

ESTUDOS DE CASO - RELATO

Nilo de Oliveira Nascimento¹ e Luiz Rafael Palmier¹

Resumo: Esse texto apresenta e discute as contribuições ao Simpósio Internacional sobre Gestão de Recursos Hídricos classificadas como estudos de caso. Nessa categoria encontram-se 10 trabalhos abordando temas relacionados com o monitoramento de qualidade de água em cursos d'água, o diagnóstico ambiental, a modelagem matemática de processos hidrológicos e de qualidade de água, a participação de usuários na definição de política de gestão das águas e a educação ambiental.

1 - INTRODUÇÃO

Quando se observa a lista de contribuições, classificadas como estudos de caso (quadro 1), ao Simpósio Internacional sobre Gestão de Recursos Hídricos realizado em Gramado, entre 05 e 08 de Outubro de 1998, facilmente se constata uma grande variedade temática, signo da riqueza das questões aí tratadas, das diversas linhas de reflexão e dos diferentes métodos aí empregados.

Para abordar adequadamente uma tal diversidade sem prejuízos de conteúdos e enfoques, procurou-se construir um quadro conceitual onde inserir o conjunto das contribuições, um quadro que deveria ser breve, não deixando de se fazer abrangente. Nessa base conceitual, apresenta-se uma discussão sobre as relações complexas entre três sistemas que contextualizam a gestão das águas: o meio físico natural (bacia hidrográfica, meio aquático, características climáticas, etc.), que sofre os impactos positivos e negativos de ações antrópicas; o sistema físico artificial de controle (canalizações, estações de tratamento de efluentes, barragens, diques, estações elevatórias, etc.) e o sistema de gestão das águas, propriamente dito (instituições, usuários, normas, legislação, instrumentos econômicos, planos, etc.).

Discutem-se, em seguida, tanto o papel do monitoramento e da modelagem matemática de variáveis e processos hidrológicos (qualidade e quantidade de água) – utilizados na realização de diagnósticos ambientais, na ajuda à definição de políticas de gestão e à tomada de decisão, na avaliação *a posteriori* de eficácia de políticas e decisões gerenciais – quanto as dificuldades e necessidades de pesquisa nesse domínio.

Ainda dentro da contextualização, abordam-se as questões relacionadas com a avaliação da efetividade de ações e políticas de investimentos definidas dentro do sistema comitê de bacia hidrográfica – agência de água¹ e seus impactos sobre a recuperação ambiental tendo por referência o meio aquático.

A partir dessa base de referência conceitual, são apresentados e discutidos os trabalhos listados no quadro 1, acima.

2 - REFERÊNCIAS CONCEITUAIS E ESTUDOS DE CASO

Adotando-se uma formulação bastante sintética para caracterizar o contexto em que se exerce a gestão das águas, pode-se descrevê-lo por meio da definição de contornos, da descrição de conteúdos e da análise de interações entre o sistema meio físico natural, o sistema físico artificial de controle e o sistema de gestão das águas, propriamente dito².

O sistema meio físico natural compreende a bacia hidrográfica, o clima, o meio aquático e o ecossistema associado à bacia. As características físicas fundamentais da bacia hidrográfica podem ser materializadas por intermédio de parâmetros geomorfológicos e hidrográficos, bem como por meio de descrições, variáveis e parâmetros associados à geologia, ao tipo de solo e à cobertura vegetal. Esse sistema físico é submetido aos processos climáticos típicos da região em que se insere refletindo-se nos processos hidrológicos que aí se desenvolvem. Clima e hidrologia são descritos por um grande conjunto de variáveis caracterizando os regimes de precipitação, vazão, temperatura do ar atmosférico, evapotranspiração, escoamento subterrâneo, etc. Essas variáveis, somadas a parâmetros físico-

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Hidráulica e Recursos Hídricos, Av. do Contorno, 842, 30110-060 Belo Horizonte, MG, Brazil. E-mail: niloon@ehr.ufmg.br e palmier@ehr.ufmg.br

¹ Nesse texto, adota-se, por razões de simplicidade, a terminologia 'sistema comitê-agência'.

² Essa classificação sistêmica baseia-se na adotada por Bédriot (1998).

químicos de qualidade de água, definem o meio físico água, que é um sub-sistema do sistema meio físico natural.

Quadro 1 – Relação dos trabalhos classificados como estudo de caso

N.	Primeiro autor	Título do trabalho	Palavra-chave
1	H.N. Melo	Diagnóstico ambiental das bacias dos rios Piranha-Açu e Apodi-Mossoró, RN - Brasil	qualidade de água; matéria orgânica; diagnóstico
2	E. M.A. Guimarães	Trabalhos de campo em microbacias hidrográficas urbanizadas: um estudo de caso	educação ambiental; trabalho de campo; mobilização social
3	M. Kobiyama	Estimation of the annual hydrological budget of the Cubatão-Sul watershed (Sta. Catarina State, Brazil) with a mathematical model HYVYMODEL	modelagem matemática; relação chuva-vazão; efeitos antrópicos
4	D.O.C. Jofré	Impacto ambiental sobre el recurso hidrico en San Juan. Reuso de efluentes para riego.	reuso de efluentes cloacais; irrigação; planejamento de recuperação ambiental
5	J. Moretton	Proyecto para el análisis integrado de la cuenca del rio Matanza-Riachuelo. Dinámica del sistema y bases para su monitoreo y biorremediación	qualidade de água; monitoramento; diagnóstico; biorremediação
6	T.M.C. Studart	A gestão das águas na bacia do Curu – ontem e hoje	participação de usuários; comitê de bacia; gestão; raízes históricas
7	L.F.S. Assis	Condicionantes para o aproveitamento dos recursos ambientais e necessidades de gestão – estudo de caso: bacia do Rio Verde Grande	análise disponibilidade-demanda; zoneamento de áreas de escassez; irrigação
8	A.F. Cirelli	Estudio integral de las aguas superficiales y subterranas para el desarrollo regional en la cuenca inferior del rio Salado, Argentina	qualidade de água; enfoque multimensional; atividades agropecuárias: impactos
9	T. Guerra	Caracterização hidrogeoquímica do rio Taquari-RS	qualidade de água; análise fatorial; diagnóstico
10	R.G. Vadas	A methodology for water quantity and quality assessment for wetland development	sistema de ajuda à decisão; SIG; análise de qualidade e de quantidade de água

O meio físico natural é o substrato para o desenvolvimento da vida e suas características (clima, morfologia, qualidade físico-química da água e dos sedimentos, etc.) revelam sua potencialidade para acolher seres vivos, em termos de funcionalidade do ecossistema e de qualidade dos habitats. A construção de elementos de ligação mais orgânicos e de relações de caráter dinâmico entre ecossistemas e bacias hidrográficas desenvolveu-se historicamente a partir do próprio conceito de ecossistema, enunciado por Tansley, em 1935: o ecossistema é uma unidade física individualizada, “incluindo não apenas o complexo de organismos, mas todo o complexo de fatores físicos, formando o que chamamos o ambiente do bioma – o fator habitat em seu mais amplo sentido”³, com características intrínsecas que permitem entendê-lo e estudá-lo como um objeto individualizado de pesquisa.

A conceituação de Tansley coloca o problema de se materializar com precisão os limites físicos dos ecossistemas, para que as hipóteses de sua especificidade e a natureza de suas interações com ecossistemas vizinhos sejam verificadas e compreendidas. Os lagos, justamente em razão da facilidade em se estabelecerem suas condições de contorno – os limites físicos de entrada e saída de matéria e energia – tornaram-se, de início, os ecossistemas mais estudados.

No caso dos ecossistemas terrestres, o problema de estabelecimento de contornos apenas começou a ser efetivamente abordado a partir de 1962, quando Bormann e Linkens passaram a adotar os conceitos de divisor de águas e de bacias hidrográficas, correntemente empregados em hidrologia,

³ Tansley; apud Golley (1993).

para realizarem estudos de ciclos de nutrientes. Os experimentos conduzidos por Bormann e Linkens, em Hubbard Brook (Golley, 1993) permitiram:

- vincular-se processos geoquímicos, ciências dos solos, hidrologia e ciências da atmosfera em uma mesma base analítica, evidenciando-se a dependência do fluxo de nutrientes com relação a variáveis como precipitação, evapotranspiração e vazão;
- estabelecer a bacia hidrográfica como um objeto experimental, investigando os impactos de manipulações realizadas na cobertura vegetal – como o corte de florestas, os incêndios controlados, a substituição de espécies vegetais – sobre os processos hidrológicos e o balanço de nutrientes;
- identificar a água, em seus aspectos de quantidade e de qualidade, como um indicador de estado do ecossistema.

O ponto de vista atual sobre esses conceitos, importantes para a compreensão do contexto em que se faz a gestão das águas, de uma forma geral, e, em particular, para a discussão dos artigos aqui apresentados, pode ser visualizado através da figura 1. Essa figura valoriza o conceito de interconectividade entre sistemas, drenados por uma rede hidrográfica, tal como usualmente empregado em ecologia de paisagens (Stanford e Ward, 1992; Lee et al., 1992).

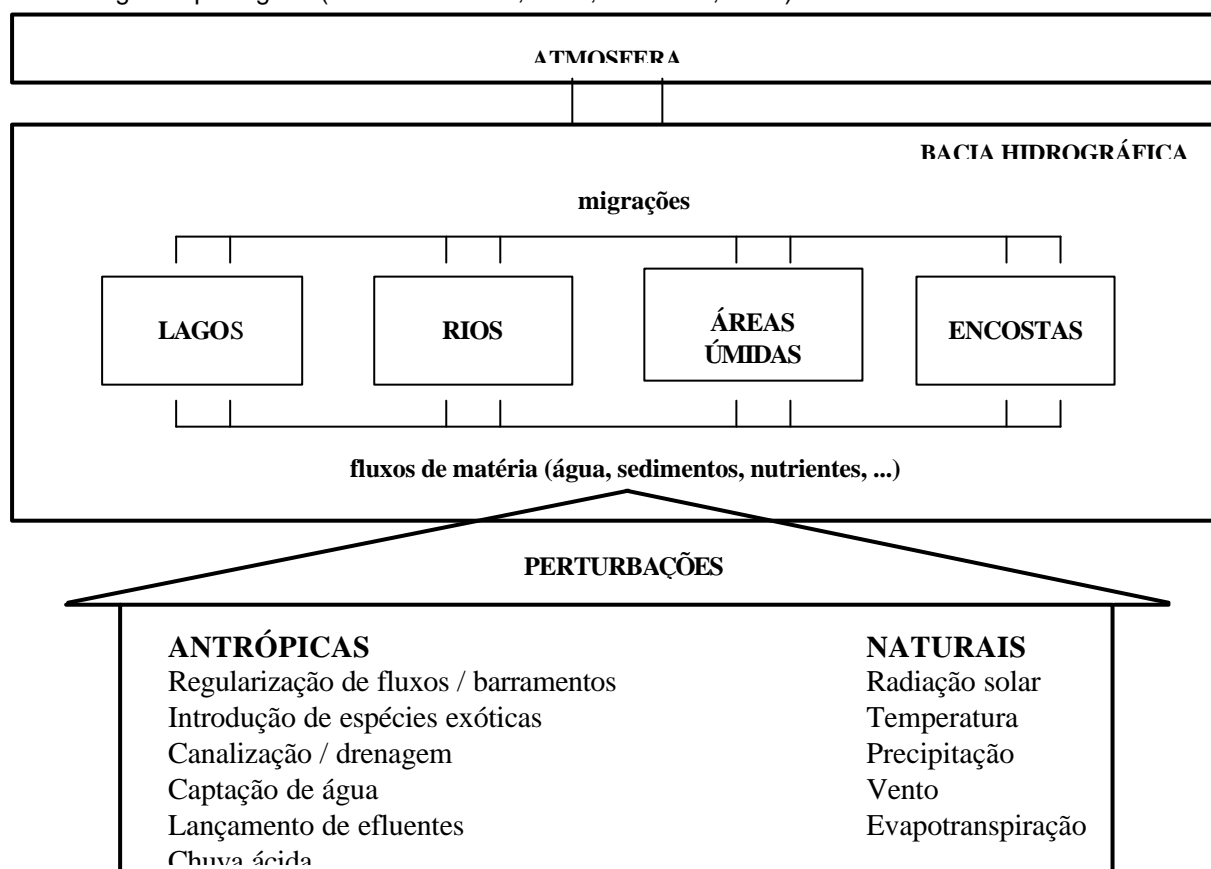


Figura 1 – Conectividade ecológica (adaptado de Stanford e Ward, 1992).

A bacia hidrográfica é concebida como um conjunto de elementos de paisagem interconectados pelo escoamento, a água integrando, por esse processo, os efeitos de perturbações naturais e antrópicas sobre o meio/ecossistema, o que deve se refletir em suas características de quantidade e qualidade. Portanto, o monitoramento e a modelagem de quantidade e qualidade de água na bacia hidrográfica, podem permitir a avaliação dos impactos de ações antrópicas sobre o meio tanto quanto da efetividade de medidas mitigadoras eventualmente implementadas.

O sistema físico artificial de controle é composto, em sua grande parte, por estruturas hidráulicas de captação de água para diferentes usos, de regularização de vazões para diferentes fins, de conformação de leito de cursos d'água e de proteção contra inundações, bem como por redes de drenagem pluvial e de esgotos doméstico e industrial, por usinas de tratamento de água de abastecimento e de efluentes domésticos e industriais, entre outras. Ao contrário do anterior, trata-se

aqui de um sistema artificial que justamente permite estabelecer interações com o meio natural, em particular o meio aquático, criando um espaço modificado de interconexão entre elementos de paisagem e sistemas de drenagem. A construção e a operação desse sistema artificial faz-se por intermédio de simulações de processos naturais e alterados, métodos e normas técnicas de dimensionamento, regras de operação e métodos de otimização de processos e indicadores de desempenho. Tradicionalmente as ações desenvolvidas nesse contexto são chamadas de gerenciamento de recursos hídricos.

A gestão das águas é um conceito mais amplo e abrangente que o de gerenciamento de recursos hídricos. De fato, o gerenciamento possui forte caráter antropocêntrico, buscando principalmente disponibilizar recursos hídricos em quantidade e qualidade adequadas aos usos humanos, bem como a proteção dos seres humanos contra os extremos da variabilidade natural dos processos hidrológicos. A gestão das águas deve incluir preocupações, métodos e critérios que atendam aos objetivos do gerenciamento, mas que visem, igualmente, a preservação e, quando for o caso, a restauração dos ecossistemas, de forma a garantir a sustentabilidade econômica e ecológica das interações entre o homem e o meio.

Em seu aspecto institucional, o sistema de gestão das águas é constituído por um conjunto de leis, regras, normas e instrumentos e pelas instituições que têm a atribuição e a responsabilidade de aplicá-los. No caso do Brasil, adotou-se recentemente o modelo de gestão por bacias hidrográficas, definido pela Lei n. 9.433, de Janeiro de 1997, que estabelece o Sistema Nacional de Recursos Hídricos. Nesse caso, a gestão é simultaneamente exercida pelo sistema comitê-agência e pelo Estado (federal ou estados membros da União). Para o exercício da gestão, o sistema comitê-agência dispõe de instrumentos econômicos, legais e de planejamento. Já o Estado vale-se principalmente da legislação ambiental que lhe permite o exercício de poder de polícia, o zoneamento ambiental e o ordenamento do território (controle do uso e ocupação do solo), bem como a vigilância e o controle da qualidade ambiental do meio (e.g.: monitoramento da qualidade de água).

A figura 2 mostra a estrutura de decisão-ação do sistema comitê-agência. Nessa figura, representa-se por uma linha tracejada o retorno ao sistema comitê-agência das conseqüências e efeitos sobre o meio resultantes das ações aí decididas e realizadas, retorno que se faz por intermédio de indicadores de qualidade ambiental e/ou de saúde.

A linha tracejada procura evidenciar dois aspectos importantes do sistema. O primeiro aspecto é de caráter mais filosófico e quer demonstrar a descontinuidade existente entre o meio físico natural e o sistema institucional. O meio físico natural resulta da ação, ao longo do tempo, dos grandes ciclos biogeoquímicos. O sistema institucional, por sua vez, é fruto de um processo histórico de construção da cultura. Obviamente, na medida dos efeitos antrópicos sobre o meio, os atributos ditos naturais podem ser fortemente alterados, perdendo justamente esse caráter de intocada naturalidade. Esse aspecto teria maior relevância para os ambientalistas radicais que procurariam um retorno a condições naturais – em muitas regiões há muito já inexistentes – numa tentativa de reconstrução da continuidade perdida entre homem e natureza, que resultaria, em última instância, na negação da cultura.

O segundo aspecto tem grande relevância institucional e operacional para o sistema de gestão, ao chamar a atenção para a importância relativamente fraca que teriam os indicadores de qualidade ambiental e sanitária sobre as decisões e ações do sistema de gestão. Nesse caso, o sistema comitê-agência apresentaria uma tendência de procurar sobretudo a otimização financeira de suas ações, ainda que fundamentadas em bases técnicas de efetividade na redução de cargas poluentes e de perdas ou desperdícios de água. Os indicadores de impactos de suas ações sobre o meio não teriam, de fato, relevância operacional no sistema. Dentro dessa perspectiva, seria reduzido o papel desses últimos indicadores de atuar em conjunto com os indicadores financeiros, guiando o sistema na escolha das melhores alternativas técnicas de redução de impactos (tratamento de efluentes, tecnologias limpas, otimização de processos, etc.) e de otimização de práticas de operação e de manutenção. No caso da França, esse comportamento do sistema de gestão fundamentado na estrutura comitê-agência e que serve de inspiração ao modelo brasileiro previsto no Sistema Nacional de Recursos Hídricos tem sido objeto de avaliações, questionamentos e críticas.

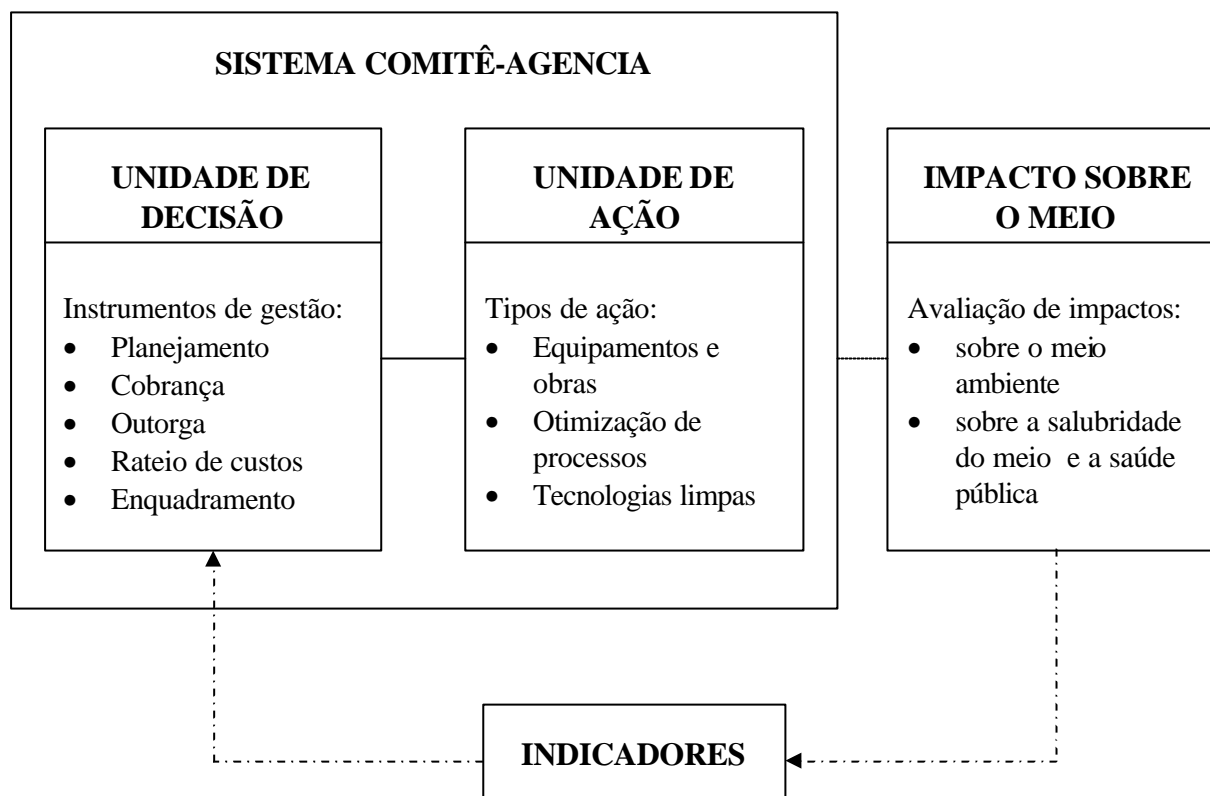


Figura 2 – Estrutura de decisão-ação do sistema comitê-agência (adaptado de Bédriot, 1998)

Barraqué (1994) não deixa de ressaltar o benefício da substituição do modelo de gerenciamento fundamentado em ações do Estado – burocrático, setorial, não integrado e autoritário, conduzindo a uma ausência de responsabilidade dos usuários da água sobre a preservação do recurso – pelo modelo de gestão comitê-agência que permite ações integradas, definidas por intermédio de organismos regionais e de associações ou representações de usuários, reposicionando a responsabilidade pelo uso e gestão da água. Esse sistema facilita as decisões de investimento e, sobretudo, permite o estabelecimento de um diálogo profícuo entre usuários (Bomstein, 1997) que, ao menos em princípio, deve conduzir à construção de um consenso sobre as ações a implementar na gestão das águas.

Entretanto, Barraqué (1994) sublinha que esse consenso pode ser “insosso”, refletindo sobretudo uma distribuição balanceada de recursos entre usuários com representação no comitê, certos de serem contemplados com ajudas e empréstimos, por serem contribuintes financeiros do sistema⁴. A distribuição aparentemente equitativa dos recursos financeiros refletiria uma ausência de planejamento integrado de uso da água e de preocupação com os impactos dessas ações sobre o meio. Isso conduziria o sistema comitê-agência a uma estratégia de privilegiar sobretudo o financiamento à realização de obras (reservatórios, redes de esgoto, estações de tratamento de efluentes, etc.), decididas segundo critérios de retorno financeiro de investimentos e justificadas por indicadores *a priori* de aumento de disponibilidade hídrica e de redução de cargas de poluentes, em detrimento da incitação à otimização de funcionamento dos sistemas de controle implantados, à adoção de tecnologias limpas e ao efetivo controle, por meio de indicadores, da eficiência das ações realizadas (Bomstein, 1997).

⁴ Bomstein (1997), que faz um relato das conclusões do Commissariat Général du Plan em sua análise sobre as ações e o funcionamento do sistema comitê-agência na França, sublinha o fato de que os usuários sub ou não representados no comitê podem ser duplamente penalizados, beneficiando-se menos dos instrumentos de financiamento e ajuda do sistema e sofrendo mais intensamente com sua política de arrecadação de recursos. Seria de se dizer que pagam mais e talvez se beneficiam menos. No caso francês, os usuários urbanos de água participam em 80% do esforço financeiro de gestão, enquanto a indústria contribui com 18% e a agricultura com 1%.

Deve-se reconhecer, entretanto, um certo número de razões no aparente desinteresse do sistema comitê-agência com relação ao impacto de suas ações sobre o meio ambiente. Algumas delas podem estar relacionadas com a própria fundamentação teórica da chamada economia de meio ambiente e com a complexidade do contexto em que a gestão das águas tem de ser praticada, outras com aspectos institucionais, de competência e de atribuições das instituições. Essas razões são brevemente discutidas abaixo.

2.1 - Aspectos político-institucionais: atribuições e responsabilidades

No que se refere aos questionamentos sobre as ações do sistema comitê-agência no contexto institucional, há de se enfatizar que a responsabilidade pela vigilância e pelo controle da qualidade ambiental são atribuições do Estado, definidas em lei, e não propriamente, pelo menos de forma direta, responsabilidades do sistema comitê-agência. Estaria, desta forma, o sistema comitê-agência isento de demonstrar sua efetividade na redução da poluição das águas e na melhoria das condições de saúde pública e de salubridade do meio? Mais do que isso, há um ponto anterior na polêmica que consiste em perguntar: seria função do sistema comitê-agência a conservação e a restauração do meio natural?

O que parece evidente é o fato de que o sistema comitê-agência busca traduzir em suas ações um consenso sobre o uso de recursos naturais, com grande ênfase nos recursos hídricos, obtido por meio das discussões realizadas no comitê, visando a otimização do uso ou pelo menos o uso mais racional e planejado desses recursos, o que pode contribuir globalmente para a melhoria da qualidade ambiental. Posto nesses termos, a questão parece deslocar-se para uma discussão sobre os processos de tomada de decisão quanto aos investimentos, bem como sobre a capacidade dos indicadores utilizados na tomada de decisão em demonstrar *a priori* e *a posteriori* a efetividade das ações empreendidas no alcance dos objetivos estabelecidos.

Tendo em vista a eventualidade de um processo de tomada de decisão encontrar-se politicamente desequilibrado ou valer-se de indicadores insuficientes ou enviesados, o sistema comitê-agência pode tender a uma certa carência de compromisso com a melhoria da qualidade ambiental. Isso, mesmo demonstrando atender aos objetivos de eficiência econômica dos investimentos, de equilíbrio financeiro da agência e de redução de poluição por meio de construção de estações de tratamento de efluentes, nesse caso particular, valendo-se geralmente de indicadores *a priori*.

No contexto brasileiro tanto quanto europeu, alguns pesquisadores têm insistido sobre a importância de se buscar construir vínculos estreitos, institucionais e operacionais, entre a política nacional de meio ambiente e a política nacional de recursos hídricos, como meio para melhor vincular as ações do sistema comitê-agência aos objetivos de uma efetiva melhoria na qualidade ambiental. No Brasil, esse ponto de vista tem sido argumentado por Souza (ver e.g.: Pavesi, 1998), em estudos sobre zoneamento ambiental e emprego de instrumentos econômicos para a gestão das águas.

Embora a questão do aumento da disponibilidade de recursos hídricos tenha sido mencionada nos parágrafos anteriores, a discussão centrou-se no aspecto de melhoria da qualidade ambiental de forma generalizada. Uma questão mais específica que atinge bacias onde há um uso consuntivo intensivo de água, por vezes combinado com clima semi-árido, é a da escassez de água. Um exemplo que combina a análise de condicionantes ambientais para o aproveitamento dos recursos hídricos, mencionada anteriormente, e as necessidades de gestão das águas encontra-se no trabalho número 7, onde um mapa síntese de condicionantes ambientais para a agricultura irrigada é proposto para a bacia hidrográfica do rio Verde Grande - MG. Face ao clima semi-árido, vários projetos de irrigação vêm sendo desenvolvidos na bacia para o aproveitamento agrícola das características extremamente favoráveis do solo. A alta demanda instalada passou a provocar uma série de conflitos entre os próprios irrigantes e entre esses e os demais usuários dos recursos hídricos, principalmente nos períodos de grandes estiagens, sendo esse um dos maiores problemas a ser enfrentado no processo de gestão. O referido mapa síntese adota três áreas de diferentes riscos de escassez hídrica como referência para análise das condições de aproveitamento das águas superficiais e subterrâneas, das classes de terra para irrigação e do número de captações de água. Além disso, foram apresentadas também as áreas de preservação permanente por imposição legal, bem como as recomendadas para preservação.

Ademais, em regiões áridas, onde a disponibilidade hídrica pode ser crítica, alternativas não convencionais podem ser consideradas no intuito de atender as demandas da sociedade. No trabalho número 4, a utilização de águas servidas de uma região urbana - San Juan, Argentina - para irrigação é analisada. O objetivo do trabalho é apresentar ao Poder Público uma metodologia a ser seguida para avaliação da viabilidade do uso dessas águas, na qual seria incluída a quantificação do estado atual de contaminação do local. Ênfase especial é feita ao papel do estado no desenvolvimento de estratégias

que minimizem os riscos para a saúde e que visem a distribuição equitativa dos efluentes de estações de tratamento.

2.2 - Quantificar os impactos: custo marginal social e equilíbrio ecológico

Considere-se, inicialmente, que as taxas praticadas pelo sistema comitê-agência fossem fixadas a um nível de efetivo poder incitativo, forçando a uma internalização total dos custos decorrentes de externalidades produzidas pelos impactos da atividade econômica sobre o meio. Ainda assim, a preservação do meio ou a restauração de suas condições naturais não estaria assegurada, como sublinham Barde e Gerelli (1977). De fato, o custo social marginal decorrente da poluição só é constatado e potencialmente passível de quantificação a partir de um certo nível de emissão do poluente suficiente para ultrapassar a capacidade de assimilação do meio receptor.

Do ponto de vista do ecossistema, toda poluição resulta em choque e, como conseqüência, em uma perturbação de seu equilíbrio, que se rompe definitivamente quando a capacidade de assimilação do meio é ultrapassada.

De fato, é fraca a relação existente entre a valoração econômica dos impactos sobre o meio e a natureza física desses impactos. Há imprecisão na quantificação do custo marginal social tanto quanto na definição precisa do que seja equilíbrio ecológico e capacidade de assimilação do meio. Ademais, a capacidade de assimilação do meio varia com o tempo e efeitos acumulativos podem reduzi-la continuamente. Um dos exemplos mais evidentes dessa desvinculação encontra-se relacionado com os efeitos cumulativos produzidos por certos tipos de poluição, como é o caso da presença de metais pesados ou de pesticidas na água e de sua absorção pela cadeia alimentar dos seres vivos.

Portanto, a despeito da tentativa de internalização de custos, a atividade econômica pode situar-se em um nível superior de geração de efluentes, suficiente para colocar em risco o equilíbrio dos ecossistemas.

O caso dos metais pesados, bem como de outros poluentes como os cianetos, pelas dificuldades associadas à sua detecção no meio aquático, são apenas exemplos que trazem ao debate questões relacionadas com a complexidade dos processos naturais e com as dificuldades de monitoramento e de modelagem a eles associados.

2.3 - Quantificar os impactos: monitoramento e modelagem

O monitoramento e a modelagem matemática do meio natural são evidentemente etapas fundamentais da gestão das águas, quando aí devem ser considerados aspectos relacionados à preservação e à restauração de ecossistemas. A questão é de se investigar se, tendo em vista a complexidade de processos em que essas tarefas têm de ser realizadas, elas seriam capazes de fornecer as respostas adequadas ao sistema de gestão.

Posto de maneira muito geral, as perguntas colocadas pelo sistema de gestão das águas, relativas ao monitoramento e à modelagem de processos no meio ambiente, encontram-se basicamente relacionadas:

- com a identificação de impactos sobre a quantidade e a qualidade de água de ações antrópicas desenvolvidas na bacia hidrográfica⁵,
- e com as simulações de medidas de controle e dos impactos que elas teriam sobre a qualidade e a quantidade de água.

Isso pressupõe a capacidade de distinguir na variabilidade observada/simulada das variáveis em estudo, as flutuações causadas por ações antrópicas de outras flutuações tão somente atribuíveis à variabilidade interanual natural de clima e dos próprios processos físicos na bacia. Essa qualidade necessária no monitoramento e na modelagem encontra-se relacionada simultaneamente com a representatividade da rede de monitoramento (variáveis medidas, localização e densidade das estações, freqüência de medição, técnica de medição, extensão temporal da série), com a adequação do modelo ao processo simulado (modelo conceitual, estatístico, fisicamente fundamentado), com o nível de incerteza da modelagem (erro do modelo) e com a própria natureza e intensidade do impacto.

⁵ A bacia hidrográfica pode, ainda, sofrer influências de atividades desenvolvidas fora de seus limites, que resultam e.g.: em mudança climática ou em poluição atmosférica, resultando em chuvas ácidas. Esse tipo de impacto pode ser eventualmente detectado na bacia, mas não é passível de ser inteiramente controlado na ausência de ações a serem empreendidas em escalas bem maiores que as da própria bacia.

Por outro lado, a decisão de agir sobre o meio no sentido de minorar os impactos de origem antrópica justifica-se na medida em que esses impactos ultrapassem a capacidade natural do meio em absorvê-los, um conceito que, no caso da ecologia, Odum (1978, apud Stanford e Ward, 1992) chama de resiliência do ecossistema e que uma vez ultrapassada resulta em alterações estruturais e funcionais permanentes. Isso introduz, simultaneamente, as questões de construção de indicadores de qualidade ambiental, de estabelecimento de critérios para o lançamento de efluentes e de padrões de qualidade de águas.

Chiaudani e Premazzi (1990) ressaltam dificuldades no que se refere ao monitoramento e ao estabelecimento de critérios de qualidade de água. Eles mencionam dois tipos de estratégia de estabelecimento de critérios:

- critérios fixados sobre a natureza do efluente, não se considerando o tipo e o uso dos meios receptores (rios, lagos, reservatórios, águas costeiras, águas subterrâneas, etc.), bem como o impacto dos poluentes sobre o mesmo;
- critérios estabelecidos tendo em conta tanto as características dos poluentes (e.g.: toxicidade, bioacumulação, persistência) quanto as dos meios receptores.

A primeira estratégia resulta freqüentemente em ineficácia, ao desconhecer o meio receptor. A segunda estratégia apresenta um elevado grau de complexidade, exigindo:

- uma adequada tipologia do corpo receptor, em termos hidrobiológicos, de capacidade de diluição e de oxidação, de características químicas da água, de estrutura biológica do meio, de relações entre as águas superficiais e subterrâneas e do conhecimento e a caracterização de outras fontes de poluição pré-existentes;
- informações e projeções sobre a evolução, no tempo, das fontes de poluição relacionadas com o crescimento populacional, o desenvolvimento urbano, industrial e agropecuário e com o planejamento econômico para a bacia e seus prováveis impactos sobre os meios receptores.

Há vários aspectos fundamentais associados à atividade de monitorar, tais como a concepção da rede de monitoramento, sua instalação e operação. Progressos significativos têm sido observados na tecnologia de monitoramento, incluindo estações automáticas de coleta e análise de parâmetros de qualidade de água e de variáveis hidrológicas quantitativas, armazenamento e transmissão de dados. Entretanto, o que parece fundamental é a adequada concepção do programa de monitoramento, de forma tal que forneça informações pertinentes, contribuindo para responder as questões colocadas pelos pesquisadores ou gestores. Como afirmam Chiaudani e Premazzi (1990), "Por muito tempo fizemos coletas e recoletas de dados, simplesmente porque se tratava de um hábito. Por muito tempo, armazenamos os dados que coletamos em escaninhos porque não eram pertinentes, não conduziam às necessárias respostas, ou não sabíamos como usá-los". Certamente trata-se de uma constatação a se evitar, ao final de uma campanha de monitoramento. A situação mais comum, porém, principalmente em países em desenvolvimento, é a ausência ou escassez de dados - em particular relativos à qualidade de água -, e séries de dados curtas ou incompletas, na maioria das bacias hidrográficas.

Exemplo de uma tentativa de concepção de um programa de monitoramento, em uma região onde há uma carência de coleta de dados - bacia do rio Matanza-Riachuelo, Argentina -, é apresentada no trabalho número 5. Objetiva-se diagnosticar a qualidade ambiental e analisar a dinâmica do sistema com um enfoque interdisciplinar através de dados sedimentológicos, de vazão, biológicos e de parâmetros físicoquímicos da água, os quais possibilitam caracterizar o grau de contaminação e avaliar possíveis medidas de biorremediação.

Já no caso do rio Taquaril (RS), dispõe-se de uma série relativamente longa de dados de monitoramento de qualidade de água, o que possibilitou uma caracterização hidrogeoquímica (ver trabalho número 9) baseada na variação de parâmetros - pH, turbidez, alcalinidade, bicarbonato, dureza, cloretos, fenóis, matéria orgânica, DBO, DQO, fosfato total, nitrato, nitrito, sólidos totais, coliformes fecais e metais. Os dados utilizados no estudo foram obtidos por meio de amostragens realizadas com freqüência variada, em quatro pontos do rio no período de 1988 a 1995. Através de métodos estatísticos e o emprego de análise fatorial determinou-se o índice "qualidade de água" para cada ponto, o que permitiu avaliar que a ação natural erosiva sobre as rochas da região e o uso do solo associado ao escoamento superficial da água têm importante influência na qualidade da água do rio e que os fatores antrópicos mostram-se variáveis e não permanentes. Fundamental interesse na classificação da qualidade da água dos rios está relacionada à resolução CONAMA-20, e tal classificação foi possível de ser executada utilizando-se a metodologia abordada.

Dentro da mesma linha, no trabalho número 1 são apresentados os resultados do monitoramento de oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, temperatura, pH, cloretos, sólidos totais, sólidos suspensos e sólidos dissolvidos em duas bacias do estado do Rio Grande do Norte. O monitoramento foi feito durante o ano de 1996, com frequência mensal. Segundo os autores, no aspecto geral, todo o fenômeno de poluição pode ser considerado temporário, e os rios monitorados encontram-se em equilíbrio ecológico. No que se refere à adequação do programa de monitoramento mencionada acima, certamente a situação da qualidade das águas do rio pode ser aferida. Porém, o estado de equilíbrio ecológico talvez só possa ser confirmado com monitoramento por um prazo maior, incluindo também a avaliação de parâmetros hidrobiológicos.

No que se refere à modelagem matemática, é forçoso constatar que o conhecimento necessário ainda é insuficiente, assim como a real influência de ações antrópicas sobre o ambiente. Por exemplo, os processos de circulação que ocorrem em uma bacia hidrográfica são bastante complexos, principalmente quando também são abordados aspectos relativos à qualidade da água. Adicionalmente, a qualidade da modelagem é também dependente do monitoramento ambiental, de uma forma geral ineficiente no espaço, no tempo e no tipo de variável observada.

A literatura é rica em estudos de identificação de impactos de atividades antrópicas sobre variáveis ambientais empregando-se modelagem matemática. A título de exemplo, citam-se os trabalhos de Packman (1980), que investiga efeitos da urbanização sobre cheias urbanas empregando, entre outros modelos, o hidrograma unitário; Robinson (1990), que estuda o impacto da drenagem de áreas úmidas para prática de agricultura, utilizando o hidrograma unitário e modelos fisicamente fundamentados; Kauark-Leite (1990), que compara diferentes estratégias de modelagem na detecção e avaliação de poluição difusa em áreas rurais e Nascimento (1995), que utiliza um modelo conceitual para a identificação de impactos sobre a relação chuva-vazão de drenagem agrícola e de remoção da cobertura vegetal por queimadas. Packman ressalta a importância de se conhecer as condições naturais de tipo de solo e cobertura vegetal na bacia para uma adequada avaliação de impactos. Kauark-Leite enfatiza o alto nível de incerteza da modelagem matemática na quantificação da poluição difusa. Nascimento ressalta a dependência da modelagem conceitual em relação às variáveis de entrada, refletindo-se em variabilidade dos parâmetros segundo o período de calibração e, em consequência, na baixa confiabilidade dos modelos para identificar mudanças de comportamento hidrológico de bacias hidrográficas.

Esses resultados decorrem do fato de serem os modelos, por definição, representações incompletas da realidade⁶. Em um modelo matemático, o sistema natural é representado por um conjunto de equações, sendo possível apenas obter simulações com precisão razoável do comportamento do sistema em respostas a determinados dados de entrada. A escolha do tipo de modelo matemático para resolver um certo problema é um clássico dilema, estando inevitavelmente relacionada a restrições econômicas, disponibilidade de dados e níveis de precisão requeridos.

De uma forma geral, no que se refere ao sistema de recursos hídricos, ainda não se atingiu um nível de conhecimento que permita a previsão segura dos efeitos de ações antrópicas sobre o ambiente, mesmo com os modelos mais sofisticados, normalmente bastante complexos na sua estrutura e de utilização difícil. A evolução da modelagem do ciclo hidrológico, em termos quantitativos apenas, ilustra o problema. Embora o conceito de um ciclo hidrológico global tenha sido proposto pelos filósofos gregos, só no século XVII foram formuladas hipóteses plausíveis sobre os mecanismos da circulação da água no meio natural, baseadas em evidências experimentais.

A hidrologia quantitativa encontrava-se ainda em um estágio imaturo no início deste século, época em que problemas práticos eram resolvidos através de métodos empíricos. A utilização de modelos matemáticos para estimar de forma contínua os diversos componentes do balanço hídrico tornou-se comum após o desenvolvimento pioneiro de um modelo empírico por Penman (1949), no qual a evaporação era estimada em função do estado de umidade do solo. Simulações de subprocessos foram possíveis a partir dos trabalhos de Horton (1940 – apud Maidment, 1993), sobre infiltração e de Sherman (1932 – apud Maidment, 1993), que introduziu o conceito de hidrograma unitário.

A crescente evolução da capacidade dos computadores digitais permitiu o desenvolvimento de modelos nos quais eram considerados, em conjunto, conhecimentos teóricos adquiridos dos processos de infiltração, do movimento da água no solo, do escoamento em rios e canais e de evaporação. Até a

⁶ Caso fosse diferente, chegar-se-ia à peculiar situação de um personagem de Borges e Bioy Casares que, no intuito de construir o mais perfeito mapa da Argentina, projeta uma carta em escala 1:1, de forma tal que cada ponto do mapa corresponderia exatamente a um ponto da superfície do país meridional.

década de 70 predominavam os modelos empíricos – cuja a forma das equações não tinha relação com processos físicos – e conceituais – baseados em uma representação de armazenamentos internos, geralmente associados de forma explícita a componentes hidrológicos.

A partir desta época, com a aplicação de abordagens matemáticas e físicas mais clássicas para modelar processos individuais, em razão dos avanços computacionais, e a utilização de técnicas de solução numérica para equações diferenciais parciais, uma série de modelos fisicamente fundamentados foram desenvolvidos, com diferentes graus de sofisticação (e.g. Beven e O'Connell, 1982; Abbot et al, 1986). Esses modelos continuam sendo mais apropriados para aplicações em pesquisas, e menos adequados para explorar as implicações dos efeitos de diferentes suposições sobre a natureza de sistemas hidrológicos específicos, e de possíveis mudanças futuras nesses sistemas (Kauark-Leite e Nascimento, 1993). Todavia, há uma crescente demanda por tais previsões, e os atuais modelos fisicamente fundamentados já estão sendo utilizados dentro desta concepção.

A aplicação de um modelo conceitual para estimar os componentes do balanço hídrico - escoamento superficial, escoamento sub-superficial, escoamento de base, perda por interceptação, evaporação - da bacia do rio Cubatão, localizada no estado de Santa Catarina, é considerada no trabalho número 3. Os modelos hidrológicos conceituais são normalmente utilizados para previsão, depois de concluídas as etapas de calibração - quando são obtidos os valores dos parâmetros do modelo - e de validação. Não está claro no texto se a etapa de validação foi executada, e quais foram os critérios utilizados para obtenção do conjunto de parâmetros proposto. Além disto, ainda que os valores de vazão obtidos com o modelo estejam próximos dos respectivos valores medidos, isto não significa que os componentes do balanço hídrico tenham sido estimados com a mesma precisão. Portanto, o uso do modelo para previsão, principalmente para situações posteriores a atuações antrópicas na bacia, talvez deva ser precedida de estudos mais aprofundados.

Uma metodologia para análise da qualidade e quantidade de água para desenvolvimento de um ecossistema de terras alagadas é apresentada no trabalho número 10. As seguintes etapas são propostas: i) determinação da necessidade de água desses ecossistemas considerando a variabilidade temporal e espacial de dados climáticos; ii) determinação da evapotranspiração real; iii) determinação das áreas críticas para o desenvolvimento agrícola e desses ecossistemas usando um sistema de informação geográfica; iv) modelagem do sistema de distribuição de água de um ecossistema complexo de terras alagadas; e v) gestão de recursos hídricos usando um programa de otimização. Objetiva-se aplicar a metodologia através do uso de um Sistema de Apoio à Decisão para obtenção de ferramentas para simulação espacial e temporal, avaliação e gestão de um ecossistema de terras alagadas. A concepção da metodologia é bastante interessante na medida em que são considerados vários tipos de tratamento para a análise de um problema. Deve-se salientar, porém, que é proposta uma avaliação de qualidade da água mas no equacionamento mostrado só há referências à concentração de sais; além disto, a real capacidade da metodologia poderia ser inferida caso fossem apresentados resultados de aplicação da mencionada análise de sensibilidade.

2.4 - Um contexto de maior complexidade

Até a década de 50, o processo de tomada de decisão de projetos de desenvolvimento de recursos hídricos era baseado em análises setoriais conduzidas individualmente por engenheiros e economistas. Atualmente, o estudo das diversas estratégias de gestão, levando-se em conta valores sociais e ambientais, assim como políticos e econômicos, pressupõe um conhecimento cada vez mais completo dos sistemas meio físico natural, físico artificial de controle e de gestão das águas, bem como das interações entre eles. Portanto, há uma demanda por estudos e avaliações cada vez mais globais, exigindo equipes multi-disciplinares, que agreguem, além dos profissionais acima citados, ambientalistas, sociólogos, pessoas afetadas e organizações não-governamentais.

A necessidade de um enfoque multidimensional e integrado para a gestão das águas superficiais e subterrâneas é abordada no trabalho 8, tendo como base um estudo da bacia inferior do rio Salado, Argentina - região de intensa atividade agropecuária, com limitações de produção devido à alternância de períodos de secas e de cheias. Uma equipe de profissionais de diferentes disciplinas (agrônomos, hidrogeólogos, químicos, microbiólogos, veterinários, etc) executou, segundo cada disciplina, análises químicas, físico-químicas e microbiológicas das amostras de água superficial e subterrânea, para posterior interpretação conjunta, com intuito de identificar áreas de risco potencial de contaminação.

Entre os trabalhos apresentados, a reconhecida complexidade do estudo e da avaliação do meio físico de forma integral, com objetivo de fornecer subsídios para uma melhor gestão da água por meio de um tratamento multi-disciplinar aparece de forma evidente nos trabalhos 8 e 10, segundo duas

abordagens diferentes. Após a constatação de que os estudos realizados na bacia inferior do rio Salado tinham caráter local e fragmentado - trabalho número 8 – argumenta-se pela necessidade de uma equipe de profissionais provenientes de diferentes disciplinas, enfatizando a importância da interação permanente entre os diferentes interesses e os vários atores envolvidos, no que se denomina geração de conhecimento no contexto de aplicação. Por outro lado, no trabalho número 10, para o caso específico de um ecossistema de terras alagadas, são advogadas as vantagens de uma metodologia na qual o estudo de vários cenários de gestão é realizado com base em diferentes ferramentas – teoria de suporte à decisão, sistema de informação geográfica, estimativa de demanda de água, modelos de simulação hidrológica (qualidade e quantidade de água), modelo de otimização para gestão de água, gestão de habitat – que traduzem diferentes especialidades. Portanto, no caso do trabalho 8 há a intervenção de diferentes especialistas, no caso do trabalho 10, os especialistas são de certa forma representados pelas variadas ferramentas de modelagem empregadas. Naturalmente, a evolução desse último tipo de enfoque depende dos progressos alcançados em cada uma das disciplinas envolvidas, progressos esses que se fazem sobretudo no contexto de cada disciplina.

No trabalho número 8 enfatiza-se, também, a importância da participação dos usuários na metodologia proposta para o processo de gestão das águas. Avalia-se como positiva a experiência piloto em uma escola agropecuária como via propícia de contato de profissionais com os problemas e usuários, facilitando a comunicação do conhecimento científico especializado, com efeitos diretos na exploração racional e o uso sustentável dos recursos hídricos.

A participação das pessoas afetadas no processo de tomada de decisão deve ser naturalmente incentivada, assim como a mobilização da sociedade em geral, para melhor utilização dos recursos hídricos, incluindo sua manutenção e recuperação. No trabalho número 2 é apresentado o relato de uma experiência de Educação Ambiental desenvolvida com a população de microbacias hidrográficas urbanizadas na periferia da cidade de Campinas - SP. Com base no projeto desenvolvido, discute-se etapas de uma proposta de trabalhos de campo em bacias hidrográficas. Cabe ressaltar a relevância de se estudar a bacia hidrográfica, visto que o cidadão comum talvez não tenha a visão dos problemas ambientais por referência à bacia. Todavia, deve-se ter a preocupação de mostrar problemas ambientais que não se relacionam às bacias, como a poluição atmosférica.

No trabalho 6 são discutidos aspectos relacionados à participação popular no processo de gestão das águas, tendo como base a bacia do rio Curu, CE, onde há uma relativa escassez hídrica e tem-se verificado um acentuado aumento da demanda. Faz-se um histórico da gestão de recursos hídricos na região, com ênfase na transição ocorrida na gestão das águas da bacia do rio Curu, executada pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca até a promulgação da Constituição de 1988 e com a participação efetiva do governo e órgãos estaduais após esta data. Mais relevante no trabalho é a análise dos obstáculos para a gestão na bacia considerando a mudança de paradigma - a água como um bem social para a água como um bem econômico - no que diz respeito à conscientização dos usuários da água, especialmente no nordeste semi-árido, principalmente em uma bacia que sempre esteve sob forte influência de ações assistenciais.

3 - CONCLUSÕES

Dois enfoques principais emergem dos trabalhos relatados acima. O primeiro adota uma concepção de gestão ambiental que alguns autores (e.g.: Bayliss e Walker, 1996) classificam como científica positivista do ambiente, baseada na hipótese de que o ambiente pode ser objetivamente monitorado, e que este monitoramento permite modelar os processos nele intervenientes, os quais precisam ser entendidos para executar sua gestão. Modelos matemáticos, de diferentes graus de complexidade, vêm sendo desenvolvidos para simular os sistemas naturais a partir de observações científicas, com o intuito, inclusive, de estimar os efeitos de ações antrópicas no ambiente, o que forneceria subsídios para o processo de tomada de decisão. Como discutido nos parágrafos anteriores, há progressos importantes a serem ainda realizados dentro desse enfoque, desafios que os trabalhos aqui revisados evidenciam e contribuem para que sejam convenientemente superados.

O segundo enfoque ressalta as questões da participação dos usuários nas decisões sobre os usos da água, sua evolução histórica, sua importância para a tomada de decisão e, nesse aspecto, a relevância da educação ambiental como motivadora e enriquecedora do processo participativo.

Os dois enfoques mencionados são, evidentemente complementares, e colocam questões relevantes para o debate que a realização do Simpósio Internacional sobre Gestão de Recursos Hídricos propicia.

BIBLIOGRAFIA

- ABBOTT, M. B. et al. An introduction to the European Hydrological System - Système Hydrologique Europeen, "SHE", 1: History and philosophy of a physically-based, distributed modelling system. *Journal of Hydrology*, Vol. 87, 1986, p. 45-59.
- BARDE, J.-P. e GERELLI, E. Économie et politique de l'environnement, PUF, Paris, 1977, 210 p.
- BARRAQUE, B. Problématique sociologique de la gestion intégrée des rivières, in Le Coz, C. Gestion intégrée des milieux aquatiques, Presse de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1994, p. 9-21.
- BAYLISS, D. e WALKER, G. Environmental monitoring and planning for sustainability, in Buckingham-Hattifield e Evans, D. Environmental Planning and Sustainability, Wiley, Chichester, 1996, p. 87-108.
- BEDIOT, G. La confection des tableaux de bord: réflexions préliminaires sur l'évaluation de l'efficacité de l'action financière des agences de l'eau. *La Huille Blanche*, 1, 1998, p. 33-43.
- BEVEN, K. J. et O'CONNELL, P. E. On the role of physically-based distributed modelling in hydrology. Institute of Hydrology, Rep. n° 81, 1982, 36 p.
- BOMSTEIN, D. Agences de l'eau: le rapport qui fache. *Techniques-Sciences-Methodes*, n.12, 1997, p. 6-7.
- CHIAUDANI, G. e PREMAZZI, G. Water quality criteria in environmental management, in *La Gestion de l'Eau*, Presse de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1990, p. 228-237.
- GOLLEY, P. B. A history of the ecosystem concept in ecology, Yale University Press, 1993, 254 p.
- KAUARK-LEITE, L. A. Réflexions sur l'utilité des modèles mathématiques dans la gestion de la pollution diffuse d'origine agricole. Tese de doutorado, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées-CERGRENE, Paris, 1990, 449 p.
- KAUARK-LEITE, L. A. e NASCIMENTO, N. O. Développement, utilisation et incertitudes des modèles conceptuels en hydrologie. Séminaires Eaux - Environnement n° 3 : "Modélisation du Comportement des Polluants dans les Hydrosystèmes", Paris, 1993, p. 191-219.
- LEE, R. et al. Integrating sustainable development and environmental vitality: a landscape ecology approach, in Naiman, R. J. (ed.) *Watershed management – balancing sustainability and environmental change*, Springer Verlag, New York, 1992, p. 499-521.
- MAIDMENT, D. R. (ed.). *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill, New York, 1993.
- NASCIMENTO, N. O. Appréciation à l'aide d'un modèle empirique des effets d'action anthropiques sur la relation pluie-débit à l'échelle d'un bassin versant. Tese de doutorado, École Nationale des Ponts et Chaussées-CERGRENE, Noisy-le-Grande, 1995, 490 p.
- PACKMAN, J. C. The Effects of Urbanization on Flood Magnitude and Frequency. Institute of Hydrology, report n° 63, Wallingford, 1980, 117 p.
- PAVESI, A. Investigação dos fatores ambientais intervenientes no procedimento de determinação do potencial irrigável de bacias hidrográficas e na implementação de instrumentos econômicos de gestão de recursos hídricos. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo – Campus São Carlos, São Carlos, 1998, 125 p.
- PENMAN, H. L. The dependence of transpiration of weather and soil conditions. *Journal of Soil Sciences*, 2 (1), p. 74-89.
- ROBINSON, M. Impact of Improved Land Drainage on River Floods. Institute of Hydrology, report n° 113, Wallingford, 1990, 225 p.
- STANFORD, J. A. e WARD, J. V. Management of aquatic resources in large catchments: recognizing interactions between ecosystems connectivity and environmental disturbance, in Naiman, R. J. (ed.) *Watershed management – balancing sustainability and environmental change*, Springer Verlag, New York, 1992, p. 91-124.