

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE
AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS

IGOR DE PAIVA AFFONSO

Da ecologia experimental a ações para conservação de rios

Maringá
2015

IGOR DE PAIVA AFFONSO

Da ecologia experimental a ações para conservação de rios

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Ciências Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Gomes

Maringá
2015

"Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)"
(Biblioteca Setorial - UEM. Nupélia, Maringá, PR, Brasil)

A257d Affonso, Igor de Paiva, 1982-
Da ecologia experimental a ações para conservação de rios / Igor de Paiva Affonso. -
- Maringá, 2015.
46 f. : il. (algumas color.)

Tese (doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)--Universidade
Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2015.
Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Gomes.

1.Parasitismo - Interação parasito-hospedeiro. 2. Rios - Conservação. 3.Biologia da
conservação. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa
de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

CDD 23. ed. -577.857
NBR/CIP - 12899 AACR/2

IGOR DE PAIVA AFFONSO

Da ecologia experimental a ações para conservação de rios

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Luiz Carlos Gomes
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof. Dr. Rômulo Diego de Lima Behrend
UniCesumar

Dr. Ricardo Massato Takemoto
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá

Dr.^a Juliana Déo Dias
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Angelo Antônio Agostinho
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá

Aprovado em: 11 de Setembro de 2015.

Local de defesa: Anfiteatro Prof. “Keshiyu Nakatani”, Nupélia, Bloco G-90, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

Dedico este trabalho ao Theo
e a Letícia, meus maiores
amores.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Dr. Luiz Carlos Gomes pela oportunidade, confiança, apoio e por estar sempre de portas abertas (literalmente, pois a sala dele nunca está fechada) para conversas e sobre os mais variados assuntos.

Ao PEA por proporcionar convivência com excelentes pesquisadores tanto os da casa, quanto os diversos convidados, que contribuíram na minha formação através de palestras, estágios e disciplinas.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da Bolsa de Doutorado e da Bolsa do Programa de Doutorando com Estágio no Exterior (PDSE).

Ao Professor Dr. Anders Nilson e aos membros do departamento da Aquatic Ecology, Lund University, Suécia, por contribuírem para a realização deste trabalho durante os oito meses de estágio.

Aos Professores Dr. Ricardo Massato Takemoto e Angelo Antônio Agostinho. O Ricardo viabilizou a execução dos experimentos dessa tese através de conversas sobre parasitologia, comportamento e ciência. Já o Prof. Angelo foi quem sugeriu a ideia geral apresentada no primeiro artigo desta tese.

Ao meu amigo Robertson que é o principal responsável pelo resultado prático da conservação de rios das bacias do Ivaí e do Piquiri e a ele devo a oportunidade de ter escrito o segundo artigo dessa tese.

A todos os professores e pesquisadores do PEA, em especial ao Erivelto, por todas as conversas extremamente valiosas e pela amizade de sempre.

A todos os meus colegas de laboratório que sempre foram muito presentes e ajudaram a tocar o barco de uma maneira muito suave. Muito obrigado por sempre estarem presentes nem que fosse pra tomar um café no meio da tarde!

Ao meu amigo seu Ni, que nunca mediu esforços pra me ajudar em campo, e sempre fez o que pode, desde auxiliar em coletas até preparar deliciosas refeições.

Aos meus amigos e mestres de campo, com quem aprendi muito mais do que eu poderia imaginar, Tato, Valdecir, Chiquinho, Tião, Tuti, Gazo, Nego, Gaíto, Leandro e Willian.

Ao Nupélia pela infraestrutura oferecida e a todos os funcionários que sempre foram muito atenciosos comigo.

Ao Jaime por me auxiliar sempre na edição de imagens; e ao Paulo por me assessorar tão bem com as multimídias.

A Aldenir e a Jocemara por sempre me auxiliarem com todas as dúvidas burocráticas.

Ao Mané (Emanuel Cafofo), Du (Eduardo Cunha) e ao Diegão (Diego Alves) pela amizade incondicional em todos os momentos da minha caminhada acadêmica e pelas revisões e sugestões de texto.

Aos colegas Herick e Natália Lacerda pela parceria de sempre!

Ao meu amigo Martin Stålhammar por me acolher tão bem na Suécia e por me apresentar as melhores cervejas da Escandinávia!

A minha “mãe” de coração, Maria Salete pela atenção, profissionalismo e amizade, que sempre esteve de portas e braços abertos; e ao meu amigo João Fábio, também pela atenção e amizade.

Aos demais colegas do PEA/Nupélia/UEM, docentes, pescadores, técnicos e zeladoras, muito obrigada por toda ajuda.

Aos membros da minha banda: Fagner, Hugo, Fábio, Pedro e Carlos, pelos momentos de alegria, descontração e muito rock!

A minha turma de amigos desde muito antes de eu pensar em ser biólogo, os incríveis e inigualáveis “tios gordões”, pela amizade, companheirismo, compreensão, cumplicidade e risos intermináveis. Vocês são parte do que existe de melhor na minha vida!

Aos meus pais, Cida e Vicente e ao meu irmão Thales, que sempre estiveram presentes e me apoiaram incondicionalmente em todas as fases da minha vida.

A minha segunda família Ivo, Rosa, Aline, Lilian, Rafa, Júlia e Manu, por todo o carinho e companheirismo de sempre.

A Letícia por ser a esposa maravilhosa, a minha melhor amiga, a mãe exemplar e a mulher de quem eu dependo pra ser completo e feliz! Muito obrigado por estar sempre ao meu lado!

Ao Theo, que apesar de ter apenas cinco anos, é a maior amizade que eu jamais sonhei ter e o principal inspirador e motivador de todo o meu esforço. Nada me faz mais feliz do que ver você sorrir!

Da ecologia experimental a ações para conservação de rios

RESUMO

A ecologia é uma ciência ampla. O ecólogo atual deve estar atento não somente a realizar pesquisas e colaborar com o avanço da ciência, mas também a encontrar maneiras de transformar o conhecimento científico em algo que possa ser facilmente interpretado e resulte em ações que beneficiem a sociedade. Considerando esse contexto, esse trabalho aborda esses dois aspectos da ecologia, um que reporta resultados de uma pesquisa científica e outro um estudo de caso que é fruto de um extenso trabalho de conscientização ambiental. Foram estudadas interações entre parasitos de olhos de peixes e o comportamento de seus hospedeiros. Observou-se experimentalmente que parasitos oculares exercem influência acentuada sobre o comportamento anti-predador do ciclídeo *Satanoperca pappaterra* quando ocupam a região do olho que potencialmente bloqueia a entrada de luz. Os parasitos tendem a migrar para as proximidades do cristalino e da superfície do olho sob o estímulo da luz, o que coincide com o período de intenso forrageamento de aves aquáticas. Esse evento torna os hospedeiros intermediários mais expostos a predação de aves, que são seus hospedeiros definitivos. Os resultados indicam que o comportamento adaptativo do parasito manipula a resposta anti-predador de peixes e aumenta a probabilidade de completar seu ciclo de vida. Apresenta-se também, um estudo de caso de prevenção de barragens em dois importantes afluentes do rio Paraná, Brasil. Um movimento conjunto entre a cientistas de várias Universidades e o Ministério Público cujo objetivo foi conscientizar populações locais a respeito das consequências da instalação de barragens, resultou em ações eficientes na prevenção de barragens. Os resultados foram a promulgação de leis municipais que protegem determinadas áreas das bacias e a abertura de processos de tombamento de trechos do rio como patrimônio natural, o que configura proteção parcial dos rios. Essa estratégia é legalmente amparada e passível de ser aplicada em todo território brasileiro. Os resultados atendem tanto às exigências acadêmicas ao divulgar resultados científicos inovadores, quanto oferece uma ferramenta para conservação de remanescentes fluviais brasileiros de alta prioridade para conservação.

Palavras-chave: Conservação de rios. Divulgação da ciência. Experimentação. Parasitologia.

From the experimental ecology to actions for conservation of rivers

ABSTRACT

Ecology is a very broad science. The current ecologist must be attentive not only to conduct research and collaborate with the advancement of science, but also to find ways to popularize science and transform scientific knowledge into something that can be easily interpreted and potentially benefits majorities. In this way this thesis is divided into two topics, one that reports results of a scientific research and one that reports a case study that is the result of popularization of science. In the first chapter, interactions between eye-flukes and the behavior of their hosts were studied. It has been experimentally observed that eye parasites exert strong influence on the anti-predator behavior of cichlid *Satanoperca pappaterra* when occupy the region where the incoming light is potentially blocked. In addition, parasites tend to migrate to this region under light stimulation, when water birds forage intensely. Thus, this parasite behavior becomes intermediate hosts more exposed to predation of birds, the target hosts. These results suggest that the adaptive behavior of parasite manipulates the anti-predator response of fish and increases the probability of completing life cycle. The second chapter presents a case study of prevention of dams on two important tributaries of the Paraná river, Brazil. A joint action between the University and the Prosecution aimed on aware local societies about the consequences of new dams, that resulted in effective actions to prevent dams. The most significant outcome was the enactment of municipal laws that protect certain areas of the basins and the process of registration of features of rivers as heritage, which sets partial protection of the rivers. Thus, this thesis addresses both the academic requirements to disclose innovative scientific results, as provides a tool to conserve high conservation priority rivers that is liable of being applied throughout the Brazilian territory.

Keywords: Experiments. Parasitology. River conservation. Science spreading.

Tese elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica *PLoS One* (Artigo 1) e *Natureza & Conservação* (Artigo 2), disponíveis em: <http://journals.plos.org/plosbiology/s/submission-guidelines>

<http://www.naturezaeconservacao.com.br/en/guia-autores/>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	10
REFERÊNCIA.....	11
2 FOR YOUR EYES ONLY: EYE-FLUKE BEHAVIOR CAN MANIPULATE HOST ANTI-PREDATOR EFFICIENCY TO ENHANCE PARASITE LIFE- CYCLE PROGRESSION.....	12
ABSTRACT.....	13
2.1 INTRODUCTION.....	14
2.2 MATERIALS AND METHODS	16
2.3 RESULTS.....	19
2.4 DISCUSSION.....	22
REFERENCES.....	25
3 ESTRATÉGIAS REPLICÁVEIS PARA IMPEDIR A EXPANSÃO DE BARRAGENS EM RIOS BRASILEIROS DE ALTA PRIORIDADE PARA CONSERVAÇÃO.....	30
RESUMO.....	31
<i>ABSTRACT</i>	32
3.1 INTRODUÇÃO.....	33
3.2 A IMPORTÂNCIA DOS AFLUENTES LIVRES DE BARRAGENS PARA A BACIA DO RIO PARANÁ.....	34
3.3 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DO PARANÁ E AS PERDAS LOCAIS.....	35
3.4 O PAPEL DAS POPULAÇÕES LOCAIS AFETADAS POR PROJETOS DE NOVAS BARRAGENS.....	37
3.5 CONTRASSENSE ENTRE PLANOS DE CONSERVAÇÃO E PLANOS DE DESENVOLVIMENTO.....	40
3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
REFERÊNCIAS.....	42
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46

1 INTRODUÇÃO GERAL

A ecologia é uma ciência muitas vezes restrita ao ambiente acadêmico e que dificilmente atinge o público geral. Apesar da necessidade de que o conhecimento científico ecológico se torne popular, na prática isso não acontece de maneira efetiva (Sibinelli 2009). Nesse sentido, um profissional ecólogo atual deve tanto desenvolver pesquisas a fim de elucidar questões ecológicas e evolutivas, quanto se preocupar em popularizar a ciência de maneira a torna-la compreensível para os mais diversos grupos sociais e, principalmente, fazer com que essa divulgação popular seja convertida em resultados práticos a serviço das maiorias.

Dessa maneira, esta tese é dividida em dois capítulos. Um apresenta resultados de novas descobertas científicas sobre a interação entre parasitos de olhos e seus hospedeiros peixes, enquanto outro visa reportar um estudo de caso de dois importantes remanescentes fluviais livres de barragens e que se encontram parcialmente livres de barragens.

O objetivo inicial dessa tese foi investigar as interações entre metacercárias parasitas de olhos de peixe e o comportamento de seus hospedeiros. Existe grande discussão a respeito desse assunto e alguns estudos já mostraram que tais parasitos podem afetar o comportamento dos peixes de maneira a torna-los mais susceptíveis a predação (*i.e.* Seppåla et al. 2012, 2004). Quando essa estratégia de alterar o comportamento dos hospedeiros aumenta a probabilidade do parasito de completar seu ciclo de vida e resulta efetivamente em aumento do *fitness* do parasito, o comportamento incomum dos hospedeiros é considerado tanto um fenótipo estendido (Dawkins 1982) do parasito, quanto um evento de manipulação adaptativa (Poulin 1995).

Durante o desenvolver do doutoramento, o envolvimento com outras áreas da ecologia, tais como na ecologia da pesca em reservatórios (Affonso 2014) e conservação dos rios, se deu de maneira oportuna e teve resultados positivos. Desta forma, o segundo artigo não só aborda um assunto completamente diferente do primeiro, como ultrapassa as barreiras da Universidade, ao reportar um estudo de caso de ações conjuntas entre Universidades, Ministério Público e o público geral que resultaram na promulgação de leis municipais e na abertura de processos de tombamento de trechos de dois importantes afluentes do rio Paraná ainda livres de barragens. Tais ações configuram proteção a determinados trechos dos rios e os

mantém, pelo menos temporariamente, livres de barragens. Essas estratégias são replicáveis e passíveis de serem aplicadas em todo território brasileiro.

REFERÊNCIAS

Affonso IP (2014). Interacting effects of spatial gradients and fishing gears on characterization of fish assemblages in large reservoirs. 21 de Março de 2014. 31p. Exame geral de qualificação, nível – doutorado. Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ecossistemas Aquáticos Continentais, Biblioteca Setorial do Nupélia.

Dawkins R (1982) *The Extended Phenotype*. Oxford University Press, Oxford.

Poulin R (1995) “Adaptive” changes in the behavior of parasitized animals: a critical review. *International Journal of Parasitology* 25, 1371-1383.

Seppälä O, Karvonen A, Valtonen ET (2004) Parasite-induced change in host behavior and susceptibility to predation in an eye fluke–fish interaction. *Animal Behavior* 68, 257-263.

Seppälä O, Karvonen A, Valtonen ET (2012) Behavioral Mechanisms underlying ‘specific’ host manipulation by a trophically transmitted parasite. *Evolutionary Ecology Research* 14: 73-81.

Sibinelli TC (2009). 10 anos da Política Nacional de Educação Ambiental. *Revista Jus Navigandi*, 14 (2166). Disponível em: <<http://jus.com.br/artigos/12942>>

**2 FOR YOUR EYES ONLY: EYE-FLUKE BEHAVIOR CAN MANIPULATE
HOST ANTI-PREDATOR EFFICIENCY TO ENHANCE PARASITE LIFE-
CYCLE PROGRESSION**

Igor de Paiva Affonso

Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Maringá, PR, Brazil, CEP
87020-900

Corresponding author: Igor de Paiva Affonso: affonsoip@gmail.com. Phone: +55 44
30114633

ABSTRACT

Trophically transmitted parasites often manipulate behavior of intermediate hosts to enhance the probability of achieving the target hosts. Trematode eye-flukes parasitizing *Satanoperca pappaterra* (Cichlidae) provide a good example of such interaction, as they impair vision of hosts and reduce prey perception of threats. Aiming to clarify some aspects of interaction between eye-flukes and fish, we video recorded two experiments aiming to understand (i) if the occupation of parasites in different regions of the eye globe have stronger influence on the anti-predator response of fish; and (ii) if parasites are stimulated by light to move to certain zones of the eye where visual signs are more likely to be harmed. We observed that parasites have stronger influence on the anti-predator behavior of the fish when they occupy the region between the outer surface of the eye globe and the photoreceptors; and that the flukes tend to migrate to this region under light stimulus (in “dawn”). Coincidentally, water birds (the target hosts) forage intensely at the same time, what suggests that parasites becomes fish more exposed to predation. Our results suggest that the adaptive behavior of the eye-fluke *Austrodiplostomum compactum* manipulates the anti-predator behavior of fish and increases the probability of life cycle completion.

2.1 INTRODUCTION

The evolutionary arms race between parasites and their hosts can incur intriguing adaptations [1, 2]. Many parasites use serial hosts during their life cycle, and the efficient transition from one host to the next can be largely dependent on host behavior [3, 4]. For instance, if one host has to be predated by the next in order for the parasite to continue its life cycle, anti-predatory behavioral adaptation [5] in hosts can induce fitness costs to the parasite. Natural selection would therefore benefit parasites that behave so as to reduce the avoidance capability of intermediate hosts in relation to target hosts predators, and, indeed, there are empirical examples of parasite-induced changes in host anti-predator behavior that increase host risk of predation [6, 7]. Such alteration in host behavior can be understood as an extended phenotype [8] of parasites manipulating hosts [9] and should provide selective advantages by enhancing parasite transmission [10, 11].

Digenean trematodes are a large group of parasites with complex life cycles that often require two intermediate hosts before reaching their target hosts [12, 13], and several Diplostomidae eye-flukes use fish as intermediate hosts. Generally, Diplostomidae life cycle includes snails as first intermediate host, where parasites develop into free-swimming cercariae that leave the snail to penetrate the body of second intermediate fish hosts. Inside the fish, parasites develop to metacercariae that migrate to the inside of the fish eyes. The parasites are trophically transmitted to their target hosts when water birds eat infected fish [13]. Once in the fish eye, flukes can provoke cataracts [14, 15, 16], blindness [17, 18] and injure sensory organs [18], potentially deteriorating eye functions and thereby fish use of visual signals for adaptive anti-predator behavior [19, 20, 21]. Moreover, large flukes can physically disrupt light

from reaching the eye lens and photoreceptors cells, and hereby deteriorate vision without tissue damage.

The success of predator avoidance greatly depends on prey ability to accurately locate and respond to predators, and for most fish species this includes the use of visual cues for survival and predator avoidance [22, 23]. The quality of visual signals in aquatic systems is affected by water clarity [24], that can be largely affected by water color (*e.g.* humic substances) and/or suspended particles that absorb or scatter light [24, 25]. High turbidity, caused by high particle concentrations, reduces predator-avoidance efficiency in visually oriented prey fish by reducing the detection distance between prey and predator [24, 26, 27]. Low turbidity, and thereby high water clarity should, on the other hand, allow for efficient predator avoidance, as long as fish eye functions are not disturbed by parasites.

We here experimentally evaluate the effects of eye-flukes and turbidity on fish behavioral performance. We use the tropical Cichlidae *Satanoperca pappaterra* (Heckel, 1840) as a model of intermediate host parasitized by *Austrodiplostomum compactum* and *Posthodiplostomum* sp [28]. We predict that high numbers of parasites in fish eyes reduce fish anti-predator responses, that this reduction is driven by flukes situated between the outer surface and the photoreceptor cells of the fish eye, and that high water turbidity would further the negative effect of flukes on fish behavioral performance. Moreover, we experimentally evaluate parasite adaptive behavior by measuring movement and placement within the fish eye according to darkness/light conditions, under the hypothesis that “dawn” conditions, when water birds feed more frequently, induce flukes to migrate to the front of the fish eye to disturb visual signals and increase the likelihood of reaching their target hosts.

2.2 MATERIALS AND METHODS

Sampling and holding

Satanoperca pappaterra is a bottom-foraging Cichlidae of the subfamily Geophaginae, widely distributed in continental waters of Brazil [29]. According to preliminary analysis and published reports [30], *S. pappaterra* in the upper Paraná river basin, Brazil, commonly suffer high eye-flukes burdens. Individuals of *S. pappaterra* (total length: 128.1 ± 38.1 mm, mean \pm SD, n = 208) were seine netted in Pombas Lagoon ($22^{\circ}47'39''$ S, $53^{\circ}22'08''$ W), Paraná River. Following collection fish were transported to 250l flow-through tanks (20 individuals per tank) and acclimatized to laboratory light (12-12 hour day-light cycle) and temperature (air = 30° C and water = 27° C) conditions for three or one weeks prior to experiments (for experiments 1 and 2 respectively). Fish were fed commercial pellets to satiation on a daily basis.

Experiment 1 – effects of parasites and turbidity on fish anti-predator behavior

Experiments were conducted in aerated aquaria (40 x 30 x 30cm) with sand on the bottom and a branch of artificial macrophyte to provide some shelter. Treatments were assigned as clear (river water with no manipulation of turbidity, 11.1 ± 4.3 NTU,) or turbid water (turbidity increased by addition of 2.5g of clay per aquarium (0.09g/l^{-1} , 38 ± 3.9 NTU). Each treatment was replicated 32 times. The back and left sides of each aquarium were covered with black fabric to prevent visual disturbance, while the front and right sides were left open to allow for filming and predator threat simulation, respectively.

At the start of each trial, fish were placed individually in the aquaria at 7am and allowed to acclimatize for 24h before video recordings. Lights were turned on at 6am the following morning, and experiments were video recorded between 7 and 8am. Fish

activity was recorded for one minute before and one minute after the predator visual cue, provided by a model predator (stuffed heron *Egretta thula*) shown at the right side and above the aquaria. Directly after video recording, fish were instantly anesthetized with benzocaine and euthanatized by cervical dislocation. Fish eyes were then removed and parasites counted under stereomicroscope. Parasite counts were done separately according to eye areas (Fig. 1), and parasites extracted for identification to species level. The eyes were examined to find injuries or cataracts. Fish specimens used in experiments were deposited in the *Coleção Ictiológica do Nupélia, Universidade Estadual de Maringá* under voucher NUP 15862.

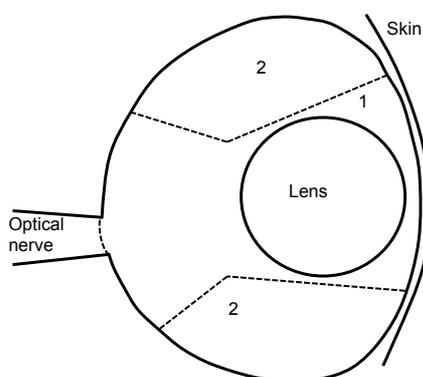


Figure 1 – Fish eye scheme showing two distinct zones in which parasites were recorded. The zones were defined as eye parts through which light has to pass uninterrupted for efficient visual information transmission (zone 1), and remaining volumes of the eye (zone 2).

Video and Statistical Analysis

Videos were analyzed to evaluate both the anti-predator behavior and the time lag for the escape response after the visual predation cue. The prevalence (given by $P = (\text{total of parasitized hosts} \times 100) / \text{total of parasites}$), mean intensity (given by $MI = \text{total of parasites} / \text{total of parasitized hosts}$) and mean abundance (MA) of parasites were calculated [31]. A logistic regression analysis [32] assessed whether the amount of

parasites per fish impacts anti-predator response (yes/no). A second analysis was made on fish that reacted within three seconds upon exposure to the predator cue. Here, time to anti-predator response was evaluated by analysis of covariance (ANCOVA, [32]) to compare the effects of amount of parasites (covariate) in zones 1 and 2 (factor) of the eyes. In order to tease apart zone-specific amounts of parasites, we used the residuals from linear regressions on numbers of parasites in zone 1 as a function of numbers of parasites in zone 2, and vice-versa, as covariate in the ANCOVA. Lastly, anti-predator response in clear and turbid water was also tested by ANCOVA with the amount of parasites present in zone 1 as covariate, once previous ANCOVA evidenced that parasites in this zone have stronger influence in the anti-predator response. All analyses were performed using R [33].

Experiment 2 – eye-fluke migration triggered by light

To assess if light triggers migration of parasites to the zone1 of the eye (zone 1), four treatments were performed. In all treatments fish were left for 12h in a dark room (60 Lux) and were randomly picked from the pool in the following morning. All fish used in the experiment were quickly euthanatized by cervical dislocation instantly before taken to the stereomicroscope, where the activity of eye flukes in both eyes of each fish were video recorded for 2 minutes under exposure to stereomicroscope light (10300 Lux). In treatment one fish were taken from the dark room and immediately exposed to stereomicroscope light at sunrise (7am). To evaluate a possible effect of the biological clock influence on metacercariae activity, in treatment two fish were kept in dark until noon (11am) and then instantly exposed to stereomicroscope light. In treatment three, fish were collected from the dark room at sunrise and left exposed to

sunlight (≈ 87000 Lux) in a transparent tank for half an hour before video recording on stereomicroscope. This procedure was repeated at noon in treatment four.

Video and statistical analysis

Videos were analyzed to investigate the activity of metacercariae inside the eye of the fish. As soon as each fish was placed under the stereomicroscope (time 0) the amounts of metacercariae in the zone 1 of each eye were counted. The counting was repeated after one minute (time 1) and after two minutes (time 2). The effects of factors 'period' (sunrise/noon), 'exposed to sunlight' (yes/no) and 'exposure to stereomicroscope light' (times 0, 1 and 2) on the amount of eye-flukes in zone 1 of the eye was evaluated by three-way ANOVA in R [33]. The fish individual identity was included as a blocking factor (random) in the statistical model (but not its correlation with other factors) in order to adjust the degrees of freedom from other factors considering the repeated fashion of time of stereomicroscope light exposure for each pair of eyes [34].

2.3 RESULTS

Experiment 1

In a total of 64 fish used in the experiment, 63 were parasitized by at least one of the two species found inside the eye globes, *Austrodiplostomun compactum* ($n=1402$, $P=98.43$, $MI=22.25$, $MA=21.90$) and *Posthodiplostomun* sp ($n=521$, $P=84.37$, $MI=9.64$, $MA=8.14$). No apparent injuries or opacity was observed. Anti-predator response and the amount of parasites in the eyes were significantly correlated (Logistic regression, $P < 0.001$, $SE = 0.018$, Fig. 2). Parasites occupation in different zones of the eye affects the anti-predator behavior in different ways (ANCOVA, $F=7.403$, $P=0.007$). The

homogeneity of slopes assumption was not reached indicating two models. The first shows that parasites in zone 1 significantly affected the anti-predator response ($r^2=0.050$, $P<0.001$, $SE=0.007$), unlike parasites in zone 2 ($r^2=0.011$, $P=0.355$, $SE=0.012$, Fig. 3a). Turbidity (Fig. 3b) did not influence anti-predator response ($F=1.943$, $P = 0.172$).

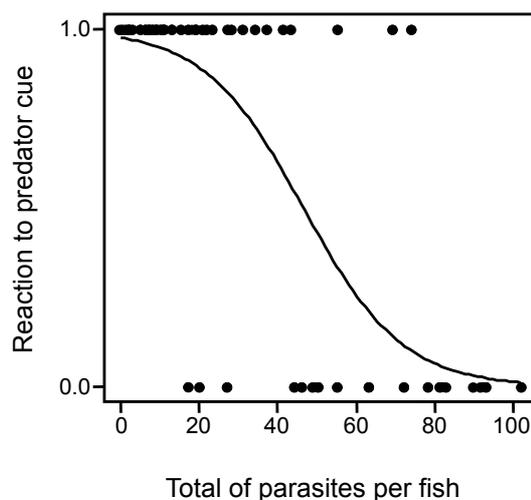


Figure 2. Scatterplot of reaction of the fish (yes/no) to predator cue versus the amount of parasite per host. A logistic regression line was added.

Experiment 2

Austrodiplostomum compactum migrates from deeper to outer regions of the fish eye when exposed to light, but circadian cycle had no effects on parasites behavior. The increased amount of parasites in zone 1 under light stimulus is evidenced by three-way ANOVA (Table 1, Fig. 4).

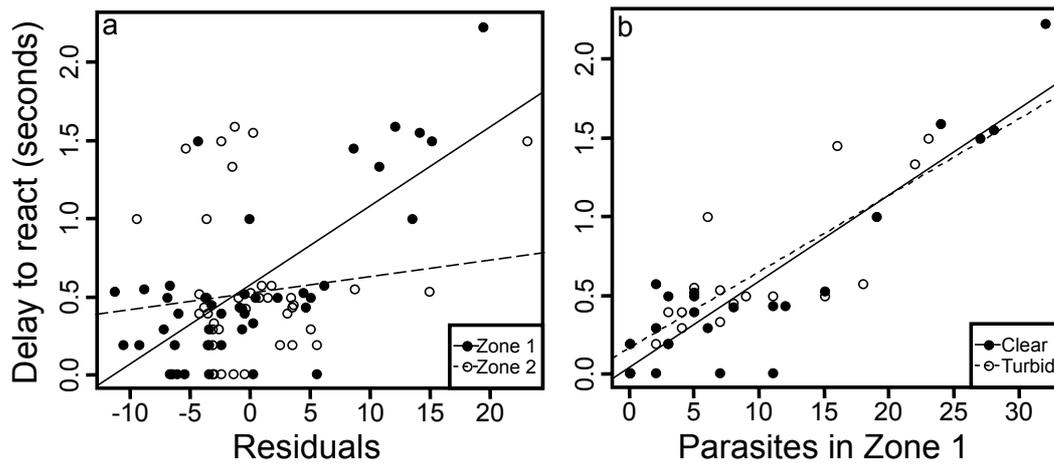


Figure 3 – Anti-predator response and (a) residuals of linear model between parasites present in zones 1 and 2 of the eye with a linear model for each zone; and (b) the total of metacercariae in zone 1 of the eyes for clear and turbid treatments with a linear model for each treatment.

Table 1. Summary of three-way ANOVA on the interactions among period of day (PD, sunrise/noon), exposure to sunlight (ESL, yes/no), time when parasites were counted (TC, 0, 1 and 2 minutes) influencing the amount of parasites in zone 1 of the fish eye.

Source of variation	d.f.	SQ	MS	F	P
PD	1	10.800	10.840	1.800	0.182
ESL	1	266.700	266.700	44.297	<0.001
TC	2	116.800	58.380	9.696	<0.001
PD×ESL	1	1.500	1.500	1.162	0.688
PD×TC	2	0.100	0.040	0.006	0.994
ESL×TC	2	107.900	53.930	8.957	<0.001
PD×ESL×TC	2	3.000	1.500	0.162	0.850

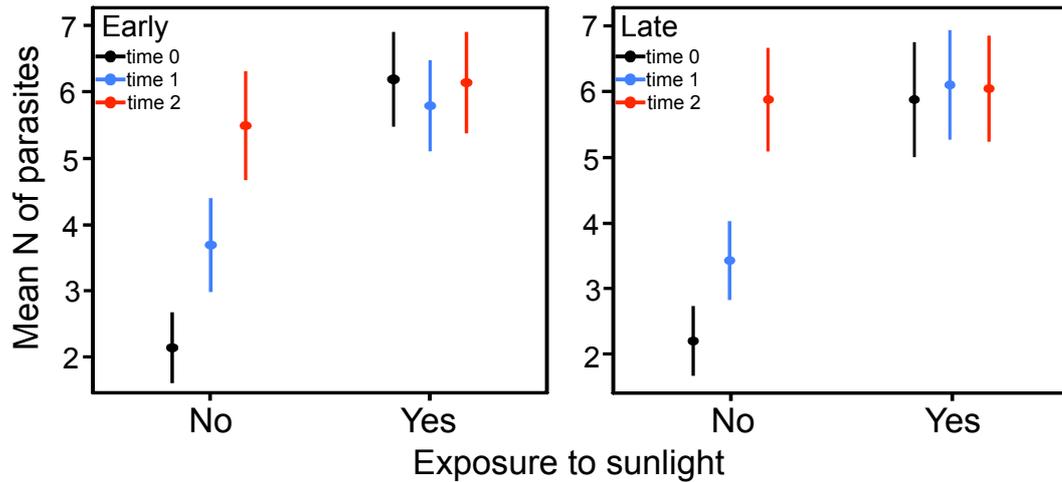


Figure 4 – Mean visible flukes in eyes (zone 1) under stereomicroscope accounted at minutes 0, 1 and 2 in early (7am) and late (11am) treatments after exposure or not to sunlight. Whiskers represent the standard error.

2.4 DISCUSSION

Our study supports the hypotheses that eye-flukes in zone 1 of the eyes decrease the anti-predator response of the fish host; and that the flukes tend to move to zone 1 in “dawn” conditions. Our results suggest that the mechanism behind the disturbance of efficient anti-predator behavior is likely to be the vision blockage caused by the presence of parasites. Consequently, is expected that by increasing the amount of eye-flukes in zone 1 becomes fish more susceptible to predation. Moreover, it is quite possible to suppose that the extended phenotype of eye-flukes (expressed in fish behavior) may as well act *i.e.* driving trophic interactions in aquatic-terrestrial foodwebs.

The fact that behavioral changes observed in our experiments appear in hosts when their consequences can be profitable for the parasite suggests they might be a product of selection [10]. Many water birds (the target hosts in this case) show intense foraging activity during the first hours after sunrise. So, if light (naturally, dawn)

triggers Diplostomidae flukes to move to a region where vision is more likely to be harmed, decreasing host anti-predator behavior and potentially exposing them to greater risk of predation, is reasonable to suggest that such parasites have evolved to manipulate host behavior [10]. This is even more strongly supported if we consider results of the eye-flukes behavior experiment.

The light-triggered eye-fluke behavior may not be apparently a complex event, but is suggested to be the factor responsible for influencing the host escapes efficiency. If fluke migration to zone 1 leads intermediate hosts to greater susceptibility to target hosts and enhances fitness benefits for parasites, this adaptation is likely to be fully manipulative. Studies have shown that manipulation enhances predation by target hosts but has no effects for non-host predators [21, 35, 36]. Our results suggest that this manipulation may be considered adaptive for parasites and it is likely to lead fish to increased susceptibility to avian predation. However, experiments addressing species-specificity manipulation hypothesis are required to elucidate this question.

The effects of the both species of parasites on the fish anti-predator behavior can be either additive or complementary [37], however it is difficult to comprehend the proportion of such effects. The fact that *A. compactum* is able to swim inside the eye and move to the zone 1 under light stimulus, provides insights that this species have stronger influence on the fish vision skills when compared with *Posthodiplostomum* sp, that was found mainly in (zone 2) and showed very restrict moving capabilities. If this is true, our observations are consistent with the hypothesis that *Posthodiplostomum* sp has lower influence on the fish behavior and it may benefit with the association with *A. compactum*. However, our data do not support such affirmation and we believe that this questions would hardly be answered unless under controlled infection experiments.

Although the results are consistent with the hypothesis that eye-flukes influence anti-predator behavior of fish, turbidity did not show effects on threat perception. However, we believe that the main reason for rejecting such hypothesis is that turbid treatment could not be as turbid as it would be necessary to limit the visual detection of a potential threat (mainly because the experiments were video taped turbidity had to be relatively low to allow precise analysis of the behavior of fish). Within this range of conditions the effect of the eye-flukes is much more deterministic than turbidity. This demonstrates that the host-parasite interaction can strongly influence trophic interactions and may exceed the resultant effect of some environmental variables.

Yet, given to the fact that water transparency has been increasing over the last decades [38] in Paraná River and that this environmental alteration may explain changes in several biotic features that rely in prey-predator dynamics and success of parasites to achieve life cycles [39], the effect of aggregation of eye-flukes on the anti-predator behavior may have an interesting link with turbidity. We suggest future studies to elucidate the role of turbidity as a determinant of aggregation of eye-flukes based on the presumption that turbidity decrease may imply that parasites have to be more abundant inside fish eyes to efficiently disturb vision and make fish more susceptible to predation.

Although decreased escape responses and increased susceptibility of prey fish to water birds have been reported as a consequence of cataracts and other secondary disorders induced by eye-flukes, the lack of apparent injuries in the eyes allows concluding that altered anti-predator behavior of *S. pappaterra* is likely to be a product of physic disturbances on light projection caused by the parasites. Beyond that, the selective pressure may have acted on parasites behaviour to trigger the move of eye-flukes to a region where vision is more effectively hampered. The ability of *A.*

compactum to induce decreased hosts anti-predator response in morning conditions, when piscivorous water birds forage intensely, may be an evolutionary adaptation of such parasite leading to increased susceptibility of fish to predators. Thus, if fish altered behaviour provide fitness benefits for parasites by increasing the probability of reaching the target hosts, the case related in this study is likely to be considered a classical example of parasites adaptively manipulating hosts.

REFERENCES

- [1] Lyon BE, Eadie JM. An obligate brood parasite trapped in the intraspecific arms race of its hosts. *Nature*. 2000; 432:390-393. doi:10.1038/nature03036.
- [2] Spottiswoode CN, Stevens M. Host-Parasite Arms Races and Rapid Changes in Bird Egg Appearance. *Am Nat*. 2012; 179: 633-648. doi:10.1086/665031.
- [3] Barber I, Hoare D, Krause J. Effects of parasites on fish behaviour: a review and evolutionary perspective. *Rev Fish Biol Fisher*. 2000; 10: 131–165.
- [4] Fox NJ, Marion G, Davidson RS, White PCL, Hutchings MR. Modelling Parasite Transmission in a Grazing System: The Importance of Host Behaviour and Immunity. *PLoS ONE*. 2013; 8: e77996. doi:10.1371/journal.pone.0077996.
- [5] Edmunds M. *Defense in animals: a survey of anti-predator defenses*. London: Longmans; 1974.
- [6] Moore, J. *Parasites and the Behavior of Animals*. New York: Oxford University Press; 2002.
- [7] Hughes DP, Brodeur J, Thomas F. *Host Manipulation by Parasites*. Oxford: Oxford University Press; 2012.

- [8] Dawkins R. The Extended Phenotype. Oxford:Oxford University Press; 1982.
- [9] Hughes D. Pathways to understanding the extended phenotype of parasites in their hosts. *J. Exp. Biol.* 2013; 216: 142-147. doi:10.1242/jeb.077461.
- [10] Poulin R. “Adaptive” changes in the behaviour of parasitized animals: a critical review. *Int. J. Parasitol.* 1995; 25: 1371-1383.
- [11] Poulin R. Parasite manipulation of host behavior: an update and frequently asked questions. *Adv. Stud. Behav.* 2010; 41: 151-186.
- [12] Cribb TH, Bray RA, Olson PD, Timothy D, Littlewood J. Life cycle evolution in the Digenea: a new perspective from phylogeny. *Adv. Parasitol.* 2003; 54: 197–254.
- [13] Rauch G, Kalbe M, Reusch TBH. How a complex life cycle can improve a parasite's sex life. *J. Evol Biol.* 2005; 18: 1069-1075. doi: 10.1111/j.1420-9101.2005.00895.x.
- [14] Karvonen A, Seppälä O, Valtonen ET. Eye fluke-induced cataract formation in fish: quantitative analysis using an ophthalmological microscope. *Parasitol.* 2004; 129: 473-478.
- [15] Voutilainen A, Figueiredo K, Huuskonen H. Effects of the eye fluke *Diplostomum spathaceum* on the energetics and feeding of Arctic charr *Salvelinus alpinus*. *J Fish Biol.* 2008; 73: 2228-2237. doi: 10.1111/j.1095-8649.2008.02050.x.
- [16] Seppälä O, Karvonen A; Valtonen ET. Eye fluke-induced cataracts in natural fish populations: is there potential for host manipulation? *Parasitol.* 2011; 138: 209-214.
- [17] Rushton W. Blindness in freshwater fish. *Nature.* 1937; 140:1014.

- [18] Shariff M, Richards RR, Sommerville C. The histopathology of acute and chronic infections of rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson with eye flukes, *Diplostomum* spp. J. Fish Dis. 1980; 3:455-465.
- [19] Seppälä O, Karvonen A, Valtonen ET. Parasite-induced change in host behavior and susceptibility to predation in an eye fluke–fish interaction. Anim Behav. 2005; 68: 257-263.
- [20] Seppälä O, Karvonen A, Valtonen ET. Shoaling behaviour of fish under parasitism and predation risk. Anim. Behav. 2008; 75:145-150.
- [21] Seppälä O, Karvonen A, Valtonen ET. Behavioural Mechanisms underlying ‘specific’ host manipulation by a trophically transmitted parasite. Evol Ecol Res. 2012; 14:73-81.
- [22] Guthrie DM, Muntz WRA. Role of vision in fish behaviour. In: Pitcher TJ, editor. Behaviour of teleost fishes. London: Chapman and Hall; 1993. pp. 89-128.
- [23] Hartman EJ, Abrahams MV. Sensory compensation and the detection of predators: the interaction between chemical and visual information. Proc R Soc Lond [Biol]. 2000; 267: 571-575.
- [24] Abrahams M, Kattenfeld M. The role of turbidity as a constraint on predator-prey interactions in aquatic environments. Behav Ecol Sociobiol. 1997; 40: 169-174.
- [25] Zamor RM, Grossman GD. Turbidity affects foraging success of drift-feeding rosyside dace. T Am Fish Soc. 2007; 136: 167-176.

- [26] Vogel JL, Beauchamp DA. Effects of light, prey size, and turbidity on reaction distances of lake trout (*Salvelinus namaycush*) to salmonid prey. *Can J Fish Aquat Sci.* 1999; 56:1293-1297.
- [27] Ranåker L, Nilsson PA, Brönmark C. Effects of degraded optical conditions on behavioural responses to alarm cues in a freshwater fish. *PLoS ONE.* 2012; 7: e38411. doi:10.1371/journal.pone.0038411.
- [28] Carvalho AR, Azevedo RK, Abdallah VD, Luque LF. Diplostomidae metacercariae (Digenea: Diplostomoidea) in *Geophagus brasiliensis* (Perciformes: Cichlidae) from Guandu river, State of Rio de Janeiro, Brazil. *Acta Sci Biol Sci.* 2012; 34: 233-239.
- [29] Cassemiro FAS, Rangel TFLVB, Pelicice FM, Hahn NS. Allometric and ontogenetic patterns related to feeding of a neotropical fish, *Satanoperca pappaterra* (Perciformes, Cichlidae). *Ecol Freshw Fish.* 2008; 17: 155–164. doi: 10.1111/j.1600-0633.2007.00270.x.
- [30] Machado PM, Takemoto RM, Pavanelli GC. *Diplostomum (Austrodiplostomum) compactum* (Lutz, 1928) (Platyhelminthes, Digenea) metacercariae in fish from the floodplain of the Upper Paraná River, Brazil. *Parasitol Res.* 2005; 97:1483. doi: 10.1007/s00436-005-1483-7.
- [31] Bush AO, Lafferty KD, Lotz JM, Shostak AW. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. revisited. *J Parasitol.* 1997; 83:575-583.
- [32] Field A, Miles J, Field Z. *Discovering statistics using R.* London: Sage; 2012.

- [33] R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>. 2013
- [34] Quinn GP, Keough MJ. Experimental Design and Data Analysis for Biologists. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- [35] Seppälä O, Karvonen A, Valtonen ET. Parasite-induced change in host behaviour and susceptibility to predation in an eye fluke–fish interaction. *Anim Behav.* 2006; 68:257-263.
- [36] Médoc V, Beisel, JN. Field evidence for non-host predator avoidance in a manipulated amphipod. *Naturwissenschaften.* 2009; 96: 513–523.
- [37] Lafferty KD, Morris AK. Altered behaviour of parasitized killifish increases susceptibility to predation by bird final hosts. *Ecol.* 1996; 77: 1390–1397.
- [38] Roberto MC, Santana NF, Thomaz SM. Limnology in the Upper Paraná River floodplain: large-scale spatial and temporal patterns, and the influence of reservoirs. *Braz J Biol.* 2009; 69: 717-725.
- [39] Karling LC, Isaac A, Affonso IO, Takemoto RM, Pavanelli GC. The impact of a dam on the helminth fauna and health of a neotropical fish species *Salminus brasiliensis* (Cuvier 1816) from the upper Paraná River, Brazil. *J Helminthol.* 2012; 87: 245-251. doi:10.1017/S0022149X1200034X.

**3 ESTRATÉGIAS REPLICÁVEIS PARA IMPEDIR A EXPANSÃO DE
BARRAGENS EM RIOS BRASILEIROS DE ALTA PRIORIDADE PARA A
CONSERVAÇÃO**

Igor de Paiva Affonso

Programa de pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PEA)
da Universidade Estadual de Maringá. Av. Colombo, 5790. Bloco G-90, Maringá, PR,
Brazil.

Palavras-chave: Ações conjuntas; bacia do Paraná; ferramentas para conservação; prevenção de barragens; remanescentes fluviais.

RESUMO

Barragens representam uma ameaça ao meio ambiente e às populações humanas que habitam as redondezas da maioria dos grandes rios em todo o mundo. No Brasil, apesar de vários impactos negativos atribuídos às barragens, governos federal e estaduais adotam a política de expansão da matriz hidrelétrica. O resultado inclui projeções de represamentos de remanescentes fluviais de extrema importância para a conservação da biodiversidade. Apresenta-se um estudo de caso de dois importantes afluentes do rio Paraná (o rio mais represado na região Neotropical), Brasil, onde ações conjuntas entre a Universidade, o Ministério Público e populações locais resultaram em ações eficientes na prevenção de barragens. Os resultados mais expressivos são a promulgação de leis municipais que protegem determinadas áreas das bacias e a abertura de processos de tombamento de trechos do rio como patrimônio natural. As estratégias apresentadas aqui para evitar barragens em remanescentes fluviais comprovadamente considerados de alta prioridade para conservação, são aplicáveis em todo território Brasileiro.

Pulling the plug: replicable strategies to preclude dam expansion in Brazilian rivers of high-priority for conservation

Key-words: Conservation tools; joint actions; Paraná basin; prevention of dams, remaining tributaries.

ABSTRACT

Dams represent a common threat to environment and surrounding societies in most of the large rivers worldwide. In Brazil, despite several known negative impacts assigned to dams, Federal and State Governments adopt the policy of expansion of the hydroelectric matrix. The outcome includes impoundments of remaining rivers that are extremely important for biodiversity conservation. We present a case study of efficient strategies that resulted in actions to prevent dams in areas of two important remaining tributaries of the Paraná River (the most dammed river in the Neotropics), Brazil. The most expressive results are the enactment of local legislation protecting areas of the basins and initiatives to indicate features of the rivers as heritages. The strategies presented here to prevent dams in remaining rivers are applicable and encouraged to be implemented throughout Brazil for rivers of high-priority for conservation.

3.1 INTRODUÇÃO

A maioria dos grandes sistemas fluviais no mundo são impactados por barragens (Nilsson et al. 2005). Quando uma barragem é instalada, são esperadas inúmeras alterações que resultam em impactos negativos ao meio ambiente (Agostinho et al. 2008a) e às populações diretamente afetadas (Rothman 2008). Sob a perspectiva ambiental, barragens modificam a paisagem da bacia e afetam criticamente as biotas aquática e terrestre (Barletta et al. 2010). Sociologicamente, barragens podem deslocar povos (McCully 1996), suprimir a cultura local (Leite & Bahia 2012), incapacitar atividades econômicas sustentáveis (Vainer 2008) e destruir patrimônio histórico (Miranda 2012) e arqueológico (Chmyz 2004).

A bacia do rio Paraná no Brasil é a mais afetada por barragens da região Neotropical, com cerca de 72% de seu potencial hidrelétrico aproveitado (Agostinho et al. 2007). Apesar dos diversos impactos negativos associados ao represamento dos rios, o Brasil ainda projeta expansão de seu sistema de energia através da construção de novas usinas hidrelétricas (EPE 2007 - Plano Nacional de Energia 2030). A possível exploração de remanescentes fluviais para construção de barragens tem gerado conflitos de interesses entre populações locais e entidades governamentais.

Dentro desse contexto, apresenta-se um estudo de caso no qual foram adotadas estratégias para evitar a construção de novas barragens em duas bacias ainda livres de barragens e que apresentam papel extremamente importante para a conservação da biodiversidade do rio Paraná. Através de extenso trabalho que se iniciou com a conscientização das populações afetadas, foram promulgadas diversas leis municipais em defesa dos rios e foram abertos processos de tombamento de trechos dos rios como patrimônio natural. Tal estratégia é legalmente amparada e encorajada a ser aplicada em

qualquer remanescente fluvial do Brasil de alta prioridade para a conservação e/ou com relevante potencial para promover ruptura social devido ao represamento.

3.2 A IMPORTÂNCIA DOS AFLUENTES LIVRES DE BARRAGENS PARA A BACIA DO RIO PARANÁ

O trecho livre de barragens do rio Paraná em território brasileiro tem cerca de 230 km de comprimento (menos que 5% do comprimento total) e inclui a planície de inundação do alto rio Paraná (PIARP), uma paisagem complexa, heterogênea e altamente biodiversa (Agostinho et al., 2000). Esta área configura o último refúgio com características fluviais disponível para as espécies de peixes e inclui proporção significativa de grande parte da fauna original dessa bacia.

A integridade ecológica da PIARP é intimamente dependente de quatro grandes afluentes ainda livres de barragens em suas calhas principais: os rios Amambaí e Ivinhema, no estado do Mato Grosso do Sul; e os rios Ivaí e Piquiri (798 km e 485 km de comprimento, respectivamente), que representam os principais afluentes da margem leste da PIARP, no Estado do Paraná, Brasil (Parolin et al. 2010, Gubiani et al., 2006, Fig. 1). Estas bacias são essenciais para a manutenção da diversidade de peixes e estoques pesqueiros, uma vez que são usadas como locais de desova para peixes migratórios que habitam o rio Paraná (Baumgartner et al., 2004, Antonio et al., 2007, Gubiani et al. 2010). Além disso, estes afluentes abrigam várias espécies ameaçadas (Agostinho et al. 2008b, ICMBio 2014), raras (Volkman-Ribeiro & Parolin 2010), endêmicas (Gubiani et al., 2006) ou ainda não descritas pela ciência (*e.g.* Dei Tos et al. 2014), revelando incompletudes taxonômicas e de distribuição geográfica (*Linnaean* e *Wallacean shortfalls*, Brown & Lomolino 1998).

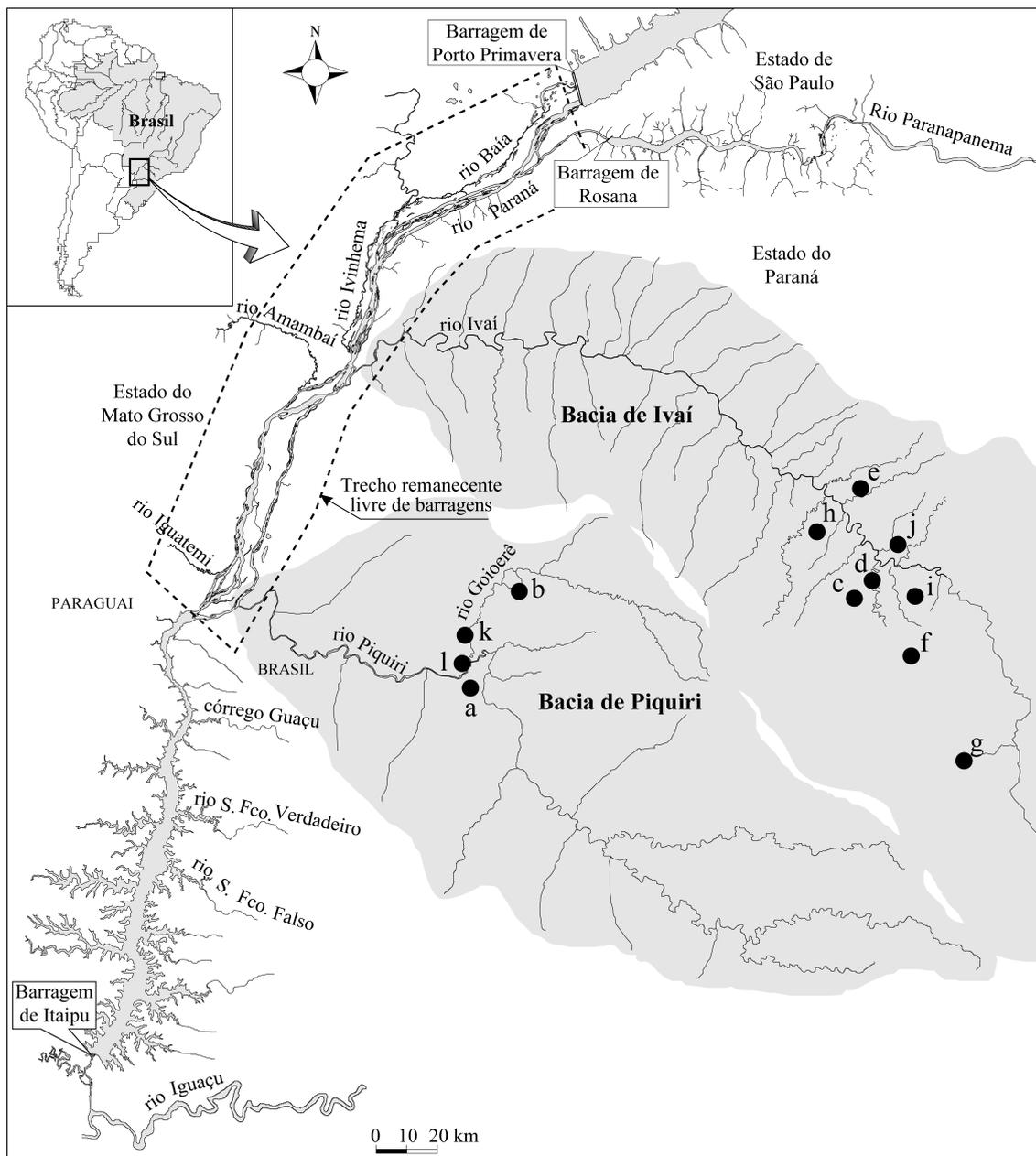


Figura 1 – Trecho livre de barragem do rio Paraná (linha tracejada) e bacias do Ivaí e Piquiri (sombreado). Letras A a J representam municípios que promulgaram Leis com o objetivo de manter os rios sem barragens. Letras K e L representam processos de tombamento como patrimônio histórico e turístico de trechos dos rios. a = Formosa do Oeste; b = Mariluz; c = Barbosa Ferraz; d = Fênix; e = Itambé; f = Lidianópolis; g = Manoel Ribas; h = Quinta do Sol; i = São João do Ivaí; j = São Pedro do Ivaí. k = Salto Paiquerê; l = Recanto do Apertado.

Embora estes rios estejam atualmente livres de barragens, existem projetos para a instalação de 16 novas usinas hidrelétricas no canal principal do rio Piquiri e de várias outras nas seções superiores do rio Ivaí (EPE 2013, Plano Decenal de Expansão de Energia 2022) que ameaçam a sua integridade. A fragmentação destes rios por barragens sucessivas impediria o acesso de peixes a habitats-chave, o que afetaria negativamente a sua distribuição e reprodução, conseqüentemente as suas populações, com reflexos negativos e diretos na pesca. Além disso, o represamento desses rios representaria uma ameaça a toda a biota da PIARP, atualmente confinada em seu último trecho livre de barragens.

3.3 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DO PARANÁ E AS PERDAS LOCAIS

As usinas hidrelétricas fornecem cerca de 92% da energia produzida no estado do Paraná (IPARDES 2013). A produção total é 238% maior do que as reais necessidades de consumo e o excedente é exportado para outros estados. No entanto, o artigo 155, parágrafo primeiro, inciso X, alínea b) da Constituição Federal, proíbe a tributação de energia elétrica “exportada” entre Estados brasileiros. O problema é que para construir barragens, grandes extensões de solos são inundadas, afetando dramaticamente cadeias econômicas locais e suprimindo a receita tributária local. Portanto, novas barragens resultariam em conseqüências econômicas locais duplamente prejudiciais para o estado, tanto por não permitir retorno fiscal do produto energia gerado, quanto por ter sua atividade econômica dizimada no local inundado.

Além disso, a economia ligada à pesca artesanal na seção de fluxo livre do rio Paraná e no reservatório de Itaipu dependem de espécies de peixes que usam esses afluentes como áreas de reprodução e berçários. Assim, a privação do acesso de peixes a

estes rios pode resultar em danos à pesca e em impactos sobre os meios de subsistência de pescadores profissionais (Agostinho et al., 2004). Ademais, áreas indígenas (Mota 2013) e sítios arqueológicos (Chmyz et al. 2008, Parellada, 2013) são comuns ao longo dos rios Ivaí e Piquiri, que também apresentam várias cachoeiras, corredeiras e outras paisagens que suportam o turismo local. Portanto, a construção de barragens nessas áreas promoveria perdas locais em várias esferas.

3.4 O PAPEL DAS POPULAÇÕES LOCAIS AFETADAS POR PROJETOS DE NOVAS BARRAGENS

Apesar dos evidentes prejuízos múltiplos provocados pela construção desenfreada de barragens, tanto o governo federal quanto o atual governo do Estado do Paraná adotam a política de expansão da matriz hidrelétrica (Azevedo 2014). Em contrapartida, as populações locais que se tornaram conscientes dos potenciais perdas provocadas pelas barragens têm reagido em defesa de seus próprios interesses. A conscientização foi estimulada por uma rede de atores através de várias reuniões com público de municípios visados para instalação de novos empreendimentos hidrelétricos. Nesses encontros, especialistas em direito (em sua maioria, promotores) abordaram questões jurídicas, econômicas e políticas que envolvem a construção de barragens, enquanto cientistas trouxeram à tona informações sobre questões naturais das bacias locais.

As reuniões surtiram resultados práticos e eficientes na prevenção de novas barragens (Fig. 2), uma vez que 10 municípios promulgaram leis declarando interesse público em manter os rios livres de barragens: Barbosa Ferraz (Lei 1984/2012), Fênix (Lei 37/2012), Formosa do Oeste (Lei 784/2014), Itambé (Lei 1122/2012), Lidianópolis (Lei 622/2012), Manoel Ribas (Lei 021/2012), Mariluz (Leis 1644/2012 e 1645/2012),

Quinta do Sol (Lei 09/2012), São João do Ivaí (Lei 08/2012) e São Pedro do Ivaí (Lei 1355/2012, Fig. 1).

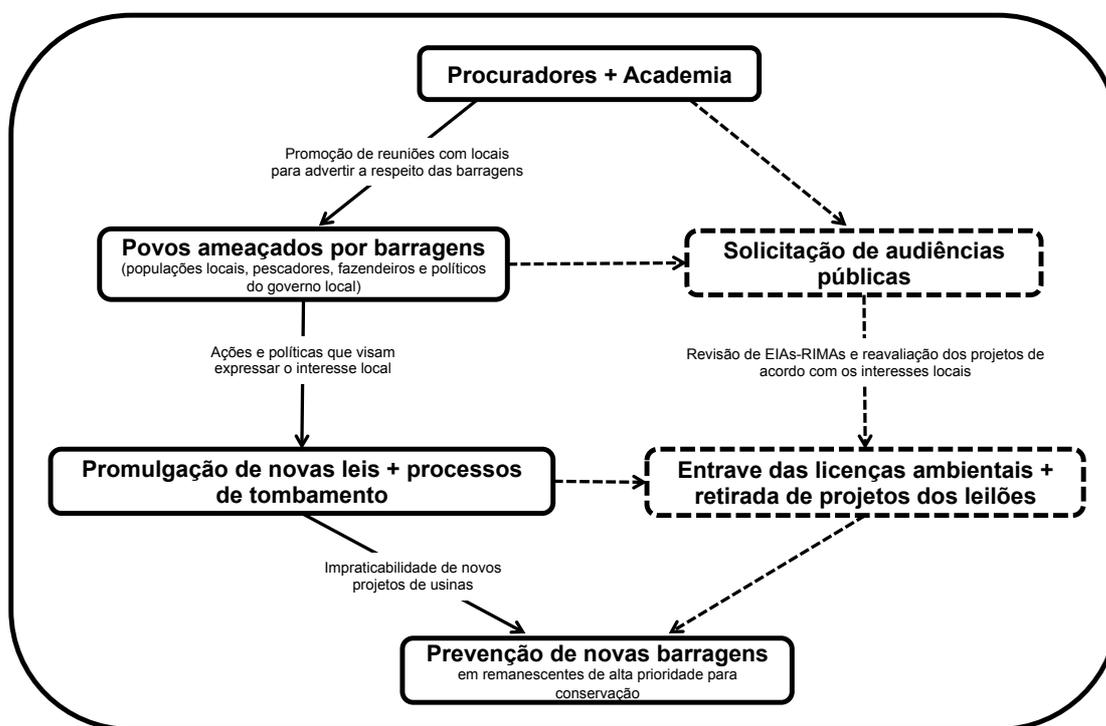


Figura 2 – Diagrama representando as ações para a prevenção de barragens nos rios de alta prioridade para a conservação e/ou com ameaça de ruptura social relevante provocada por represamentos no Brasil. A rede de interações mostra duas maneiras distintas que começam com ações conjuntas entre o Ministério Público (ou outros juristas) e a comunidade científica, que visam alertar o público geral sobre as consequências da construção de barragens. O primeiro caso (linhas sólidas) é indicada para situações em que os rios ainda não apresentam projetos de novas barragens. O segundo caso (linhas tracejadas) é indicado para situações em que os rios que têm projetos em processo de licenciamento.

Além disso, estão em andamento processos de tombamento de patrimônio histórico e turístico do Salto Paiquerê (uma cachoeira no rio Goioerê) e do Recanto do Apertado (uma área com corredeiras no rio Piquiri). Tais iniciativas foram propostas pela Associação de Defesa do Meio Ambiente de Umuarama (ADEMA) e pela

Fundação de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Vale do Piquiri (FADCT), respectivamente. Processos de tombamento constituem uma estratégia eficaz para proporcionar proteção (pelo menos provisória) e tempo para investir em outras ações para preservar os rios, pois durante o julgamento do processo, que pode levar anos, qualquer empreendimento potencialmente gerador de impactos negativos é totalmente proibido (artigo 10, parágrafo único do Decreto-Lei nº 25 de 30 de novembro de 1937).

Tanto as promulgações de leis quanto os processos de tombamento são estratégias legalmente viáveis. O artigo 18, *caput*, da Constituição Federal de 1988 determina que a União, os Estados e os Municípios são autônomos. Por outro lado, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 237/97, artigo 10.º, § 1º), afirma que, para a emissão de uma licença ambiental, é necessário ter a aprovação formal do governo local. Legalmente, as articulações destas disposições munem municípios de poder para proteger seus próprios interesses, que nesse caso é a integridade dos rios.

Até o momento, devido aos esforços dos diferentes atores em questão neste estudo de caso, três projetos de barragens em processo de licenciamento foram obstados. O primeiro foi o da PCH Água Limpa (rio Goioerê), que não obteve a Licença Prévia emitida pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP) devido, tanto à promulgação da Lei 1644/2012 em Mariluz, quanto ao processo de tombamento do Salto Paiquerê como patrimônio histórico e turístico. Além disso, devido às exigências de complementação dos Estudos de Impacto Ambiental apresentado em audiências públicas, a promulgação da Lei 1645/2012 em Mariluz e Lei 784/2014 em Formosa do Oeste, e ao processo de tombamento do Recando do Apertado, os projetos das UHEs de Ercilândia e Apertados (rio Piquiri), não receberam as Licenças Prévias e, portanto, foram excluídos dos leilões

programados para novembro de 2014 e abril 2015 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica).

3.5 CONTRASSENDO ENTRE PLANOS DE CONSERVAÇÃO E PLANOS DE DESENVOLVIMENTO

Em alguns casos, mesmo quando as agências governamentais indicam áreas de alta prioridade para a conservação, outras entidades governamentais (níveis federal e / ou estaduais) atropelam os planos de conservação com planos de "desenvolvimento". Este enorme contrassenso é explicitado quando em esfera federal, a Portaria do Ministério do Meio Ambiente (09/2007) indica a região do baixo rio Piquiri como área de alta prioridade para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade nacional e em nível estadual, a Resolução Conjunta firmada pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos e pelo Instituto Ambiental do Paraná (SEMA-IAP, nº 05, setembro de 2009), estabelece o mapeamento de áreas estratégicas para a conservação e restauração de biodiversidade do Paraná, que inclui o baixo rio Piquiri. Um enorme paradoxo reside aqui: como áreas declaradas de alta prioridade para a conservação pelos governos estadual e federal podem ainda ser considerados para instalação de usinas hidrelétricas?

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a conservação da biodiversidade remanescente do alto rio Paraná, é de suma importância que os quatro principais afluentes que ali desaguam (Amambaí, Ivaí, Piquiri e Ivinhema) permaneçam livres de barragens, pois a integridade do ecossistema local e da bacia do rio Paraná depende intimamente desses quatro afluentes.

A falta de estratégias adequadas para preservar os rios evidencia a negligência das autoridades públicas frente à proliferação desenfreada de barragens no Brasil.

Porém, nas redondezas das bacias dos rios Ivaí e Piquiri, a reação das populações locais tem sido a força motriz da criação de ações legais que visam eficientemente preservar os remanescentes fluviais livres de barragens. Finalmente, é adequado destacar que as estratégias adotadas aqui para impedir novas barragens e preservar remanescente fluviais, podem e devem ser adotadas em todo território do Brasil quando a área a ser afetada é comprovadamente de elevado interesse a conservação da biodiversidade ou apresenta risco de ruptura social.

Agradecimentos

Os autores são gratos aos diversos cientistas da Universidade Estadual de Maringá, Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão, Universidade Federal do Paraná (Campus Palotina) e Universidade Tecnológica Federal do Paraná, que se dispuseram voluntariamente a participar nas reuniões e proporcionaram excelentes encontros para a populações locais em torno dos rios Ivaí e Piquiri.

REFERÊNCIAS

- Agostinho AA, Bini LM, Gomes LC, Júlio Jr HF, Pavanelli CS & Agostinho CA, 2004. Fish Assemblage. In Thomaz SM, Agostinho AA, Hahn NS (eds.). The Upper Paraná River and its Floodplain: Physical Aspects, Ecology and Conservation. Chapter 10. Leiden, Backhuys Publishers. p.223-246.
- Agostinho AA, Gomes LC & Pelicice FM, 2007. Ecologia e Manejo de Recursos Pesqueiros em Reservatórios do Brasil. Eduem, Maringá.
- Agostinho AA, Pelicice FM & Gomes LC, 2008a. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. Brazilian Journal of Biology. 68:1119-1132.

Agostinho AA, Thomaz SM, Minte-Vera CV & Winemiller KO, 2000. Biodiversity in the high Paraná river floodplain. In Gopal B, Junk WJ & Davis JA (eds.). Biodiversity in Wetlands: assessment, function and conservation. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands v.1, p. 89–118.

Agostinho AA, Zaniboni-Filho E & Lima FCT, 2008b. *Brycon orbignyanus* (Valenciennes, 1850). In Machado ABM, Drumond GM & Paglia AP (eds.). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. Fundação Biodiversitas: Brasília - DF, MMA, 1.ed., volume II. p. 54 - 56.

Antonio RR, Agostinho AA, Pelicice FM, Bailly D, Okada EK, & Dias JHP, 2007. Blockage of migration routes by dam construction: can migratory fish find alternative routes? *Neotropical Ichthyology*, 5:177–184.

Azevedo RF, 2014. Educação ambiental de populações ameaçadas por barragens: articulação popular como estratégia de defesa dos rios e ambientes associados. In Malacarne V, Estrada AA, Bastos CCBC, Schroeder TMR (eds.). *Violência e educação: em busca de novos olhares*. Editora CRV. Curitiba, p. 193-203.

Barletta M, Jaureguizar AJ, Baigun C, Fontoura NF, Agostinho AA, Almeida-Val VMF, Val AL, Torres RA, Jimenes-Segura LF, Giarrizzo T, Fabré NN, Batista VS, Lasso C, Taphorn DC, Costa MF, Chaves PT, Vieira JP & Corrêa MFM, 2010. Fish and aquatic habitat conservation in South America: a continental overview with emphasis on neotropical systems. *Journal of Fish Biology*, 76:2118-2176.

Baumgartner G, Nakatani K, Gomes LC, Bialecki A, Sanches PV & Makrakis MC, 2004. Identification of spawning sites and natural nurseries of fishes in the upper Paraná River, Brazil. *Environmental Biology of Fishes*, 71:115–125.

- Brown JH & Lomolino MV, 1998. *Biogeography*, 2nd ed. Sinauer Press, Sunderland, Massachusetts.
- Chmys I, 2004. Monitoramento, uma abordagem complementar ao salvamento arqueológico. *Arqueologia*, Curitiba, v. 8, p. 61-76.
- Chmyz I, Sganzerla EM, Volcov JE, Bora E & Ceccon RS, 2008. A arqueologia da área da LT 750kV Ivaiporã – Itaberá III, Paraná – São Paulo. Curitiba: Centro de Estudos e Pesquisas Arqueológicas.
- Dei Tos C, Gomes LC & Rodrigues MA, 2014. Variation of the ichthyofauna along the Goioerê River: an important tributary of the Piquiri-Paraná Basin. *Iheringia Sér. Zoológica*, 104:104-112.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2007. Plano Nacional de Energia 2030.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2013. Plano Decenal de Expansão de Energia 2022.
- Gubiani EA, Gomes LC, Agostinho AA & Baumgartner G, 2010. Variations in fish assemblages in a tributary of the upper Paraná river, Brazil: a comparison between pre and postclosure phase of dams. *River Research and Application*. 26:848–865. DOI: 10.1002/rra.1298
- Gubiani EA, Holzbach AJ, Baumgartner G, Rezende-Neto LB & Bergmann F, 2006. Fish, Piquiri River, Upper Paraná River Basin, Paraná State, Brazil. *Check List* 2:9-14.
- ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2014. Portaria MMA nº 445, de 17 de dezembro de 2014.

IPARDES, 2013. Indicadores de desenvolvimento sustentável por bacias hidrográficas do estado do Paraná. Instituto Paranaense de desenvolvimento Econômico e social. Curitiba, 245p.

Leite JRM & Bahia CM, 2012. Danos extrapatrimoniais na construção de hidrelétricas. In Rezende LP & Dergam JA (eds.). Proteção da biodiversidade e construção de barragens hidrelétricas. Ed. Fiuza, São Paulo. p. 125-144.

McCully P, 1996. Silenced rivers – the ecology and politics of large dams. Zed books, London, 350p.

Miranda MPS, 2012. Análise dos impactos ao patrimônio cultural no âmbito dos estudos ambientais. In Rezende LP & Dergam JA (eds.). Proteção da biodiversidade e construção de barragens hidrelétricas. Ed. Fiuza, São Paulo. p. 269-304.

Mota LT, 2013. Os Xetá no vale do rio Ivaí 1840-1920, Eduem, Maringá-PR, 158p.

Nilsson C, Reidy CA, Dynesius M & Revenga C, 2005. Fragmentation and Flow Regulation of the World's Large River Systems. *Science*, 308, 405. DOI: 10.1126/science.1107887

Parellada CI, 2013. Arqueologia do vale do rio Piquiri, Paraná: paisagens, memórias e transformações. *Revista Memorare, UNISUL*,1:24-42.

Parolin M, Guerreiro RL, Kuerten S & Menezes HR, 2010. Bacias hidrográficas paranaenses. In Parolin M, Volkmer-Ribeiro C & Leandrini JA. Abordagem ambiental interdisciplinar em bacias hidrográficas no estado do Paraná. Ed. FECILCAM, Campo Mourão. p. 59-104.

Rothman FD, 2008. Vidas alagadas – conflitos sócio-ambientais, licenciamento e barragens. Editora UFV, 344p.

Vainer CB, 2008. Conceito de “atingido”: uma revisão do debate. In Rothman FD (ed.). Vidas alagadas – conflitos sócio-ambientais, licenciamento e barragens. Editora UFV, p. 39-63.

Volkman-Ribeiro C & Parolin M, 2010. As esponjas. In Parolin M, Volkmer-Ribeiro C & Leandrini JA (eds.). Abordagem ambiental interdisciplinar em bacias hidrográficas no estado do Paraná. Ed. FECILCAM, Campo Mourão. p. 105-130.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os produtos dessa tese contemplam tanto a pesquisa científica na área de ecologia comportamental, quanto apresentam estratégias para preservação de remanescentes fluviais com alta prioridade para conservação no Brasil.

Através de uma abordagem experimental, apresentou-se resultados a respeito da influência de parasitos de olhos sobre resposta anti-predador do peixe *S. pappaterra*. Alterações no comportamento do hospedeiro intermediário são provocadas por perturbação física de projeção da luz, que é reforçada durante o período da manhã, quando a luz estimula os parasitas a se deslocarem para a região do olho onde a visão é mais eficientemente bloqueada. Considerando que as aves aquáticas piscívoras, os hospedeiros definitivos deste diplostomídeo, forrageiam intensamente nas primeiras horas da manhã, é possível concluir que o comportamento do parasito e o consequente potencial de aumentar seu *fitness*, configuram um exemplo de manipulação adaptativa.

Sob outra perspectiva, um extenso trabalho de divulgação de ciência e conscientização ambiental, econômica e legal, resultou na promulgação de leis municipais que protegem alguns trechos dos rios Ivaí e Piquiri, dois importantes afluentes do rio Paraná ainda livres de barragens. Em vista da existência de falhas nas estratégias para preservar o meio ambiente e da negligência de autoridades públicas

frente à proliferação de barragens no Brasil, o segundo manuscrito traz à tona a importância de mobilizar e conscientizar sociedades locais para preservar remanescentes fluviais de alta prioridade para conservação, e apresenta novas estratégias como ferramentas passíveis de serem aplicadas em todo território do Brasil.