

DOMINGO RODRIGUEZ FERNANDEZ

**GRAU DE SELETIVIDADE DA ESCADA DE PEIXES
DO PROJETO EXPERIMENTAL CANAL DE
MIGRAÇÃO DA ITAIPU BINACIONAL**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em Ciências Biológicas da Universidade Federal
do Paraná, como requisito parcial à obtenção do
grau de Doutor em Ciências na área de Zoologia.

Orientador: Prof. Dr. Ângelo Antônio Agostinho

CURITIBA

2000

GRAU DE SELETIVIDADE DA ESCADA DE PEIXES
DO PROJETO EXPERIMENTAL CANAL DE
MIGRAÇÃO DA ITAIPU BINACIONAL

por

Domingo Rodriguez Fernandez

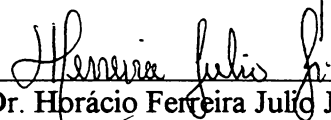
Tese aprovada como requisito parcial para a obtenção do Grau de Doutor em Ciências, área de concentração Zoologia no Curso de Pós-Graduação em Ciências Biológicas - Zoologia, Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores



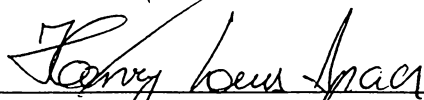
Dr. Angelo Antonio Agostinho - UEM



Dra. Erica Pellegrini Caramaschi - UFRJ



Dr. Horácio Ferreira Julio Jr - UEM



Dr. Henry Louis Spach - UFPR



Dr. Mário Barletta - Prof. Visitante UFPR

Dedico este trabalho:

Ao meu pai e à minha mãe, pelo carinho;

***À minha amada esposa Lenita e minha querida filha Michelle,
pelo apoio, incentivo e compreensão.***

INDICE GERAL

	Pág.
Dedicatória.....	II
Índice Geral.....	III
Agradecimentos.....	IV
Resumo Geral.....	V
Abstract.....	VIII
Prefácio Geral.....	1
Artigo I	
Seletividade da escada experimental de peixes do Canal de Migração da Itaipu Binacional.....	10
Artigo II	
Variação diária na ascensão de peixes em uma escada experimental de peixes na Hidrelétrica de Itaipu.....	21
Artigo III	
Fatores ambientais relacionados ao ingresso e ascensão na escada de peixes do projeto experimental Canal de Migração da Itaipu Binacional.....	40

AGRADECIMENTOS

Para a elaboração deste trabalho contei com a colaboração de algumas instituições e de muitas pessoas companheiras e amigas, sem o qual este trabalho não seria possível. Assim sou grato:

- Ao Prof. Dr. Ângelo Antônio Agostinho, pela orientação e apoio durante todo o trabalho.

- A Diretoria de Coordenação, a Superintendência de Meio Ambiente, ao Departamento de Ecossistemas Biofísicos e a Divisão de Ecossistemas Aquáticos da Itaipu Binacional, pela oportunidade de cursar a Pós-Graduação.

- A equipe de campo da Divisão de Ecossistemas Aquáticos da Itaipu Binacional, Rafael Martins, Carla Canzi, Aparecido Soares, Vilmar Bonzon, Aldérico Coltro e Ronie Moletta de Lima, pelo apoio nas coletas.

- Ao Departamento de Treinamento da Itaipu Binacional, pelo apoio no período 1996-99 do Curso.

- À CAPES, pela concessão de bolsa durante o primeiro ano de estudos.

- Aos Doutores Ângelo Antônio Agostinho e Luis Mauricio Bini, pelas sugestões.

- A Doutora Carla Pavanelli, pela identificação dos exemplares de espécies de pequeno porte.

- Ao senhor Sammers Howays, pelas correções dos resumos em inglês.

- Ao colega e estagiário Biólogo Ezídio Oro, pela colaboração nos trabalhos de coletas à campo.

- Ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Biológicas - Zoologia da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de cursar a Pós-Graduação e pelos conhecimentos recebidos.

- A todos que direta ou indiretamente contribuíram na realização deste trabalho.

RESUMO GERAL

Foi pesquisado o grau de seletividade da escada de peixes, que compõe o projeto experimental Canal de migração de peixes da Itaipu Binacional, em relação à riqueza de espécies observadas no rio Paraná, bem como a variação diária na ascensão de peixes e os fatores ambientais relacionados. Para isso foram realizadas amostragens dos peixes que ascendem a dois pontos da escada (10m e 27m de desnível médio), durante 28 meses (novembro de 1994 a fevereiro de 1997), e quatro amostragens trimestrais realizadas no rio Paraná (março a dezembro de 1997), a jusante da escada de peixes. Amostragens nictemerais foram também realizadas na escada durante dois períodos de piracema (outubro de 1995 a fevereiro de 1996 e de novembro de 1996 a janeiro de 1997).

Ao longo de todo o período amostral, foram identificadas 31 espécies de peixes (4 exclusivas das amostragens nictemerais), sendo 19 characiformes e 12 siluriformes.

Das 65 espécies registradas no rio imediatamente a jusante da barragem, 27 foram capturadas na escada. Entre as seis espécies mais abundantes na escada, quatro tiveram abundância moderada a jusante (*Astyanax asuncionensis*, *Leporinus elongatus*, *Prochilodus lineatus*, *Pimelodus maculatus*), uma foi esporádica (*Leporinus friderici*) e uma, de menor porte (*Bryconamericus stramineus*), não teve sua abundância avaliada em razão da seletividade dos aparelhos de pesca utilizados no rio. Por outro lado, duas espécies raras a jusante (*Acestrorhynchus lacustris*, *Sorubim lima*) apresentaram frequência e ocorrência moderada na escada. Entre as cinco espécies mais abundantes a jusante, apenas *Schizodon borelli* foi registrada na escada. As amostragens evidenciaram uma baixa seletividade específica ao longo da escada. Das 27 espécies que nela ingressaram, 22 foram registradas a 10 metros de desnível, e 24 a 27m. Embora as capturas nos dois trechos amostrados da escada tenham revelado coincidência entre as espécies mais abundantes, a ascensão dos peixes ao

topo da escada foi mais sazonal. O número total de exemplares foi inferior neste trecho (814 a 10 metros e 647 a 27 metros). A escada apresentou uma seleção negativa aos grandes pimelodídeos migradores que pode ser superada com a ampliação na escala de seu projeto. Seu modelo hidráulico mostrou-se, de maneira geral, eficiente na atração e, principalmente, na ascensão de peixes.

Nas amostragens nictemerais, realizadas para avaliar os efeitos do horário do dia, fase de reprodução e tamanho dos indivíduos na ascensão de peixes da escada, foram registradas 22 espécies, sendo que 90,4% dos exemplares pertenceram às espécies *Prochilodus lineatus*, *Pimelodus maculatus*, *Leporinus elongatus*, *Schizodon borelli*, *Leporinus friderici* e *Astyanax asuncionensis*. O tamanho dos indivíduos, para as três primeiras espécies, mais freqüentes e tidas como grandes migradoras, não diferiu significativamente entre os dois trechos da escada e os horários considerados. Para *S. borelli* indivíduos menores foram registrados, em ambos os trechos, às 20:00h. Já para *L. friderici* foi detectada uma interação significativa entre horário de coleta e ponto amostrado. Entre as espécies mais freqüentes, a habilidade de ascender à escada não mostrou relação com a migração reprodutiva, constatando-se um predomínio significativo de fases gonadais pré-vitelogênicas para todas as espécies e em todos os horários do dia, exceto entre *A. asuncionensis* capturados no topo da escada, às 2:00hs. Destas espécies, apenas as duas de *Leporinus* são mais abundantes no topo da escada durante o dia. Para o conjunto das espécies capturadas, aquelas da Ordem Siluriformes tem ascensão predominantemente noturna.

Para a análise da sazonalidade na ascensão de peixes na escada experimental e avaliação das relações com a reprodução, temperatura, nível do rio e suas vazões, modelos autoregressivos foram empregados com o objetivo de remover a dependência temporal entre as observações, sendo utilizados os resíduos dos modelos para relacionar, através do coeficiente de Pearson, as densidades de peixes com as variáveis ambientais. Padrões claros

de sazonalidade foram observados para a variável temperatura. As variáveis cota do rio, vazão turbinada (água que passa pelas unidades geradoras) e vazão vertida (água que passa pelo vertedouro), embora não tenham apresentado dinâmicas sazonais claras, foram temporalmente dependentes. Constatou-se, para as 23 espécies de porte médio e grande, uma marcante sazonalidade, com os maiores valores de abundância registrados sistematicamente nos meses de outubro a fevereiro (75%). O padrão temporal registrado para as espécies de pequeno porte, com predomínio de *Bryconamericus stramineus*, mostrou-se distinto entre os dois anos analisados. Sob condições de vazão e velocidade constante na escada, verificou-se influências significativas da temperatura da água e da vazão turbinada pela Hidrelétrica de Itaipu sobre a intensidade de ascensão dos peixes. A vazão vertida e o nível do rio não mostraram influências relevantes, em parte devido à posição do vertedouro (1000m a jusante) em relação à escada.

O modelo hidráulico da escada para peixes do projeto experimental Canal de Migração de Peixes da Itaipu Binacional revelou-se promissor na atração e ascensão de peixes do rio Paraná, especialmente para espécies migradoras characiformes e siluriformes, sendo passível de utilização prática em barragens da Bacia. Cabe, entretanto, ressaltar que as escadas de peixes não se constituem em solução aplicável a todos os problemas gerados pelos represamentos às populações de peixes migradores neotropicais, visto que a capacidade de continuar o processo migratório, a localização dos locais de desova e a capacidade de retornar aos trechos a jusante são, também, de alta relevância. Devido às características do ciclo de vida destas espécies, as escadas seriam recursos válidos para assegurar a heterogeneidade genética dos estoques a montante, através do restabelecimento do contato de sub-populações isoladas pelo represamento (Agostinho et al, subm.). Isto, entretanto, só será efetivo quando trechos relevantes do rio a montante permanecerem livres e preservados.

GENERAL SUMMARY

This study investigates the selectivity of the experimental Migration Channel project of Itaipu Binacional, in relation to the wealth of species observed in the Paraná River, as well as the daily variation in the ascent of fishes and the related environmental factors. For this purpose, samples were taken of the ascending fishes at two points of the ladder (10 and 27 meters of mean height), during 28 months (November of 1994 to February of 1997), and in every quarter four samplings were carried out in the Paraná River, below the fish ladder, in 1997. During two periods of fish migration (October of 1995 to February of 1996 and from November of 1996 to January of 1997), monthly night-time samplings were made.

In the course of the entire sampling period, 31 fish species were identified (4 of them exclusive to the night-time sampling), with 19 characiformes and 12 siluriformes.

Of the 65 species recorded in the river immediately downstream from the dam, 27 were captured on the ladder. Among the six most abundant species on the ladder, four were moderately abundant downstream (*Astyanax asuncionensis*, *Leporinus elongatus*, *Prochilodus lineatus*, *Pimelodus maculatus*), one was sporadic (*Leporinus friderici*) and one, of lesser size (*Bryconamericus stramineus*), could not be evaluated due to the selectivity of the fishing tackle employed in the river. On the other hand, two species that are rare downstream (*Acestrorhynchus lacustris*, *Sorubim lima*) presented a moderate frequency and occurrence on the ladder. Among the five most abundant downstream species, only *Schizodon borelli* was recorded on the ladder. The samplings demonstrated a low specific selectivity along the length of the ladder. Of the 27 species that entered the ladder, 22 were recorded at the 10 metres height, and 24 at the 27 m level. Although the catches in the two ladder stretches that were sampled revealed a coincidence among the most abundant species, the ascent of fishes to the top of the ladder was more seasonal. The number of individuals was also inferior in this

stretch (814 at 10 metres and 647 at 27 metres). The ladder presented negative selectivity with regard to the large migratory pimelodideans which can be corrected by enlarging the scale of its design. Its hydraulic design proved to be, in general, efficient in the attraction and, principally, in the ascent of fishes.

In the night-time samplings, carried out to evaluate the effects of the time of day, reproductive phase and size of the individuals in the ascent of fishes up the ladder, 22 species were recorded, of which 90,4% of the samples pertained to the species *Prochilodus lineatus*, *Pimelodus maculatus*, *Leporinus elongatus*, *Schizodon borelli*, *Leporinus friderici* and *Astyanax asuncionensis*. The size of the individuals in the three first species, more frequent and considered to be great migrants, did not differ consistently between the two stretches of the ladder and the timetables considered. For *S. borelli*, smaller individuals were recorded between both stretches of the ladder and the timetables considered. Regarding *L. friderici* an important interaction was detected between the hour of the sampling and the point sampled. Among the most frequent species the ability to ascend the ladder was not related to the reproductive migration, with a significant predominance of previtellogenetic gonads being verified for all species and at all hours of the day, except among the *A. asuncionensis* captured at the top of the ladder at 2:00 hours. Of these species only the two *Leporinus* are more abundant at the top of the ladder during the day. Among all the species taken, those of the Siluriformes Order make their ascent predominantly during the night.

For the analysis of the ascent of fishes up the experimental ladder and the evaluation of the relationships with reproduction, temperature, water level and flows, autoregressive models were employed with the objective of removing the time-dependence between the observations, with the residues of the models being used to link, by means of the Pearson coefficient, the fish densities with the environmental variables. Clear standards of seasonality were observed for the temperature variable. The variables of river elevation, flow through the

turbines and through the spillway, although not presenting clear seasonal dynamics, were time-dependent. For the 23 species of medium and large size, a marked seasonality was verified, with the greatest figures of abundance systematically recorded in the months of October to February (75%). The time frame recorded for the small sized species, with a predominance of *Bryconamericus stramineus*, differed between the two years that were analysed. Under conditions of constant flow and velocity in the ladder, significant influences were exerted upon the intensity of the ascent of fishes by the temperature of the water and its flow through the turbines of the Itaipu Hydroelectric power plant. The spilled flow and the river level did not demonstrate relevant influences, partly due to the location of the spillway (1,000 m downstream) in relation to the ladder.

The hydraulic model of the experimental Fish Migration Channel project of Itaipu Binacional showed promise in the attraction and ascent of the fishes of the Paraná River, especially regarding the characiformes and siluriformes migratory species, proving its feasibility for practical application in the dams of the Basin. It is necessary, however, to point out that fish ladders do not constitute a solution applicable to all the problems presented by the impoundment of subtropical migratory fish populations. Considered the capacity to continue the migratory process, the location of spawning areas and the capability to come back to downstream areas, have also a great importance. Due to the characteristics of the life cycle of these fishes, the ladders would be valid resources to assure the genetic heterogeneity of the upstream stocks, by re-establishing the contact between the subpopulations isolated by the impoundment (Agostinho et al, subm.). This, however, is only effective when relevant upstream stretches of the river remain free and are preserved.

Key words: Fish ladder, migration, selectivity, ascent.

PREFÁCIO GERAL

A bacia do alto Paraná drena uma área com grandes centros urbanos, industriais e agrícolas e se constitui na região mais intensamente explorada do país. Mais de 70% da produção hidrelétrica do Brasil é gerada nesta região (Eletrobrás, 1991). Os 45 represamentos maiores que 200 ha apenas neste trecho da bacia (estão previstos mais 24 até o final da década) transformaram os principais afluentes do rio Paraná (Grande, Tietê, Paranapanema e Iguaçu) em uma sucessão de lagos artificiais. O corpo principal do rio Paraná conta atualmente com cerca de 230 km de água corrente em território brasileiro, após o fechamento das comportas da hidrelétrica de Porto Primavera (Centrais Elétricas de São Paulo-CESP), em 1995. A hidrelétrica de Ilha Grande, se construída, eliminaria o último segmento livre do rio Paraná, cobrindo a planície de inundação que sustenta os estoques pesqueiros do reservatório de Itaipu e da calha deste rio. O curto trecho abaixo de Itaipu deverá ser represado pelo empreendimento argentino/paraguaio de Corpus.

Os represamentos bloqueiam os deslocamentos das espécies aos trechos superiores das bacias, onde, em geral, se localizam suas áreas de desova, resultando em impactos negativos sobre a reprodução e recrutamento, sendo os impactos decorrentes proporcionais aos graus de exigência das espécies em relação a este requisito.

Com o enchimento do reservatório de Itaipu em outubro de 1982, a barreira natural de migração dos peixes reofílicos, anteriormente caracterizada por Sete Quedas, foi substituída pela barreira artificial da hidrelétrica de Itaipu, localizada a 170 quilômetros abaixo de Sete Quedas, o que limitou consideravelmente a área de desova das espécies (Borghetti et al, 1990). A pressão pesqueira exercida sobre os cardumes, que na quadra reprodutiva se concentram a jusante da barragem, levou a Itaipu Binacional juntamente com a Universidade Estadual de Maringá a realizar estudos na área. As espécies com maior contribuição no peso

total capturado no período de março a dezembro de 1997 foram *Schizodon borelli*, *Auchenipterus nuchalis*, *Lycengraulis olidus*, *Potamorhina squamoralevis* e *Rhaphiodon vulpinus* (FUEM/ITAIPU, 1999).

No caso do terço inferior do alto rio Paraná, a suspensão da construção do reservatório de Ilha Grande e o uso do trecho livre a montante do reservatório de Itaipu pela maioria das espécies migradoras para desova e desenvolvimento inicial são fatos que conferem elevada viabilidade às medidas de transposição das espécies de jusante para montante, para a preservação da ictiofauna desta bacia.

Os estudos conduzidos por Agostinho (1993) revelam que a atividade reprodutiva da assembléia de peixes que se concentram nos primeiros quilômetros a jusante da barragem de Itaipu tem decrescido progressivamente, especialmente em relação às espécies de maior porte e de interesse para a pesca. Embora seja registrado grande número de indivíduos com gônadas em franco desenvolvimento maturacional, o processo de regressão ovariana é muito freqüente, fato que tem importantes reflexos no recrutamento futuro.

A sobrevivência de ovos e larvas submetidas às condições possivelmente adversas deste trecho é ainda desconhecida. Entretanto, a utilização da área para a desova justifica cabalmente medidas mitigadoras que assegurem a complementação do processo reprodutivo (Borghetti, 1993).

Entre as medidas tomadas destacam-se: o controle do fluxo da água vertida, evitando alterações bruscas e amplas no rio Paraná, o qual, a despeito de ser fruto de um acordo internacional visando prevenir outros impactos, atua favoravelmente sobre a comunidade de peixes; controle da atividade pesqueira nos primeiros quilômetros a jusante da barragem; resgate de peixes presos nos tubos de sucção das turbinas durante os trabalhos de manutenção e a construção de um modelo experimental de um canal de migração de peixes, composto por uma escada de peixes do tipo "degraus-tanques" com um desnível de até 27 metros

(dependendo da cota do rio Paraná), um canal em serpentina com 100 metros e tanques, sendo a estrutura construída em ferro reaproveitado dos depósitos da Hidrelétrica (Fernandez, 1996).

O modelo experimental do canal de migração de peixes, entrou em funcionamento no final de 1992, com o objetivo de pesquisar os fatores relacionados à atração e dinâmica da reprodução das espécies de peixes de piracema ou reofílicos, e com base nos resultados obtidos, implementar medidas que possibilitem a manutenção do estoque pesqueiro a jusante de Itaipu, ou possibilitar subsídios técnicos para uma futura estrutura definitiva (Canal de Transposição de Peixes do Parque da Barragem) de transposição da barragem pelos exemplares adultos das espécies migradoras, bem como o retorno dos espécimes jovens ao rio Paraná. As primeiras amostragens constataram a presença de exemplares de *Prochilodus lineatus*, *Pimelodus maculatus*, *Oxidoras knerii*, *Leporinus elongatus*, *Leporinus friderici*, *Leporellus vitatus*, *Pterodoras granulosus*, *Pseudoplastystoma corruscans*, *Hemisorubim platyrhynchos*, *Loricaria sp*, *Astyanax asuncionensis*, *Salminus maxillosus*, *Brycon microlepis*, *Parodon tortuosus*, *Rhinelepis aspera*, *Hypostomus regani*, *Potamorhina squamoralevis*, *Astyanax sp* e *Brycon orbignyanus*. A ocorrência ou não de desova na estrutura ainda não havia sido comprovada, visto que a desova depende da conjugação de uma série de fatores fisiológicos e ambientais e seu grau de seletividade não foi verificado por um esforço padronizado de amostragens. O presente estudo abrange estudos mais profundos sobre o grau de seletividade da escada de peixes do projeto, com dimensão espaço-temporal significativa (28 meses, englobando três períodos de piracema), abrangendo aspectos da bionomia das espécies que ascendem total ou parcialmente a estrutura, sua relação à riqueza de espécies observadas no rio Paraná, bem como à variação diária na ascensão de peixes e os fatores ambientais relacionados.

Este estudo, é apresentado em forma de três trabalhos. O primeiro, identificando a riqueza de espécies na escada de peixes do projeto experimental, comparando à riqueza de

espécies observadas no rio Paraná. Os estudos foram conduzidos de novembro de 1994 a fevereiro de 1997. As amostras obtidas indicam a magnitude da seletividade. Este trabalho será submetido à revista *Brazilian Archives of Biology and Technology*.

O segundo trabalho avaliou a eficiência da escada de peixes, em relação ao estágio reprodutivo dos indivíduos e em diferentes horários. As amostragens foram mensais nos períodos de outubro de 1995 a fevereiro de 1996 e de novembro de 1996 a janeiro de 1997, com esforço padronizado igual ao primeiro trabalho, em dois pontos da escada, a 10 metros de cota normal do rio Paraná (Caixa A) e a 27 metros (Caixa B). Este trabalho será submetido à revista internacional *Regulated Rivers: Research and Management*.

O terceiro trabalho avalia a sazonalidade da ascensão de peixes e as relações com a reprodução, temperatura, nível (cota) do rio Paraná e suas vazões. Será submetido à revista *Transactions of the American Fisheries Society*.

Todos os trabalhos estão formatados para publicação nas respectivas revistas científicas, com exceção do espaçamento entre linhas, ampliado para facilitar a leitura e os apontamentos dos membros da banca examinadora.

HISTÓRICO DAS ESCADAS DE PEIXES

As passagens para peixes tem uma longa história, iniciada na Europa há pelo menos 300 anos (Clay, 1993). A necessidade de se construir passagens para que os peixes migradores, pudessem transpor obstáculos nos rios, aparentemente desenvolveu-se simultaneamente nos países do hemisfério norte, onde ocorre a migração de salmonídeos, grupo de peixes importantes na indústria pesqueira destes países.

No hemisfério norte foram desenvolvidos 5 tipos de modelos hidráulicos de passagens ou escadas para peixes: *i* seqüência de tanques, dispostos em diferentes patamares, onde o peixe necessita pular ou ascender pela lâmina d'água ao tanque seguinte (tipo pool & weir); *ii* seqüência de tanques, com passagem de superfície e de fundo por meio de orifícios,

por onde o peixe ascende ao tanque seguinte (tipo weir & orifice); *iii* com barreiras no centro, servindo de dissipadores de energia, modelo desenvolvido há mais de 85 anos na Bélgica (Denil, 1909), pelo cientista G. Denil (tipo Denil); *iv* seqüência de tanques e orifícios laterais com jatos d'água, desenvolvido em 1943, conhecido por tipo Hell's Gate (tipo pool and jet); *v* passagem para enguias, que consiste na disposição de tufos de fibra sintética ao longo de um canal inclinado (tipo eel pass). Também foram desenvolvidos elevadores e passagens de peixes do tipo eclusas verticais, conhecidas por fish locks ou passagens Borland (Kipper, 1959).

Existem mais de 2.500 estruturas de passagens de peixes no mundo, sendo aproximadamente 310 na América do Norte (75% do tipo seqüência de tanques ou pool & weir) e aproximadamente 50 na América do Sul. Destas, 30 no Brasil e todas (com exceção do modelo experimental de Itaipu) são do tipo seqüência de tanques (Quirós, 1988).

Na Europa, existem pelo menos 150 estruturas de passagem de peixes. Na França, 28 passagens contam com sistemas automáticos de contagem de peixes (Travade, 1990). Somente na bacia do rio Meuse, existem 16 passagens para peixes, sendo uma delas do tipo Denil com 5,1 metros de desnível e capaz de atrair 21 espécies diferentes de peixes (Etienne, 1994). Na África, a primeira escada de peixes foi construída na represa de Jabel Aulia, junto ao rio Nilo no Sudão, não havendo levantamentos precisos neste continente, mas há registro de passagens de peixes no Marrocos e na África do Sul.

Harris descreve na Oceania, 29 passagens de peixes, com desníveis inferiores a 8 metros, com desenho hidráulico baseado nas escadas para salmonídeos da Europa e da América do Norte, sendo 75% consideradas como de operação insatisfatória (Harris, 1984). A revista *Australian Geographic*, relata a ascensão da enguia australiana, *Anguilla reinhardtii* no reservatório de Warragamba, com 110 metros de desnível, por meio do canal natural de um pequeno córrego e de canais de águas pluviais, após uma migração de 4.000 Km (Park,

1986). Com relação à Ásia, o Japão possui 1.396 passagens para peixes, sendo a maioria do tipo seqüência de tanques (pool & weir) e algumas do tipo Denil e do tipo voltado para enguias (Sasanabe, 1990). A China possui 40 passagens de peixes, sendo 29 na província de Jiangu, todas abaixo de 15 metros de desnível e apenas 3 com bons resultados para enguias e para 4 espécies principais de carpas (Xiangke, 1986). Pantulu, em 1988, descreveu escadas de peixes na Tailândia e na Índia, com resultados que beneficiam algumas espécies de ciprinídeos e siluroides.

A instalação de escadas de peixes no Brasil era exigida pela legislação da primeira metade do século (Lei 2250, de 28.12.1927; decreto 4390, de 14.03.1928 e Decreto Lei 794, de 19.10.1938) que prescrevia a "*todos quantos, para qualquer fim, represarem as águas dos rios, ribeirões e córregos, são obrigados a construir escadas que permitam a livre subida dos peixes*" (Agostinho, 1997).

A primeira escada de peixes foi construída em 1911 sobre o rio Pardo, na bacia do Paraná, atualmente ainda em funcionamento, permitindo a passagem de algumas espécies de piracema (Godoy, 1985). Em 1922, foi construída a segunda escada, sobre o rio Mogi Guassu, na represa de Cachoeira das Emas, em Pirassununga, Estado de São Paulo. Após reformas, atualmente esta escada do tipo seqüência de tanques possui um desnível de 3 metros de altura, com degraus de 15 metros de largura, 5 de comprimento e 75 centímetros de profundidade.

No rio Paranapanema, represa de Pirajú, Estado de São Paulo, se construiu uma escada com 13,5 a 16 metros de desnível, composta por 25 degraus tanques, com diferença de nível de 50 cm entre cada degrau, totalizando 84 metros de extensão, com eficiência razoável na opinião dos funcionários da hidrelétrica (Castello, 1982)

A escada de peixes do Salto Mauá, sobre o rio Tibaji em Monte Alegre, Estado do Paraná, tem um desnível de 6 metros e por ela ascendem espécies dos gêneros: *Prochilodus*,

Salminus, *Astyanax*, *Acestrorhynchus*, *Pseudoplatystoma*, *Pimelodus*, *Pimelodella* e *Hypostomus* (Godoy, 1985).

Segundo Godoy (1985), foram construídas 23 escadas de peixes em represas e açudes do Nordeste entre 1957 e 1980, todas funcionando satisfatoriamente. A mais antiga, construída no açude de Pilões, na Paraíba, permitiu a subida de 1.360 peixes por hora no inverno de 1960 (Gurgel, 1981). No açude de Menduim em Açú, Rio Grande do Norte, foi construída uma escada com 16 tanques e um desnível de 6,65 metros. Durante quatro anos de estudos, foram registrados 98.312 exemplares de *Prochilodus cearensis*, com uma média de 332 peixes por hora (Gurgel, 1977).

Uma escada do tipo seqüência de tanques foi construída em 1980 no açude de Pocó do Barro, Morada Nova, Ceará, com um comprimento de 163 metros, com um desnível de 15 metros, com registro de ascensão de peixes desde o seu início (Godoy, 1985).

A eficiência das escadas na transposição de peixes é, entretanto, um assunto controverso e normalmente discutido e relatado de forma pouco científica. As escadas de peixes não devem ser consideradas como um fim em si mesmo e sim como mais um instrumento para operacionalizar o manejo embasado no monitoramento espaço-temporal das populações de peixes, levando em consideração a natureza da ictiofauna e do ecossistema inserido.

BIBLIOGRAFIA DO PREFÁCIO

- AGOSTINHO, A. A., 1993. Pesquisas. Monitoramento e Manejo da Fauna Aquática em Empreendimentos Hidrelétricos. In: SEMINÁRIO SOBRE FAUNA AQUÁTICA E O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO. Caderno 1, p. 38-59.
- AGOSTINHO, A. A. & GOMES, L.C.1997. **Reservatório de Segredo, bases ecológicas para o manejo.** Maringá: EDUEM. 387p.

- BORGHETTI, J. R., AGOSTINHO, A. A. e NAKATANI, K., 1990. Administração
Pesqueira no Reservatório de Itaipu, **Limnologia e Manejo de Represas**, p. 154-182.
- BORGHETTI, J. R., CHENA, D. P. and NOGUEIRA, S. V. G., 1993. Implantation of a fish
migration channel for spawning at the Itaipu hydroelectric power station. *Water Power
and Dam Construction*, 5:24-25.
- CLAY, C. H., 1993. **Design of Fishways and Other Fish Facilities**. Second Edition,
Lewis Publishers, Boca Raton. 244p.
- DENIL, G., 1909. Les échelles a poissons et leur application aux barrages de Meuse et
d'Ourthe, *Annales des Travaux Publics de Belgique*.
- ELETROBRÁS, 1991. **Plano Diretor de Meio Ambiente do Setor Elétrico 1991/1993**.
Rio de Janeiro, Centrais Elétricas Brasileiras, 2 vol.
- ETIENNE, B., LAMBERT H. AND PHILIPPART, J. C., 1994. A comprehensive
assessment of the failure of *Barbus barbus* spawning migrations through a fish pass in
the canalized River Meuse (Belgium), *Aquat. Living Resour.*, 7, 181 – 189.
- FERNANDEZ, D. R. e ORO, E., 1996. Variações diurnas na escada de peixes do projeto
experimental canal de migração para desova da Itaipu Binacional. In: CONGRESSO
DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3, Brasília, outubro de 1996.;
- FUEM/ITAIPU, 1999. **Reservatório de Itaipu, aspectos Biológicos e Socioeconômicos
da Pesca**. Relatório 1997/98, 237p.;
- GURGEL, J. J. S., SILVA, J. W. B. E DUARTE, E. A. 1977. A escada de peixe do açude
Menduim (Açu, RN) e sua eficiência para curimata comum, *Prochilodus cearensis*
(Steindachner, 1911). *Bol. Tec. Nac. Obras Contra Secas Fortaleza*, (3):51-9.
- GURGEL, J. J. S., 1981. **O DNOCS e a piscicultura**. Fortaleza, Brasil, DNOCS, 35p.

- GODOY, M. P., 1985. **Aquicultura. Atividade multidisciplinar. Escadas e outras facilidades para passagens de peixes. Estações de piscicultura.** Florianópolis, Brasil, Eletrosul, 77p.
- HARRIS, J. H., 1984. A survey of fishways in streams of coastal south-eastern Austrália, *Aust. Zool.*, 21(3).
- KIPPER, Z.M. AND I.V. MILEIKO, 1967. Fishways in Hidro Developments of the U.S.S.R., Clearinghouse for *Federal Sci. And Tech. Inf.*, Springfield, VA. TT 67-51266.
- PANTULO, V. R., 1984. Fish of the lower Mekong Basin. In **The Ecology of River Systems**, Dr. W.Hunk Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- PARK, A., 1986. Incredible Voyagers, the mysterius migratory journey of the freshwater eel, *Australian Geographic*, v.1, n.1.
- QUIRÓS, R., 1988. Structures Assisting Migrations of Fish Other than Salmonids: Latin America, *FAO-COPESCAL Tech. Doc.* n°5, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 50p.
- SASANABE, S., 1990. The Present Conditions and Hidraulic Model of Fishways in Japan. *Precedings of the International Symposium on Fishways 90* in Gifu, Japan p. 29 – 35.
- TRAVADE, F., 1990. Monitoring Techniques For Fish Passes Recently Used in France. *Proceedings of the International Symposium on Fishways 90* in Gifu, Japan p.119 –126.
- XIANGKE, L. 1986. A Review on Reservoir Fisheries in China, *FAO Fish. Circ.* n° 803. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Seletividade da escada experimental de peixes do Canal de Migração da Itaipu Binacional.

ABSTRACT

The specific selection of a weir & orifice type experimental fish ladder in the dam of the Itaipu hydroelectric power plant (Paraná River), was evaluated by samplings in the river downstream and at two points along the ladder (at heights of 10 m and 27 m) during 28 months. Of the 65 species recorded in the river immediately downstream of the dam, 27 were captured on the ladder. The species that showing greatest density on the ladder, majority migratory, were moderately, or only slightly, abundant downstream. Among the most abundant species downstream, only one, non migratory, was recorded on the ladder. The structure presented a negative selectivity in relation to the large migratory pimelodids, that might be overcome by enlarging the scale of its design. The sampling demonstrated a low specific selectivity along the ladder and its hydraulic model proved satisfactory regarding the attraction and efficient ascent of the fishes.

Key words: Fish ladder, migration, selectivity, ascent.

INTRODUÇÃO

Com a formação do reservatório de Itaipu em outubro de 1982, a barreira natural à migração de peixes reofílicos do médio Paraná, anteriormente caracterizada pelos saltos de Sete Quedas, foi substituída pela barreira artificial da hidrelétrica de Itaipu, localizada a 170 Km a jusante. Os estudos conduzidos por Agostinho (1993) revelam que a atividade reprodutiva da assembléia de peixes que se concentram nos primeiros quilômetros a jusante da barragem de Itaipu tem decrescido progressivamente, especialmente em relação às espécies de maior porte e de interesse para a pesca. Como solução de problemas desta natureza, tem sido sugerida a construção de escadas para a subida dos peixes, dando continuidade a sua migração. Entretanto, não há estudos acerca da

eficiência de escadas de grande porte para a transposição de peixes neotropicais. Exceto pelos resultados preliminares obtidos pela Itaipu Binacional (Borghetti, 1993), a habilidade dos peixes da bacia do rio Paraná em vencer os obstáculos interpostos pela altura, vazão ou modelo das estruturas de transposição das barragens, é ainda desconhecida. A ausência de informações consistentes é também responsável pela polêmica que cerca este tema nas discussões no âmbito dos setores elétrico e acadêmico (Britski, 1994).

A implantação do projeto experimental Canal de Migração a jusante da hidrelétrica de Itaipu, teve como objetivo auxiliar os fatores relacionados à atração e dinâmica da migração das espécies

potamódromas do médio Paraná. Estudos sobre o grau de seletividade desta escada para peixes, contemplando a dimensão espaço-temporal e os aspectos bionômicos das espécies (aspectos reprodutivos e tróficos), e da comunidade (abundância e diversidade) são importantes para subsidiar o correto manejo das estruturas de transposição de peixes em barragens (Fernandez, 1996). Neste trabalho são comparadas as composições específicas e as abundâncias relativas de peixes em amostras obtidas em duas regiões de uma escada experimental bem como, avaliada a seleção específica das espécies que ingressam essa escada em relação à assembléia de peixes que habitam o curso do rio Paraná imediatamente inferior, tendo como base a abundância relativa em levantamentos realizados em períodos subsequentes. As diferenças verificadas de composição e abundância são tomadas como indicadoras desta seleção.

MATERIAIS E MÉTODOS

A escada de peixes utilizadas nesse estudo é parte da estrutura concebida pelas áreas de Meio Ambiente e Engenharia da Itaipu Binacional no projeto experimental Canal de Migração de Peixes, construída a jusante da barragem da hidrelétrica de Itaipu, junto ao canal de fuga da 15ª unidade geradora e destinada às pesquisas de fatores relacionados à atração e dinâmica da migração das espécies potamódromas do médio Paraná (Fig.1). Os dois outros componentes dessa estrutura são um canal em serpentina, que, como a escada, é metálico e um tanque de concreto. A escada possui 27 metros de desnível médio e 155 metros de

extensão, com degraus-tanques medindo 1,8 x 1,4 x 1,0 metros. Cada degrau possui aberturas de superfície (0,30 x 0,40 m) e de fundo (0,30 x 0,60m) em posições opostas e redutores de velocidade em formato triangular (5 cm de altura) dispostos em paralelo no fundo. Durante o estudo, a vazão aproximada nos degraus foi de 334 litros por segundo e a velocidade 2,2 metros por segundo. Amostras de peixes foram obtidas mensalmente durante o período de novembro de 1994 a fevereiro de 1997, em dois pontos da escada de peixes. O primeiro localizou-se no segundo remanso de descanso da escada, a 40 metros de sua base e numa altura de 10m da cota média do rio Paraná, aqui denominado *Caixa A*. O segundo, chamado *Caixa B*, localizado no quarto remanso, ao final da escada, a 155m da base e 27m de altura (Figura1). As amostras foram obtidas com puçás nas malhagens de 5 e 15mm, operados durante 1 e 3 minutos, respectivamente. Adicionalmente, foram realizadas amostragens trimestrais no ano de 1997, empregando-se redes de espera nas malhagens de 2,4 a 16cm, além de espinhéis, no trecho a jusante da escada. Os peixes coletados foram identificados a nível específico, registrando-se o local de captura.

A riqueza de espécies, nas caixas e a jusante foi estimada através do índice proposto por Chao (1987). Trata-se de um índice não paramétrico que utiliza apenas dados de incidência específica (dados de presença/ausência), calculado através da seguinte formulação:

$$S_{\text{Chao2}} = S_{\text{obs}} + \frac{Q_1^2}{2Q_2}$$

onde S_{obs} é o número total de espécies observado

em todos os meses de coleta e Q_1 e Q_2 são os números de espécies que foram capturadas em um

único mês e em exatamente dois meses de coleta, respectivamente.

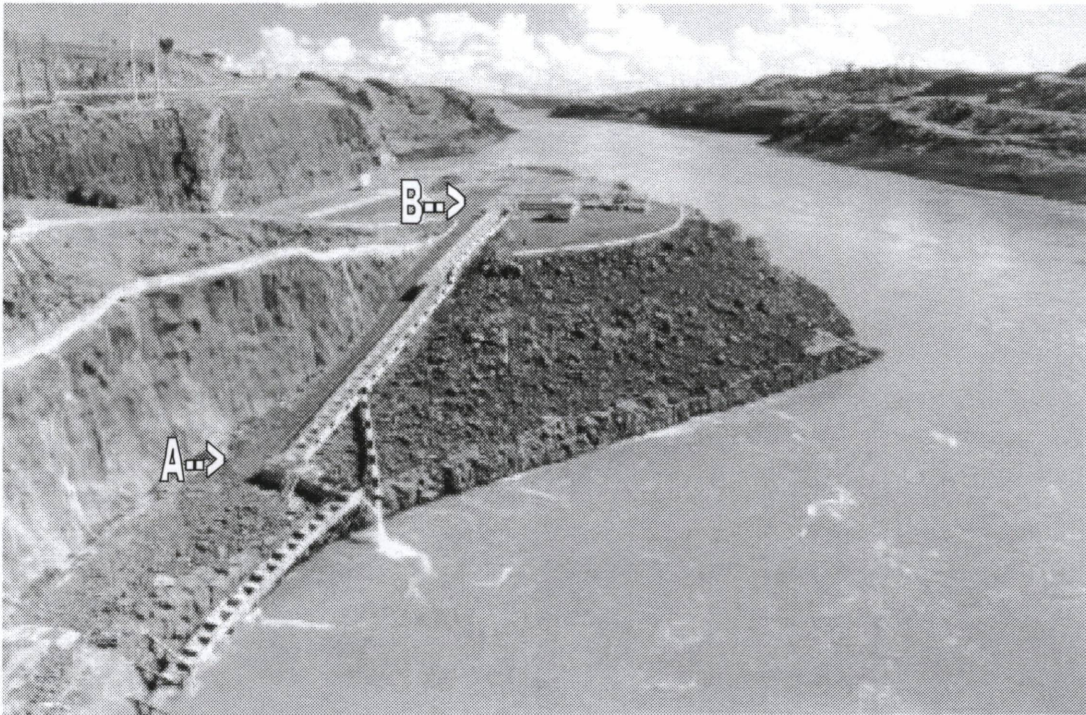


Figura 1 Escada experimental de peixes localizada imediatamente a jusante da hidrelétrica de Itaipu, mostrando os pontos de amostragens (A, com desnível médio de 10m; B, com desnível médio de 27m)

As diferenças entre essas estimativas e a riqueza de espécies à jusante do reservatório de Itaipu indica com maior precisão a magnitude da seletividade, uma vez que a utilização dos índices, ao contrário dos valores observados, pode minimizar problemas de insuficiência amostral. Os padrões de similaridade entre as observações (jusante, caixas A e B) foram sintetizados através de uma análise de correspondência com remoção do efeito do arco (DCA; Hill & Gauch, 1980).

A abundância de peixes amostrados na escada e no trecho a jusante foi expressa em percentual do total registrado em cada local.

RESULTADOS

As amostras realizadas para indivíduos de médio e

grande porte (acima de 10 cm de comprimento padrão) totalizaram 1.461 indivíduos, sendo 44,3% deles na caixa B. Para os de pequeno porte (abaixo de 10 cm) esse número foi de 18.574 indivíduos, dos quais 36,5% na caixa B. Na área a jusante da escada, as amostragens realizadas nos quatro meses considerados (março, junho, setembro e dezembro de 1997) resultaram na captura de 1.835 indivíduos, pertencentes a sessenta e cinco espécies. Vinte e sete espécies (41,9% daquelas capturadas a jusante) foram registradas na escada, sendo 81,5% delas no ponto intermediário (Caixa A) e 85,2% no topo (Caixa B) – Tab.1.

Entre as cinco espécies mais abundantes a jusante (>5% do total capturado), apenas

Schizodon borelli foi registrada na escada. As seis espécies mais abundantes e com maior frequência de ocorrência na escada tiveram abundância numérica moderada (em relação a outras espécies) a jusante, exceto *Leporinus friderici*, pouco abundante e *Bryconamericus stramineus*, uma espécie de pequeno porte para a qual as capturas de jusante foram negativamente seletivas em função dos aparelhos de pesca utilizados. Por outro lado, duas espécies raras a jusante (*Acestrorhynchus lacustris*, *Sorubim lima*) apresentaram frequência e ocorrência moderada na escada (Tab.1).

Tabela 1. Espécies amostradas, abundância relativa e frequência de ocorrência (meses) na escada (Caixa A e Caixa B) e na área abaixo (Jusante). [abundância em relação às capturas totais no local: +++ = alta (>5%), ++ = moderada (<5% e >0,5%), + = baixa (<0,5% e >0,05%), . = rara (<0,005%), - = ausente; * = sem dados disponíveis; números entre parênteses = % de indivíduos em relação ao total registrado na escada].

Espécies	código	Caixa A		Caixa B		JUSANTE
		Abundância	Ocorrência	Abundância	Ocorrência	Abundância
<i>Hemisorubim platyrhynchos</i>	15	+	2	-	-	++
<i>Astyanax fasciatus</i>	57	.	1	-	-	.
<i>Leporinus</i> sp	63	+	1	-	-	.
<i>Astyanax</i> sp	61	+	1	-	-	*
<i>Bryconamericus stramineus</i>	56	+++	24 (63,5)	+++	25 (36,5)	*
<i>Astyanax asuncionensis</i>	2	+++	23 (45,2)	+++	20 (54,8)	++
<i>Leporinus friderici</i>	20	+++	23 (45,4)	+++	16 (54,6)	+
<i>Leporinus elongatus</i>	19	+++	21 (69,0)	+++	15 (31,0)	++
<i>Prochilodus lineatus</i>	34	+++	19 (62,8)	+++	16 (37,2)	++
<i>Pimelodus maculatus</i>	35	++	10 (28,6)	+++	8 (71,4)	++
<i>Leporellus vittatus</i>	24	++	6	+	2	++
<i>Acestrorhynchus lacustris</i>	62	++	5	++	4	.
<i>Cheirodon</i> sp	59	+	5	+	3	*
<i>Pterodoras granulosus</i>	33	++	5	++	4	++
<i>Schizodon borelli</i>	47	++	5	++	4	+++
<i>Apareiodon affinis</i>	1	++	4	++	2	++
<i>Pimelodus ornatus</i>	36	++	4	++	4	+
<i>Sorubim lima</i>	49	+	4	++	1	.
<i>Hypostomus</i> sp	17	++	3	++	4	++
<i>Iheringichthys labrosus</i>	18	+	1	+	2	+
<i>Odontostilbe microcephala</i>	58	.	1	.	2	*
<i>Salminus maxillosus</i>	51	+	1	+	1	++
<i>Characidium</i> sp	60	-	-	.	1	*
<i>Megalancistrus aculeatus</i>	65	-	-	+	1	.
<i>Oxidoras knerii</i>	64	-	-	+	1	.
<i>Pseudopimelodus zungaro</i>	40	-	-	++	2	.
<i>Roebooides paranensis</i>	44	-	-	+	1	.
<i>Auchenipterus nuchalis</i>	4	-	-	-	-	+++
<i>Lycengraulis olidus</i>	22	-	-	-	-	+++
<i>Potamorhina squamoralevis</i>	38	-	-	-	-	+++
<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	46	-	-	-	-	+++

Continua...

Continuação.

<i>Galeocharax knerii</i>	12	-	-	-	-	++
<i>Hemiodus orthonops</i>	14	-	-	-	-	++
<i>Hypostomus ternetzi</i>	16	-	-	-	-	++
<i>Leporinus striatus</i>	23	-	-	-	-	++
<i>Moenkhausia intermedia</i>	25	-	-	-	-	++
<i>Pseudoplatystoma corruscans</i>	30	-	-	-	-	++
<i>Parauchenipterus galeatus</i>	32	-	-	-	-	++
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	39	-	-	-	-	++
<i>Serrasalmus marginatus</i>	50	-	-	-	-	++
<i>Schizodon platae</i>	53	-	-	-	-	++
<i>Abramites hypselonotus</i>	3	-	-	-	-	+
<i>Brycon orbignyianus</i>	7	-	-	-	-	+
<i>Cynopotamus amazonus</i>	8	-	-	-	-	+
<i>Catathyridium jenynsii</i>	9	-	-	-	-	+
<i>Crenicichla nierderleinii</i>	10	-	-	-	-	+
<i>Eigenmannia</i> sp	11	-	-	-	-	+
<i>Leporinus octofasciatus</i>	21	-	-	-	-	+
<i>Pachyurus bonariensis</i>	28	-	-	-	-	+
<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	31	-	-	-	-	+
<i>Pimelodella</i> sp	41	-	-	-	-	+
<i>Potamotrygon</i> sp	42	-	-	-	-	+
<i>Pinirampus pirinampu</i>	37	-	-	-	-	+
<i>Tetragonopterus argenteus</i>	54	-	-	-	-	+
<i>Trachydoras paraguayensis</i>	55	-	-	-	-	+
<i>Ageneiosus ucayalensis</i>	5	-	-	-	-	.
<i>Brycon microlepis</i>	6	-	-	-	-	.
<i>Hypophthalmus edentatus</i>	13	-	-	-	-	.
<i>Metynnis</i> sp	26	-	-	-	-	.
<i>Psectrogaster curviventris</i>	29	-	-	-	-	.
<i>Pimelodus fur</i>	27	-	-	-	-	.
<i>Roeboides bonariensis</i>	43	-	-	-	-	.
<i>Roeboides prognatus</i>	45	-	-	-	-	.
<i>Steindachnerina insculpta</i>	48	-	-	-	-	.
<i>Serrasalmus nattereri</i>	52	-	-	-	-	.

A riqueza de espécies observada nas caixas, para todos os meses de coleta, foi aproximadamente quatro vezes menor que a riqueza de jusante, considerando-se as amostras obtidas no período subsequente (Fig.2). Mesmo utilizando os valores estimados através do índice de Chao, que indica o

número de espécies esperado para um número maior de amostras, pode-se observar que mais da metade do “pool” potencial de espécies, ou seja, das espécies presentes à jusante, não é capturado nas caixas (Tab.2).

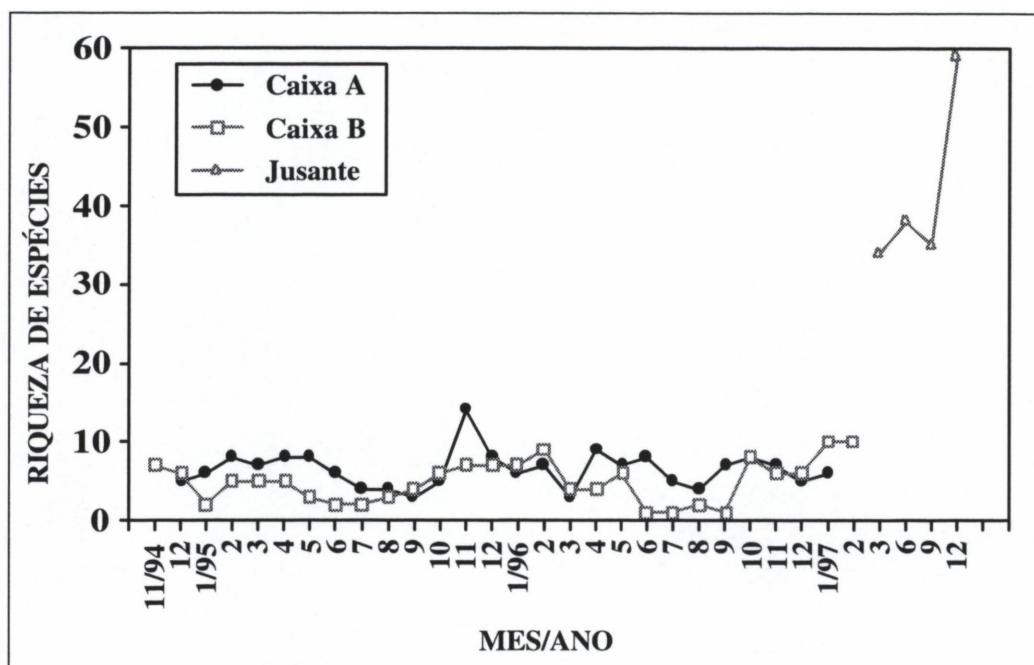


Figura 2. Variação mensal da riqueza de espécies (número de espécies) na escada de peixes e trecho do rio Paraná, a jusante da barragem de Itaipu.

Tabela 2 Número de espécies observado no conjunto das amostras (S_{obs}), por amostra (mediana, mínimo e máximo) e total estimado (índice de Chao, S^*) no ponto intermediário (Caixa A) e alto (Caixa B) da escada de peixes experimental da Itaipu Binacional. (N=número de amostras, DP=desvio padrão)

	N	S_{obs}	Mediana	Mínimo	Máximo	DP	(S^*)
Caixa A	26	22	6.5	3	14	2.3	31
Caixa B	26	23	5	1	10	2.5	28
Jusante	4	65	41.5	34	59	12	

A análise de correspondência indica que as composições específicas das caixas A e B são bastante similares (Fig.3). Todas as espécies capturadas nas caixas foram também capturadas a jusante do reservatório de Itaipu (Tab.1). Assim, a grande separação observada entre as amostras obtidas à jusante do reservatório das amostras obtidas nas caixas reflete, novamente, as

diferenças na riqueza de espécies (Fig.4). Os escores das espécies indicam, no entanto, que somente as espécies mais abundantes no rio Paraná, à jusante do reservatório de Itaipu, são capazes de alcançar as caixas com uma frequência mensal maior que 7 (Tab.1). Assim, a seletividade é aparentemente dependente da densidade.

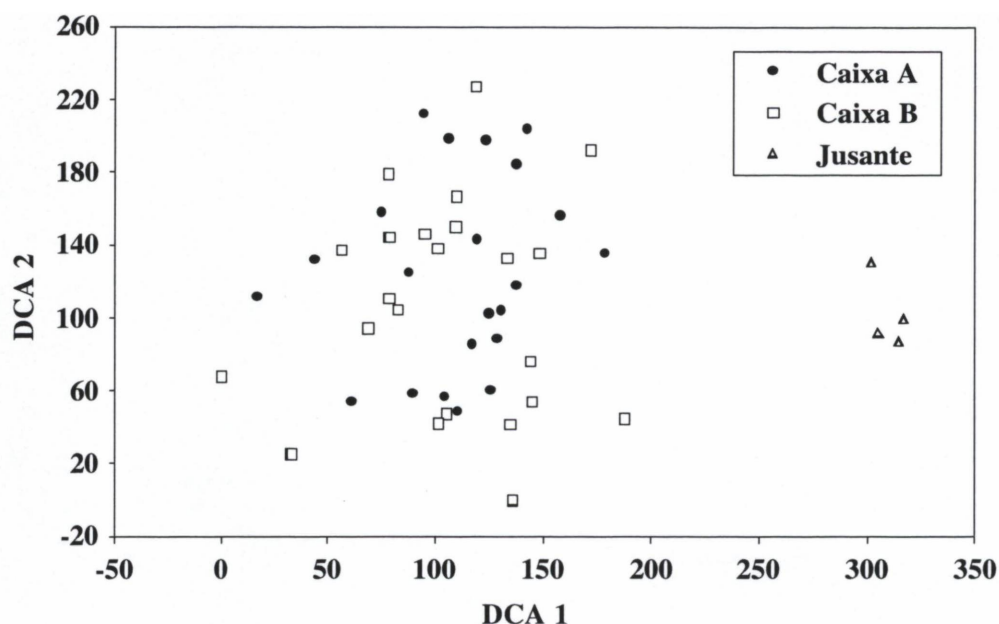


Figura 3. Escores das amostras derivado da análise de correspondência com remoção do efeito do arco.

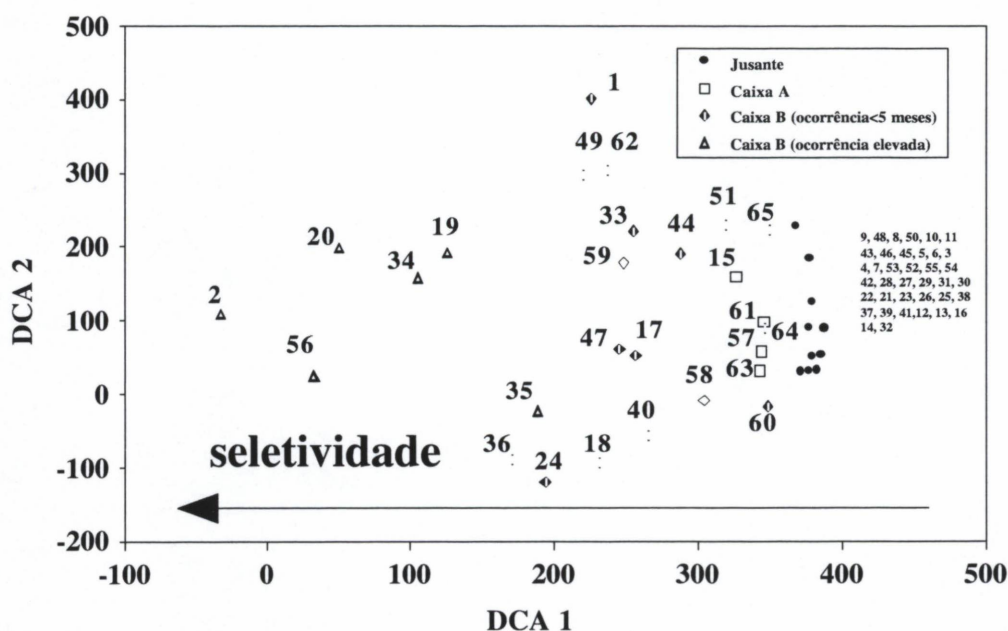


Figura 4 Escores das espécies derivado da análise de correspondência com remoção do efeito do arco (DCA).

DISCUSSÃO

A eficiência dos mecanismos de transposição de peixes em barragens depende das peculiaridades da ictiofauna a jusante, particularmente daquelas relacionadas à

capacidade de migração e à reofilia (preferências por habitats lóticos). Mesmo obstáculos baixos (40cm) podem se revelar altamente seletivos, dependendo das características da fauna local (Peter, 1998). Entretanto, mesmo em assembléias em que a composição específica se revela

favorável à ascensão, fatores como a localização do acesso à escada, sua capacidade de atração e os padrões locais de circulação da água a jusante são críticos para que o processo ocorra, podendo determinar elevada seletividade. Caso a entrada não seja prontamente reconhecida, os peixes podem permanecer em suas imediações por tempo prolongado, atrasando a migração e comprometendo a desova, ou mesmo jamais acessa-la (Agostinho et al, subm.). Este fator é agravado pelo estresse provocado pelas condições não naturais do ambiente imediatamente a jusante da barragem, especialmente aquelas ligadas à temperatura, velocidade e qualidade da água (Clay, 1995).

Na bacia do alto rio Paraná, cerca de 21% das espécies são classificadas como grandes migradoras, que se adicionadas àquelas que realizam pequenas migrações chega a percentuais de 34,4% da ictiofauna (Agostinho et al., 2000). Tendo como referência a classificação das espécies conforme a estratégia reprodutiva realizada por este autor, verifica-se que, a jusante da barragem de Itaipu, cerca de 28% das espécies registradas podem ser consideradas como grandes migradoras, que somadas às migradoras de curtas distâncias correspondem a 60% do total. Na escada experimental testada, onde foi registrada 42% das espécies presentes no trecho imediatamente a jusante da barragem (65), as não migradoras contribuíram com quase 36% das espécies registradas. A eficiência na localização da escada e ingresso foi mais pronunciada entre os migradores (60% das espécies do trecho a jusante) que entre os não migradores (28%). Na

hidrelétrica no rio Tijuco, alto Paraná, a escada de peixes atraiu 34 das 41 espécies presentes (Godinho et al., 1991). Problemas com a localização da entrada das escadas pelos peixes têm sido apontados como responsáveis pela ineficiência de muitas destas estruturas em diferentes continentes (Quirós, 1988; Larinier, 1998; Williams, 1998; Oldani et al. submetido). Schwalme (1985) testou a eficiência de três escadas de peixes (uma do tipo degraus-tanques e duas tipo Denil, com declividades entre 10 a 20%) para espécies de não salmonídeos no rio Lesser Slave, relatando que embora milhares de exemplares de espécies reoflicas ascenderam às escadas, algumas espécies deste grupo não as usaram.

As espécies não migradoras que são bem sucedidas na localização e ingresso na escada são, em geral, aquelas de porte reduzido e que habitam regularmente águas correntes (*Characidium*, *Astyanax*, *Bryconamericus*). Já entre as grandes migradoras não registradas na escada durante este estudo, as razões para o fato pode estar na baixa frequência no trecho a jusante (*Brycon orbignyanus*, *B. microlepis*, *Pseudoplatystoma fasciatum*, *Pirirampus pirinampu*, e *Pimelodus fur*) e ou restrições impostas pelo desenho da escada (*Pseudoplatystoma corruscans* e *Rhaphiodon vulpinus*). Restrições impostas ao tamanho ou altura dos peixes pelas dimensões das aberturas superficiais e de fundo nas paredes que separam os tanques nesse tipo de escada têm sido mencionadas por Borghetti et al. (1993) e Agostinho et al. (subm.). Um monitoramento realizado na passagem de peixes da represa

Tailfer, no rio Meuse, na Bélgica, revelou que 93,4% do total dos exemplares eram de espécies não reofílicas (Haro, 1999).

O desenho da escada e o regime hidráulico associado constituem fatores fundamentais para a ascensão dos peixes, sendo responsável por grande parte da seleção imposta por estas facilidades (Clay, 1993). Martins (2000), testando cinco modelos de escada entre os mais frequentemente utilizados, concluiu que o tipo de escada deste estudo está entre os dois mais promissores, visto que permite controle adequado de velocidade e vazão, uma das mais efetivas taxas de dissipação de energia, com linhas de fluxo definidas e ausentes de recirculações ou vórtices comprometedores, minimizando assim a desorientação dos peixes. Além disso, este modelo apresenta concepção estrutural simples.

De modo geral, as amostragens em dois pontos da escada de peixes (caixas A e B), evidenciaram baixa seletividade específica ao longo da escada durante o período. De um total de 27 espécies que ingressaram na escada, 22 foram registradas a 10 metros de desnível, e 24 a 27m. Apenas quatro espécies permaneceram restritas ao trecho intermediário da escada (*Hemisorubim platyrhynchos*, *Astyanax fasciatus*, *Astyanax* sp e *Leporinus* sp), todas elas em baixa abundância. Entre as cinco espécies registradas exclusivamente a 27 metros (*Pseudopimelodus zungaro*, *Roebooides paranensis*, *Characidium* sp, *Oxidoras knerii* e *Megalancistrus aculeatus*), apenas *P.zungaro* mostrou frequência moderada, implicando em baixa probabilidade de seu registro nos trechos intermediários da escada

(FUEM/Itaipu, 1999). A habilidade de espécies como *Prochilodus lineatus*, *Pimelodus maculatus* e *Leporinus* spp em vencer velocidades elevadas de correntes e/ou ascender escadas de peixes é relatada por Borghetti et al. (1994) e Godoy (1985).

Embora as capturas nos dois trechos amostrados da escada tenham revelado coincidência entre as espécies mais abundantes e de maior ocorrência nas amostras mensais, a ascensão dos peixes ao topo da escada mostrou maior restrição na ocorrência. Também o número total de exemplares foi inferior neste trecho (814 a 10 metros e 647 a 27 metros). Estas diferenças devem estar relacionadas ao maior esforço necessário para atingir o segundo ponto de amostragem, com 17 metros a mais de desnível. Na escada de peixes da hidrelétrica do rio Tijuco (25 degraus; 78m de extensão e 10,8m de desnível), apenas 15% das espécies que ingressaram na escada alcançou seu topo, correspondendo a apenas 2% do número de exemplares (Godinho et al., 1991).

Considerando-se que as restrições a algumas espécies migradoras, como os grandes pimelodídeos, possam ser superadas com uma alteração de escala na construção, o modelo hidráulico da escada de peixes experimental desenvolvido em Itaipu demonstra ser eficiente na atração e ascensão de peixes.

Cabe, entretanto, ressaltar que as escadas de peixes não se constituem em solução aplicável a todos os problemas gerados pelos represamentos às populações de peixes migradores neotropicais. Devido às características do ciclo de vida destas espécies, as escadas seriam recursos válidos para

assegurar a heterogeneidade genética dos estoques a montante, através do restabelecimento do contato de sub-populações isoladas pelo represamento (Agostinho et al, *subm.*). Isto, entretanto, só será efetivo enquanto trechos relevantes do rio a montante permanecerem livres e preservados.

RESUMO

A seleção específica de uma escada de peixes do tipo sequência de tanques, com passagem de fundo (tipo weir & orifício), na barragem da hidrelétrica de Itaipu (rio Paraná), foi avaliada através de amostragens no rio a jusante (amostragem trimestral em 1997) e em dois pontos ao longo da escada (10 e 27m de altura; nov/94 a jan/97 e nov/94 a fev/97, respectivamente). Das 65 espécies registradas no rio imediatamente a jusante da barragem, 27 foram capturadas na escada. As espécies com maior densidade na escada, em sua maioria migradoras, tiveram abundância moderada ou baixa a jusante. Entre as mais abundantes a jusante, apenas uma, não migradora, foi registrada na escada. A estrutura apresentou seleção negativa aos grandes pímelodídeos migradores que pode ser superada com a ampliação na escala de seu projeto. As amostragens evidenciaram baixa seletividade específica ao longo da escada e seu modelo hidráulico mostrou-se satisfatório na atração e eficiente na ascensão de peixes.

BIBLIOGRAFIA

Agostinho, A. A. (1993), Pesquisas, Monitoramento e Manejo da Fauna Aquática em Empreendimentos Hidrelétricos. Seminário sobre fauna aquática e o Setor Elétrico Brasileiro. Caderno 1, 38-59.
Agostinho, A. A.; Thomaz, S. M.; Mente-Vera, C. V. and Winemiller, K. O. (2000), Biodiversity in the

high Paraná river floodplain. In: B. Gopal; W. J. Junk; J. A. Davis (Eds). Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation. New Delhi: School of Environmental Sciences Jawaharlal Nehru University, V. 1, p. 89-118 2000.
Agostinho, A. A.; Gomes, L. C. and Fernandez, D. R., Fish ladders as an instrument for the conservation and management of fishing resources in Brazil. Submetido a Revista Ciência e Cultura.
Borghetti, J. R., Chena, D. P. and Nogueira, S. V. G. (1993), Instalation of a fish migration channel for spawning at the Itaipu hydroelectric power station. Regul. Water Power and Dam Constrution, 5:24-25.
Borghetti, J. R.; Nogueira, V. S. G.; Borghetti, N. R. B. and Canzi, C. (1994), Short Communication - The fish ladder at the Itaipu Binational hydroelectric complex on the Paraná river, Brazil. Regulated Rivers: Reserarch & Management, v. 9, p. 129-130.
Britski, A. (1994), As bacias hidrográficas e a preservação da biodiversidade. Seminário sobre fauna aquática e o Setor Elétrico Brasileiro. Caderno 6, 30-37.
Chao, A. (1987), Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. Biometrics 43: 783-791.
Clay, C. H. (1993), Design of Fishways and Other Fish Facilities, Second Edition, Lewis Publishers, Boca Raton, 244pp.
Fernandez, D. R. e E. Oro (1996), Variações diurnas na escada de peixes do projeto experimental canal de migração para desova da Itaipu Binacional, 3º Congresso de Ecologia do Brasil, Brasília, outubro de 1996.
FUEM/Itaipu (1999), Reservatório de Itaipu, aspectos Biológicos e socioeconômicos da pesca. Relatório 1997/98, 237 p.
Godinho, H. P.; Godinho, A. L.; Formagio, P. S. and Torquato, V. C. (1991), Fish Ladder efficiency in a southeastern Brazilian river. Revista Ciência e Cultura, volume 43 (11 p. 63-67).;
Godoy, M. P. (1985), Aquicultura. Atividade multidisciplinar. Escadas e outras facilidades para passagens de peixes. Estações de piscicultura. Florianópolis, Brasil, Eletrosul, 77p.
Haro, A.; Odeh, M.; Castro-Santos, T. and Noreika, J. (1999), Effect of slope and headpond on passage of American shad and blueback herring through simple Denil and deepened Alaska steep pass fishways. North American Journal of Fisheries Management vol 19 n° 1, pp 51-58.
Hill, M. O. & Gauch, H. G. (1980), Detrended correspondence analysis: in improved ordination technique. Vegetatio 42: 47-58.
Larinier, M. (1998), Upstream and Downstream Fish Passage Experience in France. Fish Migration and Fish Bypasses, Chapter 10, p. 127 – 145. Fish News Books, Vienna, Austria.

- Martins, S. L.(2.000), Sistemas para transposição de peixes. Dissertação de mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. 170 p.
- Oldani, N.; Minotti, P.; Rodriguez, R.; Delfino, R. y Baigun, C. Submetido: Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral, Santo Tome (Santa Fe), Argentina.
- Peter, A. (1998), Interruption of the River Continuum by Barriers and Consequences for Migratory Fish. Fish Migration and Fish Bypasses, Jungwirth, M.; Schumtz, S. and Weiss, S. Chapter 8 p. 99 – 112. Fish News Books, Vienna, Austria.
- Quirós, R. (1988), Structures Assisting Migrations of Fish Other than Salmonids: Latin America, FAO-COPESCAL Tech. Doc. n15, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 50pp.
- Schwalme, K; Mackay, W. C. and Lindner, D. (1985), Suitability of vertical slot and Denil fishways for passing north-temperate nonsalmonid fish. Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science. 1985, vol. 42, n° 11, pp. 1815-1822.
- Williams, J. G. (1998), Fish Passage in Columbia River, USA and its Tributaries: Problems and Solutions. Chapter 13, Fish Migration and Fish Bypasses, p 180 – 191. Fishing News Books, Vienna, Austria.

VARIAÇÃO DIÁRIA NA ASCENSÃO DE PEIXES EM UMA ESCADA EXPERIMENTAL DE PEIXES NA HIDRELÉTRICA DE ITAIPU

RESUMO

Com o objetivo de avaliar os efeitos do horário do dia, fase de reprodução e tamanho dos indivíduos na ascensão de peixes em uma escada do tipo sequência de tanques, com passagem de fundo (tipo *weir & orificie*), que compõem o projeto experimental Canal de Migração, junto à barragem da hidrelétrica de Itaipu, rio Paraná, realizaram-se amostragens a intervalos de seis horas, em dois pontos ao longo da escada (10 e 27m de altura), durante os períodos de outubro de 1995 a fevereiro de 1996 e novembro de 1996 a janeiro de 1997. Foram registradas 22 espécies, sendo que 90,4% dos exemplares pertenceram às espécies *Prochilodus lineatus*, *Pimelodus maculatus*, *Leporinus elongatus*, *Schizodon borelli*, *Leporinus friderici* e *Astyanax asuncionensis*. O tamanho dos indivíduos, para as três primeiras, mais frequentes e tidas como grandes migradoras, não diferiu consistentemente entre os dois trechos da escada e os horários considerados. Para *S. borelli* indivíduos menores foram registrados, em ambos os trechos, às 20:00h. Já para *L. friderici* foi detectada uma interação significativa entre horário de coleta e ponto amostrado. Entre as espécies mais frequentes, a habilidade de ascender à escada não mostrou relação com a migração reprodutiva, constatando-se um predomínio significativo de fases gonadais pré-vitelogênicas para todas as espécies e em todos os horários do dia, exceto entre *A. asuncionensis* capturados no topo da escada, às 2:00h. Destas espécies, apenas as duas de *Leporinus* são

mais abundantes no topo da escada durante o dia. Para o conjunto das espécies capturadas, aquelas da Ordem Siluriformes tem ascensão predominantemente noturna.

PALAVRAS CHAVE: Escada de peixes, migração, Siluriformes, Characiformes, nictemeral

INTRODUÇÃO

As barragens constituem obstáculos aos movimentos dos peixes ao longo de suas áreas de distribuição. Além das conseqüências genéticas relacionadas à fragmentação populacional, a interrupção do acesso de algumas espécies aos seus habitats de desova ou criadouros naturais têm marcante impacto sobre o recrutamento, podendo, conforme o grau de exigência destas espécies em relação a este quesito, torná-lo nulo. Exemplos destes impactos são apresentados por Agostinho & Gomes (1997) e Agostinho et al. (1999).

Como solução de problemas desta natureza, tem sido sugerida a construção de escadas para a subida dos peixes, viabilizando seu acesso aos locais de desova. No Brasil, a primeira escada de peixes foi construída em 1911, na barragem de Itaipava, no rio Pardo, um tributário do rio Paraná, e tinha 7m de altura. Na década de 20, uma segunda escada, com 3m de altura, foi construída na barragem de Cachoeira de Emas (rio Mogi Guaçu, também na bacia do rio Paraná), sendo posteriormente modificada (Godoy, 1985; Quirós, 1988). A escada da barragem do rio Mogi-Guaçu, em Emas-SP, é citada como exemplo de eficiência, sendo porém muito baixa para que seu sucesso possa servir como referência para os dispositivos de transposição de peixes em grandes barragens que foram construídas nas últimas décadas. Godinho et al. (1991), por exemplo, avaliam como baixa a eficiência da escada construída na barragem de Salto Morais (rio Tijuco) para a transposição de peixes migradores. A ausência de informações consistentes é, no entanto, responsável pela polêmica que cerca este tema nas discussões no âmbito dos setores elétrico e acadêmico (Britski, 1994). Assim, permanece amplamente desconhecido, exceto pelos resultados preliminares obtidos pela Itaipu

Regulated Rivers: Research and Management

Binacional (Borghetti et al., 1993 e 1994), a habilidade dos peixes da bacia do rio Paraná em vencer os obstáculos interpostos pela altura, vazão ou modelo dos mecanismos de transposição das barragens. Neste estudo tem por objetivo avaliar a eficiência de escadas do tipo escada-degraus em duas alturas (10 e 27m), estágio reprodutivo dos indivíduos e diferentes horários do dia, considerando as espécies e grupos taxonômicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Local de estudo

A escada de peixes analisada neste estudo integra a estrutura concebida pela área de Meio Ambiente e Engenharia da Itaipu Binacional no projeto experimental Canal de migração de peixes, localizado a jusante da barragem de Itaipu, junto ao canal de fuga da 15^a unidade geradora, e destinada às pesquisas de fatores relacionados à atração e dinâmica da migração das espécies potamódromas do médio Paraná (Fig.1). A escada possui 27 metros de desnível médio e 155 metros de extensão, com degraus-tanques medindo 1,8 x 1,4 x 1,0 metros. Cada degrau possui aberturas de superfície (0,30 x 0,40 m) e de fundo (0,30 x 0,60m) em posições opostas e redutores de velocidade em formato triangular (5 cm de altura) dispostos em paralelo no fundo. Durante o estudo, a vazão aproximada nos degraus foi de 334 litros por segundo e a velocidade 2,2 metros por segundo.

Amostragens no meio e no topo da escada

As amostragens foram realizadas ao longo de 24 horas (às 14:00, 20:00, 2:00 e 8:00h) de cada mês, no período de outubro de 1995 a fevereiro de 1996 e de novembro de 1996 a janeiro de 1997. As amostras foram obtidas em dois pontos da escada. O primeiro, denominado *caixa A*, localizado no segundo remanso de descanso, 40 metros após o início da estrutura, com um desnível médio de 10 metros da cota normal do rio Paraná, medindo 3,5 x 3,5 x 0,8 metros. O segundo, *caixa B*, no quarto remanso de descanso ao final da escada, a

155 metros de seu início, com um desnível médio de 27 metros, medindo 5,0 x 5,0 x 0,8 metros (Fig.1).

Para as amostragens de peixes foi utilizado puçá com malha de 1,5cm entre nós opostos e abertura de 1,0 x 0,5m, empregando-se um esforço de captura de três minutos, em cada horário. A análise das amostras, incluindo identificação específica, comprimentos total e padrão, e estágio de desenvolvimento gonadal, foi realizada em laboratório instalado no local, sendo que exemplares de algumas espécies foram remetidas para especialistas visando a confirmação da espécie.

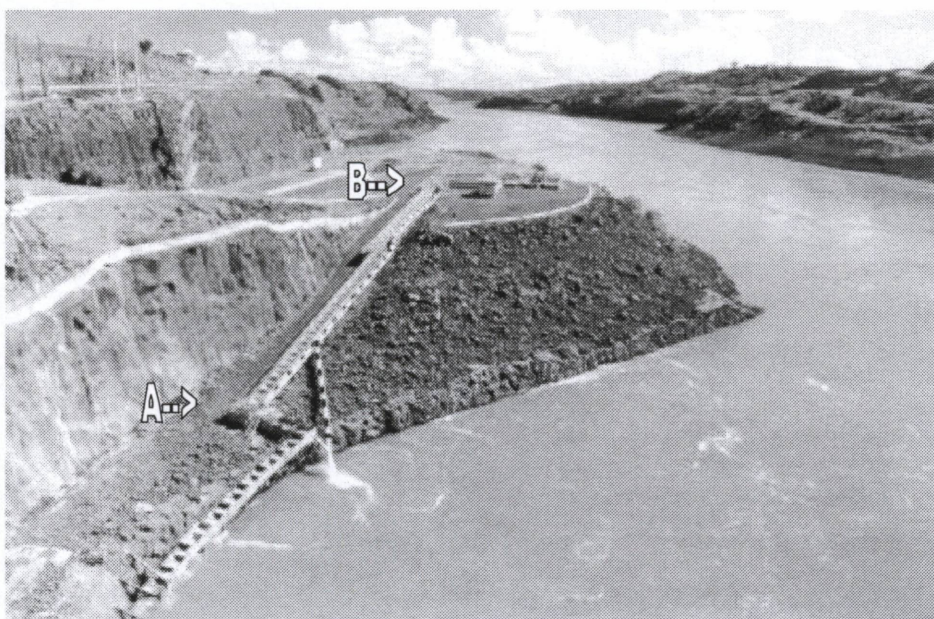


Figura 1. Escada experimental de peixes, localizada imediatamente a jusante da barragem de Itaipu, mostrando os pontos de amostragem (A: desnível médio=10m; B: desnível médio=27m).

Análise estatística

Um modelo log-linear foi aplicado com o objetivo de verificar se a probabilidade de captura variou em função do horário (2:00, 8:00, 14:00 e 20:00 h), das caixas (A e B) e dos estádios de reprodução (adultos em reprodução, adultos não reprodutivos e imaturos) para cada uma das espécies mais frequentes. Após a identificação dos fatores (horário, caixa e estádios) e das interações entre esses fatores que significativamente afetavam as capturas, a qualidade do

Regulated Rivers: Research and Management

ajuste, considerando os efeitos significativos, foi avaliada através da estatística de máximo-verossimilhança X^2 (Manly, 1994). Para cada espécie uma ANOVA foi realizada com o objetivo de verificar se os comprimentos padrão (Ls) dos peixes diferiam entre os horários e caixas.

RESULTADOS

Foram registradas 22 espécies nos pontos intermediário (caixa A) e alto (caixa B) da escada. Entre as principais espécies destacaram-se *Prochilodus lineatus* (Plin), *Pimelodus maculatus* (Pma), *Leporinus elongatus* (Lel), *Schizodon borelli* (Sbo), *Leporinus friderici* (Lfr) e *Astyanax asuncionensis* (Abi). Essas espécies foram responsáveis por 90,4 % do total capturado (Tab.1).

Tabela 1. Capturas totais e comprimento padrão médio das espécies (nome científico e abreviatura) registradas na escada de peixes (caixas A e B) do Canal de Migração de Peixes da estação experimental da barragem de Itaipu.

ESPÉCIE	CÓDIGO	MACHOS (N)	FÊMEAS (N)	TOTAL (N)	LS-MÉDIO ± s (CM)
<i>Prochilodus lineatus</i>	Pli	100	65	165	40,43 ± 3,67
<i>Pimelodus maculatus</i>	Pma	129	27	156	24,76 ± 2,98
<i>Leporinus elongatus</i>	Lel	98	43	141	30,01 ± 7,22
<i>Schizodon borelli</i>	Sbo	55	67	122	26,29 ± 3,23
<i>Leporinus friderici</i>	Lfr	45	32	77	21,40 ± 5,19
<i>Astyanax asuncionensis</i>	Aas	14	16	30	8,61 ± 0,92
<i>Pterodoras granulosus</i>	Pgr	11	17	28	37,89 ± 5,84
<i>Roebooides paranensis</i>	Rpa	3	8	11	16,71 ± 1,75
<i>Iheringichthys labrosus</i>	Ila	4	2	6	14,72 ± 1,79
<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	Rvu	4	1	5	39,38 ± 2,23
<i>Acestrorhynchus lacustris</i>	Ala	3	0	3	14,17 ± 1,26
<i>Sorubim lima</i>	Sli	3	0	3	34,33 ± 3,74
<i>Hemisorubim platyrhynchos</i>	Hpl	1	3	4	42,53 ± 6,71
<i>Oxydoras kneri</i>	Okn	3	0	3	39,47 ± 9,04
<i>Pimelodus ornatus</i>	Por	1	1	2	17,45 ± 0,07
<i>Pseudopimelodus zungaro</i>	Pzu	0	1	1	23,60
<i>Hypostomus</i> sp	Hsp	1	0	1	15,00
<i>Apareiodon affinis</i>	Aaf	0	1	1	14,00
<i>Salminus maxillosus</i>	Sma	1	0	1	37,50
<i>Hemiodus orthonops</i>	Hor	0	1	1	17,20
<i>Pinirampus pirinampu</i>	Ppi	0	1	1	39,00
<i>Pimelodus</i> sp	Psp	1	0	1	15,20

O tamanho dos indivíduos, para as três espécies mais frequentes, não diferiu significativamente entre as caixas (A e B) e horários (02:00, 08:00; 14:00 e 20:00h) considerados (Tab.2). Nas três espécies mais frequentes, foi verificada uma maior proporção de machos em relação a fêmeas. Para *L. friderici* uma interação significativa entre horário de coleta e caixa foi detectada. A inspeção gráfica indica que os maiores indivíduos são coletados na caixa A às 14:00h e os menores na B, às 20:00h (Fig.2). Já para *S. borelli*, com diferenças significativas entre os horários, indivíduos menores foram registrados, em ambas as caixas, às 20:00h. Ressalta-se, no entanto, que os dados são desbalanceados o que prejudica o estabelecimento de conclusões definitivas. Para as demais espécies, o número de indivíduos registrados não permite a realização da análise.

Tabela 2. Valores de *F* e nível de significância (*P*) da ANOVA bifatorial avaliando o efeito do horário e caixa no comprimento padrão registrado para as principais espécies (negrito = valores significativos).

	Horário		Caixa		Interação	
	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
<i>P.lineatus</i>	1,76	0,15799	0,09	0,76236	1,73	0.16256
<i>P.maculatus</i>	0,75	0,52436	1,39	0,23965	1,94	0.12503
<i>L.elongatus</i>	0,35	0,78729	2,13	0,14635	0,66	0.57643
<i>L.friderici</i>	1,85	0,14705	0,57	0,45231	4,74	0.00459
<i>S.borelli</i>	5,40	0,00164	0,08	0,77584	1,27	0.28683

Para o curimba *Prochilodus lineatus*, os resultados do modelo log-linear indicaram um efeito significativo de todos os fatores analisados (caixa, horário, estágio de maturação), sobre a abundância. Além disso, foi detectada uma interação significativa entre os fatores caixa e horário (Tab. 3). Para todos os horários analisados e para as duas caixas, o número de adultos com gônadas em repouso foi significativamente maior. De modo geral, a caixa A apresentou um maior número de indivíduos capturados. No entanto, como indicado pela interação significativa entre horas e caixas, o número de indivíduos às 2:00h da madrugada, foi maior na caixa B (Fig.3).

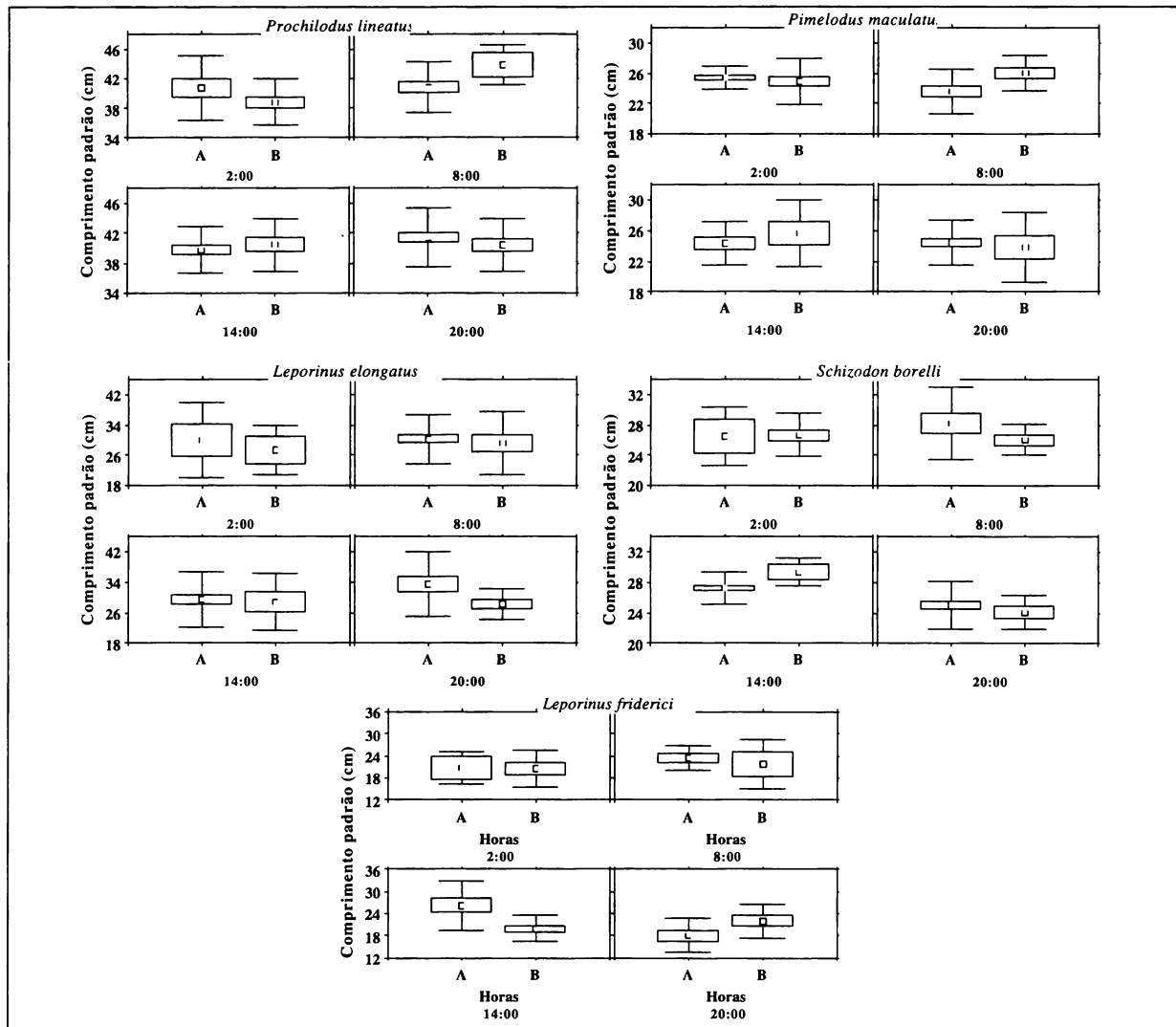


Figura 2. Variação nos valores médios de comprimento padrão das principais espécies registradas na escada de peixes (limites superior e inferior dos retângulos=desvio padrão; limites das barras verticais=erro padrão; caixa A = 10m; caixa B = 27m).

Tabela 3. Valores de χ^2 e nível de significância (P) avaliando o efeito do horário (1), caixa (2) e estado reprodutivo (3) sobre a abundância das espécies mais frequentes.

	<i>P.lineatus</i>	<i>P.maculatus</i>	<i>L.elongatus</i>	<i>S.borelli</i>	<i>L.friderici</i>
1	18,6 (0,000326)	25,37 (0,000013)	40,64 (0,000000)	16,66 (0,000831)	16,40 (0,000939)
2	14,7 (0,000123)	5,38 (0,020305)	23,35 (0,000001)	20,72 (0,000005)	3,27 (0,070686)
3	70,2 (0,000000)	159,41 (0,000000)	120,85 (0,000000)	100,91 (0,000000)	39,11 (0,000000)
1x2	14,0 (0,002873)	14,11 (0,002764)	4,64 (0,200111)	30,32 (0,000001)	5,15 (0,161016)
1x3	1,1 (0,780049)	8,25 (0,220378)	10,15 (0,118598)	2,68 (0,847984)	4,04 (0,671165)
2x3	0,01 (0,928577)	2,45 (0,292837)	2,54 (0,281197)	0,02 (0,989674)	0,68 (0,710224)

O modelo log-linear, considerando a interação entre os fatores caixa e horário de coleta e o efeito isolado do estágio de reprodução, se ajustou adequadamente aos dados ($X^2_L = 5,09$; $gl = 14$; $P = 0,9844$), revelando que esses fatores predizem satisfatoriamente as frequências observadas (Fig.4).

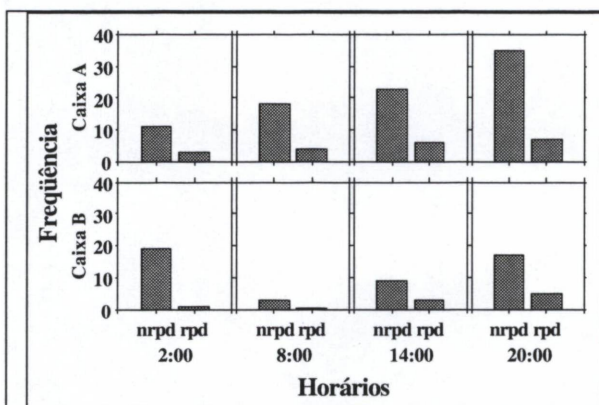


Figura 3. Variação diária no número de indivíduos de *P. lineatus* com gônadas maduras (rpd) e não maduras (nrpd) amostrados em diferentes pontos da escada (caixa A = 10m; caixa B = 27m).

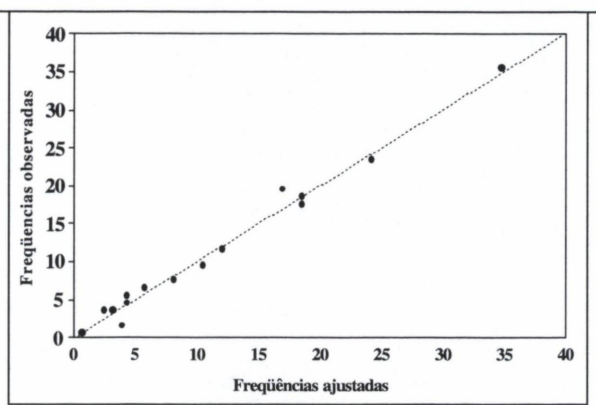


Figura 4. Relação entre as frequências observadas de *P. lineatus* e as ajustadas pelo modelo log-linear, considerando-se a interação entre os fatores caixa e horário e o efeito isolado do estágio de reprodução.

As maiores capturas de *Pimelodus maculatus* foram observadas na caixa A durante o período noturno. Os indivíduos adultos sem atividade reprodutiva (não reprodutivos) foram significativamente mais abundantes quando comparados com os outros estádios de reprodução (Tab.3; Fig.5). Algumas exceções são encontradas, tendo em vista a interação significativa entre os fatores caixa e horário. De fato, a abundância de indivíduos adultos e imaturos na caixa B, para as 2:00 h, foi maior que aquela observada para a caixa A. As frequências ajustadas pelo modelo log-linear, considerando os efeitos acima citados, não diferiram significativamente das frequências observadas ($X^2_L = 15,14$; $gl = 14$; $P = 0,3689$; Fig. 6). Somente um resíduo foi significativamente maior que zero, a um nível de 5 %, (2,73).

De acordo com o teste de X^2 , as capturas da piapara *Leporinus elongatus* variaram significativamente entre os níveis de todos os fatores analisados (Tab.3). Houve uma predominância significativa de indivíduos adultos em estágio não reprodutivo, sendo que a maior parte foi capturada na caixa A e durante o período diurno (Figura 7).

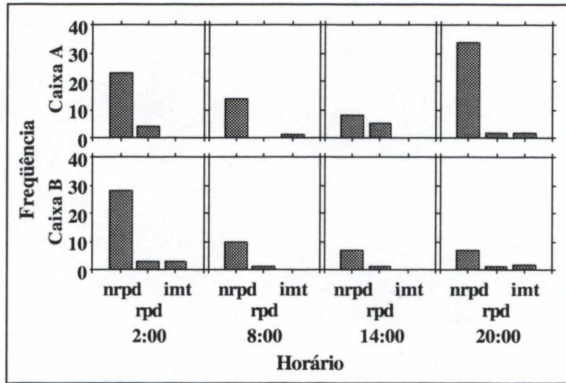


Figura 5. Variação diária no número de indivíduos de *P. maculatus* com gônadas maduras (rpd), não maduras (nrpd) e imaturos (imt) amostrados em diferentes pontos da escada (caixa A = 10m; caixa B = 27m).

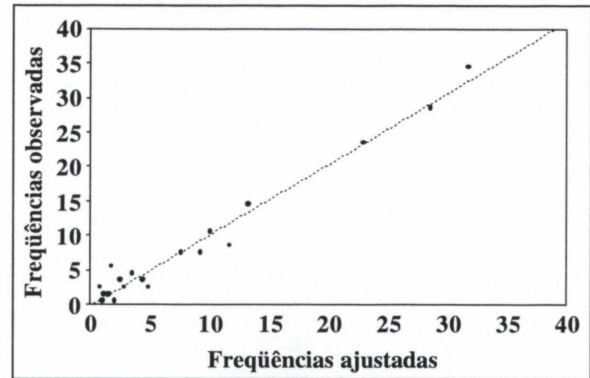


Figura 6. Relação entre as frequências observadas de *P. maculatus* e as ajustadas pelo modelo log-linear, considerando-se a interação entre os fatores caixa e horário e o efeito isolado do estágio de reprodução.

O modelo que considerou os efeitos isolados dos fatores caixa, estágio, horários e a interação entre estes últimos foi o que melhor se ajustou aos dados observados ($X^2_L = 12,25$; $gl = 11$; $P = 0,3452$; Figura 8).

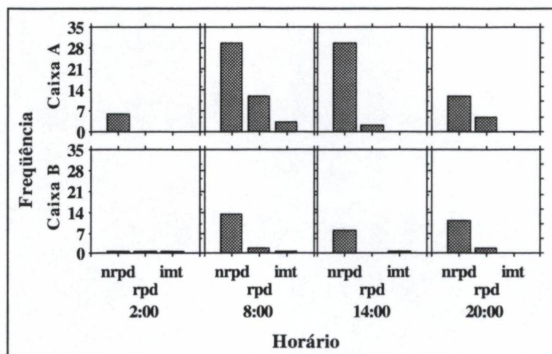


Figura 7. Variação diária no número de indivíduos de *L. elongatus* com gônadas maduras (rpd), não maduras (nrpd) e imaturos (imt) amostrados em diferentes pontos da escada (A) e (caixa A = 10m; caixa B = 27m).

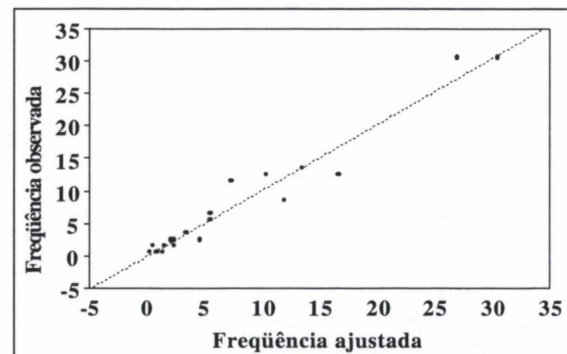


Figura 8. Relação entre as frequências observadas de *L. elongatus* e as ajustadas pelo modelo log-linear, considerando-se a interação entre os fatores caixa e horário e o efeito isolado do estágio de reprodução.

A probabilidade de captura da piava *Schizodon borelli* foi significativamente afetada por todos os fatores considerados. Além disso, a interação entre horário e caixa foi também significativa (Tabela 3). Verifica-se na Figura 9 que, de modo geral, as maiores capturas foram observadas na caixa A para as 14:00 e 20:00 horas. A exemplo do que foi observado para as outras espécies, houve um predomínio de indivíduos adultos não reprodutivos. O modelo log-linear, considerando a interação entre os fatores horário e caixas e o efeito isolado

do fator estádio, prediz de forma adequada as frequências observadas ($X^2_L = 9,55$; gl = 14; $P = 0,79387$; Figura 10).

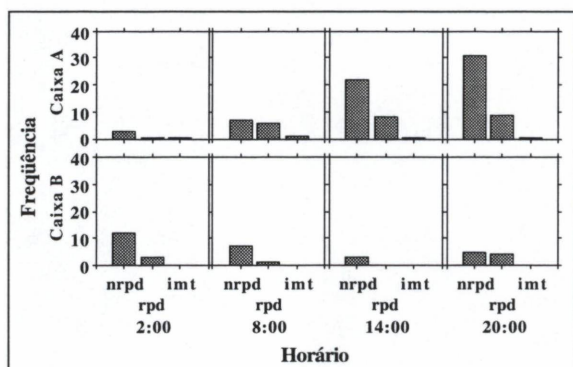


Figura 9. Variação diária no número de indivíduos de *S.borelli* com gônadas maduras (rpd), não maduras (nrpd) e imaturos (imt) amostrados em diferentes pontos da escada (A) e (caixa A = 10m; caixa B = 27m).

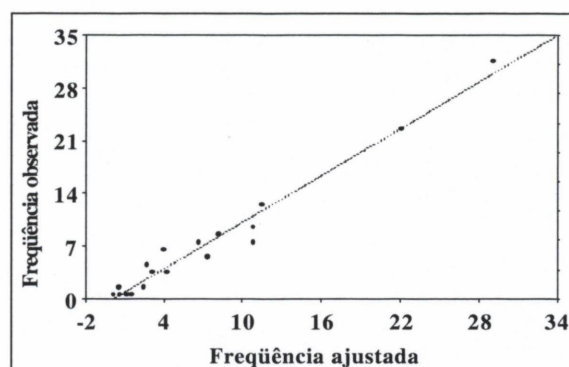


Figura 10. Relação entre as frequências observadas de *S.borelli* e as ajustadas pelo modelo log-linear, considerando-se a interação entre os fatores caixa e horário e o efeito isolado do estádio de reprodução.

Para o piaú *Leporinus friderici* apenas os efeitos isolados do horário e do estádio de reprodução foram significativos (Tab.3). Em todos os horários constatou-se uma frequência significativamente maior de indivíduos adultos não reprodutivos, sendo 14:00 e 20:00 os horários com as maiores capturas (Fig.11). O modelo log-linear, que inclui esses efeitos (horário e estádio) é capaz de prever as frequências observadas ($X^2_L = 19,57$; gl = 18; $P = 0,3574$; Fig. 12), sendo que somente dois resíduos padronizados foram maiores que 2 e deste modo significativamente diferentes de zero a 5 %.

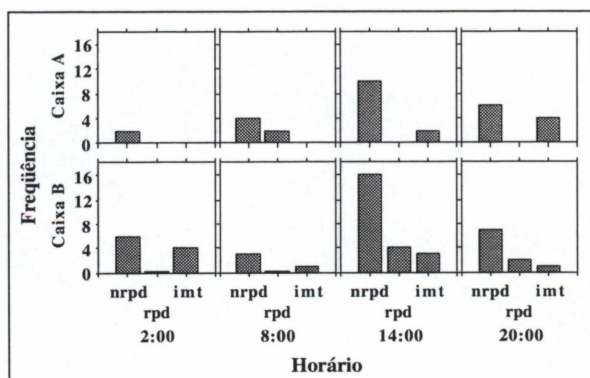


Figura 11. Variação diária no número de indivíduos de *L.friderici* com gônadas maduras (rpd) e não maduras (nrpd) e imaturas (imt) amostrados em diferentes pontos da escada (A) e (caixa A = 10m; caixa B = 27m).

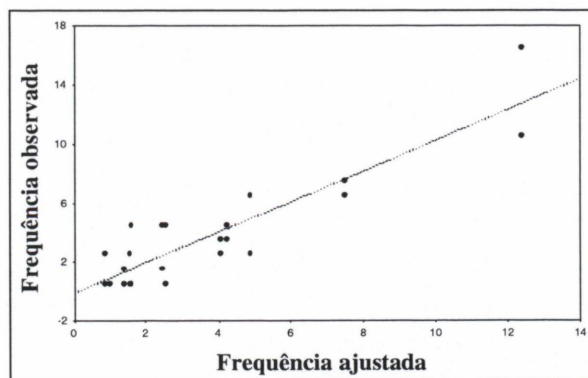


Figura 12. Relação entre as frequências observadas de *L.friderici* e as ajustadas pelo modelo log-linear, considerando-se a interação entre os fatores caixa e horário e o efeito isolado do estádio de reprodução.

Entre as demais espécies destaca-se o lambari *A. asuncionensis* que, com a metodologia de amostragem utilizada teve suas capturas restritas a exemplares adultos. Para essa espécie, as maiores capturas foram observadas na caixa B às 2:00h e às 20:00h, e na caixa A às 20:00h. O número de adultos em reprodução (rpd) foi numericamente maior na caixa B às 2:00h. Ficou evidente a preferência da espécie por ascensão no período noturno (Fig.13).

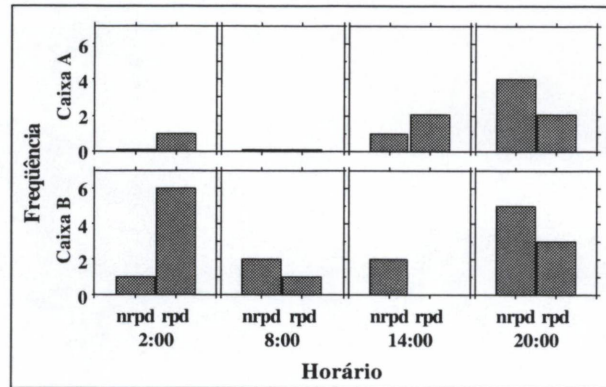


Figura 13. Variação diária no número de indivíduos de *A. asuncionensis* com gônadas maduras (rpd) e não maduras (nrpd) amostrados em diferentes pontos da escada (caixa A = 10m; caixa B = 27m).

As outras espécies amostradas (16) foram, de maneira geral, mais abundantes na caixa A, especialmente às 2:00h. Na caixa B a maior abundância de indivíduos foi também observada neste horário (Tab.4). Ressalta-se o fato do armado *Pterodoras granulosus* e do dourado cachorro *Rhaphiodon vulpinus* terem sido registrados apenas às 2:00h e 8:00h respectivamente e essencialmente na caixa A.

Tabela 4. Frequência das espécies (ver tabela 1 para o nome das espécies) esporadicamente registradas nas duas caixas (c) e nos horários (h) amostrados.

C	h	Pgr	Rvu	Rpa	Ila	Okn	Hpl	Sli	Por	Hor	Ppi	Psp	Ala	Pzu	Hsp	Aaf	Sma	TOTAL
A	2:00	26	0	2	2	2	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	35
	8:00	0	5	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
	14:00	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	20:00	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
	TOTAL	26	5	4	4	3	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	49
B	2:00	2	0	3	0	0	1	2	1	0	0	0	1	0	1	0	0	11
	8:00	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4
	14:00	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	4
	20:00	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4
	TOTAL	2	0	7	2	0	2	2	1	0	0	0	3	1	1	1	1	23

A análise da frequência de peixes agrupados em suas respectivas Ordens revela que os três efeitos isolados e as interações entre os grupos e horários e entre horários e caixas foram significativos (Tab.5). De modo geral, as interações significativas indicam que (i) as capturas observadas para Characiformes foram mais elevadas ao longo de todos horários e nas duas caixas, excetuado-se durante a madrugada onde a captura de Siluriformes foi tão grande quanto àquela observada para Characiformes; (ii) Para a Ordem Siluriformes, as diferenças das capturas entre as caixas A e B, ao longo dos horários, não foram tão acentuadas como aquelas observadas para Characiformes, embora ambos os grupos tenham sido menos abundantes na caixa mais alta (Fig.14).

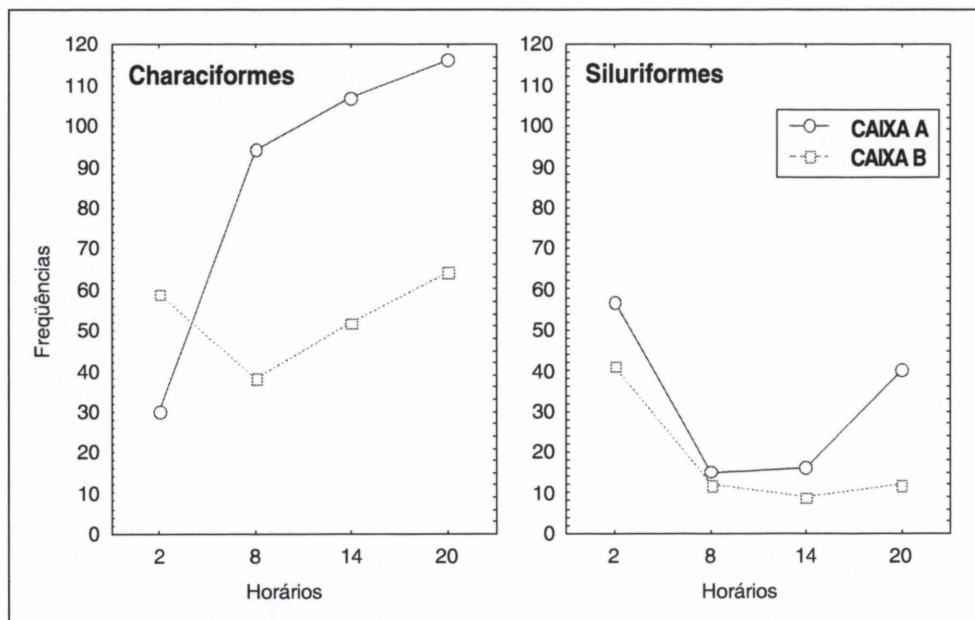


Figura 14. Variação diária no número de indivíduos de Siluriformes e Characiformes amostrados em diferentes pontos da escada (caixa A = 10m; caixa B = 27m).

Somente o modelo saturado (com a interação entre os três fatores) apresentou um valor de X^2_L não significativo. No entanto, esse modelo não é informativo uma vez que o ajuste é perfeito, tendo em vista a igualdade entre o número de parâmetros e frequências. Este fato, não raramente é encontrado com os dados empíricos e ocorre principalmente quando as contagens em diferentes células da matriz ultrapassam 100 ou mais (Manly, 1994). No *Regulated Rivers: Research and Management*

entanto, análises sucessivas com a inclusão dos fatores estudados indicaram melhoras significativas no ajuste.

Tabela 5. Valores de X^2 e nível de significância (P) avaliando o grupo taxonômico (1), horário (2) e caixa (3).

	Gl	X^2	P
1	1	173,03	0,000000
2	3	14,11	0,002760
3	1	46,37	0,000000
1 x 2	3	83,17	0,000000
1 x 3	1	0,097	0,755629
2 x 3	3	25,63	0,000011

DISCUSSÃO

As facilidades para transposição de peixes existentes no mundo superam o número de 2.500 unidades, 50 das quais na América do Sul (Quirós, 1988). Das 30 registradas no Brasil, todas são escadas do tipo tanques sequenciais, exceto o modelo experimental de Itaipu, objeto desse estudo. Esse predomínio, de concepção destas estruturas, decorreu do fato de terem sido edificadas com base em modelos desenvolvidos para salmonídeos no hemisfério norte (Agostinho & Gomes, 1997). Na América do Norte, por exemplo, cerca de 75% das 310 facilidades para passagem de peixes em barragens são desse tipo. Dada a especificidade da fauna sul-americana e o tipo de estrutura de transposição avaliada, os resultados do presente estudo não podem ser extrapolados para outras obras de transposição em operação na América do Sul, visto que a escada experimental de Itaipu apresenta características técnicas muito distintas.

As amostragens diurnas (das 14:00 as 16:00hs), realizadas mensalmente no período de novembro/1994 a fevereiro/1997, revelaram a presença de 27 espécies ascendendo à mesma escada (Fernandez et al., *subm.*). No presente estudo, conduzido apenas durante os meses em que a reprodução dos peixes é mais frequente (Vazzoler, 1996) e em períodos de 24 horas,

foram registradas quatro espécies (*Rhaphiodon vulpinus*, *Hemiodus orthonops*, *Pirinampus pirinampu* e *Pimelodus* sp) ausentes nos 28 meses de amostragens realizadas exclusivamente durante o dia na mesma escada (Fernandez, subm). As espécies mais abundantes nas amostragens de 24hs foram, entretanto, as mesmas que se destacaram nas amostragens mensais relatadas por Fernandez et al. (subm.).

As três espécies mais freqüentes são classificadas como grandes migradoras, provavelmente com boa eficiência de ascensão (Agostinho et al., no prelo), fato que pode explicar a ausência de diferenças significativas na abundância dos indivíduos de diferentes tamanhos nos dois segmentos de escada e nos horários amostrados. Já indivíduos menores de *Leporinus friderici* e *Schizodon borelli*, consideradas migradoras de curtas distâncias e não migradora, respectivamente (Vazzoler, 1992a), apresentaram tendências de maior ascensão à escada no início da noite. Estas tendências são controversas na literatura, sugerindo que as preferências em relação às condições de luminosidade dependem da espécie ou, para uma mesma espécie, do tamanho do indivíduo. Assim, Prignon et al. (1998) relatam que jovens de *Chodrostoma nasus* e *Leuciscus cephalus*, espécies reoflicas européias, tem preferência diurna em seu padrão de migração, enquanto Godinho et al. (1991) relatam a presença concomitante de alevinos, juvenis e adultos de espécies migradoras na escada no rio Tijuco, um tributário do alto rio Paraná. Em 1995, 14% dos exemplares das 13 espécies mais frequentes amostradas no canal de migração de Marchfeldkanal, Austria, eram juvenis. Em nove espécies, o número de juvenis superou o de adultos (Mader, 1997).

A ascensão à escada não mostrou relação com a migração reprodutiva para as espécies mais abundantes, visto que peixes com gônadas em fases pré-vitelogênicas (não reprodutivos) predominaram em todas os horários e nos dois trechos da escada, exceto *Astyanax asuncionensis*, que foi registrado essencialmente em fase reprodutiva, no topo da escada, às 2:00hs. Godoy (1967) relata que nos cardumes em processo de migração, os indivíduos em

maturação são predominantes. Este fato sugere que a motivação dos peixes ao ingressarem e ascenderem as escada tem natureza diversa, mesmo frente ao fato das espécies melhor sucedidas nesse intento serem aquelas que realizam longas migrações reprodutivas (Godoy, 1975). Godinho et al. (1991) registrou, entretanto, frequências mais elevadas de indivíduos em atividade reprodutiva, destacando-se *A. asuncionensis*.

Godoy (1962) reporta que os deslocamentos de cardumes em processo de migração reprodutiva em grandes migradores têm intensidades similares entre o dia e a noite. Juvenis de *Oncorhynchus masou* demonstraram em um modelo experimental de escada de peixes que a atividade de ascensão ocorria durante o dia, especialmente em altas densidades de peixes, mas se houver um estímulo causado por um aumento da vazão, os peixes podem ascender durante a noite (Mayama, 1987). No presente estudo, entretanto, a ascensão ao topo da escada foi mais eficiente durante a noite. Isto pode ser comprovado pelas maiores frequências de indivíduos na caixa B, especialmente às 2:00h, para quatro das seis espécies mais abundantes, constituindo exceção as duas espécies de *Leporinus*, mais frequentes durante o dia. Esta aparente contradição pode ser explicada por uma motivação mista dos peixes em ascenderem a escada, como pontuada anteriormente.

Em termos de grandes grupos, os resultados mostraram a tendência de Characiformes serem mais abundantes que Siluriformes, nos dois trechos amostrados da escada, exceto durante a madrugada, quando os últimos predominaram, principalmente devido as altas frequências de *Pimelodus maculatus*. No trecho imediatamente abaixo da barragem de Itaipu foi registrado um predomínio de Characiformes (Fuem-Nupelia/Itaipu Binacional, 1999), em geral nadadores mais ágeis. Já o hábito noturno da maioria dos Siluriformes tem sido registrado na literatura (Lowe-McConnell, 1987).

A maioria das espécies registradas mostram periodicidade em seu processo reprodutivo, iniciando seu desenvolvimento gonadal em uma época anterior àquela de reprodução, e

completando sua maturação gonadal no momento em que as condições ambientais forem adequadas à fecundação e desenvolvimento de sua prole (Vazzoler, 1996).

Analisando a estratégia reprodutiva das 7 espécies mais frequentes nas amostragens, verificamos que as mesmas possuem fecundação externa e não apresentam cuidados parentais com sua prole. *Prochilodus lineatus*, *Schizodon borellii* e *Astyanax asuncionensis* apresentam desova massiva intensa em ambientes lóticos (Vazzoler, 1992b).

As seis espécies mais frequentes no modelo experimental de escada de peixe, demonstraram uma média de comprimento padrão acima do tamanho de primeira maturação, compatível com o amostrado no ambiente de rio no ano de 1997 (FUEM, 1999). A avaliação da habilidade de ascensão na escada mostrou um padrão similar de variação para o comprimento dos exemplares e horário de ascensão em cada caixa para as espécies *P. lineatus*, *P. maculatus* e *L. elongatus*, com maiores exemplares presentes na caixa A as 2 e as 20 horas e na caixa B as 8 horas. Tendências distintas foram verificadas para *L. friderici* e *S. borelli*, para as quais houve interação clara entre caixa e horário.

A habilidade de ascensão à parte mais alta da escada para os Siluriformes foi mais acentuada no horário das 2 h. Para os Characiformes, esta habilidade foi mais evidenciada às 2 e as 20 h. Como mencionado anteriormente, os Siluriformes são reconhecidos pela maior atividade noturna (Lowe McConnell, 1987)

As amostragens nictemerais não revelaram diferenças relevantes entre os dois pontos da escada avaliados ao longo do período em relação ao número de espécies. De um total de 22 espécies, 17 foram amostradas a 10 metros de desnível (sendo cinco, *Oxydoras knerii*, *Hemiodus orthonops*, *Pinirampus pirinampu*, *Rhaphiodon vulpinus* e *Pimelodus* sp, exclusivas) e 17 a 27 metros, (sendo cinco também exclusivas: *Pseudopimelodus zungaro*, *Hypostomus* sp, *Apareiodon affinis*, *Acestrorhynchus lacustris* e *Salminus maxillosus*). Já em termo de número total de exemplares, estas diferenças foram marcantes (477 a 10 metros e

286 a 27 metros). Estas diferenças devem estar relacionadas ao maior esforço necessário para atingir o segundo ponto de amostragem, com 17 metros a mais de desnível.

O modelo hidráulico da escada de peixes experimental desenvolvido em Itaipu, demonstra ser eficiente para atrair espécies de Characiformes (grupo que apresentou maior número de exemplares) e Siluriformes (ambos apresentaram igual diversidade de espécies) a uma altura considerável de desnível.

As escadas de peixes não devem ser consideradas como um fim em si mesmo e sim como mais um instrumento para operacionalizar o manejo embasado no monitoramento espaço-temporal das populações de peixes, levando em consideração a natureza da ictiofauna presente e o conhecimento técnico-científico do empreendimento, das populações de peixes e do ecossistema inserido. As escadas de peixes não substituem o monitoramento e nem podem ser eficientes em qualquer ecossistema, para usá-las, é necessário um bom conhecimento do ecossistema, principalmente da situação ambiental do reservatório, que deve necessariamente, possuir uma área significativa preservada à montante ou em seus tributários, pois elas teriam eficiência duvidosa na preservação ou conservação dos estoques em um cenário de barragens em série.

BIBLIOGRAFIA

- Agostinho, A. A. 1993. Pesquisas, Monitoramento e Manejo da Fauna Aquática em Empreendimentos Hidrelétricos. Seminário sobre fauna aquática e o Setor Elétrico Brasileiro. Caderno 1, 38-59.
- Agostinho, A.A. and Gomes, L.C. 1997. Manejo e monitoramento de recursos pesqueiros: perspectivas para o reservatório de segredo. Organizado por Agostinho, A.A. and Gomes, L.C. Reservatório de segredo: bases ecológicas para o manejo. Maringá, PR, 1997, p.319-364.
- Agostinho, A.A.; Miranda, L.E.; Bini, L.M.; Gomes, L.C.; Thomaz, S.M.; Suzuki, H.I. 1999. Patterns of colonization in neotropical reservoirs, and prognoses on aging. Organizado por Tundisi, J.G. and Straskraba, M. Theoretical reservoir ecology and its applications. São Carlos-sp, 1999, p.227-265.

- Agostinho, A. A., Gomes, L. C. and Fernandez, D. R., Fish ladders as an instrument for the conservation and management of fishing resources in Brazil. *Revista Ciência e Cultura*.
- Borghetti, J. R., D. P. Chena and S. V. G. Nogueira, 1993. Installation of a fish migration channel for spawning at the Itaipu hydroelectric power station. *Water Power and Dam Construction*, 5:24-25.
- Borghetti, J. R., Nogueira, S. V. G, Borghetti, N. R. B. and Canzi, C., 1994. Short communication - The fish ladder at the Itaipu Binational hydroelectric complex on the Paraná river, Brazil. *Regul. Rivers Res. And Manage.* 9(2) 129-130.
- Britski 1994. As bacias hidrográficas e a preservação da biodiversidade. Seminário sobre fauna aquática e o Setor Elétrico Brasileiro. Caderno 6, 30-37.
- Fernandez, D. R. e Oro, E., 1996. Variações diurnas na escada de peixes do projeto experimental canal de migração para desova da Itaipu Binacional, 31 Congresso de Ecologia do Brasil, Brasília, outubro de 1996.
- Fernandez, D. R., submetido. Seletividade da escada de peixes do Canal de Migração da Itaipu Binacional. *Brazilian Archives of Biology and Technology*.
- Fundação Universidade Estadual de Maringá (FUEM), Itaipu Binacional, 1999. Reservatório de Itaipu, aspectos biológicos e socioeconômicos da pesca. Relatório 1997/98, 237 pp.
- Godinho, H. P., Godinho, A. L., Formaggio, P. S. and Torquato, V. C. 1991. Fish ladder efficiency in a southeastern Brazilian river. *Revista Ciência e Cultura*, volume 43 (1) p. 63 - 67.
- Godoy, M. P., 1962. Marcação, migração e transposição de peixes marcados na bacia do rio Paraná Superior. *Arquivos do Museo Nacional* Volume LII.
- Godoy, M. P. 1967. Dez anos de observação sobre a periodicidade migratória de peixes do rio Mogi Guaçu. *Revista Brasileira de Biologia*. Volume 27/1, p. 1 - 12.
- Godoy, M. P. 1975. Peixes do Brasil, Subordem Characoidei, Bacia do rio Mogi Guaçu, Piracicaba, Brasil. Editora Franciscana, 4 volumes.
- Godoy, M. P., 1985. Aquicultura. Atividade multidisciplinar. Escadas e outras facilidades para passagens de peixes. Estações de piscicultura. Florianópolis, Brasil, Eletrosul, 77p.
- Lowe-McConnell, 1987. *Ecological studies in tropical fish communities*. Cambridge University Press 382 pp.
- Mader, H.; Unfer, G. and Schmutz, S. 1997. The effectiveness of nature-like bypass channels in a lowland river, The Marchfeldkanal. Chapter 28, p 384 - 402. *Fish Migration and Fish Bypasses*. Fishing News Books.
- Manly, B. F. J., 1994. *The design and analysis of research studies*. Cambridge University Press, 353 pp.

- Mayama, H., 1987. Ascending behavior of juvenile masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in experimental fishway. Sci. Rep. Hokkaido Salmon Hatchery n° 41, pp. 137 - 153.
- Prignon, C., Micha, J. C. and Gillet, A. 1998. Biological and environmental characteristics of fish passage at Tailfer Dam on Meuse River, Belgium. Chapter 6 Fish Migration and Fish Bypasses p.69 - 84. Fishing News Books.
- Quiros, R., 1988. Structures Assisting Migrations of Fish Other than Salmonids: Latin America, FAO-COPESCAL Tech. Doc. n15, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 50pp.
- Vazzoler, A. E. A. de M. and Agostinho, A. A., 1991. Utilização dos distintos ambientes do alto rio Paraná pelas comunidades de teleosteos. In: Encontro Brasileiro de Ictiologia, Maringá/PR, 1991. Resumos Universidade Estadual de Maringá, Maringá/PR, p.55.
- Vazzoler, A. E. A. de M. & Menezes, N. A. 1992a. Síntese de conhecimentos sobre o comportamento reprodutivo dos Characiformes da América do Sul (Teleostei, Ostariophysi). Rev. Brasil. Biol., 52 (4): 627-640.
- Vazzoler, A. E. A. de M., Agostinho, A. A. e Cecílio, E. B. 1992b. Situação e perspectivas da Ictiologia no Brasil. 128 pp. Editora EDUEM, Maringá - Brasil.
- Vazzoler, A. E. A. de M., 1996. Biologia da Reprodução de Peixes Teleósteos: Teoria e Prática. Editora da Universidade Estadual de Maringá, Maringá/PR, 169 p.

Fatores Ambientais Relacionados ao Ingresso e Ascensão na Escada de Peixes do Projeto Experimental Canal de Migração de Peixes da Itaipu Binacional.

Resumo - Neste estudo é avaliada a sazonalidade da ascensão de peixes em uma escada experimental localizada junto à barragem do reservatório de Itaipu, rio Paraná e as relações com a reprodução, temperatura, nível do rio e suas vazões. As amostragens de peixes e as medições dos fatores abióticos foram obtidas de fevereiro de 1995 a janeiro de 1997, em dois pontos da escada (10m e 27m da cota média do rio Paraná). Modelos autoregressivos foram empregados com o objetivo de remover a dependência temporal entre as observações. Posteriormente, os resíduos dos modelos foram utilizados para relacionar, através do coeficiente de Pearson, as densidades de peixes com as variáveis ambientais. Padrões claros de sazonalidade foram observados para a variável temperatura. As variáveis cota, vazão turbinada e vazão vertida, embora não tenham apresentado dinâmicas sazonais claras, foram temporalmente dependentes. Constatou-se, para as 23 espécies de porte médio e grande, marcante sazonalidade, com os maiores valores de abundância registrados sistematicamente nos meses de outubro a fevereiro (75%). O padrão temporal

registrado para as espécies de pequeno porte, com predomínio marcante de *Bryconamericus stramineus*, mostrou-se distinto entre os dois anos analisados. Sob condições de vazão e velocidade constante da escada, constatou-se influência significativa da temperatura da água e da vazão turbinada pela hidrelétrica de Itaipu sobre a intensidade de ascensão dos peixes. A vazão vertida e o nível do rio não mostraram influências relevantes, em parte devido à posição do vertedouro (1.000m a jusante) em relação à escada.

Introdução

O obstáculo interposto pelos represamentos bloqueia os deslocamentos das espécies aos trechos superiores das bacias, resultando em impactos negativos sobre a reprodução e recrutamento que são proporcionais ao grau de exigência das espécies em relação a estes deslocamentos e a integridade de áreas críticas nos trechos

livres remanescentes (Agostinho et al., no prelo). Como solução de problemas desta natureza, tem sido sugerida a construção de escadas para a subida dos peixes, viabilizando seu acesso aos locais de desova. A maior parte das dezenas de escadas de peixes construídas no Brasil até agora, parece ser ineficiente (Torloni, 1984). A ausência de informações consistentes é, no entanto, responsável pela polêmica que cerca este tema nas discussões no âmbito dos setores elétrico e acadêmico (Britski, 1994).

A vazão ao longo de uma escada e ao longo do próprio rio é um elemento fundamental na atração de peixes. Esta vazão deve permitir aos peixes manterem suas posições sem um estresse rigoroso, devendo ser favorecida pela provisão de áreas de descanso. Entretanto, a velocidade da água na escada deve ser superior à do rio para tornar a área de vazão mais adequada na entrada, atraindo mais peixes e permitindo a manutenção destes em movimento em direção contrária a da corrente (Clay, 1993).

Os mecanismos que levam os peixes a

desenvolverem longos deslocamentos ascendentes no rio Paraná, que poderiam explicar a ascensão destes na escada, são ainda pouco conhecidos. Entretanto, sabe-se que têm motivações reprodutivas e alimentares e que são mediadas por estímulos ambientais como a ocorrência de cheias e a temperatura (Agostinho et al., no prelo). Bond (1979) associa estes movimentos primeiramente com a vazão e, então com ajustes a estímulos ambientais como a temperatura e o fotoperíodo.

O fato dos processos biológicos e estímulos ambientais envolvidos nos deslocamentos ascendentes dos peixes em ambientes naturais terem características sazonais leva à hipótese de que a intensidade no ingresso e ascensão à escadas de peixes tenham também marcante sazonalidade. Busca-se com neste trabalho comprovar esta hipótese, considerando-se como fatores ambientais a temperatura, o nível do rio e as vazões. A participação de imaturos e adultos em reprodução ou não entre as espécies em ascensão na escada é também avaliada.

Materiais e Métodos

A escada de peixes analisada nesse estudo integra a estrutura concebida pela área de Meio Ambiente e Engenharia da Itaipu Binacional no projeto experimental "Canal de migração de peixes", localizado a jusante da barragem de Itaipu, junto ao canal de fuga da 15ª unidade geradora. Uma descrição pormenorizada dessa estrutura pode ser encontrada em Fernandez et al. (submetido).

As amostras de peixes foram obtidas mensalmente durante o período de fevereiro de 1995 a janeiro de 1997, em dois pontos da escada. O primeiro, denominado *Caixa A*, localizado no segundo remanso de descanso, a 40 metros de sua base e altura de 10m da cota média do rio Paraná. O segundo, *Caixa B*, no quarto remanso de descanso, ao final da escada, a 155m da base e 27m de altura (Fig.1). As capturas foram realizadas com o auxílio de puçá com dois tamanhos de malhagem e esforços distintos. Para a

amostragem de espécies de maior porte utilizaram-se puçás com malhagem de 15mm, abertura de 1,0 x 0,5m, operados durante três minutos. Para aquelas de pequeno porte, o puçá apresentou malha de 15mm e abertura com um raio de 0,20m com um esforço de captura de um minuto. As análises destas amostras foram realizadas separadamente.

Dados de temperatura da água, nível do rio (cota), vazão vertida e vazão turbinada foram obtidas para cada dia de amostragem, sendo a primeira tomada em cada ponto de amostragem e as demais fornecidas pelo Departamento de Hidrologia da Itaipu Binacional. Outros parâmetros abióticos foram obtidos por ocasião da amostragem, destacando-se entre eles o oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e pH, não sendo, entretanto, considerado na análise pela baixa variação apresentada durante o período.

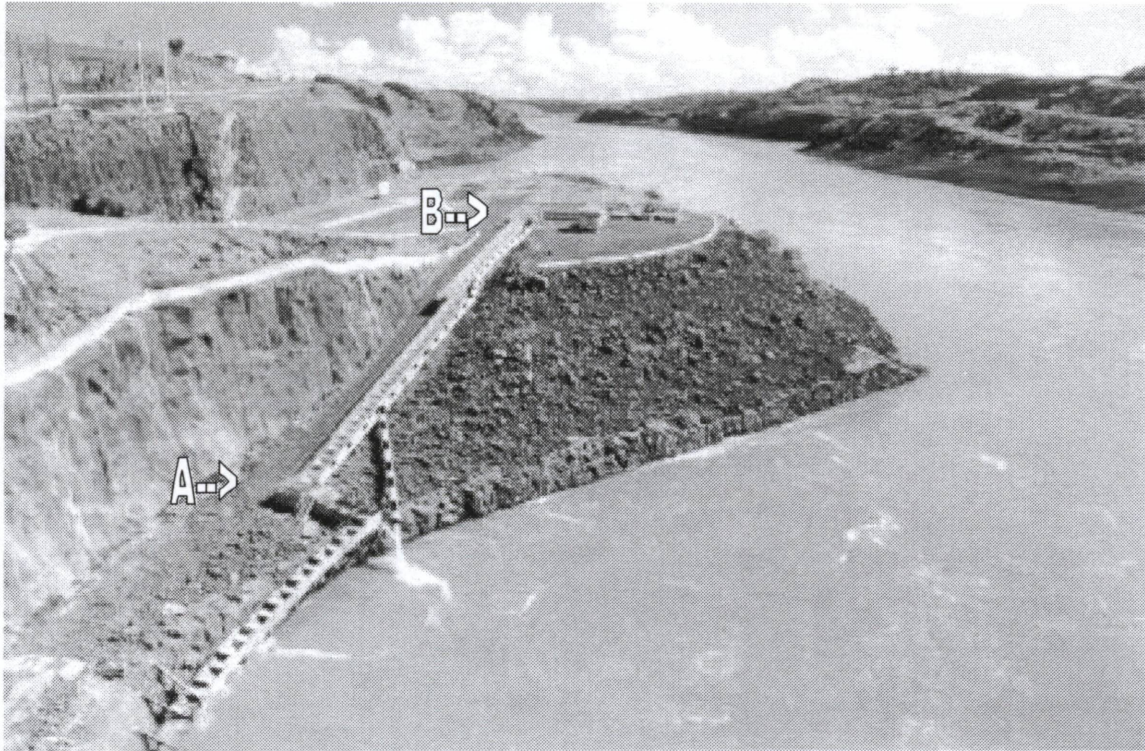


Figura 1 Escada de peixes do Canal de Migração, mostrando, em primeiro plano a escada de peixes e os locais de amostragens (A = Caixa A; B = Caixa B)

Análise dos Dados

Os padrões de variabilidade temporal dos fatores variáveis ambientais e das densidades de peixes foram quantificados através de funções de autocorrelação temporal. A autocorrelação temporal quantifica a relação de uma variável de interesse com a própria variável para um dado intervalo ("lag") temporal k . O gráfico que relaciona a autocorrelação com o aumento do valor de k é denominado correlograma. Diz-se que uma variável apresenta autocorrelação temporal positiva quando as observações são mais

similares entre si, para um dado k , do que o esperado ao acaso. Ao contrário, quando as observações são menos similares, do que o esperado ao acaso, diz-se que a variável apresenta autocorrelação negativa. A presença de autocorrelação temporal perturba os testes de significância. Justamente, a probabilidade de Erro Tipo I, isto é, o critério para rejeição ou aceitação da hipótese nula, é afetado. O efeito da autocorrelação temporal sobre os testes de significância pode ser exemplificado através do coeficiente de correlação de Pearson.

Quando as duas variáveis de interesse estão padronizadas ao longo do tempo (autocorrelacionadas), o intervalo de confiança do coeficiente de Pearson, calculado através dos procedimentos usuais, é menor do que quando este é calculado removendo-se o efeito da autocorrelação. Assim, a hipótese nula associada ao teste ($H_0: r = 0$) tende a ser rejeitada com uma frequência maior que a probabilidade de Erro Tipo I fixada (geralmente 0,05). Este problema pode também ser abordado considerando o cálculo dos graus de liberdade. Nos testes estatísticos usuais, cada observação independente equivale a um grau de liberdade. Este procedimento permite a escolha da distribuição estatística de cada teste. Observações que são autocorrelacionadas, isto é, observações que não são independentes não fornecem novos graus de liberdade. Como dito anteriormente, a consequência disso é que os testes tornam-se muito liberais, ou seja, a probabilidade de Erro Tipo I real, na presença de autocorrelação temporal positiva, é

frequentemente maior que a declarada.

Neste estudo, modelos autoregressivos foram empregados com o objetivo de remover a dependência temporal entre as observações. Um modelo autoregressivo é similar a uma análise de regressão múltipla, excetuando-se que as variáveis explanatórias (independentes) consistem dos valores passados da variável de interesse. Os coeficientes de correlação para diferentes k foram testados com base na estatística de Box-Ljung (Mainly, 1994).

Posteriormente, os resíduos dos modelos autoregressivos foram utilizados para relacionar, através do coeficiente de correlação de Pearson, as densidades de peixes com as variáveis ambientais. As variáveis ambientais (resíduos dos modelos autoregressivos) foram previamente sintetizadas através de uma Análise de Componentes Principais (PCA), tendo em vista que muitas dessas variáveis foram correlacionadas entre si (Figura 6). O teste de correlação entre as variáveis ambientais e a densidade de peixes é, neste caso, válido

tendo em vista a remoção prévia da dependência temporal entre as observações através do emprego dos modelos autoregressivos.

Resultados

As dinâmicas temporais dos fatores ambientais podem ser visualizadas na Figura 2A. De acordo com os correlogramas,

padrões claros de sazonalidade foram observados para a variável temperatura (Fig. 2B). As variáveis cota, vazão turbinada e vazão vertida, embora não tenham apresentado dinâmicas sazonais claras, foram temporalmente dependentes, tendo em vista que coeficientes de autocorrelação, para diferentes k , foram significativos de acordo com a estatística de Box-Ljung.

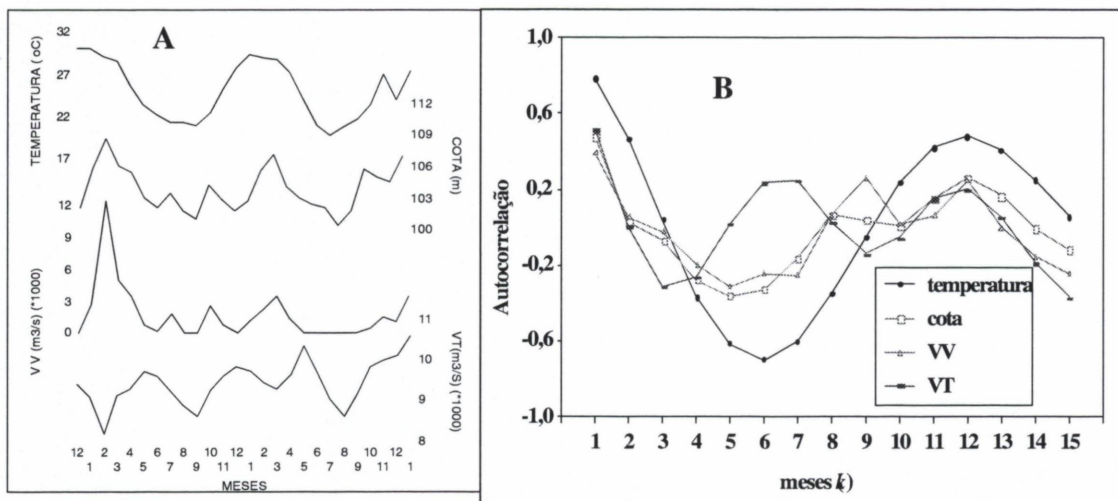


Figura 2. Variação da temperatura, cota, vazão vertida (VV) e vazão turbinada (VT) durante o período de amostragem - A; Correlograma das variáveis - B.

Na amostragem de peixes de maior porte, realizadas nas caixas A e B, foram registradas vinte e três espécies ao longo dos 23 meses de estudo, sendo que a maior parte dos indivíduos não se encontravam em

reprodução (adultos não reprodutivos - Fig.3). Dentre essas, seis espécies totalizaram 90% do número de indivíduos amostrados.

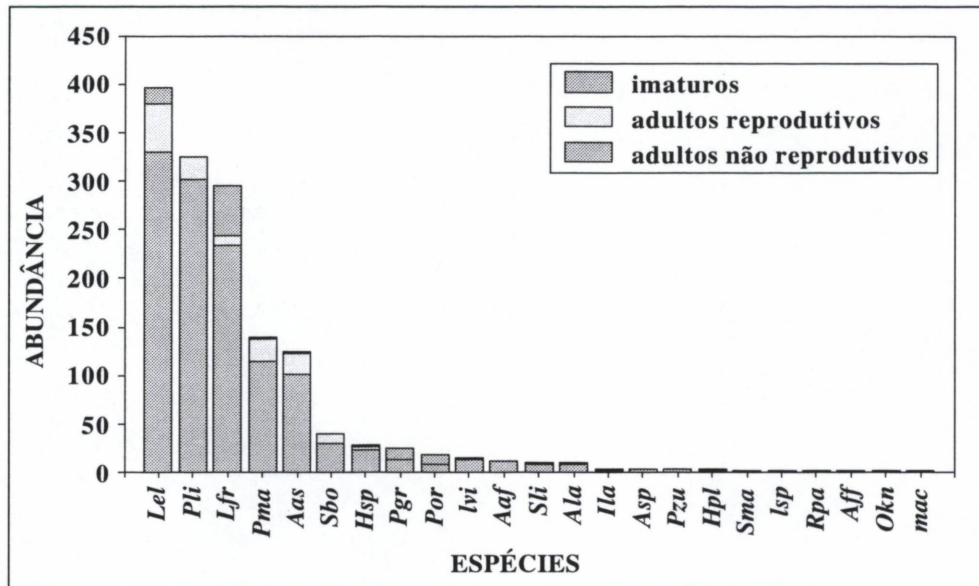


Figura 3. Frequência das principais espécies de porte médio e grande nas amostras obtidas na escada de peixes do Canal de Migração.

As trajetórias temporais dessas espécies são apresentadas na Figura 4. Constata-se, para a maioria das espécies, um padrão sazonal de ascensão à escada, com uma frequência baixa nos meses de inverno e flutuações nos de verão. Esse padrão é mais nítido na caixa B, mais elevada. *Leporinus elongatus* foi a espécie de grande porte mais freqüente nas amostragens, com alta frequência nos meses mais quentes (outubro-março), especialmente na caixa A. O acesso à caixa B foi proporcionalmente mais elevado nos meses de outubro a dezembro de 1996, quando o número atingiu mais de 40%

dos indivíduos que ingressaram na escada. *Prochilodus lineatus* teve um comportamento semelhante, com valores elevados nos meses de outubro, novembro e março na caixa A. *Leporinus friderici*, de maneira geral, apresentou alta frequência nos meses de novembro a março, com sazonalidade maior na caixa B e abundância na A, onde, no último ano, manteve-se freqüente em todos os meses, mesmo no inverno. *Astyanax asuncionensis* apresentou alta incidência nas amostragens no período de fevereiro a maio do primeiro ano, especialmente na caixa B. Tendência oposta

foi verificada em *Pimelodus maculatus* e *Schizodon borellii*, mais frequentes no verão do último ano, sendo o primeiro mais

frequente na caixa B e o segundo mais frequente na caixa A.

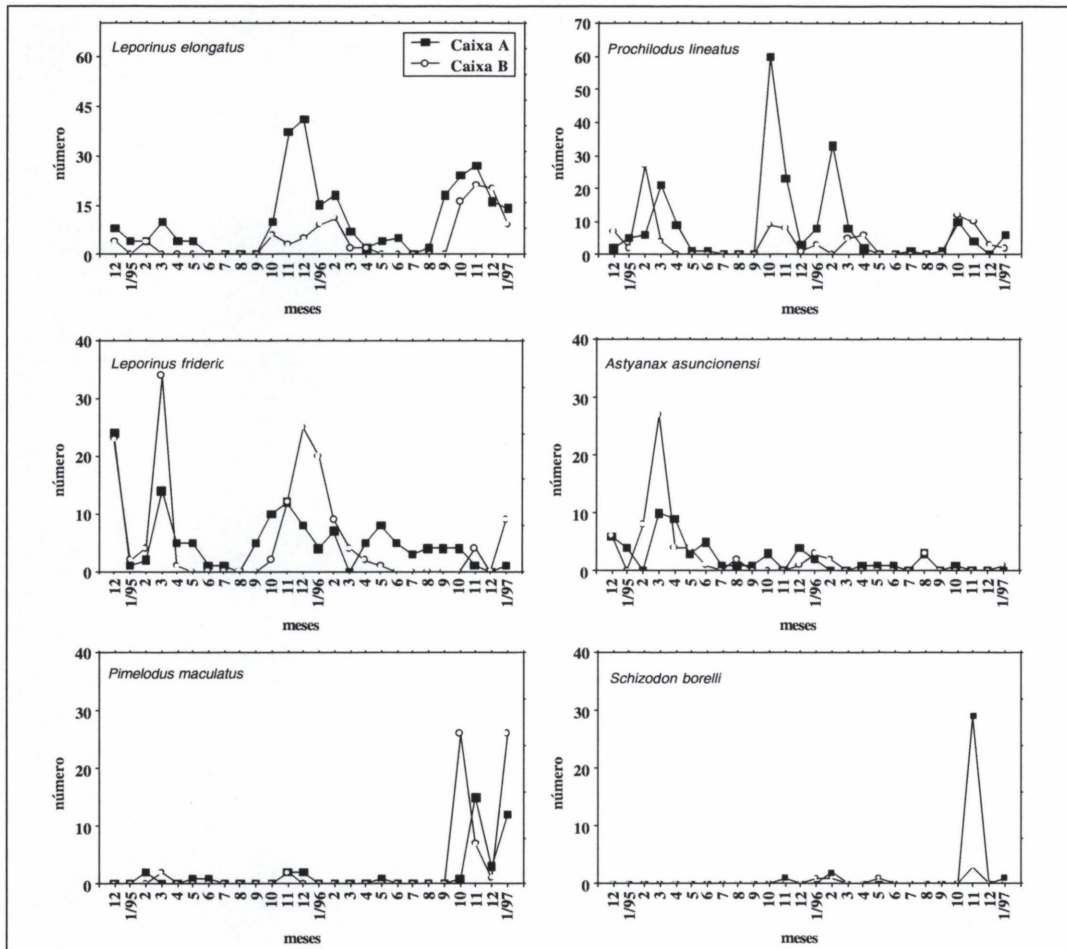


Figura 4. Variações mensais na abundância das principais espécies de médio e grande porte na escada de peixes do Canal de Migração (caixa A = 10m, caixa B = 27m)

A variabilidade temporal da abundância total, considerando o conjunto das espécies (Fig.5), indicou um padrão de variação sazonal, permitindo evidenciar que os maiores valores de abundância foram observadas sistematicamente nos meses de

Transactions of the American Fisheries Society

outubro a fevereiro (75%) e na caixa A (61% dos 1343 indivíduos amostrados). Os menores valores foram registrados nos meses de inverno. O correlograma da densidade total confirma essa tendência (Fig.5b).

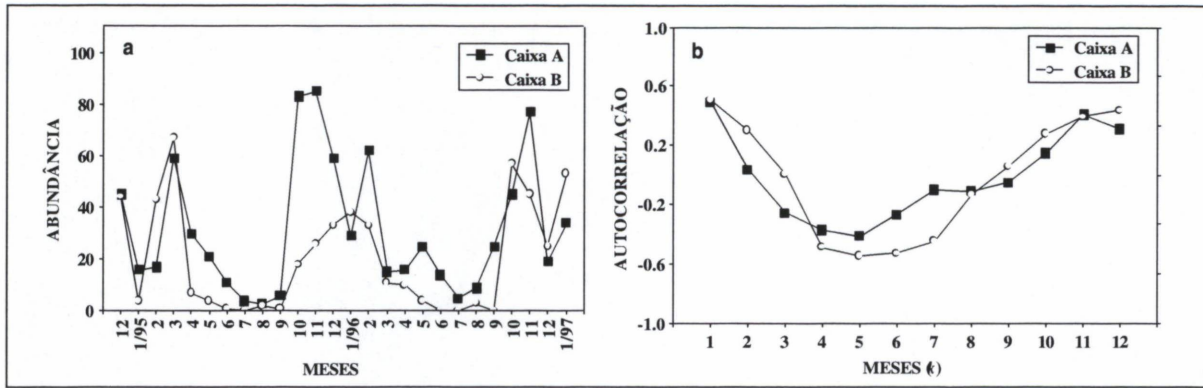


Figura 5. Variabilidade temporal (a) e correlograma da abundância total (b) de peixes registradas na escada de peixes no Canal Experimental de Migração (caixa A = 10m, caixa B = 27m).

Os correlogramas dos resíduos dos modelos regressivos de primeira ordem foram suficientes para remover a dependência temporal entre as observações. Os correlogramas dos resíduos dos modelos autoregressivos, aplicados tanto para as variáveis ambientais quanto para a abundância total (Fig.6) demonstram que os

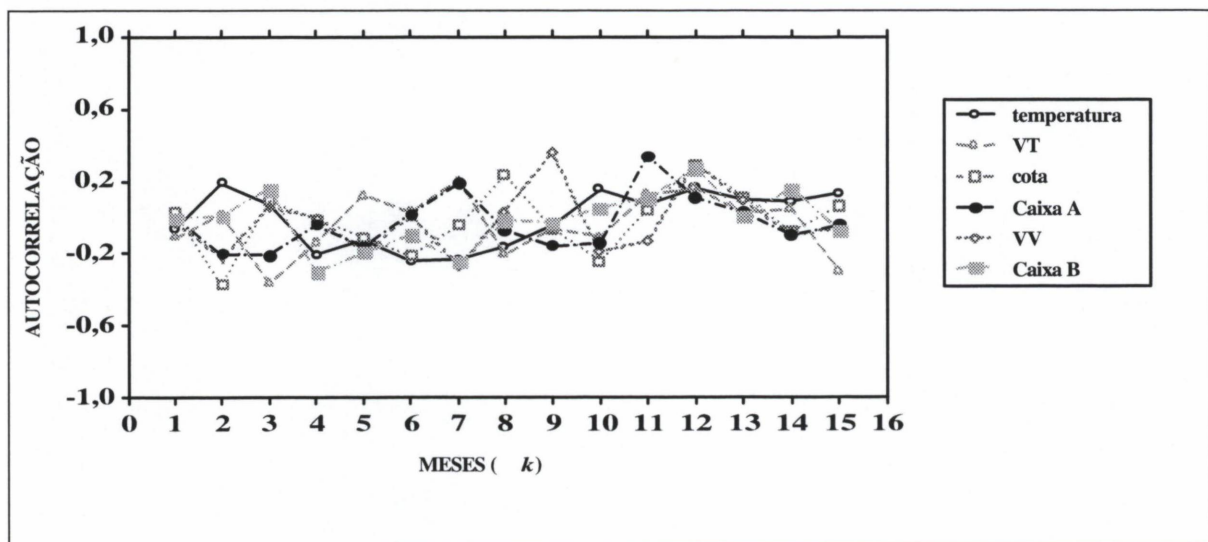


Figura 6. Correlogramas dos resíduos dos modelos autoregressivos aplicados

A análise de componentes principais, aplicada sobre os resíduos das variáveis ambientais apresentou dois componentes principais, com autovalores maiores que 1. Esses dois componentes explicaram 75,3 % da variabilidade total dos dados. As correlações de Pearson entre as

variáveis originais e os escores derivados das combinações lineares que maximizam a variabilidade entre os meses (componentes principais) indicam quais foram as variáveis mais importantes para a formação de um determinado componente (Tabela 1). O primeiro componente principal expressou a variação mensal da cota e da vazão vertida, enquanto o segundo componente principal pode ser interpretado como um eixo que

diferencia os meses de acordo com as variáveis temperatura e vazão turbinada.

O segundo componente principal apresentou uma correlação significativa com a abundância de peixes, tanto para a caixa A como para a caixa B. Assim, as abundâncias de peixes se relacionam positivamente com as variáveis ambientais, especialmente vazão turbinada e temperatura.

Tabela 1 - Correlações de Pearson entre as variáveis ambientais (resíduos dos modelos autoregressivos) e os componentes principais 1 e 2. As correlações de Pearson entre as abundâncias de peixes e os componentes principais são apresentadas nas duas últimas linhas. A probabilidade de Erro Tipo I dessas estatísticas são apresentadas nas colunas 3 e 5, também nas duas últimas linhas.

	PC 1	P	PC 2	P
Temperatura	0.45		0.69	
Cota	0.89		-0.07	
vazão vertida	0.88		-0.06	
vazão turbinada	-0.23		0.83	
Abundância (Caixa A)	0.17	0.42	0.57	0.0027
Abundância (Caixa B)	0.29	0.15	0.45	0.0225

Nas amostragens realizadas com puçás de malha menor, destinadas às espécies de pequeno porte, foram registradas seis espécies, sendo que *Bryconamericus stramineus* contribuiu com 99 % do total amostrado. Outras cinco espécies se fizeram

presentes em percentuais baixos: *Astyanax asuncionensis*, *Astyanax fasciatus*, *Odontostilbe microcephala*, *Cheirodon* sp e *Characidium* sp. Apesar do esforço de amostragem ser 1/3 do utilizado para as de maior porte, as frequências desse grupo

foram elevadas, especialmente no primeiro ano do estudo, quando foram registrados 90% do total. Ressalta-se, por outro lado, que estiveram presentes em ambos os pontos amostrados na escada durante todo período de estudo, sendo mais frequentes na caixa A (64% do total).

A variabilidade temporal da abundância total das espécies de pequeno porte (Fig.7a) indicou um padrões distintos de variação sazonal entre dois períodos anuais analisados. O correlograma (Fig. 7b) confirma essa afirmação.

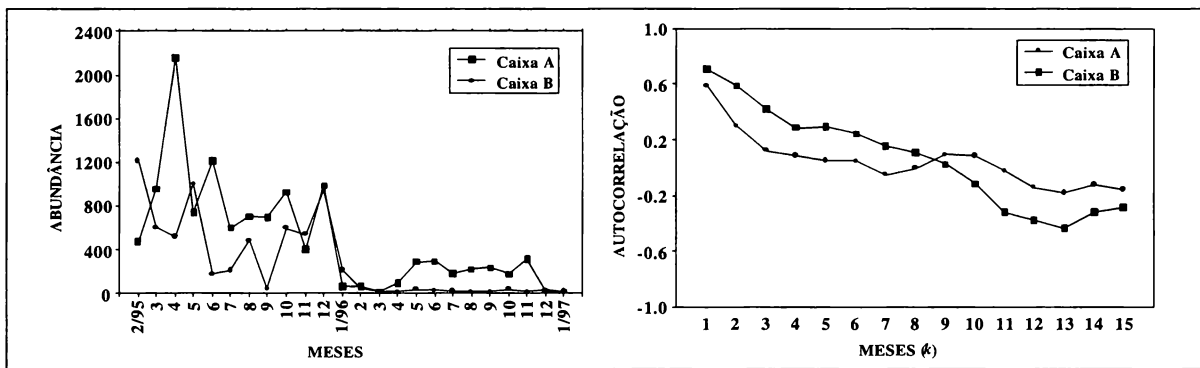


Figura 7. Variabilidade temporal (a) e correlograma da abundância total (b) de peixes de pequeno porte registrados na escada de peixes no Canal Experimental de Migração (caixa A = 10m, caixa B = 27m)

A exemplo do verificado com as amostras de peixes de médio e grande porte, a abundância dos peixes de pequeno porte não apresentou correlação significativa com o primeiro componente (Tab.2). Entretanto,

aquelas da caixa B correlacionou-se com o segundo componente principal, que sintetiza bem as informações de cota e vazão turbinada (ver Tab.1).

Tabela 2. Correlações de Pearson entre as variáveis abundâncias de peixes de pequeno porte em cada ponto da escada (Caixa A e B) e os componentes principais que sintetizam as variáveis ambientais consideradas. (P= probabilidade de Erro Tipo I).

	PC 1	P	PC 2	P
Abundância (Caixa A)	0.266	0.220	0.401	0.058
Abundância (Caixa B)	0.027	0.902	0.436	0.038

Discussão

Os deslocamentos ascendentes dos peixes tropicais, que as escadas buscam manter, têm natureza reprodutiva ou alimentar. As migrações reprodutivas envolvem indivíduos com gônadas em maturação (Godoy, 1975) que buscam os trechos mais altos da bacia para a desova, coincidindo com os níveis crescentes dos rios (Lowe-McConnell, 1999; Agostinho et al., no prelo; Agostinho et al., submetido). As migrações tróficas, por outro lado, ocorrem no período de retração das águas para a calha dos rios (vazante), são consideradas como movimentos de dispersão à busca de melhores condições alimentares e envolvem jovens do ano e adultos (Golding & Carvalho, 1982; Ribeiro, 1983). Junk (1984) relata movimentos decorrentes de mudanças no nível do rio e os discrimina daqueles tróficos e reprodutivos. Neste estudo, a interpretação dos motivos fisiológicos do ingresso e ascensão dos peixes na escada experimental não pode ser identificada. Entretanto, a elevada

incidência de exemplares com gônadas em estádios outros que não maturação ou maduro indica que a busca de locais de desova a montante não foi a principal razão destes movimentos. Além disso, a elevada ocorrência de estômagos vazios, especialmente entre os não piscívoros (observações pessoais), sugere que motivações tróficas podem também estar envolvidas nestes movimentos. Entretanto, a ascensão à escada foi nitidamente sazonal, com maiores intensidades nos meses mais quentes (outubro a fevereiro), quando atividade reprodutiva é maior (Vazzoler, 1996; Agostinho et al., 2000) e a vazão, em geral, mais elevada.

Além da motivação endógena, estímulos ambientais como a temperatura e a velocidade da água, a vazão e o nível do rio parecem desempenhar papel relevante na migração ascendente de peixes (Godoy, 1985; Vazzoler, 1996). Neste estudo, sob condições de velocidade e vazão constante na escada, constatou-se uma influência significativa da temperatura da água e da

vazão turbinada pela Usina Hidrelétrica de Itaipu sobre a intensidade de ascensão dos peixes. Já a vazão vertida e o nível do rio não mostraram influências relevantes, podendo o fato ser parcialmente explicado pela localização do vertedouro a cerca de 1.000m a jusante da base da escada.

O papel da temperatura na atividade natatória de peixes tem sido amplamente reconhecido na literatura (Baker & Vatapka, 1990; Gould & Belford, 1986; Prignon, 1998). Durante este estudo, desenvolvido sob condições de temperatura médias diárias variando de 19,7 a 30°C, mais de 70% das capturas no ponto intermediário da escada e 91% daquelas de seu topo foram obtidos em temperaturas superiores a 24°C. Isto evidencia que não apenas a intensidade de ingresso na escada, mas também a eficiência com que alcançam os trechos mais altos é aumentada. A este propósito, Haro (1999) informa que, em observações realizadas para espécies de *Alosa*, no Alasca, o

aumento da temperatura leva a um incremento na ascensão de peixes e redução no tempo de passagem. Kynard (1998), avaliando a transposição de esturjão na represa de Holzoku (rio Connecticut, EU), constatou que, com a temperatura variando entre 10 e 27°C, 86% das capturas ocorreram entre 12 e 23°C. Jensen (1998) avaliando os deslocamentos de peixes em riachos encontrou que sob condições de baixas temperaturas, mesmo pequenos obstáculos podem ser intransponíveis. Northcote (1998) associa as taxas de migração de peixes ao efeito da temperatura nos ciclos endócrinos, que nos peixes é marcante em razão de sua pecilotermia. Para Greenstreet (1992), entretanto, o efeito da temperatura sobre a migração noturna em escadas parece reduzido ou nulo.

No presente estudo manteve-se constante a vazão e a velocidade da água na escada, com os valores de 323 litros/segundo e 2,3 metros/segundo, respectivamente. O

primeiro está mais relacionado à atração dos peixes para o interior da escada, enquanto o segundo ao sucesso destes em ascende-la. A vazão de atração é um dos mais importantes aspectos de qualquer estrutura de passagem de peixes (Clay, 1995), enquanto os valores de velocidade podem se configurar como limitantes ao deslocamento através dela. Observações de Quirós (1988) indicam que velocidades acima de 3,6 m/s dificultam a ascensão de peixes na escada de Cachoeira de Emas. Os valores ótimos e limitantes de velocidade da água devem ser, entretanto, características que variam conforme a espécie considerada. Assim, velocidades superiores a 1,5 m/s foram limitantes à ascensão de *Alosa* spp em passagem de peixes do rio Rhone, abaixo de Lyon, França (Larinier et al., 1978). Para juvenis de *Macquaria novemaculeata* e *Lates calcarifer* este valor é ligeiramente inferior (1,4 m/s; Mallen-Cooper, 1992). Já Ebel (1985), analisando salmonídeos, indica que a velocidade crítica da água situa-se em 4,0 m/s. Os valores obtidos neste estudo e aqueles relatados por Quirós (1988) mostram que a habilidade natatória dos peixes da bacia do rio Paraná situa-se próxima a dos salmonídeos.

A vazão de atração da escada também deve ser considerada em termos de competição de vazão, sendo fortemente influenciada pela localização da entrada da passagem de peixes, a qual compete com as vazões das turbinas e do vertedouro em termos de atração durante a migração dos peixes (Parasiewicz, 1997). A proximidade da escada em relação às unidades geradoras, ao contrário do que ocorre com o vertedouro, explica a relação positiva entre as entradas na escada e a vazão turbinada, neste estudo. As variações na vazão turbinada oscilaram entre 8172 e 10559 m³/s, sendo que mais que 60% das capturas nas escadas ocorreram quando os valores desta superaram 9400 m³/s. É esperado que o incremento na vazão atue

como força atratora dos peixes para as imediações.

A ocorrência de elevadas vazões turbinadas sob condições de baixas temperaturas (maio e junho) não resultou em incremento no ingresso de peixes na escada, sugerindo a existência de sazonalidade na ocorrência dos peixes migradores nas imediações ou uma baixa atividade natatória. A ascensão de reprodutores de truta marrom, *Salmo trutta* na escada de peixes na represa Hunder, no rio Gudbrandsdalslaagen, leste da Noruega, durante o período de 1983-90 foi correlacionada com a vazão do rio e a temperatura da água. Quando a vazão ultrapassava 180 m³/s, havia dificuldade para os peixes localizarem a entrada da escada, devido ao seu baixo poder de atração. Por outro lado, vazões abaixo de 20 m³/s tornava difícil a ascensão de peixes de grande porte, e aquelas inferiores a 10 m³/s eram limitantes para todos os tamanhos de peixes (Jensen, 1995).

Além da vazão e temperatura, outros fatores ambientais têm sido relacionados à migração dos peixes, destacando-se entre eles o fotoperíodo (Bond, 1979); o oxigênio dissolvido (Bates, 1998), o tamanho e a forma do corpo dos indivíduos (Peake et al, 1995; Zhao, 1980).

Embora o modelo hidráulico associado à escada experimental de peixes revele-se promissor na atração e ascensão de peixes, sendo passível de utilização prática em barragens do rio Paraná, cabe ressaltar que os estudos dos fatores que afetam a transposição de peixes e a análise da eficiência destas facilidades representa apenas uma das etapas que deve ser cumprida antes que empreendimentos desta natureza sejam efetivados. É necessário também identificar áreas favoráveis à procriação da espécie e seu desenvolvimento, analisar a viabilidade dos indivíduos, uma vez transposta a barragem, alcançarem estas áreas e, finalmente, a

possibilidade de que o benefício do recrutamento se estenda ao trecho a jusante.

Bibliografia

- Agostinho, A. A.; Gomes, L. C. ; Suzuki, H. I. and Júlio, H. F. (no prelo). Migratory fish from upper Paraná River basin, Brazil. *Journal of Fishes Biology*. 57(3):791-807
- Agostinho, A. A., Gomes, L. C. and Fernandez, D. R. no prelo. Fish ladders as na instrument for the conservation and management of fishing resources in Brazil. Submetido a *Revista Ciência e Cultura*.
- Baker, C. O. and F. E. Votapka, 1990. Fish Passage Though Culverts, Prepared by U. S. Dept. Agric., Forest Serv. U. S. Dept. Transp., Fed. Highway Adm. Rep. No. FHWA-FL-90-006.
- Bond, C. E., 1979. *Biology of Fishes*. Saunders College Publishing. Philadelphia, 514 pp.
- Britski, E. 1994. As bacias hidrográficas e a preservação da biodiversidade. Seminário sobre fauna aquática e o Setor Elétrico Brasileiro. Caderno 6, 30-37.
- Clay, Charles H., 1993. *Design of Fishways and Other Fish Facilities*, Second Edition, Lewis Publishers, Boca Raton, 244pp.
- Ebel, W. J. (1985). Review of effects of environmental degradation on the freshwater stages of anadromus fish pp62-79 in *Habitat Modification and Freshwater Fisheries*. Alabasters J. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fernandez, D. R. no prelo. Seletividade da escada de peixes do Canal de Migração da Itaipu Binacional.
- Golding, M. & Carvalho, M. L. 1982. Life history and management of the tambaqui (*Colossoma macropomum: Characidae*): na important Amazoniam food fish. *Revista Brasileira de Zoologia*, 1(2):107:33.
- Gould, W. R. and D. A. Belford, 1986. Prepared by Montana Coop. Fish. Res. Unit, Montana State Univ., for Montana Dept. Highways, Proj. 8093.
- Godoy, M. P., 1975. Peixes do Brasil, Subordem Characoidei, Bacia do rio Mogi Guaçu, Piracicaba, Brasil. Editora Franciscana, 4 volumes.
- Godoy, M. P., 1985. *Aquicultura. Atividade multidisciplinar. Escadas e outras facilidades para passagens de peixes. Estações de piscicultura*. Florianópolis, Brasil, Eletrosul, 77p.
- Greenstreet, S. P. R. (1992). Migration of hatchery reared juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* smolts down a release ladder. Environmental effects on migratory activity. *J. Fish Biol.* 1992, vol. 40, n°5, pp 655-666.

- Haro, A.; Odeh, M.; Castro-Santos, T. and Noreika, J. (1999). Effect of slope and headpond on passage of American shad and blueback herring through simple Denil and deepened Alaska steep pass fishways. North American Journal of Fisheries Management 1999, vol. 19, n° 1, pp 51-58.
- Jensen, A. J. and Aaass, P. (1995). Migration of a fast-growing population of brown trout (*Salmo trutta*) through a fish ladder in relation to water flow and water temperature. Regulated Rivers: Res. Manage. 1995 vol. 10, n° 3-4, pp. 217-228.
- Jensen, A. J.; Hvidsten, N. A. and Johnsen, B. (1998). Effects of temperature and Flow in two Norwegian River. Chapter 4 Fish Migration and Fish Bypasses pp 45-54.
- Junk, W. J. 1984. Ecology, fisheries and fish culture in Amazon. In: Sioli H, The Amazon: Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin. Pp 443-76. Dordrecht: Dr W. Junk
- Kynard, B. (1998). Twenty-two years of Passing Shortnose Sturgeon in Fish Lifts on the Connecticut Rivers: What has been learned? Chapter 20 pp255-264 in Fish Migration and Fish Bypasses.
- Larinier, M.; Rivier, B.; Allardi, J. and Trocherie, F. (1978). Dam passing possibilities for Rhone shads at Beaucaire. Bull. Fr. Piscic., 1978 (n° 268), 107-120.
- Lowe-McConnell, 1987. Ecological studies in tropical fish communities. Cambridge University Press 382 pp.
- Mallen-Cooper, M. (1992). Swimming ability of juvenile Australian bass, *Macquaria novemaculeata*, and juvenile barramundi, *Lates calcarifer* in an experimental vertical slot fishway. Aust. J. Mar. Freswat. Res. 1992, vol 43, n° 4 pp. 823-834.
- Manly, B. F. J, 1994. The design and analysis of research studies. 353 pp, Cambridge University Press.
- Northcote, T. G. (1998). Migratory behavior of Fish and it's Significance to Movement Through Riverine Fish Passage Facilities. Chapter 1, Fish Migration and Fish Bypasses, pp 3-18.
- Parasiewicz, P.; Eberstaller, J.; Weiss, S. and Schmtz, S. (1997) Conceptual Guidelines for Nature-like Bypass Channels, Chapter 26, p.348-362 Fish Migration and Fish Bypasses, 434 pp. Fishing News Books.
- Peake, S.; Beamish, F. W. H.; Mckinley, R. S.; Katopodis, C. and Scruton, D. A. (1995). Swimming performance of lake sturgeon, *Acipenser fulvescens*. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. J. Can. Sci. Halieut. Aquat. 1995 n° 2063, 30pp.

- Prignon, C.; Micha, J. C. and Gillet, A. (1998). Biological and Environmental Characteristics of Fish Passage at the Tailfer Dam on the Meuse River, Belgium. Chapter 6 Fish Migration and Fish Bypasses pp 69-84.
- Quirós, R., 1988. Structures Assisting Migrations of Fish Other than Salmonids: Latin America, FAO-COPESCAL Tech. Doc. n15, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 50pp.
- Ribeiro, M. C. L. 1983. As migrações dos jaraquis (Pisces, Prochilodontidae) no rio Negro, Amazonas, Brasil. Dissertação de Mestrado. INPA, Manaus, Brasil
- Torloni, C.E. C., 1984. Considerações sobre a utilização da escadas para peixes e de estações de aquicultura na conservação da fauna ictica da São Paulo, Publicação CESP, São Paulo, Brasil.
- Vazzoler, A. E. A. de M., 1996. Biologia da Reprodução de Peixes Teleósteos: Teoria e Prática. Editora da Universidade Estadual de Maringá (EDUEM), Maringá - Brasil, 169 p.
- Zhao, X. and Han, Z. (1980). Experiments on the current overcoming ability of some freshwater fishes. Journal of Fisheries, China, 4(1), 31-37.