



# ADAPTAÇÃO DO ÍNDICE DE INTEGRIDADE BIÓTICA AO SISTEMA RIO PARAÍBA DO SUL - RESERVATÓRIO DA UHE DO FUNIL

Terra, B. F.<sup>1</sup>

Santos, A. B. I.<sup>2</sup>; Araujo, F. G.<sup>3</sup>

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Laboratório de Ecologia de Peixes, BR 465, km 7, Seropédica, 23890 - 000, Rio de Janeiro, Brasil. 1 - Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, biancaferreira@ufrj.br; 2 - Graduando do curso de Ciências Biológicas 3 - Professor adjunto do Departamento de Biologia Animal - Laboratório de Ecologia de Peixes.

## INTRODUÇÃO

Em ambientes aquáticos, o monitoramento biológico tem sido utilizado como uma ferramenta eficaz de avaliação da qualidade ambiental em função da crescente preocupação com os efeitos das alterações antrópicas. Essa ferramenta fornece uma resposta ampla da condição do ambiente em comparação aos métodos tradicionais (físico - químicos e bioquímicos) que oferecem resultados parciais e pontuais, não avaliando o reflexo das alterações na biota nem a capacidade de recuperação do ecossistema aquático (Karr *et al.*, 1986).

O Índice de Integridade biótica (IIB) foi a primeira descrição de um procedimento multimétrico para monitorar recursos aquáticos usando peixes de riachos nos Estados Unidos, desenvolvido por Karr (1981). O IIB se fundamenta na análise da estrutura da comunidade de peixes para avaliar a integridade biótica, definida como a capacidade de um ecossistema em manter uma comunidade com riqueza de espécie, composição e organização funcionais e comparáveis a de ecossistemas não perturbados por atividade humana (Karr & Dudley, 1981). O uso desse índice para o monitoramento de reservatórios é um dos mais recentes, refletindo a resistência em aplicar um índice baseado na integridade biológica a ambientes construídos artificialmente. Jennings *et al.*, (1995) foram os primeiros a propor uma adaptação do IIB para os reservatórios do Vale do Tenesse, EUA, na qual sugeriram uma nova denominação para o índice (RFAI = Reservoir Fish Assemblage Index), retirando o termo "integridade biótica". Essa modificação foi motivada pela ausência de condições naturais de referência, em função da natureza artificial desses ambientes.

O Índice de Integridade Biótica (IIB) já foi adaptado para trechos do rio Paraíba do Sul (Araújo, 1998; Araújo *et al.*, 2003). Entretanto, essas adaptações não incluíram nenhum dos reservatórios encontrados ao longo de seu canal principal. O reservatório da UHE do Funil tem de importância econômica e localização estratégica como regu-

lador de enchentes e reserva de água para abastecimento público, constituindo - se um importante modificador das condições naturais do rio. Deste modo, este trabalho objetiva adaptar o IIB para este reservatório, admitindo a denominação de Índice de Assembléia de Peixes em Reservatórios (IAPR) sugerida por Jennings *et al.*, (1995) e utilizada no Brasil, pela primeira vez, por Petesse *et al.*, 2007, no reservatório de Barra Bonita.

## OBJETIVOS

Este trabalho objetiva adaptar o IIB para este reservatório, admitindo a denominação de Índice de Assembléia de Peixes em Reservatórios (IAPR) sugerida por Jennings *et al.*, (1995) e utilizada no Brasil, pela primeira vez, por Petesse *et al.*, 2007, no reservatório de Barra Bonita.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de Estudos

A área de estudo abrangeu parte do canal principal do rio Paraíba do Sul, na área de influência da UHE do Funil (22°30'S, 44°45'S), administrada por Furnas Centrais Elétricas S/A. Sua construção foi concluída em 1969, visando à geração de energia elétrica e atenuação do impacto das cheias sobre as áreas urbanas, além de, eventualmente, compor o abastecimento de água do município do Rio de Janeiro (Ávila & Bicudo, 1982). Entretanto, recebe água com elevado grau de poluição advinda do trecho médio - superior da bacia do rio Paraíba do Sul, considerado poluído, principalmente pelas atividades industriais do Vale do Paraíba Paulista (Klapper, 1998).

### Amostragem

A área de estudo foi dividida em quatro zonas: 1 - rio a montante do reservatório; 2 - área alta do reservatório; 3

- área baixa do reservatório; e 4 - rio a jusante da barragem. A amostragem foi realizada mensalmente a partir de Outubro de 2006 a setembro de 2007 (exceto em maio e julho de 2007), em quatro locais representativos de diferentes habitats dentro de cada zona. Em cada local foram colocadas três redes (30 m por 2,5 m) de tamanhos de malhas diferentes (2,5 cm, 4,5 cm e 6,5 cm entre nós opostos) totalizando uma área de 900 m<sup>2</sup> de rede por zona. As redes foram colocadas ao entardecer e retiradas ao amanhecer do dia seguinte, tendo permanecido em operação por aproximadamente 15 horas.

Os peixes coletados foram identificados ainda no campo. Todos os peixes foram contados, pesados (em gramas) e medidos no comprimento total (mm). Todos os indivíduos foram fixados em formalina 10%, durante 48 horas e, posteriormente, conservados em etanol 70%, com parte tendo sido depositada como material testemunho na coleção ictiológica do Laboratório de Ecologia de Peixes, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Construção do Índice de Assembléia de Peixes em Reservatório (IAPR)

Em cada zona, o IAPR foi calculado para todos os meses amostrados. Os valores do IAPR por período foram obtidos através da média das notas mensais. O período de cheia correspondeu aos meses de outubro de 2006 a fevereiro de 2007 e o período de seca, aos meses de março a setembro de 2007 (exceto os meses de maio e julho). A avaliação mensal do IBI e, portanto, do IAPR não é usual, entretanto, o índice foi calculado para cada mês em cada zona a fim de detectar variações não perceptíveis em amostragens únicas anuais.

A determinação das condições de referência, neste estudo, seguiu a utilização dos melhores valores observados tanto nas zonas de rio (zonas 1 e 4) como nas zonas de reservatório (zonas 2 e 3), como sugerido por PETESSE *et al.*, (2007). Seis atributos funcionais foram considerados para definir a lista de métricas candidatas: origem (nativas ou introduzidas), habitat (fundo ou coluna d'água), tolerância (tolerantes ou intolerantes), guilda trófica (onívoros, carnívoros, detritívoros, invertívoros, herbívoros). e resiliência (alta ou baixa). As espécies foram classificadas em relação a esses atributos funcionais, baseadas em literatura e avaliação profissional quando necessário.

As métricas propostas (28) foram agrupadas em cinco categorias: 1. Composição e riqueza de espécies; 2. Abundância; 3. Composição trófica; 4. Tolerância e 5. Reprodução. Os ambientes de rio (considerando as zonas a montante (1) e a jusante (4) do reservatório), e de reservatório-abrangendo as zonas amostradas dentro do reservatório da UHE do Funil (zonas 2 e 3) foram considerados separadamente para o cálculo do IAPR. Para o primeiro grupo foram propostas 24 métricas e para o segundo, 23. Dentre as métricas propostas, foram consideradas aquelas já aplicadas ao rio Paraíba do Sul, na íntegra ou modificadas; métricas utilizadas na adaptação do IIB a represa de Barra Bonita (Petesse *et al.*, 2007); e métricas adaptadas ao IIB e aplicadas em outros países.

As métricas candidatas foram selecionadas por variabilidade (amplitude) e redundância, segundo Hughes *et al.*, (1998). Primeiro, as métricas com pequena amplitude (0 - 3) foram

consideradas inadequadas e excluídas da pontuação por não contribuírem com a variação da nota. Segundo, associações entre métricas foram avaliadas através do coeficiente de correlação de Spearman, seguindo Whittier *et al.*, (2007), que consideram que um par de métricas é redundante se apresentar coeficientes de correlação de Spearman maiores que 0,7 ou menores que - 0,7. Diante de um par de métricas redundantes o critério para escolher uma delas foi o mesmo utilizado por Hering *et al.*, (2006), os quais excluem a métrica que apresentar maior correlação geral com as outras métricas da matriz.

Neste trabalho foi aplicada a pontuação contínua, variando de 0 a 10 para cada métrica. Em métricas que decrescem com impacto, o menor valor (0) foi obtido através do percentil 5<sup>o</sup> dos valores observados e o maior valor (10) equivale ao percentil 95<sup>o</sup>. A utilização dos percentis 5<sup>o</sup> e 95<sup>o</sup> é importante para a exclusão de eventuais valores extremos que prejudiquem a correta interpretação da métrica. Os valores observados entre os limites estabelecidos pelos percentis foram pontuados de forma contínua como frações dos valores observados. O cálculo das notas foi feito através de uma adaptação do modelo de Klemm *et al.*, (2003). Para métricas que aumentam com impacto, o contrário foi realizado. O valor referente à melhor condição foi estabelecido pelo percentil 5<sup>o</sup> e a pior condição estabelecida pelo percentil 95<sup>o</sup>. O valor resultante da soma das notas individuais de cada métrica foi multiplicado por 10 e dividido pelo número total de métricas. Esse procedimento permitiu que a nota final variasse de 0 a 100, independente do número de métricas utilizadas, possibilitando a comparação entre índices adaptados com números de métricas diferentes. Comparações entre as médias do IAPR para as zonas estudadas foram feitas utilizando - se o teste paramétrico ANOVA bi - fatorial. As notas finais do IAPR foram distribuídas em classes de qualidade, como proposto por Ganasan & Hughes (1998): "aceitável", "moderadamente impactado" e "impactado". De acordo com esses autores, muitas categorias dificultam a interpretação dos resultados e, conseqüentemente, a tomada de decisões dos gestores ambientais.

## RESULTADOS

No total, 15 métricas foram selecionadas, resultantes de variações de métricas já adaptadas para rios e reservatórios tropicais, bem como de novas métricas propostas para o presente estudo, sendo nove comuns aos dois grupos, quatro exclusivas das zonas de rio e duas exclusivas das zonas de reservatório, representando as categorias estrutural e funcional definidas por Karr *et al.*, (1986). De acordo com a avaliação qualitativa, a classe "impactada" foi referente à nota inferior a 60 do total, "moderadamente impactada" entre 60 e 80 e, acima de 80 foi considerado "aceitável". Nesta adaptação, a padronização das notas do IAPR foi feita com amostras de diferentes meses, com o intuito de investigar a existência de variações temporais de curto prazo na qualidade ambiental que afetassem os resultados do índice. Em todos os meses estudados nenhuma zona foi classificada com qualidade ambiental aceitável. As notas finais do IAPR variaram entre 13,9 (zona 3) a 70,1 (zona

1) com a maioria dos valores abaixo de 50, caracterizando uma condição de ambiente impactado para o sistema rio Paraíba do Sul-reservatório da UHE do Funil. As zonas de rio (zonas 1 e 4), na maioria dos meses, foram classificadas como impactadas, com exceção dos meses de outubro e março (zona 1) e janeiro (zona 4), quando foram classificadas como “moderadamente impactadas”. Essa melhoria na condição ambiental foi muito discreta uma vez que os valores não foram muito superiores a 60, limite entre as classes “impactada” e “moderadamente impactada”. De fato, foi observada mudança de classe ambiental em meses subsequentes, nas zonas de rio, o que poderia levar um mesmo ambiente a ser enquadrado em classes diferentes na mesma época do ano. No entanto, essa variação é normalmente esperada em pontuação de índices multimétricos bióticos com muitas amostras (Pyron *et al.*, 2008), estando relacionada com diversos fatores como as alterações na qualidade da água, alterações no habitat entre datas de amostragem, variação do fluxo da água entre datas de amostragem, movimentos sazonais de indivíduos e variação aleatória (Karr *et al.*, 1987). Quando as notas mensais para cada zona foram agrupadas em períodos (seca e cheia), não foi observada diferença significativa, embora o período de cheia tenha apresentado maiores pontuações em relação à seca, para todas as zonas. Isso sugere que a escolha de uma única época de amostragem (na cheia ou na seca) é o suficiente para a utilização do índice. Essa idéia também foi defendida para o trecho Médio Inferior do rio Paraíba do Sul por Pinto & Araújo (2007), que sugerem o período de seca para a aplicação do IIB por maior eficiência do esforço amostral. Além disso, em rios, o período de seca é indicado para avaliar a qualidade ambiental, porque a conectividade com o habitat adjacente e o nível da água estão reduzidos e os fatores bióticos tendem a dominar a estrutura da assembléia de peixes em relação aos fatores abióticos dominantes no período de cheia (ODE *et al.*, 005). Em reservatórios, essa época também é marcada por níveis de água mais baixos, com menor capacidade de diluição dos poluentes e a disponibilidade de habitat, o que sugere maior sensibilidade do IAPR também nesse período.

O padrão espacial encontrado foi consistente nos dois períodos estudados, sendo possível verificar que, ao longo de um perfil longitudinal, houve uma diminuição da qualidade no sentido rio - reservatório, com ligeira melhoria a jusante da barragem, na zona 4. Essa variação entre as zonas foi significativa com a zona 3 apresentando a mais baixa condição ambiental em relação às demais, apesar de todas terem sido classificadas como “impactadas”.

O IAPR produziu resultados consistentes que distinguiu diferentes níveis de integridade biótica no sistema rio Paraíba do Sul - reservatório do Funil. Apesar da atribuição das classes do IAPR serem arbitrárias, nesta adaptação as zonas foram classificadas, de modo geral, como “impactadas”, confirmando a degradação sofrida pelo sistema e que tem sido reportada em outras avaliações utilizando outros métodos, principalmente baseados na qualidade físico-química da água (Branco *et al.*, 2002; Soares *et al.*, 2008; Inea, 2009). Embora, confirmações independentes das classes de qualidade ambiental sejam necessárias, os resultados do IAPR para esse sistema pareceram razoáveis, com

notas mais altas nas zonas de rio, que apesar da notória carga de poluentes, ainda mantém, mesmo que sazonalmente, disponibilidade de alimento e abrigos refletidos no índice, e notas mais baixas nas zonas lânticas fortemente “impactadas” no ambiente represado. </ >p >

## CONCLUSÃO

1. O IAPR mostrou - se sensível ao gradiente de impacto ambiental, no sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil com resultados consistentes no espaço e no tempo.
2. Todo o sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil encontra - se impactado, com a zona baixa do reservatório (zona 3) apresentando maior grau de degradação.
3. Para a aplicação do IAPR, um único período de amostragem é necessário, sendo o período de seca o mais apropriado por apresentar níveis de água mais baixos, com menor capacidade de diluição dos poluentes e disponibilidade de habitat, o que sugere maior sensibilidade do IAPR.

### Agradecimentos

Ao Programa de Pós - Graduação em Ciências Ambientais e Florestas da UFRuralRJ e ao CNPq/CT - Hidro pela concessão de bolsa (Processo nº 133172/2007 - 4).

## REFERÊNCIAS

- Araújo, F.G. Adaptação do índice de integridade biótica usando a comunidade de peixes para o Rio Paraíba do Sul. *Revista Brasileira de Biologia*, V.58, n.4, p.547 - 558, 1998.
- Araújo, F.G.; Fichberg, I.; Pinto, B.C.T.; Peixoto, M.G. Preliminary index of Biotic Integrity for monitoring the condition of the Rio Paraíba do Sul, Southeast, Brazil. *Environmental Management*, V.32, n.4, p.16 - 526, 2003.
- Ávila, J.P.; Bicudo, I. “Main Brazilian Dams”. Ed. Técnica Ltda. 1982.
- Branco, W.C.C., Rocha, M.I.A.; Pinto, F.S.P; Gômara, G.A.; De Filippo, R. Limnological features of Funil Reservoir (R.J., Brazil) and indicator properties of rotifers and cladocerans of zooplankton community. *Lakes & Reser. and Manag.*, V.7, p.87 - 92, 2002.
- Ganasan, V.; Hughes, R.M. Application of an index of biological integrity to fish assemblages of the river Khan and Ksipre, India. *Freshwater Biology*, V.40, p.367 - 383, 1998.
- Hering, D.; Feld, C.K.; Moog, O.; Ofenböck, T. Cook book for the development of a multimetric index for biological condition of aquatic ecosystems: Experiences from the European AQEM and STAR projects and related initiatives. *Hydrobiologia*, V.566, p.311 - 342, 2006.
- Hughes, R.M.; Kaufmann, P.R.; Herlihy, A.T.; Kincaid, T.M.; Reynolds, L.; Larsen, D.P. A process for developing and evaluating indices of fish assemblage integrity. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, V.55, p.1618-1631, 1998.
- INEA. Reservatórios. Disponível em: <<http://www.feema.rj.gov.br/reservatorios.asp?cat=75>>. Acesso em 25 jan. 2009.
- Jennings, M.J.; Fore, L.S.; KARR, J.R. Biological monitoring of fish assemblages in Tennessee Valley reservoirs. Regulated rivers: *Res. and Manag.*, V.11, p.263 - 274, 1995.

- Karr, J.R.; Dudley, D.R. Ecological perspective on water quality goals. *Environmental Management*, V.11, p.249–256, 1981.
- Karr, J.R. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, V.6, p.21–27, 1981.
- Karr, J.R.; Fausch, K.D.; Angermeier R, P.L.; YANT, P.R.; SCHLOSSER, I. J. Assessing Biological Integrity in Running Waters: A Method and its Rationale. Special Publication No. 5. Champaign: Illinois Natural History Survey, 1986.
- Karr, J.R.; Yant, P.R.; Fausch, K.D.; Schlosser, I.J. Spatial and temporal variability of the index of biotic integrity in three midwest streams. *Transactions of the American Fisheries Society*, V.116, p.1 - 11, 1987.
- Klapper, H. Water quality problems in reservoirs of Rio de Janeiro, Minas Gerais and São Paulo. *International Review of Hydrobiologia*, V. 83, p. 93–102, 1998.
- Klemm, D.J.; Blocksom, K.A.; Fulk, F.A.; Herlihy, A.T.; Hughes, R.M.; Kaufmann, P.R; Peck, D.V.; Stoddard, J.L.; Thoeny, W.T.; Griffith, M.B.; DAVIS, W.S. Development and evaluation of a Macroinvertebrate Biotic Integrity Index (MBII) for regionally assessing Mid - Atlantic highlands streams. *Environmental Management*, V.31, n.5, p.656 - 669, 2003.
- Ode, P.R.; Rehin, A.C.; May, J.T. A quantitative tool for assessing the integrity of southern coastal California streams. *Environmental Management*, V.35, p.493–504, 2005.
- Pettesse, M.L.; Petreere, J.M.; Spigolon, R. J. Adaptation of the Reservoir Fish Assemblage index (RFAI) for assessing the Barra Bonita reservoir (São Paulo, Brazil). *Rivers Research and Applications*, V.23, p.595 - 612, 2007.
- Pinto, B.C.T.; Araújo, F.G. Assessing of Biotic Integrity of the Fish Community in a Heavily Impacted Segment of a Tropical River in Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, V.50, n.3, p.489 - 502, 2007.
- Pyron, M.; Lauer, T.E.; Leblanc, D.; Weitzel, D.; Gammon, J. R. Temporal and spatial variation in an index of biological integrity for the middle Wabash River, Indiana. *Hydrobiologia*, V.600, p.205–214, 2008.
- Soares, M.C.S.; Marinho, M.M.; Huszar, V.L.M.; Branco, C.W.C.; Azevedo, S.M.F.O. The effects of water retention time and watershed features on the limnology of two tropical reservoirs in Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, V.13, p.257–269, 2008.
- Whittier, T.R.; Hughes, R.M.; Stoddard, J.L.; Lomnický, G.A.; Peck, D.V. & Herlihy, A.T. A structured approach for developing indices of biotic integrity: Three examples from streams and rivers in the western USA. *Transactions of the American Fisheries Society*, V.136, p.718 - 735, 2007.