

Exploração do potencial hidrelétrico da Amazônia

JOSÉ GALIZIA TUNDISI

Introdução

As principais bacias hidrográficas do sul e do sudeste do Brasil foram reguladas pela construção de inúmeros reservatórios para a geração de hidreletricidade, o que se constituiu em um significativo impacto na qualidade e na quantidade das águas dos rios dessas bacias hidrográficas, mas ao mesmo tempo suportou o desenvolvimento econômico e o progresso da infra-estrutura, principalmente nessas regiões. Os impactos e os benefícios da construção de represas são bem conhecidos e detalhados em inúmeras análises, estudos de caso e pesquisas científicas nas áreas de Limnologia, Engenharia, Geologia e Geografia. Processos fundamentais foram descritos, mecanismos de funcionamento de represas e sua inserção nas bacias hidrográficas foram detalhados e quantificados e a evolução da organização espacial e temporal desses grandes ecossistemas aquáticos artificiais foi caracterizada (Tundisi et al., 2006a). Por sua vez, a tecnologia da geração de hidreletricidade e os sistemas de produção e gestão são bastante avançados, atendendo a 92% dos domicílios no Brasil quanto à energia elétrica (Kelman et al., 2006).

Em 2002, as usinas hidrelétricas do Brasil produziram em conjunto 313.811 GWh (88% do total) para atendimento do mercado nacional, e a geração térmica complementar foi de 35.037 GWh, 11,2% do total. A interligação dos sistemas é um dos avanços importantes na gestão da produção e distribuição da hidreletricidade do Brasil. A Figura 1 mostra a localização de usinas hidrelétricas do Brasil com capacidade superior a 30 MW. Verifica-se por essa figura a enorme e complexa rede de reservatórios das regiões Sul e Sudeste. Straskraba & Tundisi (1999), em um estudo detalhado de impactos negativos e benefícios da construção de reservatórios, mostraram que, apesar de restrições ambientais, resultantes do impacto causado nos ecossistemas terrestres e aquáticos e da modificação do ciclo hidrossocial e hidroeconômico, houve um conjunto de processos positivos e de revitalização econômica com acesso a energia, consolidação de hidrovias, recreação e turismo e irrigação, de tal forma que, ao longo do tempo, os impactos negativos foram minimizados pela expansão das economias regionais, uma nova organização do ciclo hidrossocial e hidroeconômico e adaptações da flora e fauna dos reservatórios a essas novas condições (Agostinho et al., 1994, 1999).

Os principais problemas decorrentes *após* a construção dos reservatórios referem-se à necessidade de uma gestão integrada dos usos múltiplos e à inte-

gração entre a operação do sistema/funcionamento limnológico/hidrológico, o controle dos impactos a partir da bacia hidrográfica, impactos esses produzidos pela própria expansão da economia regional e sua diversificação em razão da existência do reservatório (Straskraba et al., 1993; Tundisi, 1994).



Figura 1 – Distribuição das hidrelétricas principais no Brasil. Note-se o acúmulo no Sul e no Sudeste (Kelman et al., 2006).

A construção das represas de Curua-Una, Balbina, Samuel e Tucuruí na Amazônia resultou em grandes alterações ambientais a montante e a jusante, comprometendo os ecossistemas locais e regionais e gerando efeitos indiretos inclusive na saúde humana de difícil controle (Barrow, 1983; Garzon, 1984; Junk & Melo, 1987; Matsumura-Tundisi et al., 1991; Tundisi, 1999).

Os impactos da construção de hidrelétricas na Amazônia decorreram principalmente do efeito da decomposição de vegetação terrestre inundada, a grande área inundada, a deterioração da qualidade da água e a perda de serviços dos ecossistemas terrestres e aquáticos, incluindo a biodiversidade e a alteração dos processos (Tundisi et al., 2006a).

Um outro processo atualmente em estudo refere-se à emissão de gases de efeito estufa nos reservatórios do Sul e do Sudeste e em reservatórios da Amazônia (Abe et al., 2005 a, b, c, d; Tundisi, 2005). Segundo esses autores, além do acúmulo de matéria orgânica proveniente das bacias hidrográficas e da vegetação terrestre inundada, o tempo de retenção de cada reservatório tem um papel fundamental na emissão de gases, especialmente CH₄ e CO₂ (Matvienko & Tundisi, 1996). Esse problema também foi abordado por Fearnside (1995, 2002) e Rosa et al. (2002, 2003).

O conjunto de reservatórios hidrelétricos construídos no Brasil nos últimos cinquenta anos promoveu, portanto, uma extensa e profunda alteração nos mecanismos de funcionamento de rios, lagos, áreas alagadas, pântanos, principalmente no sul e no sudeste do Brasil, alterando também o ciclo hidrossocial e hidroeconômico. A Bacia do Rio Paraná e seus tributários da bacia superior, Tietê-Parapanema, e os formadores do Rio Paraná, Rio Grande e Paranaíba foram muito impactados por essa construção das grandes infra-estruturas hidrelétricas (Tundisi, 1993; Straskraba et al., 1993; Henry, 1999; Straskraba & Tundisi, 1999; Nogueira et al., 2006; Braga et al., 1998). As represas construídas na Amazônia apresentam problemas de outro porte e escalas espaciais e temporais muito diferentes dos sistemas hídricos do Sul e do Sudeste

Segundo Vörismarty et al. (1997), a construção extensa de reservatórios alterou o transporte de sedimentos pelos rios para os oceanos em grande escala, e, além disso, aumentou consideravelmente o tempo de retenção dos ecossistemas continentais, contribuindo para o aumento da eutrofização e contaminação, alterando as cadeias alimentares e produzindo uma diminuição do volume de água disponível pela sedimentação. Estudos em dez reservatórios na China mostraram que cerca de 40 km³ foram perdidos a uma taxa anual de 0,5 km³. Erosão das margens dos rios a jusante com degradação dos ambientes naturais e nichos espaciais é comum.

Mecanismos de funcionamento dos ecossistemas terrestres e aquáticos na Amazônia

O conhecimento científico dos processos ecológicos, da biodiversidade e da interação sistemas aquáticos/sistemas terrestres ampliou-se consideravelmen-

te nos últimos dez anos. O funcionamento da região amazônica foi sintetizado por Sioli (1984), e mais recentemente contribuições de Val et al. (1996), Ayres et al. (1999) e Junk (2005) consolidaram essa descrição das estruturas e funções dos organismos, ecossistemas e seus processos temporais e espaciais. Junk (1997, 2005) descreveu a ecologia do sistema de pulso nos grandes deltas internos da Amazônia Central. De acordo com esse autor, o sistema de pulso de inundação é a principal função de força nos grandes sistemas de vales de inundação e várzeas amazônicos. Essas funções de força promovem condições ambientais diversas, alterações periódicas nas comunidades vegetais e animais e múltiplas e intensivas alterações entre as fases aquáticas e terrestres com processos bióticos de produção de matéria orgânica e decomposição, deposição de sedimentos e com alta diversidade de espécies. Esse processo de pulsos que ocorre em outros ecossistemas de várzea em todos os continentes atinge seu máximo de escala justamente na região amazônica. A conectividade entre áreas alagadas, canais naturais, lagos, rios e pântanos apresenta um gradiente de interações diretas e indiretas de grande importância ecológica e econômica, com reflexos no ciclo hidrossocial (Figura 2).

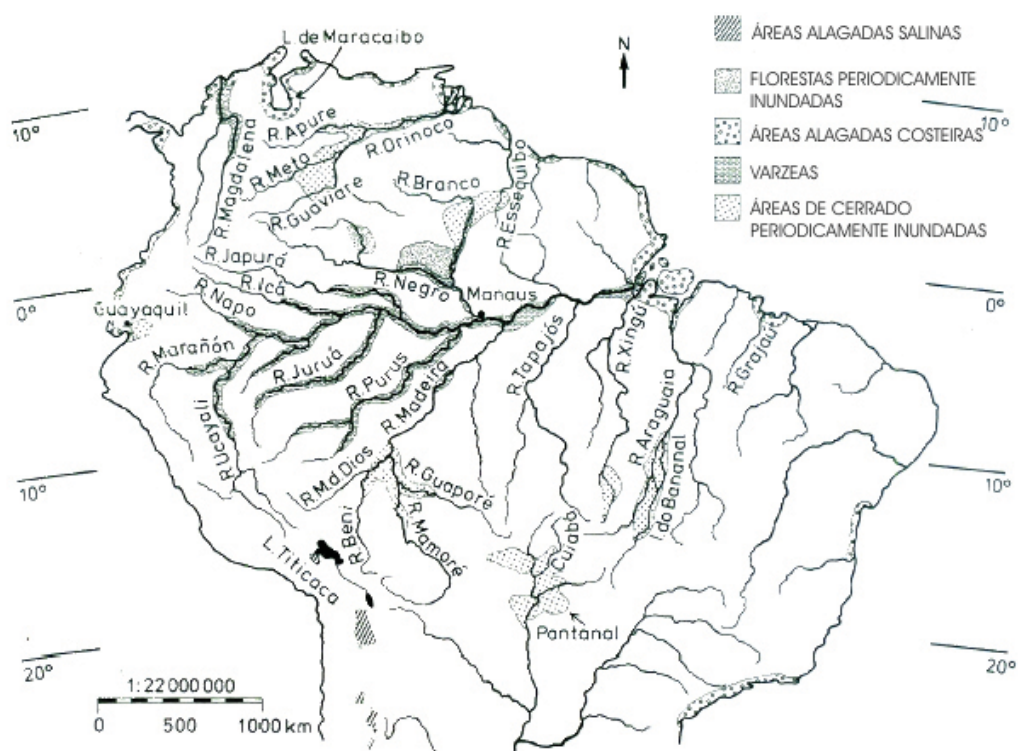


Figura 2 – Principais áreas alagadas na Amazônia em um gradiente de latitudes no Brasil (Junk, 1997).

Esses grandes deltas internos com sua variabilidade natural à biodiversidade aquática e as respostas aos pulsos de inundação e seca, em razão de sua dinâmica espacial-temporal e do fluxo gênico dos organismos terrestres e aquáticos, são,

segundo Margalef (1997), “centros ativos de evolução”, promovendo conectividade, alterando interações bióticas e promovendo também a biodiversidade animal e vegetal, de forma dinâmica. A conectividade biogeofísica dos sistemas e suas escalas de grande porte são também replicadas no ciclo hidrossocial e na exploração de várzea do Amazonas (Paddock et al., 1999; Sternberg, 1998; Roosevelt, 1999). Ciclos hidrossociais e hidroeconômicos nessas áreas de várzea de grande extensão e com mosaicos diferenciados são de grande importância na exploração humana das várzeas. Os diferentes tipos de várzea e o gradiente ecológico-social na Amazônia impulsionam, segundo Junk et al. (2000), quatro principais atividades econômicas na várzea: pesca, exploração florestal, aquíicultura e pecuária. Segundo Petrere (1992) e Barthem (1999), as pescarias artesanais na Amazônia empregam setenta mil pessoas, mantêm 250 mil pessoas e produzem entre cem e duzentos milhões de dólares por ano.

Conclusões

A construção de hidrelétricas na região amazônica, especialmente nos tributários do Rio Amazonas, demandará profundas alterações no ciclo hidrológico, na biodiversidade aquática, no ciclo hidrossocial e hidroeconômico da região, exigindo estudos interdisciplinares detalhados de alto nível para resolver os problemas desses impactos e minimizá-los. É necessário, contudo, um conjunto de estudos estratégicos, ecológicos e econômicos com a finalidade de promover uma visão de Estado de longo prazo na exploração hidroenergética na Amazônia. É necessário desenvolver estudos que possibilitem a escolha adequada dos rios a impactar e dos rios que serão preservados *vis-à-vis* os benefícios econômicos e sociais da exploração da hidroenergia e da preservação. Essas análises devem levar em conta que reservatórios são sistemas complexos, especialmente considerando sua interação com a bacia hidrográfica, os usos múltiplos e os mecanismos de funcionamento e operação nesses reservatórios (Tundisi et al., 1999; Tundisi, 2007), incluindo-se efeitos diretos e indiretos.

Quanto à construção de novas hidrelétricas no Brasil, a sua continuidade, seu dimensionamento, controle e gerenciamento vão depender das estratégias de longo prazo que deverão estabelecer um exame e uma ênfase, mais detalhados em processos dinâmicos e da matriz energética futura no Brasil. Os reservatórios existentes necessitam também de investimentos na tecnologia da restauração, recuperação e controle da poluição, contaminação e eutrofização, os quais já atingem inúmeros sistemas que se encontram em condições críticas (Tundisi et al., 2006 a, b). Também esses investimentos dependem de políticas públicas ambientais e estratégias de Estado de longo prazo com base científica e tecnológica para dar sustentabilidade aos empreendimentos já existentes.

Referências bibliográficas

ABE, D. S. et al. Sediment greenhouse gases (CH₄ and CO₂) in the Lobo-Broa Reservoir, São Paulo State, Brazil: Concentrations and diffuse emission fluxes for carbon

- budget considerations. *Lakes & Reservoirs Research and Management*, Carlton South. Victoria, v.10, p.201-9, 2005a.
- ABE, D. S. et al. Carbon gas cycling in the sediments of Serra da Mesa and Manso reservoirs, central Brazil. *Verhandlungen – Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, Stuttgart, v.29, p.567-72, 2005b.
- _____. Carbon gas emission from the sediments of reservoirs of different ages in central Brazil. In: SANTOS, M. A. dos; ROSA, L. P. (Org.) *Global Warming and Hydroelectric Reservoirs*. Rio de Janeiro: COPPOE/UFRJ, Eletrobrás, 2005c. v.1, p.101-7.
- _____. Impacts during the filling phase in reservoirs: case studies in Brazil. In: SANTOS, M. A. dos; ROSA, L. P. (Org.) *Global Warming and Hydroelectric Reservoirs*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, Eletrobrás, 2005d. v.1, p.109-16.
- AGOSTINHO A. A. et al. *Impacts of the Ichthyofauna on Biological Bases for its Management*. Environmental and Social Dimensions of Reservoir Development and Management in the La Plata River Basin. Nagoya, Japan: UNRCD, 1994. p.135-48.
- _____. Patterns of colonization in neotropical reservoirs and prognoses on aging. In: TUNDISI, J. G.; STRASKRABA, M. (Ed.) *Theoretical reservoir ecology and its applications*. BAS, IIE: Backhuys Publishers, 1999. p.227-65.
- AGOSTINHO, A. A.; GOMES L. C. *Reservatório de segredo*. Bases ecológicas para o Manejo. CPEL, UEM; Nupelia, Eduem, 1997. 387p.
- AYRES M. J. et al. Mamirauá: The conservation of biodiversity in an Amazonian Flooded Forest. In: PADOCK, C. et al. *Advances in Economic Botany*. The New York Botanical Garden Press, 1999. v.13, p.203-16. (Series editor C. M. Peters).
- BARROW, C. J. The environment consequences of water resource development in the tropics. In: BEE, doi Jun. (Ed.) *Natural Resource in Tropical Countries*. Singapore: Singapore University Press, 1983. p.439-76.
- BARTHEM, R. B. Várzea Fisheries in the Middle Rio Solimões. In: PADOCK, C. et al. *Várzea: Diversity, Development and Conservation of Amazonian's Whitewater Floodplains*. Advance in Economic Botany. New York: The New York Botanical Garden Press, 1999. v.B, p.7-27. (Series editor C. M. Peters).
- BRAGA, B. et al. Dams in the environment: the Brazilian experience. In: BRAGA, B. (Ed.) *Intern. Journ. Water Res. 14: 2: Development*. Special Water Management in Brazil, 1998.
- FEARNSIDE, P. M. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as Sources of “greenhouse” gases. *Environmental conservation*, v. 22, p.7-19, 1995.
- _____. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water Air Soil Pollut*, v.133, p.69-96, 2002.
- GARZON, C. *Water Quality in Hydroelectric Projects: Considerations for Planning in Tropical Forest Regions*. Technical paper 20. Washington DC: World Bank, 1984.
- HENRY, R. Heat budgets, thermal structure and dissolved oxygen in Brazilian reservoirs. In: TUNDISI, J. G.; STRASKRABA, M. *Theoretical reservoir ecology and its applications*. Rio de Janeiro: Brazilian Academy of Sciences; São Carlos: International Institute of Ecology; Backhuys Publishers, 1999.

- JUNK, W. J. (Ed.) *The Central Amazon Floodplain: Ecology of a Pulsing System*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1997. 520p.
- JUNK, W. J. Food pulsing and the linkages between terrestrial, aquatic, and wetland systems. In: Proceedings of the XXIX Congress Lahti Finland. 8-14 August, 2004. Edited for the Association by J. Jones. International Association of Theoretical and applied limnology. Stuttgart, Alemanha, 2005.
- JUNK, W. J.; MELLO, N. Impactos ecológicos das represas hidroelétricas na Bacia Amazônica brasileira. *Tumb. Geograph. Stud.*, v.95, p.375-87, 1987.
- JUNK, W. et al. The central amazon Floodplain: actual use and options for a sustainable management. s. l.: Backhuys Publishers, 2000. 584p.
- KELMAN, J. et al. Hidroeletricidade. Pp 507-541. In: REBOUÇAS, A. et al. *Águas doces no Brasil: capital, uso ecológico e conservação*. s. l.: Escrituras, 2006. 748p.
- MARGALEF R. Our biosphere. In: KINNE, O. (Ed.) *Excellence in Ecology*. Oldendorf Luke: Ecology Institute, 1997. 176p.
- NOGUEIRA, M. G. et al. Ecologia de reservatórios. Impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata. 2.ed. s. l.: Rima, 2006. 458p.
- MATSUMURA-TUNDISI, T. et al. Limnology of Samuel Reservoir (Brazil, Rondonia) in the filling phase. *Verh. Int. Verein. Limnol*, v.24, p.1428-87, 1991.
- MATVIENKO, B.; TUNDISI, J. G. Biogenic gases and decay of organic matter. Int. Workshop on Greenhouse Gas Emissions from Hydroelectric. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1996. p.1-6.
- PADOCK, C. et al. Varzea. Diversity, Development and Conservation of Amazonia's White Water Floodplains. *Advances in Economic Botany*. New York: The New York Botanical Garden Press, 1999. v.13, 407p. (Series editor Charles M. Peters).
- PETRERE, M. Jr. Pesca na Amazônia. In: Pará – Secretaria do Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Belém: Simdamazônia, Prodepa, 1992. p. 72-8.
- ROOSEVELT, A. C. Twelve thousand years of human environment interaction in the Amazon floodplain. In: PADOCK, C. et al. *Varzea. Diversity, Development and Conservation of Amazonia's White Water Floodplains. Advances in Economic Botany*. New York: The New York Botanical Garden Press, 1999. v.13, 407p. (Series editor Charles M. Peters).
- ROSA, L. P. et al. First brazilian inventory of anthropogenic greenhouse gas emissions. Background reports. Carbon dioxide and methane emissions from brazilian hydroelectric reservoirs. Brasília: Ministry of Science and Technology, 2002. 119p.
- _____. Biogenic gas production from major Amazonian reservoirs, Brazil. *Hydrological Processes*, v. 17, p.1443-50, 2003.
- SIOLI, H. The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. s. l.: Dr. W. Junk Publishers, 1984. 761p.
- STERNBERG, H. O. R. A água e o homem na Várzea do Careiro. 2.ed. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1998. 330p.
- STRASKRABA, M. et al. *Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. 293p.
- STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. *Reservoir Water Quality Management: Guidelines*

of Lake Management. Kusatsu, Japan: International Lake Environmental Committee, 1999. v.9, 227p.

TUNDISI, J. G. The environmental impact assessment of lakes and reservoirs. In: SALÁNSKI, J.; ITSVÁNOVICS, V. (Ed.) *Limnological bases of lake management*: proceedings of the ILEC/UNEP int. training course. Tihany, Hungary, 1993. p.38-50.

_____. Tropical South America: Present and perspectives. In: MARGALEF, R. (Ed.) *Limnology Now: A paradigm of Planetary Problems*. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.353-424.

_____. *Limnologia no século XXI: perspectivas e desafios*. Conferência de abertura. 7º Congresso Brasileiro de Limnologia. Instituto Internacional de Ecologia, 1999. 24p.

_____. Gerenciamento integrado de bacias hidrográficas e reservatórios – Estudos de caso e perspectivas. In: NOGUEIRA M. G.; HENRY, R.; JORCIN A. (Org.) *Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*. São Carlos: Rima, 2005.

_____. *Complexity and Exergy in Barra Bonita Reservoir*. São Paulo: Ecological Modelling (submitted), 2007.

_____. *Reservoirs as complex systems: new dimensions for technological applications*. 130p. (no prelo)

TUNDISI, J. G. et al. Theoretical basis for reservoir management. In: TUNDISI, J. G.; STRASKRABA, M. (Ed.) *Theoretical reservoir ecology and its applications*. s. l.: IIE, BAS, Backhuys Publishers, 1999. p.505-28.

TUNDISI, J. G. et al. *Eutrofização na América do Sul: causas, conseqüências e tecnologias para gerenciamento e controle*. s. l.: IIE, IIEGA, Eutrosul, 2006a. 532p.

_____. Reservatórios da Região Metropolitana de São Paulo: conseqüências e impactos da eutrofização e perspectivas para o gerenciamento e recuperação. In: _____. *Eutrofização na América do Sul: causas, conseqüências e tecnologias para gerenciamento e controle*. s. l.: IIE, IIEGA, Eutrosul, 2006b. p.161-82.

VAL, A. L. et al. *Physiology and biochemistry of the fishes of the Amazon*. Manaus: INPA, 1996. 402p.

VÖRÖSMARTY, C. J. et al. The storage and aging of continental runoff in large reservoir systems of the world. *Ambio*, v.26, p.210-9, 1997.

RESUMO – A continuidade da atual matriz energética brasileira implica uma expansão da exploração de hidroenergia na Amazônia, onde se encontram 52% do potencial hidroenergético. A conciliação da produção de hidretricidade com a preservação da região amazônica e da biodiversidade é um dos grandes desafios dos próximos trinta anos. A região amazônica, com seus inúmeros tributários, deltas internos, áreas de várzea e regiões alagadas é um dos centros ativos de evolução do planeta. O processo de construção e gestão de novos reservatórios e o planejamento estratégico na apropriação de recursos hídricos devem, sem dúvida, considerar essa conciliação da expansão hidroenergética com a conservação dos processos ecológicos, hidrossociais e hidroeconômicos na Amazônia. Uma integração mais decisiva da base de ciência e tecnologia com o planejamento e gestão é fundamental nesse contexto de exploração hidroenergética.

PALAVRAS-CHAVE: Amazônia, Hidrelétrica, Preservação.

ABSTRACT – The continuity of the current Brazilian energy sources implies an expansion of Amazonian hydropower exploitation, where 52% of the hydropower potential is. Conciliating hydroelectric power production and preservation of the Amazon region and biodiversity is one of the greatest challenges of the next 30 years. The Amazon region, with its innumerable tributaries, internal deltas, meadow areas and flooded regions, is one of the active centers of evolution of the planet. Construction and management processes of new reservoirs and the strategic planning in hydro resources appropriation must undoubtedly consider this conciliation of the hydropower expansion and conservation of ecological, hydrosocial and hydroeconomic processes in the Amazon. In this context of hydropower exploitation, a stable integration of planning and management into the scientific and technological bases is essential.

KEYWORDS: Amazon, Hydroelectric power plant, Preservation.

José Galizia Tundisi é presidente honorário e pesquisador do Instituto Internacional de Ecologia – São Carlos (SP). @ – jgt.iie@iie.com.br

Recebido em 14.2.2007 e aceito em 21.2.2007.