na área de recarga. As unidades hidrogeológicas da região norte, por exemplo, onde a chuva é abundante, apresentam águas ácidas, bicarbonatadas e de baixa mineralização. As rochas cristalinas caracterizam-se por apresentar águas bicarbonatadas cálcicas e cálcica-magnesianas. Os aquíferos próximos à região costeira são, em oposição às águas interiores, mais ricos em íons cloreto e sódio (Hirata *et al.* 2006).

Regionalmente é possível identificar problemas associados ao excesso de alguns íons, que localmente podem limitar a utilização das águas do aquífero. As principais anomalias químicas são (Zoby 2008):

- em áreas de ocorrência de rochas calcárias, são observados problemas localizados de elevada dureza e/ou sólidos totais dissolvidos, como é o caso dos sistemas aquíferos Bambuí e Jandaíra;

- em sistemas aquíferos localizados nas porções mais coníferas de algumas bacias sedimentares, sob condições de circulação lenta, o enriquecimento por sais minerais em profundidade pode criar restrições ao aproveitamento da água pela salinidade total, como observado nos sistemas aquíferos Guarani (Paraná e Rio Grande do Sul), Açu e Serra Grande;
- adicionalmente, existem minerais cuja dissolução, localizada, gera águas com concentrações acima do padrão de potabilidade. É o caso do ferro nos sistemas aquíferos Alter do Chão, Missão Velha e Barreiras e do manganês nos sistemas aquíferos Bambuí, Guarani e Serra Geral. É conhecida ainda a ocorrência de elevados teores de cromo em águas no noroeste do Estado de São Paulo, no Sistema Aquífero Bauru-Caiuá.

Nos terrenos cristalinos, os problemas de qualidade natural das águas subterrâneas estão concentrados no semi-árido nordestino (Zoby 2008) e referem-se à sua alta salinidade. O uso de dessalinizadores viabiliza o aproveitamento dos poços com água, sendo que a osmose reversa tem sido o processo mais utilizado nesse sentido.

APROVEITAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

Realizar a gestão efetiva do recurso hídrico em uma bacia hidrográfica exige, basicamente, o conhecimento da disponibilidade hídrica tanto em qualidade quanto em quantidade das demandas de águas. Além disso, de um cadastro de usuários, da vulnerabilidade à poluição dos aquíferos e de uma classificação de fontes potenciais de contaminação que ameaçam a qualidade de tanto das águas superficiais quanto das subterrâneas.

Com relação à água subterrânea, o conhecimento da disponibilidade hídrica subterrânea é bastante limitado em escala nacional e os poucos estudos regionais estão defasados (Zoby & Matos 2002).

O primeiro mapa hidrogeológico do país foi elaborado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (1983). Rebouças (1988) sintetizou as informações disponíveis sobre os aquíferos mais importantes. Posteriormente, a Agência Nacional de Águas (ANA 2005a, 2005b) realizou duas publicações que apresentam uma síntese de dados regionais sobre a qualidade das águas, reservas e produtividade dos principais sistemas aquíferos do país. Mais recentemente, em 2007, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) apresentou um mapa dos domínios e subdomínios hidrogeológicos em um sistema de informações geográficas, na escala 1:2.500.000.

Em relação aos estudos regionais, a mais completa caracterização regional de aquíferos no Brasil foi realizada no Nordeste, no período de 1965 a 1975, pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e constituiu o “Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste”. Merecem destaque ainda, dentro do contexto nacional, os “Estudos das águas subterrâneas das regiões administrativas do Estado de São Paulo” realizados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica, no período de 1972 a 1983.

O quadro acima demonstra a falta de políticas públicas para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. A carência de estudos hidrogeológicos no país também reflete as densidades demográficas e os graus de escassez das águas superficiais em relação às demandas impostas pela população e pelas atividades econômicas. Por isso, os maiores níveis de informação estão concentrados nos domínios metropolitanos (Rebouças 1999).

Esse aspecto fica bastante evidente quando se verifica a expressiva quantidade de estudos em escala local, sobretudo em alguns estados das regiões Sudeste e Sul. Embora ainda aquém das reais necessidades, os órgãos de meio ambiente estaduais têm exigido investigações para a caracterização da contaminação em solo e águas subterrâneas. Em São Paulo, por exemplo, há 2.514 áreas declaradamente contaminadas (CETESB 2009), muitas das quais têm também sua remediação em curso e, inclusive, algumas poucas já foram devidamente finalizadas. Desta for-

Tabela 1. Caracterização geral e produtividade de aquíferos sedimentares brasileiros (Hirata et al, 2006). Os valores de profundidade de poços (Prof), vazão (Q) e vazão específica (Q/d) representam os percentis (25 e 75%) da mediana. P = número de poços consultados.

Caracterização geral				Produtividade de poços							
BACIA	Sistema Aquífero	Tipo de Aquífero	Litologia	Aquífero Livre				Aquífero confinado			
				Prof (m)	Q (m³/h)	Q/d (m³/h/m)	P	Prof (m.)	Q (m³/h)	Q/s (m³/h/m)	P
AMAZONAS	BOA VISTA	Poroso e Livre	Areias, concreções lateríticas e níveis conglomeráticos	33-40 (34)	19,8-40,0 (30)	2,41-8,89 (3,15)	9				
	SOLIMÕES	Poroso e Livre	Siltitos e bancos de arenitos	38-62 (45)	10,2-36,7 (24,5)	0,97-5,22 (1,63)	36				
	ALTER DO CHÃO	Poroso e Livre	Arenitos argilosos e siltosos	85-189 (140)	9,4-68,0 (26,4)	0,35-2,26 (0,94)	145				
PARECIS	PARECIS	Poroso e Livre	Arenitos finos a médios, níveis conglomeráticos e lentes de siltitos	100-112 (104)	72,0-283,0 (128,4)	5,76-15,36 (9,1)	8				
MESOZOICAS/ CENOZOICAS	BARREIRAS	Poroso, Livre e Confinado	Arenitos limo-argilosos e siltitos	20-51 (33)	4,0-18,0 (9,3)	0,31-4,83 (2,11)	140	37-66 (50)	2,6-10,6 (5,0)	0,16-1,35 (0,56)	167
	BEBERIBE	Poroso, Livre e Confinado	Arenitos com intercalações de siltitos	162-220 (200)	23,3-36,8 (26,0)	0,96-1,42 (1,10)	4	181-302 (250)	31,7-113,1 (72,0)	1,36-3,87 (2,59)	21
	Jandaíra	Cárstico-fraturado	Calcários com intercalações de siltitos, argilitos limonitas e arenitos calcários	72-120 (100)	2,2-7,2 (4,5)	0,07-2,46 (0,29)	180				
	AÇU	Poroso e Confinado	Arenitos finos e limo-argilosos e níveis de siltitos					59-535 (289)	6,4-32,2 (11,0)	0,65-4,78 (1,24)	16
	MARIZAL	Poroso, Livre e Confinado	Arenitos grossos a conglomeráticos com níveis de argilas e calcários	98-150 (118)	6,8-22,6 (12,7)	0,53-3,27 (1,35)	43	96-178 (142)	7,4-21,2 (13,5)	0,52-2,78 (0,95)	42
	SÃO SEBASTIÃO	Poroso, Livre e Confinado	Arenitos médios a grossos com níveis de siltitos e argilitos	83-152 (119)	10,0-26,8 (16,5)	0,46-3,72 (2,06)	59	106-203 (164)	13,6-44,0 (24,0)	0,62-2,95 (1,38)	109
	INAJÁ	Poroso, Livre e Confinado	Arenitos finos a médios com níveis de argilas e siltos	83-136 (118)	2,1-4,0 (3,3)	0,13-0,35 (0,24)	30	157-227 (187)	7,1-15,8 (10,2)	0,26-1,47 (0,77)	7
	TACARATU	Poroso e Livre	Arenitos finos a grossos com níveis de conglomerados e argilas	50-134 (73)	2,5-7,0 (5,0)	0,21-0,62 (0,47)	27				
	MISSÃO VELHA	Poroso e Confinado	Arenitos finos a grossos	76-83 (80)	4,2-8,6 (5,1)	0,43-0,85 (0,57)	3	53-84 (73)	4,1-19,0 (12,0)	0,29-2,57 (1,38)	15
	SÃO PAULO ¹	Poroso, semi confinado	Arenitos, conglomeráticos, siltosos	100-175 (134)	5,8-26,4 (13,0)	0,18-1,76 (0,5)	165				
	taubaté ²	Poroso, semi confinado	Arenitos, conglomerados, siltosos	124-175 (150)	16,1-58,0 (30,0)	0,59-6,00 (2,1)	111				
PARANÁ	BAURU	Poroso e Livre	Arenitos finos a médios com intercalações de silte	101-160 (140)	8,0-20,7 (14,4)	0,22-0,96 (0,43)	119				
	GUARANI	Poroso, Livre e Confinado	Arenitos finos a médios	85-136 (103)	5,4-18,7 (10,2)	0,25-0,99 (0,49)	87	111-242 (154)	18,4-60,0 (35,7)	0,87-2,91 (1,82)	69
	TUBARÃO ³	Poroso, Livre, semiconfinado	Arenitos finos a médios, diamictitos, ritmitos	117-201 (151)	3-13,2 (6,8)	0,06-0,31 (0,12)	831				
	PONTA GROSSA	Poroso e Livre	Argilas com intercalações de arenitos finos	118-192 (135)	1,2-6,0 (2,4)	0,02-0,12 (0,06)	9				
	FURNAS	Poroso, Livre e Confinado	Arenitos médios a grossos	85-150 (115)	9,3-27,0 (11,6)	0,54-1,94 (1,20)	21	135-265 (175)	12,0-23,4 (15,4)	0,73-1,22 (0,94)	6
PARNAÍBA	ITAPECURU	Poroso e Livre	Arenitos finos a grossos com níveis de argilitos	60-100 (79)	5,1-16,0 (9,1)	0,25-2,35 (1,03)	116				
	CORDA	Poroso, Livre e Confinado	Arenitos médios a conglomeráticos	72-112 (84)	4,0-18,0 (8,0)	0,40-1,87 (1,07)	35	147-250 (170)	7,2-20,0 (12,0)	0,29-1,14 (0,47)	47
	MOTUCA	Poroso e Livre	Arenitos finos a médios	63-122 (80)	3,6-11,8 (6,1)	0,49-2,91 (1,90)	22				
	POTI-PIAUÍ	Poroso, Livre e Confinado	Arenitos finos a médios com níveis de argilas e limonitas	93-157 (122)	6,0-18,0 (10,0)	0,34-1,46 (0,59)	49	111-346 (159)	13,4-40,3 (31,5)	0,92-2,91 (1,12)	10
	CABEÇAS	Poroso, Livre e Confinado	Arenitos finos a grossos com níveis de argilitos	79-130 (100)	4,0-13,1 (6,0)	0,49-2,16 (1,00)	87	153-399 (233)	8,3-53,8 (26,4)	1,01-10,08 (4,37)	34
	SERRA GRANDE	Poroso, Livre e Confinado	Arenitos finos a médios com níveis conglomeráticos	107-200 (170)	2,0-6,0 (3,2)	0,06-0,33 (0,13)	111	120-180 (150)	5,9-21,0 (9,8)	0,63-2,42 (1,29)	111
SÃO FRANCISCO	URUCUIA-AREADO	Poroso e Livre	Arenitos finos a médios e níveis de siltitos e conglomerados	50-117 (86)	5,5-14,7 (7,8)	0,19-1,15 (0,53)	28				
	BAMBUÍ	Cárstico-Fraturado	Metacalcário, margas, metalimonitas e meta-argilitos	60-100 (80)	3,3-15,7 (8,8)	0,10-3,17 (0,51)	159				

ma, se há falta de políticas públicas regionais que permitiriam estabelecer as áreas de maior prioridade para os estudos de detalhe, de outro lado verifica-se que os casos pontuais de contaminação estão sendo estudados, embora de forma não sistemática pelo país.

Em relação às demandas da água subterrânea, há incerteza em relação ao número de poços existentes no Brasil. Cardoso *et al.* (2008) realizaram, utilizando diversos estudos e dados de órgãos gestores estaduais de recursos hídricos e da Agência Nacional de Águas, análises para cada unidade da federação, estimando a existência de cerca de 416 mil poços perfurados no

Tabela 2. Sistemas aquíferos fraturados pré-cambrianos e vulcânicos do Eocretáceo (Hirata et al. 2006).

Unidade Geológica	Estado, Região ou Sistema Aquífero	Poços	Percentis e Mediana								
			25%	50%	75%	25%	50%	75%	25%	50%	75%
			Profundidade (m)			Vazão (m³/h)			Vazão específica (m³/h/m)		
Faixa de dobramento e porções do Cráton do São Francisco	Região Nordeste	8329	48	59	70	0.8	2.1	5.1	0.03	0.10	0.38
	Estado de Minas Gerais	128	-	-	-	1.1	2.8	5.0	0.03	0.13	0.35
	Estado do Rio de Janeiro (2)	110	57	80	102	4.0	7.0	11.5	0.12	0.28	0.64
	Estado de São Paulo	1201	110	150	198	2.6	6.0	12.1	0.03	0.09	0.30
	São Paulo – PC1	256	130	162	210	2.0	3.8	7.5	0.02	0.05	0.12
	São Paulo – PC2	633	108	150	200	2.7	6.0	12.6	0.03	0.09	0.27
	São Paulo – PC3	303	100	134	168	4.0	8.5	16.6	0.07	0.17	0.53
Bacia Do Paraná	Serra Geral – Basalto	278	100	127	163	7.1	15.3	35.0	0.21	0.63	2.12
*	Serra Geral – Diabásio	49	90	121	157	1.8	5.5	11.0	0.02	0.13	0.4

Para cálculo dos percentis e da mediana do Escudo Oriental Semi-árido não foram computados os poços secos. * Diabásios são intrusivos na faixa de dobramento do Estado de São Paulo

Brasil desde 1958, dos quais 63 mil estariam fora de operação (aproximadamente 15 % do total). A média atual de poços perfurados é de 10.800 por ano.

No Estado de São Paulo, duas áreas tiveram sua exploração restringida por problemas de uso intenso sem planejamento ou superexploração, São as cidades de Ribeirão Preto e de São José do Rio Preto. Nessas duas localidades, foram estabelecidas normas restritivas para a perfuração de novos poços ou mesmo para a exploração das águas subterrâneas.

A falta de entendimento sobre o comportamento hidrodinâmico dos aquíferos tem dificultado, inclusive, o entendimento do que seja superexploração. Os estudos conduzidos em algumas localidades são restritos à descrição das quedas dos níveis de água em um aquífero, desconsiderando que isso é uma característica inerente à utilização do manancial subterrâneo. A real caracterização da superexploração deve considerar, necessariamente, a avaliação dos custos dos impactos ecológicos, sociais e econômicos que essa exploração provoca, ademais do próprio balanço de entradas e saídas de água do aquífero.

Na questão da demanda de água, cabe destacar também que a falta de conhecimento da participação das águas subterrâneas no abastecimento público e privado cria um problema importante. Na maioria das cidades se desconhece o total de água proveniente de poços que é explorada pelo usuário privado. Geralmente, as estimativas são subestimadas e não refletem a real dimensão da dependência que a cidade tem nos recursos hídricos subterrâneos.

Um bom exemplo é o que ocorre na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (BAT), onde está inserida a Região Metropolitana de São Paulo. O abastecimento pela rede pública, com águas de origem superficial e que suprem a quase totalidade da população, soma $64 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, enquanto os 10 mil poços em operação atendem outros $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ que, conjuntamente, totalizam a demanda de $74 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. O problema é que as instalações da concessionária de saneamento não têm capacidade de fornecer adicionalmente mais água. Caso os poços privados (que são 70 % ilegais) venham a paralisar sua exploração, quer pela superexploração quer pela contaminação, o sistema público colapsaria, pois embora representando apenas 15 % da demanda, não há mais água disponível, sem que isso exija um grande investimento de longo prazo (Hirata et al. 2002). Outro exemplo é do paradoxo que ocorre na região metropolitana de Belém, situada em uma região com elevada disponibilidade hídrica, que tem cerca de 30 % do abastecimento público suprido por águas subterrâneas, ademais de milhares de poços privados. Muitos desses poços privados são mal construídos, constituindo assim uma importante porta de entrada para a contaminação, em especial por esgotos domésticos. Por sinal, a carência de redes coletoras de esgoto nessa região acaba poluindo os diversos rios que cruzam a cidade, ampliando a pressão pela utilização das águas subterrâneas.

A realidade do país revela que o conhecimento da hidrodinâmica e da hidroquímica dos sistemas aquíferos é também bastante limitado em função do monitoramento disponível, ao contrário do que é observado em relação às águas superficiais, as quais contam com uma extensa rede de monitoramento pluviométrico, com cerca de 5.800 estações em funcionamento. Somente alguns estados têm redes de monitoramento de qualidade ou quantidade através de seus órgãos gestores de recursos hídricos ou de meio ambiente. Alguns poucos exemplos dessas redes regionais estão em operação nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Norte e no Distrito Federal. Além desses órgãos, as companhias de saneamento, que têm a água subterrânea em sua matriz hídrica, também dispõem de redes de monitoramento de qualidade, embora tais órgãos estejam muito mais interessados em verificar a potabilidade das águas de seus poços do que em avaliar a condição do aquífero como um todo.

São Paulo foi o estado pioneiro no monitoramento regional, tendo iniciado suas atividades em 1990. Atualmente, a rede conta com 180 poços de abastecimento público distribuídos no estado, incluindo a BAT, que são monitorados bianualmente por meio de 40 características físicas, químicas e microbiológicas, que incluem até compostos orgânicos (Dias *et al.* 2008). No Estado de Minas Gerais, na bacia do rio Verde Grande, a fonte do São Francisco, foi implantada, em 2004, uma rede piloto de monitoramento da qualidade da água. No Distrito Federal, o monitoramento qualitativo regional semestral foi iniciado no segundo semestre de 2006 em 150 poços em produção operados pela CAESB e inclui 27 características físicas, químicas e bacteriológicas. O monitoramento quantitativo foi iniciado em 2007 e envolve a medição do nível estático de 27 poços, alguns exclusivos para observação e outros hoje em operação (Moraes *et al.* 2008). Mais recentemente, o Projeto Aquífero Guarani estabeleceu uma rede de monitoramento para sua área de ocorrência nos quatro países, nominando responsáveis em cada estado brasileiro.

Deste relato, é óbvio que essa rede de monitoramento não atende a um mínimo necessário para o reconhecimento dos aquíferos ou de seu comportamento através do tempo e sob uso e ameaças de contaminação. Ressalta-se ademais que os poços de monitoramento são “míopes”, ou seja, podem monitorar apenas uma área de poucos metros quadrados no seu entorno. Assim, ou se estabelece uma estratégia que focalize as redes de monitoramento, onde são mais necessárias (com grande clareza de objetivos), ou se aumenta a densidade de poços e a frequência de amostragens.

Essa carência de informação básica relativa aos poços perfurados e de monitoramento traduz-se na escassez de dados confiáveis sobre a potencialidade hídrica dos sistemas aquíferos e sobre o seu estágio atual de exploração. Faltam, portanto, para o planejamento e gerenciamento efetivo dos recursos hídricos, levantamentos básicos de hidrogeologia que possam subsidiar a tomada de decisões de autoridades competentes em recursos hídricos e em saúde.

A lacuna do conhecimento sistemático da situação das águas subterrâneas no país não permite identificar e delimitar a extensão dos problemas que afetam os aquíferos e seus usuários. A contaminação antropogênica e a superexploração de aquíferos são descritos pontualmente pelo território, mas sem uma sistematização que permita extrapolar suas reais dimensões ou identificar outras áreas com igual potencialidade. É certo, entretanto, que os problemas ainda são poucos frente aos volumes e extensão dos aquíferos, mas sabe-se, também, pelas informações disponíveis, que essas questões estão avolumando em número e complexidade, impactando de forma crescente os mananciais subterrâneos.

Não existe um trabalho sistematizado de avaliação da contaminação ou da degradação antropogênica de aquíferos no país. O Estado de São Paulo é um dos pioneiros nesses estudos (Hirata *et al.* 1997), mas falta uma atualização sistemática desses estudos.

O conhecimento disponível no país indica que os principais contaminantes são: nitrato, derivados de petróleo (em especial a gasolina e os solventes clorados), metais pesados, vírus e bactérias.

O nitrato é a substância contaminante individual de maior presença nos aquíferos brasileiros.

Nas áreas urbanizadas, é reflexo da falta de sistemas de esgotamento sanitário que, no país, atinge pouco mais de 50 % da população e, em áreas com tais redes de esgoto, da falta de manutenção. Alguns estudos têm mostrado que as perdas de esgoto em redes paulistas têm superado 40 %, com um volume significativo recarregando os aquíferos. Até o momento, há poucos estudos sobre o tema, ressaltando-se aqueles descritos no Sistema Aquífero Barreiras, para as cidades de São Luís, Fortaleza, Belém e Natal (Zoby 2008), para os aquíferos cenozóicos da capital paulista (Viviani & Hirata 2008) e para várias cidades do interior paulista (Cagnon & Hirata 2002), mostrando que se trata de problema extensivo pelo país. Em áreas agrícolas, o nitrato tem origem no excesso da aplicação de fertilizantes nitrogenados. Até o momento, são desconhecidos os estudos sobre essa matéria no Brasil e as avaliações são inferências de casos relatados no exterior.

Outros compostos contaminantes das águas subterrâneas em áreas urbanas são os combustíveis líquidos derivados do petróleo. Baseado nas estatísticas do Estado de São Paulo (CETESB 2009), a contaminação pontual mais comum é advinda de estações de serviço, a partir de vazamentos de combustíveis dos tanques de armazenamento, de suas linhas ou da própria operação.

Metais pesados e solventes clorados são produtos bastante comuns na indústria e responsáveis pelas maiores e mais complexas plumas de contaminação em aquíferos. Um recente estudo foi encomendado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica à empresa Servmar Ambiental, na região sudoeste da cidade de São Paulo. Esse estudo indicou que, na área do Jurubatuba, uma antiga ocupação industrial, há várias plumas de contaminação por solventes halogenados e que muitas delas se sobrepõem, inclusive, atingindo o aquífero fraturado subjacente aos depósitos sedimentares, com fases livres de solventes clorados mais densos do que a água. Essa área foi a primeira no país a sofrer restrição na exploração por um instrumento legal devido à contaminação. Nessa localidade, nenhum poço novo pode ser perfurado e, onde a contaminação é detectada, o poço é lacrado e a área circunvizinha é proibida de perfurar novos poços.

Metais pesados e solventes clorados diversos também estão presentes em muitos aquíferos pela deposição inadequada de resíduos sólidos em lixões. Com base em estatísticas de outros países e de estudos localizados no Brasil, acredita-se que essa atividade deva ser a causa do segundo maior grupo de contaminadores de solos e aquíferos no país, proporcionalmente ao número de atividades em operação ou abandonadas.

A atividade mineral causa grandes modificações no ciclo hidrológico local, reduzindo a vulnerabilidade dos aquíferos pela retirada da zona não saturada e das camadas protetoras do solo. Uma das poucas áreas em que o conhecimento é razoável ocorre no Estado de Santa Catarina, onde a mineração de carvão afeta a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. No Estado de Minas Gerais, os estudos envolvendo os impactos hidráulicos da atividade de mineração de ferro em rios e no próprio aquífero são bem conduzidos em muitos empreendimentos, existindo uma boa rede de monitoração dos aquíferos pelas empresas responsáveis pela extração do minério.

Complementarmente, a intrusão salina é um problema que afeta os aquíferos em áreas litorâneas, resultado do desequilíbrio entre a extração de água subterrânea junto à costa e as descargas subterrâneas, necessárias para evitar o avanço da água salgada para o continente. Esse problema tem sido descrito em alguns aquíferos urbanos junto a capitais litorâneas, sobretudo no Nordeste. Exemplos podem ser citados no Sistema Aquífero Barreiras, nas cidades de São Luís, Macaíó, Fortaleza e em áreas do Estado do Rio de Janeiro (Zoby 2008). A indução de águas de baixa qualidade pelo bombeamento excessivo também é outro caso que afeta os aquíferos, como os observados no Aquífero Beberibe no Recife, em que a extração descontrolada está induzindo o movimento de águas salinizadas do Aquífero Boa Viagem em poços mal construídos (Costa *et al.* 1998). O mesmo problema também tem sido observado em alguns aquíferos situados em áreas urbanas no Estado de São Paulo, onde a porção superior está contaminada por nitrato e o bom-

beamento dos poços induz a pluma às suas porções mais inferiores, comprometendo, inclusive em alguns casos, as fontes de águas minerais.

Por fim, a presença de bactérias e vírus também é bastante comum em poços mal construídos e/ou com manutenção deficiente. A construção de poços fora do padrão recomendado pela ABNT é uma regra pelo país, o que propicia que a maioria seja um vetor de contaminação do aquífero pela conexão criada entre a superfície e a zona saturada ou, também, entre as porções mais rasas do aquífero e as mais profundas. Essa questão é particularmente mais preocupante em áreas periféricas de cidades, onde a falta de rede pública de água coloca poços de abastecimento familiar junto a fossas negras, expondo a população a grande risco.

OS DESAFIOS PARA A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

A grande importância da água subterrânea para o desenvolvimento social e econômico da população contrasta com a deficiência no conhecimento do potencial e do estágio de exploração dos aquíferos que coloca, assim, grandes desafios para a gestão adequada da água.

Um aspecto relevante a ser considerado é que a dinâmica das águas subterrâneas é distinta daquela das águas superficiais. O rio, do ponto de vista do gestor do recurso hídrico, é o “antônimo” do aquífero. O rio tem uma baixa capacidade de armazenar água, mas, por outro lado, pode entregar uma vazão instantânea muito maior do que os aquíferos. Adicionalmente, a exploração dos aquíferos é feita por poços e nascentes que, geralmente, têm vazões estáveis (pouco influenciado pela sazonalidade climática), mas, geralmente reduzidas quando comparadas às observadas em captações superficiais. O aproveitamento dessa dinâmica própria das duas manifestações da água é muito pouco utilizado no país. Mesmo em cidades que fazem uso desses dois mananciais, não há um planejamento integrado que se beneficie das vantagens de cada recurso. Em algumas cidades, como Madri (Espanha), por exemplo, o excesso de água superficial no período de chuvas ajuda a recarregar o aquífero após o período em que ele foi mais demandado, na estiagem, quando os rios estavam sem água e a água subterrânea supria a cidade.

Da mesma forma, a exploração das águas subterrâneas é caracterizada por uma menor inversão financeira inicial e por permitir soluções escalonadas (um poço após o outro) na instalação de sistemas de abastecimento de grande porte, permitindo até sistemas independentes e atomizados. As captações de água superficial necessitam, entretanto, de maiores inversões iniciais e não são tão flexíveis. Contudo, os custos do bombeamento e da energia elétrica fazem das águas subterrâneas pouco competitivas em aquíferos onde a transmissividade (produto da condutividade hidráulica e da espessura saturada do aquífero) é baixa ou onde os níveis dinâmicos sejam profundos ou mesmo onde a demanda seja elevada e os poços pouco produtivos.

Assim, é essencial repensar a matriz hídrica, tanto na escala municipal (envolvendo a concessionária e os poderes públicos locais e municipais), como na escala de bacia hidrográfica (envolvendo os comitês de bacia) e aperfeiçoá-la a partir dessa óptica, trazendo grandes benefícios econômicos, sociais e ecológicos. Nesta linha, a Agência Nacional de Águas está desenvolvendo o Atlas de Abastecimento Urbano de Água, que visa a otimizar a escolha do manancial e a propor alternativas técnicas para o suprimento de água dos municípios brasileiros até o horizonte do ano 2015.

O uso desses conceitos no abastecimento público ou privado não foi ainda aplicado em qualquer localidade no país. Mas, uma janela de oportunidade ocorre em muitos de seus municípios. As concessionárias fornecem água à população através da rede pública (tanto com origem superficial quanto subterrânea). A população, com seus poços tubulares, é complementarmente suprida por água subterrânea. Embora de forma não intencional, a concessionária acaba por se beneficiar desse aporte adicional de água, pois, em muitos casos, ela não tem a capacidade de suprir toda a demanda da população. O grande problema é que esse processo não é planejado

e o conhecimento da real dependência desse aporte adicional é, muitas vezes, subestimado. Essa falta de planejamento acaba por trazer problemas adicionais, que poderiam ser evitados, incluindo a contaminação da água dos poços (quer por má construção da captação, quer pela contaminação na área de captura do poço) e a superexploração, inclusive atingindo os poços da própria concessionária.

O disciplinamento do uso da água subterrânea através de um programa efetivo de licença de perfuração e outorga, junto com a cobrança dos serviços de esgoto, a que as concessionárias têm direito e poderia amortizar parte dos investimentos em infra-estrutura, e com um eficiente programa de comunicação social envolvendo os usuários, poderia constituir a base para uma exploração adequada dos recursos subterrâneos. As concessionárias ou associações de usuários de água subterrânea poderiam auxiliar o dono da captação a tirar melhor proveito do seu poço, reduzindo gastos e impactos ambientais e dando mais fôlego às concessionárias que, assim, amortizariam os problemas de sazonalidade da demanda de água ou, então, diminuiriam os investimentos de curto e médio prazo na instalação de obras e sistemas de tratamento e reservação de água. Num segundo momento, o poder público municipal (associado ou não ao comitê de bacia) deveria buscar a otimização de todo esse sistema de forma integrada.

Uma diferença também importante entre os dois recursos está na dificuldade da descontaminação (remediação) de aquíferos, comparativamente aos corpos de água superficial. Embora a qualidade natural das águas subterrâneas seja excelente e atenda em muitos casos a potabilidade, a reduzida velocidade de circulação das águas através do meio poroso ou das fraturas e a complexa geometria dos poros e sua heterogeneidade fazem com que sua descontaminação para alguns tipos específicos de compostos, como fase livre de solventes clorados, seja quase impossível, exceto pela retirada física do meio aquífero. Essa característica faz com que programas de proteção da qualidade devam ser norteados à prevenção, muito mais eficiente do que a recuperação de aquíferos.

O controle do uso e ocupação do solo, por meio da restrição e da regulamentação das atividades antrópicas, é uma das estratégias de proteção das águas subterrâneas e pode ter dois enfoques (Foster *et al.* 2002). O primeiro é a proteção geral de um aquífero, identificando áreas mais vulneráveis à contaminação, de forma a promover um controle regional do uso do solo em toda a sua extensão, sobretudo na zona de afluência. O segundo enfoque é a proteção pontual, voltada à captação de água subterrânea, geralmente um instrumento bastante comum às concessionárias de água.

No Brasil, ainda são escassos os estudos sobre a questão de proteção e vulnerabilidade de aquíferos (Zoby 2008). O Estado de São Paulo propôs, de forma pioneira, critérios técnicos para a adoção de perímetros de proteção de poços (Hirata 1994, Iritani 1998). Em algumas regiões do país com expressiva demanda por água, já foram realizados estudos para determinação da vulnerabilidade e/ou do perigo de contaminação como na porção noroeste da área metropolitana de Belém, no aquífero Serra Geral em Londrina e no Aquífero Beberibe, no setor norte da Região Metropolitana de Recife ou mesmo nas regiões metropolitanas de Campinas e de São Paulo e nas cidades de São José do Rio Preto, Itu e Sorocaba, no Estado de São Paulo.

Cabe destacar, complementarmente, que a proteção das águas subterrâneas depende diretamente das atividades antropogênicas e, portanto, só se torna eficiente se adotada conjuntamente dentro dos planos diretores de uso e ocupação dos solos dos municípios.

Mais recentemente, o enquadramento das águas subterrâneas, aprovado em abril de 2008 pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) por meio da Resolução nº 396/2008, constitui um novo instrumento legal, de abrangência nacional, para a proteção das águas subterrâneas. Posteriormente, em dezembro desse mesmo ano, passou pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) a Resolução nº 91/2008, que trata dos procedimentos gerais para o enquadra-

mento das águas superficiais e subterrâneas, norma esta inovadora na gestão integrada de recursos hídricos. Cabe salientar que, até então, as águas subterrâneas não eram alvo de classificação e enquadramento.

Assim, se estabelece um paradoxo em que a falta de uma avaliação ampla e sistemática do potencial dos aquíferos é, ao mesmo tempo, causa e efeito da ausência de política do setor (Hirata *et al.* 2006). Os programas de proteção, quando existentes, estão muito defasados com respeito à sua importância real. Nesse sentido, a definição e implementação de políticas consistentes e pragmáticas de proteção das águas subterrâneas é urgente em todos os estados brasileiros. Essa política deve priorizar a definição de zonas críticas onde:

- a exploração das águas subterrâneas seja realizada de forma intensa;
- o recurso hídrico subterrâneo seja insubstituível por outras fontes de água; e
- exista uma clara presença de fontes potenciais de contaminação que ponha em perigo os aquíferos.

Nessas zonas críticas, deveriam ser priorizados os estudos de detalhe com vistas à solução do problema. Nos primeiros dois casos, o conhecimento da hidráulica e da potencialidade do recurso e das demandas a que estão sujeitas as águas subterrâneas permitirá definir a melhor forma de exploração do recurso, inclusive com o disciplinamento de perfurações de poços e sua exploração, através de outorgas dadas pelo órgão gestor.

No terceiro caso, o enfoque é dirigido à proteção da qualidade das águas subterrâneas. Nesse caso, a delimitação de áreas críticas deverá ser realizada através de mapas de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos, para a proteção do próprio aquífero, e de perímetro de proteção de poços ou fontes para a proteção de mananciais de abastecimento público ou estratégico. Essas delimitações, juntamente com o cadastro de fontes potenciais de contaminação, permitirão identificar quais áreas apresentam maior perigo e demandam atenção ambiental; e estabelecer, nesses locais, o monitoramento regional ou priorizar estudos de detalhe.

Adicionalmente, apresentam-se como importantíssimas a avaliação econômica do recurso hídrico subterrâneo e os custos econômicos, sociais e ecológicos envolvidos em sua exploração, inclusive aqueles associados à superexploração e à contaminação de aquíferos.

A educação ambiental voltada para recursos hídricos e, em especial, à água subterrânea, é também um instrumento relevante para a gestão. É através dela que a atual e as futuras gerações poderão entender o papel do recurso hídrico subterrâneo e, assim, valorizar a água em sua forma menos visível, mas igualmente importante.

Por fim, embora os recursos hídricos subterrâneos exerçam um papel fundamental para o desenvolvimento humano no país, sua gestão atualmente não faz jus ao seu caráter estratégico. O desafio que se impõe aos gestores públicos, à sociedade e aos usuários de água, é de construir e articular ações que traduzam uma nova forma de relação entre homem, solo e água.

REFERÊNCIAS CITADAS

- Agência Nacional de Águas (ANA). 2005a. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. Brasília. Disponível em: < <http://www.ana.gov.br/sprtew/recursoshidricos.asp> >
- Agência Nacional de Águas (ANA). 2005b. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Brasília. Disponível em: < <http://www.ana.gov.br/sprtew/recursoshidricos.asp> >
- Cagnon, F. & Hirata, R. 2004. Source of nitrate in the groundwater of Admantina Aquifer in Urânia (SP, Brazil). In: IAH International Congress, 2007, Lisboa. Proceedings of IAH International Congress. Lisboa: International Association of Hydrogeologists.

- Cardoso, F., Oliveira, F., Nascimento, F., Varella Neto, P. & Flores, P. 2008. Poços tubulares construídos no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15, Natal. Natal: ABAS. CD-ROM.
- CETESB 2009. Áreas declaradas contaminadas no Estado de São Paulo. Site www.cetesb.sp.gov.br, acessado em março de 2009.
- CPRM. 2007. Mapa de Domínios/Subdomínios Hidrogeológico do Brasil Escala 1:2.500.000. CD-Rom.
- Costa Filho, W., Santiago, M., Costa, W. & Mendes Filho, J. 1998. Isótopos estáveis e a qualidade das águas subterrâneas na planície do Recife. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 10, São Paulo. São Paulo: ABAS. CD-ROM.
- Dias, C., Barbour, E., Modesto, R. & Casarini, D. 2008. A importância do monitoramento das águas subterrâneas na gestão dos recursos hídricos. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15, Natal: ABAS. CD-ROM.
- DNPM. 1983. Mapa hidrogeológico do Brasil, 1:5.000.000.
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M. & Paris, M. 2002. Groundwater quality protection. The World Bank, Washington, 103 p.
- Hirata, R. 1994. Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas: estudo de casos no Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Hirata, R., Bastos, C. & Rocha, G. 1997. Mapeamento da vulnerabilidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo, São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. V. 2. 1ª ed.
- Hirata, R., Ferrari, L., Ferreira, L. & Pedre, M. 2002. La explotación de las aguas subterrâneas en la cuenca hidrográfica del Alto Tietê: crónica de una crisis anunciada. Boletín Geológico y Minero 113(3): 273-282.
- Hirata, R., Zobbi, J., Fernandes, A. & Bertolo, R. 2006. Hidrogeología del Brasil: una breve crónica de las potencialidades, problemática y perspectivas. Boletín Geológico y Minero 217(1): 25-36.
- Iritani, M. 1998. Modelação matemática tridimensional para a proteção das captações de água subterrânea. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Moraes, L., Santos, R. & Souza, M. 2008. Monitoramento das águas subterrâneas como instrumento de gestão: o caso da CAESB, DF. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15, Natal. Natal: ABAS. CD-ROM.
- Queiroz, E. 2004. Diagnóstico de águas minerais e potáveis de mesa do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 13, Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS. CD-ROM.
- Rebouças, A. 1988. Ground water in Brazil. Episodes 11(3): 209-214.
- Rebouças, A. 1999. Águas Subterrâneas. In: Rebouças A., Braga B., Tundisi J. (eds.) Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo, Escrituras Editora. p. 117-150.
- Viviani, J., Hirata, R. & Aravena, R. 2008. Estimation of groundwater recharge in the Metropolitan Region of São Paulo, SP, Brasil. In: IAH International Congress, 2007, Lisboa. Proceedings of IAH International Congress. Lisboa : International Association of Hydrogeologists.
- Zoby, J. 2008. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15, Natal: ABAS. CD-ROM.
- Zoby, J. & Matos, B. 2002. Águas subterrâneas no Brasil e sua inserção na Política Nacional de Recursos Hídricos. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 12, Florianópolis: ABAS. CD-ROM.

10

DISPONIBILIDADE, POLUIÇÃO E EUTROFIZAÇÃO DAS ÁGUAS

DISPONIBILIDADE, POLUIÇÃO E EUTROFIZAÇÃO DAS ÁGUAS

Corina Sidagis Galli¹

Donato Seiji Abe¹

RESUMO

O aumento populacional somado à diversificação dos usos múltiplos, às retiradas permanentes de água para diversas finalidades e à perda dos mecanismos de retenção de água tem diminuído, consideravelmente, sua disponibilidade e produzido inúmeros problemas de escassez. No meio urbano, este quadro é agravado pelo crescimento de ocupações irregulares e pela falta de sistema de saneamento, que intensificam o processo de degradação da qualidade da água, prejudicando o uso dos recursos hídricos como fonte de abastecimento de água. Esses e outros aspectos relacionados à disponibilidade e à degradação dos recursos hídricos pela ação antropogênica serão discutidos neste capítulo.

Palavras chave: disponibilidade e demanda de água, poluição, eutrofização.

ABSTRACT

Population growth coupled with the diversification of multiple uses, permanent intake of water for various purposes and the loss of the mechanisms of water retention has decreased their availability and produced numerous shortages. In urban areas this situation is worsened by the growth of irregular occupation and lack of sanitation system, which enhance the degradation of water quality and affecting the water systems as sources of water supply. These and other aspects related to availability and degradation of water resources by human activities are discussed in the present chapter.

Keywords: water availability, water demand, water pollution, eutrophication.

¹ IIEGA, Associação Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental, Rua Bento Carlos, nº 750, 13560-660, São Carlos, SP, Brasil. www.iie.com.br

DEMANDA E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO BRASIL

O Brasil se destaca pela grande descarga de água doce dos rios em seu território, cuja vazão média anual é de 179 mil $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, o que corresponde a, aproximadamente, 12 % da disponibilidade hídrica mundial. Porém, devido às dimensões continentais do país, há grandes disparidades regionais em termos de disponibilidade hídrica superficial. A região Amazônica detém, por exemplo, cerca de 70 % dos recursos hídricos superficiais em uma área equivalente a 44 % do território nacional, ocupada por apenas 4,5 % da população brasileira. A região costeira do Nordeste Oriental, ocupada por 13 % da população, tem apenas 0,5 % de água disponível, sendo que na região costeira Sudeste, ocupada por 15 % da população, existe apenas 2 % da água. Outras regiões, mesmo apresentando elevada disponibilidade hídrica, também apresentam deficiências. A divisão hidrográfica Paraná, apesar de ser classificada como confortável em termos da relação demanda/disponibilidade hídrica (MMA 2006), apresenta setores muito críticos, sobretudo no Estado de São Paulo. Um exemplo típico é a bacia do Alto rio Tietê, cujo índice de pluviosidade média anual é significativo, correspondendo a 1.410 mm (CETESB 2009), porém, cuja demanda hídrica é extremamente elevada em função da alta densidade demográfica, uma vez que a Região Metropolitana de São Paulo, que abriga cerca de 18 milhões de habitantes, está quase que totalmente inserida nessa bacia. Além disso, devido ao solo pouco poroso característico do maciço cristalino, com baixa capacidade de retenção de águas pluviais, reforçada pelo processo de impermeabilização resultante da intensa urbanização, os volumes extraídos dos cursos de água e dos lençóis freáticos dificilmente são recompostos e, como consequência, os municípios da bacia enfrentam enchentes nos períodos de chuvas fortes. Além da baixa capacidade de retenção do solo, há o problema da degradação das águas em virtude da deficiência da coleta e do tratamento de esgotos produzidos na bacia, haja vista a grande quantidade de ocupações irregulares que apresentam sistemas de saneamento precários, inclusive nas áreas de proteção de mananciais. Este conjunto de fatores faz com que a disponibilidade hídrica por habitante por ano na bacia do Alto rio Tietê seja muito reduzida, da ordem de apenas $200 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, ou seja, muito aquém da demanda para o consumo da população residente na bacia, quando o índice crítico, segundo a Organização Mundial da Saúde é de $1.500 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Jacobi *et al.* 2009). Situação semelhante é verificada na unidade hidrográfica Piracicaba-Jundiaí (Fig. 1), também ocupada densamente e que, portanto, sofre as mesmas consequências. Essa unidade hidrográfica tem, ainda, o agravante do desvio de parte das águas da bacia para suprir o déficit hídrico da Região Metropolitana de São Paulo, a partir do Sistema Cantareira de abastecimento, que atende a metade da população ali residente.

Tabela 1. Disponibilidade e demanda hídrica nas divisões hidrográficas do território brasileiro.

Divisão Hidrográfica Nacional	Disponibilidade (m ³ /s)	Demanda (m ³ /s)	Relação Demanda / Disponibilidade	Classificação
Amazônia	73748	47	0,06%	Excelente
Atlântico Leste	305	68	22,30%	Crítica
Atlântico Nordeste Ocidental	328	15	4,57%	Excelente
Atlântico Nordeste Oriental	91	170	186,81%	Muito Crítica
Atlântico Sudeste	1108	168	15,16%	Preocupante
Atlântico Sul	671	240	35,77%	Crítica
Paraguai	785	19	2,42%	Excelente
Paraná	5792	479	8,27%	Confortável
Paraíba	379	19	5,01%	Confortável
São Francisco	1886	166	8,80%	Confortável
Tocantins-Araguaia	5362	55	1,03%	Excelente
Uruguai	565	146	25,84%	Crítica

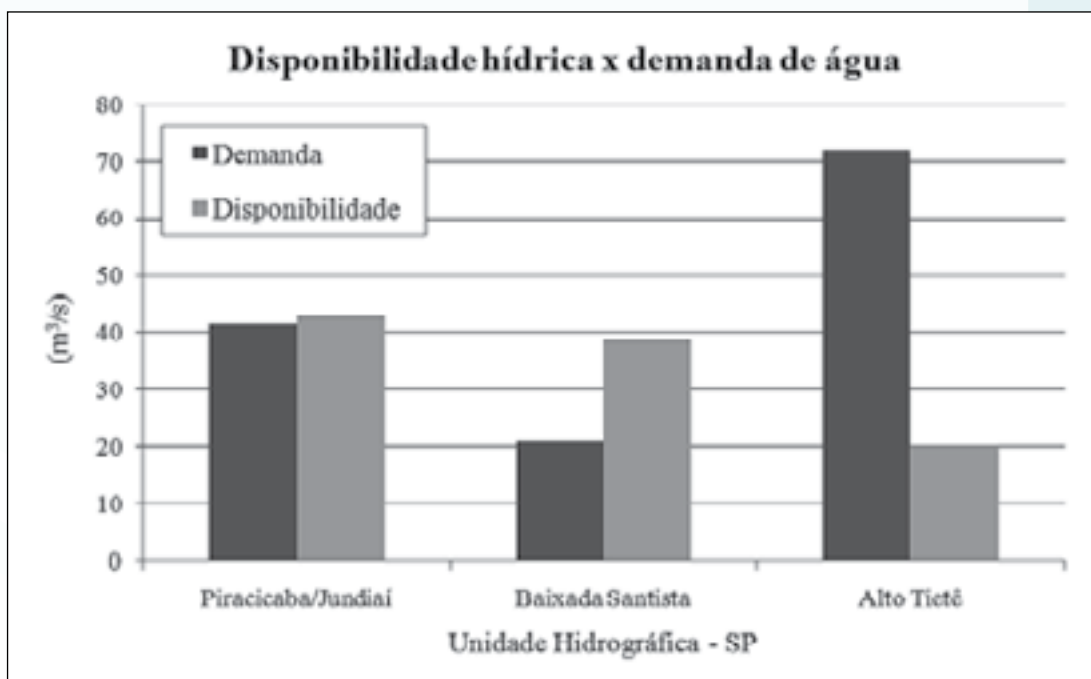


Figura 1. Disponibilidade hídrica e demanda de água nas unidades hidrográficas de gerenciamento Piracicaba-Jundiaí, Baixada Santista e Alto Tietê, Estado de São Paulo. Fonte: Mancini (2008).

A BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL

A bacia do rio Paraíba do Sul se destaca por sua localização entre os maiores pólos industriais e populacionais do país e, como consequência, apresenta multiplicidade de usos da água, gerando conflitos. Somente na porção paulista, a bacia do Paraíba do Sul abriga cerca de 2 milhões de habitantes, o que corresponde a quase 5 % da população do Estado. Outro aspecto importante da bacia do Paraíba do Sul refere-se ao desvio de suas águas para a bacia hidrográfica do rio Guandu, na qual está localizada a Estação de Tratamento de Águas Guandu, que trata cerca de $45 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de água para 8,5 milhões de habitantes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (MMA 2006). A Estação Elevatória de Santa Cecília, que entrou em operação em 1952, tem capacidade para desviar até $160 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de água do rio Paraíba do Sul, o equivalente a cerca de 54 % da vazão natural do rio no local, cuja afluência é garantida por diversos reservatórios localizados à montante, tais como Paraibuna, Santa Branca, Jaguari e Funil. De acordo com MMA (2006), a divisão entre a vazão bombeada para a bacia do Guandu e para jusante do rio Paraíba do Sul gera escassez e conflitos pelo uso dos recursos hídricos visto que, por um lado, está o abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, além de indústrias e outros usuários; e, por outro lado, as diversas cidades e usuários, com destaque para o trecho imediatamente à jusante da estação sujeito, em situações de afluências críticas, a vazões baixas e consequente deterioração da qualidade de suas águas. Os usuários à montante ficam, por seu turno, condicionados ao atendimento da vazão afluente para Santa Cecília. Após a criação da ANA, as condições de operação têm sido definidas por essa agência e compartilhadas com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (NOS), de forma articulada com os comitês de bacia e com os demais atores envolvidos, tais como os usuários de recursos hídricos, o poder público em todas as suas esferas e os órgãos da sociedade civil.

Aumento do consumo da água embutida na produção de alimentos e produtos industrializados: água virtual

Baseado nos prognósticos apresentados no relatório do Programa Mundial de Avaliação dos Recursos Hídricos (UNESCO 2009), os maiores fatores controladores no setor de recursos hídricos mundial, gerados pelas atividades humanas, serão as alterações demográficas e o aumento dos padrões de consumo, resultantes do aumento da renda 'per capita', em especial nos países com crescimento econômico crescente e elevada população atual. O aumento da renda permitirá maior consumo geral da população e mais água será necessária para a produção de alimentos e de outros bens e serviços. Nessa perspectiva, segundo Tucci (2009), a água passará a ser uma importante mercadoria no mercado mundial, embutida na produção de alimentos e produtos industrializados (água virtual), fazendo com que países como o Brasil, com disponibilidade de terra, água e capacidade produtiva, tenham valorização de seu mercado. Porém, o autor alertou para o fato de que a gestão ainda não deu o valor devido a esse produto dentro da cadeia produtiva, sendo esse o grande desafio a ser enfrentado, visando a dar mais eficiência, sustentabilidade e retorno econômico.

POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

A saúde ambiental de um corpo de água é afetada pelas atividades humanas desenvolvidas em suas bacias hidrográficas, incluindo: (1) lançamento de esgotos domésticos; (2) recepção da água de chuva, que escoar por áreas agrícolas e sobre solos sujeitos a erosão; (3) recepção de água de chuva proveniente de regiões com poluição atmosférica como, por exemplo, chuvas ácidas; (4) percolação do chorume de lixões próximos aos corpos de água; (5) compostos tóxicos oriundos de pesticidas utilizados na agricultura e no reflorestamento; e (6) águas contaminadas por xenobióticos, compostos orgânicos resistentes e traços de produtos farmacêuticos (Bernhardt 1990). Todos esses fatores induzem à degradação da qualidade da água, à perda de diversidade biológica e ao desperdício de recursos hídricos (Straškraba & Tundisi 2008). Segundo esses mesmos autores, existe uma forte relação entre o grau de poluição e a densidade populacional e os três fatores que governam essa relação são: (1) urbanização, (2) industrialização e (3) desenvolvimento da agricultura em larga escala. O aumento populacional e a conseqüente urbanização reduzem, junto com o aumento das áreas agrícolas, a capacidade de retenção de água das bacias hidrográficas e a redução da capacidade natural de retenção dos poluentes.

No Brasil, a utilização das águas superficiais como fonte de abastecimento público continua sendo a alternativa de manancial mais utilizada. Baseadas nas informações da ANA (2003), 56 % do total dos municípios do país utilizam águas superficiais pelo menos como uma das alternativas de mananciais. Entretanto, observa-se que essa alternativa é a que está mais exposta às fontes de poluição e contaminação. Observaram-se, por exemplo, uma ou mais formas de poluição ou contaminação em 26,7 % do total de municípios com captações superficiais, sendo que em 14,24 % deles foram verificadas contaminações por despejo de esgotos domésticos e em 16,22 % por resíduos agrotóxicos. Uma das conseqüências desse fato é o elevado grau de turbidez verificado em alguns corpos hídricos superficiais, especialmente os localizados nas regiões metropolitanas, que recebem continuamente excessivo grau de matéria orgânica. A carga orgânica doméstica remanescente estimada para o país é de 6.377 ton DBO dia⁻¹, sendo que apenas os dois maiores centros populacionais do país, as regiões metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro, são responsáveis por cerca de 20 % desse total. Com relação às cargas orgânicas de origem animal, cumpre destacar as provenientes da suinocultura, especialmente na região hidrográfica do Uruguai, onde está concentrado o maior rebanho do Brasil. Nesta região, a carga orgânica remanescente gerada por suínos e lançada nos corpos de água supera a carga orgânica de origem humana.

CUSTO DO TRATAMENTO EM FUNÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

O aumento da degradação da qualidade da água afeta diretamente o custo de tratamento. A consequência direta deste fato está no aumento da quantidade de produtos químicos necessários para seu tratamento, haja vista a necessidade da manutenção da qualidade da água a ser disponibilizada para o abastecimento. No Sistema Guarapiranga, por exemplo, cuja produção de água tratada é de $14 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para abastecer 3,8 milhões de pessoas da Região Metropolitana de São Paulo, houve um aumento da quantidade de produtos químicos de 20 % de 2001 para 2004 (Fig. 2), tornando, como consequência, os custos mais elevados, com reflexo para o consumidor final. Situação bem distinta é verificada no Sistema Cantareira, no qual a quantidade de produtos químicos para tratamento manteve-se, praticamente, constante, uma vez que a ocupação humana na bacia não cresceu de forma tão significativa no período.

Porém, além do aumento quantitativo na utilização de produtos químicos para o tratamento, a degradação da qualidade da água dos mananciais demanda processos de tratamento mais sofisticados como, por exemplo, a utilização de carvão ativado para remoção do gosto e do odor da água; e de permanganato de potássio para degradação da matéria orgânica. Tais processos encarecem ainda mais os custos para tratamento da água.



Figura 2. Quantidade de produtos químicos utilizados para o tratamento de água na Região Metropolitana de São Paulo entre 2001 e 2004. Fonte: SABESP.

EUTROFIZAÇÃO

A eutrofização de corpos de águas interiores consiste no enriquecimento com nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, que entram como solutos e se transformam em partículas orgânicas e inorgânicas. O crescimento acelerado e a maior abundância de plantas aquáticas causam, frequentemente, deterioração da qualidade hídrica e crescimento de grandes volumes de algas, inclusive de cianobactérias potencialmente tóxicas, tornando-se um risco à saúde do ecossistema, além de implicar em aumento no custo do tratamento da água para abastecimento.

O aumento das cargas de nutrientes nas águas interiores normalmente decorre de alterações nos mananciais, tais como: remoção de florestas, desenvolvimento agrícola e industrial, mas, principalmente, pelo aumento da urbanização (UNEP-IETC 2001). A relação entre urbanização e

eutroficação foi claramente evidenciada no Projeto “Brasil das Águas”, no qual foram amostrados 1.162 pontos em corpos de água do território brasileiro utilizando um avião anfíbio. As maiores concentrações de fósforo total foram observadas nas regiões hidrográficas Nordeste Oriental, Costeira Sul, Costeira Sudeste, Paraná e Costeira Leste, que apresentam maiores densidades demográficas e cuja população representa 75 % do total nacional (Abe *et al.* 2006).

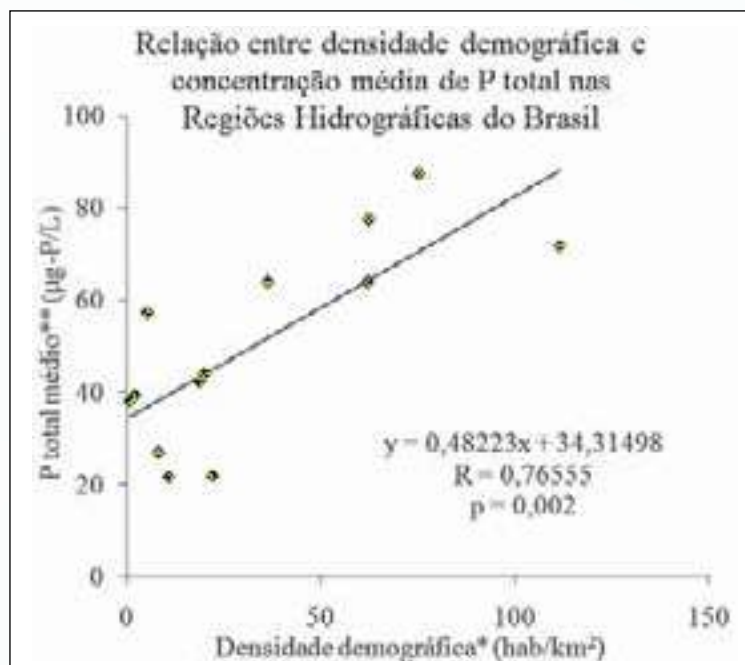


Figura 3. Relação entre densidade demográfica e concentração média de fósforo total nas regiões hidrográficas brasileiras. (*) dados do Censo 2000 do IBGE. (**) dados obtidos em 1.162 pontos nos corpos de água em todo o território brasileiro pelo Projeto Brasil das Águas. Adaptado de Abe *et al.* (2006).

Uma das consequências mais evidentes do aumento do estado trófico de um corpo de água, sobretudo em reservatórios de abastecimento localizados nas regiões metropolitanas, é a floração de algas, que interferem no processo de tratamento e alteram o sabor e o odor da água tratada. Considere-se que algumas espécies, especialmente de cianobactérias, são potencialmente tóxicas e podem inviabilizar a utilização dos corpos de água como mananciais para abastecimento público e outros usos essenciais, em razão do risco de causar sérios impactos à saúde humana. A ocorrência desse fenômeno não está restrita aos mananciais hídricos das grandes cidades. Pesquisadores já identificaram a presença de várias espécies de cianobactérias em açudes do semi-árido nordestino em função da elevada temperatura e da deficiência no sistema de saneamento da região (Bouvy *et al.* 2000, Costa *et al.* 2006, Panosso *et al.* 2007). De fato, estudos evidenciaram o maior favorecimento de cianobactérias e de florações tóxicas em lagos temperados da Europa com o aumento das temperaturas durante o verão, sob influência do aquecimento global (Bicudo & Bicudo 2008), mesmo após terem passado por processos de restauração com a redução da carga de fósforo. Tais estudos apontaram para o agravamento da eutroficação e a menor eficácia dos processos de recuperação de sistemas lênticos continentais em decorrência do aquecimento global.

Uma recente revisão feita por Smith & Schindler (2009) destacou a eutroficação cultural como o maior problema da atualidade em corpos de água superficiais, considerado-a como um dos exemplos mais visíveis das alterações causadas pelo homem à biosfera. Além dos efeitos extensamente descritos causados pelo aporte excessivo de fósforo e nitrogênio em lagos, reservató-

rios e rios (Tabela 1), os autores descrevem outros efeitos diretos e indiretos causados pela eutrofização cultural. Por exemplo, em muitos corpos de água, o aumento do aporte de N e P pode acelerar o processo de biodegradação de produtos petroquímicos, hidrocarbonetos aromáticos e pesticidas, uma vez que o aumento do estado trófico promove o aumento da biomassa bacteriana e, como consequência, ocorre um aumento na diversidade de substratos orgânicos, os quais as bactérias são capazes de metabolizar. Ao mesmo tempo, o aumento do aporte de nutrientes pode influenciar a abundância, a composição, a virulência e a sobrevivência de agentes patógenos residentes nos ecossistemas aquáticos. Por exemplo, o aumento da disponibilidade de N e P no meio aquático promove o aumento da taxa de duplicação de vírus aquáticos. Da mesma forma, o aumento da eutrofização pode promover o aumento na abundância de vetores do *Vibrio cholerae* e de algumas espécies de copépodos influenciando, assim, a probabilidade da ocorrência de epidemia de cólera em populações humanas suscetíveis à doença.

Tabela 1. Efeitos potenciais da eutrofização cultural causados pela entrada excessiva de nitrogênio e fósforo em lagos, reservatórios e regiões costeiras. Adaptado de Smith & Schindler (2009).

Efeitos da eutrofização
• Aumento da biomassa do fitoplâncton e de macrófitas aquáticas. • Aumento da biomassa dos consumidores. • Crescimento de espécies de algas potencialmente tóxicas ou não comestíveis. • Crescimento da biomassa de algas bentônicas e epifíticas. • Alterações na composição de espécies de macrófitas. • Aumento da frequência de mortalidade de peixes. • Diminuição da biomassa de peixes e moluscos cultiváveis. • Redução da diversidade de espécies. • Redução da transparência da água. • Gosto e odor e problemas no tratamento de água para abastecimento. • Depleção de oxigênio dissolvido. • Redução do valor estético do corpo de água.

EUTROFIZAÇÃO E EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

O aumento da carga de matéria orgânica e de nutrientes nos corpos de água promove, também, um aumento na emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera. Com o aumento da produção de biomassa pelo aumento do aporte de nutrientes, há também um aumento da quantidade de biomassa formada por organismos mortos ou por partículas fecais que afundam e se acumulam nos sedimentos dos reservatórios. Com esse acúmulo de matéria orgânica nos sedimentos, há um aumento na ciclagem de nutrientes, principalmente de carbono, nitrogênio e fósforo, a qual é mediada por microrganismos que, em última instância, acaba resultando na produção, acúmulo e emissão de gases como CO_2 , CH_4 e N_2O . Estudos realizados por Abe *et al.* (2008a) demonstraram que reservatórios mais eutrofizados apresentam maiores fluxos difusivos de gases de efeito estufa, quando comparados com reservatórios menos eutrofizados. No Reservatório de Furnas, no Estado de Minas Gerais, por exemplo, verificaram-se concentrações de matéria orgânica, nitrogênio total Kjeldhal e fósforo total superiores no braço Sapucaí quando comparado com os valores observados no braço Grande. O braço Sapucaí do Reservatório de Furnas recebe maior impacto em relação ao braço Grande em função da grande ocupação humana na sua bacia hidrográfica. Foram observados, como consequência, fluxos difusivos de CO_2 e CH_4 superiores no braço Sapucaí do Reservatório de Furnas em comparação com os valores do braço Grande.

Nos reservatórios do Médio rio Tietê, no Estado de São Paulo, foi realizado um estudo para verificar se o estado trófico dos reservatórios está relacionado com a emissão de gases de efeito estufa na interface água-ar (Abe *et al.* 2009). Tendo em conta que os reservatórios do Médio rio Tietê dispostos em cascata apresentam um gradiente decrescente de eutrofização, ou seja, o Reservatório de Barra Bonita é classificado como eutrófico-hipereutrófico, o Reservatório de Ibitinga como eutrófico e o Reservatório de Promissão como oligotrófico-mesotrófico, os autores verificaram que os fluxos máximos de CH_4 , CO_2 e N_2O foram observados no Reservatório de Barra Bonita, ou seja, o mais eutrofizado dos dois, e os menores fluxos no Reservatório de Promissão (Fig. 5). Os autores também observaram que os fluxos difusivos de CH_4 e N_2O apresentaram alta correlação com as concentrações de nitrogênio total e fósforo total nos diferentes reservatórios, o que demonstrou que as taxas de emissão destes gases estão diretamente relacionadas ao grau de eutrofização do sistema.

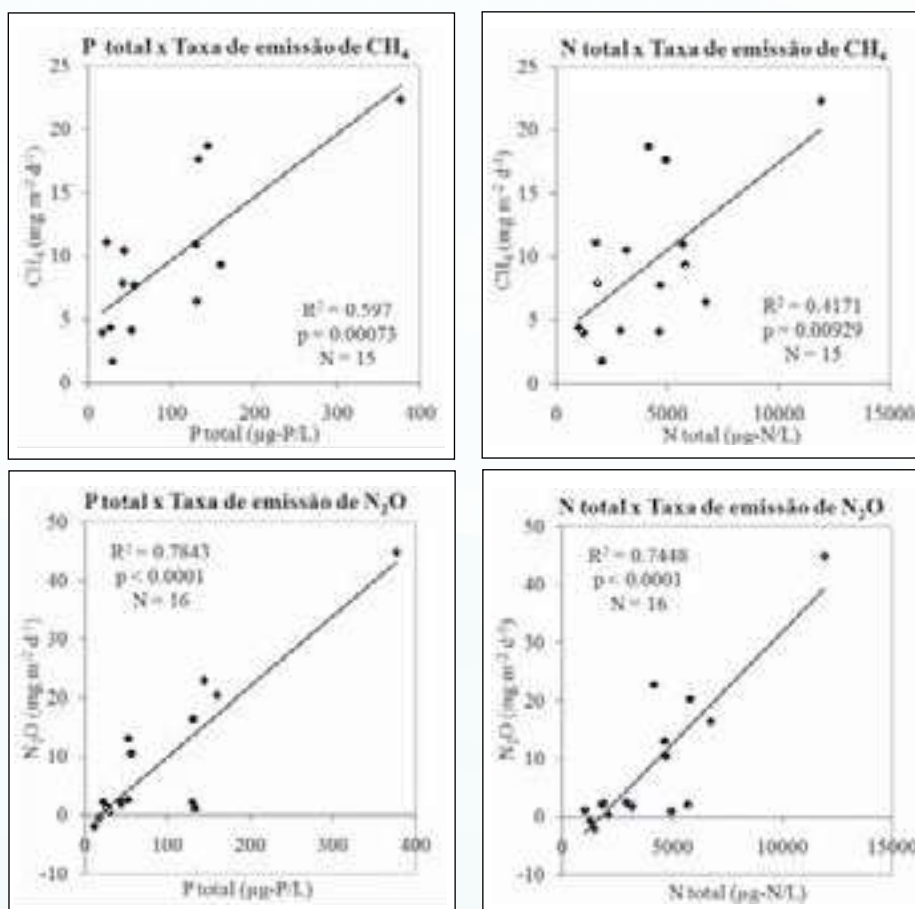


Figura 4. Correlação entre o nitrogênio total, o fósforo total e as taxas de emissão de CH_4 e N_2O através da interface água-ar nos reservatórios do Médio rio Tietê. Fonte: Abe *et al.* (2008a).

Deve-se considerar, fundamentalmente, que as elevadas emissões de gases de efeito estufa nos reservatórios do Médio rio Tietê têm sua origem na falta de gerenciamento dos recursos hídricos à montante dessas bacias e não na presença dos reservatórios em si. Caso houvesse tratamento satisfatório de esgotos domésticos e industriais na Região Metropolitana de São Paulo, por exemplo, tais emissões no Reservatório de Barra Bonita seriam semelhantes ou até inferiores às emissões observadas no Reservatório de Promissão (Fig. 14). Esses resultados demonstraram que o gerenciamento dos recursos hídricos visando à redução da eutrofização tornou-se imperativo não apenas para evitar impactos mais evidentes, tais como redução da biodiversidade aquática, mortandade de peixes e florações de cianobactérias potencialmente tóxicas, como

também para a reduzir as emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera e, consequentemente, a diminuição do aquecimento global.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme abordado no presente capítulo, O Brasil apresenta grandes disparidades regionais em termos de disponibilidade hídrica superficial. A situação torna-se crítica em regiões de elevada densidade demográfica em função da grande demanda, porém, agravada pelo processo de deterioração da qualidade das águas resultante das atividades antropogênicas existentes nas bacias, que resultam no aumento dos custos para tratamento ou mesmo impossibilitando a sua utilização para abastecimento.

O processo de degradação mais evidente dos recursos hídricos no território brasileiro é o resultante do aporte de esgotos domésticos, uma vez que o índice de tratamento continua sendo muito baixo, agravando o processo de eutrofização. Além de resultar em impactos já conhecidos, tais como a perda da biodiversidade aquática, o surgimento de florações de cianobactérias potencialmente tóxicas, o crescimento excessivo de macrófitas aquáticas, a anoxia e a mortandade de peixes, o aumento da eutrofização principalmente dos reservatórios trás como consequência o aumento da emissão de gases de efeito estufa e, enfim, o agravamento do processo de aquecimento global. Neste sentido, ações urgentes devem ser direcionadas para minimizar os efeitos da eutrofização nos sistemas aquáticos, sobretudo quanto ao tratamento de esgotos domésticos, baseadas em programas estratégicos aliando conhecimento científico com políticas públicas, ações essas que já vêm sendo realizadas com resultados positivos pela Comunidade Européia, baseadas no estabelecimento de metas para melhorar a qualidade ecológica das águas.

REFERÊNCIAS CITADAS

- Abe, D.S., Tundisi, J.G., Matsumura-Tundisi, T., Tundisi, J.E.M., Sidagis Galli, C., Teixeira-Silva, V., Afonso, G.F., Von Haehling, P.H.A., Moss, G. & Moss, M. 2006. Monitoramento da qualidade ecológica das águas interiores superficiais e do potencial trófico em escala continental no Brasil com o uso de tecnologias inovadoras. *In*: Tundisi, J.G., Matsumura Tundisi, T. & Sidagis Galli, C. (orgs) Eutrofização na América do Sul: causas, consequências e tecnologias para gerenciamento e controle. Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, p. 225-239.
- Abe, D.S., Sidagis Galli, C. & Tundisi, J.G. 2008a. Emissões de gases de efeito estufa em reservatórios de hidrelétricas. *In*: Straškraba, M. & Tundisi, J.G. (orgs) Diretrizes para o Gerenciamento de lagos: gerenciamento da qualidade da água de represas. Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, v. 9, p. 249-272. (2ª edição).
- Abe, D.S., Sidagis Galli, C., Matsumura-Tundisi, T., Tundisi, J.E.M., Grimberg, D.E., Medeiros, G.R., Teixeira-Silva, V. & Tundisi, J.G. 2009. The effect of eutrophication on greenhouse gas emissions in three reservoirs of the Middle Tietê River, Southeastern Brazil. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 30: 822-825.
- ANA (2003). Plano Nacional de Recursos Hídricos. Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos <<http://www.ana.gov.br/pnrh/index.htm>> (disponível em 21 de abril de 2009).
- ANA. 2005. Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil. Cadernos de Recursos Hídricos, vol. 1. Ministério do Meio Ambiente, Agência Nacional de Águas. Brasília, 2005, 175 p.
- Bernhardt, H. 1990. Control of reservoir water quality. *In*: Hahn, H.H. & Klute, R. (eds) Chemical water and wastewater treatment. Springer, Berlin.

- Bicudo, C.E.M. & Bicudo, D.C. 2008. Mudanças climáticas globais: efeitos sobre as águas continentais. In: Buckeridge, M.S. (org.) *Biologia e mudanças climáticas no Brasil*. RiMa Editora, São Carlos, p. 151-165.
- Bouvy, M., Falcão, D., Marinho, M., Pagano, M. & Moura, A. 2000. Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquatic Microbial Ecology* 23: 13-27.
- CETESB. 2009. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2008 / CETESB. São Paulo, 2008. 528 p.
- Costa, I.A.S., Azevedo, S.M.F.O., Senna, P.A., Bernando, R.R., Costa, S.M. & Chellappa, N.T. 2006. The occurrence of toxin-producing cyanobacteria blooms in a Brazilian semi-arid reservoir. *Brazilian Journal of Biology* 66: 211-219.
- Jacobi, P.R., Fracalanza, A.P. & Campos, V.N.O. 2009. Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. GovÁgua USP < <http://www.usp.br/procam/govagua/altotiete.php> > (acessível em 18 de outubro de 2009).
- Mancini, R.M. 2008. Gestão de recursos hídricos no Estado. Palestra apresentada no Urban Age São Paulo Workshop, 04 de abril de 2008, São Paulo.
- MMA. 2006. Plano Nacional de Recursos Hídricos: síntese executiva. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília, 2006, 135 p.
- Panosso, R., Costa, I.A.S., Souza, N.R., Attayde, J.L., Cunha, S.R.S. & Gomes, F.C.F. 2007. Cianobactérias e cianotoxinas em reservatórios do estado do Rio Grande do Norte e o potencial controle das infestações pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Oecologia Brasiliensis* 11: 433-449.
- Smith, V.H. & Schindler, D.W. 2009. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends in Ecology and Evolution* 24: 201-207.
- Straškraba, M. & Tundisi, J.G. (orgs). 2008. Diretrizes para o gerenciamento de lagos: gerenciamento da qualidade da água de represas. Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, vol. 9, 300 p. (2ª edição).
- Toledo Jr, A.P. 1990. Informe preliminar sobre os estudos para a obtenção de um índice para a avaliação do estado trófico de reservatórios de regiões quentes tropicais. Relatório Interno CETESB, São Paulo, 12 p.
- Tucci, C.E.M. 2009. Crise da água e desafios reais. Blog do Tucci <<http://blog.rhama.net/2009/06/28/crise-da-agua-e-desafios-reais>> (disponível em 18 de julho de 2009).
- UNEP-IETC. 2001. Planejamento e gerenciamento de lagos e represas: uma abordagem integrada ao problema de eutrofização. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, 385 p. (edição em português).
- UNESCO. 2009. Water in a changing world. The United Nations, World Water Development Report 3. UNESCO Publishing, Paris, 318 p.

11

CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E RECURSOS HÍDRICOS: OPORTUNIDADES PARA O FUTURO

CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E RECURSOS HÍDRICOS: OPORTUNIDADES PARA O FUTURO

José Galizia Tundisi¹
Takako Matsumura Tundisi²

RESUMO

Destaca-se, neste trabalho, a necessidade de promover uma integração mais efetiva de Ciência, Tecnologia e Inovação com a gestão integrada de recursos hídricos e a governança da água. Investimentos em pesquisa nas áreas de contaminação e eutrofização, poluentes orgânicos persistentes, tecnologias de monitoramento e estudos de bioindicadores deverão promover uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos ao nível de bacias hidrográficas. Tecnologias para dessalinização e reúso da água promoverão avanços na redução da demanda e na economia regional da água. Para a organização de cenários, a aplicação de modelos ecológicos e matemáticos será fundamental na escolha de novas oportunidades e alternativas de gestão. Ademais, a valoração econômica dos serviços dos ecossistemas pode acrescentar novas perspectivas para o uso de instrumentos econômicos para a gestão das águas. Interação mais efetiva entre ecólogos, limnólogos e engenheiros é necessária para uma visão sistêmica; e a aplicação dos estudos estratégicos deve promover novas possibilidades na gestão integrada e preditiva, em nível de bacias hidrográficas.

Palavras-chave: ciência, tecnologia, inovação, recursos hídricos, bacias hidrográficas, gestão integrada.

ABSTRACT

The need for including Science, Technology and Innovation in the planning and integrated management of freshwater resources is presented and discussed in this paper. Research, Technology and Innovation are a fundamental component of the whole management process: improving technology for eutrophication and contamination abatement, development of new

¹ Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, SP. tundisi@iie.com.br; Professor Titular, Centro Universitário FEEVALE, Novo Hamburgo, RS.

² Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, SP. takako@iie.com.br

desalination technologies and water reuse and advances in monitoring and implementation of data bank. Water governance at watershed scale is a fundamental advance in management, and this can be supported by a network of “capacity competence” in watersheds, consisting of a strong Science and Technology component at this level. Integration of ecologists, engineers and limnologists is needed for these advances.

Key-words: science, technology, innovation, watersheds, management, water resources

INTRODUÇÃO

A relação disponibilidade/demanda regula o ciclo da água nos continentes e regiões, especialmente levando em conta as necessidades da população humana e o impacto de suas atividades nos recursos hídricos. A qualidade de vida e a saúde humana, o desenvolvimento econômico regional e do Brasil dependem não só de disponibilidade de água, mas de sua qualidade. Quantidade e qualidade de água são, portanto, indissociáveis, e desta relação depende o futuro desenvolvimento econômico e social do Brasil.

Apesar dos progressos indiscutíveis na gestão das águas no Brasil, como demonstrado por Braga *et al.* (2006), e dos avanços tecnológicos e de conhecimento científico que ocorreram nos últimos 10 anos (Tundisi & Matsumura-Tundisi 2008), ainda é necessário um investimento expressivo em Ciência, Tecnologia e Inovação, para suprir o sistema de gestão de recursos hídricos, com uma base científica e tecnológica capaz de consolidar os avanços já verificados e promover novas perspectivas para o futuro. Neste trabalho, procura-se discutir o papel da Ciência, da Tecnologia e da Inovação como um dos componentes e marcos necessários para a implantação de novos e criativos processos de abordagens na gestão, monitoramento, aplicação de tecnologias e resolução de problemas na tarefa de disponibilizar quantidades adequadas de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, com a melhor qualidade no rumo e, portanto, da sustentabilidade ambiental.

O VALOR ECONÔMICO DA ÁGUA

O valor econômico da água está, como ressaltaram Lanna & Braga (2006), relacionado com a dependência das sociedades humanas dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, principalmente em relação aos usos múltiplos e à escassez. Esta escassez, que depende do ciclo hidrológico regional e da relação disponibilidade/demanda, pode não estar só relacionada com os aspectos quantitativos, mas, se houver poluição excessiva a água se tornará indisponível pelo custo do tratamento. Portanto, poluição dos recursos hídricos pode ser também causa da escassez.

Um dos problemas mais discutidos pelos economistas que trabalham com os “valores naturais” é a concepção dos valores dos recursos hídricos. A distinção entre valor econômico, preço e valores de mercado é, no caso da água, fundamental.

Água é essencial à vida humana e a toda a vida e biodiversidade do planeta. Este valor contrapõe-se ao “valor de mercado”, ou seja, à valoração em termos monetários.

Entretanto, a valoração da água como “recurso natural” disponível para usos múltiplos requer outras concepções e abordagens. Em 1956, o Estado da Califórnia, nos Estados Unidos, contratou uma companhia de consultoria para avaliar os benefícios recreacionais da água associados a um planejamento sobre a Água no Estado da Califórnia (Hanemann 2006). Foi realizado um estudo sobre os visitantes de lagos naturais no Estado e o quanto estes gastavam para visitar, fazer observações, recreação e lazer. A estas primeiras avaliações seguiram outras que procuraram demonstrar o valor dos ecossistemas naturais e seus usos múltiplos, especialmente a água de

rios, lagos, represas artificiais e áreas alagadas. O valor econômico da água está, como afirmam Baumann & Boland (1998) e Barlow & Clarbe (2002), entre um valor de “commodity” como outras (alimento, habitação, roupas) e um “valor natural”, do qual dependem todas as espécies do planeta para sua sobrevivência. A água tem um significado especial muito além das “commodities” como alimento e terra, para agricultura, por exemplo.

Esta avaliação econômica da água é, portanto, essencial para o futuro: agricultura e produção de alimentos, energia, transporte são alguns dos usos múltiplos das águas no Brasil que necessitam de uma avaliação econômica do papel que os recursos hídricos superficiais e subterrâneos exercem nas economias regionais e do Brasil. Conflitos sobre o uso da água para irrigação, por exemplo, em relação ao abastecimento público, já ocorrem em certas regiões do Brasil (Lanna & Braga 2006) demonstrando a necessidade de uma avaliação progressiva desta economia dependente da água. Tundisi *et al.* (2009) realizaram uma avaliação econômica das represas Guarapiranga e Billings, na Região Metropolitana de São Paulo, e destacaram valores como produção de água para abastecimento, fontes de recreação e turismo e investimentos em residências permanentes para turismo. Vergara (1996) realizou uma avaliação do valor econômico da represa UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) em Itirapina, Brotas, e concluiu um valor de R\$ 320.000.000,00 (trezentos e vinte milhões de reais, valor corrigido para 2009) em investimentos para recreação e turismo.

Os usos diversificados e múltiplos da água no Brasil necessitam de permanente avaliação e acompanhamento. Por exemplo, o consumo de água típico em sistemas de irrigação (Tabela 1) pode ser comparado com os diferentes tipos de tecnologia utilizada e a quantidade de água demandada pelas diferentes tecnologias.

Tabela 1. Consumo de água em sistemas de irrigação.

Método de irrigação	Vazão contínua (L s ⁻¹ ha ⁻¹ 24 h)	Consumo diário (m ³ ha ⁻¹)	População equivalente (habitantes)
Gotejamento	0,35 a 0,50	30 a 44	300 a 400
Microaspersão	0,50 a 0,70	44 a 61	440 a 610
Aspersão (todos os tipos)	1,00	86,4	864
Injeção	1,20	103,6	1036
Inundação	2,00 a 2,50	Maior que 121	Maior que 1210

Fonte: Lanna & Braga (2006)

A cobrança pelos usos da água, portanto, tem um fundamento econômico bem dirigido e prático. A Tabela 2 mostra, por exemplo, a relação da água consumida por arroz e cana de açúcar como base para uma cobrança pelo seu uso.

Tabela 2. Consumo de água para arroz e cana de açúcar.

Arroz	Cana de açúcar
Ciclo: 120 dias	Ciclo: 270 dias
Consumo: 2,0 L s ⁻¹ ha ⁻¹ =	Consumo: 0,71 L s ⁻¹ ha ⁻¹ =
20.136 m ³ ano ⁻¹ ha ⁻¹	16.600 m ³ ano ⁻¹ ha ⁻¹
Eficiência: 40%	Eficiência: 39%
DBO: nenhum	DBO: nenhum

ha: hectare; L: litros. Fonte: Lanna & Braga (2006)

Além disto, a valoração dos sistemas naturais de recursos hídricos precisa avançar para dar condições de uma gestão mais eficiente e integrada além do valor econômico (Whately & Hercowitz 2008). É fundamental realizar uma gestão da água baseada em instrumentos econômicos, os quais deverão se acentuar à medida que incidem mais usos múltiplos e aumenta a escassez. Há, naturalmente, uma tendência para acentuar o valor econômico da água com o aumento dos usos múltiplos.

E o outro instrumento de gestão relacionada com o valor dos recursos hídricos está relacionado ao “valor natural”, que deve incluir a mobilidade da água e seus fluxos, variabilidade da água regional e nos ciclos hidrológicos e as variações espaciais em suprimento disponibilidade/demanda para os usos múltiplos.

A avaliação econômica dos impactos da poluição dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos nos custos do tratamento da água para abastecimento é outro avanço necessário. Avaliações realizadas demonstraram que o custo do tratamento de águas dos mananciais para torná-las potáveis varia de R\$ 2,00 (dois reais) a R\$ 400,00 (quatrocentos reais) por mil metros cúbicos tratados. Esta diferença é o custo econômico da poluição dos mananciais. Deve ser registrado que este custo é somente de produtos químicos necessários ao tratamento e não em infraestrutura (Tundisi 2003).

Outros dois problemas merecem atenção com relação à água e economia. O primeiro é a perda econômica com a poluição, como já foi mencionado. Além dos custos do tratamento, o impacto na saúde humana deve ser mensurado. O segundo problema, que necessita investigação científica e tecnológica, é o valor estratégico dos recursos hídricos para o Brasil. Os usos múltiplos e a dependência da água para a sustentabilidade do Brasil necessitam desta avaliação para decisões estratégicas de longo prazo.

RECURSOS HÍDRICOS E A NATUREZA: OS CICLOS ECOLÓGICOS E OS RECURSOS HÍDRICOS: TEORIAS E SUAS APLICAÇÕES NA GESTÃO.

Os ecossistemas proporcionam serviços para espécie humana que são extremamente relevantes para o suprimento de água. Florestas ripárias e de cabeceiras, regulam o fluxo de água, reduzem o transporte de matéria em suspensão para os rios e condicionaram a recarga dos aquíferos. Áreas alagadas funcionam como “filtros” purificando a água e regulando fluxos e enchentes. Rios e lagos são fontes de proteína animal. Todos estes “serviços ambientais” têm um benefício direto relacionado com comunidades locais (MEA 2003).

A abordagem mais abrangente e promissora com relação à água e suas relações com os ecossistemas naturais é a de fluxos ambientais que está relacionada com o regime hídrico e suas interações com rios, áreas alagadas e lagos naturais. Estes fluxos ambientais dos quais o ciclo hidrológico são, por um lado, parte fundamental regulam as características físicas, químicas e biológicas dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e, por outro, formam a base para o Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos, tendo como fundamento as bacias hidrográficas e seu fluxo (Fig. 1).



Figura 1. Séries históricas das vazões no rio Xingu. Esta série histórica do ciclo hidrológico mostra como as vazões, variáveis anualmente, podem ser fatores fundamentais no controle dos ciclos biogeoquímicos, químicos e biológicos. Fonte: EIA/RIMA/AHE Belo Monte (2009).

É fundamental conhecer de uma forma mais profunda, cientificamente, a relação entre o estado dos ecossistemas e a infra-estrutura dos recursos hídricos. Os ecossistemas não são somente “usuários econômicos” dos recursos hídricos, mas também são parte da cadeia de suprimento e disponibilidade de água (Bergkamp 2006).

Deve-se ressaltar que o desenvolvimento da vida no planeta Terra explorou o ambiente aquático e a disponibilidade da água em muitos e diferentes caminhos. A água é fonte e sumidouro de gases, íons, sais minerais e matéria orgânica dissolvida e particulada. A água como solvente universal tem um conjunto enorme de substâncias dissolvidas de origem natural e artificial produzido pelas inúmeras e diversificadas atividades humanas. Todos os organismos apresentam vesículas orgânicas que contêm água e soluções de substâncias orgânicas e inorgânicas sendo sua composição controlada por membranas permeáveis e transporte através destas membranas.

A água tem um papel importante na dissolução dos solos e a composição iônica de rios e lagos esta relacionada com a hidrogeoquímica regional. Por outro lado, animais aquáticos desde protozoários até vertebrados, têm uma relação fundamental com a água, sua composição química e suas características físicas como a turbulência.

A precipitação é uma das características fundamentais do planeta Terra. A cada ano, a precipitação transfere para os continentes 108.000 km³ de água com baixa composição mineral e que são drenados em diferentes escalas. A continuidade dos processos reside na água interferindo na morfologia dos continentes, rios e lagos, transportando substâncias e mantendo os fluxos é fundamental. A interferência humana tem provocado alterações nesses ciclos da água e seu funcionamento com os ecossistemas terrestres e aquáticos.

Garcia-Novo & Garcia-Bouzas (2006) apresentaram as seguintes consequências em intervenções humanas nos ciclos essenciais da água e no funcionamento dos ecossistemas:

- Eutroização de águas continentais.
- Eutroização de águas costeiras.
- Novas moléculas orgânicas dissolvidas na água e adicionadas aos efluentes domésticos: hormônios, medicamentos, antibióticos e controladores de pressão arterial.
- Demandas crescentes de água nas regiões urbanas e nas áreas agrícolas.
- Demandas crescentes na indústria.
- Introdução de espécies exóticas em sistemas aquáticos de todos os continentes.
- Fragmentação de rios, devido à crescente construção de cadeias de reservatórios.
- Alteração técnica e super-exploração de organismos aquáticos, afetam o ciclo hidro-social e tradições culturais relacionadas a rios e lagos.
- Navegação e transporte: alteram habitats, poluem rios, lagos e represas, descarregam águas de lastro introduzindo espécies exóticas.

Esses processos ocorrem no Brasil em várias escalas, maior ou menor intensidade nas diferentes regiões, latitudes e ecossistemas naturais e artificiais do país demandando, portanto, ações de pesquisa e inovação e rápida aplicação. Todos estes processos demandam investimentos em pesquisa e inovação, com aprofundamento do conhecimento científico dos ciclos hidrológicos, biogeoquímico e hidro-social, estudos sobre bioindicadores e seus usos regionais. Demandam ações diversificadas com metodologia e equipamentos de alto nível para identificar e monitorar poluentes orgânicos persistentes dissolvidos na água dos mananciais. Demandam também pesquisas sobre toxicidade de cianobactérias e o controle efetivo da eutroização e novas tecnologias para a recuperação de bacias hidrográficas, rios e represas (PNUMA/IIIE 2008, AIIEGA, PMSP/SVMA 2009) são necessárias em maior escala e com mais intensidade (Tundisi & Straškraba 1999).

Muitos avanços foram feitos nestas áreas nos últimos 20 anos no Brasil (Bicudo *et al.* 2006, Agostinho *et al.* 2007). Há necessidade não só de aprofundar os estudos, mas promover a transferência contínua de princípios, conceitos e teoria para as aplicações. Isto significa que a transferência de princípios ecológicos para soluções tecnológicas deve ser acelerada e a linguagem e os conceitos de engenheiros, ecólogos e limnólogos devem ser compatibilizados (Straškraba *et al.* 1993, Tundisi & Straškraba 1995). O monitoramento das águas subterrâneas e os estudos sobre a fonte de contaminação de poços profundos são também essenciais nesses contextos.

AS BASES TECNOLÓGICAS PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Os três grandes problemas que afetam a gestão de recursos hídricos no Brasil e que necessitam de forte suporte acadêmico são:

- Melhor compreensão das interações entre os sistemas terrestres (usos e ocupação do solo) e os sistemas aquáticos.
- Um constante e crescente desequilíbrio entre disponibilidade de água e demanda.
- Uma crescente contaminação e eutroização, tornando indisponíveis volumes expressivos de água, especialmente nas regiões Sudeste e Sul.

A seguir apresenta-se uma discussão sobre os insumos de pesquisa necessários para resolver estes problemas cruciais:

4.1. Enfrentando os desafios da eutrofização e contaminação

Eutrofização e contaminação de recursos hídricos têm acelerado a indisponibilidade de água, limitando o acesso a fontes de abastecimento para a população humana, aumentando os custos do tratamento, a vulnerabilidade e a segurança coletiva de população quanto à saúde humana. Somlyódy & Varis (2006) descrevem as seguintes tendências relativamente à eutrofização e à contaminação das águas superficiais e subterrâneas:

- A escala do problema está aumentando, do local para o global.
- Como consequência da poluição do solo, do sedimento e da água subterrânea, os impactos bem como os resultados da recuperação apresentam significantes retardamentos.
- Em qualquer lago, rio, represa ou manancial há uma sobreposição de problemas: uso excessivo do solo das bacias hidrográficas em áreas rurais e urbanas, descargas de esgotos domésticos e contaminação por substâncias inorgânicas e elementos (metais pesados e orgânicos como pesticidas, herbicidas e outros tóxicos) dissolvidos na água.
- As alterações globais podem acelerar processos, alterar negativamente certas tendências e tornar ainda mais complexas as interações e sinergias.

Trata, portanto, de lidar com complexos sistemas de contaminação e eutrofização, cujas sinergias demandam investimentos científicos e tecnológicos de vulto: novos sistemas de tratamento de água e descontaminação, avaliação epidemiológica do impacto da eutrofização e contaminação na saúde humana, novos e avançados sistemas de monitoramento em tempo real e pesquisas em técnicas de descontaminação e controle da eutrofização; sedimentos contaminados, por exemplo, têm elevado custo de remoção de metais e outros elementos (Mitsch & Jorgensen 2004) e o impacto desta contaminação pode ser permanente ou de longo prazo. Há também necessidade de todo um conjunto de pesquisas referentes à bioindicadores, tolerância de organismos a diferentes concentrações de substâncias tóxicas e desenvolvimento de metodologias adequadas para aplicação de técnicas certificadas ou de mensuração dos efeitos de toxicidade.

Eutrofização e contaminação são componentes do mesmo processo de degradação e os resultados dos efeitos das cargas a partir de fontes pontuais e difusas tem, além de deterioração e redução de biodiversidade aquática, causas econômicas, pois demandam investimentos para a redução dos impactos e efeitos de longo prazo na saúde humana (Tundisi *et al.* 2006). (Fig. 2).



Figura 2. A eutrofização de reservatórios como a Represa de Barra Bonita pode interferir no funcionamento de eclusas e turbinas. Fotografia: J.G.Tundisi.

Os emergentes processos decorrentes da contaminação por poluentes orgânicos persistentes (POPs) também demandam investigação científica e investimentos em sistemas de detecção e monitoramento, bem como na elaboração de processos sofisticados de tratamento. A avaliação dos efeitos dos disruptores endócrinos na saúde humana é, até certo ponto, desconhecida.

Deve-se também enfatizar que há necessidade, por se tratar de um país de dimensões continentais com os recursos hídricos distribuídos desigualmente em um gradiente de latitude que vai de 5°N a 35°S, de dirigir as pesquisas em condições muito diferentes daquelas que foram conduzidas em regiões temperadas. Há necessidade de procurar e desenvolver novas avaliações quantitativas de impactos, de produzir novos conjuntos de indicadores e, portanto, a pesquisa deve promover também ações e aplicações regionais. Radiação solar, temperatura da água, ciclos hidrológicos, além de diferirem substancialmente dos padrões de regiões temperadas – onde grande parte da pesquisa e tecnologia foi gerada – apresentam também peculiaridades regionais que devam ser à pesquisa científica e inovação nesta área.

4.2. O potencial da dessalinização: tecnologias inovadoras e perspectivas para o Brasil

Para qualquer sociedade, o valor mínimo de 1.000 m³ per capita⁻¹ ano⁻¹ é considerado o marco padrão abaixo do qual a escassez crônica de água pode ser considerada um empreendimento para desenvolvimento com reflexos negativos à saúde humana. O consumo total de água no planeta é, atualmente, de 40.000 km³ ano⁻¹ (Rogers *et al.* 2006). Com o aumento das demandas de água, poderá ocorrer escassez maior em certas regiões, ainda a níveis considerados críticos para a qualidade de vida e saúde humana. Embora o Brasil apresente reservas de água cujas estimativas variam de 12 % a 14 % das reservas de água do planeta, há áreas geográficas críticas, com escassez, desequilíbrio entre disponibilidade (demanda) estresse de água (conflitos sobre os usos múltiplos) e falta de água (baixos níveis de água – disponibilidade - em altas regiões do semi-árido) (ANA 2009).

Para ampliar a oferta de água para o abastecimento humano e outros usos, a dessalinização pode ser uma alternativa viável, especialmente considerando que o Brasil tem 8.000 km de costa, com alto grau de disponibilidade de água costeira para dessalinização.

Entretanto, a dessalinização é um processo que depende do uso de energia. O total de energia utilizada para a operação de todas as plantas de dessalinização existentes equivale a 0,3 % da energia primária em termos de combustíveis fósseis consumida em todo o mundo (Uche *et al.* 2003). Uma das alternativas para reduzir o uso da energia para dessalinização é a utilização de fontes renováveis de energia como, por exemplo, a eólica.

Há várias tecnologias disponíveis para a dessalinização. Os custos que eram elevados há 10 anos (US\$ 1,00 m³) estão mais reduzidos (US\$ 0,30 m³), o que pode viabilizar o processo de dessalinização. Uma das técnicas muito utilizadas é a da osmose reversa, em que a água do mar (costeira ou água salobra de estuários) é dessalinizada a um custo energético de 3 a 5 kWh m³ (Uche *et al.* 2006). Em 2002, estimou-se existirem 15.233 unidades de dessalinização em todos os países e continentes.

Na América Latina, apenas no Caribe há um investimento em dessalinização com a produção de 724.000 m³ dia⁻¹ de água doce. Nos demais países da América Latina, Chile (131.000 m³ dia⁻¹) e México (285.000 m³ dia⁻¹ - usos industriais e regiões de turismo) são os principais produtores.

Os custos desta dessalinização variam, dependendo da tecnologia, da disponibilidade de energia e do acesso às áreas costeiras ou estuarinas. Em geral estes custos apresentam valores de €\$ 900 a 550 m³ dia⁻¹ para a dessalinização por membranas até €\$ 1.600 m³ dia⁻¹ para a destilação de múltiplos estágios “Multistage flash distillation”.

No caso do Brasil, a necessidade de grandes suprimentos de água para as regiões urbanas ainda poderá utilizar a água doce disponível em rios ou águas represadas. Entretanto, as necessidades principais situam-se em pequenas operadoras de dessalinização (10.000-100.000 m³ dia⁻¹), com capacidade para abastecer vilas ou pequenos conjuntos habitacionais no interior, onde a água superficial ou subterrânea é salobra ou com salinidade elevada. Aí reside a necessidade de investimentos tecnológicos para desenvolver sistemas eficientes de dessalinização operada nestas regiões. O custo de energia é o insumo principal para a dessalinização (mais de 50 % dos custos). A operação de pequenas centrais de dessalinização pode ser útil em condomínios ou edifícios em áreas costeiras, onde há necessidade também de reduzir a demanda de águas doces continentais.

Água dessalinizada para abastecimento do público precisa ser recomposta com sais minerais e CO₂ e CaCO₃. Esta água também pode ser utilizada para irrigação em pequena escala.

Desta forma, dessalinização pode ser uma tecnologia favorável para futura utilização no Brasil. Pesquisas e Desenvolvimento Tecnológicos são essenciais para reduzir custos nos processos, tornar viável a utilização especialmente em áreas costeiras com escassez de água doce dos continentes e diminuir o consumo de energia na dessalinização. Este é um dos desafios tecnológicos que podem ser enfrentados pelo Instituto de Pesquisa, Universidades e Institutos Tecnológicos.

O uso de plantas de dessalinização em larga escala para abastecer grandes cidades costeiras pode ser viabilizado a partir das pesquisas e do desenvolvimento tecnológico que forem implementados no futuro. É uma possibilidade que deve ser avaliada com estudos estratégicos futuros. Pesquisas com sistemas de fretamento de água salina – floculação, sedimentação e filtração - devem contribuir para a redução de custos. Os sistemas de membranas necessitam maiores investimentos em pesquisa e tecnologia. Há também necessidade de investimentos em redução do impacto ambiental das dessalinizadoras: resíduos salinos acumulados, como reduzir a adição de produtos químicos menos agressivos ao meio ambiente e como reduzir a poluição térmica, um dos subprodutos do processo, em certas tecnologias de dessalinização.

4.3. O reuso de água: enfrentando a escassez

Como salientado por Asano (2006a, 2006b) e Hespanhol (2008), uma das soluções relevantes para enfrentar a escassez da água e reduzir a demanda é a reutilização de água após tratamento de águas residenciais. Hespanhol (2008) enfatizou que a política de gestão de recursos hídricos deve incluir o reuso de água como componente essencial, promovendo benefícios importantes do ponto de vista econômico e social, além dos benefícios ambientais.

Esta prática de reuso não deve ser limitada às regiões semi-áridas e áridas, mas também pode ser utilizada em região com escassez e estresse hídrico, como é o caso, por exemplo, da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). A AGENDA 21, segundo Hespanhol (2008) em seu capítulo na área programática B, acentua a necessidade de ampliar e consolidar os sistemas nacionais de reuso e reciclagem de resíduos e, no caso específico dos recursos hídricos, enfatizar a necessidade de disponibilizar tecnologias e instrumentos de gestão apropriados para a reciclagem e reuso de água.

O reuso de água envolve considerações e avaliações de suprimento de água, saúde humana, infra-estrutura, sistemas de tratamento e, principalmente, a elaboração e o preparo de padrões de qualidade que possam viabilizar o reuso. A descentralização deste reuso em nível municipal, tornando disponível fontes valiosas de água para diversos usos, é um dos mecanismos mais adequados para otimizar, em escala local, a reutilização das águas residenciais tratadas. Existem várias condicionantes para este reuso ser implantado: segurança para a saúde pública, proximidade das fontes de águas residenciais, demandas competitivas para os usos múltiplos da água e padrões específicos de qualidade da água.

As águas de reuso podem ser utilizadas para as seguintes finalidades:

- Irrigação na agricultura.
- Irrigação de parques, jardins e campos de golfe.
- Uso industrial para resfriamento, construção civil, água para aquecimento térmico.
- Recarga de aquíferos: controle da quantidade de água dos aquíferos, manutenção de água em poços subterrâneos.
- Usos recreacionais e ambientais: lagos, áreas alagadas artificiais, pesca.
- Usos urbanos não potáveis: combate a incêndios, usos em ar condicionado.
- Uso potável: mistura com fontes naturais ou descarga em reservatórios de abastecimento.

No Brasil, ainda não há um arcabouço legal para disciplinar o reuso de água. Entretanto, as iniciativas já existentes, principalmente nas indústrias (que obtêm redução de consumo de 40 % a 80 %), mostram cada vez mais uma disposição para reutilizar águas residenciais tratadas de várias origens e com diferentes tecnologias.

Além do reuso de águas residenciais tratadas, deve-se considerar que o uso de águas de precipitação (chuva) pode ser uma alternativa viável em muitas regiões, eliminando a demanda e utilizando as águas de fontes naturais exclusivamente para abastecimento doméstico. A inserção do uso desta “água azul” (“blue water”) no processo de gestão de recursos hídricos é outra etapa importante no processo.

Pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico têm um papel relevante nesta inclusão de água de reuso na gestão de recursos hídricos. O estudo e o desenvolvimento de padrões da qualidade são fundamentais. Também é necessário o desenvolvimento tecnológico para o aproveitamento de águas de reuso e o acompanhamento de cada etapa do processo de reuso de água. Os avanços na tecnologia devem envolver a maior eficiência no tratamento; os estudos

na capacidade de recarga dos aquíferos com águas de reuso; a eficiência na irrigação na agricultura com águas reuso; e os problemas de saúde humana relacionados com o reuso de águas residenciais tratadas.

Tecnologias de controle e disponibilização das águas de precipitação (chuva) para os usos múltiplos também podem ser desenvolvida nos estudos e pesquisas.

4.4. O monitoramento de recursos hídricos

A qualidade da água não é a condição estática de um sistema aquático, rio, lago, represa ou área alagada e também não pode ser definida por um único parâmetro. A qualidade da água é uma variável no espaço e no tempo e requer permanente monitoramento para detectar variações no espaço e no tempo. Parâmetros físicos, químicos e biológicos básicos dão indicações fundamentais da qualidade das águas e sua variabilidade. No Brasil, avanços consideráveis já foram realizados no monitoramento das águas superficiais e subterrâneas (Braga *et al.* 2006). Avanços e investimentos tecnológicos são necessários para promover um banco de informações adequadas sobre a qualidade das águas superficiais e subterrâneas e são:

- Monitoramento em tempo real de águas superficiais e subterrâneas, com terminais à disposição dos usuários (Fig. 3a-b).
- Monitoramento da qualidade e quantidade da água em tempo real, com estações hidrometeorológicas é essencial.
- O monitoramento da qualidade e quantidade de águas superficiais subterrâneas deve ser considerando um “sistema de informação” (Straškraba & Tundisi 2008, Tundisi *et al.* 2004).
- Há necessidade urgente de investimentos no desenvolvimento tecnológico em sensores de qualidade da água que poderão diminuir os custos da implantação das estações automáticas.



Figura 3a-b. O monitoramento em tempo real é um dos avanços tecnológicos mais importantes na gestão das águas. (Fotografia: Exemplo de plataforma - IIEGA).

O PAPEL DO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E DA INOVAÇÃO NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Ciência, Tecnologia e Inovação em Recursos Hídricos têm um relevante papel no processo de gestão de bacias hidrográficas, águas superficiais e águas subterrâneas. A integração de Ciência, Tecnologia e Inovação com processos de desenvolvimento e a incorporação do conhecimento científico e inovação em políticas públicas é fundamental. Além do estabelecimento de redes de conhecimento científico e tecnológico, é extremamente relevante estabelecer “redes de competência”, que vão promover, rapidamente, avanços e inovações, através do compartilhamento do conhecimento de processos e mecanismos de funcionamento com uma perspectiva integrada e interdisciplinar (Bordage 2007).

A integração do sistema natural com o sistema sócio econômico e o foco nas pesquisas que integrem estes conceitos deverão avançar, decisivamente, as aplicações na gestão de recursos hídricos. A integração dos princípios de funcionamento de bacia hidrográfica, qualidade e quantidade de água devem promover capacidades de gestão integrada e preditiva melhores e mais objetivas, que possam antecipar eventos e suas conseqüências em nível de ecossistemas, comunidades e espécies. Por outro lado, institui uma base de conhecimento científico e tecnológico que deve servir como fundamento ao processo de gestão em nível de bacias hidrográficas, provendo a necessária informação científica e tecnológica para a aplicação. A integração de Ciência, Tecnologia e Inovação em práticas de gerenciamento de recursos hídricos é, portanto, a essência desta abordagem dinâmica e preditiva. Os resultados da pesquisa não devem somente ser comunicados e publicados devem serem utilizados (Tundisi 2007-2009). A prática internacional na gestão de recursos hídricos e a implementação de Centros Internacionais de Pesquisa e Capacitação de Recursos Humanos (Tundisi 2009) têm demonstrado a efetividade desta abordagem e a melhor capacitação de gerentes e administradores de recursos hídricos com uma visão sistêmica e integradora. Este processo deve ser aprofundado no Brasil e “redes de competência” deverão ser instaladas nas diferentes bacias hidrográficas e no País, para responder às complexas e urgentes demandas de gestão. “Bancos de inovação” e de novos processos e tecnologias devem ser implementados e as experiências compartilhadas em nível de bacia hidrográfica.

É evidente, por exemplo, o significativo avanço na gestão das águas na Comunidade Econômica Européia após o estabelecimento da “Diretiva Geral das Águas Doces” (E.U. Water Framework Directive), que utiliza estes índices de qualidade de bacias hidrográficas nos países membros.

A aplicação dos conceitos de ecohidrologias e de ecotecnologias (Jorgensen *et al.* 2005, Zalewski 2006-2007, Straškraba & Tundisi 2008, AIIEGA/ PMSP/SVMA 2009) promoveu avanços consideráveis na gestão de recursos hídricos; e os casos da Região Metropolitana de São Paulo (AIIEGA/PMSP/SVMA 2009) e de Bocaina, no interior de São Paulo, são exemplos muito relevantes de aplicação de inovações na gestão de qualidade e quantidade de água em regiões urbanas (Fig. 4a-b).



Figuras 4a-b. O uso de áreas alagadas na Região Metropolitana de São Paulo (como exemplo, a fotografia da área alagada do Parelheiros/RMSP) pode resolver inúmeros problemas de gestão de bacias hidrográficas (a); área alagada da represa UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) que funciona como um sistema controlador do influxo de nutrientes e metais pesados para esta represa (b). Fotografias J.G.Tundisi.

O uso intensivo de águas subterrâneas para várias atividades múltiplas vem sendo intensificado nas últimas décadas e há extrema urgência na inclusão do monitoramento da quantidade e qualidade das águas subterrâneas, bem como no planejamento territorial e na gestão de recursos hídricos deste importante componente do ciclo hidrológico (Llamas & Martinez-Santos 2006).

Em conclusão, a aplicação do conhecimento científico e de inovação na gestão de recursos hídricos e no estabelecimento de bases consolidadas para a tomada de decisões é um processo estratégico, com consequências e impactos de longo prazo na sustentabilidade dos recursos hídricos e na sustentabilidade ambiental e econômica do Brasil.

GOVERNANÇA DA ÁGUA: DA TEORIA À PRÁTICA NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

A governança e a sustentabilidade dos recursos hídricos são partes do mesmo conjunto. Se os princípios da boa governança da água (eficácia, eficiência, coerência, transparência, capacidade de controle e participação pública) forem seguidos à risca, a sustentabilidade dos recursos hídricos estará garantida e será mantida.

As fronteiras hidrogeográficas, ou seja, as bacias hidrográficas oferecem oportunidades para uma gestão descentralizada e moderna dos recursos hídricos. Esta gestão não é simples, mas as sociedades que compartilham as bacias hidrográficas devem ter condições de implementar regulamentações gerais proporcionadas pelo governo (cujo instrumento principal de ação é a Lei de Recursos Hídricos (1997) (Fig. 5). Além de regulamentação, controle e monitoramento das fontes de poluição e contaminação, cobrança pelo uso de água (Lanna & Braga 2006) e o princípio do poluidor pagador são perspectivas inovadoras e crescentemente eficazes na governança (ANA 2007).



Figura 5. Bacias hidrográficas são “coletores de eventos” das atividades humanas. As influências destes eventos são observadas nos rios, represas e sedimentos. Fonte: Raven *et al.* (1998).

A implementação das Agências de Bacias Hidrográficas, que começa a se estabelecer no Brasil, e a base tecnológica ao nível de bacia hidrográfica, que dará suporte científico e técnico, poderão promover avanços significativos na governança. E a aplicação de metodologias e controles com inovação nas técnicas de redução de demanda e contaminações e critérios adotados ao nível de toda a bacia, são outras possibilidades e oportunidades de aplicação extremamente favoráveis à governança dos recursos hídricos.

As novas formas de governança devem incluir processos funcionais diferenciados como: operacional, organizacional e constitucional, integrando legislação e regulamentação com dispositivos e mecanismos científicos e tecnológicos que apoiem a ação (Tundisi 2006). Administração de conflitos, integração de setor público e privado e participação dos usuários são princípios de governança que, em conjunto com as informações certificadas, bancos de dados e aplicações tecnológicas, podem ter sucesso na promoção de melhor governança dos recursos hídricos. É também básica a aplicação de modelos ecológicos e matemáticos que integrem funções de força, variáveis de estado e processos em lagos, reservatórios e rios, com a capacidade de antecipar eventos e impactos, organizar cenários e prognósticos e, conseqüentemente, promover novas soluções quantitativas e qualitativas para a gestão de bacias hidrográficas e ecossistemas aquáticos. Porto & Porto (2008) apresentaram a aplicação de modelos matemáticos na gestão de bacias urbanas como uma das iniciativas para avançar metodologias nesta gestão integrada (Fig. 6).



Figura 6. Interação entre bases de dados, modelos matemáticos e tomadores de decisão na gestão de bacias hidrográficas. Fonte: Porto & Porto (2008).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A gestão eficiente de recursos hídricos necessita de uma base sólida de Ciência, Tecnologia e Inovação para consolidá-la em nível regional, de bacia hidrográfica e nacional. O relatório de conjuntura da ANA (2009) mostra, claramente, a necessidade de avanços nas áreas de gestão de recursos hídricos, avaliação da vulnerabilidade integração entre usos múltiplos e otimização destes, além dos investimentos em saneamento básico necessários para diminuir os impactos do lançamento direto de esgotos na qualidade das águas de rios, represas e águas costeiras.

A elaboração e implementação dos Planos de Recursos Hídricos que demandam ações regionais, estaduais e em nível de bacia hidrográfica necessita de banco de dados sobre disponibilidade/demanda e qualidade da água, de elaboração de cenários futuros apoiados em dados quantitativos para poder avaliar impactos e propor alternativas.

A inserção de Ciência, Tecnologia e Inovação no contexto do Planejamento, e de Planos de Recursos Hídricos é, portanto, uma necessidade essencial para promover os avanços necessários na gestão.

Pode-se, então, elaborar um conjunto de recomendações a partir da apresentação de problemas e da discussão elaborada neste trabalho, que são:

- **Estudos estratégicos**

A elaboração de estudos estratégicos através de encomendas a pesquisadores, grupos de pesquisadores ou instituições de pesquisa deve ser ampliada. Estes estudos devem envolver os diversos componentes de Ciência, Tecnologia e Inovação relevantes para a gestão de recursos hídricos. Tanto na área tecnológica como na científica, estudos estratégicos considerando as diferentes realidades regionais e em nível de bacia hidrográfica podem contribuir, efetivamente, para a promoção de oportunidades e alternativas de desenvolvimento.

- **Poluentes Orgânicos Persistentes (POPS)**

As agendas futuras de pesquisa devem incluir a avaliação e a quantificação das substâncias orgânicas dissolvidas na água, especialmente em regiões urbanas.

- **Bancos de dados regionais**

Bancos de dados regionais ordenados com diferentes possibilidades de uso e estabelecidos como plataformas básicas para a gestão podem ser oriundos de trabalhos de pesquisa e inovação nas diferentes Universidades e Institutos de Pesquisa. Bancos de dados por bacias hidrográficas são avanços necessários e significativos.

- **Contaminação e eutrofização**

Mesmo considerando os grandes avanços no conhecimento científico e na qualificação e quantificação da eutrofização, deve-se aprofundar os estudos, ampliar a capacidade de antecipar eventos e promover novas possibilidades de uso de bioindicadores em nível regional. Estudos toxicológicos e de ecotoxicologias relacionados com pesticidas, herbicidas e à fauna e flora aquáticas em sistemas naturais devem ser intensificados.

- **Valoração de recursos hídricos**

A valoração dos serviços ambientais de lagos, represas, rios e áreas alagadas é uma das prioridades. Esta valoração pode resultar em novas oportunidades e alternativas de gestão apoiadas em valores econômicos, além de integrar esta visão no valor econômico de mercado da água. A valoração também poderá ter uma consequência importante na gestão de bacias hidrográficas, na proteção das fontes naturais de abastecimento e na escolha de alternativas de desenvolvimento baseadas em conservação, usos múltiplos e racionais da água (AIIEGA, PMSP/SVMA 2009).

- **Modelos ecológicos e matemáticos**

Há necessidade de maior investimento na aplicação e desenvolvimento de modelos ecológicos para melhorar e aprofundar a capacidade preditiva na área de recursos hídricos, a implantação de modelos dinâmicos em diferentes ecossistemas (represas, rios e lagos artificiais), a capacidade de gestão integrada e a elaboração de cenários.

- **Águas subterrâneas**

As origens e fontes de contaminação, o monitoramento permanente da qualidade da água são investimentos necessários na gestão de águas subterrâneas. A integração dos estudos e monitoramento de águas subterrâneas no Planejamento Territorial 'vis-a-vis' com os usos do solo e contaminação é outro componente fundamental da pesquisa e da gestão.

- **Governança da água**

A governança da água é um complexo conjunto de interações entre a disponibilidade de recursos, a economia e a população. A inclusão de ciência e tecnologia em nível de bacias hidrográficas (banco de dados, informações científicas e desenvolvimento tecnológico, inovações tecno-

lógicas) pode promover oportunidades fundamentais para uma gestão integrada, preditiva e em nível de ecossistema: o novo paradigma da gestão de recursos hídricos no século XXI.

• Mudanças climáticas globais e recursos hídricos

As linhas de pesquisa nesta área são extensas. Há necessidade de aprofundar o conhecimento entre climatologia e funcionamento de lagos, rios e represas do ponto de vista dinâmico; prevenir os impactos crescentes da eutrofização com o aumento de temperatura da água de lagos e represas; integrar os estudos de eventos e fenômenos climatológicos nos planos e programas de planejamento e gestão de bacias hidrográficas.

• Monitoramento da qualidade e quantidade de águas

O monitoramento em tempo real de águas superficiais e subterrâneas deve ser expandido para incluir bacias hidrográficas críticas. O monitoramento conjunto da qualidade e da quantidade de águas é fundamental para a avaliação adequada da disponibilidade/demanda e também da qualidade, para implementar banco de dados regionais e em nível de bacias hidrográficas.

Agradecimentos: O autor agradece à FINEP-CTHIDRO, ao CNPq-CTHIDRO e à FAPESP-projeto PIPE, o apoio para a realização de projetos e de pesquisas relacionadas a projetos e de pesquisas relacionadas a este tema. Agradecimentos são devidos à Bióloga Karyna C. Pereira, à Secretária Suellen Botelho e ao Biólogo Ricardo M. Degani.

REFERÊNCIAS CITADAS

- Agência Nacional das Águas. 2009. Conjuntura: Recursos Hídricos no Brasil. 203 p.
- Agostinho, A.A., Gomes, L.C. & Pelico, F.M. 2007. Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. Editora da Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 501 p.
- AIIEGA. 2009. Elaboração de estudos técnicos para subsidias ações da Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente (SVMA) na recuperação ambiental de mananciais das bacias hidrográficas da Represa do Guarapiranga e do Braço Taquacetuba da Represa Billings. Prefeitura Municipal de São Paulo, Relatório Técnico, vol. 9, 236 p.
- ANA. 2007. A implementação da cobrança pelo uso de recursos hídricos e agência de água das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Agência de Águas PCJ. 111 p.
- Asano, T. 2006a. Water reuse via ground water recharge. *International Review for Environmental Strategies* 6(2): 205-216.
- Asano, T. 2006b. Water recycling: a relevant solution? *In*: Rogers P.P., Llamas, M.R. & Martinez-Cortina, L. (eds) *Water crisis: myth or reality?* Taylor & Francis, London, p. 261-283.
- Baumann, D.D. & Boland, J.J. 1998. The care for managing urban water. *In*: Baumann, D.D., Boland, J.J. & Hanemann, M. (eds) *Urban water management and planning*. Mc Graw Hill, New York, p. 1-30.
- Bergkamp, G. 2006. Water and Nature: critical link for solving the water management crisis. *In*: Rogers P.P., Hanas, M.R. & Martinez-Cortina, L. (eds) *Water crisis: myth or reality?* Taylor & Francis, London, p. 253-257.
- Bicudo, D.C., Fonseca, B.M., Bicudo, C.E.M., Bini, L.M. & Jesus, T.A. 2006. Remoção de *Eichornia crassipes* em um reservatório tropical raso e suas implicações na classificação trófica do sistema: estudo de longa duração no Lago das garças, São Paulo, Brasil. *In*: Tundisi, J.G., Matsuura-Tundisi, T. & Galli, C.S. (eds) *Eutrofização na América do Sul: causas, consequências e tecnologias para gerenciamento e controle*. Eutrosul. São Carlos. p. 413-438.

- Bordage, B. 2007. Summary of the water breakout session. *In: Integrating Science and Technology into development policies: an international perspective*. OECD. p. 125-129.
- Braga, B., Flecha, R., Pena, S.D. & Felman, J. 2006. A reforma institucional do setor de recursos hídricos. *In: Rebouças, A., Braga, B. & Tundisi, J.G. (eds) Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. Escrituras Editora, São Paulo, p. 639-675. (3ª edição).
- Braga, B., Porto, M. & Tucci, C. 2006. Monitoramento da quantidade e qualidade das águas. *In: Rebouças, A., Braga, B. & Tundisi, J.G. (eds) Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. Escrituras Editora, São Paulo, p. 145-160. (3ª edição).
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 8 de janeiro de 1997.
- Barlow, M. & Charbe, T. 2002. Blue Gold: the fight to stop corporate theft of the world's water. The New Press, New York, 278 p.
- EIA/RIMA/AHE Belo Monte/Eletrobás/Cenek/LEME/IIEGA (2009).
- Garcia-Novo, F. & Garcia-Bouzas, F. 2006. Water and Nature: the berth of life. *In: Rogers P.P., Hanas, M.R. & Martinez-Cortina, L. (eds) Water crisis: myth or reality?* Taylor & Francis, London, p. 236-252.
- Hanemann, W.M. The economic conception of water. *In: Rogers P.P., Hanas, M.R. & Martinez-Cortina, L. (eds) Water crisis: myth or reality?* Taylor & Francis, London, p. 61-92.
- Hespanhol, I. 2008. Um novo paradigma na gestão de recursos hídricos. *Estudos Avançados* 22(63): 131-158.
- IIEGA/PMSP-SVMA. 2010. Manual de Gerenciamento de bacias hidrográficas. 127 p.
- Jorgensen, SE., Lofer, H., Rast, W. & Straškraba, M. 2005. Lake and reservoir management. Elsevier, Amsterdam, 502 p.
- Lanna, A.E.L. & Braga, B. 2006. Hidroeconomia. *In: Rebouças, A., Braga, B. & Tundisi, J.G. (eds) Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. Escritura Editora, São Paulo, p. 607-637. (3ª edição).
- Llamas, M.R. & Martinez-Santos, P. 2006. Significance of the silent revolution of intensive use in world water policy. *In: Rogers P.P., Hanas, M.R. & Martinez-Cortina, L. (eds) Water crisis: myth or reality?* Taylor & Francis, London, p. 163-180.
- Milenium Ecosystem Assessment. 2003. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. Island Press, Washington, DC, 245 p.
- Mitsch, W. & Jorgensen, S.E. 2004. Ecological engineering and ecosystem restoration. John Wiley & Sons Inc., New York, 411 p.
- PNUMA. Qualidade da água para o ecossistema e o bem estar humano. IIE/IIEGA. São Carlos, 169 p.
- Porto, M.F.A. & Porto R.L. 2008. Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*. p. 43-60.
- Raven, P.H., Berg, H.L. & Johnson, G.B. 1998. Environment. Saunders College Publishing, Orlando, 579 p. (2ª edição).
- Rogers, P.P., Llamas, M.R. & Martinez-Cortina, L. (eds) 2006. Water crisis: myth or reality? Taylor & Francis, London, 331p.

- Somlyódy, L. & Varis, O. 2006. Freshwater under pressure. *International Review for Environmental Strategies* 6(2): 181-204.
- Straškraba, M. & Tundisi, J.G. 2008. Diretrizes para o gerenciamento de lagos: gerenciamento de qualidade de água de represas. ILEC/IIIE, São Carlos, vol. 9. 300 p. (2ª edição).
- Straškraba, M., Tundisi, J.G. & Duncan, A. 1993. Comparative reservoir limnology and water quality management. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 291 p.
- Tundisi, J.E.M. 2006. Indicadores da qualidade da bacia hidrográfica para gestão integrada dos recursos hídricos: estudo de caso: bacia hidrográfica do médio Tocantins (TO). Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 152 p.
- Tundisi, J.G. 2003. Água no século 21: enfrentando a escassez. Rima Editora-IIIE. 263 p. (2ª edição).
- Tundisi, J.G. 2007. Coupling surface and groundwater research: a new step towards water management. *In: Integrating Science and Technology into development policies: an international perspective*. OECD. p. 163-169.
- Tundisi, J.G. 2009. IAP Water Programme: bridging water research, innovation and management: enhancing global water management capacity. *In: Integrated water resources management*. Royal Scientific Society Jordan, IAP Water Programme, WAITRO. p. 1-10.
- Tundisi, J.G. & Matsumura Tundisi, T. 2008. *Limnologia*. Oficina de Textos Editora, São Paulo. 632 p.
- Tundisi, J.G., Matsumura-Tundisi, T., Arantes Jr, J.D., Tundisi, J.E., Manzini, N.F. & Ducrot, R. 2004. The response of Carlos Botelho (Lobo/Broa) reservoir to the passage of cold fronts in reflected by physical, chemical and biological variables. *Brazilian Journal of Biology* 64(1): 177-186.
- Tundisi, J.G. & Straškraba, M. 1995. Strategies for building partnerships in the context of river basin management: the role of ecotechnology and ecological engineering. *Lakes and Reservoirs: Research & Management* 1: 138-172.
- Tundisi, J.G. & Straškraba, M. 1999. Theoretical reservoir ecology and its applications. São Carlos. 592 p.
- Uche, J., Serra, L., Herrero, A., Valero, A., Turegano, J.A. & Torres, C. 2003. Software for the analysis of water and energy systems. *Desalination*. p. 367-378.
- Uche, J., Valero, A. & Serra, L. 2006. The potencial for desalination technologies in meeting the water crisis. *In: Rogers P.P., Hanas, M.R. & Martinez-Cortina, L. (eds) Water crisis: myth or reality?* Taylor & Francis, London, p. 297-322.
- Vergara F., F.E. 1996. Avaliação econômica de ambientes naturais: o caso das áreas alagadas: uma proposta para a Represa do Lobo (Broa), Itirapina, SP. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos, 143 p.
- Whately, M. & Hercowitz, M. 2008. Serviços ambientais: conhecer, valorizar e cuidar: subsídios para a proteção dos mananciais de São Paulo. ISA. 115 p.
- Zalewski, M. 2006. Flood pulses and ecosystem robustness. *Frontiers in Flood research*, IHAS Publications. 305 p.
- Zalewski, M. 2007. Ecohydrology in the face of the Anthropocene. *Ecohydrology & Hydrobiology* 7(2): 99-100.

12

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E RECURSOS HÍDRICOS

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E RECURSOS HÍDRICOS

José A. Marengo¹

Javier Tomasella¹

Carlos A. Nobre¹

RESUMO

Este artigo apresenta uma visão geral das disponibilidades de água no Brasil no contexto da variabilidade e das mudanças climáticas. Apesar de que o Brasil apresenta grande disponibilidade de água, a distribuição em diferentes regiões do país é bastante desigual. A situação atual relaciona-se, em termos de escassez hídrica, principalmente com um planejamento inadequado do uso da terra associado ao crescimento econômico: área do Sudeste do Brasil com grande oferta hídrica, por exemplo, é afetada pela falta de água relacionada com a urbanização descontrolada. A disponibilidade de água no Brasil está intimamente ligada ao clima, especialmente, durante os meses de verão. Atrasos no início da estação chuvosa podem afetar a agricultura e a geração de energia; e a ocorrência de enchentes e secas de grande escala tem produzido fortes impactos na economia e na população. Isto pode ser visto, por exemplo, no caso da seca na Amazônia em 2005 e das enchentes de 2009 na Amazônia e no Nordeste. O Brasil é vulnerável a estas anomalias climáticas e será vulnerável às mudanças projetadas nos padrões de precipitação e nos extremos devido às mudanças climáticas. As mudanças nos padrões e nos regimes de precipitação poderão também afetar as vazões dos rios; e os estudos existentes sugerem que o mais afetado será o rio São Francisco, onde a redução de chuvas irá resultar em uma dramática diminuição das descargas e, conseqüentemente, impactará fortemente a irrigação e a geração de energia. Sem dúvidas, as incertezas dos cenários sempre devem ser consideradas. Ações para adaptação e mitigação são urgentes, bem como planos de monitoramento dos recursos hídricos para avaliar os riscos climáticos. São necessárias pesquisas abrangentes sobre as mudanças climáticas e seus impactos sobre os recursos hídricos. A gestão dos recursos hídricos deve considerar as projeções de mudanças climáticas e suas incertezas na implementação de políticas públicas e seus marcos regulatórios.

Palavras chave: agricultura, escassez, governança, irrigação, políticas públicas, recursos hídricos.

¹ Centro de Ciência do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Rodovia Presidente Dutra, km 40, 12630-000 Cachoeira Paulista, SP; e-mail jose.marengo@inpe.br ; javier.tomasella@inpe.br ; carlos.nobre@inpe.br

ABSTRACT

Article provides an overview of the water availability in the context of climate variability and change in Brazil. Although Brazil has large water availability, water is unequally distributed across the different regions of the country. The current situation of water stress in most of Brazil is related to inadequate land use planning, associated to economic growth: even areas of Southwest Brazil with large water availability, for instance, is affected with water shortage due to uncontrolled urbanization. Water availability in Brazil relies heavily on climate, especially during summer months. Delays on the onset of the rainy season may affect agriculture and hydroelectric power generation, and the occurrence of large scale droughts or floods have produced large impacts on economy and population. That was the case of the drought in Amazonia in 2005 and the floods in Amazonia and Northeast Brazil in 2009. Brazil is vulnerable to these climate anomalies, and will be vulnerable to projected changes in rainfall patterns and extremes due to climate change. Changes in rainfall patterns and regimes may also affect river streamflow: existent studies suggest that the most affected would be the Sao Francisco River, where rainfall reductions will result in a dramatic river discharges reduction and heavily impact irrigation and hydropower. Of course, uncertainties in the climate change projections must always be considered. Actions toward adaptation and mitigation are urgently needed, together with plans for monitoring water resources to assess climate risks. More comprehensive research activities on climate change and impacts on hydrology must be planned and carried out. Water resources management should also consider the climate change projections and uncertainties in the implementation of water policies and regulations.

Keywords: agriculture, governance, irrigation, public policies, shortage, water resources.

INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa posição privilegiada no mundo, em relação à disponibilidade de recursos hídricos, com ao redor de 12 % da disponibilidade mundial de recursos hídricos, que é de 1,5 milhões de $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ (Shiklomanov *et al.* 2000). Mas, parte da população brasileira vive sem esse recurso. As reservas brasileiras de água doce não estão distribuídas de maneira uniforme pelo país, visto que 80 % delas concentram-se na região Amazônica. A região semi-árida do Nordeste, mesmo incluindo grande parte da bacia do rio São Francisco, possui apenas 4 % dos recursos hídricos do país, mas abriga 35 % da população brasileira, em sua maioria famílias de baixa renda. As regiões úmidas do Sul e Sudeste, onde vivem 60 % da população, contavam, no passado, com amplas reservas de recursos hídricos. Atualmente essas áreas passaram a enfrentar ameaça crescente de escassez de água, local ou generalizada, em decorrência do crescimento econômico e da urbanização acelerada, que só será debelada mediante o aprimoramento da gestão da quantidade e da qualidade da água.

A disponibilidade de água no Brasil depende, em grande parte, do clima e de suas variações em diversas escalas de tempo. Extremos de chuva, especialmente no verão, podem estar associados a enchentes e têm impactos diretos sobre a população, embora em escalas de tempo sazonais, um atraso no início da estação chuvosa pode causar impactos graves na agricultura e na geração de energia hidroelétrica. A presença de secas nas diferentes bacias do Brasil, em nível anual, são ilustrações da variabilidade interanual do clima associada aos fenômenos de El Niño ou La Niña no Oceano Pacífico Tropical ou à variabilidade na temperatura da superfície do mar do Atlântico Tropical ao norte e sul da linha equatorial, que podem gerar anomalias climáticas conducentes a grandes secas, como em 1877, 1983 e 1998 no Nordeste, 2004-2006 no Sul do Brasil, 2001 no centro oeste e sudeste e em 1926, 1983, 1998 e 2005 na Amazônia (Marengo *et al.* 2008 a, 2008b, Cox *et al.* 2008). Adicionalmente, os riscos derivados das mudanças climáticas, sejam naturais ou de origem antropogênica, têm levantado grande preocupação nos círculos

científicos e do governo, sendo o setor de recursos hídricos um dos mais impactados, afetando tanto a qualidade como a quantidade de água.

O Quarto Relatório Científico do IPCC AR4 (Trenberth *et al.* 2007, Meehl *et al.* 2007) e o Relatório de Clima do INPE (Marengo *et al.* 2007, Ambrizzi *et al.* 2007) apresentam evidências de mudanças do clima, que podem afetar significativamente a disponibilidade hídrica em muitas regiões, com impactos grandes nos totais de chuva e nos extremos hidrometeorológicos até o final do Século XXI. O Brasil é vulnerável à variabilidade climática atual, como mostram as recentes chuvas intensas no verão de 2008/2009 nos estados do Sul e Sudeste do Brasil e a enchente histórica na Amazônia e no norte do Nordeste, que têm gerado perdas econômicas da ordem de centenas de milhões de reais, mais de 200 mortos e dezenas de milhares de desabrigados. Análises de registros de chuva durante os últimos 50 anos mostram que eventos extremos de chuva são cada vez mais frequentes e intensos e que as projeções dos modelos globais e regionais para o futuro sugerem que esta tendência pode continuar e intensificar. Assim, o Brasil também é vulnerável às mudanças climáticas que se projetam para o futuro, especialmente quanto aos extremos climáticos. O conhecimento sobre possíveis cenários climáticos-hidrológicos futuros e as suas incertezas pode ajudar a estimar demandas de água no futuro e, também, a definir políticas ambientais de uso e gerenciamento de água.

Avalia-se, neste estudo, o estado da arte sobre o conhecimento de mudanças do clima e seus impactos na disponibilidade de água no futuro, considerando estudos de tendências de longo prazo, nos últimos 50 anos e as projeções dos modelos climáticos até finais do Século XXI. Para maiores informações, sugere-se consultar os Relatórios dos Grupos de Trabalho 1 e 2 do IPCC AR4 (www.ipcc.ch), o Relatório de Clima do INPE (www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas) e o Relatório do IPCC sobre Mudanças de Clima e Água (Bates *et al.* 2008).

PROBLEMÁTICA ATUAL

No Brasil, a região mais exposta aos riscos da variabilidade climática e a uma possível “aridização” e subsequente desertificação devido às mudanças climáticas é o Nordeste (Salazar *et al.* 2007). Mais de 70 % das cidades do semi-árido nordestino, com população acima de 5.000 habitantes, enfrentarão crise no abastecimento de água para o consumo humano até 2025. Problemas de abastecimento deverão atingir cerca de 41 milhões de habitantes da região do semi-árido e entorno, prevêem os pesquisadores da Agência Nacional das Águas (ANA), que estimaram o crescimento da população e a demanda por água em cerca de 1.300 municípios pertencentes a nove estados do Nordeste e ao norte de Minas Gerais (ANA 2005).

A situação é preocupante na Amazônia. Em 2005, uma forte estiagem - a maior dos últimos 103 anos, só comparável como a estiagem de 1962-1963 - atingiu o oeste e o sudoeste da Amazônia. Alguns grandes rios da bacia Amazônica chegaram a baixar 6 cm por dia. Milhões de peixes morreram e apodreceram nos leitos de afluentes do rio Amazonas, os quais serviam de fonte de água, alimento e meio de transporte para comunidades ribeirinhas (Marengo *et al.* 2008a, 2008b, Zeng *et al.* 2008, Aragão *et al.* 2007). As possibilidades de ocorrerem períodos de intensa seca na região da Amazônia podem aumentar dos atuais 5 % (uma forte estiagem a cada 20 anos) para 50 % em 2030 e até 90 % em 2100 (Cox *et al.* 2008).

No outro lado do pêndulo dos extremos climáticos, em 2009, a Amazônia vem enfrentando uma enchente de dimensões históricas, superior aos máximos históricos registrados no porto de Manaus nos últimos 100 anos, maiores que os níveis recordes registrados em 1953. Segundo o Serviço Geológico do Brasil, o ano 1953 marcou a história de Manaus como o período da pior enchente da capital. Na ocasião, o nível do rio Negro atingiu a marca de 29,68 m e espera-se que nos próximos meses este valor possa ultrapassar os 30 m. Estes extremos repetem-se no Norte

da Região Nordeste, causando enormes prejuízos econômicos e forte impacto social. Nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, o aumento sistemático das chuvas pode também ser observado nos registros hidrológicos e dos extremos de chuva (Marengo *et al.* 2009). As chuvas intensas que se abateram sobre partes de Santa Catarina, especialmente no Vale do rio Itajaí-açu no período de 22-25 de novembro 2008, foram causadas pelo estabelecimento de um bloqueio atmosférico no oceano Atlântico. As chuvas afetaram a faixa litorânea do Estado de Santa Catarina. Em várias cidades do litoral deste Estado registraram-se acumulados diários superiores aos 200 mm como, por exemplo, em Blumenau, Balneário Camboriú, São Francisco do Sul, Itapoá e Biguaçu. Dados oficiais do EPAGRI/CIRAM mostraram que as chuvas de novembro foram recordes históricos nas cidades de Itajaí, Blumenau, Joinville, Indaial e Florianópolis. Os volumes de chuva mencionados equivalem de 50 a 70 % do total esperado para todo o ano e precipitados em apenas um mês. As chuvas intensas e as enchentes e avalanches subsequentes afetaram 1,5 milhões de pessoas, com 123 mortos e mais de 69.000 pessoas perderam suas moradias (INPE 2008).

A maioria das chuvas anômalas no sudeste da América do Sul, incluindo Santa Catarina, vem sendo associada à simultânea ocorrência de eventos intensos do fenômeno El Niño, como aquelas em 1911, 1957, 1983, 1987, 1998, entre muitas outras. Entretanto, chuvas intensas, ainda que em escala espacial menor, podem ocorrer independentes da influência de grande escala do El Niño, como ocorreu em 1984 e em 2008. As enchentes de 1983, que causaram danos materiais na ordem de US\$ 1,1 bilhão em todo Estado de Santa Catarina, atingiram um pico no nível do rio Itajaí-açu de 15,34 m. Foram seguidas pelas inundações de 1984, com um pico de 15,46 m. Em 1987, o fenômeno El Niño provocou, em fevereiro, enchentes em 15 municípios catarinenses e em 1997 voltou a agir causando inundações de grandes proporções em Santa Catarina, nos meses de janeiro e outubro. Em janeiro daquele ano, 35 municípios foram afetados e em outubro as cheias inundaram 37 cidades.

OS RECURSOS HÍDRICOS NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Para muitos especialistas, a crise da água é o resultado de um conjunto de problemas ambientais agravados com questões econômicas e de falta de desenvolvimento (Gleick 2000). Nesta visão, é equivocado tratar a problemática dos recursos hídricos unicamente como uma questão de falta disponibilidade diante do aumento da demanda, mas, fundamentalmente, como uma questão relacionada à gestão do recurso.

Há várias causas que explicam a escassez dos recursos hídricos (Tundisi 2008):

- Intensa urbanização, aumentando a demanda por água, ampliando a descarga de recursos hídricos contaminados e com grandes demandas de água para abastecimento e desenvolvimento econômico e social.
- Estresse e escassez de água em muitas regiões do planeta em razão das alterações na disponibilidade e aumento de demanda pelo recurso.
- Infra-estrutura pobre e em estado crítico, em muitas áreas urbanas com até 30 % de perdas na rede após o tratamento das águas.
- Problemas de estresse e escassez em razão de mudanças globais, com eventos hidrológicos extremos aumentando a vulnerabilidade da população humana e comprometendo a segurança alimentar (chuvas intensas e períodos intensos de seca).
- Problemas na falta de articulação e falta de ações consistentes na governabilidade de recursos hídricos e na sustentabilidade ambiental.

A esses problemas somam o uso inadequado da terra em áreas sub-urbanas e rurais. As enchentes que afetaram Santa Catarina em 2008 adquiriram características dramáticas em termos de

danos econômicos e perdas de vida humana em decorrência de escorregamentos de encostas, cuja degradação é fortemente acelerada pela remoção da vegetação natural.

O avanço da desertificação em muitas áreas do semi-árido do país, o mesmo no Rio Grande do Sul, são exemplos claros de como o manejo inadequado dos solos acentua os impactos associados à deficiência hídrica.

A Amazônia, região do país que apresenta maior grau de preservação de seus recursos naturais, está sendo dramaticamente afetada pelo avanço de pecuária e da agricultura ao longo do denominado arco de desflorestamento. Levando em conta que a região afetada forma as áreas de cabeceiras de rios tais como o Tocantins, Xingu e Tapajós, a ocupação da região sem qualquer preocupação ambiental terá consequências em grandes áreas à jusante das cabeceiras desses rios pelo traslado desses impactos. Pouco se conhece sobre como essas ações hoje poderão afetar a carga de sedimentos desses rios ou seu regime hidrológico, o que pode afetar atividades tais como a navegação, a pesca e a geração de hidroeletricidade.

Sendo assim, o impacto das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos não pode ser tratada isoladamente dos usos atuais do recurso, mas, certamente, essas mudanças poderão exacerbar e acentuar todos os problemas antes assinalados.

A solução desses problemas requer uma abordagem institucional em escalas local, regional e global. Por isso, o maior desafio no tratamento da questão dos recursos hídricos relaciona-se, em um contexto de mudanças climáticas, com a necessidade de dispor um arcabouço institucional que permita a gestão integrada dos recursos hídricos. Os instrumentos introduzidos pela Lei de Águas de 1995 constituem um grande avanço na gestão integrada dos recursos hídricos. Entretanto, muitos desses princípios ainda não foram devidamente incorporados no planejamento do uso dos recursos hídricos e muitas das disposições desta lei tiveram ainda pouco resultado prático. Um exemplo típico é a implantação dos comitês de bacia em várias regiões hidrográficas do país, que ainda é incipiente. Ao mesmo tempo, é necessário analisar se o marco legal é adequado visto que a questão dos recursos hídricos, face às mudanças climáticas, deve ser tratada em uma escala global que vai além das fronteiras políticas. Até recentemente, um dos maiores problemas na questão de mudanças climáticas relacionava-se com a falta de avaliação dos impactos, possíveis ações para mitigação e adaptação a esses impactos. A ausência de uma ação coordenada em nível institucional determinou que a maior parte dos estudos tivesse um caráter setorial, sem a necessária abordagem sistêmica que o problema da água demanda.

CLIMA DO PRESENTE E DO FUTURO

O continente já experimentou, nos últimos anos, uma sucessão de acontecimentos radicais, como: chuvas torrenciais na Venezuela e no sudeste da América do Sul, inundações nos pampas argentinos, secas na Amazônia e no sul do Brasil, inundações na Amazônia e norte do Nordeste, tempestades de granizo na Bolívia, uma temporada recorde de furacões no Caribe e, recentemente, em 2009, a seca no Norte da Argentina e sul do Brasil e as grandes enchentes na Amazônia e Nordeste. Ao mesmo tempo, as chuvas diminuíram no Chile, no sul do Peru e no sudoeste da Argentina.

Com a elevação da temperatura já registrada (1° C na América Central e na América do Sul em um século, ante a média mundial de 0,74° C), os glaciares Andinos estão retrocedendo, podendo comprometer a disponibilidade de água destinada ao consumo e à geração de eletricidade e o problema se agravará no futuro, tornando-se crônico caso medidas não sejam tomadas, afirma o relatório do IPCC GT2 para a América Latina (Magrin *et al.* 2007). O aquecimento global está secando lagos de montanha e pântanos nos Andes e colocando em risco o fornecimento de água para as grandes cidades latino-americanas como La Paz, Bogotá e Quito (Vergara *et al.* 2008). O

derretimento das geleiras, também provocado pelo aquecimento global, pode prejudicar o fornecimento de água para Quito e a geração de energia hidrelétrica no Peru. A geleira Chacaltaya na Bolívia pode desaparecer completamente nos próximos 20-30 anos e muitas outras geleiras andinas podem desaparecer no Século XXI, com consequências importantes para a oferta de água, geração de energia e integridade dos ecossistemas (Francou *et al.* 2003).

Em relação às chuvas, observa-se uma tendência já detectada em estudos anteriores do IPCC AR4 (Trenberth *et al.* 2007), de aumento da chuva de até 30 % por década na Bacia do Prata e em algumas áreas isoladas do Nordeste do país. Para a Amazônia, não se observa uma tendência clara de aumento ou redução nas chuvas (devido ao desmatamento), apresentando mais uma tendência de variações interdecadais contrastantes entre o Norte e o Sul do Brasil (Marengo 2004). No Nordeste, as tendências observadas também sugerem uma variabilidade interanual associada ao El Niño e ao gradiente de temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico Tropical, assim como uma tendência decadal associada às mudanças na posição meridional da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Regionalmente, tem sido observado um aumento do total e dos extremos de chuva no Sul e partes do Sudeste do Brasil, na bacia do Paraná-Prata, desde 1950, consistente com tendências similares em outros países do Sudeste da América do Sul. No Sudeste, o total anual de precipitação parece não ter sofrido modificação perceptível nos últimos 50 anos.

As projeções de mudanças nos regimes e distribuição de chuva derivadas dos modelos globais do IPCC AR4 para climas mais quentes no futuro não são conclusivas e as incertezas ainda são grandes, pois dependem dos modelos e das regiões consideradas. Na Amazônia e no Nordeste, ainda que alguns modelos climáticos globais do IPCC AR4 apresentem reduções drásticas de precipitações, outros modelos apresentam aumento. Por outro lado, a média de todos os modelos é indicativa de uma maior probabilidade de redução de chuva em regiões como o leste e o nordeste da Amazônia, como consequência do aquecimento global (Fig. 1a). O IPCC AR4 (Meehl *et al.* 2007) mostrou redução de chuva no Norte e Nordeste do Brasil durante os meses de inverno JJA, o que pode afetar a chuva na região leste do Nordeste, que apresenta o pico da estação chuvosa nessa época do ano. Segundo os relatórios do IPCC para a América Latina (Magrin *et al.* 2007) e do INPE (Marengo *et al.* 2007, Ambrizzi *et al.* 2007), o Semi-Árido tenderá a tornar-se mais árido. Aumentarão a frequência e a intensidade das secas e reduzirá a disponibilidade de recursos hídricos. As projeções futuras dos modelos de clima também sugerem aumento de chuva para a região Sul do Brasil e da Bacia do Prata e para o oeste da Amazônia até o final do Século XXI. Possivelmente, este aumento será na forma de eventos extremos de chuva mais intensos e frequentes (Fig. 1b), o que já vem sendo observado desde 1950 (Marengo *et al.* 2008).

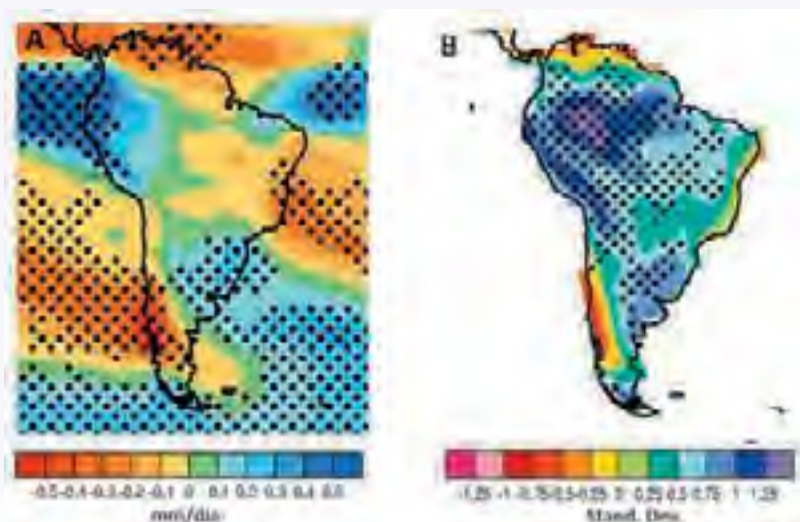


Figura 1. (A) Mudanças na precipitação anual (%) e (B) índice R10 ou número de dias com chuva acima de 10 mm (na forma de desvios padrões) (média de 15 modelos globais do IPCC AR4) para o período 2080-99 do cenário de emissões de gases de efeito estufa A1B relativo à média de 1900-1998. Áreas com pontos mostram regiões onde pelo menos 60 % dos modelos apresentaram o mesmo sinal (Bates et al. 2008).

HIDROLOGIA DO PRESENTE E PROJEÇÕES FUTURAS

Em relação às vazões dos rios, as tendências de chuva observadas refletem bem as tendências na precipitação, com uma clara tendência de aumento nas vazões do rio Paraná e de outros rios no sudeste da América do Sul. Na Amazônia, no Pantanal e no Nordeste não foram observadas tendências sistemáticas em longo prazo no sentido de condições mais secas ou chuvosas, sendo mais importantes as variações interanuais e interdecadais, associadas à variabilidade natural do clima na mesma escala temporal de variabilidade de fenômenos interdecadais dos oceanos Pacífico e Atlântico Tropical. As análises de vazões de rios na América do Sul e no Brasil (Milly *et al.* 2005) apontaram para aumentos entre 2-30 % na bacia do rio Paraná e nas regiões vizinhas do sudeste da América do Sul, consistente com as análises de tendência de chuva na região. Não foram observadas tendências importantes nas vazões dos rios da Amazônia e da bacia do Rio São Francisco. Na costa oeste do Peru, as tendências positivas de chuva podem ser explicadas pelos valores extremamente altos de chuvas e vazões durante os anos do El Niño de 1972, 1983, 1986 e 1998 que afetam sensivelmente essas tendências.

Milly *et al.* (2005) analisaram as componentes de vazões dos rios de vários modelos do IPCC AR4 para o futuro, comparados com o presente. A Figura 2a-b mostra que os modelos do IPCC AR4 (Fig. 2a) representam bem as tendências crescentes observadas na bacia do Paraná-Prata. Para os séculos do Século XXI, os modelos do IPCC AR4 sugerem reduções nas vazões dos rios São Francisco, Parnaíba, Tocantins, Xingu e outros no leste da Amazônia, assim como no Chile central. Por outro lado, os modelos também sugerem aumentos nas vazões dos rios na costa oeste da América do Sul, próxima ao Peru-Ecuador e na bacia do Paraná-Prata. Estas projeções são muito importantes, pois as alterações nas vazões podem mudar a frequência de enchentes e isso pode produzir danos nos ecossistemas e afetar a produção de alimentos, transportes e geração de energia. Os aumentos nas vazões são consistentes com os aumentos de chuva no futuro (Meehl *et al.* 2007).

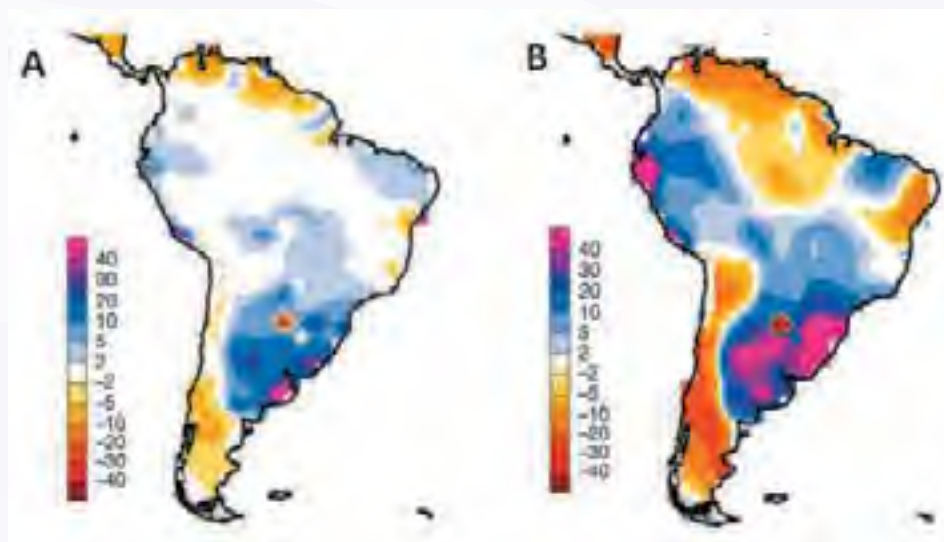


Figura 2. (A) Mudança relativa (%) das vazões de rios na América do Sul (média de 9 modelos globais do IPCC AR4) para o período 1971-2000 relativo à média de 1900-1970, da simulação do clima do Século XX (20C3M) do IPCC; (B) mudança relativa (%) das vazões de rios na América do Sul (média de 9 modelos globais do IPCC AR4) para o período 2041-2060 do cenário A1B relativo à média de 1900-1998 (rodada 20C3M) (Milly et al. 2005).

EXTREMOS CLIMÁTICOS HIDROMETEOROLÓGICOS

No Sudeste e no Sul do Brasil tem sido observado um aumento intenso na precipitação nos últimos 50 anos, como mostra a Fig. 2a (Marengo *et al.* 2009). Groisman *et al.* (2005) identificaram tendências positivas de aumentos sistemáticos de chuva e de extremos de chuva na região subtropical, no Sul e no Nordeste do Brasil. Os referidos autores consideraram que o Sudeste tem mostrado, desde 1940, aumentos sistemáticos na frequência de chuvas intensas de até quase 58 % por 100 anos. Carvalho *et al.* (2002) consideraram que em São Paulo são observados mais eventos extremos de chuvas durante o El Niño, os quais, neste Estado, são sensíveis à intensidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul-ZCAS (Carvalho *et al.* 2002, 2004).

Haylock *et al.* (2006) investigaram as tendências de extremos de chuva no sudeste da América do Sul no período 1960-2000 e encontraram tendências para condições mais úmidas no sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e no norte e centro da Argentina. Também notaram que a região sudeste da América do Sul experimentou um aumento na intensidade e na frequência dos dias com chuva intensa, o que concorda com os trabalhos de Groisman *et al.* (2005) para a mesma região.

Eventos intensos de chuva no outono podem ser responsáveis pelos grandes valores de vazões do rio Paraná, nos Pampas da Argentina. Liebmann *et al.* (2004) mostraram que em São Paulo, na escala interanual, o número de eventos extremos de chuva mostrou correlação com anomalias de TSM no Pacífico Tropical e no sudeste do Atlântico, próximo ao litoral de São Paulo. O controle que a Zona de Convergência do Atlântico Sul e o Jato de Baixos Níveis da América do Sul (JBNAS) exercem, em escalas intra-sazonais e interanuais, pode ser observado na frequência de eventos intensos de chuva associados à presença da ZCAS e do JBNAS que, em média, sugerem maior frequência de eventos intensos de chuvas no sul e no sudeste do Brasil, quando o JBNAS é intenso e a ZCAS é mais fraca e deslocada para o sul da região nordeste. Diferentes autores definiram eventos extremos de chuva seguindo metodologias diferentes e usando valores similares ou acima de um percentil (95º C), o que torna difícil a

comparação entre os resultados. No sul do Brasil, Teixeira & Satyamurty (2007) identificaram uma ligeira tendência de aumento no número de eventos extremos de chuva, com maiores frequências em anos como 1993-1994 e 1997-1998, que foram anos de El Niño.

Alexander *et al.* (2006) analisaram tendências em extremos anuais de chuva e chegaram à conclusão de que estas aparentam ser similares àquelas da chuva total acumulada, ou seja, positivas no sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e no norte-centro da Argentina. Estes extremos identificaram tendências positivas no número de dias com chuva intensa e muito intensa (R_{20} mm) concentrada em curto tempo e na quantidade de chuva concentrada em eventos que são indicadores de chuvas que produzem enchentes durante o período 1961-2000. Estas tendências sugerem aumento na frequência e na intensidade de eventos de chuva no sudeste da América do Sul, enquanto que a ausência de dados na região tropical não permite uma análise mais compreensiva dos extremos nesta parte do continente.

As projeções de extremos sugerem para boa parte do Brasil, segundo o IPCC AR4 (Mheel *et al.* 2007, Tebaldi *et al.* 2008, Bates *et al.* 2008), aumentos na frequência de extremos de chuva em todo o Brasil, principalmente, no oeste da Amazônia, sul e sudeste do Brasil. Para o período de 2080-2099, em relação ao anterior (1980-1999), no cenário de emissão de gases de efeito estufa A1B, os eventos extremos de chuva intensa mostram um aumento na frequência e na contribuição de dias muito chuvosos no oeste da Amazônia, enquanto que no leste da Amazônia e no Nordeste a tendência é de aumento na frequência de dias secos consecutivos, o que também se observa para o norte do Sudeste. Estudos recentes (Marengo *et al.* 2009, Tebaldi *et al.* 2006) sugerem, de fato, que os possíveis cenários de aumento de chuva no sul do Brasil, projetados até finais do Século XXI, poderão ocorrer na forma de eventos extremos de chuva mais intensos e frequentes (Fig. 3). O oeste da Amazônia poderá experimentar um aumento na frequência de extremos de chuva até 2100, podendo gerar problemas de erosão e enchentes nesta região. Porém, a falta de informações hidrológicas confiáveis nesta região, não permite validar as tendências simuladas para a presente previsão.

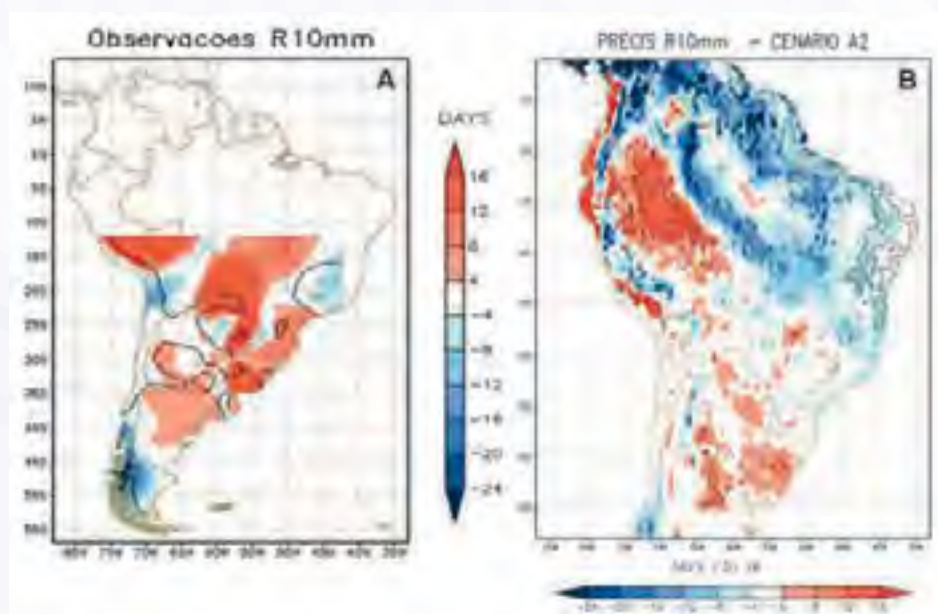


Figura 3. Tendência de extremos de chuva representados pelo índice R10 (número de dias com chuva acima de 10 mm), (A) baseado em observações para o período de 1951-2000; e (B) projetado pelo modelo regional HadRM3P para o período 2071-2100 relativo a 1961-1990, cenário A2 de altas emissões (Fonte: Marengo *et al.* 2009).

ESTUDOS DE IMPACTO E VULNERABILIDADE NO BRASIL

A maioria dos estudos no país tem se concentrado nos impactos sobre os recursos hídricos superficiais, com ênfase em assuntos ligados à hidroeletricidade e à agricultura. A título de exemplo, destaquem-se três estudos que sintetizam, em grande parte, os estudos existentes em termos de impacto das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos. São os seguintes:

- 1) Estudos recentes da Fundação de Desenvolvimento Sustentável (Salati *et al.* 2009) revelam que os cenários climáticos irão provocar uma redução do excedente hídrico em todas as grandes bacias brasileiras (tab. 1). Este estudo utilizou a média de 15 modelos climáticos do IPCC para os cenários B1 e A2 e o modelo regional HadRM3P para os mesmos cenários. O estudo utilizou o Balanço hídrico de Thornthwaite-Mather para oito regiões hidrográficas do Brasil e o balanço hídrico calibrado, de maneira a que os excedentes hídricos gerados no período 1960-1990 fossem compatíveis com os valores de vazão medidos na estação da rede da ANA.

A tabela 1 mostra que a redução dos excedentes hídricos é mais significativa na Região Nordeste do país e, em particular, na bacia do rio São Francisco. Também, o estudo prevê reduções na bacia do rio Tocantins.

Levando-se em conta a grande vulnerabilidade da Região Nordeste à escassez hídrica, fica claro de que, sob o ponto de vista da agricultura, espera-se forte impacto das mudanças climáticas nesta região.

BACIAS HIDROGRÁFICAS	1961 a 1990	Médias dos Modelos 2° x 2°lat/lon Período de 2011 – 2100						HadRM3P 50 km x 50 km					
		B1			A2			B2			A2		
		11-40	41-70	71-100	11-40	41-70	71-100	11-40	41-70	71-100	11-40	41-70	71-100
Rio Tocantins	100%	83%	77%	73%	84%	73%	63%	72%	67%	54%	73%	55%	47%
Rio Amazonas	100%	88%	82%	80%	89%	80%	73%	93%	84%	75%	93%	73%	70%
Rio Paraguai	100%	68%	60%	59%	73%	54%	40%	81%	91%	92%	90%	85%	147%
Rio Parnaíba	100%	69%	59%	56%	70%	54%	47%	32%	19%	14%	34%	13%	10%
Rio São Francisco	100%	73%	57%	43%	72%	46%	30%	38%	42%	47%	43%	45%	53%
Atlântico NE Occidental	100%	88%	87%	86%	92%	85%	80%	72%	62%	59%	71%	52%	47%
Região Sul	100%	95%	93%	92%	95%	90%	86%	111%	109%	116%	109%	101%	107%
Rio Paraná	100%	80%	74%	67%	83%	67%	47%	84%	84%	93%	94%	88%	110%

- 2) Na área da agricultura, estudo recente da EMBRAPA (2008) previu que o aquecimento global deverá provocar perdas da ordem de R\$ 7,4 bilhões em 2020, podendo atingir R\$ 14 bilhões em 2070. O estudo da EMBRAPA estimou que a soja será a cultura mais afetada. No pior cenário, as perdas poderão chegar a 40 % em 2070, levando a um prejuízo de até R\$ 7,6 bilhões. No estudo da EMBRAPA, o café produzido no Sudeste do Brasil deverá ser fortemente afetado pelo aumento de risco, mas poderá ter aumento de produção no sul do país. Milho, arroz, feijão, algodão e girassol sofrerão forte redução de área de baixo risco no Nordeste, com perda significativa da produção. A mandioca terá um ganho geral de área de baixo risco, mas deve sofrer graves perdas no Nordeste. A cultura da cana-de-açúcar poderá dobrar nas próximas décadas.
- 3) Merece destaque um estudo da COPPE (Schaeffer *et al.* 2008) que focalizou a questão da hidroeletricidade. Este estudo previu quedas na geração de energia que variam entre 1 e 2,2 % (média do parque elétrico nacional) nos cenários A2 e B2, respectivamente, sendo a mais afetada novamente a bacia do rio São Francisco, com quedas entre 4,3 e 7,7 %.

4) Em um estudo mais detalhado, porém, com abrangência regional, Tomasella *et al.* (2009) apresentaram um análise de impacto das mudanças climáticas para a bacia do rio Tocantins e suas principais sub-bacias, para o cenário A1B, usando o modelo ETA (resolução 40 km) com condições de contorno do modelo global HadCM3. O estudo concluiu que, em termos de médias mensais, a redução para o cenário 2080-2090 é da ordem de 30 %, mas que essas reduções poderão alcançar até 60 % na estação seca. De modo geral, esse estudo mostrou um deslocamento da curva de permanência para os mínimos, o que indica que há uma tendência à redução de vazões para quase todas as faixas de probabilidade. Ainda, os impactos são maiores no caso da bacia do rio Araguaia, cuja área de drenagem está localizada em terrenos cristalinos. Um aspecto importante desse estudo é o de indicar que a ocorrência de deficiências hídricas não é uniforme durante o ano inteiro e que o impacto pode variar dependendo das características da bacia hidrográfica.

Apesar de que estes estudos se concentraram em áreas e atividades de grande impacto econômico no país, eles carecem, em muitos casos, do grau de detalhamento necessário para que os planejadores possam dispor de subsídios técnicos necessários para a elaboração de planos regionalizados de mitigação. Isto decorre de restrições técnicas e científicas, que perpassam a falta de detalhamento dos cenários climáticos, a delimitação de incerteza e a limitações dos modelos matemáticos usados na avaliação do impacto.

Outro problema nos estudos existentes de impacto é seu caráter fortemente setorial. Os diferentes usos da água, sejam ou não consultivos, são fortemente interdependentes. Por exemplo, a expansão da área irrigada tem efeitos sobre a geração de energia à jusante. Sendo assim, a inexistência de enfoques integrados sobre o uso dos recursos hídricos não permite avaliar, no contexto de mudanças climáticas, se a direção das mudanças somada à expansão da demanda pela água devida ao aumento populacional e da temperatura terão, ou não, um efeito sinérgico entre os possíveis usos futuros do recurso.

Finalmente, há sérias limitações no conhecimento científico no que diz respeito ao estabelecimento de relações funcionais entre hidrologia, solo, clima e vegetação (ecohidrologia) nos principais ecossistemas do país. Este conhecimento é fundamental não apenas para a modelagem da distribuição espacial das comunidades ecológicas e sua estrutura física e de espécies, no sentido de melhor quantificar os recursos naturais do país, mas, também, para dar suporte teórico e experimental aos cenários futuros tais como o de “savanização” da Amazônia (Oyama & Nobre 2003) ou de “aridização” do Nordeste (Salazar *et al.* 2007). Estas relações funcionais entre vegetação e regime hídrico são totalmente desconhecidas no caso de ecossistemas sazonalmente alagados do país, como as extensas áreas do Pantanal ou da planície Amazônica.

É necessário, portanto, uma melhoria nestes estudos não apenas no que diz respeito às incertezas, mas também à abordagem dos diferentes estudos.

ÁGUA SUBTERRÂNEA

O aumento de temperatura devido às mudanças climáticas tem efeitos diretos sobre o ciclo hidrológico, alterando os montantes pluviométricos, sua distribuição temporal e espacial (frequência de secas e enchentes), afetando, portanto, processos hidrológicos tais como o escoamento e a infiltração. Estas mudanças irão afetar o armazenamento de água no solo e, conseqüentemente, a recarga dos aquíferos. Portanto, nesse contexto, é de se esperar que as mudanças climáticas afetem espacial e temporalmente os níveis dos aquíferos, o que tem conseqüência não apenas no abastecimento humano, mas também afetam a capacidade de regularização dos grandes rios (com conseqüências para todos os usos da água, consultivos ou não) ou, mesmo indiretamente, atividades como a construção civil e a mineração.

Conforme relatório da ANA (2005), o fluxo de recarga das reservas subterrâneas renováveis no país atingem por volta de $42 \text{ mil m}^3 \text{ s}^{-1}$ ou 24 % do escoamento médio dos rios em território nacional e 49 % da vazão de estiagem. Considerando as reservas exploráveis como sendo iguais a 20 % das renováveis, tem-se cerca de $8.400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ como disponibilidade hídrica subterrânea (reserva explorável) total no país. Esta estimativa corresponde a todos os sistemas aquíferos do país, incluindo os de menor potencial hidrogeológico como, por exemplo, os desenvolvidos em terrenos cristalinos.

O país possui importantes sistemas aquíferos com boa distribuição nas regiões hidrográficas e com bom potencial hídrico. A maior parte desses aquíferos é do tipo poroso e localiza-se em bacias sedimentares, que ocupam aproximadamente 48 % do território nacional. Os principais sistemas aquíferos do país totalizam uma reserva renovável de $20 \text{ mil m}^3 \text{ s}^{-1}$, com cerca de $4.100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ como valor de disponibilidade hídrica subterrânea (reserva explorável).

Pode-se argumentar que em um país com generosa oferta hídrica superficial, as reservas hídricas subterrâneas têm um alcance relativamente limitado. Entretanto, em várias regiões e centros urbanos do país, a água subterrânea representa o principal manancial hídrico, sendo utilizado para diversos fins como abastecimento humano, irrigação, indústria e lazer. Os aquíferos constituem, devido à sua grande extensão espacial (que elimina a necessidade de complexos sistemas de adução e distribuição de larga escala como no caso de fontes localizadas em rios e lagos), somada à sua natural capacidade de depuração, a principal fonte de fornecimento de água em muitas regiões do Brasil.

Esta deficiência decorre, em parte, por conta da enorme carência de estudos hidrogeológicos. Os estudos existentes, geralmente limitados às áreas sedimentares do país, têm escala regional restrita e são, em geral, antigos e defasados (ANA 2005).

CONCLUSÕES

Como já foi discutido antes, ainda não se tem um quadro claro sobre os possíveis impactos da mudança do clima na distribuição espacial e temporal dos recursos hídricos no continente. As incertezas ainda representam obstáculos para o planejamento operacional e o gerenciamento do recurso hídrico, mas, mesmo assim, este fato não pode ser utilizado para evitar ações imediatas de adaptação.

Uma das primeiras ações seria estabelecer programas de pesquisas e monitoramento para avaliar os riscos relativos às mudanças do clima. Regiões como o nordeste e o centro-oeste-sudeste são altamente vulneráveis, pela dependência da energia elétrica. Nessas regiões, mudanças climáticas (especialmente na forma de aumento de temperatura do ar) podem acrescentar o risco imposto pela crescente população, urbanização, industrialização, e mudanças no uso da terra associadas à agricultura e à pecuária. Na Amazônia, entretanto, os problemas são associados à possível perda de biodiversidade e aos impactos no ciclo hidrológico.

Evidências científicas apontam para o fato de que as mudanças climáticas representam um sério risco para os recursos hídricos no Brasil. Não só as mudanças do clima futuro representam risco, mas também a variabilidade climática. Basta lembrar as secas da Amazônia, Nordeste, Sul e Sudeste do Brasil nos últimos 10 anos, os extremos de chuva no Sul e Sudeste do Brasil durante os recentes períodos de verão e as cheias no Norte e Nordeste em 2009, os quais têm afetado a economia regional e nacional e causado grande impacto social.

O gerenciamento adequado dos recursos hídricos face às mudanças climáticas irá depender do conhecimento de sua disponibilidade e de como essa disponibilidade será afetada por diferentes cenários. Sendo assim, é necessário aprimorar os estudos já existentes, reduzindo a incerteza e aumentando o detalhamento da informação.

Apesar de existirem diversos estudos sobre disponibilidade de recursos hídricos superficiais, nota-se uma grande carência na parte dos recursos hídricos subterrâneos. Há poucas evidências experimentais do grau de resiliência dos ecossistemas brasileiros, o que é fundamental para se determinar a sobrevivência desses ecossistemas face às mudanças climáticas.

Algumas ações de adaptação do setor recursos hídricos às mudanças climáticas poderiam ser:

- Melhoramento da infra-estrutura dos sistemas de esgoto e fornecimento de água.
- Redução dos vazamentos.
- Criação e promoção de medidas de conservação do uso de água pela indústria e pela população.
- Exigência de medidas que evitem o desperdício de água para a aprovação de novos projetos de construção.
- Recuperação de ecossistemas naturais em áreas de mananciais.
- Para o risco de enchentes e deslizamentos, precisa-se de uma melhoria na identificação de áreas de risco.
- Sistemas de alerta de previsão do tempo e preparação para desastres naturais.
- Evitar novos empreendimentos em áreas de risco e realocação em áreas de extremo risco.
- Melhoria ou criação de sistemas de aviso prévio de enchentes e deslizamentos.
- Promoção de desenho ("design") e de materiais anti-enchentes para edificações.

Devido à importante função social como fonte de abastecimento humano, faz-se necessário uma melhor avaliação do potencial dos aquíferos no país e como esse potencial será afetado no futuro. Este estudo serviria, ao mesmo tempo, para determinar como as reservas hídricas subterrâneas poderão contribuir para a mitigação dessas mudanças.

AGRADECIMENTOS

Este documento é derivado, principalmente, dos resultados dos projetos *Caracterização do clima atual e de previsão das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*, apoiado pelo CNPq a través do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) para Mudanças Climáticas, Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira, PROBIO, com o apoio do MMA/BIRD/GEF/CNPq e pelo Global Opportunity Fund-GOF do Reino Unido, através do projeto *Using Regional Climate Change Scenarios for Studies on Vulnerability and Adaptation in Brazil and South America*. O ÚLTIMO relatório é uma contribuição do Centro de Ciência do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

REFERÊNCIAS CITADAS

- Ambrizzi, T., Rocha, R., Marengo, J., Pisnitchenko, A.I., Alves, L. & Fernandez, J.P. 2007. Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: projeções de clima usando três modelos regionais. Relatório 3. Ministério do Meio Ambiente-MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas-SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade-DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade, Subprojeto: caracterização do clima atual e de previsão das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fevereiro 2007.
- ANA. 2005. Cadernos de Recursos Hídricos. Disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil. 2005. 134 p.

- Bates, B., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. & Palutikof, J. (eds). 2008. Climate change and water, IPCC Technical paper on climate change and water. IPCC Secretariat, Geneva. 220 p.
- Cox, P., Harris, P., Huntingford, C., Betts, R., Collins, M., Jones, C., Jupp, T., Marengo, J.A. & Nobre, C. 2008. Increase risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature* 453: 212-216.
- EMBRAPA 2008. Aquecimento global e a nova Geografia da produção agrícola no Brasil. 84 p.
- Franco, B. et al. 2003. Tropical climate change recorded by a glacier of the central Andes during the last decades of the 20th century: Chacaltaya, Bolivia, 16°S. *Journal of Geophysical Research* 108: 245-267.
- GEO Brasil 2007: Recursos hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. Ministério do Meio Ambiente, Agência Nacional de Águas, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: MMA, ANA, 2007. 264 p. (GEO Brasil Série Temática: GEO Brasil Recursos Hídricos).
- Gleick, P.H. 2000. The world's water, 2000-2001: report on freshwater resources. Island Press, Washington DC. 315 p.
- INPE. 2008. As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina: um estudo de caso visando à melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos. 71 p.
- Magrin, G., Gay-García, C., Cruz-Choque, D., Giménez, J.C., Moreno, A.R., Nagy, G.J., Nobre, C. & Villamizar, A. 2007. Latin America. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds) Contribution of working group II to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge. p. 581-615.
- Marengo, J.A., Alves, L., Valverde, M., Rocha R., & Laborbe, R. 2007. Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 5, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Diretoria de Conservação da Biodiversidade, Mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade, sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fevereiro 2007.
- Marengo, J. A., Nobre, C., Tomasella, J., Oyama, M., Sampaio, G., Camargo, H., Alves, L. De Oliveira, R. 2008 a: The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate* 21: 495-516.
- Marengo J.A., Nobre, C., Tomasella, J. & Cardoso, M.M. 2008b. OyamaHydro-climatic and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Biological Sciences* 21: 1-6.
- Marengo, J.A., Jones, R., Alves, L. & Valverde, M. 2009. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.1863.
- Meehl, G.A., Stocker, T.F., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., Gregory, M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J.M., Noda, A., Raper, S.C.B., Watterson, I.G., Weaver, A.J. & Zhao, Z.-C. 2007. Global climate projections. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. & Miller, H.L. (eds.) Climate change 2007: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. p. 749-844.

- Milly, P.C.D., Dunne, K.A. & Vecchia, A.V. 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature* 438: 347-350.
- Oyama, M.D. & Nobre, C.A. 2003. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. *Geophysical Research Letters* 30(23): 51-54.
- Salati, E., Schindler, W., Victoria, D.C., Salati, E., Souza, J.C.S. & Villa Nova, N.A. 2009. Economics of climate change in Brazil: estimativas da oferta de recursos hídricos no Brasil em cenários futuros de clima (2015-2100). 89 p.
- Salazar L. F., Nobre, C.A. & Oyama, M.D. 2007. Climate change consequences on the biome distribution in tropical. *Geophysical Research Letters* 34(9): 1-6.
- Schaeffer, R., Szklo, A.S., Lucena, A.F.P., Souza, R.R., Borba, B.S.M.C., Costa, I.V.L., Pereira Jr, A.O. & Cunha, S.H.F. 2008. Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil. Nova Brasileira, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro. 67 p.
- Shiklomanov, I.A., Shiklomanov, A.I., Lammers, R.B., Peterson, B.J. & Vorosmarty, C.J. 2000. The dynamics of river water inflow to the Arctic Ocean. In: Lewis, E.L., Jones, E.P., Prowse, T.D. & Wadhams, P. (eds) *The freshwater budget of the Arctic Ocean*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. p. 281-296.
- Tomasella, J., Rodriguez, D.A., Cuartas, L.A., Ferreira, M., Ferreira, J.C. & Marengo, J. 2009. Estudo de impacto das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos superficiais e sobre os níveis dos aquíferos na bacia do rio Tocantins. Convênio de Cooperação Técnico-Científica INPE-VALE. 70 p.
- Trenberth, K.E., Jones, P.D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein O., Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J.A., Rusticucci, M., Soden, B. & Zhai, P. 2007. Observations: surface and atmospheric climate change. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. and Miller, H.L. (eds.) *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge. p. 237-336.
- Tundisi, J.G. 2008. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos Avançados* 22(63): 7-16.
- UK MET OFFICE. 2005. Climate change, rivers and rainfall: recent research on climate change science from the Hadley Centre. December 2005. UK Met Office, Exeter.
- Vera, C., Silvestri, G., Liebmann, B. & González, P. 2006. Climate change scenarios for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models. *Geophysics Research Letters* 33, L13707, doi:10.1029/2006GL025759, 2006.
- Vergara, A., Deeb, M., Valencia, A.M., Bradley, R.S., Francou, B., Zarzar, A., Grünwaldt, A. & Haeussling, S.M. 2007. Economic impacts of rapid glacier retreat in the Andes. *EOS* 88(25): 19 de junho de 2007.

13

SÍNTESE

SÍNTESE

Carlos E. de M. Bicudo¹

José G. Tundisi²

Marcos Cortesão B. Scheuestuhl³

Em entrevista à Agência Reuter de Notícias, Zafar Adel, atual Presidente da ONU-Água, onde coordena os trabalhos relacionados à água de 26 agências das Nações Unidas, e Diretor do Instituto de Água, Meio Ambiente e Saúde da Universidade das Nações Unidas, no Canadá, disse que a água exerce impacto em todos os momentos de nossa vida, seja sobre a sociedade seja sobre os sistemas naturais e os habitats. Disse mais, que as perturbações impostas ao meio ambiente podem ameaçar a agricultura e o suprimento de água potável, desde a África até o Oriente Médio e pode gerar conflitos, pois sua escassez, como ocorre, por exemplo, em Darfur, no Sudão, vem sendo um fator que contribui para guerras. Mas, Zafar Adel também mencionou que a água já serviu, em várias circunstâncias, para promover cooperações e citou, como exemplo, que a Índia e o Paquistão colaboram para gerir o rio Indo, apesar de seus conflitos de fronteira e que Vietnã, Tailândia, Laos e Camboja cooperam na Comissão do rio Mekong.

Zafar Adel mencionou ainda que a água merece um lugar mais central nos debates sobre segurança alimentar, paz, mudanças climáticas e recuperação da crise financeira, pois é fundamental em cada uma dessas discussões, mas, não costuma ser assumida como tal. Chamou também atenção para os esforços para gerenciar o suprimento de água, contabilizando quanta água está embutida nos produtos (água virtual), desde a carne bovina até o café.

Concluiu sua entrevista afirmando que o mundo pode alcançar uma das metas do milênio, qual seja, a de reduzir pela metade até 2015 a parcela de pessoas que não têm acesso à água potável, mas que está fracassando em outra: a de melhorar o saneamento. E citou que ao redor de 2,8 bilhões de pessoas não têm acesso ao saneamento básico.

¹ Núcleo de Pesquisa em Ecologia, Instituto de Botânica, Caixa postal 3005, 01061-970 São Paulo, SP, cbicudo@terra.com.br

² Associação Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental, Rua Bento Carlos, nº 750, 13560-660 São Carlos, SP, tundisi@iie.com.br

³ Academia Brasileira de Ciências, Rua Aníllio de Carvalho, nº 29, 20030-060 Rio de Janeiro, RJ, mcbs@abc.org.br

O “workshop” intitulado “**A crise da água e o desenvolvimento nacional: um desafio multidisciplinar**” realizado em Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais, nos dias 29 e 30 de outubro de 2009, já havia adiantado discussões nesses sentidos, porém, com vista ao nosso país. A reunião contou com a participação de renomados especialistas nas áreas de gestão, abastecimento, água subterrânea, mudanças climáticas, geografia política, limnologia, química e engenharia. Na reunião plenária do “workshop” foram consolidadas as discussões dos temas apresentados salientando alguns aspectos considerados essenciais para a melhoria da gestão dos recursos hídricos no Brasil, com destaque para sugestões a serem incluídas no Plano Nacional de Recursos Hídricos e para considerações a serem adiantadas à Agência Nacional de Águas e ao Ministério de Ciência e Tecnologia. Merecem destaque questões como: gestão de águas transfronteiriças, detalhamento das ecorregiões aquáticas com vistas à conservação e ao uso sustentável dos recursos hídricos, capacitação de gestores municipais, ampliação do reuso de água, referenciamento geológico da água quanto ao suprimento e aos processos de contaminação e geodinâmica, recuperação de séries históricas, efeitos das mudanças climáticas e cenários de segurança hídrica, dentre outros.

A gestão dos recursos hídricos em nosso país vem experimentando um considerável salto de qualidade nos últimos 30 anos, com um foco de gestão pública eficaz e multi-objetivos. A Lei nº 9.433/1997, de Gestão dos Recursos Hídricos do Brasil, foi o marco dessa nova fase, bem como o foi a criação, em 2006, da ANA, Agência Nacional de Águas. A gestão compartilhada dos recursos hídricos impõe-se como um desafio para a sociedade, pois os recursos financeiros públicos tornam-se diluídos, minguando em função do aumento da população, dos problemas ambientais e da crise econômica mundial. O Brasil poderá beneficiar-se, por ser um produtor de “commodities”, de sua extensão territorial e de sua posição geográfica no Planeta. Prante esse dilema, então, como é que a sociedade brasileira poderá enfrentar a escassez de água no futuro próximo? Este é o desafio que se impõe aos gestores das políticas públicas.

Contudo, alterações no ciclo biológico ocasionadas pelo processo de mudança climática global tendem a agravar a situação. Quase 90 % dos cerca de 4 bilhões de episódios anuais de diarreia em todo o mundo são atribuídos a doenças relacionadas ao esgotamento sanitário e na provisão de água de boa qualidade para o consumo público. No Brasil, os principais problemas de saúde pública associados à água são doenças diarreicas, doenças cujos vetores são de vida aquática (malária e dengue), esquistossomose, leptospirose, várias helmintoses e a intoxicação por cianotoxinas.

Há também que considerar o aumento dos conflitos pelo uso da água, os custos elevados associados à sua cobrança, a resposta do mercado financeiro às empresas que promovem práticas conservacionistas e os apelos que a imagem ambiental positiva vem causando sobre o setor industrial, estimulando-o a implementar programas extensivos de gestão ambiental. Um significativo engajamento de empresas industriais e agrícolas em metas de redução de consumo de água, de reuso e reciclagem de efluentes industriais vem ocorrendo como consequência de tais ações. Mas, a universalização da prática do reuso da água no Brasil em todos os setores está, ainda hoje, longe de se concretizar e só ocorrerá através de uma decisão político-institucional e da promulgação de um arcabouço legal realista, que possa ser efetivamente implementado através de comitês de bacias hidrográficas.

A multiplicidade de climas em nosso Brasil, que é facilmente visível através de um sem número de paisagens, de raças, de climas e de economias, gera enormes disparidades quanto à distribuição e quantidade dos recursos hídricos em seu território. As características edafoclimáticas e sócio-econômicas do chamado semi-árido brasileiro requerem tecnologias específicas de utilização de seus recursos hídricos. Nessa região, além do quadro de escassez quase permanente de água, a utilização incorreta desse recurso aumenta a fragilidade da região ao processo de desertificação. Devem-se abordar, neste contexto, os problemas derivados da escassez de água

e do abastecimento de comunidades difusas levando em consideração tecnologias alternativas, de baixo custo e fácil apropriação pela população. Certas dessas alternativas e a relevância das obras de integração entre bacias hidrográficas para a região devem ser tratadas como absoluta prioridade, a fim de garantir a gestão de seus recursos hídricos com foco na conservação e no uso sustentável.

O Nordeste do Brasil é a região mais exposta aos riscos da variabilidade climática e a um possível processo de “aridização” e subsequente desertificação devido às próprias mudanças climáticas. Estima-se que até o ano 2025 mais de 70 % das cidades localizadas na região do semi-árido nordestino, que possuem população acima de 5.000 habitantes, enfrentarão crise no abastecimento de água para consumo humano. Conforme estimativa da ANA, problemas de abastecimento deverão atingir ao redor de 41 milhões de habitantes dessa região. A situação também é bastante preocupante na Amazônia, onde as possibilidades de ocorrência de períodos de intensa seca podem aumentar dos atuais 5 % (uma forte estiagem a cada 20 anos) para 50 % em 2030 e 90 % em 2100.

Nos centros densamente populosos, a urbanização aumenta a competição pelos mesmos recursos naturais (ar, água e terra) num pequeno espaço para todas as necessidades humanas de vida, produção e recreação. A infra-estrutura para a água geralmente inclui, nos centros urbanos, água e saneamento. O saneamento refere-se unicamente à coleta e ao tratamento de efluentes domésticos e industriais, jamais incluindo a drenagem e os resíduos sólidos. Tanto os primeiros quanto os últimos são componentes de um ambiente urbano sustentável, que inclui a conservação ambiental, a saúde e aspectos sócio-econômicos do desenvolvimento urbano. A própria gestão das águas urbanas é fragmentada, já que não existe integração entre os serviços das agências prestadoras, nem uma empresa que gerencie o conjunto destes serviços. Os resultados são, por conseguinte, pobres e não há indicação de sua eficiência. Além disso, o aumento populacional somado à diversificação dos usos múltiplos, às retiradas permanentes de água para as diversas finalidades e à perda dos mecanismos de retenção da água têm diminuído, consideravelmente, sua disponibilidade, causando inúmeros problemas de escassez. No meio urbano, o quadro acima é agravado pelo crescimento de ocupações irregulares e pela total falta de um sistema de saneamento ou, pelo menos, de um sistema eficaz desse mesmo sistema de saneamento.

O Brasil vem explorando, de forma crescente e extremamente preocupante, as águas subterrâneas para abastecimento de cidades e núcleos urbanos, assim como para a indústria, a irrigação e o turismo. Apesar de sua expressiva contribuição para o desenvolvimento sócio-econômico de muitas regiões do Brasil e de seu papel ecológico na manutenção do fluxo de base dos corpos d'água, a gestão da água subterrânea ainda é bastante incipiente e não reflete sua relevância atual e estratégica. A falta de políticas públicas para o setor torna-se demasiadamente visível ao se observar a lacuna de conhecimento do estágio de utilização e das potencialidades dos aquíferos, bem como dos riscos de contaminação antropogênica a que estão submetidos e que afetam sua qualidade. A matriz hídrica de nosso país não contempla, de forma correta, esse recurso e faz perder oportunidades de seu uso eficiente, o que permitiria reduzir custos de instalação e operação de sistemas de abastecimento de água e torná-la mais protegida em eventos associados com as mudanças climáticas. Carecemos, em nosso país, de um disciplinamento no uso da água subterrânea, reconhecendo as áreas de maior demanda e avaliando os perigos de uma superexploração. Caracemos, também, da proteção dos aquíferos e de suas captações quanto à contaminação antropogênica. Carecemos, finalmente, do estabelecimento de bases técnicas que permitam aproveitar, de forma integrada e sinérgica, os recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Há necessidade premente, então, de promover uma integração mais efetiva de Ciência, Tecnologia e Inovação com a gestão integrada dos recursos hídricos e a governança da água. O

Estado deverá investir mais eficazmente em pesquisa nas áreas de contaminação, eutrofização, poluentes orgânicos persistentes, tecnologias de monitoramento e estudos de bioindicadores, com vistas à promoção de uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos no nível de bacia hidrográfica. Investimentos devem também ser direcionados para o desenvolvimento de tecnologias de dessalinização e reuso da água, visando à redução da demanda e da economia regional do recurso. A aplicação de cenários e modelos ecológicos e matemáticos será fundamental na escolha de novas oportunidades e alternativas de gestão. A valoração econômica dos serviços dos ecossistemas pode acrescentar novas perspectivas para o uso de instrumentos econômicos para a gestão da água. A interação mais efetiva entre ecólogos, limnólogos e engenheiros é absolutamente necessária e imprescindível para uma visão sistêmica. Finalmente, a aplicação dos estudos estratégicos deverá promover novas possibilidades na gestão integrada e preditiva em nível de bacias hidrográficas.

O panorama atual da água no Brasil é cinzento. Embora dono de um contingente imenso de corpos d'água, pois o país inclui por volta de 12 % da disponibilidade mundial dos recursos hídricos, a distribuição desse recurso é extremamente desigual em nosso país. Ilustrando, 80 % dessas reservas encontram-se na Amazônia, enquanto a região semi-árida possui apenas 4 %, mesmo incluindo a grande bacia hidrográfica do rio São Francisco.

Temos, então, que cuidar urgentemente de nossas águas, para que esta não venha a faltar ou, se presente, não apresentar características adequadas para o consumo humano. Neste sentido, deve-se destacar o seguinte:

- Os novos desafios para a gestão de recursos hídricos incluem a descentralização da gestão para as bacias hidrográficas regionais; a organização e o suporte às agências de bacia como órgão executor das políticas e propostas de gestão; e a capacidade de inovação e organização de cenários com base em bancos de dados e séries históricas a partir de cada bacia hidrográfica.
- Há necessidade de apoio a pesquisas avançadas sobre recursos hídricos e ecossistemas aquáticos; o funcionamento ecológico de rios, lagos, represas e estuários devem merecer mais atenção com investimentos maciços em equipes interdisciplinares com capacidade para enfrentar esses desafios e produzir conhecimento novo com alto valor agregado.
- Os avanços no monitoramento da qualidade e quantidade das águas superficiais e subterrâneas são essenciais. Há necessidade de investimentos em tecnologias de monitoramento e na organização de redes regionais de monitoramento integradas às tecnologias de gestão. A integração dos dados de monitoramento com os sistemas de gestão de bacias, geoprocessamento, módulos e modelos de geração de cargas nas bacias deve avançar de forma extremamente positiva, integrando as malhas hídricas e as informações quantitativas das bacias hidrográficas. A criação de interfaces entre os dados de monitoramento, os sistemas de dados e séries históricas e os processos e métodos de gestão de bacias é outro conjunto de excepcional importância de bacias hidrográficas.
- A organização de redes de estudos que integrem dados da qualidade de água com a saúde humana é outra necessidade urgente no Brasil. Há poucas informações epidemiológicas no Brasil sobre os impactos da qualidade da água na saúde humana e os efeitos de curto, médio e longo prazo. Áreas periurbanas de grandes metrópoles tem populações vulneráveis e com risco aumentado de doenças de veiculação hídrica, devido à má qualidade da água de abastecimento, ao saneamento básico precário e às más condições de habitação.

**GOVERNO DO ESTADO
DE SÃO PAULO**

Governador

Alberto Goldman

**SECRETARIA DO
MEIO AMBIENTE**

Secretário

Pedro Ubiratan Escorel de Azevedo

INSTITUTO DE BOTÂNICA

Diretora Geral

Vera Lúcia Ramos Bononi

Projeto Gráfico

Vanessa Merizzi

CTP, Impressão e Acabamento

Imprensa Oficial do Estado de São Paulo

formato
210 x 297 mm

número de páginas
224

tiragem
1000

tipologia
myriad pro

miolo
papel couchê fosco 90g/m²

capa
papel cartão triplex 250g/m²

ISBN 978-85-7523-032-9



9 788575 230329



SECRETARIA DO
MEIO AMBIENTE



Ministério da
Ciência e Tecnologia

