

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

LARYSSA HELENA RIBEIRO PAZIANOTO

O uso de fontes alimentares basais e sua assimilação energética como base para explicar o estabelecimento de uma espécie de peixe invasora em planície de inundação sob impacto de reservatórios

Maringá
2015

LARYSSA HELENA RIBEIRO PAZIANOTO

O uso de fontes alimentares basais e sua assimilação energética como base para explicar o estabelecimento de uma espécie de peixe invasora em planície de inundação sob impacto de reservatórios

Dissertação 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 Mestre em Ciências Ambientais.
Área de concentração: Ciências Ambientais

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Evanilde Benedito

Maringá
2015

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

| | |
|-------|--|
| P348u | <p>Pazianoto, Laryssa Helena Ribeiro, 1990- O uso de fontes alimentares basais e sua assimilação energética como base para explicar o estabelecimento de uma espécie de peixe invasora em planície de inundação sob impacto de reservatórios / Laryssa Helena Ribeiro Pazianoto. -- Maringá, 2015. 32 f. : il.</p> <p>Dissertação (mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)-- Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2015. Orientadora: Prof.^a Dr.^a Evanilde Benedito.</p> <p>1. <i>Hemiodus orthonops</i> (Characiformes: Hemiodontidae) "bananinha" - Espécie invasora - Fluxo energético - Planície de inundação - Alto rio Paraná. 2. <i>Hemiodus orthonops</i> (Characiformes: Hemiodontidae) "bananinha" - Espécie invasora - Cadeia trófica - Planície de inundação - Alto rio Paraná. 3. Ecologia energética. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais.</p> <p>CDD 23. ed. -597.481309816 NBR/CIP - 12899 AACR/2</p> |
|-------|--|

LARYSSA HELENA RIBEIRO PAZIANOTO

O uso de fontes alimentares basais e sua assimilação energética como base para explicar o estabelecimento de uma espécie de peixe invasora em planície de inundação sob impacto de reservatórios

Dissertação 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 Mestre em Ciências Ambientais pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof.^a Dr.^a Evanilde Benedito
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof.^a Dr.^a Sidineia Aparecida Amadio
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Prof.^a Dr.^a Norma Segatti Hahn
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá

Aprovada em: 20 de fevereiro de 2015.

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

Dedico este trabalho ao meu anjo Elba
Carolina (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora Evanilde Benedito pela oportunidade, amizade, compreensão, aprendizado e acima de tudo a confiança depositada, muito obrigada.

Aos meus pais por toda dedicação, amor, sabedoria infinita, compreensão, apoio e abraços apertados! O que seria da minha vida sem vocês? Essa conquista é de vocês também!

A minha irmã Thálita que de um jeito próprio sei que torce muito por mim e me acompanha nos melhores pensamentos, além de ter me dado à alegria de ser tia dos melhores sobrinhos do mundo, Iago e Luna, meus principais motivos de felicidade e de luta.

A minha irmã Elba (*in memorian*), pela eterna certeza de que está e estará sempre ao meu lado. Pela inspiração e iluminação!

Ao Maurício, muito mais que um namorado, meu melhor amigo e parceiro. Obrigada pela compreensão, amor, carinho, paciência, amizade e apoio incondicional sempre! Essa conquista é nossa e todas as outras que estão por vir também! Ao seu lado tudo é mais fácil, obrigada!

Aos queridos amigos de longa data, Vanessa, Davison e Jean. Amizade que não exige, que não desgasta. Obrigada pela torcida e apoio, pelos momentos agradáveis e de sabedoria. Vocês me inspiram, me encantam. Assim seguiremos, desde sempre e pra sempre!

A turma de mestrado PEA 2013. Agradeço por toda a companhia, diversão, aprendizado e amizade, vocês são demais!

Aos amigos da graduação, em especial Gui, Helen, Lucas, Zé, Nana, Maju, Malu e Nayra. Essa caminhada não teria sido possível sem a presença e apoio de vocês!

Aos meus companheiros do Laboratório de Ecologia Energética, em especial Xuxa, Paty, Fabinho, Bruno, Gi e Lucas, por toda amizade, alegrias e ajuda intelectual no desenvolvimento do trabalho, vocês são incríveis!

Ao Dr. Fábio Fogaça e Msc. Vivian de Melo Cionek, pelo auxílio com as análises estatísticas e discussão dos resultados, que sorte ter vocês.

A todo pessoal do Laboratório de Ecologia Trófica do Nupélia, em especial Alê, pelo auxílio com as análises estomacais, e professora Norma pelas discussões e carinho excepcional sempre, você é um exemplo.

Aos membros da banca, Dra. Norma Segatti Hahn e Dra. Sidineia Aparecida Amadio, bem como às suplentes Dra. Rosemara Fugi e Dra. Gislaïne Iachstel Manetta, pelo aceite em avaliar o trabalho e pelas valiosas sugestões.

A todos os trabalhadores do Nupélia e PEA pela presteza e dedicação. O sucesso do curso não seria possível sem vocês.

As meninas da secretaria, Jô e Aldenir, pela dedicação e presteza em nos ajudar sempre.

A Salete e João, pela competência, dedicação e excelente trabalho que desenvolvem na biblioteca.

A Harumi pela concessão de dados, presteza e dedicação sempre.

A todo pessoal envolvido nas coletas do PELD, pescadores, alunos, professores e pessoal da Base Avançada de Porto Rico, sem vocês nada disso teria sido possível, em especial Rosi, uma companhia sempre agradável, você é uma querida!

Ao Jaime pela confecção do mapa.

Ao corpo docente do PEA, pelas valiosas contribuições científicas e por auxiliarem em minha formação profissional.

Aos órgãos financiadores do projeto, PELD e a CAPES pela concessão da bolsa.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

A Deus, que permite que minha vida cruze com a de pessoas maravilhosas, que me fornece paz e sabedoria para continuar a caminhada.

O uso de fontes alimentares basais e sua assimilação energética como base para explicar o estabelecimento de uma espécie de peixe invasora em planície de inundação sob impacto de reservatórios

RESUMO

Análise de dieta, densidade energética (DE) e fator de condição relativo (Kn) foram aplicados aos dados da espécie de peixe invasora *Hemiodus orthonops*, a fim de investigar a assimilação energética e condição corporal da espécie sob diferentes condições ambientais dos três subsistemas da planície de inundação do alto rio Paraná. Foram testadas as hipóteses: 1) os diferentes recursos alimentares utilizados por *H. orthonops* entre os diferentes subsistemas são função das características físico-químicas ambientais e; 2) os maiores valores de DE e Kn são constatados nos tributários, devido ao maior grau de conservação. As coletas ocorreram em junho e setembro de 2013 e 2014, em nove ambientes. O teor de nutrientes foi obtido para o sedimento. A dieta dos espécimes foi determinada através dos itens encontrados nos estômagos e combinados no Índice Alimentar (IAi%), a DE foi obtida do músculo de cada indivíduo e expressa em Kcal/g de PS, o Kn foi calculado através de: $Kn = Wt/We$. O subsistema Baía apresentou elevada concentração de alumínio no sedimento, bem como os menores valores de pH. Detrito/sedimento predominou nos estômagos dos indivíduos do Ivinhema e Baía devido ao maior aporte de matéria orgânica a esses ambientes, enquanto Algas foi o principal item no Paraná, devido à maior transparência da água. A espécie não encontrou restrições alimentares, consumindo os itens com maior disponibilidade em cada subsistema, favorecendo seu estabelecimento. A DE e Kn dos indivíduos do Ivinhema foram maiores, reflexo da conservação deste subsistema. Menores valores de DE para os indivíduos do Paraná são resultado de maior pressão de predação, dado a transparência da água, enquanto elevados valores de Kn são consequência do consumo de algas, que fornecem nutrientes em suas formas assimiláveis. Por fim, os menores valores de DE e Kn registrados para o Baía devem-se aos baixos valores de pH, que reduzem a densidade e atividade dos microorganismos e o valor nutricional do detrito, bem como das concentrações de alumínio, que causam toxicidade, desviando a energia do crescimento somático. Conclui-se que mesmo apresentando os ambientes considerados os mais impactados, o subsistema Paraná proporciona o pleno desenvolvimento e estabelecimento da espécie. A obtenção dos recursos alimentares necessários favorece a reprodução, garantindo a contínua dispersão da mesma na planície.

Palavras-chave: Densidade energética. Fator de condição relativo. Detritivoria. Invasões biológicas. *Hemiodus orthonops*.

The use of basal food resources and their energetic assimilation as basis for explain the establishment of an invasive fish species in a floodplain under the impact of reservoirs

ABSTRACT

Diet analysis, energy density (ED) and relative condition factor (Kn) were applied to the invasive fish *Hemiodus orthonops* data in order to investigate the energetic assimilation of the species under different environmental condition of the three subsystems of the upper Paraná river floodplain. The following hypotheses were tested: 1) *H. orthonops* uses different food resources in each of the subsystems due to physicochemical differences and; 2) the highest ED and Kn are found in the tributaries, due to their higher conservation status. Samples were taken in June and September 2013 and 2014 in nine sites. Nutrient content was determined for sediment samples. The diet was determined through stomach content analysis and combined in the Food Index (IAi%), ED was obtained from each individual muscle tissue and expressed in Kcal/g of dry weight, Kn was calculated by: $Kn = Wt/We$. Subsystem Baía presented high aluminum concentration on sediment samples, as well as lower pH values. Detritus/sediment prevailed in the stomachs of specimens from Ivinhema and Baía due to higher organic matter input in these systems, while Algae was the main item in Paraná, due to higher water transparency. The species did not present feeding restrictions, consuming the available items in each subsystems, favoring its establishment. ED and Kn from Ivinhema specimens were higher, reflecting the conservation status. Lower ED were recorded for Paraná specimens because of increased predation risk due to higher water transparency. Higher Kn in this subsystem are due to algae consumption, a nutrient-rich food resource. The lower ED and Kn recorded for Baía specimens are due to lower pH that reduce the density and activity of microorganisms and the nutritional value of the detritus, besides, higher aluminum concentration are toxic and can deviate energy from somatic growth. Even though Paraná subsystem presents more negative impacts, related to dams effects, it is perfectly suitable for *H. orthonops* development and establishment. The food resources available in all subsystems favor their reproduction, assuring continuous dispersion of the species in the floodplain.

Keywords: Energetic density. Relative condition factor. Detritivory. Biological invasions.

Hemiodus orthonops.

Dissertação elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica *Environmental Biology of Fishes*. Disponível em:

<http://www.springer.com/life+sciences/ecology/journal/10641?detailsPage=pltei_206040

7>

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 | MATERIAL E MÉTODOS | 12 |
| 2.1 | ÁREA DE ESTUDO..... | 12 |
| 2.2 | AMOSTRAGEM E PROCEDIMENTO LABORATORIAL..... | 13 |
| 2.3 | ANÁLISE DE DADOS..... | 15 |
| 3 | RESULTADOS | 15 |
| 3.1 | CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL: ANÁLISE DE SEDIMENTO..... | 15 |
| 3.2 | AUTO-ECOLOGIA DA ESPÉCIE..... | 17 |
| 3.3 | DENSIDADE ENERGÉTICA (DE)..... | 19 |
| 3.4 | FATOR DE CONDIÇÃO RELATIVO (KN)..... | 19 |
| 4 | DISCUSSÃO | 20 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 24 |
| | REFERÊNCIAS | 25 |
| | ANEXO A – Resultado completo da análise de sedimento..... | 31 |

1 INTRODUÇÃO

A introdução de espécies em ambientes naturais é uma das mais graves ameaças à biodiversidade (Clavero e García-Berthou, 2005; Davis, 2009; Vitule e Prodocimo, 2012). Entre os maiores objetivos e desafios da biologia de invasões destacam-se a predição de quais ambientes são mais suscetíveis a sofrer invasões e a identificação dos fatores responsáveis pelo estabelecimento de uma espécie (Marchetti et al., 2004; Taylor e Irwin, 2004). Para a ictiofauna, o sucesso de espécies invasoras tem sido relacionado aos efeitos deletérios das atividades antrópicas (Taylor e Irwin, 2004; Leprieur et al., 2008), que promovem maior variabilidade temporal e espacial das características físico-químicas (Havel et al., 2005; Johnson et al., 2008). Estes fatores acabam por favorecer as espécies não-nativas devido a traços fisiológicos como, por exemplo, maior tolerância às variações das características físico-químicas e plasticidade dos traços de história de vida, como dieta e reprodução (Marchetti et al., 2004; Gutierrez et al., 2014; Santos et al., 2014).

Dentre os ambientes aquáticos de elevada importância ecológica, econômica e recreativa para o Sul do Brasil, destaca-se a bacia do alto rio Paraná, que figura como uma das mais afetadas por atividades antrópicas no país (Agostinho et al., 2007; Agostinho et al., 2008). Entre as principais atividades de impacto destaca-se o aumento progressivo da carga de nutrientes e de biocidas (Struyf et al., 2012), erosão e assoreamento (Holanda et al., 2005) e descarga de esgoto doméstico e industrial (Finstad et al., 2007; Fucik et al., 2014). No entanto, os diversos reservatórios construídos nas últimas décadas, cerca de 145, são apontados como a principal causa de impactos nessa região (Agostinho et al., 2007; Agostinho et al., 2008). A intensa fragmentação dos *habitats* e as alterações nas características físico-químicas causadas pelos reservatórios, apontam os mesmos como facilitadores a introdução e estabelecimento de espécies de peixes não nativas (Havel et al., 2005; Johnson et al., 2008). Desta maneira, ambientes como o rio Paraná e seus *habitats* adjacentes (lagoas e remansos) apresentam maior predisposição às invasões de espécies não nativas quando comparado a seus tributários, que não são afetados com tamanha intensidade pelos impactos citados.

Trinta e três espécies de peixes originárias do baixo rio Paraná encontram-se estabelecidas na região do alto rio Paraná (Júlio-Júnior et al., 2009), por consequência da formação do reservatório de Itaipu em 1982, que inundou o Salto de Sete Quedas, uma barreira geográfica natural que separava a ictiofauna das duas regiões. Em 2002, com o início da operação de um canal para transposição de peixes, outras espécies foram capazes de se

dispersar e atingir a região do alto rio Paraná (Júlio-Júnior et al., 2009; Vitule et al., 2012). Entre elas destaca-se *Hemiodus orthonops* Eigenmann & Kennedy, 1903, registrada pela primeira vez na região em 2008. Endêmica da bacia do Paraná-Paraguai, esta espécie apresentou rápida colonização e elevada abundância na área invadida, alcançando cerca de 10% das capturas nos seis anos subsequentes (Agostinho et al., 2015). Apesar de ser considerada uma espécie detritívora em sua área natural (Corrêa et al., 2009), o consumo de macrófitas aquáticas e a dominância de algas perifíticas em sua dieta foram constatados apenas na região em que é invasora, principalmente na calha do rio Paraná (Agostinho et al., 2015). Por sua vez, o consumo de detrito/sedimento foi evidente nos subsistemas Ivinhema e Baía, tributários do rio Paraná (Agostinho et al., 2015; Tonella, dados não publicados).

Neste sentido, a aquisição de recursos alimentares e sua consequente assimilação energética afetam diretamente as características fisiológicas dos indivíduos, podendo definir a permanência de uma espécie em determinado ambiente (Zambrano et al., 2010). Mudanças nas características ambientais podem alterar a disponibilidade dos recursos alimentares, fazendo com que as espécies modifiquem suas dietas buscando maximizar o ganho energético obtido com o alimento (MacArthur e Pianka, 1966). Dessa forma, predadores capazes de forragear mais eficientemente e otimizar sua obtenção de energia, maximizarão seu *fitness* ecológico e contribuirão com mais genes para as gerações futuras (Kahilainen e Lehtonen, 2003). Assim, compreender o uso dos recursos alimentares e a condição corporal de peixes mediante a influência das características ambientais é uma importante ferramenta de predição, que pode indicar locais suscetíveis a invasões de espécies que apresentam potencial a colonização de novos *habitats*.

Sendo assim, o objetivo do estudo foi o de investigar, por meio da dieta, densidade energética e fator de condição relativo, se as diferenças entre os subsistemas influenciam a condição corporal e a assimilação energética da espécie invasora. Para tanto, foram testadas as seguintes hipóteses: 1) os diferentes recursos alimentares utilizados por *H. orthonops* nos diferentes subsistemas são função das características físico-químicas distintas destes ambientes e; 2) os maiores valores de densidade energética e fator de condição relativo são constatados nos tributários (Ivinhema e Baía), como reflexo do maior grau de conservação destes subsistemas em relação ao Paraná. Os resultados obtidos contribuirão para o entendimento do processo de dispersão e estabelecimento de *H. orthonops* na planície de inundação do alto rio Paraná, bem como fornecerá subsídios à tomada e medidas que visem o controle de sua distribuição e seu manejo populacional.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende o trecho de planície de inundação do alto rio Paraná situado entre a barragem de Porto Primavera e o reservatório de Itaipu. Foram selecionados diferentes ambientes dos três subsistemas que compõem a planície, a saber: subsistema do rio Ivinhema (lótico) – 22°47'S; 53°32'W (lagoa Ventura, lagoa dos Patos e rio Ivinhema), subsistema do rio Baía (semi-lótico) – 22°43'S; 53°17'W (lagoa Fechada, lagoa Guaraná, e rio Baía) e subsistema do rio Paraná (lótico) – 22°45'S; 53°15'W (lagoa das Garças, ressaco do Pau Veio e rio Paraná) (Fig. 1).

Os três subsistemas apresentam diferentes características limnológicas, sendo o Paraná caracterizado pelos mais elevados valores médios de transparência da água obtidos através de disco de Secchi (3 m), enquanto o subsistema Ivinhema e Baía apresentam valores médios inferiores (0,7 m e 0,8 m respectivamente). Em relação aos nutrientes, destacam-se os baixos valores médios de fósforo total para o Paraná ($12\mu\text{g.L}^{-1}$), em contrapartida aos elevados valores médios registrados para os demais, de $39\mu\text{g.L}^{-1}$ para o subsistema Ivinhema e de $38\mu\text{g.L}^{-1}$ para o Baía (Roberto et al., 2009).

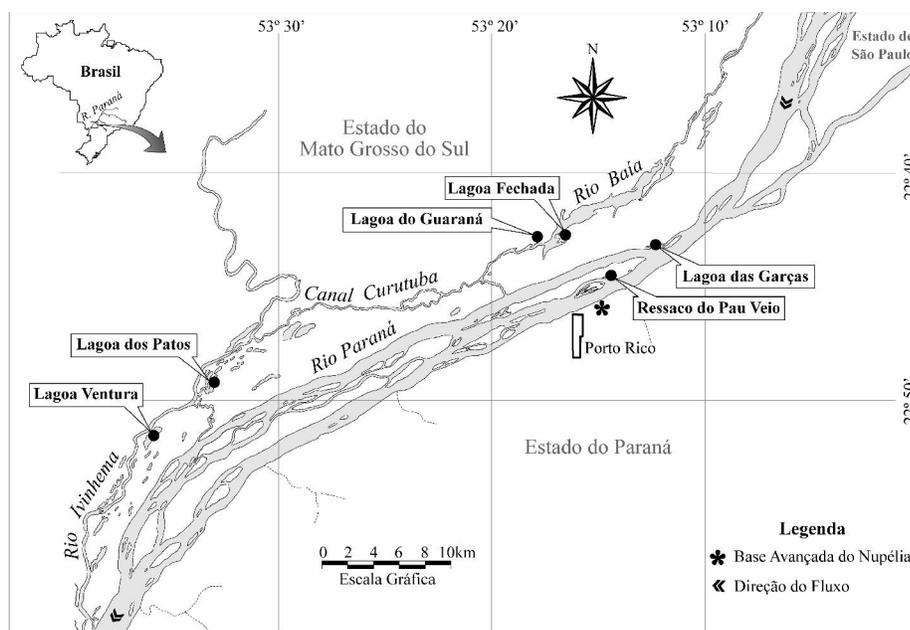


Fig. 1 Pontos de amostragem incluídas nos três subsistemas (Ivinhema, Baía e Paraná) da planície de inundação do alto rio Paraná.

2.2 AMOSTRAGEM E PROCEDIMENTO LABORATORIAL

As amostragens foram realizadas em conjunto com o Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD) *site* 6, em junho e setembro de 2013 e 2014, meses que caracterizam a época de seca na região, e assim selecionados pela facilidade de se obter um número elevado de indivíduos. Os peixes foram amostrados com o auxílio de redes de espera de malhagens entre 3 a 16 cm entre nós opostos, expostas por 24 horas, e inspecionadas a cada oito horas. Cada exemplar teve determinado seu comprimento padrão (Ls, em cm) e peso total (Wt, em g), sexo e estágio de desenvolvimento gonadal, definidos com base na terminologia proposta por Brown–Peterson et al. (2011). Para as análises de dieta, densidade energética (DE) e fator de condição relativo (Kn) foram selecionados apenas espécimes que se encontravam com gônadas no estágio “regeneração”, a fim de eliminar as variações energéticas que ocorrem durante o processo de preparação das gônadas para a reprodução (Dourado e Benedito-Cecilio, 2005; Garcia e Benedito, 2010). Exemplares testemunhos foram depositados na Coleção Ictiológica do Museu do Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura (Nupelia) da Universidade Estadual de Maringá - UEM (NUPE83000004, NUPE2008062401, NUPE2010061202, NUPE2010061202, NUPE2009120303).

Considerando o conhecido consumo de detrito por *H. orthonops* e a fim de caracterizar os ambientes quanto à qualidade do sedimento disponível, amostras de sedimento foram coletadas com auxílio de um amostrador Petersen modificado (0.0345 m²) em setembro de 2014, nas margens (esquerda e direita) e no centro de cada ambiente, totalizando 27 amostras, nove por subsistema. Após a coleta, as amostras foram armazenadas em recipientes de polietileno de 500 ml e mantidas congeladas até posterior manipulação. Em laboratório, essas amostras foram secas em estufa de ventilação forçada (48 horas, 60°C), e foram determinados os valores para as seguintes variáveis: pH, H⁺ (cmolc/dm³), matéria orgânica (g/dm³), carbono (g/dm³), P (g/dm³), Cu (g/dm³), Zn (g/dm³), Fe (g/dm³), Mn (g/dm³), Na (g/dm³), K (g/dm³), Ca (g/dm³), Mg (g/dm³) e Al (g/dm³).

Para a caracterização da dieta da espécie, procedeu-se a análise dos conteúdos estomacais em microscópio estereoscópico e os itens alimentares foram identificados até o menor nível taxonômico possível. Foram utilizados os métodos de frequência de ocorrência e frequência volumétrica (Hyslop, 1980), combinados para a determinação do Índice alimentar (Kawakami e Vazzoler, 1980):

$$IA_i = \frac{\%F * \%V}{\Sigma \%F * V}$$

onde: IA_i = Índice Alimentar; F = porcentagem do item i na dieta (%); V = volume do item i na dieta (%). As análises de conteúdo estomacal foram realizadas no Laboratório de Ecologia Trófica do Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura (Nupelia) da Universidade Estadual de Maringá (UEM). As algas encontradas nos estômagos foram identificadas separadamente, entretanto foram agrupadas nas análises para facilitar a interpretação dos resultados. Além disso, algas do grupo das Bacillariophyceae foram frequentes nos estômagos que apresentaram o item Detrito/sedimento, entretanto não foram consideradas nas análises, dada sua baixa representatividade, tanto em volume, quanto em conteúdo energético disponível para os indivíduos, por apresentarem elevada porcentagem de substâncias inorgânicas que não são assimiladas pelos peixes (Pandian e Vivekanandan, 1985; Martin-Jezequel et al., 2000).

Para as análises de DE, de cada exemplar foi extraída uma amostra de músculo da região próxima à inserção da nadadeira dorsal. Essas amostras foram limpas (retirada de pele, escama e ossos), enxaguadas em água destilada, incluídas em papel alumínio, rotuladas e congeladas. Posteriormente, foram secas em estufa de ventilação forçada (48 horas, 60°C), maceradas com o auxílio de um moinho de esferas e peneiradas, a fim de se obter um pó fino e homogêneo. A DE foi medida em quilocalorias por grama de peso seco (Kcal/g de PS) e determinada em um calorímetro adiabático (Parr 6100).

O estado nutricional dos indivíduos foi obtido por meio do Kn , que corresponde a uma medida indireta do uso das reservas energéticas pelos organismos e é amplamente utilizada e reconhecida por sua eficácia em estudos comparativos (Peig e Green, 2010). Para tanto, os valores de comprimento padrão (L_s) e peso total observado (W_t) de cada indivíduo foram ajustados a curva da relação W_t/L_s ($W_t = a * L_t^b$), para determinação dos valores dos coeficientes da regressão a e b . Em seguida, os valores de a e b foram utilizados nas estimativas dos valores de peso esperado (W_e), através da equação $W_e = a * L_t^b$. Por fim, foi então calculado o Kn , que corresponde ao quociente entre peso total observado e peso total esperado para um determinado comprimento ($Kn = W_t/W_e$) (Le Cren, 1951).

2.3 ANÁLISE DE DADOS

As diferenças na composição do sedimento entre os três subsistemas foram testadas através de uma análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA) com 4.999 permutações ($p < 0,05$), a fim de verificar possíveis diferenças nos parâmetros entre os subsistemas e caracterizar os ambientes. Em seguida, foi realizada uma análise de SIMPER, que verifica a similaridade entre os ambientes e define a contribuição individual dos fatores. Para facilitar a interpretação dos resultados do SIMPER, foram utilizadas, para explicar a separação dos ambientes, apenas as variáveis que contribuíram com aproximadamente 50% da contribuição acumulada. Para valores completos de todos os parâmetros avaliados consultar material suplementar (Anexo A).

Aos valores referentes à composição da dieta, DE e Kn também foi aplicada uma PERMANOVA com 4.999 permutações ($p < 0,05$), para verificar possíveis diferenças em relação aos três subsistemas analisados.

A composição da dieta, valores de DE e Kn dos indivíduos referentes a cada ano de coleta foram inicialmente analisados separadamente, a fim de verificar possíveis diferenças significativas entre os anos, através de uma PERMANOVA com 4.999 permutações ($p < 0,05$). Entretanto, como não foram verificadas diferenças significativas entre os diferentes anos, os valores foram agrupados e analisados em conjunto. Todas as análises foram realizadas no programa PRIMER 6[©] + PERMANOVA (Plymouth Marine Laboratory).

3 RESULTADOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL: ANÁLISE DE SEDIMENTO

A PERMANOVA aplicada à análise de sedimento permitiu evidenciar diferença significativa apenas para o sedimento de Baía x Paraná e Ivinhema x Baía, sendo Ivinhema x Paraná considerados semelhantes em relação à composição química e de matéria orgânica do sedimento (Tabela 1).

Tabela 1 Resultados da PERMANOVA para a composição química e de matéria orgânica do sedimento dos subsistemas da planície de inundação do alto rio Paraná.

| Grupos | Pseudo-F | P | Permutações únicas |
|-------------------|----------|--------|--------------------|
| Baía x Paraná | 2,179 | 0,0008 | 4856 |
| Ivinhema x Baía | 2,162 | 0,004 | 4840 |
| Ivinhema x Paraná | 1,187 | 0,212 | 4854 |

Através da análise de SIMPER foi possível verificar que, tanto o subsistema Ivinhema, quanto Paraná, diferiram do Baía devido a elevada concentração de alumínio (Al) neste último. Além disso, carbono e matéria orgânica também contribuíram para diferenciar o sedimento do subsistema Baía dos outros dois (Tabela 2).

Em relação à comparação Ivinhema x Paraná, as três variáveis que mais contribuíram na explicação dos resultados foram potássio (K), cobre (Cu) e manganês (Mn), entretanto, os valores não foram significativamente diferentes nos dois subsistemas (Tabela 2).

Tabela 2 Resultado da análise de SIMPER para a composição química e de matéria orgânica do sedimento dos três diferentes subsistemas da planície de inundação do alto rio Paraná. DMQ = distância média quadrática. %Cont. = porcentagem de contribuição individual de cada variável. %Acum. = porcentagem de contribuição acumulada das variáveis.

| Grupos | DMQ | Variável | Baía | Ivinhema | %Cont. | %Acum. |
|-----------|-------|----------|----------|----------|--------|--------|
| Bai x ivi | 32,64 | Al | 1,69 | 0 | 10,17 | 10,17 |
| | | pH | 4,76 | 5,62 | 9,88 | 20,06 |
| | | C | 42,76 | 14,57 | 9,79 | 29,84 |
| | | MO | 73,72 | 25,13 | 9,79 | 39,63 |
| | | H | 6,97 | 4,66 | 8,67 | 48,30 |
| | | P | 21,60 | 14,31 | 8,63 | 56,93 |
| Bai x par | 28,31 | | Baía | Paraná | | |
| | | Al | 1,69 | 0,43 | 11,47 | 11,47 |
| | | Zn | 18,73 | 9,43 | 10,00 | 21,47 |
| | | Cu | 6,92 | 11,98 | 9,44 | 30,92 |
| | | C | 42,76 | 22,82 | 8,78 | 39,70 |
| | | MO | 73,72 | 39,35 | 8,78 | 48,48 |
| | | K | 0,12 | 0,18 | 7,81 | 56,30 |
| | | | Ivinhema | Paraná | | |

| | | | | | | |
|-----------|-------|----|--------|--------|-------|-------|
| | | K | 0,09 | 0,18 | 11,82 | 11,82 |
| | | Cu | 6,96 | 11,98 | 10,45 | 22,26 |
| Ivi x par | 28,66 | Mn | 253,00 | 187,11 | 9,80 | 32,06 |
| | | Ca | 5,39 | 6,30 | 9,74 | 41,80 |
| | | Mg | 1,33 | 1,42 | 9,43 | 51,23 |

3.2 AUTO-ECOLOGIA DA ESPÉCIE

Foram amostrados 168 indivíduos de *H. orthonops* nos três diferentes subsistemas da planície de inundação do alto rio Paraná (Tabela 3). Desse total, os 102 estômagos que apresentaram conteúdo estomacal foram analisados (Tabela 4). Os itens alimentares que compuseram a dieta da espécie foram: Algas (Zignemaphyceae, Cyanophyceae, Oedogonophyceae e Chlorophyceae), Detrito/sedimento, Vegetal aquático superior (folhas e caules de macrófitas aquáticas), Microcrustáceo (ostracodas e cladóceros) e Outros organismos (tecameba, estatoblasto de Bryozoa, opérculo de molusco, rotífero, ovo de copépodes e dinoflagelados).

Tabela 3 Número de indivíduos de *H. orthonops* capturados na planície de inundação do alto rio Paraná nos anos 1 (06 e 09/2013) e 2 (06 e 09/2014). Cp = comprimento padrão, cm = centímetros, Pt = peso total, g = gramas, min = mínimo, max = máximo.

| Subsistemas | Ano 1 | Ano 2 | Total | Varição em | Varição |
|-------------|-------|-------|-------|----------------------|---------------------|
| | | | | comprimento | em peso |
| | | | | (Cp, cm; Min-Max) | (Pt, g; Min-Max) |
| Ivinhema | 30 | 30 | 60 | 10,2 – 29,0 | 19,6 - 439,5 |
| Baía | 29 | 29 | 58 | 12,4 – 21,5 | 30,5 - 191,6 |
| Paraná | 34 | 16 | 50 | 10,6 – 27,2 | 20,6 - 379,7 |
| TOTAL | 93 | 75 | 168 | | |

O item Detrito/sedimento predominou nos estômagos dos exemplares amostrados nos subsistemas Ivinhema e Baía, com valores de IAI = 65,4% e IAI = 50,6%, respectivamente. Algas foi o segundo item mais representativo, principalmente no subsistema Baía (IAI =

36,5%). No subsistema Ivinhema este item ocorreu em todos os estômagos analisados, entretanto em baixo volume, perfazendo IAI de 18,4%. Vegetal aquático apresentou importância semelhante para os indivíduos dos dois subsistemas (IAI Ivinhema = 15% e IAI Baía = 12,6%) (Tabela 4).

Para os indivíduos do subsistema Paraná, Algas e Detrito/Sedimento também foram os itens mais abundantes, entretanto em ordem inversa de importância (IAI = 68% e IAI = 21,4%, respectivamente). Vegetal aquático apresentou a menor contribuição entre os três subsistemas analisados (IAI = 10,6%). Os itens Microcrustáceo e Outros organismos não foram representativos na dieta de *H. orthonops*, não atingindo 1% de IAI em nenhum dos subsistemas avaliados (Tabela 4).

Tabela 4 Composição da dieta de *H. orthonops* nos diferentes subsistemas da planície de inundação do alto rio Paraná. V = volume; OC = ocorrência; IAI = Índice alimentar.

| Itens | Ivinhema (n = 27) | | | Baía (n = 52) | | | Paraná (n = 23) | | |
|-------------------|-------------------|------|------|---------------|------|------|-----------------|------|--------|
| | %V | %OC | %IAI | %V | %OC | %IAI | %V | %OC | %IAI |
| Algas | 17,8 | 100 | 18,4 | 34,2 | 98,0 | 36,5 | 65,2 | 100 | 68 |
| Detrito/Sedimento | 66 | 96,3 | 65,4 | 52,4 | 88,5 | 50,6 | 22,5 | 91,3 | 21,4 |
| Vegetal aquático | 14,6 | 100 | 15,0 | 12,8 | 90,4 | 12,6 | 12,3 | 82,6 | 10,6 |
| Microcrustáceo | 0,3 | 51,8 | 0,17 | 0,2 | 28,8 | 0,07 | 0,005 | 4,3 | 0,0002 |
| Outros organismos | 1,3 | 74 | 0,9 | 0,4 | 34,6 | 0,14 | 0,06 | 13,0 | 0,008 |

A PERMANOVA aplicada à dieta de *H. orthonops* indicou a existência de diferenças significativas entre os três subsistemas, sendo as dietas dos indivíduos de Ivinhema x Paraná as mais distintas, enquanto Baía x Paraná as mais semelhantes (Tabela 5).

Tabela 5 Resultados da PERMANOVA realizada para a dieta de *H. orthonops* entre os subsistemas da planície de inundação do alto rio Paraná.

| Grupos | Pseudo-F | P | Permutações únicas |
|-------------------|----------|--------|--------------------|
| Baía x Paraná | 1,8175 | 0,0308 | 4992 |
| Ivinhema x Baía | 2,3736 | 0,0018 | 4987 |
| Ivinhema x Paraná | 3,8623 | 0,0002 | 4988 |

3.3 DENSIDADE ENERGÉTICA (DE)

A PERMANOVA permitiu identificar distintos valores de DE entre os indivíduos nos diferentes subsistemas, separando os valores relativos aos indivíduos do subsistema Ivinhema dos demais investigados (Tabela 6). De fato, a maior média de DE foi verificada para os indivíduos amostrados no subsistema Ivinhema. Por sua vez, os indivíduos de Baía e Paraná apresentaram médias semelhantes (Tabela 7).

Tabela 6 Resultados da PERMANOVA para a densidade energética (Kcal/g de PS) de *H. orthonops* entre os subsistemas da planície de inundação do alto rio Paraná.

| Grupos | Pseudo-F | P | Permutações únicas |
|-------------------|-----------------|----------|---------------------------|
| Baía x Paraná | 1,7859 | 0,076 | 4949 |
| Ivinhema x Baía | 6,6274 | 0,0002 | 4960 |
| Ivinhema x Paraná | 4,7969 | 0,0002 | 4955 |

Tabela 7 Densidade energética (Kcal/g de PS) de *H. orthonops* para os subsistemas da planície de inundação do alto rio Paraná. PS = peso seco, DP = desvio padrão, Min = mínimo, Max = máximo.

| Subsistema | Densidade energética | |
|-------------------|--|------------------|
| | (Kcal/g de PS) (Média±DP) | Min – Max |
| Ivinhema | 4,97±0,12 | 4,84 – 5,49 |
| Baía | 4,83±0,09 | 4,59 – 4,96 |
| Paraná | 4,86±0,09 | 4,71 – 5,11 |

3.4 FATOR DE CONDIÇÃO RELATIVO (Kn)

A PERMANOVA aplicada ao Kn novamente permitiu verificar diferenças significativas entre os indivíduos dos três subsistemas avaliados (Tabela 8). Pela análise dos valores foi possível verificar que os indivíduos dos subsistemas Ivinhema e Paraná apresentaram parâmetros da relação, médias, valores mínimos e máximos semelhantes. Por outro lado, os valores relativos aos indivíduos do subsistema Baía foram menores, sendo o valor máximo de Kn menor que os valores mínimos dos outros dois subsistemas investigados (Tabela 9).

Tabela 8 Resultados da PERMANOVA para fator de condição relativo (Kn) de *H. orthonops*, para os subsistemas da planície de inundação do alto rio Paraná.

| Grupos | Pseudo-F | P | Permutações únicas |
|-------------------|----------|--------|--------------------|
| Baía x Paraná | 27,863 | 0,0002 | 4964 |
| Ivinhema x Baía | 38,743 | 0,0002 | 4950 |
| Ivinhema x Paraná | 0,3058 | 0,7588 | 4954 |

Tabela 9 Valores dos parâmetros da relação peso-comprimento e fator de condição relativo (Kn) de *H. orthonops* entre os subsistemas da planície de inundação do alto rio Paraná. a = intercepto, b = inclinação da reta, Kn = fator de condição relativo, DP = desvio padrão, Min = mínimo, Max = máximo.

| Subsistema | A | b | Kn | |
|------------|----------|---------|----------------|-----------------|
| | | | (Média±DP) | Min – Max |
| Ivinhema | -1,95870 | 3,17242 | 0,0028±0,00028 | 0,0022 - 0,0036 |
| Baía | -2,23157 | 3,41063 | 0,0011±0,00009 | 0,0009 - 0,0014 |
| Paraná | -1,94633 | 3,15484 | 0,0029±0,00040 | 0,0018 - 0,0041 |

4 DISCUSSÃO

A análise da alimentação permitiu identificar detrito/sedimento e algas filamentosas como itens predominantes na dieta de *H. orthonops*. Na bacia do rio Cuiabá, onde a mesma é nativa, Corrêa et al. (2009) categorizaram *H. orthonops* como detritívora/algívora, devido ao consumo das mesmas categorias tróficas identificadas na planície de inundação do alto rio Paraná, onde é invasora. Isso indica que a espécie não encontrou restrições quanto à alimentação, não prejudicando o seu estabelecimento.

O consumo de detrito/sedimento e algas parece ser comum para espécies de hemiodontídeos. Em estudo comparativo realizado no Lago Quatro Bocas (médio Araguaia), Poletto (2005) verificou que o consumo destes itens foi predominante para *H. unimaculatus* e *H. microlepis*. No reservatório de Balbina, no rio Uatumã (Amazonas), Silva et al. (2008) constataram que, para três das cinco espécies de *Hemiodus* avaliadas, o item detrito/sedimento foi frequente, predominando na dieta de *H. argenteus* e *H. microlepis*, além da presença de algas filamentosas no conteúdo estomacal de *H. unimaculatus*. Apesar de ser considerado um item de baixo conteúdo energético, a capacidade de manter populações estáveis através da

ingestão de detrito/sedimento parece favorecer o sucesso de peixes invasores que utilizam este recurso (Koehn, 2004; Gido e Franssen, 2007), dado ser um item raramente limitante em ecossistemas aquáticos (Welcome, 1985; Moyle e Light, 1996).

Constatou-se consumo diferenciado de itens alimentares por *H. orthonops* entre os três subsistemas avaliados. Apesar de ser considerada uma espécie detritívora/algívora em sua área natural, o consumo de macrófitas aquáticas e a dominância de algas perifíticas em parte dos estômagos dos indivíduos foi observado apenas na região em que é invasora. Atribui-se este fato a elevada transparência do subsistema Paraná se comparado aos demais, causada pela cascata de reservatórios existentes à montante do trecho amostrado, que retêm nutrientes, diminuindo a turbidez da água (Roberto et al., 2009). Essa transparência tem favorecido a colonização por macrófitas aquáticas submersas (Thomaz et al., 2009) e, conseqüentemente, o estabelecimento de algas perifíticas (Murakami et al., 2009), fato não observado em sua área natural (Agostinho et al., 2015). Estes resultados permitem validar a primeira hipótese do trabalho, uma vez que a dieta da espécie apresentou itens preferenciais diferentes entre os três subsistemas avaliados, como reflexo das distintas características ambientais, consequência do efeito dos reservatórios.

Os valores de DE registrados para os indivíduos do subsistema Ivinhema, condizem com outros trabalhos realizados na planície de inundação do alto rio Paraná, avaliando também espécies detritívoras (Pazianoto et al., 2013; Corbeta, 2013). Estes resultados são atribuídos ao grau de conservação dos ambientes do subsistema Ivinhema, tanto pela presença de áreas de preservação, como por estarem sujeitos, em menor grau, aos impactos dos represamentos relatados para o subsistema do rio Paraná (Agostinho et al., 2004). O maior grau de conservação da vegetação ripária e a manutenção da dinâmica dos processos ecossistêmicos garantem aos ambientes do subsistema Ivinhema um elevado aporte de material alóctone, bem como produção e disponibilidade de detritos orgânicos (Azevedo et al., 2008), alimento preferencial para *H. orthonops*. Entretanto, em relação à qualidade nutricional deste detrito, não foram identificadas diferenças significativas na composição química e na matéria orgânica presente nas amostras do Ivinhema e Paraná, indicando serem outros os fatores responsáveis pelos padrões constatados.

Diversos autores têm relatado os efeitos da turbidez da água sobre as interações predador-presa (Figueiredo et al., 2013; Ranâker et al., 2014; Ajemian et al., 2015). Entre os principais efeitos destaca-se a elevação das taxas de encontro em ambientes de águas claras, conduzindo diretamente ao aumento da pressão de predação (Carter et al., 2010; Figueiredo et al., 2013; Blindow et al., 2014). Dessa forma, dado a elevada transparência dos ambientes do

subsistema Paraná (Roberto et al., 2009), os organismos devem se movimentar com maior frequência em busca de refúgios, evitando dessa forma a predação. O mesmo pode não ocorrer para os ambientes dos subsistemas Ivinhema e Baía, que apresentam águas notadamente mais escuras (Roberto et al., 2009), garantindo uma proteção natural contra predadores. Além disso, a obtenção e manipulação do alimento é um fator importante (MacArthur e Pianka, 1966). Embora detrito/sedimento seja um item com menor conteúdo energético e nutricional e com maior tempo de digestão (Bowen, 1987; Gimenes et al. 2004; Faria e Benedito 2011), sua disponibilidade e facilidade de obtenção em ambientes aquáticos (Welcome, 1985) permite que os peixes gastem pouco tempo e energia corporal, tanto na procura, quanto na manipulação. A ingestão de algas perifíticas, por sua vez, requer que os indivíduos invistam mais tempo em sua procura, pois devem se deslocar entre diferentes bancos de macrófita e também em sua manipulação e ingestão, uma vez que estas algas devem ser raspadas do substrato. Estes resultados estão de acordo com a teoria do forrageamento ótimo (MacArthur e Pianka, 1966), que prediz que o forrageamento deve otimizar a obtenção de energia, ou seja, o recurso mais energético será aquele que apresentar a maior energia líquida, descontados os gastos com a busca e a manipulação (Townsend e Winfield, 1985). Assim, o efeito da transparência da água e da obtenção do alimento, em conjunto, parece afetar negativamente a DE da espécie nos ambientes do subsistema Paraná, reduzindo seus valores em comparação com o Ivinhema.

Considerando que a energia adquirida a partir do alimento consumido é investida nos processos vitais dos organismos, como por exemplo, o crescimento corporal, esperava-se uma relação proporcional e positiva entre DE e K_n , não apenas para o subsistema Ivinhema, mas também para o Paraná. Apesar dos reduzidos valores de DE constatado para os indivíduos do subsistema Paraná, o K_n dos mesmos atingiu valores comparáveis aos do subsistema Ivinhema, onde os indivíduos apresentaram os maiores valores de DE. Este resultado pode ser consequência do consumo de algas, pois apesar de ser necessário maior investimento em sua obtenção, algas representam um recurso que fornece nutrientes e elementos em suas formas assimiláveis, como nitrogênio, por exemplo, e que influenciam diretamente o crescimento corporal (Bowen, 1987; Clark et al., 1990).

De acordo com a segunda hipótese do trabalho era esperado que os indivíduos do subsistema Baía, assim como o Ivinhema, também apresentassem maiores valores de DE e K_n , considerando seu grau de conservação, quando comparado com o Paraná (Agostinho et al., 2004). Entretanto, evidenciou-se o inverso, com o Baía apresentando os menores valores, tanto de DE, como de K_n . Quando observados os dados da análise de sedimento é possível

verificar que, em relação aos valores de pH, o sedimento dos ambientes do Baía são os mais ácidos entre os três subsistemas avaliados. Este reduzido valor de pH pode ser responsável pelos menores valores de DE e Kn encontrados, a medida que influencia o valor nutricional do detrito consumido e, conseqüentemente, a dinâmica energética dos peixes.

Sabe-se que o hábito detritívoro impõe limitações nutricionais aos peixes, devido principalmente, aos baixos níveis protéicos deste recurso (Pandian e Vivekanandan, 1985; Bowen, 1987; Gimenes et al., 2004; Faria e Benedito 2011). Assim, a principal fonte protéica para essas espécies são os microrganismos aderidos ao detrito, que apresentam elevado conteúdo de proteínas (Goldman e Kimmel, 1978; Bowen, 1987), além de auxiliarem na digestão, pela liberação de seus conteúdos citoplasmáticos pós-morte (Pandian, 1975). Entretanto, em relação ao pH, os microrganismos de forma geral apresentam um ótimo de sobrevivência em torno de 5,5 a 8 (Dickinson e Murphy, 1998), e valores de pH ácidos, como os verificados no subsistema Baía podem induzir à quelação, que reduz drasticamente a disponibilidade de nutrientes no ambiente (Dickinson e Murphy, 1998). Além disso, reduzem a densidade e atividade decompositora destes organismos, deplecionando, conseqüentemente, o valor energético e nutricional do detrito ao qual estariam aderidos. Esta redução nas taxas de decomposição é responsável ainda pelo elevado acúmulo de matéria orgânica verificada para o subsistema Baía, afetando diretamente a ciclagem de nutrientes desses ambientes (Thomaz et al., 2001).

Ainda em relação aos resultados da análise de nutrientes do sedimento do subsistema Baía, destaca-se os elevados valores verificados para o elemento alumínio, em comparação com os subsistemas Ivinhema e Paraná. Segundo Souza Filho e Stevaux (2000) a ocorrência deste elemento é tida como natural para os ambientes da planície, devido ao tipo de solo presente na região. Entretanto, características específicas dos ambientes do subsistema Baía como, por exemplo, valores reduzidos de oxigênio dissolvido, acúmulo de matéria orgânica e presença de substâncias húmicas em altas concentrações (Roberto et al., 2009) reduzem o pH da água e do sedimento. Esta redução libera conseqüentemente mais alumínio, resultado das reações químicas envolvidas, além de potencializarem os efeitos tóxicos do elemento (Gensemer e Playle, 1999; Teien et al., 2007). Dessa forma, apesar de não existirem valores de referência para o alumínio em solos e sedimentos na legislação brasileira, é necessária cautela quando constatada sua presença em ambientes aquáticos, dado os efeitos negativos que este elemento pode causar para os organismos.

Entre os efeitos a curto prazo destacam-se o aumento no consumo de oxigênio, disfunções sobre a regulação iônica e osmótica (Tam, 1987) e sobre a atividade de diversas

enzimas (Buckler, 1995) e hormônios (Waring et al., 1996; Norris et al., 2000). Efeitos crônicos, por sua vez, são representados principalmente pela diminuição de processos como crescimento e reprodução, diretamente dependentes da energia corporal disponível (Tam, 1987). Levesque et al. (2002) comentam que peixes que vivem sob exposição crônica a metais como alumínio têm dificuldades em converter a energia obtida do alimento em massa corpórea, apresentando indivíduos de tamanho e peso reduzido quando comparados com indivíduos que não vivem sob tal exposição. Desta forma, tanto os efeitos da acidez, quanto a presença do elemento alumínio nos ambientes do subsistema Baía, mostram ser os responsáveis pelos menores valores de DE e Kn verificados, bem como pelo reduzido tamanho alcançado pelos indivíduos destes ambientes em relação aos outros dois subsistemas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que mesmo apresentando os ambientes considerados os mais impactados da planície, o subsistema do rio Paraná vem proporcionando o pleno desenvolvimento e estabelecimento da espécie de peixe invasora *H. orthonops*. Apesar de apresentar baixos valores de DE muscular, a espécie possui condição corporal e amplitude de tamanho semelhante aos indivíduos dos ambientes mais conservados, indicando que a mesma não sofreu restrição alimentar no ambiente invadido. Por sua vez, a obtenção dos recursos alimentares necessários favorece a reprodução da espécie, garantindo a contínua dispersão e estabelecimento da mesma na planície. Tais informações apontam para a importância que deve ser dada aos eventos de introdução de espécies, devido à capacidade de adaptação e sobrevivência das mesmas em novos ambientes. Permitem ainda detectar outros ambientes suscetíveis a invasões e espécies que apresentam potencial à colonização de novos *habitats*, bem como a tomada de decisões e emprego de possíveis medidas de manejo. Para os ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná, medidas preventivas abordariam o maior controle de pontos de entrada relacionados com a construção de reservatórios, como o canal para passagens de peixe da usina de Itaipu, que representa uma fonte contínua de propágulos para os ambientes a montante.

REFERÊNCIAS

- Agostinho AA, Rodrigues L, Gomes LC, Thomaz SM, Miranda LE (Orgs.). (2004) Structure and functioning of the Paraná River and its floodplain LTER-site 6 (PELD sítio 6). Eduem, Maringá
- 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 (2008) Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Braz J Biol* 68:1119-1132
- Agostinho AA, Suzuki HI, Fugi R, Alves DC, Tonella LH, Espínola LA (2015) Ecological and life history traits of *Hemiodus orthonops* in the invasion process: looking for clues at home. *Hydrobiologia* 746:415-430
- Ajemian MJ, Sohel S, Mattila J (2015) Effects of turbidity and habitat complexity on antipredator behavior of three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*). *Environ Biol Fish* 98:45-55
- Azevedo JCR, Teixeira MC, Santos AM, Leandrini JA, Pagioro TA (2008) Caracterização espectroscópica da matéria orgânica dissolvida da planície de inundação do alto rio Paraná. *Oecol Bras* 12:66-77
- Blindow I, Hargeby A, Hilt S (2014) Facilitation of clear-water conditions in shallow lakes by macrophytes: differences between charophyte and angiosperm dominance. *Hydrobiologia* 737:99-110
- Bowen SH (1987) Composition and nutritional value of detritus. In: Moriart DJW, Pullin RSV (eds.) *Detritus and microbial ecology in aquaculture*. ICLARM Conference Proceedings. International Center for Living Aquatic Resource Management, Manila, Philippines, pp 192-216
- Brown-Peterson NJ, Wyanski DM, Saborido-Rei F, Macewicz BJ, Lowerre-Barbieri SK (2011) A standardized terminology for describing reproductive development in fishes. *Marine and Coastal Fisheries* 3:52–70
- Buckler DR, Cleveland L, Litle EE, Brumbaugh WG (1995) Survival, sublethal responses and tissues residues of atlantic salmon exposed to acidic pH and aluminum. *Aquat Toxicol* 31:203-216
- Carter MW, Shoup DE, Dettmers JM, Wahl DH (2010) Effects of turbidity and cover on prey selectivity of adult smallmouth bass. *T Am Fish Soc* 139:353-361

- Clark AE, Watanabe WO, Olla BL, Wicklund RI (1990) Growth, feed conversion and protein utilization of Florida red tilapia fed isocaloric diets with different protein levels in seawater pools. *Aquaculture* 88:75-85
- Clavero M, García-Berthou E (2005) Invasive species are a leading cause of animal extinctions. *Trends Ecol Evolut* 20:110
- Corbetta DF (2013) Condição corporal e densidade energética de *Prochilodus lineatus* em planície de inundação neotropical. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá
- Corrêa CE, Petry AC, Hahn NS (2009) Influência do ciclo hidrológico na dieta e estrutura trófica da ictiofauna do rio Cuiabá, Pantanal Mato-Grossense. *Iheringia Sér Zool* 99:456-463
- Davis MA (2009) *Invasion biology*. Oxford University Press, Oxford
- Dickinson G, Murphy K (1998) *Ecosystems: A functional approach*. Routledge introductions to environmental series: London
- Dourado ECS, Benedito-Cecilio E (2005) *Ecologia energética de peixes: influência de fatores abióticos e bióticos*. Eduem, Maringá
- Faria ACEA, Benedito E (2011) Quality and digestibility of food ingested by different trophic fish groups in the Upper Paraná River floodplain. *Rev Biol Trop* 59:85-101
- Figueiredo BRS, Mormul RP, Benedito E (2013) Non-additive effects of macrophyte cover and turbidity on predator-prey interactions involving an invertivorous fish and different prey types. *Hydrobiologia* 716:21-28
- Finstad AG, Einum S, Forseth T, Ugedal U (2007) Shelter availability affects behavior, size-dependent and mean growth of juvenile Atlantic salmon. *Freshwater Biol* 52: 1710-1718
- Fucik P, Novak P, Zizala D (2014) A combined statistical approach for evaluation of the effects of land use, agricultural and urban activities on stream water chemistry in small tile-drained catchments of south Bohemia, Czech Republic. *Environmental Earth Sciences* 72: 2195-2216.
- Garcia DA, Benedito E (2010) Variation in energy density of *Loricariichthys platymetopon* (Siluriformes: Loricariidae) in the upper Paraná River basin. *Neotrop Ichthyol* 8:321-327
- Gensemer RW, Playle RC (1999) The bioavailability and toxicity of aluminum in aquatic environments. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 29:315-450

- Gido KB, Franssen NR (2007) Invasion of stream fishes into low trophic. *Ecol Freshw Fish* 16:457-464
- Gimenes MF, Benedito-Cecilio E, Takeda AM, Vismara MR (2004) Availability of sedimentary organic matter for benthic fishes of the upper Paraná river floodplain. *Acta Sci Biol Sci* 26:181-187
- Goldman CR, Kimmel BL (1978) Biological processes associated with suspended sediment and detritus in lakes and reservoirs. In: Cairns JJr, Benfield EF, Webster JR (eds.) *Current Perspectives on River-Reservoir Ecosystems*. North American Benthological Society, Virginia, pp 19-44
- Gutierrez SMM, Vitule JRS, Freire CA, Prodocimo V (2014) Physiological tolls to predict invasiveness and spread via estuarine bridges: tolerance of Brazilian native and worldwide introduced freshwater fishes to increased salinity. *Mar freshwater res* 65:425-436
- Havel JE, Lee CE, Zanden MJV (2005) Do reservoirs facilitate invasions into landscapes. *BioScience* 55:518-525
- Holanda FSR, Santos LGC, Santos CM, Casado APB, Pedrotti A, Ribeiro GT (2005) Riparian vegetation affected by bank erosion in the Lower São Francisco River, Northeastern Brazil. *Rev Árvore* 29:327-336
- Hyslop EJ (1980) Stomach content analysis: a review of methods and their application. *J Fish Biol* 17:411-429
- Johnson PT, Olden JD, Vander-Zanden MJ (2008) Dam invaders: impoundments facilitate biological invasions into freshwaters. *Front Ecol Environ* 6:357-363
- Júlio-Junior HF, DeiTos C, Agostinho AA, Pavanelli CS (2009) A massive invasion of fish species after eliminating a natural barrier in the upper rio Paraná basin. *Neotrop Ichthyol* 7:709-718
- Kahilainen KE, Lehtonen H (2003) Piscivory and prey selection of four predator species in a whitefish dominated subarctic lake. *J Fish Biol* 63:59-672
- Kawakami E, Vazzoler G (1980) Método gráfico e estimativa de índice alimentar aplicado no estudo de alimentação de peixes. *Bol Inst Oceanogr* 29:205-207
- Koehn JD (2004) Carpa (*Cyprinus carpio*) as a powerful invader in Australian waterways. *Freshwater Biol* 49:882-894
- Le Cren ED (1951) The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch *Perca fluviatilis*. *J Anim Ecol* 20:201-219

- Leprieur F, Beauchard O, Blanchet S, Oberdorff T, Brosse S (2008) Fish Invasions in the World's River Systems: When Natural Processes Are Blurred by Human Activities. *PLoS Biol* 6:404-410
- Levesque HM, Moon TW, Campbell PCG, Honttela A (2002) Seasonal variation in carbohydrate and lipid metabolism of yellow perch (*Perca flavescens*) chronically exposed to metals in the field. *Aquat Toxicol* 60:257-267
- MacArthur RH, Pianka ER (1966) On optimal use of a patchy environment. *Am Nat* 100:603-609
- Marchetti MP, Light T, Moyle PB, Viers JH (2004) Fish invasions in California watersheds: testing hypotheses using landscape patterns. *Ecol Appl* 14:1507-1525
- Martin-Jezequel V, Hildebrand M, Brzezinski MA (2000) Silicon metabolism in diatoms: Implications for growth. *J Phycol* 36:831-840
- Moyle PB, Light T (1996) Biological invasions of fresh water: empirical rules and assembly theory. *Biol Conserv* 78:149-161
- Murakami EA, Bicudo DC, Rodrigues L (2009) Periphytic algae of the Garças Lake, Upper Paraná River floodplain: comparing the years 1994 and 2004. *Braz J Biol* 69:459-468
- Norris DO, Camp MC, Maldonado AT, Woodling JD (2000) Some aspects of hepatic function in feral brown trout, *Salmo trutta*, living in metal contaminated water. *Comp Biochem Physiol C* 127:71-78
- Pandian TJ (1975) Mechanism of heterotrophy. In: Kinne O (ed.) *Marine Ecology*, vol. II, *Physiological Mechanisms*, Part 1, Wiley: London, pp 61-249
- Pandian TJ, Vivekanandan E (1985) Energetics of feeding and digestion. In: Tytler P, Calow P (eds.) *Fish Energetics: New Perspectives*. Croom Helm: Australia, pp 99-124
- Pazianoto LHR, Souza MLS, Veronezzi AL, Benedito E (2013) Influência do ambiente no conteúdo calórico e na condição fisiológica de duas espécies migradoras de peixes neotropicais. *Iheringia Ser Zool* 10:206-213
- Peig J, Green AJ (2010) The paradigm of body condition a critical reappraisal of current methods based on mass and length. *Funct Ecol* 24:1323-1332
- Poleto SL (2005) Estudo comparativo da alimentação de *Anodus orinocensis*, *Hemiodus unimaculatus* e *Hemiodus microlepis* (Characiformes, Hemiodontidae) no Lago Quatro Bocas, Araguaiana-MT. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Mato Grosso

- Ranaker L, Persson J, Jönsson M, Nilsson PA, Brönmark C (2014) Piscivore-Prey Fish Interactions: Mechanisms behind Diurnal Patterns in Prey Selectivity in Brown and Clear Water. PLoS ONE 9:1-8
- Roberto MC, Santana NF, Thomaz SM (2009) Limnology in the Upper Paraná River floodplain: large-scale spatial and temporal patterns, and the influence of reservoirs. Braz J Biol 69:717-725
- Santos NCL, Medeiros TN, Rocha AAF, Dias RM, Severi W (2014) Uso de recursos alimentares por *Plagioscion squamosissimus* – piscívoro não-nativo no reservatório de sobradinho-ba, brasil. Bol Inst Pesca 40:397-408
- Silva CC, Efrem JG, Deus CP (2008) Dieta de cinco espécies de Hemiodontidae (Teleostei, Characiformes) na área de influência do reservatório de Balbina, rio Uatumã, Amazonas, Brasil. Iheringia Sér Zool 98:464-468
- Souza Filho EE, Stevaux JC (2000) O componente físico da planície alagável do alto rio Paraná. In: Agostinho AA, Thomaz SM, Nakatani K (orgs.) A Planície Alagável do Alto Rio Paraná: Estrutura e Processos Ambientais. Maringá: Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura. 520026/98-CNPq. Patrocinado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)
- Struyf E, Bal KD, Backx H, Vrebos D, Casteleyn A et al. (2010) A review of allochthonous organic matter dynamics and metabolism in streams. Journal of the North American Benthological Society 29:118-146
- Tam WH, Birket L, Makaran R, Payson PD, Whitney DK, Yu CKC (1987) Modification of carbohydrate metabolism and liver vitellogenic function in brook trout (*Salvelinus fontinalis*) by exposure to low pH. Can J Fish Aquat Sci 44:630-635
- Taylor BW, Irwin RE (2004) Linking economic activities to the distribution of exotic plants. PNAS 101:17725-17730
- Teien HC, Salbu B, Kroglund F, Heier LS, Rosseland BO (2007) The influence of colloidal material on aluminium speciation and estimated acid neutralising capacity (ANC). Appl Geochem 22:1202-1208
- Thomaz SM, Pereira G, Pagioro TA (2001) Microbial respiration and chemical composition of different sediment fractions in waterbodies of the upper Paraná river floodplain, Brazil. Rev Bras Biol 61:277-286
- Thomaz SM, Carvalho P, Padial AA, Kobayashi JT (2009) Temporal and spatial patterns of aquatic macrophyte diversity in the Upper Paraná River floodplain. Braz J Biol 69:617-625

- Townsend CR, Winfield IJ (1985) The application of optimal foraging theory to feeding behavior in fish. In: Tytler P, Calow P (eds.) *Fish Energetics: New Perspectives*. Croom Helm, Australia, pp 67-98
- Vitule JRS, Prodocimo V (2012) Introdução de espécies não nativas e invasões biológicas. *Estud Biol* 34:225-237
- Vitule JRS, 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* 18:111-120
- Waring CP, Brown JA, Collins JE, Prunet P (1996) Plasma, prolactin, cortisol and thyroid responses of brown trout (*Salmo trutta*) exposed to lethal and sublethal aluminium in acidic soft waters. *Gen Comp Endocrinol* 102:377-385
- Welcome RH (1958) *River fisheries*. Food and Agriculture Organizations of the United Nations, Rome
- Zambrano L, Valiente E, Vander-Zanden MJ (2010) Food web overlap among native axolotl (*Ambystoma mexicanum*) and two exotic fishes: carp (*Cyprinus carpio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Xochimilco, Mexico City. *Biol Invasions* 12:3061-3069

Anexo A Análise de nutrientes dos sedimentos dos subsistemas avaliados da planície de inundação do alto rio Paraná. RIVI = Rio Ivinhema, LVEN = Lagoa Ventura, LPAT = Lagoa dos Patos, RBAI = Rio Baia, LFEC = Lagoa Fechada, LGUA = Lagoa do Guaraná, RPAR = Rio Paraná, LPVE = Ressaco do Pau Veio, LGAR = Lagoa das Garças; M1 = margem esquerda, M2 = margem direita, C = centro; pH = potencial hidrogeniônico, H^+ = hidrogênio total (cmolc/dm³), MO = matéria orgânica (g/dm³), C = carbono (g/dm³), P = fósforo (g/dm³), K = potássio (g/dm³), Ca = cálcio (g/dm³), Mg = magnésio (g/dm³), Al = alumínio (g/dm³), Cu = cobre (g/dm³), Zn = zinco (g/dm³), Fe = ferro (g/dm³), Mn = manganês (g/dm³) e Na = sódio (g/dm³).

| SUBSISTEMA | AMBIENTE LOCAL | pH | H^+ | MO | C | P | K | Ca | Mg | Al | Cu | Zn | Fe | Mn | Na | |
|------------|----------------|----|-------|----|-----|-----|------|------|-----|------|------|------|------|-----|------|------|
| IVINHEMA | RIVI | M1 | 7,5 | 2 | 14 | 8,1 | 0,01 | 0,06 | 2,1 | 0,13 | 0 | 0,01 | 0,01 | 1,1 | 0,26 | 0,03 |
| | | M2 | 6,4 | 2 | 5,5 | 3,2 | 0,01 | 0,01 | 0,5 | 0,05 | 0 | 0 | 0 | 1,2 | 0,06 | 0 |
| | | C | 6,6 | 2 | 2,2 | 1,3 | 0,01 | 0,01 | 0,2 | 0,05 | 0 | 0 | 0 | 0,4 | 0,06 | 0,01 |
| | LVEN | M1 | 4,7 | 7 | 34 | 19 | 0,01 | 0,06 | 1,5 | 0,21 | 0,13 | 0,01 | 0,02 | 2 | 0,94 | 0,02 |
| | | M2 | 4 | 5 | 18 | 10 | 0,02 | 0,02 | 0,5 | 0,06 | 0,06 | 0 | 0,01 | 1,4 | 0,11 | 0,01 |
| | | C | 6,2 | 4 | 19 | 11 | 0,01 | 0,04 | 1,3 | 0,3 | 0 | 0,01 | 0,01 | 1,1 | 0,44 | 0,01 |
| | LPAT | M1 | 5 | 8 | 87 | 50 | 0,04 | 0,05 | 1,5 | 0,24 | 0,06 | 0,01 | 0,02 | 2,1 | 0,2 | 0,01 |
| | | M2 | 5,1 | 3 | 6,2 | 3,6 | 0,01 | 0,01 | 0,4 | 0,07 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 1,8 | 0,04 | 0 |
| | | C | 5,1 | 8 | 41 | 24 | 0,01 | 0,06 | 1,6 | 0,32 | 0,05 | 0,01 | 0,02 | 2,1 | 0,17 | 0,01 |

(continuação)

Anexo A (continuação)

| SUBSISTEMA | AMBIENTE LOCAL | pH | H ⁺ | MO | C | P | K | Ca | Mg | Al | Cu | Zn | Fe | Mn | Na | |
|------------|----------------|----|----------------|----|------|-----|------|------|-----|------|------|------|------|-----|------|------|
| BAÍA | RBAI | M1 | 5 | 6 | 26,7 | 16 | 0,02 | 0,06 | 1 | 0,17 | 0,05 | 0,01 | 0,02 | 2 | 0,31 | 0,01 |
| | | M2 | 5 | 4 | 169 | 98 | 0,02 | 0,02 | 0,6 | 0,06 | 0,17 | 0 | 0,01 | 2,4 | 0,23 | 0,01 |
| | | C | 5 | 6 | 15,7 | 9,1 | 0,01 | 0,03 | 0,9 | 0,1 | 0,01 | 0 | 0,03 | 2 | 0,29 | 0,01 |
| | LFEC | M1 | 5 | 6 | 130 | 75 | 0,03 | 0,03 | 1,5 | 0,21 | 0,23 | 0,01 | 0,03 | 2,4 | 0,33 | 0,01 |
| | | M2 | 4 | 8 | 47,3 | 27 | 0,02 | 0,05 | 1,1 | 0,17 | 0,31 | 0,01 | 0,02 | 2 | 0,26 | 0,01 |
| | | C | 5 | 8 | 51,6 | 30 | 0,03 | 0,05 | 1 | 0,15 | 0,31 | 0,01 | 0,02 | 2,4 | 0,23 | 0,01 |
| | LGUA | M1 | 5 | 9 | 75,1 | 44 | 0,02 | 0,06 | 1,2 | 0,15 | 0,11 | 0,01 | 0,02 | 1,8 | 0,13 | 0,02 |
| | | M2 | 5 | 8 | 67,5 | 39 | 0,02 | 0,06 | 1,2 | 0,15 | 0,07 | 0,01 | 0,02 | 2 | 0,15 | 0,03 |
| | | C | 5 | 8 | 80,8 | 47 | 0,03 | 0,06 | 1,3 | 0,13 | 0,1 | 0,01 | 0,02 | 1,9 | 0,14 | 0,02 |
| PARANÁ | RPAR | M1 | 5 | 6 | 25 | 15 | 0,02 | 0,08 | 1,1 | 0,1 | 0,07 | 0,01 | 0,01 | 1,6 | 0,23 | 0,01 |
| | | M2 | 6 | 2 | 1,3 | 0,8 | 0,01 | 0,02 | 0,2 | 0,05 | 0 | 0 | 0 | 0,7 | 0,06 | 0 |
| | | C | 6 | 2 | 2,2 | 1,3 | 0,01 | 0,01 | 0,2 | 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 0,03 | 0 |
| | LPVE | M1 | 6 | 5 | 53,5 | 31 | 0,02 | 0,09 | 1,7 | 0,11 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 2 | 0,32 | 0,02 |
| | | M2 | 5 | 6 | 39,5 | 23 | 0,01 | 0,06 | 1,1 | 0,1 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 2 | 0,25 | 0,01 |
| | | C | 5 | 6 | 29,8 | 17 | 0,02 | 0,08 | 1 | 0,16 | 0,1 | 0,02 | 0,01 | 2 | 0,21 | 0,02 |
| | LGAR | M1 | 5 | 6 | 81 | 47 | 0,02 | 0,09 | 2,6 | 0,44 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 2,3 | 0,27 | 0,02 |
| | | M2 | 5 | 8 | 79,8 | 46 | 0,02 | 0,09 | 2,2 | 0,3 | 0,1 | 0,02 | 0,01 | 1,9 | 0,17 | 0,02 |
| | | C | 5 | 6 | 41,6 | 24 | 0,02 | 0,1 | 1,4 | 0,24 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 1,9 | 0,15 | 0,02 |