

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA ESCADA DE PEIXES DA USINA HIDRELÉTRICA ILHA DOS POMBOS

Leonardo Pussieldi Bastos¹; Ariel Scheffer da Silva²; Otto Samuel Mader Netto³; Jair Duarte⁴; Carlos Eduardo Belz⁵; José Junji Ota⁶; Patricia Dammski Borges⁷; Flora Hauer de Mello Leitão⁸ e Camila Ghilardi Cardoso⁹

RESUMO --- A escada de peixes da UHE Ilha dos Pombos foi avaliada quanto à sua eficiência através de estudos hidráulicos e de biologia reprodutiva das espécies de peixes do rio Paraíba do Sul. Estes estudos incluíram análises da biologia reprodutiva de algumas espécies, vídeo-amostragens, campanhas de marcação e recaptura de peixes e a construção de um modelo reduzido da escada. A abordagem multidisciplinar utilizada mostrou ser de grande relevância e utilidade para a gestão do sistema de transposição, indicando limitações e gerando subsídios para a otimização estrutural e operacional da escada.

ABSTRACT --- The fish ladder of the Hydroelectric Power Plant Ilha dos Pombos had the efficiency evaluated by hydraulic studies and reproductive biology studies of fish species of the river Paraíba do Sul. These studies included reproductive biology analysis of some species, video sampling, tagging campaigns, recapture of fish and construction of a reduced model of the fish ladder. The multidisciplinary approach used was shown to be of great relevance and usefulness for the transposition system management, that indicated limitations and generated subsidies for the structural and operational optimization of the fish ladder.

Palavras-chave— Ictiofauna, Mecanismos de transposição, Migração, Monitoramento, estudos hidráulicos.

1) Pesquisador do LACTEC CEHPAR - CEP 80011-970, Curitiba – PR. Fone: (0xx41)3361-6882. E-mail: leonardo.bastos@lactec.org.br
2) Pesquisador Instituto HSBC de Soliedariedade - CEP 80.440-020, Curitiba-PR. Fone (0xx41) 3270-8402. E-mail: ariel.s.silva@hsc.com.br
3) Pesquisador do LACTEC CEHPAR - CEP 80011-970, Curitiba – PR. Fone: (0xx41)3361-6873. E-mail: otto@lactec.org.br
4) Pesquisador do LACTEC CEHPAR - CEP 80011-970, Curitiba – PR. Fone: (0xx41)3361-6311. E-mail: jair@lactec.org.br
5) Pesquisador do LACTEC CEHPAR - CEP 80011-970, Curitiba – PR. Fone: (0xx41)3361-6193. E-mail: belz@lactec.org.br
6) Pesquisador do LACTEC CEHPAR - CEP 80011-970, Curitiba – PR. Fone: (0xx41)3361-6291. E-mail: ota@lactec.org.br
7) Pesquisadora do LACTEC CEHPAR - CEP 80011-970, Curitiba – PR. Fone: (0xx41)3361-6874. E-mail: patricia.borges@lactec.org.br
8) Pesquisadora do LACTEC CEHPAR - CEP 80011-970, Curitiba – PR. Fone: (0xx41)3361-6873. E-mail: flora@lactec.org.br
9) Pesquisadora do LACTEC CEHPAR - CEP 80011-970, Curitiba – PR. Fone: (0xx41)3361-6882. E-mail: camila.cardoso@lactec.org.br

INTRODUÇÃO

Toda a bacia do rio Paraíba do Sul, desde as suas nascentes as proximidades da serra da Mantiqueira no estado de São Paulo até a sua foz no estado do Rio de Janeiro, sofreu intensa modificação ao longo do processo de ocupação e colonização, tornando-se uma das regiões mais populosas e industrializadas do país. Além disso, os barramentos existentes ao longo do seu curso contribuíram sobremaneira para a alteração da sua fauna íctica.

A construção de barragens, seja ela para abastecimento público ou para geração de energia hidrelétrica, vem alterando significativamente o curso dos rios, eliminando a presença de corredeiras e lagoas marginais, e transformando o regime das águas de lóaticas para lânticas, contribuindo com a alteração qualitativa e quantitativa das espécies de peixes (ARAÚJO 1998; ARAÚJO et al 2003).

A Usina Hidrelétrica Ilha dos Pombos localiza-se na divisa dos Estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais a jusante da cidade de Além Paraíba (MG), instalada em 1929, interrompeu as rotas migratórias de diversas espécies de peixes reofílicos (LIGHT,1993). Em 1996 foi construída uma escada de peixes como alternativa para evitar a mortalidade de peixes em poças localizadas a jusante da barragem, e ao mesmo tempo, reduzir os impactos sobre a distribuição da ictiofauna. Embora a escada tenha sido construída de forma adequada, não se sabe se suas configurações hidráulicas e funcionamento geram resultados adequados de transposição. O desenho da escada associado ao regime hidráulico constituem fatores essenciais para a ascensão de peixes e são também responsáveis pela elevada seletividade da passagem de peixes. A eficiência dos mecanismos de transposição de peixes depende de peculiaridades da ictiofauna a jusante, principalmente das espécies reofílicas (FERNANDEZ, 2004).

O estudo do desempenho da escada de peixes da Hidrelétrica Ilha dos Pombos avaliou aspectos populacionais e reprodutivos dos peixes e os aspectos hidráulicos da escada, com o objetivo de gerar subsídios para adequações hidráulicas e o correto manejo da estrutura de transposição de peixes.

Os objetivos específicos deste estudo são:

a) Averiguar a eficiência da escada de peixes instalada na usina hidrelétrica Ilha dos Pombos do ponto de vista biológico.

b) Averiguar a eficiência da escada de Peixes da Usina de Ilha dos Pombos do ponto de vista estrutural e hidráulico.

a) Testar diferentes metodologias de monitoramento da escada de peixes.

A escada de peixes da UHE Ilha dos Pombos

A escada de peixes foi construída para permitir a saída e transposição de peixes que ficavam aprisionados em poças à jusante do vertedouro.

De modo geral a escada funciona apenas alguns dias no ano, pois a operação desta escada é realizada principalmente nos períodos de cheia, quando o vertedouro opera com frequência. Período este que coincide com a migração reprodutiva de várias espécies da região.

A passagem é constituída de um canal de 2,00 m de largura com anteparas posicionadas perpendicularmente à direção longitudinal do canal, alternados entre as margens direita e esquerda (Figura 1). O espaçamento entre os obstáculos das paredes varia de 1,46 m, no trecho com 25,5% de declividade, até 4,00 m no trecho com declividade de 9,4%. A abertura entre o obstáculo e a parede lateral do canal é de 0,70 m. A diferença de elevação entre a entrada e a saída da passagem é de aproximadamente 12 m.

Os peixes capturados foram acondicionados e levados ao laboratório para a realização da biometria, onde foram registrados o comprimento total (CT) e peso total (PT), e ainda a sexagem, estágio de maturação segundo VAZZOLER (1996), e peso de gônadas e fígado. Posteriormente, as amostras foram identificadas e fixadas em formol (4%).

A identificação dos peixes foi efetuada no laboratório de campo, e a confirmação taxonômica de alguns exemplares realizada por especialistas de outras instituições. Para a verificação da frequência de indivíduos em reprodução consideraram-se os exemplares cujo diagnóstico morfológico revelou gônadas em estágio “em maturação”, maduro (fêmeas e machos) ou desova/pós-desova (fêmeas) e esgotado/pós-esgotado (machos).

O acompanhamento histológico foi realizado para as espécies *Cyphocharax gilberti*, *Hoplosternum littorale*, *Oligosarchus hepsetus*, *Pachyurus adspersus*, *Parauchenipterus striatulus*, *Parauchenipterus sp.*, *Prochilodus lineatus*, pela facilidade de identificação e maior abundância no local. Os estágios de maturação foram classificados segundo descrito na referência (WEST 1990). A relação gonadossomática, foi utilizada para expressar a porcentagem que as gônadas representam do peso total dos indivíduos, e a distribuição da frequência de classes de tamanho individual, para avaliar o potencial reprodutivo da população de peixes.

Metodologia de marcação e recaptura

O teste de marcação e recaptura para a avaliação de movimentos migratórios e utilização da escada de peixes envolveu a captura de peixes das espécies *Prochilodus lineatus* (curimatá) e *Salminus maxillosus* (dourado) os quais receberam marcações plásticas tipo "espaguetti T-bar"(Floy® Tags), numeradas sequencialmente e mantidos por 8 horas em um tanque rede para a verificação de possíveis mortalidades. As recapturas foram realizadas por pescadores locais, parceiros da Light e por outros pescadores da região. Para aumentar o retorno das marcações, foi desenvolvida uma campanha de divulgação com a produção e distribuição de folderes com catálogo de peixes da região e descrição do projeto.

A análise dos resultados envolveu a sobrevivência dos peixes pós-marcação, o retorno das marcações e a eficiência da metodologia.

Metodologia de captura de imagem

Foi utilizado um sistema analógico com conversor analógico/digital e armazenamento de dados em disco rígido ou em unidade de câmera digital. A câmera subaquática suporta profundidades de até 300 metros, com 1 lux de sensibilidade à luz e transmite as imagens via cabo blindado.

Os testes dos equipamentos incluíram análises das configurações dos sistemas de vídeo, testes em tanques rede e poças da UHE Ilha dos Pombos, e testes complementares no canal de transposição de peixes da Itaipu Binacional.

Os resultados foram analisados quanto à eficiência para a contagem e identificação de peixes em diferentes condições de transparência da água.

Estudos hidráulicos

Foram realizadas medidas *in situ* de vazão e velocidade na escada e observados pontos de mudança de direção ou de declividade do canal. O trecho da escada com escoamento mais desfavorável à ascensão dos peixes foi selecionado para o estudo.

Foi construído no LACTEC CEHPAR - Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza - um modelo físico em escala geométrica 1:4, operado segundo o critério de semelhança de Froude. As dimensões e demais grandezas físicas citadas neste trabalho referem-se a valores de protótipo. O estudo em modelo limita-se às condições de escoamento em um tanque típico do trecho com declividade de 25,5% e espaçamento de 1,50 m entre obstáculos, e contendo oito obstáculos.

As medições no modelo foram realizadas no terceiro e quarto tanques construídos, para evitar a influência da entrada e da saída do modelo, que não reproduzem fielmente a geometria do protótipo.

Foram realizados ensaios com duas configurações geométricas da escada de peixes: a configuração atualmente construída na usina, aqui denominada configuração original, e uma configuração modificada, referida por configuração alternativa 1. Foram realizadas medições de velocidades pontuais médias e de profundidades nos ensaios, com as seguintes vazões: 0,25 m³/s, 0,50 m³/s, 0,75 m³/s, 1,00 m³/s, 1,25 m³/s e 1,50 m³/s.. As condições de escoamento foram também registradas através de fotografias e filmagens em videocassete através de uma janela de acrílico instalada na lateral, junto ao terceiro e quarto tanques.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Biologia reprodutiva

O conjunto das capturas das 5 campanhas contabilizou 3433 peixes. A riqueza foi de 32 morfotipos (Tabela 1), porém, acredita-se que devido ao alto endemismo reportado na literatura para o rio Paraíba do Sul, o número de espécies (em processo de confirmação junto ao Museu do Capão da Imbuía) seja superior aos 32 morfotipos. As espécies *Cyphocharax gilberti* (n=58), *Hoplosternum littorale* (n=40), *Oligosarchus hepsetus* (n=220), *Pachyurus adspersus* (n=349), *Parauchenipterus striatulus* (n=92), *Parauchenipterus sp.* (n=57) e *Prochilodus lineatus* (n=214), foram mais abundantes nas capturas e foram utilizadas para os estudos de biologia reprodutiva.

Tabela 1. Morfotipos capturados com seus respectivos nomes vulgares.

Espécies	Nome vulgar
<i>Astyanax spp.</i>	Lambari
<i>Centropomus parallelus</i>	Robalo
<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré
<i>Crenicichla lacustris</i>	Joaninha
<i>Cyphocharax gilberti</i>	Piabinha
<i>Geophagus brasiliensis</i>	Acará
<i>Gymnotus carapo</i>	Tuvira, Sarapó
<i>Hoplias malabaricus</i>	Traíra
<i>Hoplosternum littorale</i>	Tamboatá, Camboatá
<i>Hypostomus luetkeni</i>	Cascudo
<i>Hypostomus spp.</i>	Cascudo-lajero
<i>Hypostomus spp.</i>	Cascudo-pintado
<i>Leporinus aff. friderici</i>	Piau vermelho
<i>Leporinus copelandi</i>	Piauzinho
<i>Loricariichthys castaneus</i>	Cascudo-viola
<i>Mugil curema</i>	Tainha
<i>Oligosarchus hepsetus</i>	Bocarra
<i>Pachyurus adspersus</i>	Corvina
<i>Glanidium melaopterum</i>	Cumbaca “bifurcada”
<i>Parauchenipterus striatulus</i>	Cumbaca “lobada”
<i>Piaractus mesopotamicus</i>	Pacu 1
<i>Piaractus sp.</i>	Pacu 2
<i>Pimelodus spp.</i>	Mandi
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Pescada
<i>Prochilodus lineatus</i>	Curimbatá
<i>Salminus maxillosus</i>	Dourado
<i>Synbranchus marmoratus</i>	Mussum
<i>Tilapia rendalli</i>	Tilápia
Cichlidae	Acará
Cichlidae	Acará
não identificado	Bagre
<i>Apareiodon sp</i>	Canela-de-moça (ocelo)

Com base na classificação visual e histológica, os 1030 peixes utilizados mostraram diferenças nos ciclos reprodutivos entre várias espécies.

As análises macroscópicas e histológicas indicam a ocorrência de três padrões reprodutivos distintos.

1 - padrão característico de *Oligosarchus hepsetus*: apresenta período de desova prolongado, com picos de liberação de gametas no verão e outono, e maturação, evidenciada pelos altos índices gonadossomáticos, no inverno. Não foram encontrados jovens desta espécie na região.

2 - padrão característico de *Pachyurus adpersus* e *Parauchenipterus sp*: espécies que apresentam aglomerações de indivíduos maduros no inverno, sendo a maturação gonadal concentrada entre a primavera e o outono, com recrutamento no verão. Destas espécies apenas *Parauchenipterus sp* desova na região.

3 - padrão representando as espécies *Cyphocharax gilberti*, *Hoplosternum littorale* e *Parauchenipterus striatulus*: espécies com desovas no verão e maturação na primavera e verão. Destas espécies, *H. littorale* é a única que não desova na região.

Metodologia de marcação e recaptura

A metodologia de marcação e recaptura tem se mostrado uma importante ferramenta na gestão dos estoques e recursos oriundos da ictiofauna, ela permite estudar os padrões de distribuição e migração das espécies, dinâmica populacional e também idade e crescimento específico.

Embora tenha ocorrido pouco retorno das marcações, pois das 1390 realizadas, somente 4 retornaram, foi observado durante a operação da escada, que vários peixes marcados estavam transpondo a barragem, indicando que os peixes apresentaram a tendência de migração logo após sua soltura à jusante. Porém, a taxa de recaptura pode ser considerada baixa, segundo Abecasis (2008) é esperada uma taxa de recuperação entre os 5 e os 15%, contudo algumas espécies não atingem 1%, entretanto neste trabalho foi obtido uma taxa ainda menor, de cerca de 0,3 % .

De qualquer modo, a experiência de marcações e recaptura foi importante para embasar futuras ações com aplicação desta metodologia, cujas ações de divulgação deverão ser intensificadas e acompanhar um cronograma adequado à dinâmica pesqueira da região.

Metodologia de captura de imagem

Os diferentes tipos de arranjos do sistema de captura de imagem mostraram que a capacidade de armazenamento, processamento e programação do sistema baseado em computador com unidade de armazenamento de dados em massa, é superior à de sistema ligado a unidade de gravação em fita mini-DV. Com o resultado do primeiro teste do sistema foi optado pela utilização do computador para o armazenamento de imagens.

Foram coletadas 73 vídeo-amostras, sendo que apenas 61 dessas foram utilizadas nas análises, pois o restante não indicou a presença de peixes ou qualidade suficiente de imagens para identificação de objetos ou peixes.

A transparência da água, medida com disco de Secchi, variou entre 0,4 metros (mínima, no rio Paraíba do Sul) a 1,6 metros (máxima, no Canal de Piracema da Itaipu).

Os melhores resultados foram obtidos com distâncias focais inferiores a 0,4 m., e transparência da água superior a 1,0 m. Nestas condições foi possível considerar os seguintes parâmetros amostrais: presença/ausência de peixes; número de peixes; presença de peixes marcados/numerados; classificação em nível de família; presença de espécies exóticas (p.ex. tucunaré) e; em alguns casos, classificação em nível de espécie. Porém, mesmo em condições menos favoráveis de transparência da água e distâncias focais maiores, foi possível monitorar a presença/ausência de peixes e o número de peixes.

Estudo da eficiência hidráulica

No ensaio da configuração original com vazão de 1,00 m³/s, condição freqüente de operação do canal, foram medidas profundidades de 0,53 m a 1,17 m e velocidades entre 0,5 m/s e 3,2 m/s. Para obter profundidades da mesma ordem de grandeza, com a configuração alternativa 1, é possível operar a escada com vazão de 0,50 m³/s, obtendo-se velocidades limitadas a 2,7 m/s.

A energia dissipada por unidade de volume resulta 1370 watts/m³ para uma vazão de 1,00 m³/s, muito superior aos 200 watts/m³ utilizados nos projetos de transposição de peixes no Hemisfério Norte (CLAY, 1995). A redução de vazão para 0,50 m³/s através da instalação da alternativa 1 conduz a uma energia dissipada de 695 watts/m³, mais adequada à ascensão dos peixes. A quantidade de ar misturado ao escoamento também diminui sensivelmente.

Apesar de terem sido estudadas, as alternativas 2 e 3 não foram ensaiadas em detalhe porque não apresentaram vantagens em relação à alternativa 1. Os ensaios descritos neste trabalho foram realizados no trecho da escada com as condições de escoamento mais críticas a ascensão dos peixes. No trecho menos inclinado ($i = 9,4\%$), com espaçamento entre obstáculos de 4 m, o desnível entre tanques resulta igual ao desnível do trecho estudado ($Dh = 0,38$ m), o que permite supor que a instalação de obstáculos adicionais traria benefícios semelhantes aos observados nos ensaios com o trecho mais inclinado.

CONCLUSÃO

A abordagem multidisciplinar utilizada neste estudo mostrou ser de grande relevância e utilidade para a gestão do sistema de transposição da Light, uma vez que integra as questões de engenharia com os aspectos biológicos da ictiofauna local.

Do ponto de vista biológico, os estudos de biologia reprodutiva demonstraram que as maiores capturas ocorreram a montante, indicando que o recrutamento e o aglomeramento reprodutivo de espécies também ocorrem nesta porção do rio. Porém não se pode afirmar que estas espécies terão sucesso reprodutivo no reservatório, pois as condições a montante e a jusante são muito distintas. Todavia, mesmo com o reservatório de Ilha dos Pombos, pode haver a manutenção dos estoques, pois este é um reservatório do tipo fio d'água pequeno, e apresenta uma porção significativa do rio e alguns afluentes com as características lóticas originais a montante da barragem.

Neste sentido, a escada pode ser considerada um importante instrumento na mitigação dos impactos do barramento e na manutenção das populações de peixes tanto a montante quanto a jusante. Outro ponto positivo na operação da escada de peixes, é que os indivíduos aprisionados nas poças formadas a jusante da barragem, após a depleção do nível do rio com o fechamento das comportas, podem alcançar o reservatório e não acabam morrendo pela diminuição do oxigênio da água destas poças.

As metodologias de monitoramento testadas demonstram viabilidade no monitoramento da escada, porém ambas necessitam de readequações metodológicas para utilização na região. A marcação e recaptura apresentou baixo nível de retorno, o que pode ser atribuído tanto ao auto grau de conflito ambiental e desconfiança entre pescadores e órgãos de fiscalização, quanto à pequena abrangência da campanha de divulgação do projeto.

A metodologia de vídeo-amostragem apresentou resultados satisfatórios para os locais de águas com maior transparência, situação oposta à que ocorre no rio Paraíba do Sul. Porém, este problema pode ser contornado com um mecanismo denominado de cubo de transparência, que consiste em um cubo de água transparente instalado na frente da câmera subaquática. De qualquer forma o sistema, quando adequado para as condições locais pode ser uma importante ferramenta de monitoramento e gestão da escada.

A modelagem física demonstrou ser muito adequada para o estudo deste tipo de escoamento, plenamente tridimensional e altamente turbulento, e o modelo reduzido em escala 1:4 reproduziu com fidelidade as condições de escoamento existentes atualmente na escada de peixes.

Através do modelo foi possível verificar que a declividade acentuada da escada conduz a um escoamento com elevado grau de turbulência e com grande quantidade de bolhas de ar. A configuração alternativa proposta, se implementada na estrutura original poderá melhorar significativamente a transposição de peixes na UHE Ilha dos Pombos.

REFERÊNCIAS

ABECASIS, D. M. A. 2008. *Aplicação de marcação convencional e telemetria no estudo dos movimentos de quatro espécies de esparídeos na Ria Formosa*. Dissertação. Universidade do Algarve. Faro, 2008.

ARAÚJO, F. G. (1998). Adaptação do Índice de Integridade biótica usando a comunidade de peixes para o Rio Paraíba do Sul. *Rev. Brasil. Biol.*, 58(4):547-558.

ARAÚJO, F. G.; FICHBERG, I.; PINTO, B. C. T. DUARTE, S. GOLDEBERG, R. S. & PEIXOTO, M. G (2003). *A preliminary index of biotic integrity for monitoring the condition of the Rio Paraíba do Sul, southeast Brazil*. *Environmental Management*, 32(4): 516-526.

CLAY, M. C. (1995). *Design of fish ways and other facilities*. Ann Arbor: Lewis Publishers, 1995.112p.

FERNANDEZ, D. R.; AGOSTINHO, A. A.; BINI, L. M.(2004). *Selection of an Experimental Fish ladder located at the Dam of the Itaipu Binacional, Paraná river, Brazil. Braz. Arch. Biol. Tech.* **47**, 579-586.

LIGHT, (1993). *Usina Hidrelétrica Ilha dos Pombos: aspectos relativos à ictiofauna do rio Paraíba do Sul. Relatório interno.* 45p.

VAZZOLER, A. E. A. DE M. 1996. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática.* Maringá, Universidade Estadual de Maringá. 169p.

WEST, G. (1990). *Methods of assessing ovarian development in fishes: a review.* Australian. Journal of Marine and Freshwater Research. v. 41, p.199-222.