

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE AMBIENTES
AQUÁTICOS CONTINENTAIS

Tese de Doutorado

O Canal da Piracema como sistema de transposição

Sérgio Makrakis

Maringá-PR

2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Sérgio Makrakis

Tese de Doutorado

O Canal da Piracema como sistema de transposição

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais da Universidade Estadual de Maringá, como parte dos requisitos para a obtenção do título de doutor em Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Luiz Carlos Gomes

Maringá-PR

2007

DEDICO

*Aos meus filhos Pedro e Nicole, a
minha esposa Maristela e aos
meus pais Maria de Lourdes e
Francisco (in memoriam)*

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr Luiz Carlos Gomes pela dedicação na orientação, confiança, apoio, amizade e principalmente no apoio e incentivo para irmos para os Estados Unidos: a família Cavicchioli Makrakis agradece de coração;

Ao Professor Leandro Esteban Miranda, PhD, pela co-orientação e principalmente, pelas valiosas contribuições e oportunidades nas diversas áreas do conhecimento, para mim e para minha família;

Ao Department of Wildlife and Fisheries da Mississippi State University pelo apoio logístico;

Ao Professor Dr Angelo Antonio Agostinho pela oportunidade à pesquisa e no aprendizado em sistemas de transposição;

Ao João Dirço, Tato, Chiquinho, Tuti e Wladimir pelas sugestões, auxílio nas coletas, e pelos bons momentos de convivência;

Ao Hélio Fontes, Domingo, Sandro, Vilmar e Moacir da Itaipu Binacional pela oportunidade da pesquisa, apoio e paciência nas coletas no Canal da Piracema;

Ao Paulo Gamaro e equipe do Setor de Hidrologia da Itaipu Binacional pelo auxílio nas coletas dos dados de velocidade no Canal da Piracema;

Aos colegas, técnicos e estagiários do Grupo de Pesquisa em Recursos Pesqueiros e Limnologia/GERPEL pelo auxílio nas coletas e apoio logístico;

A Dra. Carla Pavanelli pelo auxílio nas identificações dos peixes;

À secretária do PEA, Aldenir pelo apoio e eficiente auxílio;

A bibliotecária Salete pela ajuda nos levantamentos bibliográficos;

Ao Nupélia e PEA pelo apoio logístico, sem o qual este trabalho não poderia ser desenvolvido;

A Itaipu Binacional pelo apoio logístico e financeiro a pesquisa;

A minha mãe Maria de Lourdes pelo amor, dedicação e incentivo em todos os momentos da minha vida;

Ao meu pai Francisco, em memória;

Aos meus filhos Pedro e Nicole pelo amor, carinho e compreensão nas várias ausências causadas;

*A minha esposa Maristela pelo amor, apoio, dedicação e ajuda em todos os momentos;
Aos meus sogros Archangelo e Yoco pelo apoio, carinho e cuidado com nossos filhos;
Aos amigos Plínio, Telmo, Marcus e Adalberto pelo apoio, incentivo e amizade;
À todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a elaboração desse trabalho;
A DEUS por todos os momentos.*

SUMÁRIO

Capítulo 1. O Canal da Piracema como sistema de transposição

Resumo.....	2
Abstract.....	3
Introdução	4
Material e Métodos	5
Área de Estudo.....	5
Coleta de dados	8
Análise de dados	10
Seletividade do Canal da Piracema.....	11
Resultados.....	11
A ictiofauna do Canal da Piracema.....	11
Seletividade do Canal da Piracema.....	16
Discussão.....	18
Referências.....	21

Capítulo 2. O uso da análise de sobrevivência para estimar a eficiência, o risco e construir modelos preditivos para avaliação da ascensão de peixes migradores em sistemas de transposição

Resumo.....	30
Abstract.....	31
Introdução	32
Material e Métodos	35
Área de estudo.....	35
Coleta de dados	37
Análise de dados	39
Resultados.....	41
Discussão.....	48
Referências.....	52

Capítulo 1

O Canal da Piracema como sistema de transposição

O Canal da Piracema como sistema de transposição

Resumo

O Canal da Piracema é considerado o maior sistema de transposição para peixes no mundo, com 10 km de extensão. A sua construção foi controversa, pois viabilizou a conexão entre duas províncias ictiofaunísticas distintas. Este trabalho buscou avaliar a ictiofauna presente no Canal da Piracema, a abundância e distribuição das espécies migradoras de longa distância ao longo deste sistema de transposição (indicação de seletividade). O Canal da Piracema mostrou-se difícil de ser amostrado, devido a sua elevada heterogeneidade ambiental: lagos artificiais, escadas e canais semi-naturais, sendo utilizados diversos aparelhos de pesca, adequados aos diversos biótopos (litoral não estruturado e estruturado, amostrados com redes de arrasto e pesca elétrica; lântico, amostrado com redes de espera e espinhel (mais profundo); e águas rápidas, amostradas com tarrafas). A ictiofauna presente seguiu o padrão para a América do Sul e rio Paraná, com amplo domínio de Characiformes e Siluriformes, sendo Characidae, Anostomidae, Pimelodidae e Loricariidae as famílias mais representativas. Ao todo foram capturadas 116 espécies sendo que 17 eram migradoras de longas distâncias. Nas regiões litorâneas estruturadas e não estruturadas do Canal da Piracema, as capturas se restringiram às espécies de pequeno porte, sendo as mais representativas *Bryconamericus exodon* e *Apareiodon affinis*. Nas áreas lânticas houve predomínio de *Hypostomus* spp., seguidos de *Iheringyichthys labrosus*. Nas áreas lânticas profundas a espécie mais capturada foi *Hoplias* aff. *malabaricus*. Nas áreas de águas rápidas houve maior captura de espécies migradoras de longa distância, sendo *Prochilodus lineatus* e *Leporinus elongatus* as mais capturadas. A redução acentuada, no sentido de jusante a montante, inclusive das migradoras, indica que o Canal da Piracema está sendo seletivo. Então, a busca de informações dos vários tipos de sistemas de transposição existentes ao longo do Canal da Piracema é fundamental para permitir a movimentação ascendente de peixes. Se isto for alcançado, este polêmico mecanismo de transposição tem potencial para contribuir para a conservação dos estoques de peixes no reservatório de Itaipu e segmento a montante, devido a presença de áreas de desova e crescimento necessários para as espécies migradoras.

Palavras-chave: rio Paraná, peixes migradores, transposição, canal de migração, escada para peixes.

Abstract

The Canal da Piracema is the longest (nearly 10 km) fish pass system in the world. The construction of this fish pass was somehow controversial, because it connected two distinct ichthyofaunistic provinces. This paper evaluated the ichthyofauna present in the Canal da Piracema and the abundance and distribution of long distance migratory fish species along this fish pass system (evaluate possible selectivity). The Canal da Piracema showed itself difficult to sample because its environmental heterogeneity: artificial ponds, ladders and nature-like fish pass. To solve this problem we used several fishing gears, adequate for the several biotopes presented (unstructured and structured littoral were sampled with seining nets and electrofishing; lentic were sample with gillnets and longlines (deeper areas); and rapid water areas were sampled with cast nets). The ichthyofauna of the Canal da Piracema followed the pattern for South America and the Paraná River, with dominance of Characiformes and Siluriformes. The most representative families were Characidae, Anostomidae, Pimelodidae and Loricariidae. We captured 116 species (17 were long distance migratory) during the studied period. Small sized species were dominant in unstructured and structured littoral areas, specially *Bryconamericus exodon* and *Apareiodon affinis*. The most abundant species was *Hypostomus* spp. in lentic areas, followed by *Iheringichthys labrosus*. *Hoplias* aff. *malabaricus* predominated in deeper lentic areas. Long distance migratory species were abundant in rapid waters; they were *Prochilodus lineatus* and *Leporinus elongatus*. The sharp reduction in the number of species, included migratory ones is an indication that the Canal da Piracema is selecting the species that ascend it. Therefore, the search for information on the efficiency of the various fish passes presented in the Canal da Piracema is fundamental, to facilitate upwards movements of fish. If this is reached, this polemic fish pass has potential to contribute to conservation of fish stocks in the Itaipu Reservoir and upstream stretches, because the presence of spawning and development (nurseries) areas for migratory species.

Key words: Paraná River, migratory fish, transposition, migration channel, fish ladder.

Introdução

Sistemas de transposição são estruturas que peixes geralmente sobem nadando ou saltando, que propiciam a livre movimentação quando são adicionadas barreiras no ambiente natural, como os casos de barragens para formação de reservatórios. Diversos tipos de mecanismos foram desenvolvidos ao longo do tempo, destacando-se as escadas, elevadores, eclusas, canais laterais e semi-naturais (Orsborn, 1987; Clay, 1995; Miranda, 2001; Larinier, 2002a). Estes foram desenvolvidos para a ictiofauna da região temperada, mas também são amplamente utilizados para favorecer a movimentação de peixes em regiões tropicais (Agostinho *et al.*, 2002).

Não existe dúvida que os grandes peixes migradores da região Neotropical podem ascender escadas e outros facilitadores, com uma eficiência dependendo da adequação do desenho (Quirós, 1988; Companhia Energética de São Paulo, 2000). No Brasil, as escadas é a opção mais frequentemente utilizada para permitir a livre movimentação de peixes. Esse dispositivo tem sido considerado bastante seletivo, sendo o fato atribuído à negligência da relação, entre as técnicas da barragem (tipo, declividade, vazão e posição em relação a barragem) e a natureza da ictiofauna (Agostinho *et al.*, 2002, 2007). Dentre os outros sistemas destacam-se elevadores para peixes (UHE Engenheiro Sérgio Motta no rio Paraná; e Funil, no rio Grande), além de diversas eclusas.

Face ao bloqueio imposto pela barragem da Hidrelétrica de Itaipu, vários estudos foram conduzidos na área buscando alternativas que mitigasse esse impacto. Em 1992, a Itaipu Binacional construiu uma escada experimental que se mostrou funcional para ascensão de várias espécies de peixes, incluindo as migradoras de longa distância (Fernandez & Oro, 1996; Fernandez, 2001; Agostinho *et al.*, 2005; Fernandez *et al.*, submetido). Uma avaliação, conduzido no rio Bela Vista, um afluente da margem esquerda do rio Paraná, no trecho imediatamente a jusante da barragem, foram identificadas 57 espécies de peixes das quais 15 eram migradoras (Canzi *et al.*, 1998). Estes resultados, mais a existência de áreas apropriadas para reprodução e crescimento de espécies migradoras de longa distância acima do reservatório de Itaipu (Agostinho *et al.*, 1993; Gomes & Agostinho, 1997), instigou a Itaipu Binacional a estudar a possibilidade de construir uma passagem para peixes sobre o leito do rio Bela Vista, denominado como Canal da Piracema, concluído em dezembro de 2002, ligando o rio Paraná ao reservatório de Itaipu. Este canal, com 10 km de extensão, utiliza 7 km do rio

Bela Vista, e apresenta em seu trecho artificial, lagoas para descanso e escadas para peixes, superando os 120 m de desnível, entre o reservatório e o rio Paraná a jusante. É o primeiro construído em um grande reservatório do Brasil e da América do Sul, além de ser considerado o mais longo no mundo (Carolsfeld, 2004). A sua construção foi controversa, pois ele viabilizou a conexão entre duas províncias ictiofaunísticas distintas, cuja barreira natural era as cachoeiras Sete Quedas (Bonetto, 1996), inundada pelo reservatório de Itaipu, cuja barragem passou a ser o limite inferior entre as províncias (Agostinho *et al.*, 1994).

Canais semi-naturais, quando exequíveis, representam uma das melhores estratégias de mitigação (exceto quando o obstáculo pode ser removido), pois proporcionam um caminho semi-natural para a movimentação dos peixes, dentro de uma ampla variação de condições do fluxo e também oferece habitats alternativos em áreas represadas (Lucas & Baras, 2001). Este trabalho, então, busca avaliar a ictiofauna presente no Canal da Piracema, procurando determinar se ele apresenta as características desejáveis de um sistema de transposição. Especificamente, pretende-se i) caracterizar a ictiofauna que utiliza o Canal da Piracema; e ii) avaliar a possibilidade de o Canal ser seletivo, com ênfase para as espécies migradoras de longa distância, para as quais o mecanismo foi construído.

Material e Métodos

Área de estudo

O Canal da Piracema inicia-se no rio Paraná, abaixo da barragem, e estende-se até a barragem de Itaipu (Fig. 1). A entrada a montante está localizada ao longo da barragem de terra, a 6,6 km a leste do vertedouro e 4,8 km da turbina mais próxima. Na entrada do canal, a profundidade média do reservatório é de 3,5 m. A jusante, a entrada está localizada na margem esquerda do rio a 2,5 km abaixo da barragem. Ao todo, o canal tem a extensão de aproximadamente 10 km. Esta extensão inclui 6,7 km sobre o leito natural do rio Bela Vista, bem como várias escadas para peixe, lagos artificiais e canais semi-naturais (para uma descrição detalhada ver Fiorini, 2006), descritos a seguir.

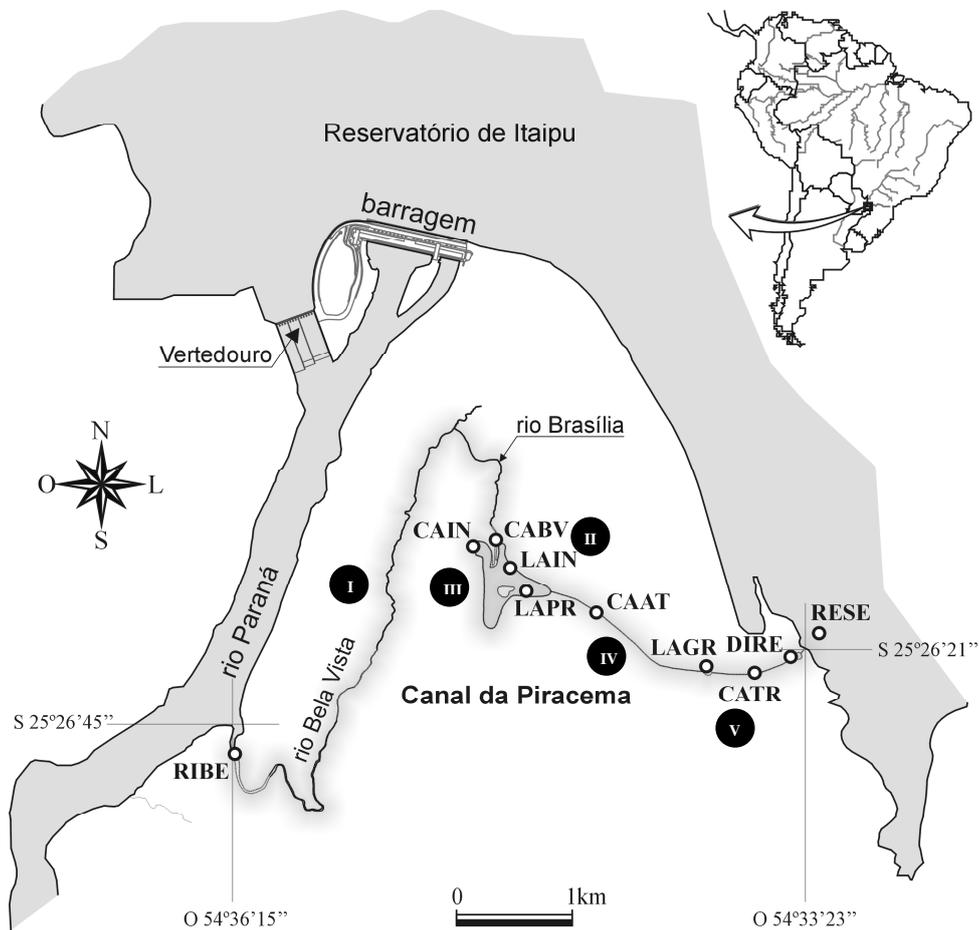


Fig. 1. O Canal da Piracema incluindo o rio Paraná, rio Bela Vista (RIBE), riacho Brasília, Canal de Deságüe do rio Bela Vista (CABV), Canal de Iniciação (CAIN), Lago Inferior (LAIN), Lago Principal (LAPR), Canal de Alimentação em Aterro (CAAT), Lago das Grevilhas (LAGR), Canal de Alimentação em Trincheiras (CATR), Dique de Regulagem (DIRE) e Reservatório (RESE). Locais de amostragens estão identificados e os respectivos segmentos numerados em circunferência negra.

A primeira seção do Canal da Piracema, que será descrita do sentido de jusante a montante, é um canal semi-natural, o leito do rio Bela Vista, que deságua no rio Paraná. Este córrego foi ampliando de 4 – 6 m e aprofundado para 0,5 – 2,0 m. O comprimento total deste trecho é de aproximadamente 6,7 km, com uma declividade média de 4,0%. Partes deste rio foram derrocadas para eliminar as cachoeiras mais elevadas. A inserção do rio Bela Vista com o rio Paraná ocorre em um ângulo de aproximadamente 60°, que aparentemente pode prejudicar a atratividade do Canal da Piracema. Nesta área, o rio Paraná apresenta cerca de 720 m de largura, que pode variar dependendo da vazão. A média das vazões do rio Paraná é de aproximadamente 10.000 m³/s, e velocidade da água de 2,0 m/s na superfície.

Posteriormente, encontra-se o riacho Brasília, que corre por 800 m para o rio Bela Vista, sendo que este córrego foi ampliado para 5 m e aprofundado de 0,5 – 1,0 m. As encostas têm 4:1. A declividade do riacho Brasília é de 4,0%, sendo esta a seção com menor profundidade e maior turbulência. Este canal semi-natural é ligado por uma escada para peixes, o Canal de Deságüe do rio Bela Vista, que drena o Lago Inferior dentro desta escada de concreto. A escada se estende em torno de 150,5 m, é construída de concreto reforçado, com 5 m de largura e uma declividade de 6,25%. A escada é de seção retangular com fundo de 5,0 m e altura de 2,5 m e foi provida com obstáculos de concreto espaçados em 4 m para diminuir a velocidade da água. Os obstáculos de concreto possuem uma abertura de 1 m, alternadamente para a direita e para a esquerda de cada obstáculo.

Os elementos centrais do Canal da Piracema são dois lagos artificiais, Principal e Inferior. A área do Lago Principal é de 14 ha e o Lago Inferior de 1,2 ha, com profundidades de até 5 e 4 m, respectivamente. As margens são revestidas com solo, vegetação e pedras irregulares. Esses dois lagos são conectados por uma escada de peixes, o Canal de Iniciação, construído de concreto reforçado e equipado com obstáculos transversais para controlar a velocidade da água. A escada serpenteia entre os lagos, tendo 521 m de extensão e uma declividade de 1,5%.

O Lago Principal recebe o deságüe de uma escada para peixes, o trecho de 1,6 km de escada de peixes, o Canal de Alimentação em Aterro. Esta seção é uma escada trapezoidal construída com preenchimento de terra, com largura máxima de 12 m para o fundo e declividade das margens de 2:3. O fundo e os lados desta escada são revestidos como na primeira parte. Esta seção tem uma declividade média de 3,1% no trecho inicial, 2,0% na porção intermediária e 0,8% no trecho final. Esta escada é abastecida

pelo Lago da Grevilhas, uma lagoa artificial de 0,5 ha, com profundidade média de 3,0 m, os lados e fundo são revestidos com pedras irregulares de enrocamento, e foi construída como local de descanso para os peixes. Esta lagoa é abastecida pelo Canal de Alimentação em Trincheiras, que estende por 2,4 km, com os primeiros 0,73 km de escada escavada em uma trincheira. A seção trapezoidal desta escada é de 8 m de extensão no fundo, com 2:3 de declividade do aterro (vertical : horizontal), escavado em basalto aluviano. Ela é revestida, no fundo e lados, até o nível da água, com pedras irregulares de enrocamento, bem como defletores de concreto, espaçados para diminuir a velocidade do fluxo. Esses defletores são de 0,6 m de altura, com aberturas laterais de 1,0 m, localizados alternadamente em relação as margens. A declividade é, em média, 5,0% no trecho inicial, 0,7% na porção intermediária e 5,0% no trecho final.

O Dique de Regulagem que desemboca dentro desta última escada para peixes, esta área é formada pelas estruturas de concreto da tomada de água, pelo dique de regulagem e a lagoa de estabilização. A tomada de água e a lagoa de estabilização têm uma profundidade média de 3,3 m e uma área de 0,4 ha. O Dique de Regulagem é composto de três comportas, com 2,0 m de altura. A função dessas comportas é manter o nível máximo da lagoa de estabilização para 0,45 m abaixo do nível da superfície do Reservatório de Itaipu, para restringir as velocidades nas comportas da tomada de água e ficarem menores do que 3,0 m/s, ao longo do Canal.

Coleta de dados

O Canal da Piracema como sistema de transposição para peixes foi avaliado entre abril de 2004 a maio de 2005. As amostragens foram conduzidas mensalmente, exceto em junho e julho, ao longo do Canal da Piracema, e devido a heterogeneidade em seus biótopos (lagoas de descanso, escadas e canais) é esperado que diferentes espécies habitem esses locais. Assim, para identificar quais espécies utilizam o canal, foram utilizados diferentes apetrechos de pesca.

Ao todo, foram amostradas 11 estações (Tabela 1), com uso de apetrechos de pesca apropriados para cada uma delas, cujas características estão descritas na tabela 2. As redes de espera (simples com malhas 2,4, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16 e feiticeiras com malhas 6, 7 e 8 cm entre nós opostos) foram instaladas ao entardecer (16:00 hs), com revistas de 4 em 4 hs, até as 8:00 hs da manhã do dia seguinte (esforço de 16:00

hs). Os espinhéis tinham 150 m de comprimento, com 30 anzóis iscados com morenita e operados de maneira similar as redes de espera. As tarrafas (malhas 6, 7, 8, 10, 12 e 14 cm entre nós opostos) foram operadas de forma padronizada (5 lances cada), de manhã (10:00 às 12:00 hs) e de tarde (14:00 às 16:00 hs). Caniços (isca artificial) também foram operados por uma hora, de manhã (10:00 às 11:00 hs) e a tarde (14:00 às 15:00 hs). As redes de arrasto também foram operadas ao amanhecer (7:00 hs) e ao anoitecer (19:00 hs). Finalmente, a pesca elétrica (gerador de 2500 W, saída de 1000 V, 60 Hz DC) foi operada à tarde, por 15 minutos (entre as 17:00 e 18:00 hs).

Tabela 1. Localização das estações de amostragens (distância de jusante a montante) ao longo do Canal da Piracema e os apetrechos de pesca utilizados. Números entre parênteses são os horários nos quais os equipamentos foram utilizados (RE: redes de espera simples e feiticeiras; ES: espinhel; RA: rede de arrasto; TA: tarrafas, CA: caniço; e PE: pesca elétrica).

Localização	Distância do rio Paraná (km)	Métodos de amostragens de peixes e período de tempo
Desembocadura do rio Bela Vista	0,5	RE e ES (16:00 – 8:00); RA (7:00 e 19:00); TA (10:00 – 12:00, 14:00 – 16:00); PE (17:00 – 18:00)
Ao longo do rio Bela Vista e riacho Brasília	0,6 – 6,6	TA (10:00 – 12:00, 14:00 – 16:00)
Desembocadura do Canal de Deságüe do rio Bela Vista	6,7	TA (10:00 – 12:00, 14:00 – 16:00)
Lago Inferior	7,0	RE (16:00 – 8:00), RA (7:00 e 19:00); CA (10:00 – 11:00, 14:00 – 15:00)
Canal de Iniciação	7,4	TA (10:00 – 12:00, 14:00 – 16:00)
Lago Principal	7,7	RE (16:00 – 8:00); RA (7:00 e 19:00); CA (10:00 – 11:00, 14:00 – 15:00); ES (16:00 – 8:00); PE (17:00 – 18:00)
Canal de Alimentação em Aterro	8,6	TA (10:00 – 12:00, 14:00 – 16:00)
Lago das Grevilhas	9,4	RE (16:00 – 8:00); CA (10:00 – 11:00, 14:00 – 15:00)
Canal de Alimentação em Trincheiras	9,7	TA (10:00 – 12:00, 14:00 – 16:00)
Dique de Regulagem	10,1	CA (10:00 – 11:00, 14:00 – 15:00); PE (17:00 – 18:00)
Reservatório de Itaipu	10,3	RE e ES (16:00 – 8:00); RA (7:00 e 19:00)

Análise dos dados

Para fins de análise, as 11 estações amostradas foram agrupadas, considerando as características hidrológicas e presença de obstáculos para a subida dos peixes, em cinco segmentos: I: rio Bela Vista; II: Canal de deságüe do Bela Vista e Lago Inferior; III: Canal de Iniciação e Lago Principal; IV: Canal de alimentação em aterro e Lago das Grevilhas; e V: Canal de alimentação em trincheiras e Dique de regulagem; seguindo, posteriormente, o reservatório de Itaipu.

Os peixes coletados foram identificados em nível de espécie (de acordo com Britski *et al.*, 1999), medidos os comprimentos total e padrão (exceto aqueles capturados com pesca elétrica, que foram registrados apenas a ocorrência nas amostras). As capturas com todos os aparelhos de pesca foram utilizadas para completar a lista de espécies, bem como as principais famílias e ordens capturadas.

Para explorar os diversos biótopos do Canal da Piracema, que limitam a operação dos diversos aparelhos de forma padronizada em cada estação, as amostras obtidas por cada um deles foram descritas. Isto foi feito para caracterizar a ictiofauna que habita os biótopos, pois cada aparelho é mais eficiente em determinadas condições. Assim, os biótopos amostrados foram: i) litorâneo não estruturado (amostrados com redes de arrasto); ii) litorâneo estruturado (com pesca elétrica); iii) águas lênticas (com redes de espera e espinhel, este último em áreas mais profundas); e iv) águas rápidas (com tarrafas). Para isto, os dados de captura por amostra (controlado por aparelho de pesca) foram transformados em presença e ausência, para avaliar se os biótopos apresentavam assembleias distintas. A matriz de dados de presença e ausência foi, então, resumida por uma técnica multivariada, a análise de correspondência (CA; Gauch, 1986), que é menos influenciada por inúmeros zeros (Olden *et al.*, 2001). Os eixos com autovalores maiores que 0,20 foram retidos para interpretação, como recomendado por Matthews (1998). Os escores das amostras foram gerados e, as médias por biótopo foram testadas por análise de variância (ANOVA) unifatorial. Em caso de a ANOVA ser significativa, o teste de Tukey a posteriori foi aplicado para identificar qual o biótopo diferente. Os pressupostos da ANOVA foram testados por Shapiro-Wilk (normalidade) e Levene (homocedasticidade).

O número de indivíduos capturados por biótopo, das principais espécies e de todas agrupadas por estratégias de vida, foram analisadas graficamente. As estratégias de vida consideradas foram: migradoras de longa distância (MIG), sedentárias sem

cuidado parental (SSC), sedentárias com cuidado parental (SCC), sedentária com fecundação interna e desenvolvimento externo (SFIE) e sedentárias com fecundação interna e desenvolvimento interno (SFII) e não identificadas (outras) (Vazzoler, 1996; Agostinho *et al.*, 2003; Suzuki *et al.*, 2004).

Seletividade do Canal da Piracema

Para avaliar a seletividade ao longo do Canal da Piracema, os dados foram analisados por segmento, considerando o número total de espécies capturadas em cada um deles, bem como o número de espécies exclusivas. O número de espécies para os segmentos I, III e Reservatório, onde as redes de espera, arrasto e espinhel foram operados de forma padronizada, foi comparado, para remover o efeito dos diferentes aparelhos utilizados. Finalmente, como o objetivo principal é a transposição de espécies migradoras, a ocorrência destas ao longo do Canal foi analisada com mais detalhes. Assim, a redução no número de espécies a medida que sobe o Canal, foi considerado indício de seletividade.

Resultados

A ictiofauna do Canal da Piracema

A ictiofauna ao longo do Canal da Piracema foi caracterizada por 116 espécies de peixes, distribuídas em 25 famílias, 9 ordens e 2 classes. A relação das espécies registradas e seu enquadramento taxonômico baseado na classificação proposta por Reis *et al.* (2003) estão apresentados no Apêndice 1, com o domínio de Characiformes (57 espécies) e Siluriformes (30 espécies). Characidae e Anostomidae foram as famílias mais representativas, compostas por 30 e 14 espécies, respectivamente (Fig. 2). Do total de espécies capturadas, 17 foram migradoras de longa distância (MIG), 68 foram sedentárias sem cuidado parental (SSC), 22 foram sedentárias com cuidado parental (SCC), 2 foram sedentárias com fecundação interna e desenvolvimento externo (SFIE) e 4 sedentárias com fecundação interna e desenvolvimento interno (SFII) e, finalmente, para 3 não foi possível classificá-las, devido à falta de informações.

Durante o período de coleta foram capturados 21.987 indivíduos, sendo a espécie mais capturada o *B. exodon* com 8.116 indivíduos, seguido de *A. affinis* com 6.447 indivíduos. A maior parte dos indivíduos capturados pertenceu a estratégia reprodutiva SSC (sedentárias sem cuidado parental) com 80,1%, seguida da SCC (sedentárias com cuidado parental) com 15,2%. As espécies migradoras contribuíram com 3,8% do número de indivíduos capturados e as espécies mais abundantes foram *P. lineatus* e *L. elongatus*.

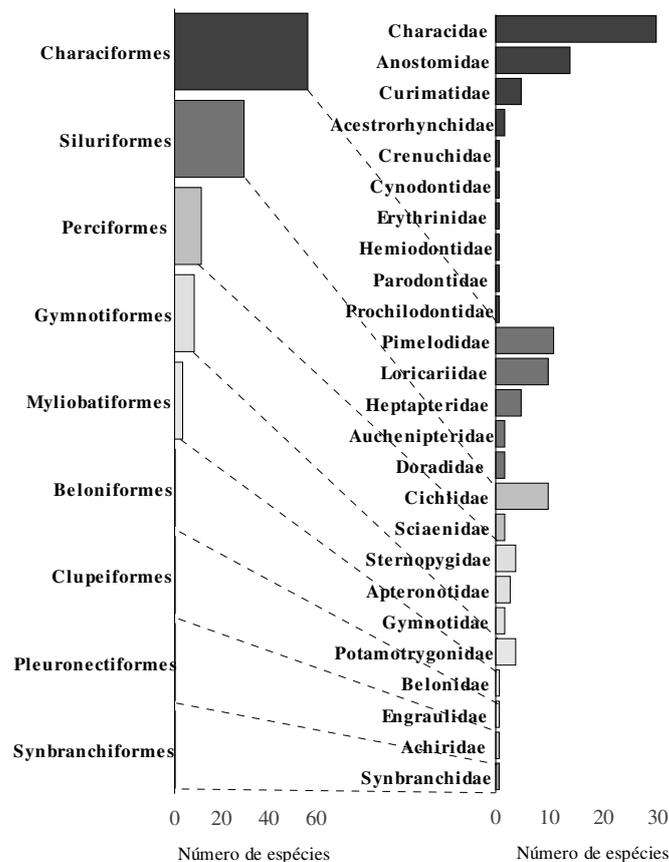


Fig. 2. Número de espécies por ordem e respectivas famílias. Linhas tracejadas delimitam as famílias relacionadas às ordens.

Os diversos apetrechos de pesca utilizados para a captura de peixes possibilitou amostrar a elevada diversidade da ictiofauna existente nos biótopos ao longo do Canal da Piracema, e estes, aparentemente, possibilitam tanto a movimentação de várias espécies como a reprodução e desenvolvimento de outras.

A análise de correspondência (CA), aplicada com finalidade de avaliar se os diferentes biótopos apresentam composição ictiofaunística diferenciada, apresentou os dois primeiros eixos com autovalores maiores que 0,20, que foram então, retidos para interpretação. A ordenação resultante (Fig. 3a) mostrou-se difícil de interpretar. No eixo 1, ficou evidente a concentração das amostras obtidas com águas rápidas (tarrafa na Fig. 3a), mais a direita, mostrando que elas foram mais homogêneas. Neste mesmo eixo, as demais amostras se posicionaram de maneira dispersa, demonstrando a importância para a complementação do inventário ictiofaunístico. Para o eixo 2, as amostras obtidas em áreas lânticas (redes de espera na Fig. 3a) se posicionaram mais superiormente na ordenação.

Estes padrões são mais evidentes quando os eixos são analisados em separado, controlando por biótopo. Assim, para o eixo 1, a ANOVA foi significativa ($F = 8,46$; $P < 0,001$) e o teste de Tukey mostrou que as águas rápidas apresentaram ictiofauna mais diferenciada (Tukey; $P < 0,05$; Fig. 3b). Para o eixo 2, a ANOVA também foi significativa ($F = 5,62$; $P = 0,001$), com a ictiofauna das águas lânticas e rápidas similares, sendo ambas diferentes da amostrada em região litorânea (não estruturada e estruturada) (teste de Tukey; $P < 0,05$; Fig. 3c). Os pressupostos de normalidade (Shapiro-Wilk; $P > 0,05$) e homocedasticidade (Levene; $P > 0,05$) foram alcançados.

Então, no eixo 1, a ictiofauna que habita águas rápidas se diferenciou das demais devido ao elevado número de espécies migradoras com destaque para a piapara *L. elongatus* e o curimba *P. lineatus* (ambas migradoras de longa distância). No eixo 2, ficou demonstrado que os biótopos litorâneos exibiram maior similaridade decorrente da ocorrência de espécies de pequeno porte, como *B. exodon* e *S. pappaterra*.

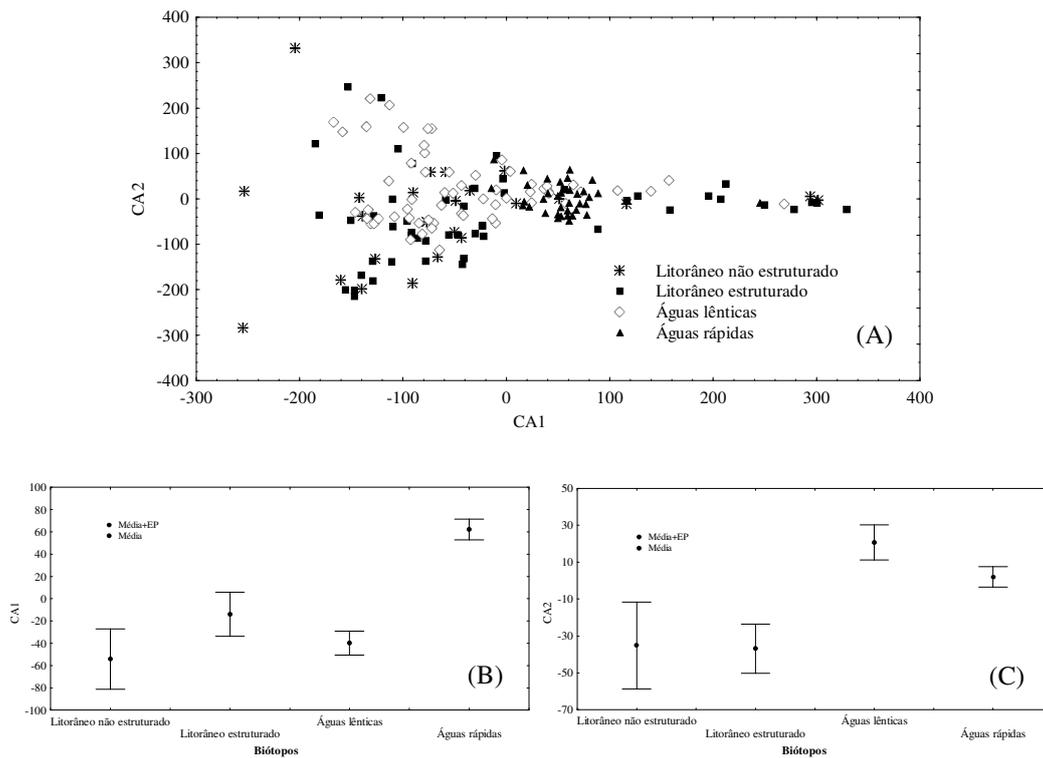


Fig. 3. Ordenação (análise de correspondência – CA; Eixo 1 – CA1; Eixo 2 – CA2) das amostras obtidas nos diferentes biótopos, ao longo do Canal da Piracema (A). Representação da média dos escores do [CA1 (B): Litorâneo não estruturado(a), Litorâneo estruturado(a), Águas lânticas(a), Águas rápidas(b)] e [CA2 (C): Litorâneo não estruturado(a), Litorâneo estruturado(a), Águas lânticas(b), Águas rápidas(a)], por biótopo. Letras minúsculas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Porém, as diferenças no número de indivíduos capturados foram mais conspícuas, mas devido as diferentes seletividades dos aparelhos de pesca, os dados não são comparáveis. Então, nas regiões litorâneas não estruturadas, as capturas restringiram as espécies forrageiras, com total de 16.689 indivíduos, sendo as mais representativas *B. exodon* e *A. affinis*, com 8.115 e 6.264 indivíduos, respectivamente, o que confirma também a maioria pertencente a categoria SSC, com 90,8% (Fig. 4a). Nestes biótopos não houve captura de migradores.

Nas áreas lânticas houve predomínio de cascudos - *Hypostomus* spp., seguidos de *I. labrosus*, com 239 indivíduos. O total de peixes capturado neste biótopo foi de 2.870 indivíduos. As estratégias de vida para a maioria dos indivíduos capturados foram SSC com 48,1 %, seguida de SCC com 41,1% (Fig. 4b). As migradoras (MIG) contribuíram apenas com 5,5% do total capturado.

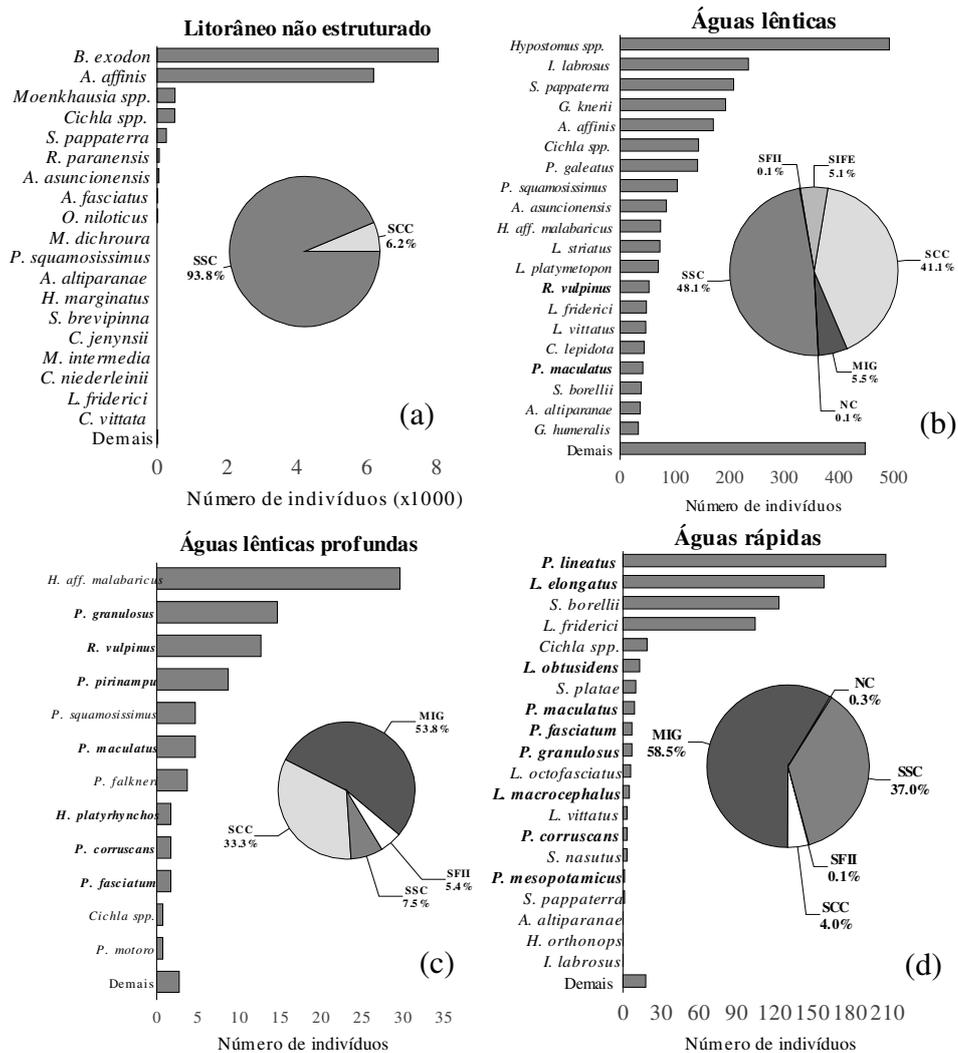


Fig. 4. Abundância (número de indivíduos capturados) das principais espécies e por estratégia reprodutiva para os diferentes biótopos: MIG (migradoras), SSC (sedentárias sem cuidado parental), SCC (sedentárias com cuidado parental), SFIE (sedentárias com fecundação interna e desenvolvimento externo), SFII (sedentárias com fecundação interna e desenvolvimento interno), OUT (outras).

Nas áreas lânticas profundas, amostradas com o uso do espinhel, a espécie mais capturada foi a traíra (*H. aff. malabaricus*), com 30 indivíduos. No entanto, em relação a estratégia de vida, houve destaque das migradoras (MIG), resultando em 53,8% do total capturado, seguida das SSC, com 33,3%. O total de indivíduos capturado por este equipamento foi 108 (Fig. 4c).

Nas áreas de águas rápidas houve maior captura de espécies migradoras (MIG) totalizando 745 indivíduos, sendo que estas representaram 58,5% do total capturado, seguido das SSC com 37,0%. As espécies mais capturadas foram as migradoras de

longa distância *P. lineatus* e *L. elongatus*, com 211 e 162 indivíduos, respectivamente (Fig. 4d).

Seletividade do Canal da Piracema

A possibilidade de seletividade para as espécies de peixes foi avaliada pela presença delas ao longo do Canal. O número total de espécies capturadas por segmento foi altamente variável. Os segmentos com maior número de espécies foram I, III e Reservatório, com 89, 69 e 49 espécies, respectivamente. Por outro lado, os com menor número de espécies foram, em ordem decrescente, II, IV e V, com 47, 41 e 33, respectivamente. Assim, o maior número de espécies no Segmento I indica que várias delas não conseguem chegar as partes superiores do Canal.

Esta possibilidade é facilmente observada quando o número de espécies exclusivas para cada segmento é analisado. O maior número foi registrado para o segmento I (24 espécies), seguido pelo segmento III (6). Os segmentos II, IV e V apresentaram 2, 3 e 2 espécies exclusivas, respectivamente. No reservatório de Itaipu, nas proximidades da entrada do Canal, não houve registro de espécies exclusivas.

Nas tendências apresentadas anteriormente, existe a possibilidade de que os aparelhos de pesca tenham influenciado a riqueza, pois o esforço não foi padronizado. Para remover o efeito dos aparelhos, a riqueza de espécies foi avaliada para os segmentos I (fim do Canal), III (região intermediária) e Reservatório (início do Canal), onde os aparelhos de pesca utilizados foram os mesmos e de forma padronizada (Fig. 5). O mesmo decréscimo de espécies, no sentido ascendente, ao longo do Canal da Piracema, foi observado, com redução de 51 (Segmento I) para 42 (Reservatório) espécies com uso das redes e de 13 (Segmento I) para 4 (Reservatório), com uso do espinhel. O número de espécies capturado com redes de arrasto foi similar nos três segmentos considerados.

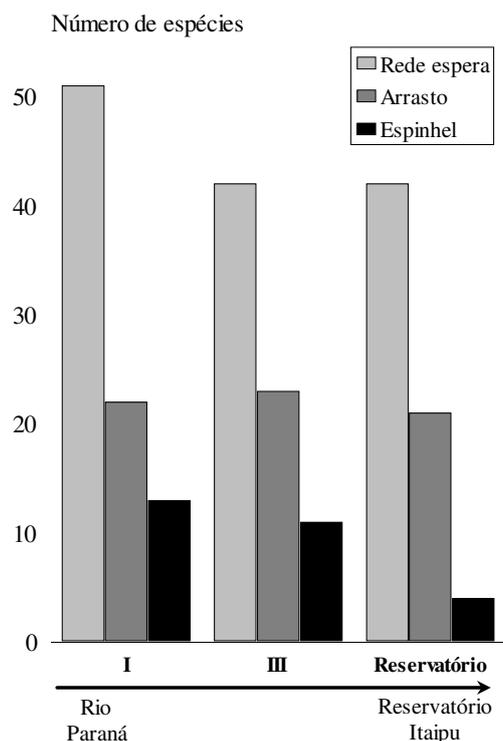


Fig.5. Número de espécies amostradas, e os apetrechos padronizados (conforme Tabela 2), nos segmentos I, III e Reservatório.

Considerando que o sistema de transposição deverá atender preferencialmente a movimentação ascendente das espécies migradoras, aquelas amostradas com os diversos apetrechos, foram distribuídas, no sentido de jusante a montante (Tabela 2). Nota-se que o maior número de espécies migradoras (16) foi registrado no Segmento I, diminuindo nos segmentos mais superiores. Aparentemente, as espécies que sobem o Canal, sem maiores dificuldades, são *L. elongatus*, *L. obtusidens*, *P. lineatus* e *S. brasiliensis*, todas excelentes nadadoras. Isto sugere que o Canal pode estar sendo seletivo para a maioria das espécies migradoras. O registro nos segmentos superiores, de algumas espécies, pode ser resultado de movimentação descendente.

Tabela 2. Distribuição das espécies migradoras ao longo do Canal da Piracema por segmento e distância (km) do rio Paraná.

jusante		montante				
-Rio Bela Vista	-Canal de Drenagem do Rio Bela Vista; -Lago Inferior	-Canal de iniciação; -Lago Principal	-Canal de Alimentação em Aterro -Lago das Grevilhas;	-Canal de Alimentação em Trincheira; -Dique de Regulagem	-Reservatório de Itaipu	
<i>B. hilarii</i>						
<i>B. orbignyanus</i>						<i>B. orbignyanus</i>
<i>H. platyrhynchos</i>						
<i>L. elongatus</i>	<i>L. elongatus</i>	<i>L. elongatus</i>	<i>L. elongatus</i>			<i>L. elongatus</i>
<i>L. macrocephalus</i>		<i>L. macrocephalus</i>	<i>L. macrocephalus</i>			<i>L. macrocephalus</i>
<i>L. obtusidens</i>	<i>L. obtusidens</i>	<i>L. obtusidens</i>				<i>L. obtusidens</i>
<i>P. corruscans</i>		<i>P. corruscans</i>	<i>P. corruscans</i>			
<i>P. fasciatum</i>						
<i>P. granulatus</i>		<i>P. granulatus</i>				<i>P. granulatus</i>
<i>P. lineatus</i>	<i>P. lineatus</i>	<i>P. lineatus</i>	<i>P. lineatus</i>			<i>P. lineatus</i>
<i>P. maculatus</i>	<i>P. maculatus</i>	<i>P. maculatus</i>		<i>P. maculatus</i>		<i>P. maculatus</i>
<i>P. mesopotamicus</i>		<i>P. mesopotamicus</i>				
<i>P. ornatus</i>						
<i>P. pirinampu</i>		<i>P. pirinampu</i>				<i>P. pirinampu</i>
<i>R. vulpinus</i>	<i>R. vulpinus</i>	<i>R. vulpinus</i>	<i>R. vulpinus</i>	<i>R. vulpinus</i>	<i>R. vulpinus</i>	<i>R. vulpinus</i>
<i>S. brasiliensis</i>	<i>S. brasiliensis</i>	<i>S. brasiliensis</i>		<i>S. brasiliensis</i>	<i>S. brasiliensis</i>	<i>S. brasiliensis</i>
	<i>Z. jahu</i>					
6,8	7,0	7,7	9,4	10,1	10,3	
Distância (km)						
I	II	III	IV	V	Reservatório	
Segmentos						

Discussão

O Canal da Piracema mostrou-se difícil de ser amostrado, devido a sua elevada heterogeneidade ambiental, com lagos, escadas e canais. Isto levou a utilização de diversos aparelhos de pesca, adequados para as características dos diversos biótopos, o que impossibilitou a definição de um protocolo de amostragem. Assim, estudos no Canal da Piracema terão que ser conduzidos, obrigatoriamente, com diversos aparelhos de pesca, o que dificulta a comparação da ictiofauna presente em sua extensão. Este foi um problema considerável neste trabalho, que nos levou a apresentar os resultados de acordo com o biótopo amostrado.

De maneira geral, a ictiofauna presente no Canal da Piracema segue o padrão para a América do Sul e rio Paraná, com amplo domínio das classes Characiformes e Siluriformes, sendo Characidae, Anostomidae, Pimelodidae e Loricariidae as famílias mais representativas (Lowe-McConnel, 1987; Agostinho & Julio Jr., 1999). O registro de Beloniformes Clupeiformes ocorreram no segmento I do Canal, uma vez que este apresenta ictiofauna característica da jusante da barragem de Itaipu, que pertence a outra província ictiofaunística (Ringuélet *et al.*, 1969; Bonetto, 1986; Agostinho *et al.*, 1994).

Espécies típicas desta região são: *Abramites hypesolonotus*, *Cynopotamus kincaidii*, *Hemiodus orthonops* (já registrada no segmento II), *Lycengraulis grossidens*, *Pachyurus bonariensis*, *Potamorhina squamoralevis*, *Pseudoplatystoma fasciatum* e *Schizodon platae*.

A maioria das espécies abundantes é de pequeno porte, com amplo domínio de Tetragonopterinae, como verificado para outros ambientes da bacia (Canzi *et al.*, 1998; Agostinho & Júlio Jr, 1999; Agostinho *et al.*, 2004; Fernandez *et al.*, submetido), sendo a espécie mais capturada o lambari *Bryconamericus exodon*. As proporções de espécies e indivíduos por estratégia de vida também foram similares a de outras regiões do alto rio Paraná (Agostinho *et al.*, 1997; Suzuki *et al.*, 2004; Gaspar da Luz *et al.*, 2004). Além disso, a grande maioria das espécies que migram mais de 100 km (migradoras de longa distância) com finalidades reprodutivas (Agostinho *et al.*, 2003; Suzuki *et al.*, 2004) também foram capturadas, pelo menos no segmento I do Canal da Piracema.

O rio Bela Vista, que apresenta as características de canal natural, com declividades não elevadas, pode ter contribuído para a elevada diversidade, possivelmente proporcionado pela variedade dos habitats existentes. Além disso, a presença de diversas espécies encontradas somente abaixo da barragem de Itaipu, que aparentemente não estão conseguindo subir, certamente contribuiu para a maior riqueza de espécies no segmento I. Então, a variedade de biótopos existentes ao longo do Canal da Piracema (canal natural, escadas e lagoas) parece criar condições para a reprodução e desenvolvimento de várias espécies de peixes do rio Paraná, que nele residem, e movimentação daquelas migradoras.

Os requerimentos para movimentação nos ambientes aquáticos variam entre as espécies, inclusive para as migradoras de água doce. No caso das construções de barragens e outras obras que possam obstruir uma seção de rio, tais obstruções têm sido responsáveis pelo declínio de espécies migradoras (Agostinho *et al.*, 2002), inclusive pelo desaparecimento de estoques inteiros (salmão nos rios Rhine, Seine, Garonne, entre outros, na França) (Porcher & Travade, 2002). A manutenção da livre passagem é necessária ser permanente ao longo de todas as obstruções existentes na bacia hidrográfica. Porém, deve ser considerado a existência, nos trechos superiores, dos diferentes ambientes necessários para as principais fases do ciclo de vida, ou seja, reprodução, crescimento e alimentação (Agostinho *et al.*, 2003), sendo então a movimentação entre os ambientes essencial para a manutenção destas espécies.

Para solucionar este problema, são construídos os sistemas de transposição. Um dos tipos mais recentes é a construção de canais semi-naturais, caracterizados por uma engenharia relativamente simples (“soft”), que tentam reproduzir um regime similar aos dos córregos e riachos naturais (Jungwirth, 1996; Parasiewicz *et al.*, 1998). Esses têm muitas vantagens comparadas com os sistemas de transposição tradicionais, pois sua estrutura, geralmente heterogênea, oferece uma variedade de velocidades e profundidades para os movimentos ascendentes e descendentes, a ampla variedade de espécies e tamanhos de peixes, bem como proporciona habitats para estes organismos residirem (Lucas & Baras, 2001; Aarestrup *et al.*, 2003), como é o caso do Canal da Piracema.

Dois aspectos têm sido considerados cruciais para a determinação do sucesso da passagem de peixes para um sistema de transposição em particular, sendo possível ser estendido para os canais. Primeiro, se o peixe encontrará a entrada do sistema e, segundo, se os peixes passarão através de todo o sistema. Assim, deve ser quantificada a eficiência da atração (não considerada neste estudo) e depois a eficiência da passagem, que juntas definirão a eficiência do sistemas de transposição como um todo (Aarestrup *et al.*, 2003). A redução acentuada, no sentido de jusante a montante, inclusive das espécies migradoras, indica que o Canal da Piracema está sendo seletivo. Aparentemente, os maiores obstáculos são trechos do rio Bela Vista e o canal de deságüe do Bela Vista, que liga o lago Inferior ao rio Bela Vista, devido as suas características hidrodinâmicas, como velocidade, áreas derrocadas rasas e elevada turbulência. A seletividade em outros sistemas de transposição pode também ocorrer, como foi o caso da escada instalada junto a barragem do reservatório Salto Morais, no rio Tijuco (Godinho *et al.*, 1991).

Assim, para o sistema de transposição ser eficiente, a velocidade da água e o modelo de fluxo devem ser compatíveis com a capacidade natatória das espécies de interesse, permitindo a passagem de todos os indivíduos e não somente para os atletas (Larinier, 2002b). As diversas características hidrológicas existentes ao longo do Canal da Piracema, como acentuadas declividades, velocidades de água elevadas, quedas de água que podem estar impedindo a passagem de parte ou todos indivíduos das populações. Estas, então, deverão ser avaliadas, no sentido de correlacioná-las com a eficiência na transposição do sistema, subsidiando de informações, o setor de engenharia para adequar os aspectos hidráulicos.

Entretanto, um problema considerável é a possibilidade da mistura das duas províncias ictiofaunísticas distintas, previamente separadas pela barreira natural de Sete Quedas, e posteriormente pela barragem de Itaipu. Sabe-se que uma dessas espécies de jusante (*H. orthonops*) já ascendeu e outras foram registradas a jusante (*Cichla* spp., introduzida na bacia; *Leporinus octofasciatus*, endêmica do alto rio Paraná). Assim, o monitoramento contínuo do Canal da Piracema é necessário para avaliar a possibilidade de introduções (jusante e montante) e os impactos para a ictiofauna causado pela conexão que representa este sistema de transposição.

Referências

- Aarestrup, K., M. C. Lucas & J. A. Hansen. 2003. Efficiency of a nature-like bypass channel for sea trout (*Salmo trutta*) ascending a small Danish stream studied by PIT telemetry. *Ecology of Freshwater Fish*, 12: 160-168.
- Agostinho, A. A. & H. F. Júlio Jr. 1999. Peixes da bacia do alto rio Paraná. Pp. 374-400. In: Lowe-McConnell, R.H. (Ed.). *Estudos ecológicos de peixes tropicais* (translation), Edusp: São Paulo.
- Agostinho, A. A., A. E. A. M. Vazzoler, L. C. Gomes & E. K. Okada. 1993. Estratificación espacial y comportamiento de *Prochilodus lineatus* em distintas fases del ciclo de vida, em la vida, em la planície de inundación Del alto rio Paraná y embalse de Itaipu, Paraná, Brasil. *Revue D'Hydrobiologie Tropicale*, 26(1): 79-90.
- Agostinho, A. A., J. R. Borghetti, A. E. A. M. Vazzoler & L. C. Gomes. 1994. Itaipu Reservoir: impacts on the ichthyofauna and biological bases for its management. In: United Nations Centre for Regional Development. *Environmental and Social dimensions of reservoir development and management in the La Plata River Basin*. Nagoya, Japan, UNCRD Research Report Series, 4: 135-148.
- Agostinho, A. A., H. F. Júlio Jr., L. C. Gomes, L. M. Bini & C. S. Agostinho. 1997. Composição, abundância e distribuição espaço-temporal da ictiofauna. Pp. 179-208. In: Vazzoler, A. E. A. M., A. A. Agostinho & N. S. Hahn (Eds.). *A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e sócioeconômicos*. Maringá, Eduem.
- Agostinho, A. A., L. C. Gomes, D. R. Fernandez & H. I. Suzuki. 2002. Efficiency of fish ladders for neotropical ichthyofauna. *River Research and Application*, 18(3): 299-306.
- Agostinho, A. A., L. C. Gomes, H. I. Suzuki & H. F. Júlio Jr. 2003. Migratory fishes of the Upper Paraná River Basin Brazil. Pp. 19-89. In: Carolsfeld, J., B. Harvey, C. Ross & A. Baer (Eds.). *Migratory fishes of South America: Biology, Fisheries and Conservation Status*. Vitoria: World Bank, 372p.

- Agostinho, A. A., S. M. Thomaz & L. C. Gomes. 2005. The conservation of the biodiversity waters. *Conservation Biology*, Blakwel, 19(3): 646-652.
- Agostinho, A. A, L.C. Gomes, & F.M. Pelicice. 2007. *Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil*. EDUEM, Maringá, 512 p.
- Bonetto, A. A. 1986. The Paraná river system. Pp. 541-555. In: Davies, B. R. & K. F. Walkers (Eds.). *The ecology river systems*. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht.
- Britski, H.A., Silimon, K. S. and Lopes, B.S. 1999. *Peixes do Pantanal: manual de identificação*. Brasília: Embrapa. 184p.
- Canzi, C., H. M. Fontes Jr. & D. R. Fernandez. 1998. A ictiofuna de ocorrência no rio Bela Vista (Resumos do 4º Congresso Brasileiro de Ecologia do Brasil). Belém. Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. NETA, Pp. 592-593.
- Carosfeld, J. 2004. "Evolução da Questão de Passagens para Peixes: Similaridades entre o Canadá e o Brasil". In: *Projeto peixes, pessoas e águas. Mecanismos de Transposição de Peixes Brasileiros*. World Fisheries Trust.
- Clay, C. H. 1995. *Design of Fishways and Other Fish Facilities*, 2nd ed., Lewis Publishers, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo. 248 p.
- Companhia Energética de São Paulo. 2000. Relatório de operação do elevador para peixes – período 1999/2000. Companhia Energética de São Paulo – UHE Engenheiro Sérgio Motta.
- Fernandez, D.R., A.A. Agostinho, L.M. Bini & L.C. Gomes. (submetido). Environmental factors related to entry and ascent of fish in the experimental ladder located close to the Itaipu Dam. *Neotropical ichthyology*.
- Fernandez, D. R. & E. Oro. 1996. Variações diuturnas na escada de peixes do projeto experimental canal de migração para desova da Itaipu Binacional. 3º Congresso de Ecologia do Brasil, Brasília.
- Fernandez, D. R. 2001. Grau de seletividade da escada de peixes do projeto experimental canal de migração da Itaipu Binacional. Unpublished Ph.D. Dissertation, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 58p.
- Fiorini, A. S., D. R. Fernandez & H. M. Fontes Jr. 2006. Piracema Migration Channel. Commission Internationale Des Grands Barrages. 22ème Congrès Des Grands Barrages. Barcelone.
- Gaspar da luz, K. G, E. F. Oliveira, A. C. Petry, H. F. Júlio Jr, C. S. Pavanelli & L. C. Gomes. 2004. Fish assemblages in the upper Paraná River floodplain. In: Agostinho, A. A., L. Rodrigues, L. C. Gomes, S. M. Thomaz & L E. Miranda (Eds.). *Structure and functioning of the upper Paraná River and its floodplain*. EDUEM, Maringá. 2004. 275p.
- Gauch Jr, H. G. 1982 (reprinted 1986). *Multivariate analysis in community ecology*. Cambridge: CambridgeUniversity Press. 298p.

- Godinho, H. P., A. L. Godinho, P. S. Formagio & V. C. Torquato. 1991. Fish ladder efficiency in a southeasterstern Brazilian river. *Ciência e Cultura*, 43(1): 63-67.
- Gomes, L. C. & A. A. Agostinho. 1997. Influence of the flooding regime on the nutritional state and juvenile recruitment of the curimba, *Prochilodus lineatus*, Steindachner, in the Upper Paraná River, Brazil. *Fisheries Management and Ecology*, 4(4): 263-274.
- Jungwirth, M. 1996. Bypass channels at weirs as aprópiate aids for fish migration in rhithral rivers. *Regulated Rivers: Research and Management*, 2: 483-492.
- Larinier, M. 2002a. Fishways: General considerations. Pp. 21-27. In: Larinier, M., F. Travade, J. P. Porcher (Eds.). *Fishways: Biological basis, design criteria and monitoring*. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 364 suppl.
- Larinier, M. 2002b. Biological factors to be taken into account in the design of fishways, the concept of obstruction to upstream migration. Pp. 28-38. In: Larinier, M., F. Travade, J. P. Porcher (Eds.). *Fishways: Biological basis, design criteria and monitoring*. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 364 suppl.
- Lowe-McConnell, R. H. 1987. *Ecological Studies in Tropical Fish Communities*. Longman Press, London, 382p.
- Lucas, M. C. & E. Baras. 2001. *Migration of Freshwater Fishes*. Blackwell Science Ltd. 420p.
- Matthews, W. J. 1998. *Patterns in freshwater fish ecology*. Chapman & Hall, New York. 756p.
- Miranda, L. 2001. Dams, fish and fisheries: Opportunities, challenges and conflict resolution (eds G. Marmulla). *FAO Fisheries Technical Paper*, Rome, 91-138.
- Olden, J. D., D. A. Jackson & P. R. Peres-Neto. 2001. Spatial isolation and fish communities in drainage lakes. *Oecologia*, 127: 572-585.
- Orsborn, J. F. 1987. *Fishways – Historical Assessment and Design Practices*. In: *Common Strategies of Anadromous and Catadromous Fishes*, Bethesda, Maryland, USA: American Fisheries Society.
- Parasiewicz, P. J. Eberstaller, S. Weiss & S. Schmutz. 1998. Conceptual guidelines for nature-like bypass channels. Pp. 348-362. In: Jungwirth, M., S. Schmutz & S. Weiss (Eds.). *Fish migration and fish bypasses*. Oxford: Fishing News Books, Blackwell Science Ltd. 438p.
- Porcher, J. P. & F. Travade. 2002. *Fishways: biological basis, design criteria and monitoring*. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture*, 9-20.
- Quirós, R. 1988. *Estructuras para asistir a los peces no salmónidos en sus migraciones: America Latina*. Instituto Nacional de Investigación Y Desarrollo Pesquero. FAO, 50p.
- Reis, R. E., S. O. Kullender & C. J. Ferraris Jr. 2003. *Check list of the freshwater fishes of South and Central America*. EDIPUCRS, Porto Alegre, 729p.

Ringuelet, R. A., R. H. Aramburu & A. A. Aramburu. 1967. Los peces argentinos de agua dulce. Com. Inv. Cient. Prov. Bs. As. 602p.

Suzuki, H. I., A. E. A. M. Vazzoler (In Memoriam), E. E. Marques, M. L. A. P. Lizama & P. Inada. 2004. Reproductive ecology of fish assemblages. Pp. 271-292. In: Thomaz, S. M., A. A. Agostinho & N. S. Hahn (Eds). The Upper Paraná River Floodplain: physical aspects, ecology and conservation. Leiden: Backhuys Publishers. 393p.

Vazzoler, A. E. A. M. 1996. Biologia da Reprodução de Peixes Teleósteos: Teoria e Prática. EDUEM, Maringá, Paraná. 169p.

Apêndice 1. Lista de espécies amostradas ao longo do Canal da Piracema. Espécies em negrito são migradoras de longas distâncias.

CHONDRICHTHYES

MYLIOBATIFORMES

Potamotrygonidae

Potamotrygon falkneri Castex & Maciel, 1963 – “arraia”

Potamotrygon hystrix (Muller & Henle, 1834) – “arraia”

Potamotrygon motoro (Muller & Henle, 1841) – “arraia”

Potamotrygon sp. – “arraia”

OSTEICHTHYES

BELONIFORMES

Belonidae

Potamorhaphis eigenmanni Miranda Ribeiro, 1915 – “peixe-agulha”

CHARACIFORMES

Acestrorhynchidae

Acestrorhynchus lacustris (Lütken, 1875) – “peixe-cachorro”

Acestrorhynchus pantaneiro Menezes, 1992 – “peixe-cachorro”

Anostomidae

Abramites hypselonotus (Günther, 1868) – “piauí-pedra”

Leporellus vittatus (Valenciennes, 1850) – “solteira”

***Leporinus elongatus* Valenciennes, 1850 – “piapara”**

Leporinus friderici (Bloch, 1794) – “piauí”

Leporinus lacustris Campus, 1945 – “piauí de lagoa”

***Leporinus macrocephalus* Garavello & Britski, 1988 – “piauíçu”**

***Leporinus obtusidens* (Valenciennes, 1836) – “piapara”**

Leporinus octofasciatus Steindachner, 1915 – “ferreirinha”

Leporinus striatus Kner, 1858 – “canivete”

Schizodon borellii (Boulenger, 1900) – “piauí”

Schizodon isognathus Kner, 1858 – “piauí”

Schizodon nasutus Kner, 1858 – “taguara”

Schizodon platae (Garman, 1890) – “piauí”

Schizodon sp. – “piauí”

Characidae

Astyanax spp. – “tambuí”

Astyanax altiparanae Garutti & Britski, 2000 – “tambuí”

Astyanax asuncionensis Géry, 1972 – “tambuí”

Astyanax fasciatus (Cuvier, 1819) – “tambuí”

Bryconamericus exodon Eigenmann, 1907 – “pequira”

Hemigrammus marginatus Ellis, 1911 – “lambari”

Hyphessobrycon sp. – “lambari”

Jupiaba acanthogaster (Eigenmann, 1911) – “lambari”

Moenkhausia spp. – “lambari, lambari-corintiano”
Moenkhausia dichrourea (Kner, 1858) – “lambari-corintiano”
Moenkhausia intermedia Eigenmann, 1908 – “lambari-corintiano”
***Salminus brasiliensis* (Cuvier, 1816) – “dourado”**
Triportheus paranensis (Günther, 1874) – “sardinha”
Aphyocharax sp. - “piqui”
***Brycon hilarii* (Valenciennes, 1850) – “piraputanga”**
***Brycon orbignyanus* (Valenciennes, 1850) – “piracanjuba”**
Cynopotamus kincaidi (Schultz, 1950) – “saicanga”
Galeocharax humeralis (Valenciennes, 1834) – “saicanga”
Galeocharax knerii (Steindachner, 1879) – “saicanga”
Roeboides microlepis (Reinhardt, 1851) – “saicanga”
Roeboides paranensis Pignalberi, 1975) – “dentudo”
Odontostilbe sp. – “lambari”
Metynnis maculatus (Kner, 1858) – “pacu-peva”
Metynnis mola Eigenmann & Kennedy, 1903 – “pacu-peva”
Myleus levis Eigenmann & McAtee, 1907 – “pacu-peva”
Mylossoma orbignyanum (Valenciennes, 1850) – “pacu-prata”
***Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) – “pacu”**
Serrasalmus maculatus Kner, 1858 – “piranha”
Serrasalmus marginatus Valenciennes, 1847 – “piranha”
Tetragonopterus argenteus Cuvier, 1816 – “sauá”
Crenuchidae
Characidium aff. *zebra* Eigenmann, 1909 – “canivete”
Curimatidae
Cyphocharax gillii (Eigenmann & Kennedy, 1903) – “branquinha”
Potamorhina squamoralevis (Braga & Azpelicueta, 1983) – “branquinha comum”
Steindachnerina brevipinna (Eigenmann & Eigenmann, 1889) – “sagüiru”
Steindachnerina conspersa (Holmberg, 1891) – “sagüiru”
Steindachnerina insculpta (Fernandes-Yépez, 1948) – “sagüiru”
Cynodontidae
***Rhaphiodon vulpinus* Agassiz, 1829 – “dourado-facão”**
Erythrinidae
Hoplias aff. *malabaricus* (Block, 1794) – “traíra”
Hemiodontidae
Hemiodus orthonops Eigenmann & Kennedy, 1903 – “bananinha”
Parodontidae
Apareiodon affinis (Steindachner, 1879) – “canivete”
Prochilodontidae
***Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) – “curimba”**

CLUPEIFORMES

Engraulidae

Lycengraulis grossidens (Spix & Agassiz, 1829) – “sardinha”

SILURIFORMES

Auchenipteridae

Auchenipterus osteomystax Ribeiro, 1918 – “surumanha”

Parauchenipterus galeatus (Linnaeus, 1766) – “cangati”

Doradidae

Pterodoras granulosus (Valenciennes, 1821) – “armado”

Trachydoras paraguayensis (Eigenmann & Ward, 1907) – “armadinho”

Heptapteridae

Pimelodella gracilis (Valenciennes, 1835) – “mandi-chorão”

Pimelodella griffini Eigenmann, 1917 – “mandi-chorão”

Pimelodella taenioptera Miranda Ribeiro, 1914 – “mandi-chorão”

Pimelodella spp. – “mandi-chorão”

Rhamdia quelen (Quoy & Gaimard, 1824) – “jundiá”

Loricariidae

Megalancistrus parananus (Peters, 1881) – “cascudo-abacaxi”

Otocinclus vittatus Regan, 1904 – “cascudinho”

Hypostomus spp. – “cascudo”

Hypostomus commersoni Valenciennes, 1836 – “cascudo”

Liposarcus anisitsi (Eigenmann & Kennedy, 1903) – “cascudo”

Farlowella isbruckeri Retzer & Page, 1997

Farlowella sp.

Loricariichthys platymetopon Isbrücker & Nijssen, 1979 – “cascudo-chinelo”

Loricariichthys rostratus Reis & Pereira, 2000 – “cascudo-chinelo”

Loricariichthys spp. – “cascudo-chinelo”

Pimelodidae

Hemisorubim platyrhynchus (Valenciennes, 1840) – “jurupoca”

Hypophthalmus edentatus Spix, 1829 – “mapará”

Iheringichthys labrosus (Lütken, 1874) – “mandi”

Pimelodus absconditus Azpelicueta, 1995 – “mandi”

Pimelodus maculatus Lacépède, 1803 – “mandi”

Pimelodus misteriosus Azpelicueta, 1998 – “mandi”

Pimelodus ornatus Kner, 1858 – “mandi”

Pinirampus pirinampu (Spix, 1829) – “barbado”

Pseudoplatystoma corruscans (Spix & Agassiz, 1829) – “pintado”

Pseudoplatystoma fasciatum (Linnaeus, 1766) – “cachara”

Zungaro jahu (Ihering, 1898) – “jaú”

GYMNOTIFORMES

Sternopygidae

Eigenmannia trilineata López & Castello, 1966 – “ituf”

Eigenmannia virescens (Valenciennes, 1842) – “ituf”

Eigenmannia sp. – “ituf”

Sternopygus macrurus (Block & Schneider, 1801) – “ituf”

Gymnotidae

Gymnotus inaequilabiatus (Valenciennes, 1839) – “morenita”

Gymnotus paraguensis – “morenita”

Apterodontidae

Apterodontus albifrons (Linnaeus, 1766) – “ituí-cavalo”

Apterodontus caudimaculosus – “ituí-cavalo”

Apterodontus ellisi (Arámburu, 1957) – “ituí-cavalo”

SYNBRANCHIFORMES

Synbranchidae

Synbranchus marmoratus Boch, 1795 – “mussum”

PERCIFORMES

Cichlidae

Cichla spp. - “tucunaré”

Cichlasoma dimerus (Heckel, 1840) – “cará”

Crenicichla britskii Kullander, 1982 – “joaninha”

Crenicichla haroldoi Luengo & Britski, 1974 – “joaninha”

Crenicichla lepidota Heckel, 1840 – “joaninha”

Crenicichla niederleini (Holmberg, 1891) – “joaninha”

Crenicichla spp. – “joaninha”

Crenicichla vittata Heckel, 1840 – “joaninha”

Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758) – “tilápia-do-nilo”

Satanoperca pappaterra (Heckel, 1840) – “cará”

Sciaenidae

Pachyurus bonariensis Steindachner, 1879 – “pescada”

Plagioscion squamosissimus (Heckel, 1840) – “curvina”

PLEURONECTIFORMES

Achiridae

Catathyridium jenynsii (Günther, 1862) – “linguado”

Capítulo 2

O uso da análise de sobrevivência para estimar a eficiência, o risco e construir modelos preditivos para avaliação da ascensão de peixes migradores em sistemas de transposição

O uso da análise de sobrevivência para estimar a eficiência, o risco e construir modelos preditivos para avaliação da ascensão de peixes migradores em sistemas de transposição

Resumo

O Canal da Piracema é um complexo sistema de transposição de peixes, que liga o rio Paraná ao reservatório de Itaipu, com extensão de aproximadamente 10 km, para vencer 120 m de desnível. Este Canal poderá ser importante para as espécies migradoras, devido possibilitar o acesso para o reservatório de Itaipu, onde a montante deste as espécies migradoras encontram locais adequados para reprodução e crescimento. Este trabalho avaliou a movimentação ascendente de espécies de peixes migradores de longa distância através da taxa de ascensão e função de risco, e usou uma abordagem preditiva para determinar a porcentagem de indivíduos que ascendem de 4 espécies (*Leporinus elongatus*, *Pimelodus maculatus*, *Prochilodus lineatus* e *Rhaphiodon vulpinus*). Os dados foram coletados entre abril de 2004 a maio de 2005, sendo os peixes amostrados em 11 estações (agrupadas em 5 segmentos), com uso de apetrechos de pesca apropriados para cada uma delas. A análise de sobrevivência foi utilizada para avaliar a ocorrência longitudinal de eventos, a taxa de ascensão nos segmentos, da função de risco para quantificar o risco instantâneo e da técnica de regressão de máxima verossimilhança para desenvolver modelos preditivos. Covariáveis hidrológicas e morfológica (comprimento total do peixe) foram avaliadas, considerando os valores médios, máximos e desvio padrão de dados estimados (velocidade da água, declividade e profundidade) e obtidos (velocidade da água) ao longo dos cinco segmentos. O número total de peixes migradores diminuiu de jusante a montante. Para as espécies avaliadas, as quantidades amostradas e a função ascensão decresceram inversamente com os segmentos, com taxas de decréscimo variáveis, enquanto que a função de risco flutuou irregularmente com tendência de aumento nos segmentos superiores. Para os modelos preditivos a velocidade máxima do fluxo medido proporcionou o melhor ajuste, sendo também a escolhida, devido a possibilidade da redução das velocidades da água no Canal, para melhorar sua eficiência. As distribuições diferiram entre as espécies, sendo que o modelo gamma forneceu o melhor ajuste para *L. elongatus*; Weibull para *P. maculatus* e *P. lineatus* e log-logistic para *R. vulpinus*. Os modelos apresentaram-se eficazes na predição da ascensão, identificando as velocidades adequadas para cada espécie. Porém, antes de adotar qualquer mudança no projeto do Canal da Piracema, será fundamental obter os resultados das demais espécies migradoras e seus modelos probabilísticos, bem como, com outras variáveis hidrológicas ou morfológicas dos peixes, que possam estar limitando a ascensão. É importante ressaltar que certa seletividade do Canal é necessária, para evitar a introdução de espécies típicas de jusante. Assim, é necessária a ampliação da avaliação da sua eficiência, no contexto da biocenose e os possíveis impactos, buscando utilizá-lo adequadamente, como um dos instrumentos de manejo racional dos estoques pesqueiros na bacia do rio Paraná.

Palavras-chave: sistema de transposição, escada para peixes, análise de sobrevivência, modelos probabilísticos, migração.

Abstract

The Canal da Piracema is a complex fish pass system that connects the Paraná River to the Itaipu Reservoir, with approximately 10 km long to succeed 120 m in elevation. This fish pass could be important to migratory species therefore allow to reach the Itaipu Reservoir, that the migratory species find suitable places to spawning and growth upstream of this reservoir. This study evaluated the ascent movement of long distance migratory fish species through the ascent rate and the hazard function, and used a predicted approach to determine the percentage of individuals that ascend for four species (*Leporinus elongatus*, *Pimelodus maculatus*, *Prochilodus lineatus* and *Rhaphiodon vulpinus*), providing models to the success in the ascent of these species. Sampling was conducted from April 2004 trough May 2005 in 11 stations (grouped into five segments), using appropriate fishing gear for each station. The survival analysis was utilized to evaluate the longitudinal occurrence of events, the ascent rate in the segments, the hazard function to quantify the immediate risk and likelihood ratio statistic to develop predicted models. Hydrologic and morphologic (standard length) covariates were analyzed, considering mean and maximum values, standard deviation of estimated values (velocity of flow, slope, and depth) and collected (velocity of flow) along the five segments. The total number of migratory fish decreased from upstream to upstream. The quantity of sampled fish and the ascent function decreased inversely to the segments, with variable decrease rates, whereas the hazard function oscillated irregularly with trend of increase in the upper segments. The maximum velocity of measured flow provided the best fit in the predicted models, and it also was the chosen, because the possibility to reduce of the velocity of flows in the Canal to improve its efficiency. The distributions varied among the species, and the Gamma model provided the best fit for *L. elongatus*, Weibull for *P. maculatus* and *P. lineatus* and Log-logistic for *R. vulpinus*. Thus, the models showed efficacious in the prediction of the ascent, identifying the suitable velocities for each species. However, before accept any change in the project of the Canal da Piracema, it will be primordial to obtain the results of the other migratory species and their predicted models, and with other hydrologic and fish morphologic variables that may be limiting the ascent. It is very important to emphasize that some selectivity of the Canal is necessary to avoid the introduction of downstream species. Thus, it is necessary the enlargement of the assessment of its efficiency in the community context and the possible impacts, looking for use it suitably as one of tools of reasonable management of fisheries stocks in the Paraná River basin.

Keywords: fish pass system, fish ladder, survival analysis, predicted models, migration.

Introdução

Grande parte do declínio na abundância de espécies migradoras e, em alguns casos, o desaparecimento de estoques inteiros tem sido atribuído a construção de obstruções que impedem a livre movimentação dos peixes (Porcher e Travade, 2002). Barragens podem afetar espécies potamódromas por bloquearem a passagem a montante e jusante, durante certas fases do ciclo de vida deles, que inclui a migração para vários propósitos, tais como reprodução e alimentação. Para o peixe que está em movimentação ascendente, uma barragem pode ser uma barreira intransponível, a menos que uma passagem seja providenciada. Além disso, a movimentação descendente é de alto risco, pois o peixe pode entrar na turbina, onde pode ser ferido ou morrer (Miranda, 2001). Para as espécies neotropicais, a frequência desta movimentação ainda carece de comprovação (Agostinho et al., 2007).

A partir da década de 70, devido ao desenvolvimento tecnológico, os sistemas de transposição tiveram suas eficiências melhoradas e este conhecimento tem possibilitado desenvolver programas de reabilitação para populações de espécies de peixes migradores. A restauração ou manutenção dos estoques dessas espécies somente será possível se todas as áreas necessárias para completarem seus ciclos de vida estejam acessíveis (Agostinho et al., 2002).

O princípio dos sistemas de transposição é atrair os peixes migradores para um ponto específico no rio, a jusante da obstrução e, então, induzi-los ou até mesmo forçá-los a passar a montante. Isto é alcançado através de escadas, eclusas e canais (passagem de peixe no estrito senso), sendo possível também, capturando os peixes em um tanque ou içando-os para montante (elevador para peixes ou sistema de transporte como caminhão). A eficiência de um sistema de transposição de peixe é um conceito qualitativo, que consiste em verificar se o sistema é capaz de permitir, satisfatoriamente, para todas as espécies alvo, dentro das variações ambientais observadas durante o período de migração. Além disso, deverão ser feitas avaliações quantitativas das eficiências, tais como, calcular as proporções dos estoques, presentes abaixo da barragem, que conseguem encontrar a entrada do sistema, bem como, as proporções das movimentações ao longo do sistema (Larinier, 2001; 2002). A duração dessas movimentações deverão ser efetivadas em tempos razoáveis, para que não ocorra atrasos, devido ao período limitado das migrações reprodutivas.

No rio Paraná, a construção de barragens tem restringido a movimentação das espécies migradoras. Nessa bacia existem mais de 130 grandes reservatórios (barragens superiores a 10 m) e os maiores estão localizados no canal principal do rio Paraná (Itaipu, UHE Eng. Sergio Motta – Porto Primavera, Jupia e Ilha Solteira). Desses, apenas Porto Primavera apresenta mecanismos de transposição (escada e elevador). Porém, em dezembro de 2002, a Itaipu Binacional começou a operação de um canal lateral, denominado Canal da Piracema, com extensão de aproximadamente 10 km, para vencer os 120 m de desnível de sua barragem. Este Canal teve como objetivo possibilitar o acesso de peixes a montante, uma vez que acima deste reservatório existe um remanescente de planície de inundação e tributários, onde as espécies migradoras encontram locais adequados para reprodução e crescimento (Agostinho et al. 2003; Suzuki et al. 2004). Entretanto, existe também o risco de que o Canal também pode permitir a passagem de espécies típicas de jusante para montante, que estavam previamente separadas pelo Salto de Sete Quedas, e agora pela barragem de Itaipu.

Monitorar a performance e algum controle funcional associado aos sistemas de transposição são operações necessárias, que servem para verificar a eficiência dos sistemas, após eles estarem em operação e ajustá-los. E, se necessário, ainda coletar informações técnicas e biológicas, para o projeto e desenvolvimento de futuros sistemas (retroalimentação operacional), quantificar a população de peixes migradores e descrever o padrão de migração, necessário, tanto para o projeto em si, como para outros a serem construídos, e para racionalizar o manejo dos estoques (Travade e Larinier, 2002). As técnicas empregadas para avaliação dos sistemas de transposição podem ser sumarizadas como sendo: monitoramento da operação hidráulica e mecânica do sistema; coleta de informação biológica qualitativa, que indica a efetividade da passagem de peixes; contagem dos peixes que usam o sistema e a comparação da abundância de peixes que utilizam o sistema, com a população migradora como um todo.

Os problemas de dados incompletos, como no caso da movimentação do peixes em um sistema de transposição, que disponha de rotas alternativas, bem como covariáveis que variam com o tempo podem ser analisados usando métodos estatísticos, bem conhecidos em pesquisas biomédicas. Amplamente conhecido como “análise de sobrevivência” (Cox e Oakes, 1984; Lee e Wang, 1995; Hosmer e Lemeshow, 1999), esses métodos foram desenvolvidos para descrever eventos com relação ao tempo, incorporando dados de indivíduos que são removidos dos estudos ou aqueles que não

são determinados ao final do estudo (Castro-Santos e Haro, 2003). Assim, a proporção dos que ascendem é uma informação útil, mas se é apresentada como uma distribuição contínua, com relação a altura e comprimento de uma passagem de peixe, será mais fácil entender aonde a falha poderá ocorrer. Uma vez a falha sendo caracterizada, torna-se fácil formular a hipótese do porque (Castro-Santos et al., no prelo). Quantificação ao longo desses eixos poderá estimar os efeitos de covariáveis sobre a taxa de falha. No momento que as taxas de mortalidade agem somente na porção sobrevivente, fatores que afetam a taxa de falha no sistema de transposição agem sobre um constante decréscimo populacional de ascensão dos peixes (Castro-Santos e Haro, 2006).

A similaridade entre a passagem de peixe e dados de mortalidade significa que métodos bem estabelecidos de análise de sobrevivência possam ser prontamente aplicados em estudos de sistema de transposição. Sucesso da ascensão constitui observações censuradas e resultará em erros menos explícitos. Métodos de análises de sobrevivência minimiza esses erros; eles também permitem que taxas de falhas possam ser modeladas, tanto constante ou variando com a distância, possibilitando que o pesquisador estime, ambos, a magnitude e localização dos efeitos da covariável (Castro-Santos, 2005; Castro-Santos e Haro, 2003; Haro et al., 2004; Hosmer e Lemeshow, 1999). A aplicação do termo ‘análise de sobrevivência’, pode ser equivocado, dado que variáveis dependentes podem não estar diretamente ligadas a sobrevivência como um todo. Termo menos ambíguo inclui: ‘análise de tempo de ocorrência’, ‘análise de falha’, ou de forma generalizada ‘análise de dados censurados’ (Castro-Santos et al., no prelo).

Abordagens similares foram realizadas com sucesso, em laboratório, com a utilização de um canal aberto tipo flume (Haro et al., 2004; Castro-Santos, 2005) e em tubulação tipo culvert (Castro-Santos, 2006). Uma abordagem preditiva, que forneça a probabilidade de sucesso na subida, tem potencial para subsidiar a operação do Canal da Piracema, possibilitando a otimização da ampla variação das velocidades de água existentes e maximizar a passagem das espécies migradoras de longa distância. Assim, este trabalho tem por objetivo utilizar a análise de sobrevivência, através das funções de ascensão e risco, bem como explorar modelos preditivos para quatro espécies migradoras de longa distância. Portanto, pioneiro para a região Neotropical e que possibilitará melhor avaliar o funcionamento deste sistema de transposição.

Material e Métodos

Área de estudo

O Canal da Piracema inicia-se no rio Paraná, 2,5 km abaixo da barragem de Itaipu em sua margem esquerda, e estende-se até o reservatório (Fig. 1). A entrada, a montante, está localizada ao longo da barragem de terra, 6,6 km a leste do vertedouro e 4,8 km da turbina mais próxima. Ao todo, o canal tem a extensão de aproximadamente 10 km, incluindo 6,7 km sobre o leito natural do rio Bela Vista, bem como várias escadas para peixe, lagos artificiais e canais semi-naturais (para uma descrição detalhada ver Fiorini et al., 2006), descritos a seguir.

A primeira seção do Canal da Piracema, que será descrita do sentido de jusante a montante, é um canal semi-natural, o leito do rio Bela Vista (RIBE), que deságua no rio Paraná. Este córrego foi ampliado de 4 – 6 m e aprofundado para 0,5 – 2,0 m. O comprimento total deste trecho é de aproximadamente 6,7 km, com uma declividade média de 4,0%. Partes deste rio foram derrocadas para eliminar as cachoeiras mais elevadas. A inserção do rio Bela Vista com o rio Paraná ocorre em um ângulo de aproximadamente 60°, que aparentemente pode prejudicar a atratividade do Canal da Piracema. Nesta área, o rio Paraná apresenta cerca de 720 m de largura, que pode variar dependendo da vazão. A vazão média do rio Paraná é de aproximadamente 10.000 m³/s, enquanto que a média da velocidade da água é de 2,0 m/s, na superfície.

Posteriormente, encontra-se o riacho Brasília, que corre por 800 m para o rio Bela Vista, sendo que este córrego foi ampliado para 5 m de largura e aprofundado de 0,5 – 1,0 m. A declividade do riacho Brasília é de 4,0%, sendo esta a seção com menor profundidade e maior turbulência. Este canal semi-natural é ligado por uma escada para peixes, o Canal de Deságüe do rio Bela Vista (CABV), que drena o Lago Inferior (LAIN) dentro desta escada de concreto. A escada se estende por 150,5 m, é construída de concreto reforçado, com 5 m de largura e uma declividade de 6,25%. A escada é de seção retangular com fundo de 5,0 m e altura de 2,5 m e foi provida com obstáculos de concreto espaçados em 4 m para diminuir a velocidade da água. Os obstáculos de concreto possuem uma abertura de 1 m, alternadamente para a direita e para a esquerda de cada obstáculo.

Os elementos centrais do Canal da Piracema são dois lagos artificiais, Principal (LAPR) e Inferior (LAIN). A área do Lago Principal é de 14 ha e a do Lago Inferior é

de 1,2 ha, com profundidades de até 5 e 4 m, respectivamente. As margens são revestidas com solo, vegetação e pedras irregulares. Esses dois lagos são conectados por uma escada para peixes, o Canal de Iniciação (CAIN), construído em concreto reforçado e equipado com obstáculos transversais para controlar a velocidade da água. A escada serpenteia entre os lagos, tendo 521 m de extensão e uma declividade de 1,5%.

O Lago Principal recebe o deságüe de uma escada para peixes, que tem extensão de 1,6 km, o Canal de Alimentação em Aterro (CAAT). Esta seção é uma escada trapezoidal construída com preenchimento de terra, com largura máxima de 12 m. O fundo e os lados desta escada são revestidos como na primeira parte. Esta seção tem uma declividade média de 3,1% no trecho inicial, 2,0% na porção intermediária e 0,8% no trecho final. Esta escada é abastecida pelo Lago da Grevilhas (LAGR), uma lagoa artificial de 0,5 ha, com profundidade média de 3,0 m, os lados e fundo são revestidos com pedras irregulares de enrocamento, e foi construído como local de descanso para os peixes. Esta lagoa é abastecida pelo Canal de Alimentação em Trincheiras (CATR), que estende por 2,4 km, com os primeiros 0,73 km de escada escavada em uma trincheira. A seção trapezoidal desta escada é de 8 m de extensão no fundo, escavado em basalto aluviano. Ela é revestida, no fundo e lados, até o nível da água, com pedras irregulares de enrocamento, bem como defletores de concreto, espaçados para diminuir a velocidade do fluxo. Esses defletores são de 0,6 m de altura, com aberturas laterais de 1,0 m, localizados alternadamente em relação as margens. A declividade é, em média, 5,0% no trecho inicial, 0,7% na porção intermediária e 5,0% no trecho final.

A parte mais superior do Canal, que desemboca dentro dessa última escada para peixes, é formada pelas estruturas de concreto da Tomada de Água, pelo Dique de Regulagem (DIRE) e a Lagoa de Estabilização. A Tomada de Água e a Lagoa de estabilização têm uma profundidade média de 3,3 m e uma área de 0,4 ha. O Dique de Regulagem é composto por três comportas, com 2,0 m de altura. A função dessas comportas é manter o nível máximo da lagoa de estabilização para 0,45 m abaixo do nível da superfície do Reservatório de Itaipu, para restringir as velocidades nas comportas da Tomada de Água e ficarem inferiores a 3,0 m/s, ao longo do Canal.

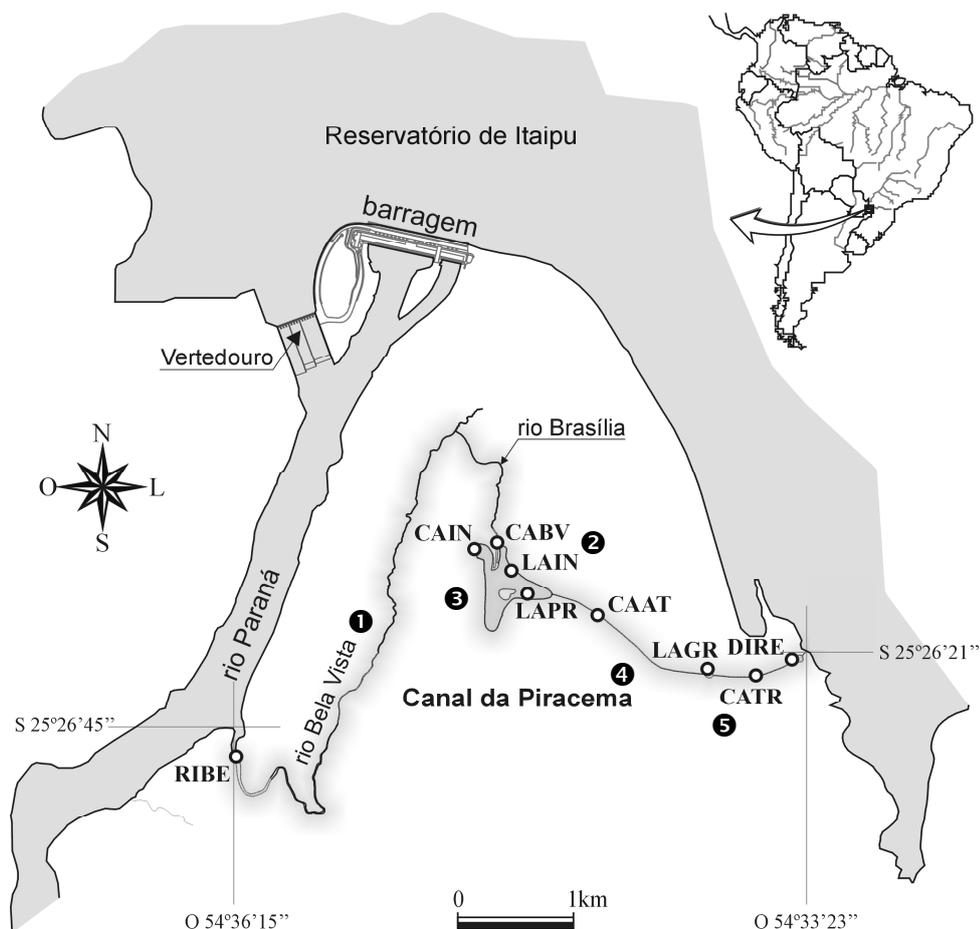


Fig. 1. O Canal da Piracema incluindo o rio Paraná, rio Bela Vista (RIBE), riacho Brasília, Canal de Deságüe do rio Bela Vista (CABV), Canal de Iniciação (CAIN), Lago Inferior (LAIN), Lago Principal (LAPR), Canal de Alimentação em Aterro (CAAT), Lago das Grevilhas (LAGR), Canal de Alimentação em Trincheiras (CATR) e Dique de Regulagem (DIRE). Os Locais de amostragens estão identificados e os respectivos segmentos numerados em circunferência negra.

Coleta de dados

O Canal da Piracema, como sistema de transposição para peixes, foi avaliado entre abril de 2004 a maio de 2005. As amostragens foram conduzidas mensalmente, exceto em junho e julho, ao longo do Canal com diferentes apetrechos de pesca. Ao todo foram amostradas 10 estações (Tabela 1), com uso de apetrechos de pesca apropriados para cada uma delas. As redes de espera (simples com malhas 2,4, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16 e feiticeiras com malhas 6, 7 e 8 cm entre nós opostos) foram instaladas ao entardecer (16:00 hs), com revistas de 4 em 4 hs, até as 8:00 hs da manhã do dia seguinte (esforço de 16:00 hs). Os espinhéis tinham 150 m de comprimento, com

30 anzóis iscados com morenita e foram operados de maneira similar as redes de espera. As tarrafas (malhas 6, 7, 8, 10, 12 e 14 cm entre nós opostos) foram operadas de forma padronizada (5 lances cada), de manhã (10:00 às 12:00 hs) e de tarde (14:00 às 16:00 hs). Caniços (isca artificial) também foram operados por uma hora, de manhã (10:00 às 11:00 hs) e a tarde (14:00 às 15:00 hs). As redes de arrasto também foram operadas ao amanhecer (7:00 hs) e ao anoitecer (19:00 hs). Finalmente, a pesca elétrica (gerador de 2500 W, saída de 1000 V, 60 Hz DC) foi operada à tarde, por 15 minutos (entre as 17:00 e 18:00 hs).

Tabela 1. Localização das estações de amostragens (distância de jusante a montante) ao longo do Canal da Piracema e os apetrechos de pesca utilizados. Números entre parênteses são os horários nos quais os equipamentos foram utilizados (RE: redes de espera simples e feiticeiras; ES: espinhel; RA: rede de arrasto; TA: tarrafas, CA: caniço; e PE: pesca elétrica).

Localização	Distância do rio Paraná (km)	Métodos de amostragens de peixes e período de tempo
Desembocadura do rio Bela Vista	0,5	RE e ES (16:00 – 8:00); RA (7:00 e 19:00); TA (10:00 – 12:00, 14:00 – 16:00); PE (17:00 – 18:00)
Ao longo do rio Bela Vista e riacho Brasília (RIBE)	0,6 – 6,6	TA (10:00 – 12:00, 14:00 – 16:00)
Canal de Deságüe do rio Bela Vista (CABV)	6,7	TA (10:00 – 12:00, 14:00 – 16:00)
Lago Inferior (LAIN)	7,0	RE (16:00 – 8:00), RA (7:00 e 19:00); CA (10:00 – 11:00, 14:00 – 15:00)
Canal de Iniciação (CAIN)	7,4	TA (10:00 – 12:00, 14:00 – 16:00)
Lago Principal (LAPR)	7,7	RE (16:00 – 8:00); RA (7:00 e 19:00); CA (10:00 – 11:00, 14:00 – 15:00); ES (16:00 – 8:00); PE (17:00 – 18:00)
Canal de Alimentação em Aterro (CAAT)	8,6	TA (10:00 – 12:00, 14:00 – 16:00)
Lago das Grevilhas (LAGR)	9,4	RE (16:00 – 8:00); CA (10:00 – 11:00, 14:00 – 15:00)
Canal de Alimentação em Trincheiras (CATR)	9,7	TA (10:00 – 12:00, 14:00 – 16:00)
Dique de Regulagem (DIRE)	10,1	CA (10:00 – 11:00, 14:00 – 15:00); PE (17:00 – 18:00)

Juntamente com o Setor de Hidrologia da Itaipu Binacional foram medidas as velocidades do fluxo (m/s) nos diferentes segmentos ao longo do Canal da Piracema (em ambas margens e no centro), com um molinete (marca IH e modelo Propeller 6163). Cada medida durou 50 segundos e para calcular a velocidade da água, usou-se a

fórmula $0,263$ (número de rotação / tempo) + $0,0202$. Ao longo do Canal foram tomadas 133 medidas de velocidade em três meses (totalizando 399 medidas).

Análise dos dados

Para avaliar os movimentos dos peixes ao longo do Canal da Piracema, foi assumido que os deslocamentos foram ascendentes, devido o uso do canal pelos peixes ser marcadamente sazonal e a maior parte prevalecer durante o período de migração. A análise de sobrevivência (Allison 1995) foi aplicada para avaliar a ocorrência longitudinal (distância) de eventos (número de peixes que ascende até um determinado segmento). A estimativa da quantidade de peixes amostrados ao longo dos segmentos do canal (Q_s), com os vários métodos de amostragem, proporciona um erro conservativo, porém é um censo. Os dados constituem um censo, pois os peixes, individualmente, são observados somente após terem ascendido para um dado segmento. Cinco segmentos foram identificados, iniciando no rio Paraná (km 0) e delimitado no km 6,8, correspondente ao RIBE (Segmento 1), 7,0, CABV - LAIN (Segmento 2), 7,7, CAIN - LAPR (Segmento 3), 9,4, CAAT - LAGR (Segmento 4) e 10,1, CATR - DIRE (Segmento 5). Esta divisão também proporciona maior homogeneidade nos métodos de pesca utilizados, amenizando problemas relativos ao censo. Quatro espécies migradoras foram incluídas nas análises, são elas: *Leporinus elongatus* (piapara), *Pimelodus maculatus* (mandi), *Prochilodus lineatus* (curimba) e *Rhaphiodon vulpinus* (dourado-cachorro). Outras espécies migradoras foram coletadas, mas os tamanhos das amostras foram demasiadamente pequenos para as análises estatísticas.

As funções de ascensão foram estimadas com o Procedimento Tabela de Vida (SAS 1999) e representa a verossimilhança de ascensão dos peixes para os sucessivos segmentos. A probabilidade (\hat{Q}) de um peixe, ascendendo para o segmento i (s_i) ou além é:

$$\hat{Q}(s_i) = \prod_{j=1}^{i-1} (1 - q_j) \quad (1)$$

onde q_j representa a probabilidade de falhar na ascensão além do segmento j . Para $s_i = 0$, a probabilidade de ascensão é definida como 1,0. Os eventos são classificados como censos aleatórios, devido as observações serem finalizadas por razões não controláveis (isto é, o peixe pode escolher em parar o movimento ascendente, retornar descendente, morrer ou outras possibilidades).

Para dados contínuos de ascensão, a função de risco (Hazard function), quantifica o risco instantâneo que um evento irá ocorrer em determinado segmento (s). Como os segmentos são contínuos, a probabilidade de ocorrência de um evento em um determinado segmento S é necessariamente zero, ou a probabilidade de que o evento ocorra em um pequeno intervalo entre S e $S+\Delta S$. Porém, o interesse no risco (Hazard) é que ela fornece estimativas para a função de risco no ponto médio de cada segmento. Isto é calculado de acordo com a seguinte equação (SAS 1999):

$$h(s_{im}) = \frac{d_i}{\left(n_i - \frac{d_i}{2}\right)} \quad (2)$$

onde, para o i ésimo segmento, s_{im} é o ponto médio, d_i é o número de evento (número de evento de peixes capturados no segmento), n_i é o número ainda em risco no início do segmento. A forma do gráfico do risco, através da transformação da função de ascensão em $-\log \hat{Q}(s)$ contra S , fornecerá uma linha reta com a origem em 0. Além disso, a inspeção do gráfico com log da ascensão pode mostrar se o risco é constante, aumenta ou diminui com os segmentos.

A probabilidade de ascensão foi analisada considerando as covariáveis relevantes. Pelo fato da análise de regressão comum, pelo método dos mínimos quadrados, não acomodar dados de censos, nós aplicamos a técnica de regressão de máxima verossimilhança (maximum likelihood regression), comumente usada na análise de sobrevivência (Allison 1995; Haro et al. 2004), para desenvolver modelos preditivos. Os modelos considerados são similares, quanto a forma, aos modelos de regressão linear comum:

$$\log Q_s = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik} + w_p \quad (3)$$

onde Q_s estima a quantidade de indivíduos ascendendo para o segmento i , x_{i1}, \dots, x_{ik} são covariáveis, β_s são coeficientes, w_p é o p ésimo quantil da distribuição de dados selecionada. Uma vantagem desta abordagem de regressão é que ela não requer que o erro da equação apresente distribuição normal. Por essa razão, necessita de uma estrutura mais complexa do que a análise de regressão comum, com os parâmetros escala (σ) e forma (δ), que influenciam no valor do w_p . O principal propósito da transformação log de Q é assegurar que valores preditivos de Q são positivos, independentes dos valores de x e de β (Allison 1995).

As covariáveis analisadas foram as características hidrológicas das passagens de peixes, ao longo do Canal da Piracema, incluindo declividade, profundidade, área, velocidade estimada (obtida da CEHPAR 2002), e medidas de velocidade (em 133 locais ao longo do canal). As covariáveis foram avaliadas considerando os valores médios, máximos e desvio padrão dos dados estimados e dos obtidos sistematicamente ao longo dos cinco segmentos. O comprimento total de cada peixe também foi incluído como uma covariável.

Os modelos desenvolvidos seguiram vários passos. Inicialmente, cada covariável foi incluída individualmente no modelo para explorar a importância relativa das variáveis isoladas. Separadamente, modelos com base na distribuição exponencial, lognormal, Weibull, log-logistic e gamma generalizada também foram considerados. Assim, esses modelos foram ranqueados usando os testes de melhor aderência (goodness-of-fit) e a estatística de proporção de verossimilhança (likelihood-ratio) como critérios e posteriormente, selecionado o melhor ajuste (Allison 1995). Finalmente, os modelos foram refinados removendo covariáveis através do método passo a passo (stepwise fashion), restando somente aqueles com valor de P menor ou igual a 0,05.

Resultados

Um total de 727 peixes migradores, pertencentes a 17 espécies, foram coletados no Canal da Piracema com todos apetrechos de pesca utilizados. A distribuição das espécies por segmento variou, mas a riqueza diminuiu inversamente com os segmentos. No segmento 1 foram capturadas 17 espécies, entretanto *Z. jahu* (jau) não foi registrado nesse segmento, sua presença foi considerada positiva, devido ter sido registrado no segmento 2, ou seja, obrigatoriamente passou pelo segmento 1. Das 17 espécies que

ocorreram no segmento 1, 12 foram registradas no segmento 2. As quatro não registradas foram *B. hilarii* (piraputanga), *B. orbignyana* (piracanjuba), *H. plathyrynchos* (jurupoca), *P. fasciatum* (cachara) e *P. ornatus* (mandi). No segmento 3, 11 espécies foram coletadas, somente *Z. jahu* não foi coletada além do segmento 2. Sete espécies foram amostradas no segmento 4, mas apesar de *P. maculatus* (mandi) e *S. brasiliensis* (dourado) não terem sido coletadas neste segmento, foi assumido que elas o transpuseram, porque foram coletadas no segmento 5. Quatro espécies não foram observadas após o segmento 3: *L. obtusidens* (piauí), *P. granulatus* (armado), *P. mesopotamicus* (pacu) e *P. pirinampu* (barbado). No segmento 5 foram amostradas somente 3 espécies, ou seja, *P. maculatus*, *R. vulpinus* (dourado-cachorro) e *S. brasiliensis*. Quatro espécies aparentemente não se moveram do segmento 4 para o segmento 5, sendo elas, *L. elongatus* (piapara), *L. macrocephalus* (piauí), *P. corruscans* (pintado) e *P. lineatus* (curimba) (Tabela 2).

O número total de peixes migradores ao longo do Canal da Piracema diminuiu de jusante a montante. Ao todo, 495 indivíduos foram coletados no segmento 1, 33 indivíduos no segmento 2, 174 no segmento 3, 20 no segmento 4 e 5 indivíduos no segmento 5.

Tabela 2. Distribuição das espécies de peixes migradores ao longo do Canal da Piracema com alguns dados na caixa seta: velocidade média e máxima (m/s), declividade máxima (%) e diferença no nível (m) por local, distância (km) e segmentos. Espécies amostradas estão em cinza claro e aquelas espécies que poderiam transpor os sucessivos segmentos estão em cinza escuro.

	1,45 e 3,50 m/s 4,09% 57,3 m	1,42 e 2,50 m/s 6,25% 10,7 m	1,56 e 2,72 m/s 1,40% 7,2 m	0,92 e 2,10 m/s 2,96% 31,4 m	0,89 e 2,36 m/s 5,01% 14,4 m
-Rio Bela Vista	-Canal de Drenagem do Rio Bela Vista; -Lago Inferior	-Canal de iniciação; -Lago Principal	-Lago das Grevilhas; -Canal de Alimentação em Aterro	-Canal de Alimentação em Trincheira; -Dique de Regulagem	
<i>B. hilari</i>					
<i>B. orbignyanus</i>					
<i>H. platyrhynchos</i>					
<i>L. elongatus</i>	<i>L. elongatus</i>	<i>L. elongatus</i>	<i>L. elongatus</i>	<i>L. elongatus</i>	
<i>L. macrocephalus</i>	+	<i>L. macrocephalus</i>	<i>L. macrocephalus</i>	<i>L. macrocephalus</i>	
<i>L. obtusidens</i>	<i>L. obtusidens</i>	<i>L. obtusidens</i>			
<i>P. corruscans</i>	+	<i>P. corruscans</i>	<i>P. corruscans</i>	<i>P. corruscans</i>	
<i>P. fasciatum</i>					
<i>P. granulatus</i>	+	<i>P. granulatus</i>			
<i>P. lineatus</i>	<i>P. lineatus</i>	<i>P. lineatus</i>		<i>P. lineatus</i>	
<i>P. maculatus</i>	<i>P. maculatus</i>	<i>P. maculatus</i>		+	<i>P. maculatus</i>
<i>P. mesopotamicus</i>	+	<i>P. mesopotamicus</i>			
<i>P. ornatus</i>					
<i>P. pirinampu</i>	+	<i>P. pirinampu</i>			
<i>R. vulpinus</i>	<i>R. vulpinus</i>	<i>R. vulpinus</i>		<i>R. vulpinus</i>	<i>R. vulpinus</i>
<i>S. brasiliensis</i>	<i>S. brasiliensis</i>	<i>S. brasiliensis</i>		+	<i>S. brasiliensis</i>
+		<i>Z. jahu</i>			
	6,8	7,0	7,7	9,4	10,1
	Distância (km)				
	1	2	3	4	5
	Segmentos				

Dentre as 17 espécies migradoras capturadas, apenas quatro apresentaram número de indivíduos suficiente para a análise aqui proposta, são elas: *L. elongatus*, *P. lineatus*, *P. maculatus* e *R. vulpinus*.

Para estas espécies o número de peixes amostrados (censos) e a função ascensão decresceram inversamente com os segmentos, enquanto que a função de risco aumentou diretamente. O número de peixes capturados foi altamente variável, mas mostra um decréscimo geral nos segmentos superiores (Fig. 2). Similarmente, a distribuição das funções de ascensão, para o estudo das quatro espécies, mostrou relativo decréscimo para os segmentos, mas a taxa de decréscimo foi variável (Fig. 3). As funções de risco flutuaram irregularmente ao longo dos segmentos, mas com tendências de aumentos (Fig. 4).

A análise da taxa de indivíduos chegando aos vários segmentos, correlacionando com variáveis hidrológicas, mostrou que a velocidade máxima do fluxo (medida no

Canal), proporcionou o melhor ajuste. Embora outras covariáveis obtiveram resultados dos testes estatísticos satisfatórios, como a área, velocidade do fluxo estimada, declividade máxima e profundidade, optou-se pela análise da velocidade máxima do fluxo medida, devido a possibilidade de reduzi-la, através do aumento da rugosidade (Bigil 2003), com a colocação de chicanas e/ou pedras, nos trechos onde esta apresenta valores elevados. As tentativas de correlacionar cada variável hidrológica com o comprimento do corpo das espécies consideradas, não resultaram em modelos significativos.

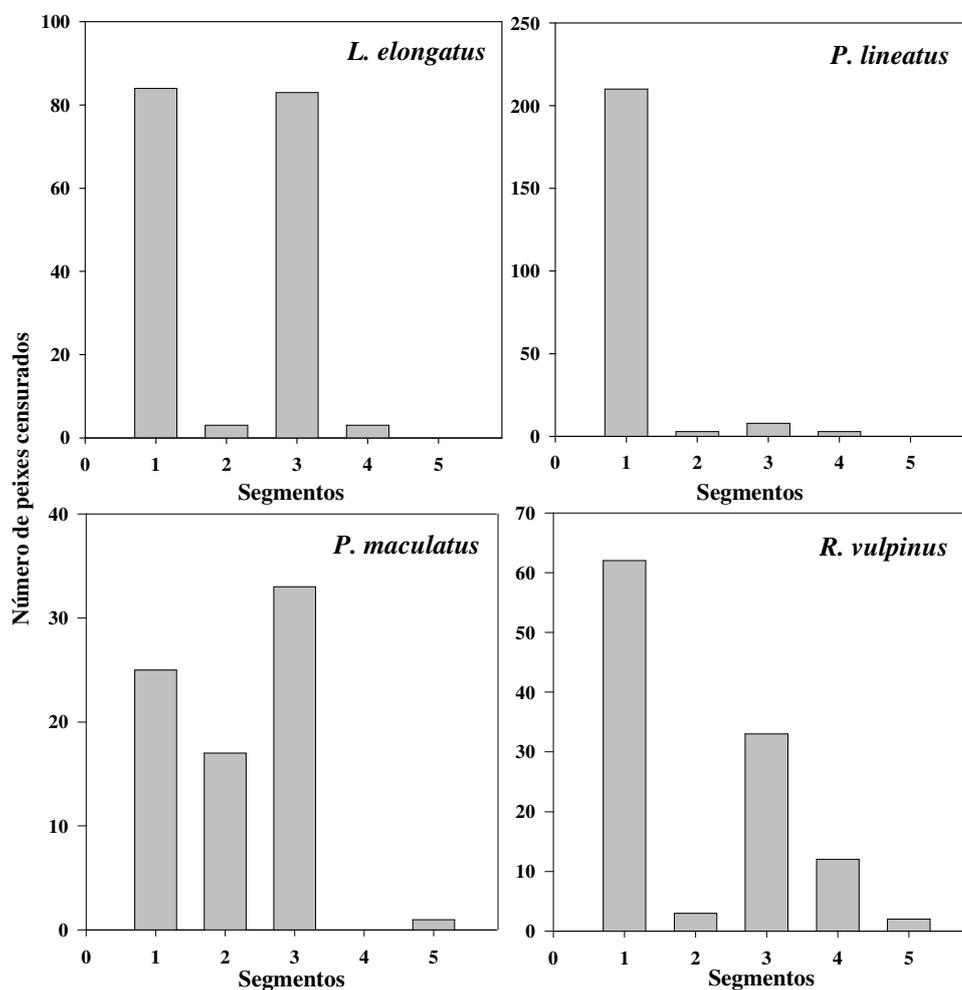


Fig. 2. Número de peixes censurados em cada segmento do Canal da Piracema, para as quatro espécies migradoras de longa distância.

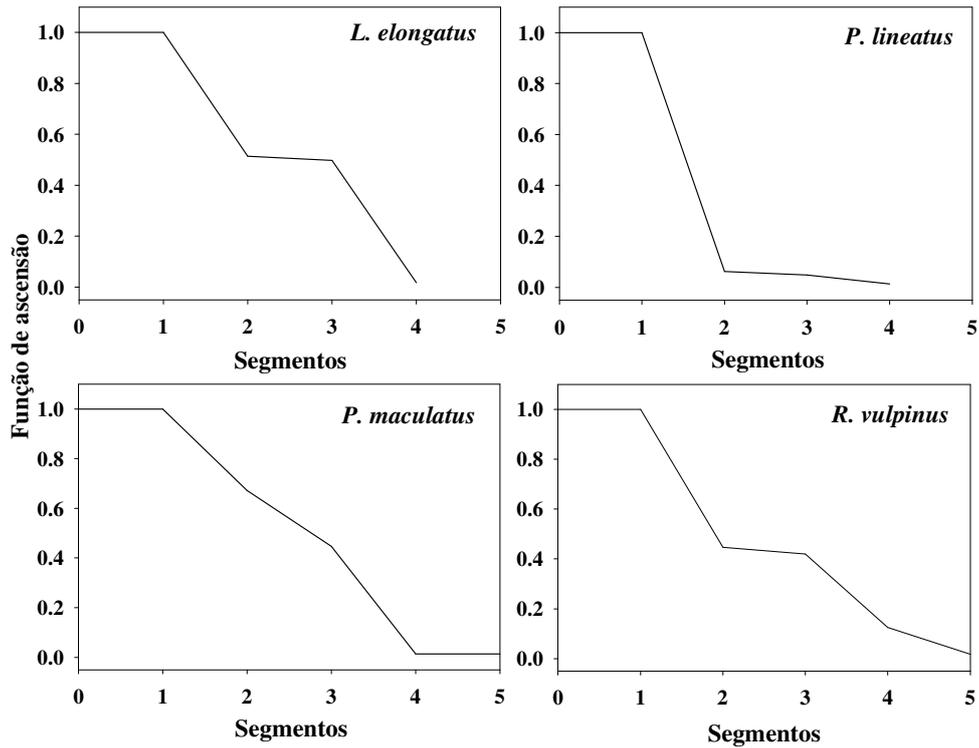


Fig. 3. Função de ascensão para as quatro espécies migradoras de longa distância, nos diferentes segmentos do Canal da Piracema.

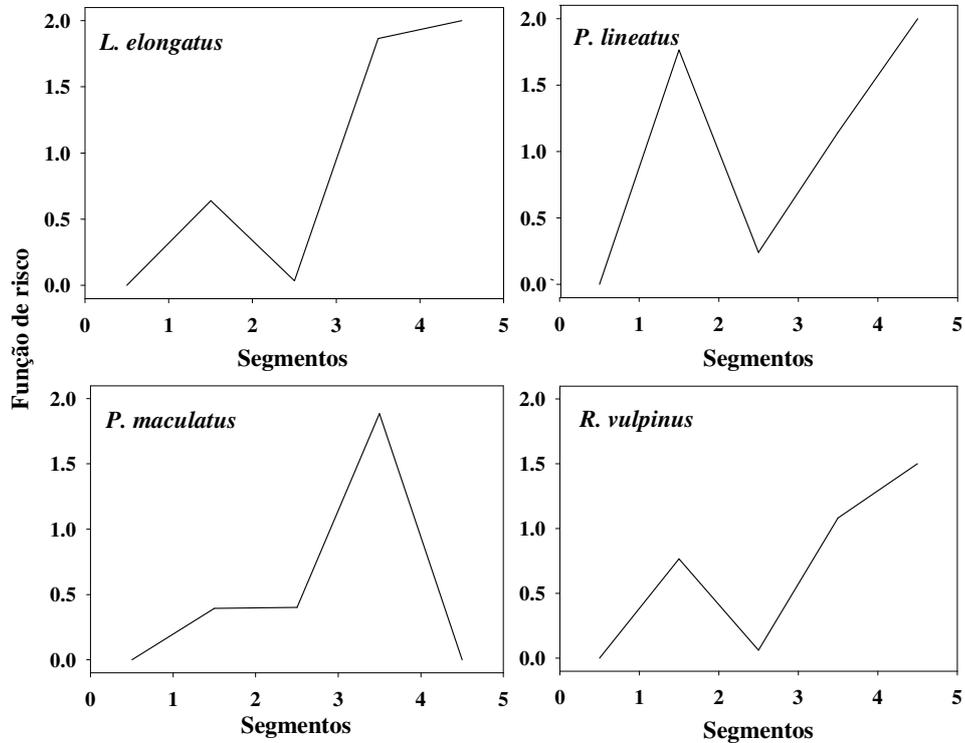


Fig. 4. Função de risco para as quatro espécies migradoras de longa distância, nos diferentes segmentos do Canal da Piracema.

As distribuições usadas que melhor descreveram a performance dos dados diferiram entre as espécies (Tabela 3). A distribuição gamma proporcionou o melhor ajuste para os dados de *L. elongatus*, Weibull para *P. lineatus* e *P. maculatus* e Log-logistic para *R. vulpinus*. Nesta tabela também são fornecidos os parâmetros escala (σ) e forma (δ), que descreveram as distribuições de erros dos modelos de regressão. A avaliação dos gráficos de probabilidade (SAS 1999) e dos resíduos Cox-Snell (Allison 1995) sugeriram que esses modelos apresentam ajustes razoáveis para os dados.

Tabela 3. Modelos de regressão do efeito da covariável velocidade máxima do fluxo medido na quantidade máxima de peixes ascendendo os diferentes segmentos do Canal da Piracema, para as quatro espécies migradoras de longa distância. 1: Número de peixes capturados (censo); 2: Verossimilhança.

Espécies ⁽¹⁾	Distribuição ⁽²⁾	Intercepto	Velocidade máxima (m/s)	Escala (σ)	Forma (δ)
<i>L. elongatus</i> (173)	Gamma (-58.093)				
β		5.784	-2.448	0.321	-0.567
SE		0.367	0.158	0.020	0.184
$P > \chi^2$		<0.001	<0.001		
<i>P. lineatus</i> (224)	Weibull (-87.369)				
β		2.175	-0.865	0.373	-
SE		0.195	0.085	0.015	-
$P > \chi^2$		<0.001	<0.001		
<i>P. maculatus</i> (76)	Weibull (-36.927)				
β		2.173	-0.574	0.303	-
SE		0.215	0.093	0.032	-
$P > \chi^2$		<0.001	<0.001		
<i>R. vulpinus</i> (112)	Log-logistic (-51.177)				
β		4.144	-1.733	0.215	-
SE		0.256	0.119	0.017	-
$P > \chi^2$		<0.001	<0.001		

Os resultados das regressões acomodaram os dados de censos (número de indivíduos) em modelos preditivos, com a variável velocidade máxima do fluxo medida no segmento. Desta maneira, proporções podem ser estimadas para cada modelo, como segue:

$$\text{Gamma} \quad S(Q) = \frac{\Gamma\left\{\delta^{-2}, \delta^{-2} \exp\left[\delta\left(\frac{\omega - \mu}{\sigma}\right)\right]\right\}}{\Gamma(\delta^{-2})} \quad (5)$$

$$\text{Weibull} \quad S(Q) = \exp\left[-\exp\left(\frac{\omega - \mu}{\sigma}\right)\right] \quad (6)$$

$$\text{e Log-logistic} \quad S(Q) = \frac{1}{\left[1 + \exp\left(\frac{\omega - \mu}{\sigma}\right)\right]} \quad (7)$$

onde a função de ascensão $S(Q)$ é a proporção de sucesso da ascensão de peixes com a diminuição da velocidade do fluxo no segmento Q , $\omega = \log(Q_s)$, σ é o parâmetro escala, δ é o parâmetro forma e $\mu = X\beta$.

Apesar de os modelos Weibull e Gamma Padrão serem similares em relação ao fato dos aspectos de risco (hazard), ou seja, são monotônicos, o modelo Weibull é matematicamente mais simples do que o gamma. Por esta razão, foi elaborado o gráfico da simulação para *L. elongatus* com o uso deste. Os resultados apresentados pelo modelo Weibull também foram significativos ($P < 0,001$), mas a magnitude para a verossimilhança foi um pouco maior do que a do modelo Gamma (-98,016) (Fig. 5, *L. elongatus*).

Aumentando consistentemente a velocidade da água, haverá redução em Q_s para cada espécie (β negativo, Tabela 3). Estes coeficientes indicam o efeito relativo da covariável velocidade máxima de fluxo, na ascensão dos peixes, ou seja, para cada diminuição de uma unidade da covariável, resultará em um aumento na quantidade de $100 \times [1 - \exp(\beta)]$ por cento. Assim, embora todas as espécies mostraram o esperado efeito negativo da velocidade do fluxo sobre Q_s , o grau deste efeito variou amplamente entre as espécies (Fig. 5). Se a velocidade da água for reduzida em 1, 1,5 e 2,0 m/s, a quantidade de *L. elongatus* aumentaria em 14, 72 e 93%, respectivamente. Para *P. lineatus*, a redução de 1,5 e 2,0 m/s na velocidade da água, aumentaria sua quantidade em 10 e 48%, respectivamente. Entretanto, para *R. vulpinus*, uma redução de 1,0, 1,5 m/s, na velocidade da água, aumentaria sua quantidade em 64 e 99%, respectivamente. No caso de *P. maculatus*, seria necessário uma redução bem maior da velocidade da

água; com 2,5 e 3,0 m/s poderia ser obtido um aumento de 17 e 50%, respectivamente, na quantidade desta espécie no segmento 5.

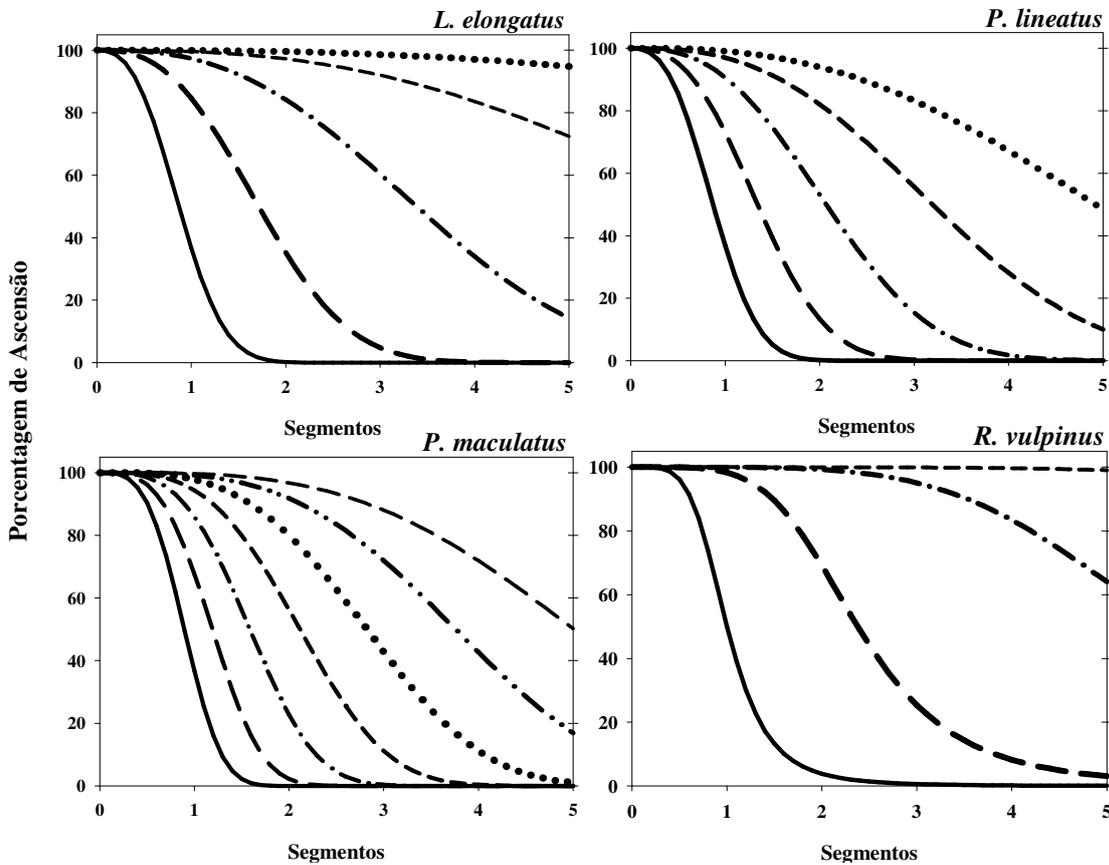


Fig. 5. Modelos preditivos da porcentagens de peixes ascendendo os diferentes segmentos do Canal da Piracema, para as quatro espécies migradoras de longa distância. Decréscimos na velocidade do fluxo: linha sólida é situação vigente, traço longo, 0,5 m/s; traço e ponto, 1,0 m/s; traço curto, 1,5 m/s; pontilhado, 2,0 m/s; traço-ponto-ponto, 2,5 m/s; traço médio, 3,0 m/s.

Discussão

A necessidade de saber quantos peixes ascendem um sistema de transposição é um dos objetivos para avaliar a livre passagem e, conseqüentemente, minimizar os impactos causados pelas obstruções existentes ao longo de uma bacia hidrográfica (Porcher e Travade, 2002). A aplicação da análise de sobrevivência através de dados (censurados) obtidos progressivamente (Cohen, 1963), mostrou-se eficaz para quatro espécies com amostras representativas ($N > 50$). A taxa de ascensão decaiu

sensivelmente ao longo dos segmentos do Canal da Piracema, demonstrando que o sistema pode estar sendo seletivo, inclusive para as espécies migradoras.

No Canal da Piracema foram capturadas 17 espécies migradoras de longa distância das 19 registradas na bacia (Agostinho et al., 2003; Suzuki et al., 2004), demonstrando que a atratividade do canal foi relativamente efetiva. Entretanto, a redução da riqueza ao longo do sistema, no sentido ascendente, foi marcante, chegando apenas 3 espécies no final deste sistema de transposição. As características físicas que determinam o modelo do fluxo como velocidade, altura da queda de água, declividade e conseqüentemente a turbulência, variam ao longo dos segmentos do Canal da Piracema, o que certamente dificulta o sucesso da movimentação ascendente da maioria das espécies de peixes migradores.

Entender qual(is) local(is), ao longo do Canal da Piracema, que possam estar impondo restrições para o sucesso da movimentação no sentido de jusante a montante, pode ser verificado através da função de risco que quantifica a probabilidade de risco em não alcançar um determinado segmento (*S*). Apesar dos resultados gráficos terem sido relativamente distintos entre as espécies, ficou evidente uma tendência semelhante para as quatro espécies consideradas, com aumento abrupto do risco no ponto intermediário do segmento 1 para o segmento 2 e, posteriormente, uma tendência do aumento de risco, após o segmento 3, exceto para *P. maculatus*. Tais resultados sugerem a busca de informações das condições hidrodinâmicas que possam estar contribuindo para o aumento do risco ou redução da abundância dos peixes, ao longo dos segmentos. Porém, para *L. elongatus* e *P. lineatus*, este resultado pode ser decorrente da facilidade que as mesmas encontram para subir, após o segmento 3, pois são excelentes nadadores, dificultando suas capturas, aumentando então a função de risco.

A análise da taxa de indivíduos chegando aos segmentos, no sentido de jusante a montante, correlacionando com variáveis hidrológicas através do método de regressão, adaptado da análise de sobrevivência, foram usados e geraram modelos capazes de acomodar dados censurados de modelos preditivos, para a variável velocidade máxima do fluxo medido, considerando que as demais covariáveis mantenham-se constantes. O aumento das taxas de ascensão para as quatro espécies analisadas pode ser obtido se as velocidades da água forem reduzidas, principalmente para aqueles segmentos onde o risco é elevado, como os casos dos segmentos 1 e 2. Resultados semelhantes para as

velocidades do fluxo foram obtidos por Haro et al. (2004), porém para um modelo experimental, com o uso de canal artificial e com velocidades controladas.

Informações disponíveis para as espécies neotropicais sobre capacidade natatória, para comparar com os resultados dos modelos das quatro espécies são incipientes. Em estudo experimental, Santos et al. (2007) encontraram para *Leporinus reinhardti* velocidades críticas, estando entre 1,2 a 1,8 m/s, para indivíduos variando de 10 a 20 cm de comprimento total. Para *L. elongatus*, as reduções das velocidades da água em até 2,0 m/s, poderão proporcionar um aumento do percentual de ascensão de quase 100%, o que demonstra resultados compatíveis com o modelo proposto.

Um estudo realizado para *P. maculatus* por Santos et al. (no prelo), em que os resultados de velocidades críticas foram analisados em modelo experimental, resultou no intervalo das velocidades críticas para a espécie, entre 1,1 a 1,7 m/s, com indivíduos em torno de 20,0 cm de comprimento total. Tais valores não condizem com os obtidos neste estudo, sugerindo reduções mais pronunciadas da velocidade da água, caso se deseje aumentar a percentagem da ascensão para *P. maculatus*. A ascensão até o segmento 5, pode ser devido a capacidade da espécie em buscar locais protegidos de velocidade elevadas, associados a característica de natação de fundo para a maioria dos Siluriformes.

Um dos principais fatores a ser levado em consideração no desenho de um sistema de transposição então, é a capacidade natatória dos peixes migradores de interesse, o qual é expresso em relação a velocidade natatória e resistência, isto é, o tempo, em que um peixe pode se manter em uma dada velocidade de natação (Larinier, 2002). A resistência do peixe dependerá das reservas de glicogênio nos músculos e esta reserva será usada assim que o peixe exceder a velocidade de cruzeiro, e a taxa de depleção estará em função da velocidade de natação e da temperatura. Logo, a resistência dependerá do comprimento do peixe, sua morfologia (relação comprimento-peso, percentagem de massa muscular) e temperatura (Wardle, 1975, 1980; Zhou, 1982; Beach, 1984). Desta maneira, eficiência dos sistemas de transposição está intimamente ligada com a velocidade e o modelo do fluxo e deverão ser compatíveis com a capacidade natatória das espécies de interesse, permitindo a passagem de todos os indivíduos e não somente para os atletas (Larinier, 2002).

A tentativa de avaliarmos outras variáveis hidrológicas e morfológicas para compor os modelos falhou, possivelmente pelo fato dos tamanhos das amostras não terem sido representativos o bastante para que pudessem ser incluídos nos modelos

(Allison, 1995). A necessidade do aumento das amostras, bem como a utilização de outro tipo de censo, do Tipo I ou do Tipo Randômico (Lee e Wang, 2003), através de técnica de marcação eletrônica como PIT tag (Castro-Santos et al., 1996), poderá melhorar os modelos probabilísticos, possibilitando a inclusão de mais covariáveis hidrológicas e morfológicas, não somente a velocidade máxima do fluxo. Também, desta forma, a avaliação não incorrerá na incerteza do pressuposto de que todos os peixes estejam se movimentando no sentido ascendente, o qual foi assumido neste estudo, de acordo com o período de migração reprodutiva em que foram realizadas as amostragens. Essas técnicas também identificarão os indivíduos das espécies que ascendem o Canal com facilidade.

Devido as possíveis modificações que estejam ocorrendo ao longo do Canal da Piracema, principalmente erosões e assoreamentos do canal semi-natural, com conseqüentes variações das vazões e velocidades, a obtenção desses dados e análises através de Estimativas de Modelos de Regressão de Cox, a qual considera covariáveis que variam com o tempo, deverá ser a abordagem utilizada, pois este pode acomodar ambos dados discretos e medidas contínuas de eventos que variam com tempo (Allison, 1995).

Apesar desses problemas, as simulações obtidas pelos modelos das diferentes espécies, parecem ser coerentes com as observações de campo, pois quando a velocidade de um segmento é elevada, poucos indivíduos são capturados. Porém, a possibilidade em reduzir a velocidade do fluxo, a fim de aumentar o sucesso da taxa ascendente dessas espécies poderá ser efetivada através do uso de dissipadores de energia como os deflatores ou chicanas, feitos de concreto ou pedras, nos diversos segmentos ao longo do Canal da Piracema. A decisão do uso de deflatores deverá ser tomada com critérios técnicos, quanto aos locais e dimensões utilizadas, tipos de materiais e custos, buscando atender as características paisagísticas e o fluxo hidráulico nos locais com altos índices de velocidade. Assim, o uso desses resultados deve ser feito com cautela, pois, várias espécies são típicas apenas dos trechos inferiores do rio Paraná (abaixo da barragem de Itaipu), que certamente subirão com os ajustes da redução da velocidade da água ocasionando introduções indesejáveis.

Além disso, antes de adotar qualquer mudança no projeto desta passagem, será fundamental obter os resultados das demais espécies migradoras e seus modelos probabilísticos, tanto para correlacionar os valores das velocidades máximas do fluxo, bem como, se possível, com outras variáveis hidrológicas ou morfológicas dos peixes

que possam estar limitando a ascensão. O conhecimento das demais espécies, inclusive as não migradoras, que possam estar fazendo uso deste facilitador, deverá compor as discussões quanto ao seu funcionamento. Assim, é necessário a ampliação da avaliação da sua eficiência, no contexto da biocenose e os possíveis impactos, buscando utilizá-lo adequadamente, como um dos instrumentos de manejo racional dos estoques pesqueiros da bacia do rio Paraná.

A utilização da análise de sobrevivência para avaliação de sistemas de transposição de peixes, tipos escadas e canais para peixes, por intermédio das funções de ascensão e de risco, foi eficaz, tanto para quantificar a eficiência, como para detectar possíveis locais que possam estar dificultando ou mesmo impedindo a movimentação ascendente dos peixes. Além disso, a construção dos modelos probabilísticos, pode determinar qual(is) covariáveis que são pertinentes de serem avaliadas e/ou modificadas, caso se queira aumentar o sucesso na ascensão das espécies de interesse. Assim, a análise de sobrevivência mostrou ser uma ferramenta de uso prático para profissionais das áreas biológicas e de engenharia na orientação, avaliação e desenvolvimento de sistemas de transposição para peixes.

Referências

- Agostinho, A.A., Gomes, L.C., Fernandez, D.R., Suzuki, H.I. 2002. Efficiency of fish ladders for neotropical ichthyofauna. *River Research and Applications* **18**: 299-306.
- Agostinho, A.A., Gomes, L.C., Suzuki, H.I., Júlio Jr, H.F. 2003. Migratory fishes of the upper Paraná river basin Brazil. *In* Migratory fishes of South America: Biology, Fisheries and Conservation Status. *Edited by* J. Carosfeld, B. Harvey, C. Ross and A. Baer. Vitoria: World Bank, pp. 19-89.
- Agostinho, A.A, Gomes, L.C., Pelicice, F.M. 2007. Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. Eduem, Maringá, 512 p.
- Allison, P.D. 1995. Survival analysis using the SAS system: a practical guide. SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- Beach, M.H. 1984. Fish pass design – criteria for the design and approval of fish passes and other structure to facilitate the passage of migratory fishes in rivers. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Lowestoft, Fish. Res. Tech. Rep. 78, 45 p.
- Castro-Santos, T. 2005. Optimal swim speeds for traversing velocity barriers: an analysis of volitional high-speed swimming behavior of migratory fishes. *J.Exp.Biol.* **208**: 421-432.

- Castro-Santos, T. 2006. Modeling the Effect of Varying Swim Speeds on Fish Passage through Velocity Barriers. *Trans.Am.Fish.Soc.* **135**: 1230-1237.
- Castro-Santos, T., Haro, A., Walk, S. 1996. A passive integrated transponder (PIT) tagging system for monitoring fishways. *Fish. Res.* **28**: 253-261.
- Castro-Santos, T., Haro, A. 2003. Quantifying migratory delay: a new application of survival analysis methods. *Can.J.Fish.Aquat.Sci.* **60**: 986-996.
- Castro-Santos, T., Haro, A. 2006. Biomechanics and fisheries conservation. In *Fish Physiology Volume 23: Fish Biomechanics*. Edited by R.E.Shadwick and G.V.Lauder. Academic Press, New York pp. 469-523.
- Castro-Santos, T., Cotel, A., Webb, P. no prelo. Fishway evaluations for better bioengineering—an integrative approach.
- CEHPAR – Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza. 2002. Projeto HG-169: Estudos computacionais do comportamento hidráulico dos Canais do Complexo do Parque da Barragem e do Rio Bela Vista. Universidade Federal do Paraná. Relatório Final, julho de 2002. 48 p.
- Cohen, A.C., Jr. 1963. Progressively Censored Sample in Life Testing. *Technometrics* **5**: 327-339.
- Cox, D. R., and Oakes, D. 1984. *Analysis of Survival Data*. Chapman & Hall, New York.
- Fiorini, A.S., Fernandez, D.R., Fontes, H.M. 2006. Piracema Migration Channel. Commission Internationale Des Grands Barrages. 22ème Congrès Des Grands Barrages. Barcelone.
- Haro, A., Castro-Santos, T., Noreika, J., Odeh, M. 2004. Swimming performance of upstream migrant fishes in open-channel flow: a new approach to predicting passage through velocity barriers. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **61**: 1590-1601.
- Hosmer, D.W., Lemeshow, S. 1999. *Applied Survival Analysis*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Larinier, M. 2001. Environmental issues, dams and fish migration. *In Dams, fish and fisheries: Opportunities, challenges and conflict resolution*. Edited by G. Marmulla FAO Fish. Tech. Pap. (419): 45-89.
- Larinier, M. 2002. Fishways: General considerations. *In Fishways: Biological basis, design criteria and monitoring*. Edited by M. Larinier, F. Travade and J.P. Porcher. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **364 suppl.**: 21-27.
- Lee, E.T and Wang, J.W. 2003. *Statistical methods for survival data analysis*. Wiley, Third Edition. New York, 513p.
- Miranda, L.E. 2001. A review of guidance and criteria for managing reservoirs and associated riverine environments to benefit fish and fisheries. *In Dams, fish and*

- fisheries: Opportunities, challenges and conflict resolution. *Edited by G. Marmulla*
FAO Fish. Tech. Pap. (419): 91-138.
- Porcher, J.P., Travade, F. 2002. Fishways: biological basis, limits and legal considerations. *In Fishways: Biological basis, design criteria and monitoring. Edited by M. Larinier, F. Travade and J.P. Porcher. Bull. Fr. Pêche Piscic. 364 suppl.: 9-20.*
- Santos, H. A., Pompeu, P. S., Martinez, C. B. 2007. Swimming performance of the migratory Neotropical fish *Leporinus reinhardti* (Characiformes: Anostomidae). *Neotropical Ichthyology*, 5(2):139-146, 2007.
- Santos, H. A., Pompeu, P. S., Vicentini, G. S., Martinez, C. B. no prelo. Swimming performance of the freshwater neotropical fish: *Pimelodus maculatus*. *Brazilian Journal of Biology*.
- SAS. 1999. SAS (9.1). SAS Institute Inc., Carey, N.C.
- Suzuki, H.I., Vazzoler, A.E.A.M. (In Memoriam), Marques, E.E., Lizama, M.L.A.P and Inada, P. 2004. Reproductive ecology of fish assemblages. *In The Upper Paraná River Floodplain: physical aspects, ecology and conservation. Edited by S.M. Thomaz, A.A. Agostinho and N.S. Hahn. Leiden: Backhuys Publishers. pp. 271-292.*
- Travade, F.; Larinier, M. Monitoring techniques for fishways. *In: M. Larinier, F. Travade, J. P. Porcher (eds.) Fishways: Biological basis, design criteria and monitoring. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 364 suppl., p. 166-180, 2002.*
- Wardle, C.S. 1975. Limit of fish swimming speed, *Nature* **225**: 725-727.
- Wardle, C.S. 1980. Effects of temperature on the maximum swimming speed of fishes. pp. 519-531. *In "Environmental Physiology of Fishes", Plenum Press (ed.), New York and London, 723 p.*
- Zhou, Y. 1982. The swimming speed of fish in towed gears, a reexamination of the principles. Dept. of Agriculture and Fisheries for Scotland, Work. Pap. 4, 55 p.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)