

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS
E ENGENHARIA DE PESCA

DHYEGO AMILTON TOPAN

Sistemas de transposição de peixes: Um facilitador da migração ou introdução
de espécies?

Toledo
2018

DHYEGO AMILTON TOPAN

Sistemas de transposição de peixes: Um facilitador da migração ou introdução de espécies?

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Mestrado e Doutorado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Pitágoras Augusto Piana

Toledo

2018

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

TOPAN, DHYEGO AMILTON

Sistemas de transposição de peixes: : Um facilitador da migração ou introdução de espécies? / DHYEGO AMILTON TOPAN; orientador(a), Pitágoras Augusto Piana, 2018.
36 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Toledo, Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, 2018.

1. Larvas de peixe. . 2. Ecologia de reservatórios. . 3. Invasão de espécies.. I. Piana, Pitágoras Augusto. II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

DHYEGO AMILTON TOPAN

Sistemas de transposição de peixes: Um facilitador da migração ou introdução de espécies?

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Mestrado e Doutorado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Pitágoras Augusto Piana
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Presidente)

Prof. Dr. Gilmar Baumgartner
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Geuza Cantanhêde
Universidade Federal do Paraná

Aprovada em: 01/06/2018
Local de defesa: Mini auditório do GERP

AGRADECIMENTOS

Ao Professor e orientador Pitágoras Augusto Piana pela confiança de ter me aceito como orientado.

Aos Professores Paulo Vanderlei Sanches e Éder André Gubiani pelas contribuições neste trabalho.

Ao GERPEL pelo fornecimento dos dados e estrutura de laboratório.

A todos do laboratório de Ovos e Larvas.

A toda minha família e amigos pelo constante apoio.

Sistemas de transposição de peixes: Um facilitador da migração ou introdução de espécies?

RESUMO

As espécies migradoras são as mais afetadas pela construção de barragens, pois tem suas rotas migratórias interrompidas e, assim, medidas de manejo foram criadas para mitigar estes impactos, como a construção de sistemas de transposição de peixes (STPs). Porém, estes sistemas possuem eficiência questionável e podem facilitar a introdução de espécies. Assim, testamos a hipótese de que existe relação positiva entre a densidade de larvas de peixes migradores com a construção do canal da piracema na barragem de Itaipu, e se as principais espécies que estão usando o canal são nativas ou não-nativas para a região do Parque Nacional de Ilha Grande (PNIG). Coletamos larvas de peixe durante 12 janelas reprodutivas (outubro a março) entre os anos de 2001 e 2016, calculamos a densidade média total, e antes e após a abertura do canal da piracema. Utilizamos a técnica de componentes principais de matrizes vizinhas, seguida pela análise de redundância canônica parcial (PCNM-RDAp) para a avaliação da influência temporal do canal e das variáveis ambientais sob a abundância de larvas de peixe. Foi possível observar a presença de larvas de espécies migradoras no PNIG, mas ao contrário do que se esperava, a densidade de larvas migradoras diminuiu após a abertura do canal. Entretanto, a diminuição ocorreu devido ao impacto sobre as espécies nativas, pois as não-nativas foram favorecidas, a exemplo de *Pterodoras granulosus*, que teve um aumento considerável após a abertura do canal e figurou entre as mais abundantes no PNIG. Desta forma, o canal, ao invés de atuar como medida de manejo e conservação às espécies migradoras nativas, gerou facilitação a introdução de espécies, uma vez que conectou duas províncias ictiofaunísticas antes separadas pela barragem de Itaipu.

Palavras-chave: Larvas de peixe. Ecologia de reservatórios. Invasão de espécies.

Fish transposition systems: A facilitator of the migration or introduction of species?

ABSTRACT

Migratory species are the most affected by construction of dams because they have their migratory routes interrupted, and so, management measures were created to mitigate these impacts, such as the fish transposition systems (FTSs). However, these systems have questionable efficiency and can also facilitate the introduction of species. Thus, we test the hypothesis that there is a positive relationship between the density of migratory fish larvae and the construction of the Canal da Piracema in the Itaipu dam, and if the main species that are using the channel are native or non-native to the Parque Nacional de Ilha Grande (PNIG). We collected fish larvae during 12 reproductive windows (October to March) between 2001 and 2016, we calculated the total mean density, and the densities before and after the opening of the Canal da Piracema. We used the principal component of neighboring matrices, followed by partial canonical redundancy analysis (PCNM-RDAp) to evaluate the temporal influence of the channel and the environmental variables under the abundance of fish larvae. It was possible to observe the presence of larvae of migratory species in the PNIG, but contrary to our expectations, the density of migratory larvae decreased after the canal opening. However, the decrease occurred due to the impact on the native species, because the non-native ones were favored, *Pterodoras granulosus* for example, had a considerable increase after the channel opening, and was among the most abundant in the PNIG. In this way, the channel, instead of acting as a management and conservation measure to native migratory species, it facilitated the introduction of species, since it connected two ichthyofaunistic provinces previously separated by the Itaipu dam.

Keywords: Fish larvae. Reservoirs' ecology. Invasion of species.

Exame Geral de Qualificação elaborado e formatado conforme as normas da publicação científica *River Research and Applications*. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/page/journal/15351467/homepage/forauthors.html> >

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS	7
1. INTRODUÇÃO	8
2. MATERIAL E MÉTODOS	10
2.1. Área de Estudo	10
2.2. Amostragem	11
2.3. Triagem, identificação e padronização do ictioplâncton	12
2.4. Análises estatísticas	13
3. RESULTADOS	14
3.1. Abundância total	14
3.2. PCNM - RDap	16
3.3. Abundância Antes e Depois do Canal	18
4. DISCUSSÃO	19
5. REFERÊNCIAS	23
6. ANEXOS	29

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Localização dos locais de amostragem na região do Parque Nacional de Ilha Grande, entre 2001 e 2016..... 12
- Figura 2: Diagrama estatístico demonstrando o passo a passo das análises estatísticas. 13
- Figura 3: Eixos canônicos RDA1 (A), RDA2 (B), RDA3 (C) e RDA4 (D), obtidos na ordenação da assembleia de larvas de peixes na região do Parque Nacional de Ilha Grande entre os anos de 2001 a 2016, durante 12 períodos reprodutivos. Eixos temporais cíclico (PCNMs), tendência temporal linear canal e principais espécies influenciadas mostradas a direita (scores > 0,20), a esquerda e dentro dos parênteses os autovalores e percentagens de explicação para cada RDA. 17
- Figura 4: Densidade de larvas de peixe nativas e não nativas ante e após a abertura do canal da piracema de Itaipu..... 18
- Figura 5: Densidade média de larvas de peixe mais abundantes na região do Parque Nacional de Ilha Grande (A) antes e (B) depois do canal da piracema de Itaipu. 18
- Figura 6: Densidade média de larvas de peixes (A) migradores, (B) e migradores nativos e não-nativos para o alto rio Paraná na região a montante ao reservatório de Itaipu, antes e depois da implantação do sistema de transposição de peixes..... 19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Lista de táxons capturados e suas respectivas densidade antes e depois da abertura do canal da piracema de Itaipu, na região do Parque Nacional de Ilha Grande, no período de outubro a março entre os anos de 2001 a 2016. (*) consideradas espécies não nativas na região, (+) migradores de longa distância. Em negrito as espécies com maiores abundâncias.
..... 14

1. INTRODUÇÃO

A construção de barragens promove severos impactos no ambiente aquático, pois altera o regime de fluxo dos rios, a disponibilidade de habitats e consequentemente, a abundância e a estrutura das comunidades aquáticas (Pelicice *et al.*, 2015; Lira *et al.*, 2017). Em geral, as espécies mais afetadas por barramentos são as de grande porte e migradoras (Agostinho *et al.*, 2007; Agostinho *et al.*, 2016), uma vez que estas ficam impedidas de ter acesso a parte superior do rio para desovar, além de sofrerem pelo controle de fluxo (Sanches *et al.*, 2006). Estes efeitos negativos motivaram a proposição de medidas mitigatórias, dentre as quais se destacam os sistemas para transposição de peixes (STP; Agostinho *et al.*, 2016). Esses sistemas foram originalmente desenvolvidos na Europa e América do Norte, onde as escadas para peixes tiveram um relativo sucesso sobre a eficiência na transposição, permitindo a migração a montante de espécies de salmonídeos (Agostinho *et al.*, 2007).

O primeiro STP na América do Sul foi construído no início do século passado (Agostinho *et al.*, 2002), e desde a década de 1960, empresas têm sido obrigadas a proteger espécies de peixes ameaçadas incorporando sistemas de transposição no projeto da barragem para tentar mitigar os impactos, principalmente nas espécies migradoras (Agostinho *et al.*, 2010). Esses sistemas são indicados para a construção quando existe uma região a montante do reservatório que possui áreas favoráveis para desova e desenvolvimento inicial (Pompeu *et al.*, 2012). No rio Paraná, se encontra o maior sistema de transposição do mundo, o canal da piracema do reservatório de Itaipu, possuindo 10 km de extensão, conectando o médio com o alto rio Paraná (Carosfeld, 2004). No caso do reservatório de Itaipu, existe, logo a sua montante, a região do Parque nacional de Ilha Grande, considerado o último trecho com características lóticicas do rio Paraná em território brasileiro, é uma área de planície de inundação, possui um ambiente propício a reprodução de várias espécies, além de existir locais para o desenvolvimento inicial das larvas (Agostinho *et al.*, 2007; Gogola *et al.*, 2010, Gogola *et al.*, 2013).

Estudos sobre a eficiência dos STPs são relativamente recentes na América do Sul, com os primeiros surgindo em meados de 2002, sendo a maioria dos estudos focados sobre a eficiência da migração a montante nos STPs (Lira *et al.*, 2017). As principais pesquisas foram sobre marcação e recaptura de espécies migradoras, existindo relatos de que algumas espécies como *Leporinus elongatus*, *Piaractus mesopotamicus*, *Pseudoplatystoma corruscans*, *Prochilodus lineatus* e *Pterodoras granulosus* conseguiram migrar em sentido a montante em STPs (Makrakis *et al.*, 2007a; Makrakis *et al.*, 2007b; Hahn *et al.*, 2007

Makrakis *et al.*, 2012). Apesar destes estudos demonstrarem que alguns espécimes conseguem migrar através do canal, os sistemas de transposição são seletivos, favorecendo a passagem de poucas espécies, muitas nem sendo espécies alvo (Agostinho *et al.*, 2007; Oldani *et al.*, 2007, Makrakis *et al.*, 2011), existindo grande dificuldade em controlar quais espécies podem ou não passar pelo sistema (Pompeu *et al.*, 2012). Além disso, a movimentação no sentido à jusante de adultos nos STPs é quase inexistente (Agostinho *et al.*, 2007; Suzuki *et al.*, 2011; Pelicice e Agostinho, 2012), tornando a efetividade destes sistemas questionáveis (Agostinho *et al.*, 2011; Pelicice *et al.*, 2015; Agostinho *et al.*, 2016). Em relação a derivação de ovos e larvas, existem uma grande mortalidade devido as características lênticas dos reservatórios, causando a sedimentação dos ovos, e o aumento da transparência da água que deixa as larvas mais susceptíveis a predação (Pelicice *et al.*, 2015). Na grande maioria dos reservatórios, a derivação de ovos e larvas se mostrou ineficiente pela alta mortalidade, salvo o caso da UHE Santo Antônio no rio Madeira, onde ovos e larvas conseguiam derivar a jusante pela barragem devido ao baixo tempo de resiliência da água e a alta turbidez que dificultava a mortalidade por predação (Vasconcelos, 2017).

Poucos estudos sobre STPs discutem sobre sua eficiência na conservação dos ambientes aquáticos, deixando seu real papel como medida mitigatória de impactos sobre a comunidade de peixes pouco conhecido (Pelicice e Agostinho, 2012; Pelicice *et al.*, 2012; Lira *et al.*, 2017). Ao contrário disso, os STPs podem funcionar como facilitadores para a introdução de espécies (Agostinho *et al.*, 2016). Após o funcionamento do canal da piracema, várias espécies não-nativas para região do alto rio Paraná conseguiram chegar ao reservatório e se dispersarem em trechos a montante da bacia (Julio Jr. *et al.*, 2009; Vitule *et al.*, 2012; Agostinho *et al.*, 2015). Muitas das espécies de peixes consideradas invasoras na região do alto rio Paraná, se deve ao enchimento do reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu no ano de 1982, dado que as antigas cachoeiras de Sete Quedas, uma barreira natural que separava duas províncias ictiofaunísticas (Bonetto, 1986), foram inundadas pelo enchimento do reservatório, introduzindo várias espécies presentes no médio rio Paraná que se dispersaram a montante do reservatório de Itaipu, tornando-se abundantes e substituindo espécies congêneres nativas (Alexandre *et al.*, 2004; Júlio Jr. *et al.*, 2009; Vitule *et al.*, 2012; Gubiani *et al.*, 2018). Alguns estudos mostraram que espécies tiveram sucesso na colonização do reservatório em um curto espaço de tempo como *Serrasalmus marginatus*, *Achenipterus osteomystax* e *Hemiodus orthonops*, (Alexandre *et al.*, 2004; Júlio Jr. *et al.*, 2009; Agostinho *et al.*, 2015). A barragem funcionou por um tempo como a barreira ictiofaunística entre as duas províncias, mas com a implantação do canal da piracema em

2003, ambas foram reconectadas (Makrakis *et al.*, 2007, Júlio Jr. *et al.*, 2009; Vitule *et al.*, 2012).

Como citado anteriormente, é visto na literatura que espécies migradoras conseguem transpor STPs, mas apenas este fato não garante que o sucesso reprodutivo é alcançado. Nesse sentido, os estudos relacionados à reprodução dos peixes, em especial sobre ovos e larvas, podem ser relevantes para avaliação da eficiência dos STPs, pois fornecem informações sobre, período, época e intensidade da atividade reprodutiva e áreas de desova (Nakatani *et al.*, 2001; Baumgartner *et al.*, 2004; Gogola *et al.*, 2013), podendo trazer informações sobre a efetividade reprodutivas das espécies que podem estar utilizando os STPs. Assim, testamos a hipótese de que existe relação positiva entre a densidade de larvas de peixes migradores ocorrentes na região do Parque Nacional de Ilha Grande com a abertura do canal de piracema da barragem de Itaipu, em uma série temporal de 15 anos de amostragens, série considerada longa para ictiofauna na região Neotropical. Especificamente, foram avaliadas i) a distribuição temporal das larvas de peixes migradores no Parque Nacional de Ilha Grande, ii) se as principais espécies que estão usando o canal são nativas ou não-nativas para a região. As variáveis ambientais com potencial para influir no processo reprodutivo foram incorporadas nas análises como covariáveis visando deixar mais evidente os efeitos do STP.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

Nossa área de estudo se localiza a montante do reservatório da UHE Itaipu Binacional, na região do Parque Nacional de Ilha Grande (PNIG), localizado na bacia do alto rio Paraná, com área de 75.894 ha que comporta um arquipélago de 157 ilhas (Campos, 2001). A maior delas, denominada Ilha Grande, possui cerca de 80 km de extensão e 5 km de largura e divide o rio Paraná em dois canais. A presença das várias ilhas torna o rio um canal anastomosado, com regiões de corredeiras e remansos de profundidades entre 2 e 12 m, as quais estão sob influência da hidrodinâmica do rio Paraná e tributários (Gogola *et al.*, 2010). A região representa parte do único trecho do rio Paraná com características lóticis em território brasileiro, porém está situado entre as usinas hidrelétricas de Engenheiro Sérgio Motta (Porto Primavera) e Itaipu Binacional (Figura 1).

2.2. Amostragem

No alto rio Paraná, o período reprodutivo da maioria das espécies de peixes inicia em outubro e se estende até março (Vazzoler, 1996). Desta forma, as amostragens ocorreram mensalmente, em 16 locais, durante 12 períodos reprodutivos, entre 2001 e 2016, sendo denominados período I (2001/2002), II (2002/2003), III (2003/2004), IV (2004/2005), V (2006/2007), VI (2007/2008), VII (2008/2009), VIII (2009/2010), IX (2010/2011), X (2011/2012), XI (2014/2015) e XII (2015/2016). Os dois primeiros períodos reprodutivos são anteriores a abertura do Canal de Piracema.

As coletas de larvas de peixes foram conduzidas com redes de plâncton cônico cilíndricas, com malha de 0,5 mm e fluxômetro acoplado. A rede foi fixada junto a lateral do barco, foi posicionada contra a correnteza e permaneceu assim por 10 minutos. Logo após as coletas, as amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno e preservadas em formol comercial diluído a 4% tamponado com carbonato de cálcio (CaCO_3). Simultaneamente as coletas de larvas de peixes, amostras de água foram obtidas para análise de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxigênio dissolvido (mg/l), pH e condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Os valores mensais de pluviosidade e nível fluviométrico foram obtidos junto ao Instituto das Águas do Paraná.

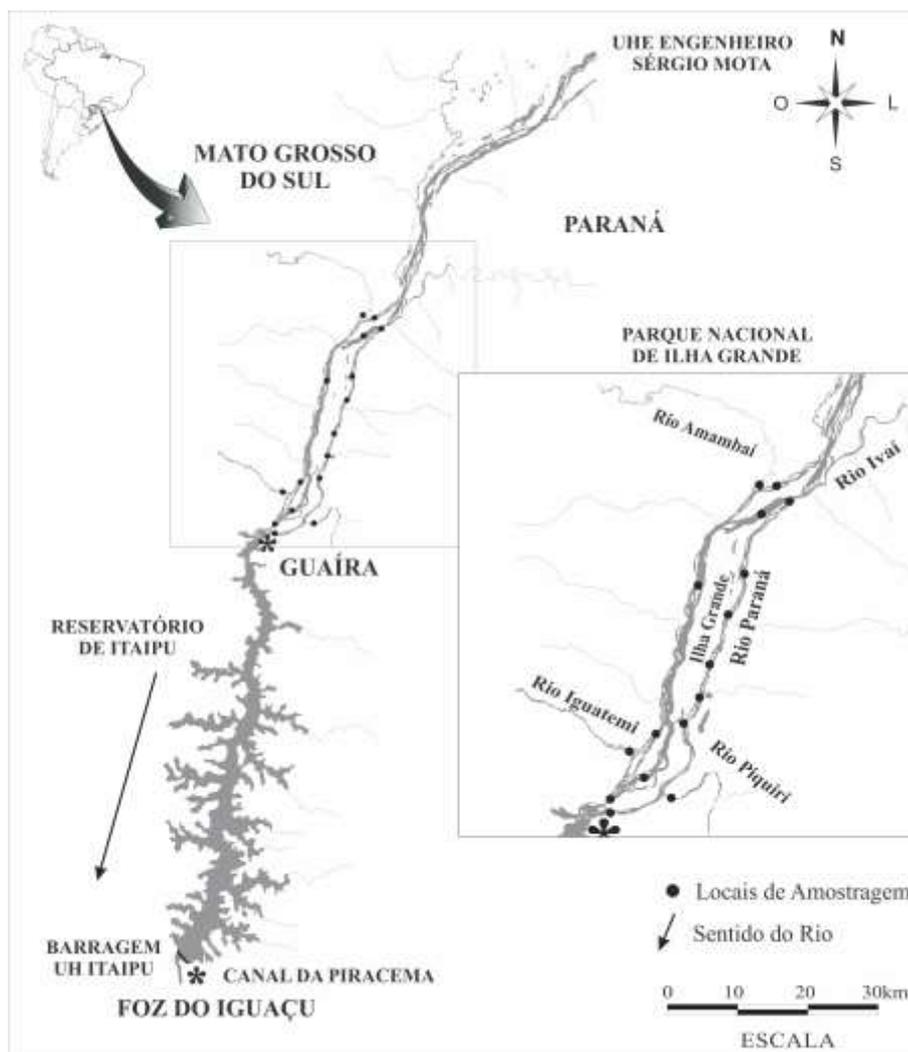


Figura 1: Localização dos locais de amostragem na região do Parque Nacional de Ilha Grande, entre 2001 e 2016

2.3. Triagem, identificação e padronização do ictioplâncton

Em laboratório, as amostras foram triadas para identificação das larvas de peixes ao menor nível taxonômico possível, de acordo com o preconizado por Nakatani *et al.*, (2001). O enquadramento taxonômico seguiu a classificação proposta por Nelson *et al.*, (2006) para ordens, Reis *et al.*, (2003) para família e sub-família, com exceção a Serrasalmidae e Characidae, classificada de acordo com Mirande (2009). As larvas identificadas foram sumarizadas e a abundância foi padronizada para número de indivíduos por 10 m^3 , segundo Tanaka (1973) modificado por Nakatani *et al.*, (2001). Para identificação de quais espécies eram ou não migradoras de longa distância seguimos Suzuki *et al.*, (2004), a para quais eram espécie não nativas para a região do alto rio Paraná Ota *et al.*, (em preparação).

2.4. Análises estatísticas

A variação temporal nas abundâncias das larvas de peixes foi avaliada em relação ao canal de piracema e a qualidade de água com a técnica de componentes principais de matrizes vizinhas, seguida pela análise de redundância canônica parcial (Figura 2; PCNM-RDAp; Angeler *et al.*, 2009). A PCNM foi aplicada sobre a série temporal de 72 meses amostrais para gerar eixos cíclicos de distintos comprimentos de ondas e fases. Os eixos gerados foram usados como uma matriz de covariação para RDA parcial. As variáveis abióticas (temperatura, OD, pH, condutividade elétrica, pluviosidade e nível fluviométrico), a série temporal linear e uma variável indicadora da abertura do canal de piracema (1 para as coletas antes da ativação canal, e 2 para as coletas depois) constituíram a matriz preditora para a RDAp. A matriz resposta da RDAp, constituída pelas abundâncias de larvas de peixes, foi submetida a transformação de Hellinger, de modo a obter a raiz quadrada da quantidade relativa de espécimes por táxon na coleta. Essa transformação foi aplicada porque permite o uso da distância euclidiana na ordenação de dados de comunidades biológicas (Legendre e Gallagher, 2001). As variáveis preditoras retidas para interpretação foram obtidas pelo procedimento *forward selection*, com 5% de significância sob 999 permutações. O critério de retenção e interpretação de eixos canônicos da RDAp também foi o de 5% de significância sob 999 permutações, porém com coeficiente de correlação superior a 0,2 com qualquer táxon. Todas as análises foram realizadas no software R (R Core team, 2016), com usos dos pacotes Vegan (Oksanen *et al.*, 2016) e Packfor (Dray *et al.*, 2011) (script disponível no Material Suplementar 1).

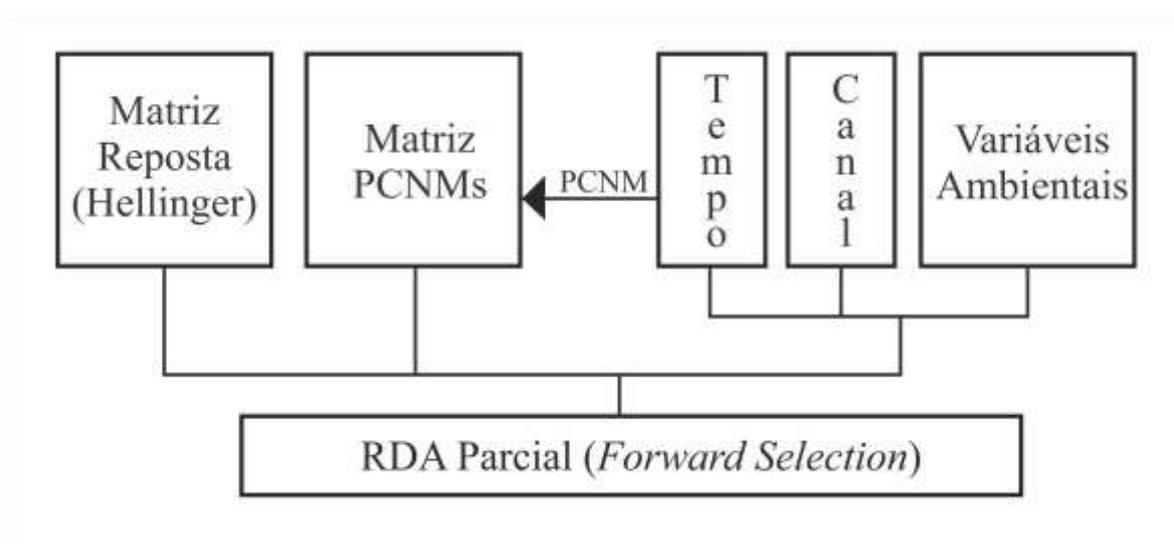


Figura 2: Diagrama estatístico demonstrando o passo a passo das análises estatísticas.

Como resultados post-hoc a PCNM-RDA, foram calculadas as abundâncias médias para cada táxon ao longo do tempo e para os períodos pré e pós abertura do canal de piracema. Para melhor interpretação dos resultados, separamos em grupos as espécies consideradas nativas ou não-nativas da bacia do alto rio Paraná, e dentro desses grupos, ainda quais eram migradoras de longa distância para a elaboração de gráficos de densidade média antes e depois do STP.

3. RESULTADOS

3.1. Abundância total

Durante o período de amostragem, foi capturado um total de 35.147 larvas de peixes, distribuídos em 55 táxons, sendo que 15 espécies capturadas são não nativas para a região, e 3 destas espécies possuem habito migratório de longa distância (*Pimelodus ornatus*, *Pterodoras granulosus*, e *Surubim lima*) (Tabela 1). Das 42 espécies nativas capturadas, 11 são migradoras (*Brycon orbignyanus*, *Megaleporinus. piavussu*, *Prochilodus lineatus*, *Rhaphiodon vulpinus*, *Salminus spp*, *Pseudoplatystoma spp*, *Rinelepis áspera*, *Pirinampus pirinampu* *Pimelodus maculatus* e *Zungaro jahu*) (Tabela 1). As espécies mais abundantes foram *Plagioscion squamosissimus* (0,297 larvas/10m³), seguido de *Salminus spp* (0,252 larvas/10m³), *P. granulosus* (0,133 larvas/10m³) e *Auchenipterus osteomystax* (0,080 larvas/10m³), destaca-se que das quatro mais abundantes, três são não nativas (Tabela 1).

Tabela 1: Lista de táxons capturados e suas respectivas densidades antes e depois da abertura do canal da piracema de Itaipu, na região do Parque Nacional de Ilha Grande, no período de outubro a março entre os anos de 2001 a 2016. (*) consideradas espécies não nativas na região, (+) migradores de longa distância. Em negrito as espécies com maiores abundâncias.

Espécies	Densidade Média		
	por táxon	Antes	Depois
<i>Auchenipterus osteomystax</i> *	0,080	0,093	0,077
<i>Amaralia oviraptor</i>	0,001	0,002	<0,001
<i>Ageneiosos spp</i>	0,001	-	0,001
<i>Apareiodon spp</i>	0,019	0,011	0,020
<i>Aphyocharax spp</i>	0,001	0,003	0,001
<i>Bryconamericus exodon</i> *	0,001	-	0,002
<i>Brycon orbignuanus</i> +	0,008	0,003	0,009
<i>Cetopsis gobioides</i>	0,006	0,002	0,006
<i>Catathyridium jenynsii</i> *	0,015	0,016	0,015
<i>Characidium spp</i>	<0,001	-	<0,001
<i>Diapoma guarani</i>	0,005	0,007	0,004
<i>Eigenmannia trilineata</i>	0,001	-	0,001

<i>Gymnotus</i> spp	0,011	0,019	0,010
<i>Hyphessobrycon eques</i> *	<0,001	-	<0,001
<i>Hoplosternum littorale</i>	0,002	-	0,002
<i>H. marginatus</i>	<0,001	-	0,001
<i>Hypophthalmus oremaculatus</i> *	0,026	0,065	0,018
<i>Hemiodus orthonops</i> *	0,001	-	0,001
<i>Hoplias</i> spp	0,022	0,051	0,016
<i>Hypostomus</i> spp	0,001	0,001	0,002
<i>Loricariichthys platymetopon</i> *	0,001	0,001	<0,001
<i>Leporinus</i> spp	0,004	0,003	0,004
<i>Moenkhausia</i> aff. <i>intermedia</i>	0,001	-	0,001
<i>Moenkhausia</i> aff. <i>sanctaefilomenae</i>	0,002	0,003	0,002
<i>Megalepoinus piavussu</i> +	<0,001	-	<0,001
<i>Megalonema platanum</i>	0,001	0,003	-
<i>Ossancora eigenmanni</i> *	<0,001	-	<0,001
<i>Pyrhulina australis</i>	<0,001	-	<0,001
<i>Parauchenipterus galeatus</i> *	0,006	0,010	0,006
<i>Pterodoras granulosus</i> *+	0,133	0,005	0,159
<i>Psellogrammus kennedyi</i> *	0,001	-	0,001
<i>Prochilodus lineatus</i> +	0,027	0,011	0,030
<i>Pimelodus maculatus</i> +	<0,001	-	<0,001
<i>Pimelodus ornatus</i> *+	0,001	-	0,002
<i>Pinirampus pirinampu</i> +	<0,001	-	<0,001
<i>Plagioscion squamosissimus</i> *	0,297	0,516	0,253
<i>Piabarchus stramineus</i>	0,008	0,011	0,007
<i>Paravandellia</i> spp	<0,001	0,003	-
<i>Pimelodus</i> spp	0,070	0,065	0,071
<i>Pseudoplatystoma</i> spp +	0,042	0,027	0,045
<i>Rinelepis aspera</i> +	0,001	-	0,002
<i>Roeboides descavadensis</i> *	0,002	0,002	0,001
<i>Rhamdia quelen</i>	0,065	0,159	0,046
<i>Rhinelepis strigosa</i>	0,001	-	0,001
<i>Rhaphiodon vulpinus</i> +	0,004	0,001	0,005
<i>Steindachnerina brevipinna</i> *	<0,001	-	<0,001
<i>Sorubim lima</i> *+	0,011	0,021	0,009
<i>Synbranchus marmoratus</i>	<0,001	0,001	<0,001
<i>Serrapinus notomelas</i>	<0,001	-	0,001
<i>Salminus</i> spp +	0,252	0,800	0,142
<i>Serrasalmus</i> spp	0,004	0,004	0,003
<i>Tatia neivai</i>	0,003	0,002	0,003
<i>Tracleopterus sp</i>	<0,001	-	<0,001
<i>Zungaro jahu</i> +	<0,001	-	<0,001

3.2. PCNM - RDAP

A decomposição da sequência temporal pela PCNM gerou 48 eixos, dos quais 16 foram retidos como covariáveis significativas ($p < 0,05$) na RDAP, sendo 8 de tendências cíclicas de periodicidade alta (PCNMs 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 e 11), 6 de médias (PCNMs 16, 17, 19, 22, 23 e 32) e 2 de baixa (PCNMs 34 e 47) (Anexos 1 e 2). Das variáveis ambientais, apenas a série temporal linear e a variável indicadora da abertura do canal foram significativas ($p < 0,05$). A RDAP apresentou 8 eixos canônicos, dos quais apenas os 4 primeiros obtiveram táxons com coeficientes de correlação superior a 0,2. Juntos, esses quatro eixos representaram 77,63% da variabilidade total.

O RDA1 (Var=35,36% Figura 3A) teve forte correlação positiva com ciclos temporais de alta periodicidade (PCNMs 3, 6, 5 e 4) e com a abertura do canal de piracema. Esse eixo foi associado positivamente com *P. granulatus* e negativamente com *P. squamosissimus*. O segundo componente de maior variação (RDA2, Var=24,19%, Figura 3B) foi negativamente associado com um eixo de periodicidade média (PCNM 23) e com a série temporal linear, com influência positiva sobre *Salminus* spp e *A. osteomystax*, e negativa sobre *P. granulatus* e *P. squamosissimus*. O RDA3 (Var=12,33%, Figura 3C), teve maiores influências das variáveis preditoras PCNM 1 (+0,60), PCNM 23 (-0,55) e tempo linear (+0,44), influenciando as espécies *A. osteomystax* (+0,34), *Apareiodon* spp (+0,23) e *R. quelen* (-0,27). Para a RDA4 (Var=5,75%, Figura 3D), teve maiores influências positivas do PCNMs 2 e 8 (+0,60 e +0,38), e negativas do canal (-0,34) e PCNM 47 (-0,24), possuindo correlação com as larvas de *Salminus* spp (+0,20) e *Pimelodus* spp (-0,28).

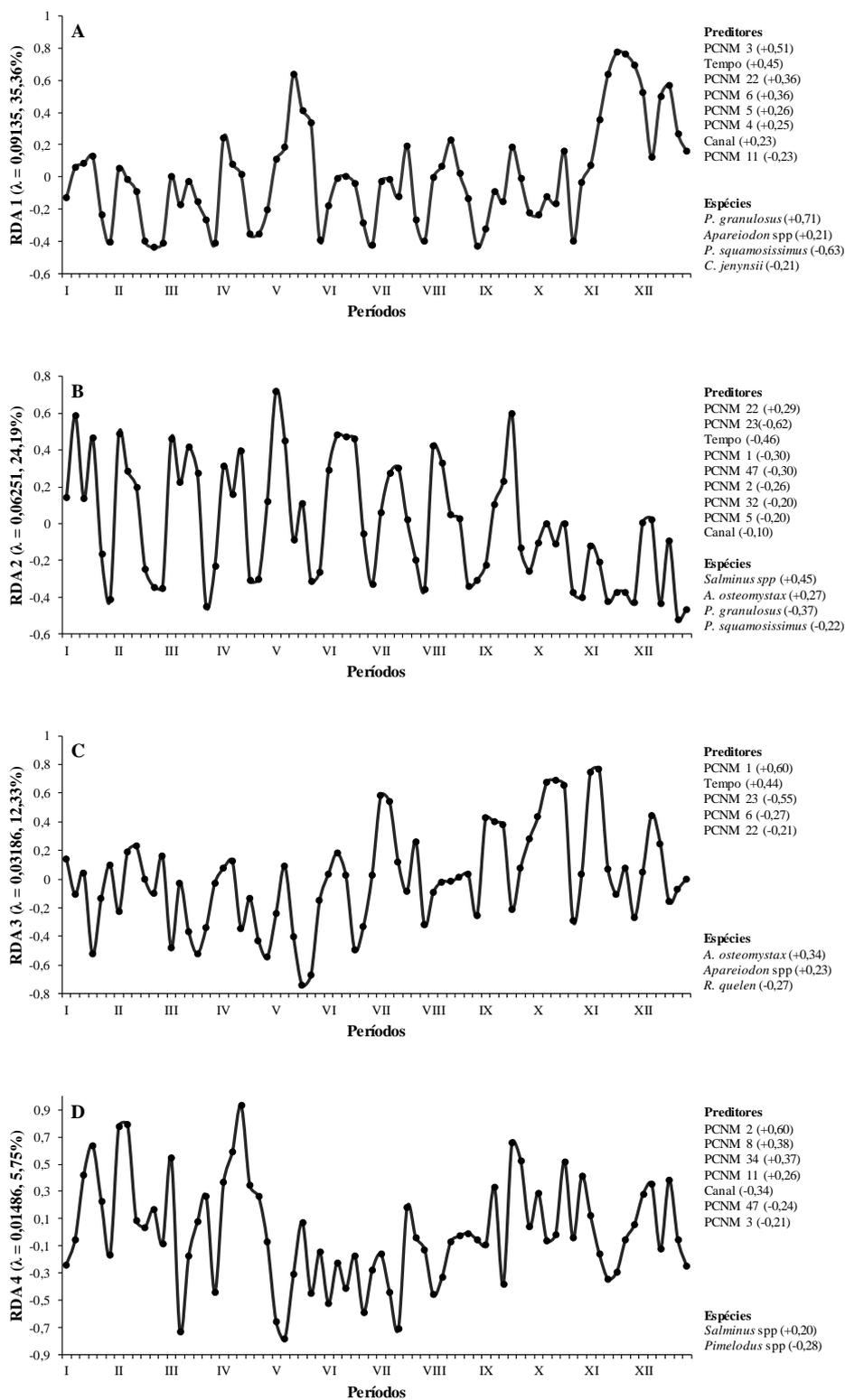


Figura 3: Eixos canônicos RDA1 (A), RDA2 (B), RDA3 (C) e RDA4 (D), obtidos na ordenação da assembleia de larvas de peixes na região do Parque Nacional de Ilha Grande entre os anos de 2001 a 2016, durante 12 períodos reprodutivos. Eixos temporais cíclico (PCNMs), tendência temporal linear canal e principais espécies influenciadas mostradas a direita (scores > 0,20), a esquerda e dentro dos parênteses os autovalores e percentagens de explicação para cada RDA.

3.3. Abundância Antes e Depois do Canal

Em relação a abundância das larvas antes e depois da abertura do canal da piracema, podemos verificar que as larvas de espécies não nativas tiveram um pequeno aumento (de 0,045 para 0,048 larvas/10m³), enquanto as nativas tiveram uma queda na captura (de 0,029 para 0,010 larvas/10m³) (Figura 4). Outra alteração que pode ser observada com a abertura do canal, foi em relação as espécies mais abundantes, antes do canal, as que apresentavam maiores densidades médias eram *Salminus spp*, *P. squamosissimus* e *R. quelen* (Figura 5 A), porém, após a abertura do canal, *P. squamosissimus*, *P. granulosus* e *Salminus spp* foram as três com maiores densidades, além de todas estas serem consideradas não nativas (Figura 5 B). Nos períodos pós canal, dentre as espécies migradoras, *P. granulosus* foi a que apresentou maior densidade média.

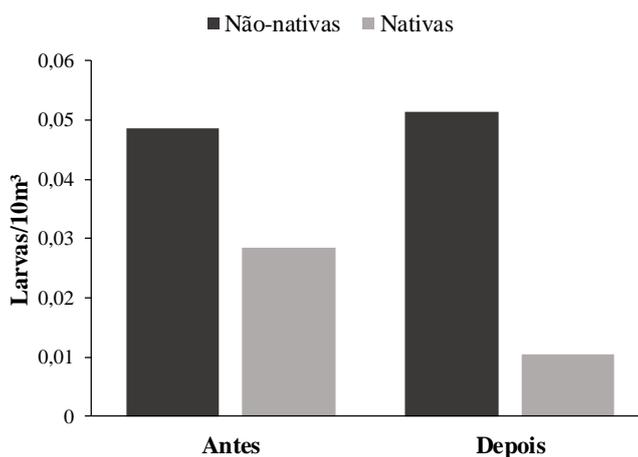


Figura 4: Densidade de larvas de peixe nativas e não nativas antes e após a abertura do canal da piracema de Itaipu.

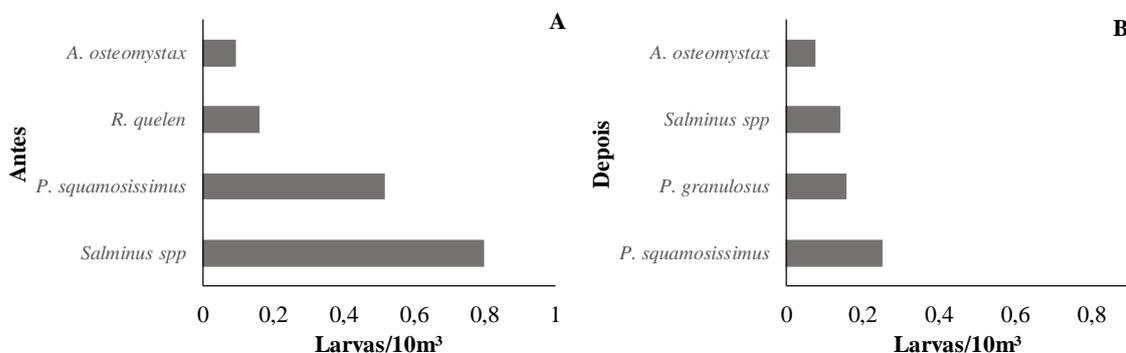


Figura 5: Densidade média de larvas de peixes mais abundantes na região do Parque Nacional de Ilha Grande (A) antes e (B) depois do canal da piracema de Itaipu.

Nas abundâncias considerando apenas as espécies migradoras, foi possível identificar uma queda na densidade de larvas antes e depois do STP (Figura 6A). Antes, é possível identificar que a maior densidade de peixes migradores é de espécies nativas, principalmente de *Salminus* spp. Entretanto, nos períodos depois da implantação do STP, é possível verificar uma diminuição dos migradores nativos, enquanto que os não nativos têm aumento na densidade, muito em razão das altas de captura de *P. granulosus* (Figura 6B).

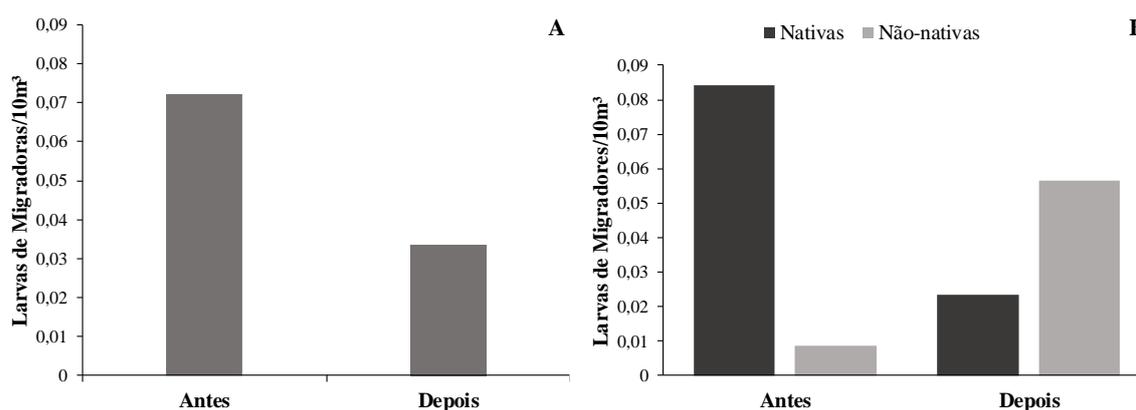


Figura 6: Densidade média de larvas de peixes (A) migradores, (B) e migradores nativos e não-nativos para o alto rio Paraná na região a montante ao reservatório de Itaipu, antes e depois da implantação do sistema de transposição de peixes.

4. DISCUSSÃO

Em nossos resultados foi possível observar a captura recorrente de larvas de peixes migradores na região do PNIG, reforçando que a região é usada como berçário. Essa região, além de ser conhecida como local de desova para várias espécies de peixes (Gogola *et al.*, 2010), também apresenta lagoas marginais e áreas de remanso que favorecem o desenvolvimento inicial das larvas, fornecendo abrigo e alimento abundantes (Daga *et al.*, 2009; Gogola *et al.*, 2013). Possivelmente, algumas espécies de peixes conseguem migrar pelo canal da piracema, atravessam o reservatório de Itaipu e finalizar o ciclo reprodutivo no PNIG. Pompeu *et al.* (2012) relatam que é essencial que a região a montante de um reservatório que possui um STP apresente uma área de reprodução e desenvolvimento inicial, para que as espécies migrem a montante e consigam completar seu ciclo de vida.

Mas apesar de existir a presença de larvas de espécies migradoras a montante do canal, na região do PNIG, ocorreu queda na densidade média ao longo do tempo, como mostrado nos resultados da PCNM-RDA. Parte desta queda pode estar associada a

interrupção das rotas migratórias através das barragens (Sanches *et al.*, 2006; Pelicice *et al.*, 2015), pelas alterações causadas pelo represamento dos rios (Hoeinghaus *et al.*, 2009; Agostinho *et al.*, 2016) do controle de fluxo imposto pelas barragens a montante da região (Sanches *et al.*, 2006), alterando os pulsos de inundação da região e consequentemente causando a perda de locais de desova e desenvolvimento inicial para muitas espécies (Agostinho *et al.*, 2007; Pelicice e Agostinho, 2008, Pelicice *et al.*, 2015).

Ao contrário do que se esperava, após a abertura do canal de piracema, não houve um aumento da densidade total de larvas de espécies migradoras, ocorrendo até uma diminuição na densidade total das larvas destas espécies. Entretanto, essa diminuição ocorreu devido ao impacto negativo sobre as migradoras nativas, pois as migradoras não-nativas foram favorecidas. As proles de espécies migradoras mais abundantes após a abertura do canal foram de *P. granulatus*, espécie migradora de longa distância (Suzuki *et al.*, 2004), introduzida no alto rio Paraná devido ao enchimento do reservatório de Itaipu e consequente inundação dos saltos de Sete Quedas, eliminando a barreira natural que separava as duas províncias ictiofaunísticas (Zawadzki *et al.*, 1996; Makrakis *et al.*, 2007, Julio Jr. *et al.*, 2009; Vitule *et al.*, 2012). A espécie teve um sucesso de colonização rápido após sua invasão nos trechos a montante da barragem na década de 80 e uma estabilização da década de 90, se tornando na época a segunda espécie mais importante em biomassa, quando consideramos a pesca artesanal no reservatório de Itaipu (Okada *et al.*, 2005). Agora, essa espécie teve um aumento significativo na densidade de larvas depois da abertura do canal, chegando a ser a mais representada entre as migradoras nos últimos períodos, parte deste aumento pode estar relacionado aos espécimes já presentes na região a montante do reservatório, mas também está associado a migração destas espécies através do canal da piracema. Apesar de estudos mostrarem que esta espécie pode ser encontrada em altas concentrações na entrada das passagens de peixes, alguns espécimes conseguem migrar através do canal da piracema e atravessar o reservatório (Makrakis *et al.*, 2007, Hahn *et al.*, 2007), até chegar na região do PNIG e encontrar um ambiente favorável à reprodução. Entretanto, os impactos possíveis causados no alto rio Paraná pela introdução da espécie ainda permanecem pouco conhecidos na literatura.

O canal, além de ter uma efetividade questionável como medida de manejo dos impactos causados pela barragem na migração de peixes, pode facilitar a introdução de espécies não-nativas (Julio Jr. *et al.*, 2009; Vitule *et al.*, 2012; Agostinho *et al.*, 2015). Como vimos em nossos resultados, houve um aumento no número de larvas de espécies não-nativas na região, apresentando as larvas com maiores densidades médias no PNIG, sendo as duas

maiores *P. squamosissimus* e *P. granulatus*. A primeira é originária da Bacia Amazônica, foi introduzida na bacia do rio Pardo em 1967 e se distribuiu ao longo da maior parte das bacias da América do Sul (Nomura, 1984), cegando a apresentar papel importante na pesca no reservatório de Itaipu (Agostinho *et al.*, 1994, Agostinho *et al.*, 2007; Hoeninghaus *et al.*, 2009). O sucesso da espécie pode ser atribuído ao seu hábito sedentário, a ocupação da zona pelágica, e a sua estratégia reprodutiva, produzindo ovos flutuantes em vários lotes no início do período reprodutivo (Nakatani *et al.*, 1993; Agostinho *et al.*, 1999). Características condizentes para o sucesso de colonização de espécies não-nativas (Ruesink, 2005; Moyle e Marchetti, 2006).

Após 20 anos do enchimento do reservatório, cerca de 17 espécies permaneceram restritas a jusante da barragem (Agostinho *et al.*, 2016, Gubiani *et al.*, 2018), mas com a abertura do canal, outras espécies estão conseguindo se dispersar nas regiões a montante da bacia (Júlio Jr. *et al.*, 2009; Vitule *et al.*, 2012). Em nosso estudo, encontramos larvas de espécies nativas da região do médio rio Paraná que tiveram um sucesso de colonização no alto rio Paraná, podemos citar *Auchenipterus osteomystax*, *Catathyridium jenynsii*, *Loricariichthys platymetopon*, *Steindachnerina brevipinna*, entre outras (Júlio Jr. *et al.*, 2009). Além destas, podemos destacar a presença de *H. orthonops* nos últimos períodos, endêmica da bacia do Paraná-Paraguai, e até pouco tempo ausente na bacia do alto rio Paraná. Essa espécie conseguiu migrar através do canal da piracema e se dispersar no reservatório, atingindo 8% da abundância total em trechos a montante (Júlio Jr. *et al.*, 2009; Agostinho *et al.*, 2015). A espécie possui capacidade natatória suficiente para atravessar o canal da piracema, e o sucesso da invasão se deve a sua capacidade de dispersão, condições ambientais similares as de sua área nativa, a capacidade de explorar um recurso alimentar de alta disponibilidade, alta taxa de crescimento somático e maturação precoce (Agostinho *et al.*, 2015). Isso demonstra que além da espécie tem uma capacidade de transpor o STP, consegue se reproduzir na região a montante do reservatório.

A falta de correlação com as variáveis ambientais dificultou a identificação de algum tipo de padrão de efeitos sobre a tendência temporal das ocorrências de larvas. Esta falta de correlação pode estar relacionada à regulação do fluxo imposto ao rio Paraná pelos barramentos a montante (principalmente UHE Engenheiro Sérgio Motta), conforme observado também por Gogola *et al.* (2013) para esta mesma região. Com a regulação e a sua conseqüente influência do nível fluviométrico, toda a dinâmica dos ciclos biogeoquímicos são alterados devido à ausência das inundações. No entanto, é reconhecido na literatura que as variáveis ambientais são fundamentais para os processos reprodutivos

dos peixes, principalmente temperatura, precipitação e nível fluviométrico (Vazzoler *et al.*, 1996; Baumgartner *et al.*, 2004). Além da ação dos fatores abióticos, relacionados a processos regionais como a construção de barragens, STPs também devem desempenhar papel fundamental na estruturação das comunidades e devem ser avaliados (Gubiani *et al.*, 2010).

Em conclusão, o canal da piracema influenciou a assembleia de larvas de peixes na região a montante do reservatório de Itaipu, na região do Parque Nacional de Ilha Grande. Espécies migradoras nativas tiveram redução em densidade, ao passo que migradoras não-nativas, principalmente *P. granulosus*, aumentaram consideravelmente suas densidades após a abertura do canal, indicando que estas conseguem subir o canal e o reservatório. Desta forma, o canal, ao invés de atuar como medida de manejo e conservação às espécies migradoras nativas, gerou facilitação a introdução de espécies, uma vez que conectou duas províncias ictiofaunísticas antes separadas pela barragem de Itaipu.

5. REFERÊNCIAS

- Agostinho, A.A., Gomes, L.C., Fernandes, D. R., Suzuki, H. I. (2002) Efficiency of fish ladders for neotropical ichthyofauna *River Research and Applications.*, **18**, pp. 299-306. doi-10.1002/rra.674
- Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Pelicice, F. M., (2007). Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil Eduem, Maringá.
- Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Santos, N. C., Ortega, J. C., & Pelicice, F. M. (2016). Fish assemblages in Neotropical reservoirs: Colonization patterns, impacts and management. *Fisheries Research*, **173**, 26-36. doi.org/10.1016/j.fishres.2015.04.006.
- Agostinho, A. A., Júlio Jr, H. F. and Petrere Jr, M., 1994, Itaipu reservoir (Brazil): impacts of the impoundment on the fish fauna and fisheries. In: U. G. Cowx (ed.), *Rehabilitation of freshwater fisheries*. Osney Mead, Oxford, Fishing News Books, pp. 171-184.
- Agostinho, A. A., Miranda, L. E., Bini, L. M., Gomes, L. C., Thomaz, S. M., & Suzuki, H. I. (1999). Patterns of colonization in neotropical reservoirs, and prognoses on aging. Theoretical reservoir ecology and its applications. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 227-265.
- Agostinho, A. A., Pelicice, F. M., Gomes, L. C., & Júlio Jr, H. F. (2010). Reservoir fish stocking: when one plus one may be less than two. *Natureza & Conservação*, **8(2)**, 103-111. doi- 10.4322/natcon.00802001.
- Agostinho, A. A., Suzuki, H. I., Fugii, R., Alves, D. C., Tonella, L. H., & Espindola, L. A. (2015). Ecological and life history traits of *Hemiodus orthonops* in the invasion process: looking for clues at home. *Hydrobiologia*, **746(1)**, 415-430. doi-10.1007/s10750-014-2030-2.
- Agostinho, C. S., Pelicice, F. M., Marques, E. E., Soares, A. B., & de Almeida, D. A. A. (2011). All that goes up must come down? Absence of downstream passage through a fish ladder in a large Amazonian river. *Hydrobiologia*, **675(1)**, 1. doi - 10.1007/s10750-011-0787-0.
- Alexandre, P. C., Luiz, E. A., Piana, P. A., Gomes, L. C., & Agostinho, A. A. (2004). Relação estoque-recrutamento para as piranhas *Serrasalmus marginatus*

- (Valenciennes, 1847) e *S. maculatus* (Kner, 1860) no rio Baía, alto rio Paraná. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, **26(3)**, 303-307. doi.org/10.4025/actascibiolsci.v26i3.1544.
- Angeler, D. G., Viedma, O., & Moreno, J. (2009). Statistical performance and information content of time lag analysis and redundancy analysis in time series modeling. *Ecology*, **90(11)**, 3245-3257. doi-10.1890/07-0391.1.
- Baumgartner, G., K. Nakatani, L. C. Gomes, A. Bialezki, P. V. Sanches & M. C. Makrakis. 2004. Identification of spawning sites and natural nurseries of fishes in the upper Paraná River, *Brazilian Environmental Biology of Fishes*, **71(2)**: 115-125. doi-org.ez89.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10641-003-0098-z.
- Bonetto, A.A.(1986) The Paraná river systems. B.R. Davies, K.F. Walkers (Eds.), The Ecology of Rivers Systems, Dr W. Junk Publisher, Dordrecht (1986), pp. 541-556.
- Campos, J. B. 2001. Parque Nacional de Ilha Grande re-conquista e desafios. Maringá, IAP/CORIPA.
- Carolsfeld, 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.
- Daga, V.S., Gogola, T.M., Sanches, P.V., Baumgartner, G., Baumgartner, D., Piana, P.A., Gubiani, É.A. & Delariva, R.L. 2009. Fish larvae assemblages in two floodplain lakes with different degrees of connection to the Paraná River, Brazil. *Neotropical Ichthyology* **7**: 429–438. doi.org/10.1590/S1679-62252009000300010.
- Dray S., Legendre P. and Blanchet G. (2011) Packfor: Forward Selection with permutation (Canoco p.46). R package version 0.0–8/r100.
- Gogola, T. M., Sanches, P. V., Gubiani, É. A., & da Silva, P. R. (2013). Spatial and temporal variations in fish larvae assemblages of Ilha Grande National Park, Brazil. *Ecology of Freshwater Fish*, **22(1)**, 95-105. doi-10.1111/eff.12007.
- Gogola, T.M., Daga, V.S., Silva, P.R.L., Sanches, P.V., Gubiani, É.A., Baumgartner, G. & Delariva, R.L. 2010. Spatial and temporal distribution patterns of ichthyoplankton in a region affected by water regulation by dams. *Neotropical Ichthyology* **8**: 341–349. doi.org/10.1590/S1679-62252010000200013

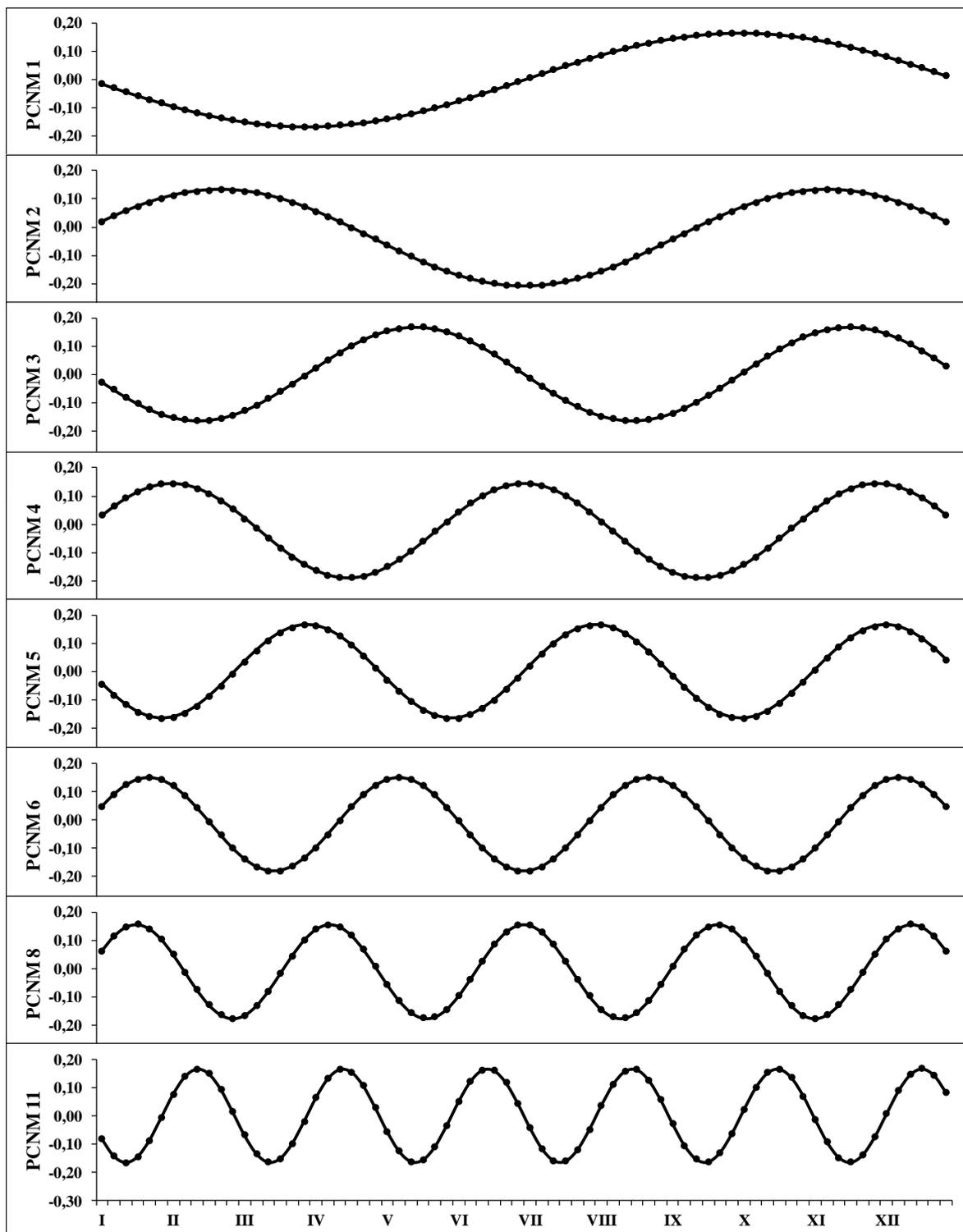
- Gubiani, É. A., Gomes, L. C., Agostinho, A. A., & Baumgartner, G. (2010). Variations in fish assemblages in a tributary of the upper Paraná River, Brazil: A comparison between pre and post-closure phases of dams. *River Research and Applications*, **26**(7), 848-865. doi-10.1002/rra.1298.
- Gubiani, É. A., Ruaro, R., Ribeiro, V. R., Eichelberger, A. C. A., Bogoni, R. F., Lira, A. D., Cavalli, D., Piana, P. A., and da Graça, W. J. (2018). Non-native fish species in Neotropical freshwaters: how did they arrive, and where did they come from?. *Hydrobiologia*, 1-13. doi.org/10.1007/s10750-018-3617-9.
- Hahn, L., English, K., Carosfeld, J., Silva, L. G. M. D., Latini, J. D., Agostinho, A. A., & Fernandez, D. R. (2007). Preliminary study on the application of radio-telemetry techniques to evaluate movements of fish in the Lateral canal at Itaipu Dam, Brazil. *Neotropical Ichthyology*, **5**(2), 103-108. doi.org/10.1590/S1679-62252007000200003.
- Hoeinghaus, D.J., Agostinho, A.A., Gomes, L.C. Pelicice, F. M., Okada, E. K., Latini, J. D., Kashiwaqui, E.A.L and Winemiller, K. O. (2009) Effects of river impoundment on ecosystem services of large tropical rivers: embodied energy and market value of artisanal fisheries. *Conservation Biology* **23**, 1222–1231. doi-10.1111/j.1523-1739.2009.01248.x.
- Júlio Jr., F., H., Tós, C. D., Agostinho, Â. A., & Pavanelli, C. S. (2009). A massive invasion of fish species after eliminating a natural barrier in the upper rio Paraná basin. *Neotropical Ichthyology*, **7**(4), 709-718. doi.org/10.1590/S1679-62252009000400021.
- Legendre, P. and Gallagher, E.D. 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia*, 129:271-280. doi-10.1007/s004420100716.
- Lira, N. A., Pompeu, P. S., Agostinho, C. S., Agostinho, A. A., Arcifa, M. S., & Pelicice, F. M. (2017). Fish passages in South America: an overview of studied facilities and research effort. *Neotropical Ichthyology*, **15**(2). doi.org/10.1590/1982-0224-20160139
- Makrakis, M. C., Miranda, L. E., Makrakis, S., Fernandez, D. R., Garcia, J. O., & Dias, J. H. P. (2007a). Movement patterns of armado, *Pterodoras granulosus*, in the Paraná River Basin. *Ecology of Freshwater Fish*, **16**(3), 410-416. doi-10.1111/j.1600-0633.2007.00238.x

- Makrakis, M. C., Miranda, L. E., Makrakis, S., Fontes Júnior, H. M., Morlis, W. G., Dias, J. H. P., & Garcia, J. O. (2012). Diversity in migratory patterns among Neotropical fishes in a highly regulated river basin. *Journal of Fish Biology*, **81**(2), 866-881. doi:10.1111/j.1095-8649.2012.03346.x.
- Makrakis, M. C., Miranda, L. E., Makrakis, S., Xavier, A. M. M., Fontes, H. M., & Morlis, W. G. (2007b). Migratory movements of pacu, *Piaractus mesopotamicus*, in the highly impounded Parana River. *Journal of Applied Ichthyology*, **23**(6), 700-704. doi-10.1111/j.1439-0426.2007.01006.x
- Makrakis, S., Miranda, L. E., Gomes, L. C., Makrakis, M. C. & Fontes-Junior, H. M. (2011). Ascent of neotropical migratory fish in the Itaipu Reservoir fish pass. *River Research and Applications* **27**, 511–519. doi-10.1002/rra.1378.
- Mirande, J.M. 2009. Weighted parsimony phylogeny of the family Characidae (Teleostei: Characiformes). *Cladistics* 25: 574–613. doi-10.1111/j.1096-0031.2009.00262.x.
- Moyle, P. B., & Marchetti, M. P. (2006). Predicting invasion success: freshwater fishes in California as a model. *AIBS Bulletin*, **56**(6), 515-524. doi-10.1641/0006-3568(2006)56[515:PISFFI]2.0.CO;2.
- Nakatani, K., Agostinho, A.A., Baumgartner, G., Bialezki, A., Sanches, P.V., Makrakis, M.C. & Pavaneli, C.S. 2001. Ovos e larvas de peixes de água doce: desenvolvimento e manual de identificação. Maringá: EDUEM.
- Nakatani, K., Latini, J. D., Baumgartner, G. and Baumgartner, M. S. T., 1993, Distribuição espacial e temporal das larvas de curvina *Plagioscion squamosissimus* (Heckel, 1840) (Osteichthyes, Sciaenidae), no reservatório de Itaipu. *Rev. UNIMAR*, 15: 191-209.
- Nelson, J.S. 2006. *Fishes of the world*, 4th edn. New York: John Wiley and Sons, 601pp.
- Nomura, H., 1984, *Dicionário dos peixes do Brasil*. Editerra, Brasília, 482p.
- Okada, E.K., Agostinho, A.A. and Gomes, L.C. (2005) Spatial and temporal gradients in artisanal fisheries of a large Neotropical reservoir, the Itaipu Reservoir, Brazil. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **62**, 714–724. doi.org/10.1139/f05-015.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Henry, M., Stevens, H., Szoecs, E.

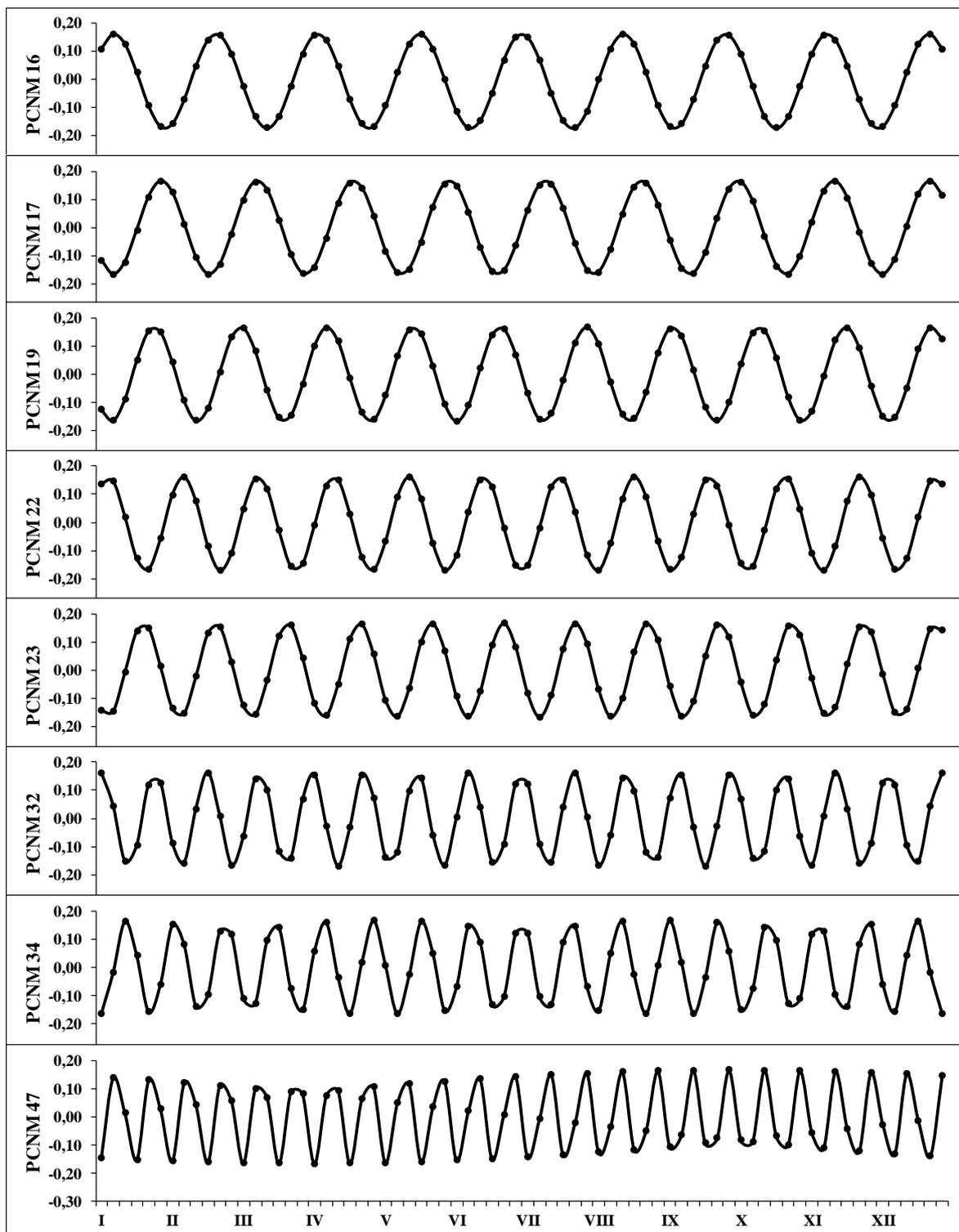
- e Wagner, H. 2016. Vegan: community ecology package. R package version 2.4-0. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Oldani N.O, Baigun C.R.M, Nestler J.M, Goodwin R.A. 2007. Is fish passage technology saving fish resources in the lower La Plata River basin? *Neotropical Ichthyology* **5**: 89–102. doi.org/10.1590/S1679-62252007000200002.
- Ota, R., R. *Peixes da Planície de Inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes*: Revised, annotated and updated. (em preparação).
- Pelicice, F. M., and Agostinho, C. S. (2012). Deficient downstream passage through fish ladders: the case of Peixe Angical Dam, Tocantins River, Brazil. *Neotropical Ichthyology*, **10(4)**, 705-713. doi.org/10.1590/S1679-62252012000400003.
- Pelicice, F., & Agostinho, A. A. (2008). Fish passage facilities as ecological traps in large neotropical rivers. *Conservation biology*, **22(1)**, 180-188. doi-10.1111/j.1523-1739.2007.00849.x.
- Pelicice, F.M., Agostinho, A.A., Pompeu, P.S., 2015. Large reservoirs as ecological barriers to downstream movements of Neotropical migratory fish. *Fish. and Fisheries*. doi:10.1111/faf.12089.
- Pompeu, P. D. S., Agostinho, A. A., & Pelicice, F. M.; 2012. Existing and future challenges: the concept of successful fish passage in South America. *River Research and Applications*, **28(4)**, 504-512. doi-org.10.1002/rra.1557.
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org>.
- Reis, R.E., Kullander, S.O. & Ferraris Jr, C.J. 2003. Check list of the freshwater fishes of South and Central America. Porto Alegre: EDIPUCRS.
- Ruesink, J. L., 2005. Global analysis of factors affecting the outcome of freshwater fish introductions. *Conservation Biology* **19**: 1883–1893. doi-10.1111/j.1523-1739.2005.00267.x-i1.
- Sanches, P.V., Nakatani, K., Bialezki, A., Baumgartner, G. & Luiz, E.A. 2006. Flow regulation dams affecting ichthyoplankton: the case of Porto Primavera Dam, Paraná River, Brazil. *River Research and Applications* **22**: 555–565. Doi-10.1002/rra.922

- Suzuki, F.M., Pires, L.V. and Pompeu, P.S. (2011) Passage of fish larvae and eggs through the Funil, Itutinga and Camargos Reservoirs on the upper Rio Grande (Minas Gerais, Brazil). *Neotropical Ichthyology* **9**, 617–622. doi.org/10.1590/S1679-62252011000300014.
- Suzuki, H. I., Pelicice, F. M., Luiz, E. A., Latini, J. D., & Agostinho, A. A. (2004). Reproductive strategies of the fish community of the Upper Paraná river floodplain. In: *Structure and functioning of the Paraná River and its floodplain: LTER-site*, 6, 125-130.
- Tanaka, S. Stock assessment by means of ichthyoplankton surveys. *FAO Fisheries Technical Paper*, v. **122**, p. 33-51. 1973
- Vasconcelos, L., P. 2017. Os empreendimentos hidrelétricos na Amazônia e os peixes migradores: barragens e reservatórios como potenciais impactantes ao sucesso reprodutivo dessas populações. Tese de Doutorado apresentada no programa de pós-graduação em Ecologia de Ambiente Aquáticos Continentais. Maringá.
- Vazzoler, A. E. A. de M. 1996. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos teoria e prática*. Maringá, Eduem, 163p.
- Vitule, J. R. S., Skóra, F., & Abilhoa, V. (2012). Homogenization of freshwater fish faunas after the elimination of a natural barrier by a dam in Neotropics. *Diversity and Distributions*, **18(2)**, 111-120. doi-10.1111/j.1472-4642.2011.00821.x.
- Zawadzki, C.H., Pavanelli, C.S. & Ferreira, H. Jr. 1996. Morphological characterization and distribution of species of the Doradidae family (Pisces-Siluriformes) from high and middle Paraná River: records and comments. *Archives of Biology and Technology* **39**: 409–417.

6. ANEXOS



Anexo 1: PCNMs retidos após a forward selection sob 999 permutações aplicada a PCNM-RDA.



Anexo 2: PCNMs retidos após a forward selection sob 999 permutações aplicada a PCNM-RDA.

Material suplementar 1

```
setwd("C:/Users/dhyeg.DESKTOP-V62P7G6/Desktop/Mestrado/Dissertação/Ilha Grande")
```

```
library(vegan)
```

```
library(packfor)
```

```
larvas<-read.csv("larvas 2.csv", header=TRUE, dec = ",", sep=";")
```

```
abioticos<-read.csv("abioticos.csv", header=TRUE, dec = ",", sep=";")
```

```
mes<-larvas[,3]
```

```
periodo<-larvas[,1]
```

```
canal<-larvas[,2]
```

```
l.geral<-larvas[,8:64]
```

```
ab<-abioticos[,2:7]
```

```
ab2<-cbind(ab,tempo,canal)
```

```
pw<-cbind(tempo,canal)
```

```
#eixo temporal
```

```
tempo<-seq(72)
```

```
#PCNM
```

```
Pcnm<-pcnm(dist(tempo))
```

```
PCNMs<-Pcnm$vector
```

```
pcnm(dist(tempo))
```

```
#transformação dos dados
```

```
larvas.hel<-decostand(l.geral,"hellinger")
```

```
rda1<-rda(larvas.hel~ Temp..água+Oxigênio.dissolvido+pH+Cond..elétrica+
  Pluviosidade+Nivel.Flumiometrico+pw+PCNMs, data = ab)
```

```
plot(rda1)#, display = "species", "bp", "sites")
```

```
summary(rda1)
```

```
#Seleção das variáveis significativas
```

```
(R2a.all<-RsquareAdj(rda1)$adj.r.squared)
```

```
(R2<-RsquareAdj(rda1)$r.squared)
#R^2 ajustado
forward.sel(larvas.hel,PCNMs, adjR2thresh = R2a.all)
forward.sel(larvas.hel,ab, adjR2thresh = R2a.all)
forward.sel(larvas.hel,pw, adjR2thresh = R2a.all)
pcnm2<-PCNMs[,c
  (23,3,1,22,6,2,5,11,47,4,8,16,32,34,19,17)]
ab4<-ab2[,c(6)]
ab5<-cbind(ab4,pw)
#Modelo final
rda2<-rda(larvas.hel~pw+pcnm2, data = ab)
summary(rda2)
anova.cca(rda2, by="axis", step=1000)

#Exportar dados para gráficos no excel
eixos<-scores(rda2, choices = c(1,2,3,4), display = "sites")
espécies<-scores(rda2, choices = c(1,2,3,4), display = "species")
biplots<-scores(rda2, choices = c(1,2,3,4), display = "bp")
eixos<-as.data.frame(eixos)
espécies<-as.data.frame(espécies)
biplots<-as.data.frame(biplots)
write.table(eixos, "eixos.csv", dec = ",", sep=";")
write.table(espécies, "espécies.csv", dec = ",", sep=";")
write.table(biplots, "biplots.csv", dec = ",", sep=";")
write.table(pcnm2, "PCNMs.csv", dec = ",", sep = ";")
```