

# PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE VAZÕES AMBIENTAIS NO RIO IGUAÇU (PARANA, BRASIL) À JUSANTE DA BARRAGEM DE SALTO CAXIAS.

*João Luiz Bittencourt Guimarães<sup>1</sup> & Ana Tereza Bittencourt Guimarães<sup>2</sup>*

## RESUMO

O Rio Iguaçu é formado pelos rios Atuba e Iraí. Este rio, que desagua no Rio Paraná, produzindo as maiores quedas em volume de água do mundo, também é um *hotspot* de biodiversidade aquática. A instalação de um sequência de barragens neste rio, entre os anos de 1975 e 1998, gerou um grande impacto ao seu regime hidrológico, e, por consequência, aos seus ecossistemas aquáticos. Qualquer proposta de implantação de um regime de vazões ambientais deve levar em conta o regime hidrológico anterior as modificações promovidas. Realizando uma avaliação temporal dos dados de vazão do trecho do rio Iguaçu em Salto Caxias, verificou-se que tanto o período de construção das usinas (1976-1997) como o período posterior (1998-2011) são marcados por um regime de vazões 32% mais altas em relação ao regime natural. Após a identificação do regime hidrológico natural do rio Iguaçu, foi elaborada uma proposta para a implementação de um regime de vazões ambientais que beneficiaria os últimos 200 quilômetros deste rio: a criação de um novo reservatório imediatamente a jusante de Salto Caxias, que poderia regular as vazões liberadas por suas turbinas, e assim simular de forma efetiva as antigas vazões naturais para este trecho do rio.

Palavras-chave Vazões Ambientais, Rio Iguaçu

## REESTABLISHING ENVIRONMENTAL FLOWS FOR IGUAÇU RIVER (PARANÁ, BRAZIL) DOWNSTREAM SALTO CAXIAS DAM.

## ABSTRACT

The Iguacu River is formed by the rivers Atuba and Iraí. This river, which flows into the Rio Parana, producing the biggest waterfalls in volume in the world, is also a hotspot of aquatic biodiversity. The installation of cascading dams on this river, between the years 1975 and 1998, generated a great impact to its hydrological regime, and therefore its aquatic ecosystems. Any proposed environmental flows implementation must take into account the hydrological regime before the promoted modifications. Performing an assessment of temporal series of the stretch of the Iguacu River in Salto Caxias, it was found that both the period of reservoirs filling (1976-1997) as the later period (1998-2011) are marked by a flow regime 32 % higher if compared to the natural regime. After identifying the natural hydrological regime of the Iguaçu River, it was drafted a proposal for the implementation of an environmental flow regime that would benefit the last 200 km of the river: the creation of a new reservoir immediately downstream of Salto Caxias, which could regulate flows released by the turbines, and thus effectively simulate the former natural flow for this river stretch.

Keywords: Environmental Flows, Iguaçu River

---

<sup>1</sup> The Nature Conservancy Brazil – Programa de Conservação da Mata Atlântica e Savanas Centrais [jguimaraes@tnc.org/joao\\_dao@hotmail.com](mailto:jguimaraes@tnc.org/joao_dao@hotmail.com).

<sup>2</sup> PG em Aquicultura e Desenvolvimento Sustentável – Universidade Federal do Paraná, Campus Palotina. [anat@brturbo.com.br](mailto:anat@brturbo.com.br)

## 1. INTRODUÇÃO

A quantidade de água necessária para garantir a sustentabilidade ecológica de um rio é variável no tempo, sendo que os critérios para o estabelecimento de vazões ambientais devem incluir todos os períodos do regime hidrológico anual. Contudo, os critérios tradicionalmente usados para definir as vazões ambientais no Brasil enfocam apenas os limites mínimos de vazões naturais dos rios. A qualidade ambiental de um rio e dos ecossistemas associados é fortemente dependente do regime hidrológico completo, incluindo a magnitude de vazões mínimas, a magnitude das vazões de pico, a duração das secas, o tempo de ocorrência de inundações, a frequência de inundações, a período de ocorrência de inundações e secas, entre outros. Portanto, não é suficiente definir apenas uma vazão mínima para manter as condições ecológicas à jusante de uma represa. Em alguns casos, mesmo que a vazão a jusante seja mantida acima da taxa de vazão definida como “vazão mínima”, danos ambientais poderiam ocorrer da mesma forma (Collischonn *et al.*, 2005). O presente estudo demonstra alguns impactos ambientais mencionados na literatura relacionados às barragens construídas ao longo do rio Iguaçu, em especial a barragem de Salto Caxias, e também apresenta uma análise das séries temporais de vazão do rio Iguaçu no ponto onde está localizada esta barragem, assim como indica uma alternativa para a regularização de vazões naturais neste trecho, que não afetaria a produção de energia da respectiva usina hidroelétrica.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo

O rio Iguaçu é formado pelos rios Atuba e Iraí, no município de Curitiba, capital do Estado do Paraná, sul do Brasil. Esses rios nascem alguns quilômetros acima, na vertente oeste da Serra do Mar. O Rio Iguaçu cruza o Paraná de leste a oeste em 1.320 km, até encontrar o Rio Paraná, produzindo as maiores quedas em volume de água do mundo, as Cataratas do Iguaçu. Este rio drena uma área total de 70.800 km<sup>2</sup>, no Paraná (80,4%), Santa Catarina (16,5%) e Argentina (3%).

No terço médio do Rio Iguaçu encontra-se a primeira barragem construída em seu curso (UHE Foz do Areia). Nos 350 quilômetros seguintes sucedem-se as demais barragens de operação em cascata: Salto Segredo, Salto Segredo, Salto Santiago e Salto Caxias (Figura 1). Estas barragens alteraram significativamente o regime histórico de vazão do Rio Iguaçu, e os ecossistemas aquáticos a ele associados (Daga, 2010; Sereia, 2012; Silva, 2010). Este estudo concentrou-se no trecho a jusante da represa de Salto Caxias, o último lago artificial em cascata no rio Iguaçu. Este trecho de rio corta a porção mais preservada da bacia hidrográfica do Rio Iguaçu, visto que a 30 km a jusante da barragem de Salto Caxias inicia-se o Parque Nacional do Iguaçu, que protege uma área natural de 1800 km<sup>2</sup>, o maior remanescente de Floresta Estacional Semidecidual do Brasil.

A barragem de Salto Caxias foi construída entre 1995 e 1998. O lago foi finalizado no final de 1998, tendo inundado permanentemente uma área de 141 km<sup>2</sup>, sendo que o reservatório tem padrão dendrítico. O volume total do reservatório é de cerca de 3,6 bilhões de m<sup>3</sup>, e seu eixo principal tem cerca de 96 km de comprimento. A profundidade máxima do reservatório é de 62 m e a profundidade média é de 25 m. A usina hidrelétrica gerenciada pela Companhia Paranaense de Energia - COPEL, começou a produzir energia no início de 1999, e é capaz de gerar 1.240 MW, valor equivalente ao consumo das duas maiores cidades do Paraná (COPEL, 2013). Nas regiões inundadas pelo reservatório, a área afetada era coberta em sua maioria por pastagens (54,4%) e agricultura (27,8%), com uma pequena quantidade floresta (12%), que se concentrava ao longo do rio Guarani, um afluente na margem direita do reservatório (Ribeiro *et al.* 2005).

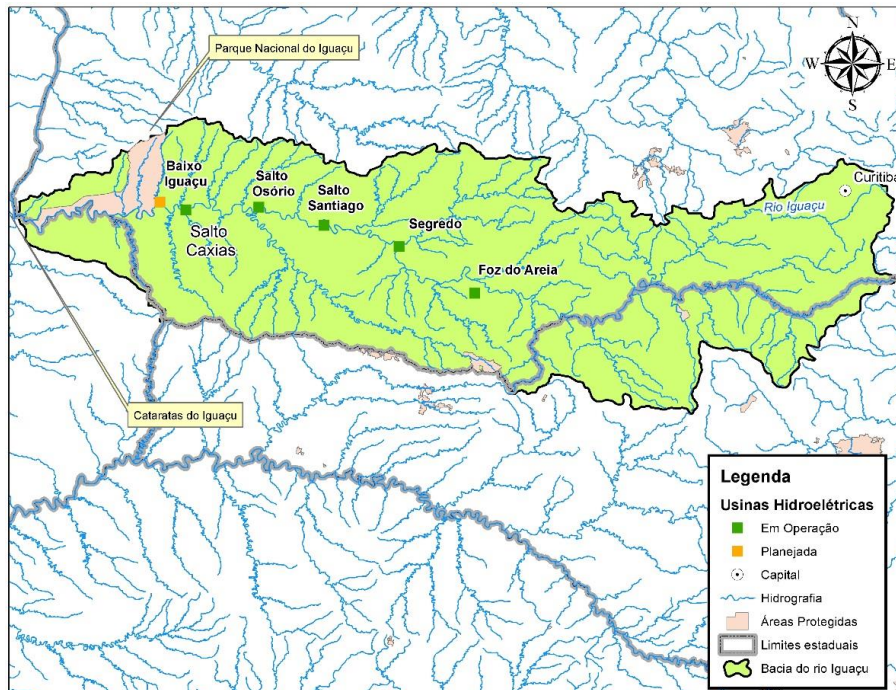


Figura 1- Bacia do Rio Iguaçu, mostrando a localização das barragens em cascata

## 2.2 Revisão de literatura dos impactos sobre a Qualidade da Água e sobre a Ictiofauna pela formação do reservatório de Salto Caxias

### 2.2.1 Qualidade da Água

Em relação aos impactos gerados sobre a qualidade de água, a formação do reservatório de Salto Caxias resultou em mudanças relativamente rápidas de variáveis bióticas e abióticas, especialmente o aumento de fósforo total, nitrogênio total e amoniacal, redução de oxigênio dissolvido e uma tendência de aumento da biomassa de fitoplâncton, o que caracterizou uma instabilidade limnológica durante a fase de pós-enchimento (Ribeiro *et al.* 2005). Houve registros elevados de fósforo e nitrogênio na maioria das estações de amostragem durante o período de fevereiro/1999 a março/2001, possivelmente ocorridos em função das grandes quantidades de nutrientes liberados pelo processo contínuo de decomposição, o que acontece dentro de reservatórios durante os primeiros anos de sua formação.

Após a formação do reservatório de Salto Caxias, o ambiente aquático em estudo passou de oligotrófico a uma condição mesotrófica. Durante o segundo ano após o represamento foi observada uma significativa instabilidade limnológica, embora tenha havido uma recuperação gradual dos níveis de oxigenação da superfície. Von Sperling (1994) menciona que reservatórios com uma alta relação entre área da bacia de drenagem e a área total do lago, como é o caso de Salto Caxias, recebem uma influência significativa das entradas de nutrientes. No contorno do reservatório de Salto Caxias, as fontes potenciais de cargas orgânicas são esgotos domésticos, depositados em fossas rudimentares ou descarregados diretamente nos afluentes do reservatório, sem tratamento. Além disso, ocorre a ocupação expressiva do solo com a agricultura e a pecuária, além da significativa criação de suínos e aves. Em relação ao processo de eutrofização observado, possivelmente este foi favorecido pelas características dendríticas do reservatório, uma vez que há uma tendência a acumular nutrientes e matéria orgânica em seus braços. Ribeiro *et al.* (2005)

apontam que o controle de poluição sobre a água do reservatório é essencial, por meio de medidas que promovam a utilização e ocupação adequadas do solo na região, bem como a identificação, quantificação e controle das cargas de nitrogênio e de fósforo do reservatório.

### **2.2.2 Impactos sobre a Ictiofauna**

O Rio Iguaçu tem grande diversidade de espécies de peixes e uma taxa de endemismo de 80% em seu segundo terço. A maioria das espécies é de pequeno porte, sendo que a maioria delas precisa de extensos trechos de rio sem barragens para manter a dinâmica de suas populações. Em função da formação dos reservatórios em cascata no rio Iguaçu, estas espécies têm sofrido forte ação sobre suas populações (Sereia, 2012). Para ilustrar os efeitos do sistema de reservatórios em cascata, podemos citar as conclusões de Silva (2010), que, depois de estudar a biologia reprodutiva de *Pimelodus britskii*, concluiu que esta espécie foi afetada em sua capacidade reprodutiva a jusante do reservatório de Salto Santiago, onde foi detectada a diminuição das atividades reprodutivas da espécie.

O comportamento alimentar de diversos peixes mudou após o enchimento do reservatório de Salto Caxias (Novakowski *et al.*, 2007). Muitas espécies consumidas antes da formação do reservatório não foram encontradas no conteúdo estomacal dos peixes após o enchimento. Os insetos que eram um componente importante das práticas alimentares antes do enchimento, praticamente desapareceram da dieta de algumas espécies. Outras espécies, que costumavam consumir moluscos e caranguejos, após o represamento mudaram seus hábitos alimentares para uma dieta baseada apenas em caranguejo, devido à escassez de moluscos ocasionada pela mudança de habitat e pouca adaptabilidade destes invertebrados. Neste contexto, pode-se concluir que em ambientes recém represados, o consumo de certos tipos de alimentos reflete as mudanças na abundância, disponibilidade e vulnerabilidade das presas.

### **2.3 Análise das Alterações Hidrológicas**

Para a análise de dados hidrológicos de vazão, foi obtida uma série histórica das taxas de vazão para o Rio Iguaçu na região de Salto Caxias para o período entre 1931 e 2011 (ONS, 2013), constando dados de vazão mensal para todo o período citado e dados de vazão diária do período 1957 a 2011. Por ser uma série histórica de grande duração, reflete de forma satisfatória o regime hidrológico natural neste trecho do Rio Iguaçu antes do processo de represamento, bem como as alterações hidrológicas resultantes do enchimento do lago.

Em seguida, foi realizada a definição de regime das vazões diárias naturais para um ano hidrológico típico, antes e depois do enchimento da barragem Salto Caxias. Para tal, foi analisado o registro hidrológico do Rio Iguaçu para as vazões naturais de Salto Caxias (ONS, 2013), com dados de vazões diárias entre 1957 e 1975 (antes da construção da primeira barragem no rio Iguaçu, Salto Osório), assim como do período posterior a 1975, quando o complexo de barragens começou a ser implantado, alterando assim as características do regime hidrológico do rio Iguaçu. Desta forma, foi possível caracterizar a vazão média diária para os dois períodos e avaliar as principais características das vazões naturais do rio Iguaçu em Salto Caxias, antes e depois do processo de represamentos deste rio.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Este trabalho objetivou apresentar uma proposta de regulação de vazões ambientais a jusante da barragem de Salto Caxias. Para tal, foi necessário realizar a caracterização do regime de vazão

natural do rio no presente trecho, bem como a identificação de alterações hidrológicas ao longo dos processos de represamento.

### 3.1 Análise de séries históricas de vazões mensais e diárias

Verificou-se que a série mensal média de vazão no período que antecede os represamentos no Rio Iguaçu (1931 -1975) indica uma vazão média bem distribuída durante o ano hidrológico, com um valor médio de 1.179 m<sup>3</sup>/s. Vazões mais elevadas foram observadas no período entre início do inverno (junho) e meados da primavera (outubro), contudo a vazão média mensal não ultrapassava o limite de 1.700 m<sup>3</sup>/s (Figura 2A).

No período em que houve a construção de quatro barragens e o enchimento de seus reservatórios (1976-1997), esta estação fluviométrica registrou um regime de vazão totalmente diferente do regime natural (período de 1931-1975). Para as médias mensais dos meses de maio, junho e julho, a vazão média aumentou em 70%, 47% e 63% respectivamente, em relação às médias dos mesmos meses no período de “vazões naturais”, ou seja, de 1931 a 1975. Este período hidrológico pode ser considerado o que sofreu maior alteração nesta fase de construção de barragens e enchimento de reservatórios, sendo que a média de elevação das vazões foi da ordem de 32,2% para o ano completo. O período de 1998-2011, após a formação do lago de Salto Caxias, é marcado por um regime de vazão também alterado em relação ao regime natural (1931-1975). Os volumes de vazão são sistematicamente maiores do que os valores do regime natural, apresentando um incremento médio para os doze meses do ano de 32,6%. Em abril, maio e outubro, os volumes são pelo menos 50% maiores em relação às vazões médias de regime natural para os mesmos meses (Figura 2A).

Após a definição dos regimes de vazão diárias naturais para um ano hidrológico típico, verificou-se que antes da construção da primeira barragem no rio Iguaçu (Salto Osorio) o principal período de alta das vazões ocorria entre agosto e outubro, com um período de aumentos de vazão um pouco menores entre abril e junho. Vazões menores se concentravam no período de dezembro a maio. A avaliação do regime de vazões diárias depois da construção da barragem e o enchimento do reservatório de Salto Caxias (1999-2011) indicou uma tendência de aumento das vazões em 216 dias do ano hidrológico, em comparação com o período de 1957-1975. As vazões foram, em média, 29,7% superiores às vazões naturais observadas antes da implantação das barragens no rio Iguaçu. Nos outros 150 dias do ano hidrológico, as médias das novas vazões diárias foram inferiores às respectivas vazões naturais, com uma diferença negativa de 16,1% (Figura 2B).

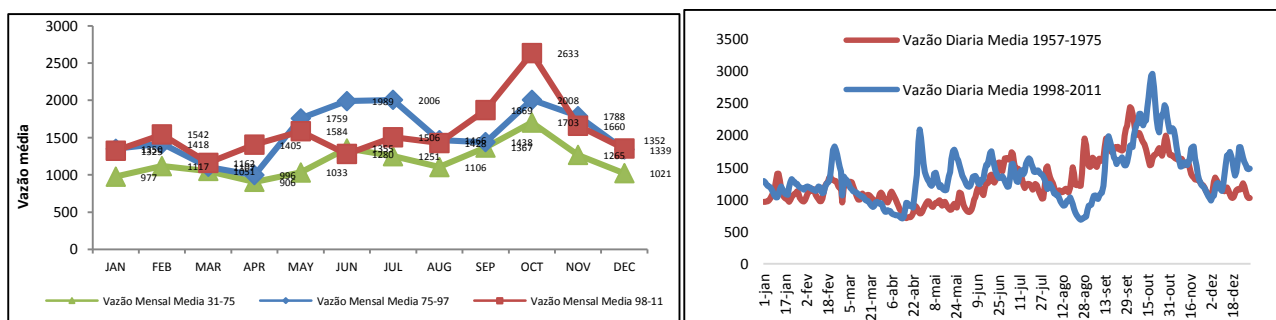


Figura 2 – A) Comparação gráfica entre medias mensais de vazão em três períodos de estudo. B) Comparação gráfica entre as médias de vazão diárias em dois períodos de estudo (1957-1975 e 1998-2011).

### 3.2 Proposta de regulação de vazões a jusante da barragem de Salto Caxias

O registro da vazão média diária natural (pré-reservatórios) foi a principal referência para um sistema hipotético de regulação das vazões a jusante da barragem de Salto Caxias. O intuito da avaliação de alternativas foi encontrar alguma forma de intervenção que possibilitasse a simulação do regime hidrológico natural do rio Iguaçu, sem alterar significativamente a geração de energia pelas turbinas da barragem de Salto Caxias.

O presente estudo propõe que uma barragem implementada imediatamente a jusante da usina hidrelétrica de Salto Caxias pode ser uma forma eficaz para regular as vazões liberadas pelas suas turbinas, permitindo o controle do regime de vazão a jusante. Barragens com esta função são denominadas como “barragens de re-regulação” por Richter & Thomas (2007). O principal objetivo deste tipo de estrutura de barramento é possibilitar a formação de um novo lago imediatamente a jusante do reservatório de Salto Caxias, onde as águas liberadas pela respectiva barragem seriam retidas temporariamente, e o fluxo a ser liberado a jusante seguiria uma prescrição do “hidrograma ecológico” (Collischon et al., 2005), que nada mais é que a representação de um ano hidrológico típico.

Com o controle promovido pela barragem de “re-regulação”, um novo regime hidrológico seria implantado, e assim seria possível se aproximar das condições históricas naturais dos trechos à jusante da usina e simular o comportamento hidrológico pré-represamento. A vantagem desta abordagem é que a operação da instalação hidráulica não seria afetada, e o montante de energia gerada pela UHE Salto Caxias poderia ser mantido. Outra vantagem é que a barragem de “re-regulação” poderia ser equipada com turbinas que podem gerar energia elétrica adicional à barragem principal e assim, gerar receitas que compensam os investimentos de construção da nova barragem (Richter & Thomas, 2007). Outro benefício, sob ponto de vista de recuperação dos ecossistemas aquáticos, é a possibilidade de usar o novo lago como um habitat protegido para espécies nativas de peixes, anfíbios, crustáceos, invertebrados, que poderia fazer parte de um programa de reintrodução de espécies ameaçadas, como aqueles que a empresa COPEL promove na região.

Neste estudo, o volume do hipotético reservatório re-regulador foi dimensionado, tendo em vista a necessidade de que este reservatório possa armazenar um volume de taxa de vazão elevado, de cerca 2300 m<sup>3</sup>/s, por 4 dias, sendo que a vazão média atual a jusante de Salto Caxias é de cerca de 1.500 m<sup>3</sup>/s. Por meio do cálculo da diferença de volume entre a superfície atual e uma superfície de água com cota de 300 m de altitude, o volume do lago hipotético foi estimado em 804 milhões m<sup>3</sup> e a área inundada seria de 38,5 km<sup>2</sup> (Figura 4). Por ser um reservatório com finalidade específica de ajustar as vazões liberadas pelas turbinas de Salto Caxias, o volume do novo reservatório pode ser bem inferior aquele do reservatório de Salto Caxias, já que o tempo de residência das águas neste reservatório de re-regulação seria relativamente curto. Nesta hipótese, apesar de haver uma área impactada pelo novo lago, o uso predominante de terra a ser inundada é de áreas de atividades agrícolas e de pastagem, ocupando cerca de 82% da superfície a ser inundada, seguido de corpos de água (17%) e uma fração pequena de florestas naturais (1%). Assim, o impacto ambiental sobre o ecossistema natural, bem como o deslocamento da população humana seria mínimo. O alto valor de vazão necessário nesta hipótese foi definido em função do maior valor diário observado para o período de 1956-1975, que representa as condições de vazão natural. Para garantir um regime de vazão que simularia as condições naturais, o sistema de liberação de água da nova barragem deveria ser operado em função de um “hidrograma ecológico”.



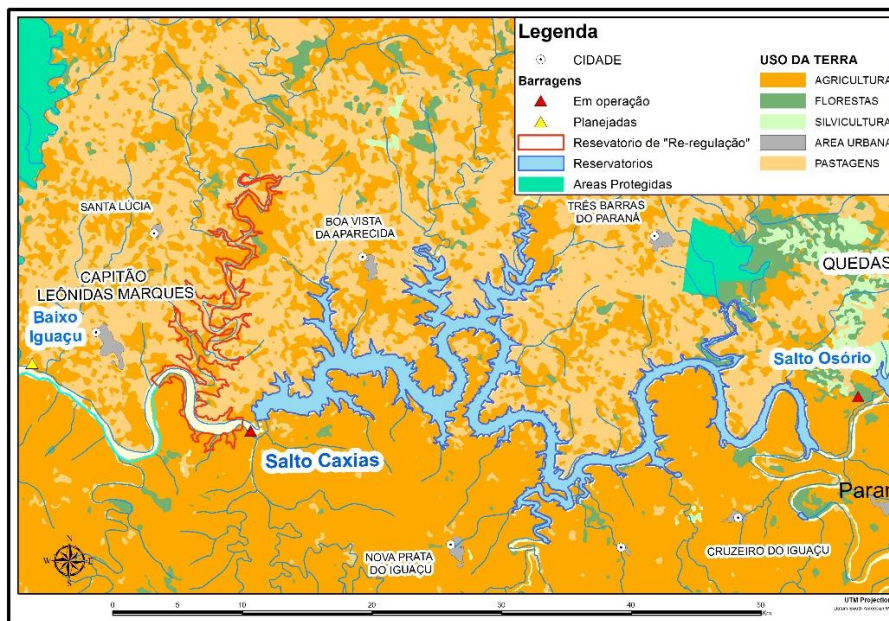


Figura 4 – Mapa de uso da terra na região de Salto Caxias, ilustrando a proposta do reservatório de re-regulação.

#### 4. Conclusões

O rio Iguazu é considerado um *hotspot* da biodiversidade de água doce global. Contudo, vem sofrendo alterações hidrológicas graves devido à implementação sequencial de barragens em cascata desde 1975. Barragens alteram significativamente a dinâmica da vazão de água, bem como a quantidade e a qualidade dos habitats nos rios, assim como os processos de produção primária e, conseqüentemente, afetam a estrutura das comunidades naturais dos ecossistemas aquáticos. Em sistemas de barragens em cascata, como e o caso do rio Iguazu, os efeitos tornam-se cumulativos, e, geralmente, promove a retenção de nutrientes nos reservatórios, fazendo com que aumente o processo de oligotrofização ao longo do sistema fluvial. Desta forma, os trechos à jusante da barragem de Salto Caxias apresentam uma restrição de nutrientes, o que torna impossível a sobrevivência de várias espécies dependentes dos mesmos.

As alterações na cadeia de nutrientes causadas por reservatórios em sequência são mais difíceis de serem mitigadas quando comparadas às alterações hidrológicas. Estas podem ser reduzidas por meio de sistemas de liberação da vazão de barragens criadas especificamente para este fim, podendo se retornar a um regime de vazão à jusante semelhante às variações naturais deste sistema fluvial.

Por meio da análise da série temporal de vazões do rio Iguazu no trecho onde hoje se encontra a barragem de Salto Caxias, foi possível estimar os ajustes necessários na vazão atual liberada pela barragem. Estes ajustes permitiriam restabelecer um regime hidrológico semelhante às características primitivas do rio Iguazu na região de Salto Caxias. A sugestão proposta no presente artigo como alternativa para a implantação da vazão ambiental para os últimos 200 quilômetros do Rio Iguazu, a jusante do Salto Caxias foi a criação de um novo reservatório imediatamente a jusante de Salto Caxias, o qual poderia contar com um sistema de regularização de suas vazões defluentes, a fim de simular as antigas vazões naturais para este trecho do rio.

A possibilidade da implantação da presente proposta depende fortemente de uma intervenção decisiva do órgão regulador da operação das usinas hidrelétricas no Brasil (ONS), bem como de órgãos de defesa do meio ambiente, a fim de se fazer cumprir a adoção de um novo paradigma por

empresas de energia. Sendo assim, uma política de vazões ambientais pode ser uma das soluções possíveis para a mitigação do impacto nestes ecossistemas aquáticos causada pela construção de barragens.

## Referências

- AGOSTINHO, A. A. et al. (2002) **Reservatório de Salto Caxias: bases ecológicas para o manejo.**: UEM, Maringá-PR, 272 p.
- COLLISCHONN, W. ; AGRA, S.G.; de FREITAS, G.K.; PRIANTE, G.; TASSI, R. e SOUZA, C.F. (2005). “*Em busca do Hidrograma Ecológico*” in Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, Nov. 2005
- COPEL (2013) **Usina Hidrelétrica Gov. José Richa – Salto Caxias.** Companhia Paranaense de Energia (COPEL). Website [http://www.copel.com/hpcopel/hotsite\\_caxias/](http://www.copel.com/hpcopel/hotsite_caxias/) acessado em 15/02/2013
- DAGA, V.S. (2010) **Variações espaciais e temporais na abundância das espécies introduzidas em um ‘hotspot’ de biodiversidade global, Rio Iguazu, Paraná, Brasil: impactos sobre a ictiofauna nativa.** Dissertação de Mestrado, Universidade do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Toledo-PR
- NOVAKOWSKI, G. C; HAHN, N. S.; FUGI, R. (2007) **Alimentação de peixes piscívoros antes e após a formação do reservatório de Salto Caxias, Paraná, Brasil.** *Biota Neotrop.*, vol.7, n.2.
- NOS (2013) **Avaliação de Curto Prazo da Operação – Séries Históricas de Vazões.** Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) Website [http://www.ons.com.br/operacao/vazoes\\_naturais.aspx](http://www.ons.com.br/operacao/vazoes_naturais.aspx) acessado em 17/02/2013
- PARANA (2013), **Bacias Hidrográficas do Paraná.** Governo do Estado do Paraná e Secretaria Estadual de Meio Ambiente, Paraná, 140 p.
- RIBEIRO, L.H.L.; BRANDIMARTE A.L. ; KISHI, R.T. (2005) **Formation of the Salto Caxias Reservoir (PR) – an approach on the eutrophication process.** *Acta Limnol. Bras.*, 17(2):155-165
- RICHTER, B. D., THOMAS, G. A. (2007). **Restoring environmental flows by modifying dam operations.** *Ecology and Society* 12(1): 12.
- SEREIA, D.A.O. (2012) **Efeitos dos represamentos em cascata e regime de operação sobre a dinâmica dos espectros de tamanho de peixes neotropicais.** Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Maringá – PR.
- SILVA, P.R. (2010) **Efeitos de reservatórios em cascata sobre a biologia produtiva de um piscívoro neotropical.** Dissertação de Mestrado, Universidade do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Toledo-PR, 2010
- VON SPERLING, M. **Previsão das características horárias quantitativas e qualitativas do afluente a uma estação de tratamento de esgotos.** In *Revista Brasileira de Engenharia.* v. 11, n.1, p. 67-79, 1994.