

CAPÍTULO 11

IMPACTOS AMBIENTAIS SOBRE RIOS E RESERVATÓRIOS

LUISA FERNANDA RIBEIRO REIS

JOÃO LUIZ BOCCIA BRANDÃO

O presente capítulo aborda diversos conceitos que buscam colocar o leitor em contato com os principais impactos ambientais provocados pelas atividades humanas sobre os corpos de água. A partir da avaliação quantitativa da disponibilidade hídrica nos vários reservatórios integrantes do ciclo hidrológico, é mostrado um panorama geral sobre os múltiplos usos que a água pode ter para suprir diversas demandas, tais como: abastecimento doméstico e industrial, irrigação de lavouras, geração de energia, navegação, recreação e lazer. Em seguida, são discutidos os impactos que alteram o equilíbrio geomorfológico natural dos cursos de água, os impactos decorrentes da implantação de reservatórios artificiais, as fontes de poluição hídrica e a questão dos efluentes urbanos.

11.1 INTRODUÇÃO

Conforme visto em detalhes no Capítulo 3, a água desenvolve um ciclo completo de transformação de estado no planeta, percorrendo os três grandes reservatórios da natureza – atmosfera, continentes e oceanos – através das diversas fases do ciclo hidrológico. Ao longo delas, elementos químicos e sedimentos de uma forma geral lhe são incorporados, determinando a sua qualidade.

Diante da possibilidade de aproveitamento de suas águas, os rios, historicamente, atraíram comunidades que se fixaram em suas margens, utilizando suas águas para o desenvolvimento das atividades mais diversas. Assim, as grandes civilizações da antiguidade, também denominadas “civilizações de vale de rios”, promoveram os primeiros usos coletivos da água (irrigação, abastecimento de núcleos populacionais e controle de cheias), gerando os primeiros impactos ambientais de que se têm notícia: a salinização do solo devido à irrigação excessiva e a desertificação de áreas desmatadas.

O fato de as vazões dos rios sofrerem oscilações ao longo do tempo sempre constituiu uma dificuldade ao desenvolvimento de atividades que necessitam da **água como elemento mantenedor e/ou propulsor**. Dessa maneira, a construção de barramentos aos cursos de água e a conseqüente criação de reservatórios

de armazenamento de água, com o propósito de promover a regularização de vazões, vêm ocorrendo há muito tempo. Durante um longo período, as barragens foram construídas com a finalidade de controle de cheias, irrigação e suprimento de água para abastecimento doméstico. Achados históricos sugerem que a primeira barragem da história, Sadd El-Kafara, no Egito, construída sobre o rio Nilo para o propósito de controle de cheias em torno de 2600 a.C. (Janberg, 2005 apud Agostinho et al., 2007), ruiu após o primeiro evento chuvoso que ocorreu após a sua implantação.

Ao longo da história, surgiram outros **usos coletivos para a água** (geração de energia elétrica, navegação, resfriamento, recreação e diluição de efluentes), com exigências variáveis em termos de quantidade e qualidade, atreladas a fatores como o crescimento populacional e econômico, a urbanização, assim como às mudanças tecnológicas e dos padrões de consumo. Tais usos vieram a reforçar a necessidade de se reservarem as águas dos rios nos períodos chuvosos para consumo nas épocas mais secas. Assim, as estratégias de exploração de mananciais subterrâneos, transporte da água e construção de barragens, com a consequente criação de reservatórios nos cursos de água naturais, disseminaram-se pelo mundo todo ao longo da história. O relatório apresentado pela Comissão Mundial de Barragens (*World Commission on Dams, WCD*) estima (WCD, 2000) que cerca de 60% dos 227 maiores rios do mundo foram fragmentados por represas, desviados ou canalizados, causando efeitos sobre os respectivos ecossistemas de água doce e adjacências. A publicação apontou, também, a existência de mais de 800 mil reservatórios ao redor do mundo, dos quais 45 mil foram classificados como de grande porte. No Brasil, foram registradas 2.200 usinas hidrelétricas e há previsão do governo federal de construção de mais 434 outras barragens até o ano de 2015.

Outra questão muito importante é a da poluição hídrica, decorrente do crescimento populacional e da intensificação das atividades antrópicas, ao longo das últimas décadas, como consequência da revolução industrial. A poluição hídrica tem aumentado significativamente, uma vez que, em nível global, o tratamento dos efluentes gerados por essas atividades ainda não é satisfatório.

O presente texto aborda os impactos promovidos pelas ações humanas sobre os cursos de água naturais e suas respectivas bacias hidrográficas, alterando a sua **morfologia**, o seu **regime fluvial** e a **qualidade das suas águas**, através da construção de reservatórios, retificação de cursos de água, desmatamentos e lançamentos de cargas poluidoras. Considerando-se que existe uma relação entre disponibilidade e demanda e que o uso da água pelo homem afeta sua qualidade, há que se fazer uso da água com certa reponsabilidade, de forma que esta esteja disponível para as gerações futuras na quantidade e qualidade exigidas. A utilização da água para atendimento das demandas crescentes vem provocando alterações nos cursos de água naturais e instigando competição e conflitos entre os diversos setores usuários, como resultado da escassez agravada pela degradação da sua qualidade, conforme será visto na sequência deste capítulo.

11.2 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

De acordo com FAO (2003), o total de **recursos hídricos** do mundo, estimado em 43.750 km³/ano, é distribuído de **maneira desigual** como consequência da malha espacial de diferentes climas e estruturas fisiográficas características do planeta. A América detém a maior parte dos recursos de água doce do mundo (45%), seguida da Ásia (28%), Europa (15,5%) e África (9%), correspondentes às disponibilidades hídricas *per capita* de 24.000 m³/hab. ano, 34.000 m³/hab. ano, 9.300 m³/hab. ano e 5.000 m³/hab. ano, respectivamente. Entre os países, essa variabilidade é extrema (por exemplo, de 10 m³/hab. ano no Kwait a mais de 100.000 m³/hab. ano no Canadá, Islândia, Gabão e Suriname). Há, entretanto, 19 países ou territórios com uma disponibilidade hídrica inferior a 500 m³/hab.ano e 29 com menos de 1.000 m³/hab. ano. O Brasil figura dentre as nações mais ricas em água do mundo, com um total de 8.225 km³/hab. ano. Entretanto, a

exemplo de outros países com grandes extensões territoriais, possui os seus recursos hídricos concentrados em regiões pouco habitadas. A disponibilidade hídrica nas diversas regiões hidrográficas do Brasil pode ser verificada na Tabela 11.1 (ANA, 2011), em que se pode notar a discrepância em termos espaciais.

Tabela 11.1 Disponibilidade hídrica e vazões médias e de estiagem nas regiões hidrográficas do Brasil

REGIÃO HIDROGRÁFICA	VAZÃO MÉDIA (M ³ /S)	DISPONIBILIDADE HÍDRICA (M ³ /S)	ESTIAGEM Q ₉₅ (M ³ /S)
Amazônica	132.145	73.748	73.748
Tocantins-Araguaia	13.799	5.447	2.696
Atlântico Nordeste Ocidental	2.608	320	320
Parnaíba	767	379	294
Atlântico Nordeste Oriental	774	91	32
São Francisco	2.846	1.886	852
Atlântico Leste	1.484	305	252
Atlântico Sudeste	3.162	1.109	986
Atlântico Sul	4.055	647	647
Paraná	11.414	5.792	3.901
Uruguai	4.103	565	394
Paraguai	2.359	782	782
Brasil	179.516	91.071	84.904

Fonte: ANA (2011)

Observa-se que a disponibilidade hídrica diz respeito à vazão de permanência 95% (Q₉₅) e, no caso de reservatórios, à vazão regularizada acrescida do incremental de Q₉₅. As bacias Amazônica e dos rios Uruguai e Paraguai possuem área em territórios estrangeiros, que lhes adicionam 86.321 m³/s, 878 m³/s e 595 m³/s em termos da vazão média, respectivamente.

11.3 OS USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA

As discrepâncias em termos de disponibilidade da água são agravadas pelos usos múltiplos, cujas **demandas** geralmente são **desconexas com as ofertas**, tanto em nível **espacial** quanto **temporal**. Além disso, aspectos de qualidade das águas atuam como fatores restritivos aos usos múltiplos. Mas, antes de abordar os usos múltiplos da água, é conveniente estabelecer a terminologia básica para o desenvolvimento do texto correlato. Assim, o presente tópico foi organizado de maneira a introduzir a terminologia básica e falar sobre os usos da água, acrescentando-lhes valores estimativos em níveis global e nacional.

11.3.1 Terminologia Básica

Define-se como **uso do recurso hídrico** qualquer atividade humana que altere as condições naturais das águas superficiais ou subterrâneas. **Retirada hídrica** é a quantidade bruta de água extraída a partir de qualquer manancial (fonte) do ambiente natural para fins humanos. **Demanda hídrica** é o volume de água

necessário para uma determinada atividade de maneira que, se a oferta é irrestrita, pode-se retirar mais água do que a quantidade demandada.

Consumo hídrico ou uso consuntivo refere-se ao uso da água captada que é evaporada, transpirada, incorporada no produto ou cultivo, consumida por seres humanos ou pecuária, ou removida do ambiente hídrico imediato, de maneira a inviabilizar a sua total devolução ao corpo hídrico do qual foi subtraída. O consumo de água é especialmente elevado na agricultura devido à evapotranspiração das culturas. Já os usos não consuntivos permitem a devolução total da quantidade de água retirada.

A **escassez** de água ocorre quando tanta água é retirada de mananciais superficiais e subterrâneos que os suprimentos não podem mais satisfazer adequadamente todos os requisitos humanos e dos ecossistemas, resultando em concorrência entre os potenciais usuários.

A **vazão de retorno** corresponde à parcela de água retirada que pode ser restaurada para o sistema hídrico, como águas subterrâneas infiltradas através de solos permeáveis ou drenadas diretamente para os rios ou outros corpos hídricos.

Os Usos Múltiplos da Água em Termos Globais

De acordo com Unesco (2009), nosso conhecimento sobre o uso da água é tão pobre como sobre os recursos hídricos. A informação é incompleta, particularmente no que se refere à agricultura, setor que apresenta o maior uso da água. Muitas vezes, estão disponíveis apenas informações limitadas e desagregadas, com deficiências de validade e homogeneidade pelas seguintes razões:

- as estatísticas sobre as magnitudes das demandas e retiradas muitas vezes são estimadas e não embasadas em dados medidos ou compilados a partir de censos; assim, o nível de incerteza das estatísticas varia, mas é particularmente elevado no que diz respeito à agricultura;
- os setores de uso não são definidos homogeneamente e não são bem individualizados;
- conjuntos de dados históricos adequados são raros e as datas dos dados estatísticos disponíveis nem sempre são explicitadas;
- a falta de acordo na terminologia conduz a discrepâncias na compilação e análise de dados.

Pode-se dizer, portanto, que os dados de que se dispõem são estimativas grosseiras, que evidenciam o fato de que a retirada hídrica para o atendimento dos diversos usos vem crescendo muito rapidamente, de maneira a promover a exploração de novos mananciais (superficiais e subterrâneos), a competição entre os usos e a geração de conflitos pelo uso da água.

De acordo com o relatório da Unesco (2009), atualmente, a maioria (99%) dos 4.10^{12} m³ de água retirados por ano (126,8 m³/s) para usos *offstream* (que promovem a retirada da água) – irrigação, doméstico, indústria e energia – é proveniente de fontes renováveis superficiais e subterrâneas. Menos de 1% (atualmente estimada em 3.10^{10} m³ por ano) provém de aquíferos não renováveis (fósseis), principalmente em três países: Argélia, parte da Líbia e Arábia Saudita. Cerca de 20% do total de água são retirados de fontes subterrâneas (renováveis ou não), e essa percentagem vem crescendo rapidamente, estimulada pelo desenvolvimento de bombas de baixo custo e pelo investimento individual para irrigação e usos urbanos. O investimento privado no autoabastecimento das águas subterrâneas – majoritariamente descontrolado e não monitorado – tem crescido rapidamente em resposta a serviços públicos inadequados. Como resultado, a retirada de água subterrânea quintuplicou durante o século XX, levando a um rápido rebaixamento de aquíferos em algumas áreas e colocando em risco a sustentabilidade dos usos que dependem dele (ver Capítulo 12). Em áreas de recursos hídricos escassos, água salobra e águas residuárias são frequentemente utilizadas para atender à demanda.

Em nível global, as retiradas de água para agricultura, abastecimento industrial e doméstico são estimadas em aproximadamente 70%, 20% e 10%, respectivamente. As retiradas de água para a geração de energia (hidrelétrica e termorresfriamento) vêm crescendo, mas a energia é um dos setores da economia que consomem o mínimo de água, retornando cerca de 95% da retirada para o sistema hídrico. Observa-se que os usos *instream* tais como a navegação (transporte), a pesca e a manutenção de ecossistemas, geralmente não consuntivos, dependem de certo nível de vazão e qualidade da água para funcionar e, como não podem ser medidos volumetricamente, não são contabilizados nas estatísticas de uso da água.

Na África, na maior parte da Ásia, na Oceania, na América Latina e no Caribe, a irrigação é o principal uso da água, enquanto na Europa e na América do Norte, o abastecimento industrial e a geração de energia constituem os maiores usos. As retiradas de água para beber, higiene e banho continuam sendo menores para ambos os grupos de países mencionados.

Os Usos Múltiplos da Água no Brasil

No Brasil, o relatório da Agência Nacional das Águas (ANA, 2011) revela que:

- Com relação às **retiradas** de água dos mananciais, ou seja, vazão de água captada, a **irrigação** e o **abastecimento urbano** figuram como os usos consuntivos mais expressivos, totalizando 47% e 26% da retirada consuntiva total no país (1.841,5 m³/s), respectivamente, seguidos das retiradas para consumo industrial, animal e rural.
- Em termos do **consumo efetivo**, ou seja, da parte da vazão retirada que não retorna ao corpo hídrico, o quadro é ligeiramente diferente. Os consumos da irrigação, animal, urbano, industrial e rural, são estimados em 69%, 12%, 10%, 7% e 2% do consumo total do país (986,4 m³/s), respectivamente.
- Entre os usos não consuntivos mais intensivos no país, destacam-se a geração de energia (hidroeletricidade) e o transporte. Para um panorama sobre a matriz energética nacional, consulte o Capítulo 26.

Prevê-se (Unesco, 2009) que a população mundial salte de 6 bilhões em 2000 para 9 bilhões em 2050. No Brasil, ANA (2010) indica um crescimento populacional de 2005 para 2025 (196 milhões de habitantes) de aproximadamente 45 milhões de habitantes, o que deve exigir um aporte adicional de 137 m³/s somente para o abastecimento urbano. A demanda média esperada para abastecimento humano nos anos de 2015 e 2025 é apresentada na Tabela 11.2. A transferência de vazões entre bacias vem ocorrendo no Brasil para o abastecimento das regiões metropolitanas do Rio de Janeiro (rio Paraíba do Sul), São Paulo (PCJ – rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí), Salvador (rio Paraguaçu) e Fortaleza (rio Jaguaribe), sendo as maiores reversões a partir do Paraíba do Sul e do PCJ, que totalizam 115 m³/s.

Tabela 11.2 Demanda média projetada para abastecimento urbano (m³/s)

ANO	REGIÃO NORTE	REGIÃO NORDESTE	REGIÃO CENTRO-OESTE	REGIÃO SUDESTE	REGIÃO SUL	BRASIL
2005	34	115	33	247	65	494
2015	45	136	39	275	75	570
2025	54	151	44	298	83	630

Fonte: ANA (2010).

Classificando-se a relação demanda/disponibilidade como excelente (0-5), confortável (>5-10), preocupante (>10-20), crítica (>20-40) e muito crítica/demanda (>40), ANA (2010) aponta cursos de água em

condição crítica e muito crítica em bacias do semiárido, devido a sua baixa disponibilidade hídrica, na bacia do rio Tietê, devido à elevada demanda para abastecimento urbano, e nas sub-bacias do rio Uruguai e região hidrográfica do Atlântico Sul, devido à elevada demanda da irrigação.

11.4 ALTERAÇÕES NA DINÂMICA DO RIO

Conforme visto no Capítulo 8, os rios são elementos vivos do ponto de vista geomorfológico e estão sujeitos a certa dinâmica fluvial, cuja força motora é a energia do escoamento da água. A água desempenha um papel importante na transformação da paisagem de qualquer bacia hidrográfica, movendo grandes quantidades de solo, na forma de sedimentos. O sedimento proveniente da erosão da superfície do solo é transportado pelos cursos de água e, eventualmente, depositado em lagos, reservatórios ou no mar.

O fluxo em um dado curso de água é chamado de bifásico, pois coexistem o escoamento da água e o transporte de sedimentos que ela carrega. Assim, ficam definidas duas componentes de fluxo: a **vazão líquida** e a **vazão sólida**. O **equilíbrio geomorfológico** de um curso de água é função do balanço entre a capacidade de transporte do fluxo de água (vazão líquida) e o transporte de sedimentos (vazão sólida). Quando ocorre uma diminuição na vazão sólida e/ou um aumento na vazão líquida, tende a ocorrer erosão do leito e margens, conforme será visto em detalhes no Capítulo 14. No caso contrário, ou seja, quando ocorre um aumento da vazão sólida e/ou diminuição da descarga líquida, tende a ocorrer deposição, também conhecida como assoreamento.

A supressão da mata ciliar ou da cobertura vegetal da bacia pode resultar em um aumento da erosão e consequente aumento da descarga sólida. Como cada curso de água tem uma capacidade limite de transporte de sedimentos, é possível que ocorra aumento da deposição de sedimentos, ou seja, assoreamento. Já obras hidráulicas, como cortes de meandros ou canalizações, tendem a aumentar a velocidade do escoamento, facilitando a ocorrência de erosões no leito e nas margens dos rios.

Da mesma forma, a construção de uma barragem altera o transporte de sedimentos do curso de água. No reservatório, ocorre a deposição dos sedimentos e, com isso, o fluxo destes para jusante é interrompido. Assim, aumentam as possibilidades de erosão do leito do rio, uma vez que o equilíbrio entre deposição e o transporte é alterado, e diminui o fluxo de nutrientes, pois estes ficam retidos no reservatório.

A seguir, apresentam-se alguns problemas decorrentes do **desequilíbrio no transporte de sedimentos**.

- **Compostos químicos tóxicos.** Os sedimentos desempenham um papel importante no transporte e destino de poluentes. Produtos químicos tóxicos podem ser aderidos ou absorvidos pelas partículas de sedimentos e transportados para outras áreas e nelas depositados. Estes poluentes podem, mais tarde, ser liberados para a coluna de água. Ao estudar a quantidade, a qualidade e as características dos sedimentos no fluxo de água, é possível determinar as fontes e avaliar o impacto dos poluentes no ambiente aquático.
- **Navegação.** A deposição de sedimentos em rios e lagos pode diminuir sua profundidade, tornando a navegação difícil ou impossível. Para garantir o tráfego de embarcações, parte dos sedimentos pode ser dragada, mas isso pode liberar produtos químicos tóxicos ao meio ambiente (ver Capítulo 24). Para determinar o quanto de dragagem precisa ser feito e com que frequência, níveis de água deve ser monitorados e as taxas de transporte de sedimentos e deposição, estimadas.
- **Pesca e habitats aquáticos.** Os sedimentos em excesso podem afetar diretamente e indiretamente as populações de peixes de várias maneiras:

- a) os sedimentos em suspensão tendem a diminuir a penetração da luz na água; isso pode afetar os hábitos alimentares e outras habilidades dos peixes, o que pode levá-los a uma menor sobrevivência;
 - b) os sedimentos em suspensão, em altas concentrações, irritam as brânquias dos peixes e podem causar a sua morte;
 - c) os sedimentos podem destruir a mucosa protetora que cobre os olhos e escamas dos peixes, tornando-os mais suscetíveis a infecções e doenças;
 - d) as partículas de sedimentos absorvem o calor do sol, o que pode elevar a temperatura da água. Isto tende a causar estresse a algumas espécies de peixes;
 - e) sedimentos em suspensão em concentrações elevadas podem provocar a extinção de plantas, invertebrados e insetos do leito dos cursos de água. Isso afeta a fonte de alimento dos peixes e pode resultar em diminuição das populações;
 - f) a deposição de sedimentos pode enterrar e sufocar as ovas dos peixes;
 - g) as partículas de sedimentos podem transportar compostos tóxicos agrícolas e industriais; se estes são liberados no habitat aquático, podem causar anormalidades ou morte de peixes.
- **Silvicultura.** Algumas práticas florestais têm impactos negativos sobre o meio ambiente. Para um aprofundamento a respeito dessas questões, sugere-se a leitura do Capítulo 10. O corte extensivo de árvores em uma área pode não só destruir os habitats naturais, mas aumentar o escoamento da água e acelerar a erosão do solo se não houver manejo adequado. Esses podem levar ao aumento da carga de sedimentos em córregos próximos. O corte intensivo também pode liberar substâncias químicas que ocorrem naturalmente em solos florestais e, dessa forma, contaminar rios ou lagos e prejudicar os peixes e outros organismos aquáticos.
 - **Abastecimento de água.** Os sedimentos podem afetar a captação e o tratamento da água. Quando a água é retirada de rios e lagos para uso doméstico, industrial e agrícola, a presença de sedimentos em excesso pode desgastar as bombas e demais equipamentos do sistema. Com isso, aumentam os custos de manutenção e, dessa forma, é importante conhecer a quantidade de sedimentos na água a ser captada, para que o equipamento adequado possa ser escolhido ao se projetar uma instalação de abastecimento. Além disso, maiores quantidades de produtos químicos devem ser adicionados ao longo do tratamento para a coagulação, floculação e sedimentação das partículas, etapas que serão detalhadamente descritas no Capítulo 17.
 - **Produção de energia.** A quantidade de sedimentos transportados afeta a expectativa de vida dos reservatórios criados para geração de energia. A barragem retém a maior parte dos sedimentos, que normalmente seriam descarregados a jusante, o que reduz o volume do reservatório. Esse efeito impacta a geração de energia hidrelétrica, uma vez que, com a redução do volume, diminui a capacidade do reservatório em regularizar vazões e, dessa forma, reduz-se a possibilidade de geração plena nas estagiagens. Portanto, é necessário conhecer a quantidade de sedimentos para garantir a utilidade efetiva dos reservatórios no longo prazo.
 - **Agricultura.** Algumas práticas agrícolas aumentam a erosão do solo e despejam produtos químicos tóxicos no meio ambiente. Assim, o solo produtivo é perdido e transportado para os córregos, rios e ribeirões, poluentes são adicionados à água e os custos de manutenção de sistemas de irrigação aumentam devido à maior quantidade de sedimentos na água. Torna-se necessário coletar e conhecer dados e informações sobre o transporte de sedimentos para uma adequada avaliação das melhores práticas agrícolas e seus efeitos ambientais.

- **Dragagens.** A dragagem pode perturbar o equilíbrio ecológico natural através da remoção direta da vida aquática. Por exemplo, em estuários, bancos de ostras podem ser destruídos; no ambiente de água doce, os organismos que habitam o fundo, e que alimentam os peixes, podem ser eliminados da cadeia alimentar. Algumas substâncias tóxicas presentes nos sedimentos (por exemplo, mercúrio) podem reentrar no sistema hídrico quando estes são dragados. Nutrientes também podem ser liberados pela dragagem. Estes podem causar a eutrofização artificial, resultando em depleção de oxigênio e, possivelmente, na morte de peixes e outros organismos aquáticos.

11.5 OS IMPACTOS PROMOVIDOS POR RESERVATÓRIOS E SUA CLASSIFICAÇÃO

Sabe-se que os barramentos e os reservatórios, formados como resultado da implantação dos primeiros, interferem no ciclo hidrológico, rompendo o equilíbrio original e induzindo rearranjos na busca de sua retomada. Segundo De Jorge (1984) apud Albuquerque Filho (2010) “(...) a implantação de um reservatório causa maior interferência sobre as condições naturais do meio físico do que qualquer outro tipo de obra civil de grande porte. Essas interferências são responsáveis por reações do próprio meio físico procurando se adaptar às novas condições existentes. As reações podem variar, ao longo do tempo, em intensidade e forma, impondo uma série de mudanças, convencionalmente chamadas de impactos”.

Segundo McCully (1996) apud Viana (2003), “(...) Assim como todo rio é único nas características de sua vazão, da região que ele percorre e das espécies que ele sustenta, assim também o é o design e o modelo de operação das barragens e os efeitos nos rios e ecossistemas que dela decorrem (...)”.

Viana (2003), ao comentar essa frase em seu trabalho, salientou seu significado por contemplar duas questões importantes: a impossibilidade de dar tratamento a todos os impactos ambientais decorrentes da construção de barragens e a impossibilidade da ciência (e dos cientistas), até aquela data, de avaliar com precisão e exatidão a extensão da fragmentação dos ecossistemas decorrentes de empreendimentos desta natureza. Observa-se que o levantamento em nível internacional realizado pela WCD (*World Commission on Dams*) não levou em conta as especificidades e os efeitos de todas as barragens até hoje construídas ou em construção nos diversos países.

O relatório da WCD (2000) enfocou as grandes barragens, apesar da afirmação de McCully (1996) de que a distinção entre pequenas e grandes barragens está longe de ser simples, a partir da própria definição do que é uma pequena e/ou uma grande barragem. De acordo com a Comissão Internacional de Grandes Barragens (ICOLD), uma grande barragem tem altura de 15 m ou mais desde a fundação. Barragens entre 5-15 m de altura e com reservatório de volume superior a 3 milhões de m³ também são classificadas como grandes barragens. É com base nesta definição que se diz que há mais de 45 mil grandes barragens em todo o mundo.

Há duas principais categorias de grandes barragens: com **reservatório de armazenamento** ou a **fio de água**, que muitas vezes podem ter limitada reservação diária. Dentro dessas classificações gerais, há uma considerável diversidade em escala, concepção, exploração e potencial de efeitos adversos. Barragens com reservatório podem promover o armazenamento de água intraanual, interanual ou anual ou, ainda, plurianual. As barragens a fio de água limitam-se a criar uma carga hidráulica no rio para desviar uma parte da vazão do rio para um canal ou estação de geração de energia.

Sabe-se que a construção de uma barragem seguida da inundação da área do reservatório promove efeitos abióticos (clima, geologia e quantidade e qualidade das águas) e bióticos (vegetação e faunas terrestre e aquática) diversos.

WCD (2000) classificou os impactos sobre os ecossistemas como sendo (tradução dos autores):

“(...) de primeira ordem: impactos que envolvem as consequências físicas, químicas e geomorfológicas do bloqueio de um rio e alteram a distribuição natural e temporal das vazões;

– de segunda ordem: impactos que envolvem mudanças na produtividade biológica primária de ecossistemas, incluindo efeitos sobre a vida vegetal ripária e ribeirinha e sobre habitats de jusante, tais como alagados; ou

– de terceira ordem: impactos que envolvem alterações sobre a fauna (como peixes) causada por um efeito de primeira ordem (como bloqueio da migração) ou um de segunda ordem (como diminuição na disponibilidade de plâncton).

Além disso, modificando o ecossistema, altera-se o ciclo bioquímico no sistema fluvial natural. Reservatórios interrompem o fluxo do carbono orgânico para jusante, conduzindo às emissões de gases de efeito estufa como o metano e o dióxido de carbono”.

O presente texto não tem o propósito de esgotar o assunto, mas sim apontar aspectos importantes relacionados aos impactos de primeira, segunda e terceira ordens. Apresentam-se, inclusive, dados sintetizados a partir do próprio texto apresentado por WCD (2000), cuja tradução é de responsabilidade dos autores.

11.5.1 Inundação da Área do Reservatório

Com a construção de uma barragem e conseqüente **inundação da área do reservatório**, os fatores que caracterizam o clima (temperatura, umidade relativa do ar, insolação e ventos) podem sofrer alterações. Assim, a temperatura pode sofrer alterações especialmente se as condições originais corresponderem a de uma região naturalmente protegida de ventos, tais como os vales. A evaporação que se processa a partir da superfície líquida do reservatório criado em regiões secas tende a aumentar, fazendo crescer a umidade relativa do ar. Em zonas de densa cobertura vegetal (caso de Itaipu), o efeito é contrário. A superfície livre da evaporação do lago é forçosamente menor que a soma da superfície das folhas através das quais se dá a transpiração vegetal, promovendo conseqüente decréscimo da umidade relativa. As superfícies líquidas construídas em substituição a áreas com obstáculos ao vento pode fazer com que os ventos sejam intensificados. A neblina resultante do processo de evaporação intensificado pode alterar as condições de insolação locais.

O enchimento do reservatório e sua presença produzem uma curva de remanso de influências profundas sobre as adjacências. Tipicamente, ocorre a formação de um delta na entrada do reservatório formado pela redução de velocidade da água, que propicia o depósito de materiais transportados. Esse fenômeno gera a elevação do lençol freático na área de influência do reservatório, podendo causar danos às áreas cultivadas no entorno do reservatório. O acúmulo de sedimentos no reservatório, por sua vez, produz a perda gradual do volume útil do mesmo, com influências tanto sobre a vida útil da obra quanto sobre a qualidade da água do reservatório.

A inundação mata plantas terrestres e florestas; animais são, na melhor das hipóteses, deslocados. Como muitas espécies são adaptadas às condições de fundos de vale, o represamento pode eliminar habitats únicos da vida selvagem e afetar as populações de espécies ameaçadas. Além disso, a conseqüente perda de cobertura vegetal na área do reservatório promove o aumento do fluxo de sedimentos, a degradação da qualidade da água e a variação no regime de vazões. Observa-se que a simples alteração de ambientes

inicialmente lóticos (rios) para léticos (lagos) promove a imediata redução do oxigênio dissolvido na água por reduzir a agitação das águas, que constitui um mecanismo de aeração.

As pressões da coluna de água formada no reservatório e da própria barragem atuam de maneira a possibilitar a infiltração da água através das fraturas de rochas com potencial para reduzir a resistência das rochas, reativar falhas geológicas, quebrar camadas rochosas, alterando, portanto, a resistência do substrato. Dessa maneira, têm-se observado deslizamentos e tremores de terra no raio de influência dos reservatórios, variáveis de acordo como as características geológicas do local, a velocidade de enchimento da represa e o tamanho da coluna de água formada, cujos efeitos geralmente são sentidos tempos depois de o reservatório ter atingido a sua cota máxima. De acordo com Fioravante (2010) “(...) *No mundo todo há registros de cerca de 100 terremotos que os especialistas atribuem a alterações que os reservatórios provocam no solo – o mais sério, associado à construção da barragem de Zipingpu, na China, atingiu 7,9 graus e matou 80 mil pessoas em maio de 2008. Um grupo do IAG e da Universidade de Brasília (UnB) identificou 16 hidrelétricas que induziram tremores de terra no Brasil (...)*”.

A pressão hidrostática dos reservatórios também pode ter efeitos sobre a epidemiologia (criação de brejos com a proliferação de mosquitos e outros insetos transmissores de doenças).

Além dos aspectos já mencionados, a construção de reservatórios pode inundar áreas férteis para a agricultura e pecuária, estradas, sítios arqueológicos e obras arquitetônicas de valor histórico e propiciar o desaparecimento de recursos naturais, inclusive de valor paisagístico, tais como: florestas, rios, lagos, cavernas, quedas de água (exemplo: Sete Quedas, no rio Paraná, que desapareceram em 1982 por ocasião do fechamento do canal de desvio de Itaipu).

11.5.2 Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE)

Os reservatórios têm sido apontados como potenciais fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEE), **metano** (CH₄) e **dióxido de carbono** (CO₂), para a atmosfera, diferentemente da compreensão de que as hidrelétricas são fontes limpas de energia, por produzirem apenas efeitos atmosféricos positivos, como a redução das emissões de dióxido de carbono, óxidos nitrosos, óxidos sulfúricos e material particulado, quando comparadas com o poder poluidor de outras fontes de geração que queimam combustíveis fósseis (Kelly et al., 1994; Rudd et al., 1993).

De acordo com Fearnside (2011), as quantidades de GEE emitidas pelo reservatório variam de acordo com a sua localização geográfica, a sua idade, o aporte de carbono e nutrientes e características como vazões, tempo de detenção, área, profundidade, flutuações de nível de água e a posição das turbinas e vertedores. O autor afirma ainda que as emissões ocorrem de maneiras diferentes ao longo da vida dos reservatórios, sendo que, durante a construção da barragem, as emissões podem ser atribuídas ao concreto, aço e combustível usados.

A decomposição da biomassa inundada representa a principal fonte de emissão de gases nos primeiros anos de operação de uma usina hidrelétrica. O processo de enchimento de um reservatório artificial é acompanhado por intensa atividade bacteriana, responsável pela decomposição da fração orgânica do carbono e sua conversão em formas inorgânicas e dissolvidas, como dióxido de carbono e metano (Galy-Lacaux et al., 1999). Assim, as hidrelétricas produzem emissões antes mesmo de qualquer eletricidade ter sido gerada, com picos de emissão nos primeiros anos (Fearnside, 2011). Os baixos níveis de oxigênio nas camadas profundas do reservatório, próximas ao sedimento, também favorecem a geração de metano (Lima 2005; Utsumi et al., 1998).

Posteriormente à liberação do carbono orgânico “inundado”, o metabolismo dos reservatórios passa a ter as respectivas bacias de drenagem como fontes de carbono, o qual é carregado pelos rios e águas superficiais e fixado pela produção primária (estudada no Capítulo 7).

Os gases produzidos nos reservatórios podem ser estocados permanentemente no sedimento destes sistemas. Estimativas recentes sugerem que os sedimentos dos reservatórios estocam mais carbono que todos os lagos naturais combinados (Cole et al., 2007). Apesar de as superfícies dos reservatórios serem responsáveis pelas principais trocas gasosas com a atmosfera, emissões significativas também podem acontecer ainda após a passagem da água pelas turbinas e vertedores (Kemenes et al., 2007).

Até o momento, não se têm experiências de minimização, mitigação ou compensação desses impactos. A remoção de vegetação pré-inundação constitui uma alternativa, cujos efeitos ainda não são bem compreendidos.

11.5.3 Ecossistema Aquático de Jusante

Por um lado, os reservatórios são construídos com o propósito de controlar a distribuição temporal de vazões. Por outro, rios, seus habitats e espécies dependem da vazão, em termos da quantidade e características dos sedimentos em movimento através do curso de água, bem como das características e dos materiais que compõem o leito e as margens do canal.

Assim, os reservatórios acabam por comprometer a dinâmica característica dos rios, que envolve ciclos naturais de altas e de baixas vazões, que determina a base física de vazões que garante a integridade dos ecossistemas. A extensão dos impactos promovidos pelas condições operacionais médias de barragens controladas depende de diversos fatores, dentre eles o fato de a água ser extraída ou desviada para consumo ou ecologicamente mantida. A introdução de espécies não nativas e de água de qualidade modificada em relação a características tais como temperatura, concentração de oxigênio e nutrientes, a alteração da dinâmica do sistema e a perda da capacidade de sustentação de um ecossistema resultam em um **rio ecologicamente modificado**. Dessa maneira, a nova dinâmica tem efeitos positivos sobre algumas espécies e negativos sobre outras, podendo operar transformações radicais sobre o ecossistema natural.

11.5.4 Impactos das Mudanças no Regime de Escoamento

Regimes de escoamento são variáveis chave para a manutenção de ecossistemas aquáticos de jusante. Tanto a duração como a frequência das inundações são aspectos críticos para a sobrevivência de comunidades de plantas e animais que vivem a jusante. Assim, cheias pequenas podem atuar como estímulos biológicos para a migração de peixes e invertebrados e cheias maiores criam e mantêm habitats por lavagem ou transporte de sedimentos. A variabilidade natural da maioria dos sistemas fluviais, caracterizado por pulsos de vazão, sustenta comunidades biológicas complexas que podem ser muito diferentes daquelas adaptadas às vazões estáveis, nas condições de um rio controlado. A temperatura da água e as suas características químicas também são alteradas como consequência do armazenamento de água e do regime das descargas para jusante. Dessa maneira, o crescimento de algas pode ocorrer no reservatório e no canal imediatamente a jusante de barragens como resposta à carga de nutrientes descarregada do reservatório, cujo efeito é reduzido para jusante pelos processos de autodepuração.

Reservatórios de armazenamento, especialmente de usinas hidrelétricas de ponta (projetadas para operar nos períodos de picos de consumo de energia), podem perturbar significativamente todo o **regime de vazões**, promovendo grandes flutuações sazonais e diárias, muito distintas dos níveis de fluxo natural. Esforços têm sido empenhados para minimizar os impactos das mudanças no regime de vazões com vistas

à restauração do regime de vazões, através da definição de **vazões ecológicas**, cujo conceito foi estudado no Capítulo 3. Acredita-se, no entanto, que esse tema mereça ainda investigações mais aprofundadas.

11.5.5 Impactos Decorrentes do Aprisionamento de Sedimentos e Nutrientes na Represa

A **redução no transporte de sedimentos** e nutrientes nos rios para jusante das barragens tem impactos sobre a **morfologia do canal, várzeas e deltas costeiros** e provoca a **perda de hábitat aquático** para peixes e outras espécies. Mudanças na turbidez da água do rio podem afetar diretamente a biota. A redução da turbidez devida ao represamento das águas pode incentivar a produção planctônica e inclusive a sua ocorrência em novas seções do rio. A redução de sedimentos a jusante da barragem leva à degradação do canal de jusante. Praias podem desaparecer e também remansos que constituem hábitat de peixes nativos. Além disso, pode acontecer a redução ou eliminação de vegetação ripária que fornece nutrientes e hábitat para espécies aquáticas e aves. O represamento de rios resulta, invariavelmente, na crescente degradação de deltas costeiros devido à redução no aporte de sedimentos. Medidas para mitigar os impactos de retenção de sedimentos e nutrientes são limitadas, mas a lavagem de sedimentos pode constituir parte de um programa de inundações controladas.

11.5.6 Impactos sobre Organismos Aquáticos e Bloqueio à Migração

O reservatório formado a montante da barragem caracteriza-se por camadas estratificadas por temperatura e concentração de oxigênio e essa estratificação (Capítulo 8) atua de maneira a selecionar os seres característicos de determinadas camadas de estratificação, epilímnio, metalímnio e hipolímnio.

Além disso, na condição de barreira física, a barragem quebra a sistemática de movimento de espécies e gera mudanças na composição de espécies de montante e de jusante e até mesmo a perda de algumas espécies. De acordo com os seus padrões migratórios, as espécies ribeirinhas classificam-se em peixes anádromas (como o salmão) e peixes catádromas (como as enguias). Os adultos do primeiro grupo migram rio acima para desovar e os jovens descem, enquanto o inverso ocorre com o segundo grupo. Muitos outros peixes de água doce sobem os rios ou seus afluentes para desovar, enquanto larvas de mexilhões de água doce são transportadas por peixes hospedeiros. Para ajudar a combater a deriva de suas larvas para jusante, insetos aquáticos, tais como *mayflies* e *stoneflies*, movem-se para montante para desovar. As barragens bloqueiam esses movimentos migratórios em diferentes graus. Peixes migratórios requerem diferentes ambientes para as principais fases do seu ciclo de vida: reprodução, produção de juvenis, crescimento e maturação sexual. Assim, muitas populações de peixes anádromas têm morrido como resultado de bloqueio por barragens a suas rotas migratórias. Estudos detalhados na América do Norte indicam que a construção de uma barragem é uma das principais causas da extinção de espécies de água doce (WCD, 2000). Os exemplos mais bem documentados da interrupção migratória de peixes são do rio Columbia nos Estados Unidos, onde muitas espécies de salmão foram perdidas. Passagens para peixes são normalmente utilizadas como esforços para mitigar o efeito das barragens em bloquear a migração de peixes.

11.5.7 Impactos sobre a Vegetação Ripária

A **zona ripária** tem importante papel na manutenção da integridade da bacia hidrográfica, por atuar sobre processos que lhe conferem estabilidade, possibilitar a **manutenção da qualidade e da quantidade de água** e dar sustentação ao ecossistema aquático (alimentos e abrigo à fauna).

Entretanto, as características da zona ripária estão intimamente relacionadas à dinâmica dos cursos de água, a qual atua de maneira a delimitar as planícies de inundação e a possibilitar a deposição de sedimentos. Nos ambientes naturais, essa dinâmica inclui tanto cheias anuais como de períodos de retorno maiores, forçando que a vegetação dessas áreas (mata ciliar) apresente diversificação no que se refere a suas características estruturais (altura, diâmetro, área basal, densidade, distribuição por classe etária e padrões de distribuição espacial das espécies componentes), de composição e de distribuição espacial (longitudinal e transversalmente aos cursos de água).

O controle de águas de cheia pelas grandes barragens reduz a vazão durante períodos de cheia naturais e aumenta a vazão durante períodos naturalmente secos. Isso, associado à perda de habitats de planícies de inundação, normalmente tem um impacto negativo sobre a diversidade de peixes e sua produtividade. A conexão entre o rio, a planície de inundação e os habitats é essencial na história de vida de muitos peixes fluviais que evoluíram para tirar vantagem das inundações sazonais e usar as áreas inundadas para desova e alimentação. A perda dessa conexão pode levar a um rápido declínio na produtividade da pesca local e à extinção de algumas espécies. Além disso, a drenagem de canais de fluxo imediatamente a jusante de barragens pode ser um grave problema. As perdas diretas de silte e de reposição de nutrientes como consequência do represamento a montante contribuiu para a perda gradual de fertilidade de solos de várzea produtivos. O exemplo clássico é o do rio Nilo, na África. Em vez de contar com a deposição natural de silte fértil em suas margens como no passado, o represamento fez com que a agricultura hoje praticada no local seja totalmente dependente de fertilizantes.

A drástica redução de espécies de pássaros foi também verificada especialmente em planícies de inundação a jusante de reservatórios e deltas, em que áreas alagadas não puderam ser preenchidas com água e nutrientes após a instalação da barragem. Finalmente, a recarga de água subterrânea em planícies de inundação também é drasticamente reduzida em função da eliminação das cheias.

Esforços para restaurar as **funções do ecossistema de várzea** dependem da reversão dos efeitos da barragem através de um programa de inundações planejadas para simular as enchentes que ocorreram anteriormente à construção da barragem.

11.5.8 Impactos sobre a Pesca

O bloqueio de sedimentos e nutrientes, a regularização de vazões e a consequente eliminação do regime natural de cheias também podem ter efeitos negativos significativos sobre a pesca a jusante dos reservatórios. A pesca marinha ou de estuários também pode ser negativamente afetada quando as barragens alteram ou desviam fluxos de água doce. **Perdas substanciais na produção pesqueira** a jusante são relatadas em todo o mundo como resultado da construção de barragens.

A água doce auxilia a produção de peixes marinhos em estuários ou deltas. Assim, a diminuição do fluxo de água doce e do fluxo de nutrientes devido à construção de barragens afeta as áreas do berçário de várias maneiras, incluindo o aumento da salinidade, permitindo a invasão de peixes marinhos predatórios e reduzindo o abastecimento de alimentos disponíveis.

Barragens podem melhorar especialmente pescarias ribeirinhas imediatamente abaixo de barragens, que se beneficiam de descarga de nutrientes do reservatório de montante. Se a descarga se der a partir de camadas profundas do reservatório, a redução das temperaturas do curso de água receptor pode reduzir ou eliminar as espécies de água morna e promover a proliferação de espécies exóticas de água fria como salmonídeos, caso a água seja suficientemente oxigenada. Pescarias dirigidas a estes peixes de água fria podem resultar produtivas, mas geralmente exigem programas suplementares de incubação e introdução de invertebrados de água fria para servir como alimento para esses peixes.

Medidas de mitigação ou compensação têm sido usadas para reduzir esses impactos sobre a pesca. As passagens de peixes são as medidas mais usuais, apesar da sua utilidade limitada. Medidas de compensação consistem em incubadoras de peixes e programas de estocagem projetados para reproduzir a produtividade da pescaria.

11.5.9 Conclusão

Experiências levantadas e reportadas por WCD (2000) mostram que, no passado, a previsão dos impactos sobre os ecossistemas era limitada, em parte devido à falta de base de dados confiáveis, à incerteza científica relacionada com a natureza das interações, à inadequada atenção a estas questões e à capacidade limitada para modelar sistemas complexos. Apesar das melhorias na medição, compreensão científica e capacidade de modelagem que vem ocorrendo ao longo do tempo, a maioria dos impactos sobre os ecossistemas permanecem específicos em nível local. Assim, sua natureza exata não pode ser prevista na ausência de estudos de campo apropriados de sistemas fluviais individuais. Todos os impactos aqui apontados podem ser potencializados à medida que maior número de barragens é construído em uma mesma bacia hidrográfica. De acordo com WCD: “(...) *Dentro de uma bacia, quanto maior o número de barragens, mais fragmentados os ecossistemas do rio (...)*”

Deve-se dizer ainda que, além dos impactos ambientais explorados neste capítulo, há que se considerar outras dimensões importantes do problema, como a dimensão social. Segundo a WCD, “*A construção de grandes barragens tem levado ao deslocamento de 40 a 80 milhões de pessoas ao redor do mundo*”.

11.5.10 A Desativação de Barragens

De acordo com a WCD, a partir do final do século XX, observa-se a tendência de **desmantelamento de barragens** de manutenção dispendiosa ou de níveis de impacto inaceitáveis à visão atual, especialmente nos Estados Unidos, onde cerca de 500 barragens de pequeno porte e relativamente antigas foram descomissionadas.

Ainda segundo a WCD, experiências na Europa e Estados Unidos têm mostrado que o descomissionamento de represas permite a **restauração da pesca e dos processos ecológicos ribeirinhos**. No entanto, a remoção de barragem sem estudos adequados e as cabíveis ações mitigadoras causam preocupações e impactos negativos sobre a vida aquática a jusante devido à descarga súbita de sedimentos acumulados no reservatório, especialmente se acumuladores de resíduos de atividades industriais ou de mineração. Reconhece-se, no entanto, que a experiência relativa à remoção de grandes barragens é muito limitada e acredita-se que estudos sejam necessários para enfrentar os custos, benefícios e impactos decorrentes da remoção de grandes barragens. As escolhas devem ser feitas entre a renovação e a remoção.

Oponentes de projetos de grandes barragens algumas vezes sugerem, como alternativa energética, as pequenas barragens, ou, para utilizar o termo técnico atualmente em uso no Brasil, as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), que serão alvo de estudo no Capítulo 26.

11.6 FONTES DE POLUIÇÃO HÍDRICA

Poluição da água é a contaminação dos corpos de água naturais ou artificiais por **substâncias químicas, elementos radioativos ou organismos patogênicos**. A poluição altera significativamente as características físicas, químicas e biológicas da água, podendo inviabilizar o seu uso para diversas finalidades, provocar prejuízo aos ecossistemas aquáticos e transmitir doenças às populações, como estudado no Capítulo 5.

As principais fontes de poluição da água são: **esgotos domésticos e industriais**; **águas pluviais** (carreando impurezas da superfície do solo ou contendo esgotos lançados nas galerias de drenagem); **resíduos sólidos**; **agrotóxicos**; **fertilizantes**; **detergentes**; **precipitação de poluentes atmosféricos** (sobre o solo ou a água); **sedimentos** oriundos das margens dos cursos de água ou da superfície da bacia hidrográfica, decorrentes de processos erosivos, e **dejetos de animais**, provenientes de criadouros.

Os poluentes podem contaminar as águas superficiais através do lançamento direto, da precipitação, ou do escoamento da água pela superfície do solo. As **fontes de poluição** da água podem ser **localizadas (pontuais)**, quando o lançamento da carga poluidora é feito de forma concentrada, em determinado local, ou **não localizadas (difusas)**, quando os poluentes alcançam um corpo de água de modo disperso, não havendo um ponto específico para a entrada do poluente no sistema hídrico.

11.6.1 Poluição Pontual

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Usepa) considera como poluição pontual qualquer fonte única identificável a partir da qual os poluentes são descarregados através de tubulações, valas e drenos. Uma fonte também é chamada de pontual porque, em modelagem matemática, pode ser aproximada como um ponto geométrico para simplificar a análise.

As cargas brutas ou remanescentes de esgotos domésticos e industriais são os tipos mais comuns de fontes pontuais. Os esgotos domésticos, normalmente caracterizados por um elevado teor de matéria orgânica, são tratados em estações de tratamento específicas para esse fim. As indústrias, incluindo as refinarias de petróleo, fábricas de celulose e papel, de produtos químicos, de equipamentos eletrônicos e montadoras de automóveis, descarregam um ou mais poluentes (cargas orgânicas e produtos químicos) em seus efluentes. Algumas indústrias liberam seus efluentes tratados ou não diretamente nos corpos de água. Outras enviam seus resíduos para estações especiais de tratamento. Os aspectos relacionados ao tratamento de efluentes domésticos e industriais são apresentados nos Capítulos 18 e 19. Outra forma comum de cargas pontuais são os lançamentos *in natura* de dejetos de criadouros de animais referentes à pecuária, avicultura e suinocultura.

As descargas não controladas a partir de fontes pontuais podem resultar em poluição hídrica e conseqüentemente inviabilizar o uso da água para consumo, restringir atividades como a pesca e a natação e, ainda, ser foco de doenças de veiculação hídrica. Alguns dos produtos químicos descarregados por fontes pontuais são inofensivos, mas outros são tóxicos para as pessoas e para os ecossistemas aquáticos. O grau de severidade da contaminação por um produto químico depende da sua composição, da sua concentração, do momento de seu lançamento, das condições meteorológicas e dos organismos que habitam a área.

As **cargas pontuais** são geralmente mais fáceis de gerenciar, uma vez que são **mais facilmente identificáveis** e sua caracterização é mais direta e objetiva. Ou seja, uma vez identificado um ponto de lançamento de poluentes, faz-se a avaliação do seu volume e dos contaminantes presentes. Na seqüência, passa-se para a adoção de medidas corretivas como o tratamento do efluente ou até mesmo a redução ou a interrupção do lançamento.

11.6.2 Poluição Difusa

Cargas difusas são cargas de contaminantes que aportam aos cursos de água **sem que se possa identificar precisamente o seu ponto de entrada** no sistema hídrico. São normalmente geradas em áreas extensas e associadas às precipitações e, portanto, chegam aos corpos de água superficiais de forma intermitente e eventual. Uma vez que sobre a superfície do terreno (rural ou urbano) se encontra uma série de contami-

nantes (como sedimentos, dejetos animais, agrotóxicos, nutrientes, resíduos sólidos, resíduos de combustível, óleo, borracha e produtos químicos, poeira, entre outros), o escoamento superficial direto carrega essa carga de poluentes para os cursos de água da bacia hidrográfica. Outra forma de poluição difusa se dá por meio da lavagem da atmosfera pela chuva. Nesse processo, uma parte da poluição atmosférica é levada pela chuva e atinge os corpos de água através do escoamento superficial direto.

Em áreas urbanas, a poluição difusa tem composição complexa: sedimentos erodíveis, metais, poeira, resíduos sólidos, resíduos de óleos, combustíveis, borracha e materiais de construção. É uma fonte de poluição importante e seu controle está associado à coleta de lixo, limpeza pública (varrição e lavagem de ruas) e gestão sobre o uso e ocupação do solo. Nas áreas rurais, a poluição difusa é devida em grande parte ao escoamento superficial direto sobre os solos agrícolas e ao fluxo de retorno da irrigação, sendo associada aos sedimentos (carreados quando há erosão do solo), aos nutrientes (nitrogênio e fósforo), aos defensivos agrícolas e aos resíduos da criação animal. A deposição atmosférica de poluentes, especialmente nitrogênio, provenientes de emissões industriais e queimadas de matas e da cana-de-açúcar, e o arraste de partículas e gases da atmosfera por águas pluviais, também são considerados fontes de poluição difusa.

As concentrações dos poluentes decorrentes das cargas difusas variam significativamente entre diferentes bacias hidrográficas e ao longo de uma mesma bacia hidrográfica. A poluição difusa está associada ao uso e ocupação da bacia hidrográfica, às práticas de manejo do solo, à limpeza das ruas, às estações do ano e às características hidrológicas locais e da topografia, como mencionado anteriormente. A poluição difusa também varia temporalmente, de acordo com os diferentes eventos de chuva. As chuvas antecedentes também têm um peso significativo sobre essa variação temporal. As chuvas de alguns dias atrás lavam a superfície do terreno, diminuindo a carga difusa posterior. Esse mesmo efeito acontece ao longo de um mesmo episódio chuvoso, pois durante os primeiros minutos de chuva, ocorre também a “lavagem” dos contaminantes depositados sobre o solo. Dessa forma, é frequente observar elevadas concentrações de poluentes no início da chuva.

Segundo Novotny (1991), cinco condições caracterizam as fontes difusas de poluição:

1. o lançamento da carga de poluição é intermitente e está relacionado à precipitação;
2. os poluentes são transportados por extensas áreas;
3. as cargas de poluição não podem ser monitoradas a partir de seu ponto de origem, já que não é possível identificar exatamente sua origem;
4. o controle da poluição difusa deve, de maneira obrigatória, incluir ações de planejamento sobre a área geradora da poluição, em vez de apenas controlar o efluente quando do seu lançamento;
5. dificuldade em se estabelecer padrões de qualidade para o lançamento, já que a carga poluidora varia de acordo com a intensidade e duração do evento de precipitação, extensão da bacia hidrográfica, padrão de uso e ocupação da bacia, tornando a correlação vazão *versus* carga poluidora praticamente impossível de ser estabelecida.

Até a primeira metade do século passado, buscou-se a manutenção da qualidade dos recursos hídricos pelo desenvolvimento e aplicação de tecnologias focadas tão somente no controle das fontes pontuais de poluição. Foi a partir da década de 1970 que as cargas difusas de poluição se tornaram objeto de estudos mais profundos, devido à percepção da dificuldade em manter os recursos hídricos em nível aceitável de qualidade controlando apenas as fontes pontuais. Isso provocou mudanças nas políticas de controle da poluição da água, nos Estados Unidos e na Europa, que se voltaram para uma regulação com foco na qualidade dos corpos receptores. Esse fato foi marcado pela aplicação, em diversas bacias hidrográficas nos Estados Unidos, do conceito de Carga Diária Máxima Total (em inglês, *Total Maximum Daily Load*, ou TDML),

preconizada pela lei de despoluição hídrica dos Estados Unidos de 1972 (em inglês, *Clean Water Act*) e, posteriormente, pela diretiva europeia em relação à água (em inglês, *Water Framework Directive*). Esses dispositivos legais colocaram em evidência a necessidade de se considerarem todas as fontes de poluição, bem como a necessidade de modelagens mais precisas, principalmente das fontes difusas de poluição.

O controle da poluição difusa deve ser feito, principalmente, a partir do fator gerador da poluição, ou seja, nas fontes que estão dispersas sobre o solo ou na atmosfera. Deve-se reduzir a carga poluidora antes que esta atinja o curso de água receptor. Isto requer ações sobre a ocupação da bacia hidrográfica como a gestão do uso e ocupação do solo, limpeza de ruas, coleta adequada de resíduos sólidos, disposição de resíduos inertes, disposição de resíduos tóxicos, controle de emissão de poluentes atmosféricos e controle da erosão. Essas são ações denominadas de **medidas não estruturais**. Como **medidas estruturais**, têm-se as obras e as intervenções que procuram diminuir o volume do escoamento superficial direto e/ou remover os poluentes antes que estes atinjam o corpo de água. São exemplos de medidas estruturais, as bacias de detenção (em que seja possível a sedimentação dos poluentes), aplicação de pavimento poroso (que diminui o volume do escoamento), obras de retenção de sedimentos e a criação de alagadiços ou banhados com vegetação para tratamento e sedimentação dos poluentes.

11.7 EFLUENTES URBANOS

O aumento da demanda da água nos núcleos urbanos para atendimento de diversas atividades humanas e econômicas tem provocado a deterioração dos corpos de água. A água perde qualidade quando utilizada em nossas casas, nos edifícios públicos e comerciais, nos processos industriais, entre outros. Essas atividades geram efluentes contaminados que são geralmente chamados de águas servidas ou residuárias. Em muitos casos, quando o tratamento dessas águas servidas é inadequado, ou simplesmente inexistente, o corpo receptor, seja superficial ou subterrâneo, torna-se poluído. Considerando esse panorama, quanto maior o consumo de água, maior será a poluição dos mananciais. Dentro de uma mesma bacia, as cidades situadas a montante tendem a poluir as águas que serão utilizadas pelas cidades a jusante, gerando um intenso conflito de uso dos recursos hídricos.

Desde a intensificação do **processo de urbanização**, as cidades têm contribuído significativamente para a degradação dos recursos hídricos. Esses mesmos recursos que abastecem as cidades, transformam-se, a jusante, nos receptores de toda a espécie de descarte das atividades humanas. A lógica para uma utilização racional e adequada dos recursos hídricos em áreas urbanas é o tratamento eficaz dos efluentes líquidos gerados. Uma cidade produz uma grande quantidade de efluentes líquidos que, normalmente, são subdivididos em dois tipos: os efluentes sanitários e os efluentes industriais.

Os efluentes ou esgotos sanitários são as águas servidas provenientes das residências, dos edifícios residenciais, comerciais e públicos, dos clubes esportivos, dos restaurantes, dos hospitais e de instalações sanitárias das indústrias. São originados a partir do uso da água para higiene pessoal, cocção de alimentos, lavagem de utensílios, roupas, pisos e limpeza em geral. Apresenta uma composição pouco variável e predomínio de matéria orgânica biodegradável. Outros componentes comumente encontrados nos esgotos sanitários são os microrganismos, como vírus e bactérias, nutrientes (nitrogênio e fósforo), óleos, graxas e detergentes, conforme será visto no Capítulo 18.

Os efluentes industriais são gerados a partir das atividades industriais, salientando-se que uma indústria, na qual seja consumida água no processamento de sua produção, gera um tipo de efluente com características inerentes ao tipo de atividade industrial e um efluente sanitário originado nas suas instalações sanitárias, ou seja, gerado pelos banheiros, lavatórios, vestiários e restaurantes. Em princípio, distinguem-se

as seguintes formas principais de uso da água na indústria: i) água de processo, que tem contato direto com a matéria-prima utilizada na produção; ii) água de refrigeração e de produção de vapor; iii) água de lavagem, utilizada na limpeza de produtos, peças, pisos e equipamentos; iv) água como solvente de sólidos, líquidos e gasosos. As águas servidas industriais apresentam uma composição bastante variável (Capítulo 19). Essa variação é função dos processos utilizados em cada indústria. Os compostos mais comumente encontrados são os compostos orgânicos fenólicos, provenientes das indústrias químicas e farmacêuticas, os detergentes utilizados na limpeza de equipamentos e os compostos inorgânicos, nos quais se destacam os metais pesados, gerados pelas indústrias químicas, farmacêuticas e siderúrgias. Além disso, alguns tipos de indústria, como os curtumes e as de produtos alimentícios, podem gerar efluentes com elevado teor orgânico.

A disposição desses efluentes, tanto sanitários como industriais, nos corpos de água, sem o devido tratamento, provoca a deterioração do recurso hídrico, inviabilizando seu uso para outros fins. Além disso, pode colocar em risco a saúde da população e impactar negativamente os ecossistemas aquáticos.

A elevada concentração de matéria orgânica tende a provocar a diminuição do oxigênio dissolvido na água, uma vez que parte desse oxigênio é consumida na estabilização da matéria orgânica. Este fato é o principal causador da mortandade de peixes e, além disso, afeta significativamente os ecossistemas aquáticos. Os compostos orgânicos fenólicos podem inviabilizar o uso da água para consumo humano, uma vez que esses compostos produzem gosto e odor desagradáveis. Elementos tóxicos e metais pesados, como cianetos, arsênio, selênio, mercúrio e cromo, são perigosos ao meio ambiente e à saúde humana, como visto no Capítulo 5, mesmo que em baixas concentrações. Eles podem ser ingeridos pelos organismos aquáticos e, dessa forma, contaminar a cadeia trófica superior. O excesso de materiais em suspensão altera a cor e a turbidez da água, o que pode comprometer a sua potabilização. Elevadas concentrações de nutrientes contribuem para a **eutrofização artificial** dos corpos de água, principalmente em lagos e reservatórios. A **poluição térmica** (aumento da temperatura da água) altera as taxas das reações bioquímicas e afeta os valores de saturação e dispersão de gases, dentre eles o oxigênio. Compostos orgânicos não removíveis com tratamentos convencionais, como pesticidas clorados, solventes, inorgânicos, poliaromáticos nucleados e metanos halogenados, podem provocar graves problemas de saúde. Mesmo em baixas concentrações, por serem cumulativos, podem ser responsáveis por problemas mutagênicos e carcinogênicos.

REVISÃO DOS CONCEITOS APRESENTADOS

Para se ter uma compreensão mínima dos impactos ambientais sobre rios e reservatórios, é necessário solidificar os seguintes conceitos:

- ▷ **Disponibilidade hídrica do planeta.** O total de recursos hídricos do mundo, estimado em 43.750 km³/ano, é distribuído de maneira desigual como consequência da malha espacial de diferentes climas e estruturas fisiográficas características do Planeta. A América tem a maior parte dos recursos de água doce do mundo (45%), seguida de Ásia (28%), Europa (15,5%) e África (9%), correspondentes às disponibilidades hídricas *per capita* de 24.000 m³/hab.ano, 34.000 m³/hab.ano, 9.300 m³/hab.ano e 5.000 m³/hab.ano, respectivamente.
- ▷ **Diversidade de usos que podem ser atribuídos à água.** A água está presente na nossa vida e faz parte dos insumos essenciais a uma série de atividades humanas. Os principais usos da água são: abastecimento doméstico, abastecimento industrial, irrigação, dessedentação de animais, recreação e lazer, diluição de efluentes líquidos, geração de energia elétrica e navegação. Além disso, ao se

tratar da gestão dos recursos hídricos, não se pode deixar de mencionar a questão das enchentes, fenômeno cujo controle deve ser exercido pela sociedade para evitar seus efeitos deletérios.

- ▷ **Como o homem pode afetar o equilíbrio geomorfológico fluvial.** A supressão da mata ciliar ou da cobertura vegetal da bacia pode resultar em um aumento da erosão e conseqüente aumento da descarga sólida. Como cada curso de água tem uma capacidade limite de transportar sedimentos, é possível que ocorra aumento da deposição de sedimentos, ou seja, assoreamento. Por outro lado, obras hidráulicas, como cortes de meandros ou canalizações, tendem a aumentar a velocidade do escoamento, facilitando a ocorrência de erosões no leito e nas margens dos rios. A construção de uma barragem altera o transporte de sedimentos do curso de água. No reservatório, ocorre a deposição dos sedimentos e, com isso, o fluxo destes para jusante é interrompido. Assim, aumentam as possibilidades de erosão do leito do rio, uma vez que o equilíbrio entre deposição e o transporte é alterado e diminui o fluxo de nutrientes, pois estes ficam retidos no reservatório.
- ▷ **Os impactos potenciais provocados pela construção de reservatórios (barragens).** Vários são os impactos decorrentes da construção de reservatórios para a formação de represas. Muitos estão associados com a inundação de uma determinada área que deixará de ser utilizada para outros fins. Ocorrem alterações na fauna e na flora, principalmente no que se refere à fauna ictiológica (com prejuízos à piracema), interrupção do transporte de sedimentos e nutrientes, prejuízo às atividades pesqueiras e aumento da emissão de gases de efeito estufa.
- ▷ **As características das fontes de poluição hídrica.** As fontes de poluição hídrica podem ser classificadas em pontuais e difusas. As primeiras são facilmente identificadas pelo ponto de lançamento. As outras são carregadas para o curso de água por meio do escoamento superficial. Os principais poluentes hídricos são os esgotos domésticos e industriais e as cargas dispostas sobre a superfície dos terrenos, como resíduos sólidos, dejetos de animais, compostos orgânicos e inorgânicos, entre outros. Além disso, muitos poluentes atmosféricos podem atingir os cursos de água durante as chuvas devido ao efeito de “lavagem” da atmosfera.
- ▷ **Como a qualidade da água pode se deteriorar a partir dos efluentes gerados pelos núcleos urbanos.** Os recursos hídricos que abastecem as cidades, transformam-se, a jusante, nos receptores de toda a espécie de descarte das atividades humanas. A lógica para uma utilização racional e adequada dos recursos hídricos em áreas urbanas é o tratamento eficaz dos efluentes líquidos gerados.

SUGESTÕES DE LEITURA COMPLEMENTAR

- ▷ BERGA, L. *Dam safety*. In: Proceedings of the international symposium on new trends and guidelines on dam safety. Barcelona, v. 1, n. 17-19, p. 383-385, 1998.
- ▷ BRAGA, B. e colaboradores *Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável*. São Paulo: Pearson-Prentice Hall, 2005. 318 p.
- ▷ CARVALHO, N. O. (2008) *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599 p.
- ▷ CORWIN, D. L.; LOAGUE, K. Multi-disciplinary assessment of non-point source pollution. In: ALVAREZ-BENEDI, J.; MUNOZ-CARPENA, R. (editores). *Soil-water-solute process characterization: an integrated approach*. CRC Press, p. 1-58, 2005.
- ▷ DALCANALE, F. *Simulação de cargas difusas em bacias rurais*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (POLI-USP), 2001. 110 p.

- ▷ GALY-LACAU, C.; DELMAS, R.; JAMBERT, C.; DUMESTRE, J. F.; LABROUE, L.; RICHARD, S.; GOSSE, P. Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: a case study in French Guyana. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 11, n. 4, p. 471-483, 1997.
- ▷ GEVENTMAN, L. H. Solubility of selected gases in water. In: LIDE, D. R. (editor). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. Boca Raton: CRC Press, 1999.
- ▷ MACLEOD, C.; HAYGARTH, P. A review of the significance of non-point source agricultural phosphorus to surface water. In: SCOPE Newsletter. Centre Européen d'Études des Polyphosphates, Bruxelas, Bélgica, n. 51, p. 1-10, 2003.
- ▷ MANSOR, M. T. C.; TEIXEIRA FILHO, J.; ROSTON, D. M.. Avaliação preliminar das cargas difusas de origem rural, em uma sub-bacia do Rio Jaguari, SP. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiente*, v. 10, n. 3., p. 715-723, 2006.
- ▷ MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; FERRAZ, E. S.; CAMARGO, P. B.; MOREIRA, M. Z.; KRUSCHE, A. V.; MORAES, J. M.; BALLESTER, M. V.; LARA, L. L. S.; BERNARDES, M. C.; OMETTO, J. P. H. B.; CERRI, C. E. Hydrology and water quality in the Piracicaba River basin, São Paulo. In: MCCLAIN, M.E. (editor). *The ecohydrology of South American Rivers and Wetlands*. Inglaterra: IAHS, 2002. 210 p.
- ▷ MARTINS, R. H. O. *Carga difusa em ambientes urbanos: A bacia representativa do córrego do Mandaquí*. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (POLI-USP), 1998. 207 p.
- ▷ NOVOTNY, V. Unit pollutant loads: their fit in abatement strategies. *Water Environment & Technology*, v. 4, n. 1, p. 40-43, 1992.
- ▷ NOVOTNY, V.; CHESTERS, G. *Handbook of Non-point Pollution: Sources and Management*. Nova York: Van Nostrand-Reinhold, 1981. 555 p.
- ▷ NOVOTNY, V.; OLEM, H. *Water quality: Prevention, identification and management of diffuse pollution*. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1993. 458 p.
- ▷ PLAMBECK, J. A. *Henry's Law and the solubility of gases*. 1995. Disponível em: <<http://www.psigate.ac.uk/newsite/reference/plambeck/chem2/p01182.htm>> Acesso: dezembro 2011.
- ▷ PORTO, M. F. A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T (editores). *Drenagem urbana*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 1995. 428 p.
- ▷ PORTO, R. L. L. (organizador); BRANCO, S. M. e colaboradores. *Hidrologia ambiental*. Coleção da Associação Brasileira de Recursos Hídricos 3 (ABRH), edição XVI. São Paulo: EDUSP, 1991. 414 p.
- ▷ REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. *Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação*. São Paulo: Escrituras, 2006. 748 p.
- ▷ RICHARD, S.; GOSSE, P.; GRÉGOIRE, A.; DELMAS, R.; GALY-LACAU, C. Impact of methane oxidation in tropical reservoirs on greenhouse gases fluxes and water quality. In: TREMBLAY, A.; VARFALVY, L.; ROEHM, C.; GARNEAU, M. (editores). *Greenhouse gas emissions: fluxes and processes. hydroelectric reservoirs and natural environments*. environmental science series, Nova York: Springer-Verlag, 2004. 762 p.
- ▷ RICHARD, S.; GUÉRIN, F.; ABRIL, G.; GALY-LACAU, C.; DELON, C.; GRÉGOIRE, A. *Utilização de sistemas automáticos de monitoramento e medição de emissões de gases de efeito estufa da qualidade da água em reservatórios de hidrelétricas*. In: Workshop Centro de Gestão de Estudos Estratégicos

- do Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília – DF. 2002. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/clima/brasil/doc/workad.doc.Delmas>>. Acesso: fevereiro 2002.
- ▷ RIGHETTO, A. M. *Hidrologia e recursos hídricos*. São Carlos: EESC, USP, 1998. 819 p.
 - ▷ ROSA L. P.; SANTOS, M. A.; MATVIENKO, B.; SANTOS, E. O.; SIKAR, E. Greenhouse gases emissions by hydroelectric reservoirs in tropical regions. *Climatic Change*, v. 66, n. 1-2, p. 9-21, 2004.
 - ▷ ROSA, L. P.; SCHAEFFER, R. Global warming potentials: The case of emissions from dams. *Energy Policy*, v. 23, n. 2, p. 149-158, 1995.
 - ▷ SEVA FILHO, A. O. *Tenotã-mô: alertas sobre as consequências dos projetos hidrelétricos no rio Xingu, Pará, Brasil*. São Paulo: International Rivers Network, 2005. 344 p.
 - ▷ TREMBLAY, A.; VARFALVY, L. Long term greenhouse gas emissions from the hydroelectric reservoir of Petit Saut (French Guiana) and potential impacts. In: ROEHM, C.; GARNEAU, M. (editores). *Greenhouse gas emissions: fluxes and processes. hydroelectric reservoirs and natural environments*. Nova York: Environmental Science Series, Springer-Verlag, 2004. 762 p.
 - ▷ TUCCI C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Coleção ABRH de Recursos Hídricos 4. Porto Alegre: UFRGS, ABRH, 2009. 943 p.

REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional de Águas. *Atlas Brasil: abastecimento de água*. Panorama Nacional/ Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape– Brasília: ANA: Engecorps/Cobrape, 2010. vol. 1. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Download.aspx>>. Acesso: abril 2012.
- _____. Agência Nacional de Águas. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2011*. Brasília: ANA, 2011. 112 p. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/download.aspx>>. Acesso: abril 2012.
- AGOSTINHO A. A.; GOMES L. C.; PELICICE F. M. *Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil*. Maringá: EDUEM, 2007. 501 p.
- ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; SAAD, A. R.; ALVARENGA, M. C. Considerações acerca dos impactos ambientais decorrentes da implantação de reservatórios hidrelétricos com ênfase nos efeitos ocorrentes em aquíferos livres e suas consequências. *Geociências*, v. 29, n. 3, p. 355-367, 2010.
- COLE, J. J.; PRAIRIE, Y. T. CARACO, N. F.; MCDOWELL, W. H.; TRANVIK, L. H.; STRIEGL, R. G.; DUARTE, C. M.; KORTELAJINEN, P.; DOWNING, J. A.; MIDDLEBURG, J. J.; MELACK, J. *Plumbing the global carbon cycle: Integrating inland waters into the terrestrial carbon budget*. *Ecosystems*, v. 10, p. 171-184, 2007.
- DE JORGE, F. N. Mecanismos dos escorregamentos em encostas marginais de reservatórios. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC-USP), 1984. 146 p.
- FAO *Water reports 23: review of world water resources by country*. Food and Agriculture Organization of The United Nations (FAO). Roma, 2003, 110 p. Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/wr23e.pdf>. Acesso: abril 2012.
- FEARNSIDE, P. M. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams in tropical forests. In: *The Encyclopedia of Energy*, Nova York: John Wiley & Sons Publishers, 2011. (in press). Disponível em: http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Preprints/2011/Fearnside-Greenhouse%20gas%20Emissions%20from%20Dams-Wiley.pdf. Acesso: abril 2012.

- FIORAVANTI, C. *Quando os homens fazem a terra tremer – Poços de água causam dezenas de tremores por dia no interior paulista*. Pesquisa Fapesp online, Edição Imprensa 170 – Abril 2010, Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/?art=4105&bd=1&pg=1&lg=>>>. Acesso: abril 2012.
- GALY-LACAU, C.; DELMAS, R.; KOUADIO, J.; RICHARD, S.; GOSSE, P. Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 13, n. 2, p. 503-517, 1999.
- JANBERG, N. *International database and gallery of structures. Version 5.1*. 2005. Disponível em: <<http://en.structurae.de>>. Acesso: abril 2012.
- KELLY, C. A.; RUDD, J. W. M.; St. LOUIS, V. L.; MOORE, T. Turning attention to reservoir surfaces, a neglected area in greenhouse studies. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, v. 75 n. 29, p. 332-334, 1994.
- KEMENES, A.; FORSBERG, B. R.; MELACK, J. M. Methane release below a tropical hydroelectric dam. *Geophysical Research Letters*, v. 34, art. L12809, doi:10.1029/2007GL029479. 55, 2007.
- LIMA, I. B. T.; STECH, J. L.; MAZZI, A. M.; RAMOS, F. M.; NOVO, E. M. L. M.; LORENZZETTI, J. A.; ROSA, R. R.; BARBOSA, C. C.; OMETTO, J. P.; ASSIREU, A. T. Linking telemetric climatic-limnologic data and online CH₄ and CO₂ flux dynamics. In: seminar on greenhouse fluxes from hydro reservoir and workshop on modeling greenhouse gas emissions from reservoir at watershed leVEL, 2005, Rio de Janeiro. Proceedings: Rio de Janeiro: Eletrobras, COPPE/UFRJ, 2005.
- MCCULLY, P. *Silenced Rivers: the ecology and politics of large dams*. Londres: Zed Books, 1996. 350 p.
- NOVOTNY, V. Urban diffuse pollution: sources and abatement. *Water Environment & Technology*, v.3, n. 12, p. 60-65, 1991.
- RUDD, J. W. M.; HARRIS, R.; KELLY, C. A.; HECKY, R. E. Are hydroelectric reservoir significant sources of greenhouse gases? *Ambio*, n. 22, p. 246-248, 1993.
- UNESCO *The United Nations World Water Development Report 3. Water in a changing world*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Unesco), Earthscan, Paris, 2009. 318 p. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001819/181993e.pdf>>. Acesso: abril 2012.
- UTSUMI, M.; NOJIRI, Y.; NAKAMURA, T.; NOZAWA, T.; OTSUKI, A.; TAKAMURA, N.; WATANABE, M.; SEKI, H. Dynamics of Dissolved Methane and Methane Oxidation in Dimict Lake Nojiri During Winter. *Limnology and Oceanography*, v. 43, n. 1, p. 10-17, 1998.
- VIANA, R. M. *Grandes barragens impactos e reparações: um estudo de caso sobre a Barragem de Itá*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2003. 191 p.
- WCD World Commission on Dams. *Dams and Development: a New Framework For Decision-Making, The Report of the World Commission on Dams*. Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, VA. 404 p., 2000. Disponível em: <http://www.unep.org/dams/WCD/report/WCD_DAMS%20report.pdf>. Acesso: abril 2012.