

RECURSOS HÍDRICOS: INTERDISCIPLINARIEDADE NO ENSINO DE ENGENHARIA

Sonia L. Rodrigues – slrodrig@sc.usp.br

Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada

Campus Universitário – São Carlos

13566-590 - São Carlos - SP

José G. Tundisi – iie@zaz.com.br

Instituto Internacional de Ecologia

Rua Bento Carlos, 750

13560-660 - São Carlos - SP

Resumo. Atualmente o mercado de trabalho está exigindo um profissional com visão mais ampla em diversos setores, além daquela específica relacionada com a área de atuação em engenharia. A necessidade premente de uma postura atuante, que corresponda tanto aos anseios de produtividade como também de economia e coerência no uso de recursos naturais vem tomando uma posição de grande relevância na formação acadêmica. Novas iniciativas são necessárias para a colaboração interdisciplinar e para a cooperação entre diferentes setores envolvidos na produção e uso do conhecimento científico, objetivando um direcionamento ao desenvolvimento sustentável. As represas existentes no Brasil constituem um acervo fundamental de infra-estrutura que pode ser utilizado para este ensino interdisciplinar. A construção, em escala acelerada, de reservatórios e as grandes dimensões assumidas por esses ecossistemas artificiais têm produzido inúmeras alterações nos sistemas hidrológico, atmosférico, biológico e social nas regiões em que são construídos e nas áreas atingidas pelos lagos artificiais. O conjunto de condições que produz tais alterações pode ocasionar eliminação de algumas espécies, inadequação do uso da água para abastecimento, deterioração da qualidade da água, escassez da água e diversas conseqüências de ordem sócio-econômica. A situação ecológica da represa resulta, por assim dizer, do produto líquido das entradas do sistema de origem, dos mecanismos de funcionamento da mesma e das atividades na bacia hidrográfica, cujo conhecimento integrado ao pertinente à engenharia pode contribuir sobremaneira para o manejo dos recursos hídricos possibilitando não somente o uso adequado dos mesmos, como também bases científicas para se obter alternativas diferenciadas de controle, gerenciamento, preservação e tratamento. O gerenciamento de represas prevê ações interdisciplinares e interação entre pesquisa básica e aplicação.

Palavras-chave: Interdisciplinariedade, Otimização de uso dos recursos naturais, Bacia hidrográfica

1. INTRODUÇÃO

Vivemos todos num mesmo planeta e somos parte da biosfera, o que permite o reconhecimento de que estamos numa situação de crescimento da interdependência e que nosso futuro está intrinsecamente ligado à preservação global e sobrevivência de todas as formas de vida.

A Engenharia tem uma grande contribuição neste aspecto, sendo necessário uma mudança não somente de visão, mas também no campo de atuação, que permita o oferecimento de recursos e tecnologias avançadas para o bem comum, mas com a preocupação na manutenção dos recursos naturais para as gerações vindouras.

O presente trabalho discute alguns aspectos sobre a questão da exploração dos recursos hídricos e seus múltiplos usos, que possibilite a aquisição de subsídios para reflexão sobre o atual Ensino de Engenharia em nosso país.

2. CENÁRIO BRASILEIRO

Segundo TUNDISI (1992), entre os impactos causados pela ação do homem sobre ecossistemas naturais destaca-se a construção, em ritmo e escala crescentes, de reservatórios artificiais de água. Pequenos açudes, usados há muito para a irrigação ou como reserva de água potável, foram substituídos por imensas represas, destinadas à produção de energia e a outros fins, como o transporte, a produção de biomassa e, eventualmente a recreação.

A rápida proliferação dos reservatórios e as grandes dimensões assumidas por esses ecossistemas artificiais têm produzido inúmeras alterações nos sistemas hidrológico, atmosférico e social nas regiões em que são construídos e nas áreas atingidas pelos lagos artificiais. Trata-se hoje, no Brasil, de questão de alcance nacional. Nossas primeiras grandes represas destinadas precipuamente a alimentar usinas hidrelétricas foram instaladas nas regiões Sul e Sudeste. Mais tarde, estenderam-se ao Nordeste e começam, nos últimos anos, a serem planejadas e construídas na Amazônia. A formação de grandes barragens nesta última região, dadas as suas peculiaridades, suscitou inúmeros problemas, cuja solução demanda rápido e intenso investimento em pesquisa ecológica.

As grandes barragens têm profunda interferência nos vários sistemas hidrográficos da bacia em que são introduzidas, e o novo ecossistema daí resultante constitui uma unidade complexa, cujo estudo é de grande valor teórico e prático. A utilização múltipla das grandes massas d'água acumuladas nos reservatórios depende de um manejo adequado, que só pode ser assegurado pelo conhecimento dos mecanismos e processos que têm lugar nas represas, envolvendo o meio ambiente interno e externo.

No Brasil, o estado de São Paulo se destaca pela amplitude da distribuição das represas, bem como a variedade de sua localização geográfica e o espaçamento de sua construção ao longo do tempo. As represas formam aí um conjunto que acumula significativa coletânea de informações sobre processos ambientais, econômicos e sociais. Sua caracterização, levando em conta essas características e seus aspectos, representa um avanço importante do ponto de vista conceitual: a evolução das represas está intimamente ligada às transformações sociais e econômicas ocorridas no estado.

A evolução tecnológica induziu grandes modificações nos usos das represas. Com a possibilidade de utilizar água acumulada na geração de energia (hidrelectricidade), sistemas cada vez maiores passaram a ser instalados e, evidentemente, o impacto dessas construções, como alterações causadas nas bacias hidrográficas, ampliou-se consideravelmente. Hoje, são comuns as represas que ocupam milhares de quilômetros quadrados, acumulando grande volume de água. Só no estado de São Paulo, calcula-se que 15.000 km² foram inundados por represas artificiais.

Para TUNISI & BARBOSA (1995), o ponto principal é que a água é um recurso finito e custos aumentando consideravelmente, como por exemplo a dessalinização, sendo um processo disponível em alguns grupos limitados de nações. Ainda, embora a água cubra 71% da superfície terrestre (WETZEL, 1975), 94% dela é água do mar não disponível para as necessidades humanas. Do restante, 6% da água doce, 27% está na forma de gelo, 72% em água subterrânea e os 1% restantes correspondem a lagos, rios, açude e atmosfera. Considerando o rápido crescimento populacional e a demanda de água para manter suas necessidades e também as conseqüências deste crescimento demográfico (VALLENTYNE, 1972) que resulta em crescimento de esgoto e degradação, a conclusão óbvia é que este recurso natural está limitado gerando a implantação necessária de medidas de conservação e restauração dos recursos de água disponíveis.

Ao considerar o aspecto sócio-econômico deve-se também levar em conta o fato de que o consumo no mundo dobrou entre 1940 e 1980 e dobrará outra vez em 2000! Além disso, dados da UNEP (United Environmental Programme - 1991/1992) cerca de 40% da população mundial (aproximadamente 80 nações) já sofrem de contenção de água.

No cenário brasileiro se tem uma situação relativamente boa já que possui os maiores recursos hídricos da América do Sul (cerca de 6950 km²) e um consumo modesto per capita de 212 m³/ano, cerca de 43% para uso doméstico, 17% industrial e os 4% restantes para uso agrícola (dados de 1990). Esses dados parecem corresponder a uma auto suficiência de água representada para os cidadãos brasileiros, mas a situação não é verdadeira considerando-se o resto do mundo onde 35% a 40% da população em bacias hidrográficas já tem registrado competição e conflito.

Outra razão inquestionável é o custo para tratamento da água para beber: para tratar 1000 m³ de uma fonte com boa qualidade de água custa US\$2,00, enquanto que para tratar a água degradada custa US\$8,00, uma diferença considerável que deve ser analisada com o rápido aumento da demanda de água.

Outra forte razão porque a conservação da água deve ser prioritária é o aumento de doenças transmissíveis pela água, especialmente nos trópicos, entre as quais a esquistossomose, a cólera e a malária são exemplos. Este aspecto já foi salientado por TUNDISI (1990) que chamou a atenção para a relação entre a expansão geográfica das doenças tropicais, a construção de reservatórios, a conseqüente migração humana e a deterioração da qualidade da água, principalmente devido a saúde. Existe outra razão fundamental para conservação: o custo da recuperação dos ecossistemas aquáticos são bem maiores que os custos de preservação e conservação. Assim, por razões econômicas, a conservação é fundamental. Outro problema básico é a manutenção da biodiversidade uma vez que a flora e a fauna dos ecossistemas aquáticos tem um papel fundamental na sustentabilidade e também pode ser usada extensiva e racionalmente como fonte alimentar. Em vários países a recreação em águas inexploradas é também um componente econômico importante. No Brasil, igualmente importante, a recreação em águas interiores, é em algumas regiões a única possibilidade devido o baixo custo e acessibilidade. Considerando todos estes aspectos, é evidente que os recursos hídricos são finitos e que toda ação em direção a utilização sustentável destes recursos tem que ser considerada seriamente a conservação dos ecossistemas aquáticos.

3. BRASIL: MAIORES IMPACTOS SOBRE OS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS

Infelizmente a maioria dos ecossistemas aquáticos no Brasil tem sofrido algum tipo de impacto devido as atividades humanas, poucas exceções são provavelmente alguns sistemas amazônicos remotos e alguns corpos d'água geralmente situados em lugares muito isolados, como por exemplo nascentes em regiões montanhosas (TUNDISI & BARBOSA, 1995).

Como ações humanas responsáveis por maiores impactos sobre os ecossistemas aquáticos, pode-se citar:

- Desmatamento
- Operações de mineração
- Construção de rodovias
- Descarga de resíduos
- Introdução de espécies exóticas
- Remoção de espécies chaves nos ecossistemas
- Construção de reservatórios
- Desenvolvimento Urbano
- Atividades agro-industriais
- Cultivo em áreas alagadas
- Pesca predatória
- Irrigação
- Aumento do uso de águas interiores para recreação
- Desenvolvimento de cursos d'água para navegação
- Construção de canais

E, como consequência de tais impactos:

- Eutrofização de lagos, reservatórios, estuários e águas costeiras
- Assoreamento
- Perda da diversidade biológica
- Mudanças no nível da água e ciclo hidrológico
- Perda da capacidade de recuperação
- Mudanças na estrutura da cadeia alimentar
- Expansão geográfica de doenças tropicais
- Deterioração da saúde humana
- Aumento da toxicidade
- Aumento dos custos do tratamento da água
- Mudanças sócio-econômicas nas regiões afetadas
- Deterioração devido a recreação
- Diminuição dos múltiplos usos dos ecossistemas aquáticos
- Salinização da água e solo

Considerando que o Brasil tem a mais ampla rede hidrográfica no mundo (cerca de 16% da água doce do planeta) e o fato de que 51% do sistema de abastecimento de água origina dos rios, dos quais 92% do esgoto é lançado sem tratamento (IBGE, 1989/1990), os sistemas de rios seriam considerados sistemas especiais de conservação para planejamento de programas de recuperação nos quais ações de manejo e conservação seriam considerados.

Especial atenção também deve ser dada aos reservatórios no Brasil, considerando o seu número e a importância regional. Embora seja considerada uma das realizações humanas mais importantes com consideráveis consequências sócio-econômicas, estes ecossistemas artificiais são fundamentais para o desenvolvimento do país uma vez que pode produzir não apenas energia como também ser usado para múltiplos propósitos, e ações especiais devem ser consideradas em termos de sua conservação e manejo como afirmou TUNDISI (1998).

4. LIMNOLOGIA: CONTRIBUIÇÃO À INTERDISCIPLINARIEDADE

A palavra **Limnologia** origina-se da palavra grega *limné*, que significa lago, e atualmente ela é usada num sentido mais amplo, para designar o estudo de todos os corpos d'água continentais sejam quais forem suas origens, dimensões ou grau de salinidade. São objetos de

estudo lagos, represas e rios relacionando-os com as ciências: botânica, zoologia, química, física, geologia, climatologia e outras.

Segundo ESTEVES et al. (1995), o grande número de ecossistemas de lagos e rios e a sua propagação da devastação vem reforçar a importância da Limnologia no país, que tem experimentado considerável progresso fornecendo informações úteis para resolução de problemas ambientais baseados na qualidade da água.

A Limnologia no Brasil está mudando de sua fase essencialmente descritiva para uma abordagem experimental. Algumas tentativas tem sido feitas direcionando estudos para resolução de problemas criados pelo uso inadequado dos ecossistemas aquáticos. (ESTEVES et al. 1995).

Ainda para os autores acima citados, estudos integrados visariam a formação de equipes interdisciplinares com uma visão holística. Considerando o grande número de ecossistemas aquáticos degradados e crescimento da necessidade de água, caracterização de impactos de rios, reservatórios e lagos seriam tópicos importantes. Estudos aplicados incluindo restauração desses ecossistemas através de propostas mitigadoras baseadas nas atividades sócio-econômicas (por exemplo mineração, agro-indústria, etc.) que devem ser elementos de pesquisa básica e aplicada. Tais estudos serão fundamentais na formação de grupos inter/transdisciplinar os quais contribuirão para solução de problemas ambientais comuns na sociedade moderna, garantindo assim seu crescimento de acordo com o desenvolvimento sustentável.

Diante de tais problemas que afetam não somente o Brasil mas todo o planeta, a definição de programas de conservação e manejo para os ecossistemas aquáticos e seus recursos potenciais é inevitável. A pesquisa limnológica vem oferecer subsídios para o estabelecimento das fases de tais programas para os quais investigações teóricas e práticas são necessárias, bem como o aumento na participação nos processos decisórios em instituições governamentais ou não.

5. PARADIGMA PARA CONSERVAÇÃO: "BACIA HIDROGRÁFICA"

O manejo e conservação dos ecossistemas aquáticos no Brasil é complexo devido a diferenças regionais nos sistemas ecológicos, diversidade de impactos e desequilíbrio ecológico, cuja definição clara dos objetivos de manejo com a estratégia regional é fundamental para superar tais dificuldades (TUNDISI & BARBOSA, 1995).

TUNDISI (1990) chamou a atenção do desafio em aplicar a teoria limnológica e ecológica básica de modo a fornecer o entendimento do processo dinâmico nos ecossistemas aquáticos. A introdução do conceito de bacia hidrográfica e as relações bacia hidrográfica/ambiente aquático delineia um papel fundamental. Assim, ao invés de se considerar lagos como ecossistemas isolados, o conceito de bacia hidrográfica e seus processos dinâmicos tornam um novo paradigma em Limnologia. Isto significa que não é suficiente fornecer medidas de conservação somente para o ambiente aquático em si mesmo, mas para a bacia hidrográfica como um todo (TUNDISI et al., 1988).

Para TUNDISI & BARBOSA (1995), esta visão ampliada de analisar a bacia hidrográfica como um todo, impões alguns novos problemas conceituais e uma necessidade de uma abordagem mais integrada considerando não apenas os aspectos biogeofísicos, mas também aqueles sócio-econômicos e o papel que eles assumem nas mudanças da qualidade da água ou na deterioração dos ecossistemas aquáticos. O que introduz novas escalas temporal/espacial as quais no caso do Brasil, são amplamente variáveis devido a grande variação de latitude. Também são introduzidos vários conceitos de atividade interdisciplinar: enquanto a Limnologia pode ainda assumir o papel crítico em conservação e recuperação dos ecossistemas aquáticos, abordagens em Engenharia Ecológica e Ecotecnologia são igualmente

fundamentais para uma mudança de visão na formação acadêmica do Engenheiro do Século XXI.

A associação de limnólogos e engenheiros produz também outra importante modificação no conceito de conservação: qualidade e quantidade de água estão firmemente associados com este conceito, no entanto programas de conservação atingem um novo e importante papel, uma vez que elas são fundamentais no planejamento do uso futuro das bacias hidrográficas.

O paradigma da bacia hidrográfica também impõe novos conceitos de treinamento de limnólogos, biólogos, físicos, químicos e engenheiros, o que torna premente a necessidade de elaborar sistemas de currículo e ensino muito mais orientado para resolução de problemas práticos para os quais a visão interdisciplinar e treinamento de trabalho de campo prático é de extrema importância.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, FAPESP e IIE pelo apoio financeiro e material para realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ESTEVES, F.; BARBOSA, F. A. R.; BICUDO, C. E. M. (1995). *Limnology in Brasil: Origin, Development and Perspectives*. Limnology in Brasil. Rio de Janeiro ABC/BL. 1-18p.

IBGE (1989/90).

TUNDISI, J. G. (1988). *Limnologia e Manejo de Represas*. Série: Monografias em Limnologia. Vol. I (Tomo 1 e 2) EESCUSP/ACIESP. 506 p. plus 431p.

TUNDISI, J. G. et al. (1988). *Comparações do estado trófico de 23 reservatórios do Estado de São Paulo: Eutrofização e manejo*. In: Tundisi, J. G. (Ed) *Limnologia e Manejo de Represas*. Série: Monografias em Limnologia), Vol. I, Tomo 1, 165-204 p.

TUNDISI, J. G. (1990) *Conservation and management of continental aquatic ecosystems in Brazil*. In *Lake Conservation and Management*, L. Hongliang, Z. Yutian & Haisbeng (eds.) *Proc 4th Internat. Conf. On the Conservation and Management of Lakes "Hangzhou 90"*. 572-584p.

TUNDISI, J. G. (1992). *Ambientes, Represas e Barragens*. Ciência Hoje - Volume Especial: Eco-Brasil. Bloch Editores S.A. 40 - 46p.

TUNDISI, J. G.; BARBOSA, F. A. R. (1995). *Conservation of Aquatic Ecosystems: Present Status and Perspectives*. Limnology in Brasil. Rio de Janeiro ABC/BL. 365-371 p.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME (1991/1992). *Environmental data report*. Oxford, 3rd. Edition, 407p.

VALLENTYNE, J. R. (1972). *Freshwater supplies and pollution: Effects of the demographic explosion on water and man*. In N. Polunin (ed.). *The environmental Future*. Macmillan Press Ltd., London. 181-211p.

WETZEL, R. G. (1995). *Limnology*. W. B. Saunders Co. Philadelphia