

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 08/09/2023.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS - CÂMPUS DE BOTUCATU

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (ZOOLOGIA)

**SISTEMAS PARASITO-HOSPEDEIRO COMO SENTINELAS DE
POLUIÇÃO AQUÁTICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ-
JACARÉ, SUDESTE DO BRASIL**

Lucas Aparecido Rosa Leite

Botucatu, SP

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS - CÂMPUS DE BOTUCATU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (ZOOLOGIA)

**SISTEMAS PARASITO-HOSPEDEIRO COMO SENTINELAS DE
POLUIÇÃO AQUÁTICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ-
JACARÉ, SUDESTE DO BRASIL**

Lucas Aparecido Rosa Leite

Orientadora: Vanessa Doro Abdallah Kozlowiski, Dra.

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de Botucatu - SP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas – área de concentração Zoologia.

Botucatu, SP

2021

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP

BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE-CRB 8/5651

Leite, Lucas Aparecido Rosa.

Sistemas parasito-hospedeiro como sentinelas de poluição aquática na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré, sudeste do Brasil / Lucas Aparecido Rosa Leite. - Botucatu, 2021

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu

Orientador: Vanessa Doro Abdallah Kozlowiski

Capes: 20400004

1. Interações hospedeiro-parasita. 2. Biologia ambiental.
3. Peixes - Parasitologia. 4. Bacias hidrográficas. 5. Água - Poluição

Palavras-chave: Bioindicação de acumulação; Bioindicação de efeito; Parasitologia ambiental; Parasitologia de peixes; Poluição aquática.

Dedico esta tese a todos os meus professores, do primário à pós-graduação. Sem vocês eu não seria nada do que sou hoje e muito menos teria chegado até aqui.

*“Quando eu deixar este mundo, não deixarei arrependimentos
Deixarei algo para ser lembrado, e eles não se esquecerão”.*
Beyoncé.

Agradecimentos

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Ana Maria e Antonio, por todo amor, paciência e apoio para que eu conseguisse chegar até aqui;

Aos meus professores orientadores Profa. Vanessa Doro Abdallah e Prof. Rodney Kozlowiski de Azevedo por primeiramente terem aberto as portas do laboratório para mim, por terem acreditado no meu potencial e por toda parceria nesses últimos seis anos;

Aos meus amigos, parceiros, companheiros das horas tristes e felizes Regiane, Larissa, Estefania, Patrícia, Guilherme e ao meu namorado Douglas por terem me ajudado a segurar a barra e por terem deixado esse período de pandemia mais leve. Amo vocês;

À Luiz Inácio Lula da Silva e Fernando Haddad pela criação do programa Universidade Para Todos (Prouni), sem o qual eu não teria conseguido ingressar no ensino superior e chegar aonde cheguei;

À Universidade Estadual Paulista (UNESP) e ao Instituto de Biociências de Botucatu (IBB) pelo apoio e estrutura para a realização do projeto de pesquisa;

À Fundação Jorge Duprat Figueiredo, de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO) e especialmente ao Dr. Walter dos Reis Pedreira Filho por terem cedido o laboratório, equipamentos e toda a estrutura para a realização da parte analítica do projeto;

Ao Centro Universitário do Sagrado Coração – UNISAGRADO, junto a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, por ter me permitido a utilizar o espaço da universidade para a realização deste trabalho;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos nos primeiros meses do doutorado e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (processo nº 2017/005-665) também pela bolsa de estudos no restante do desenvolvimento projeto;

E por fim a todos que direta ou indiretamente me ajudaram durante esses quatro anos.

Muito obrigado!

Sumário

SUMÁRIO

RESUMO	12
ABSTRACT	14
1 INTRODUÇÃO GERAL	16
1.1 Parasitos de peixes como indicadores da saúde do ambiente	16
1.2 Os hospedeiros	18
1.2.1 <i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794).....	18
1.2.2 <i>Cichla kelberi</i> Kullander & Ferreira 2006.....	19
1.2.3 <i>Serrasalmus maculatus</i> Kner 1856.....	20
1.2.4 <i>Astronotus crassipinnis</i> (Heckel, 1840).....	21
1.3 As áreas de estudo	22
1.3.1 Rio Jacaré-Pepira.....	25
1.3.2 Rio Jacaré-Guaçú.....	26
REFERÊNCIAS	26
2 OBJETIVOS	33
2.1 Objetivo geral	33
2.2 Objetivos específicos	33
ARTIGO 1: <i>Proteocephalus macrophallus</i> (Cestoda: Proteocephalidae) infecting <i>Cichla kelberi</i> (Cichliformes: Cichlidae) as a bioindicator for trace metal accumulation in a neotropical river from southeastern Brazil	35
ABSTRACT	35
1 INTRODUCTION	35
2 MATERIAL AND METHODS	37
2.1 Study area	37
2.2 Fish, parasites, and tissues sampling	37
2.3 Trace metal analysis	38
2.4 Statistical analysis	38
3 RESULTS	39
4 DISCUSSION	43
5 CONCLUSIONS	46
REFERENCES	46
ARTIGO 2: Seasonal patterns of infestation by monogenean parasites of fish and their relationship with water parameters in two rivers with different disturbance gradients in southeastern Brazil	52
ABSTRACT	52
1 INTRODUCTION	52
2 MATERIAL AND METHODS	54
2.1 Study area	54
2.2 Fish and parasites sampling	54
2.3 River water analysis	55

2.4 Statistical analysis	56
3 RESULTS	57
4 DISCUSSION	64
5 CONCLUSIONS	67
REFERENCES	68
ARTIGO 3: Bioaccumulation and health risk assessment for trace metal contamination in the musculature of the trahira fish (<i>Hoplias malabaricus</i>) from two neotropical rivers in southeastern Brazil	75
ABSTRACT	75
1 INTRODUCTION	75
2 MATERIAL AND METHODS	77
2.1 Study area	77
2.2 Fish and river water sampling	77
2.3 Trace metal analysis	77
2.4 Statistical analysis	78
3 RESULTS	78
4 DISCUSSION	88
5 CONCLUSIONS	90
REFERENCES	90
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
APÊNDICE 1	96
ARTIGO 4: Patterns of distribution and accumulation of trace metals in <i>Hysterothylacium</i> sp. (Nematoda), <i>Phyllodistomum</i> sp. (Digenea), and in its fish host <i>Hoplias malabaricus</i>, from two neotropical rivers in southeastern Brazil	97

Resumo

RESUMO

O avanço da urbanização e do desenvolvimento da industrialização e do agronegócio são uma constante ameaça à conservação da biodiversidade, especialmente em ambientes aquáticos. Nesses ambientes, bioindicadores podem ser muito úteis na detecção e prevenção de impactos ambientais que colocariam em risco a estruturação do ecossistema. Dentre os organismos com potencial bioindicador, encontra-se um grupo bastante peculiar e comumente esquecido em estudos de biodiversidade: os parasitos. Os estudos envolvendo parasitos e seus possíveis potenciais como bioindicadores da saúde do ambiente aumentaram muito nas últimas décadas, entretanto, na região da América do Sul ainda é um campo de pesquisa pouco explorado. No presente estudo, avaliou-se o potencial bioindicador de parasitos em duas vertentes: a bioindicação de efeito e a bioindicação de acumulação de metais-traço, em dois rios do Estado de São Paulo: o rio Jacaré-Pepira e o Jacaré-Guaçú. No estudo com bioindicação de efeito, foi testada a variação nos índices de prevalência, intensidade e abundância de cinco espécies da classe Monogenea (*Gussevia astronoti*, *Gussevia asota*, *Anacanthorus serrasalmi*, *Rhinoxenus piranhus* e *Amphithecium speirocamarotum*) em relação à sazonalidade (período seco e chuvoso), às variáveis químicas orgânicas e inorgânicas da água dos rios e em relação ao fator de condição de seus hospedeiros *Serrasalmus maculatus* e *Astronotus crassipinnis*. Os resultados mostraram variações significativas dos índices de prevalência, abundância e intensidade de algumas das espécies de monogenéticos testadas, com *G. asota* mostrando interações tanto com os parâmetros químicos da água quanto com os fatores de condição dos hospedeiros, se mostrando a espécie mais sensível das cinco analisadas. Já no estudo com bioindicação de acumulação, avaliou-se o potencial acumulativo para metais-traço de parasitos pertencentes à três taxa: Cestoda (*Proteocephalus macrophalus*), Nematoda (*Hysterothylacium* sp.) e Digenea (*Phyllodistomum* sp.) parasitos de *Cichla kelberi* e de *Hoplias malabaricus*. As três espécies demonstraram uma alta capacidade de acumulação, especialmente cestoides e nematoides. Além disso, verificou-se que peixes infectados tendem a concentrar menos metais em seus tecidos que hospedeiros não-infectados. Em geral os estudos mostram que os parasitos de peixes dos rios Jacaré-Pepira e Jacaré-Guaçú possuem potencial bioindicador e podem ser usados em estudos de diagnóstico e monitoramento ambiental. Além disso, expande-se ainda mais o conhecimento relacionado ao parasitismo e bioindicação na região neotropical. Por fim, realizou-se um estudo de avaliação de risco de contaminação por consumo humano e de bioacumulação de metais-traço na musculatura de *H. malabaricus*, também dos rios Jacaré-Pepira e Jacaré-Guaçú, onde observou-se que os peixes do rio Jacaré-Guaçú possuem concentrações significativamente maiores que os do Jacaré-Pepira. Além disso, nos peixes do rio Jacaré-Guaçú, o elemento Al teve o quociente de risco (HQ) acima de 1, que indica possível risco de contaminação caso seja consumido por humanos. Outros elementos que merecem destaque são o Cr e o Cd. O Cr estava em concentrações muito acima do permitido na legislação brasileira e o Cd teve um fator de bioconcentração alto, que pode indicar um processo de biomagnificação.

Palavras-chave: Parasitologia ambiental; bioindicação de efeito; bioindicação de acumulação; poluição aquática; parasitologia de peixes.

Abstract

ABSTRACT

The advance of urbanization and the development of industrialization and agribusiness are a constant threat to the conservation of biodiversity, especially in aquatic environments. In these environments, bioindicators can be very useful in detecting and preventing environmental impacts that would jeopardize the structuring of the ecosystem. Among the organisms with potential for bioindication, there is a very peculiar and commonly overlooked group in biodiversity studies: parasites. Studies involving parasites and their potential as bioindicators of the environmental health have increased in recent decades, however, in the South American region it is still a little explored field of research. In the present study, the potential of parasites as bioindicators was assessed in two ways: the effect bioindication, and the bioindication of trace metals accumulation in two rivers in the state of São Paulo: the Jacaré-Pepira River and the Jacaré-Guaçú River. In the study with effect bioindication, the variation in the rates of prevalence, abundance, and intensity of five species of the Monogenea class (*Gussevia astronoti*, *Gussevia asota*, *Anacanthorus serrasalmi*, *Rhinoxenus piranhus* e *Amphithecium speirocamarotum*) was tested compared to the seasonality (dry and wet season), to the organic and inorganic chemical variables of the rivers waters, and in relation to the condition factors of its fish hosts *Serrasalmus maculatus* and *Astronotus crassipinis*. The results showed significant variations in the prevalence, abundance, and intensity rates of some of the monogenetic species tested, with *G. asota* showing interactions both with the chemical parameters of the water and with de condition factors of the hosts, proving to be the most sensitive species of the five analyzed. In the study with accumulation bioindication, the potential for trace metal accumulation of parasites belonging to three different taxa was evaluated: Cestoda (*Proteocephalus macrophalus*), Nematoda (*Hysterothylacium* sp.) and Digenea (*Phyllodistomum* sp.) parasites of *Cichla kelberi* and *Hoplias malabaricus*. The three species showed a high capacity for accumulation, specially cestodes and nematodes. In addition, it has been found that infected fish tend to concentrate less amounts of metals in their tissues than non-infected hosts. In general, our studies show that fish parasites in the Jacaré-Pepira and Jacaré-Guaçú rivers have potential for bioindication and can be used in diagnostic and environmental monitoring studies. In addition, the knowledge related to parasitism and bioindication in the neotropical region further expands. Finally, a study was carried out to assess the risk of contamination by human consumption and bioaccumulation of trace metals in the musculature of *H. malabaricus*, also from the Jacaré-Pepira and Jacaré-Guaçú rivers, where fish from the Jacaré-Guaçú River have trace metals concentrations significantly higher than those from the Jacaré-Pepira. In addition, in fish from the Jacaré-Guaçú River, the element Al had a hazard quotient (HQ) above 1, which indicates a possible risk of contamination if consumed by humans. Other elements that are worth mentioning are Cr and Cd. Cr was in concentrations much higher than the allowed by the Brazilian legislation, and Cd had a high bioconcentration factor, which may indicate a biomagnification process.

Keywords: Environmental parasitology; effect bioindication; accumulation bioindication; water pollution; fish parasitology.

Introdução geral

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Parasitos de peixes como bioindicadores da saúde do ambiente

O parasitismo é um dos mais bem sucedidos meios de vida apresentados pelos seres vivos (Poulin e Morand, 2000), e é uma relação tão antiga que desempenhou um papel crucial no surgimento da vida na terra, através daquilo que se chama de parasitismo molecular (Araújo et al., 2003; Nee e Smith, 1990). O termo em si vive à sombra de dualidades, pois parasitos são intrinsecamente ligados à geração de diversidade, ao passo que podem causar a extinção de espécies, podem causar problemas na reprodução dos hospedeiros, mas aumentar a taxa de crescimento da população, e podem estimular uma resposta imunológica, ao mesmo tempo que estimulam uma infecção crônica secundária (Hudson, 2005). O termo parasitismo em si é comumente associado a patogenicidade quando na verdade esse nem sempre é o produto final da relação, sendo que muitas vezes os parasitos são inofensivos à saúde do hospedeiro e de extrema importância para sua sobrevivência (Araújo et al., 2003).

Historicamente, o papel dos parasitos no funcionamento do ecossistema tem sido considerado de pouca importância, no entanto, há evidências crescentes de que os efeitos mediados pelos parasitos podem ser extremamente significativos na modelagem de funções ecossistêmicas e na estruturação das cadeias alimentares, sendo considerados como importantes condutores da biodiversidade (Hudson et al., 2006). Em contrapartida à inegável importância desses organismos na manutenção dos ecossistemas, os parasitos enfrentam alguns paradigmas, especialmente ligados à sua conservação, pois sofrem com o estigma de serem causadores de impactos negativos aos hospedeiros e são constantemente visados em estratégias de erradicação (Dougherty et al., 2015). Sendo assim, entender o parasitismo como um componente crucial na biodiversidade, com a inclusão desses organismos em estratégias de conservação é de extrema importância para se garantir a manutenção dos ecossistemas e da sobrevivência das espécies hospedeiras.

Os impactos ambientais são uma constante ameaça à biodiversidade global, e no que se diz respeito a biodiversidade de parasitos, podem causar nas próximas décadas a extinção de 5 a 10% das espécies dos principais clados conhecidos, algumas destas espécies ainda nem descritas pela taxonomia (Carlson et al., 2017; Carlson et al., 2020). Estes organismos, respondem aos impactos de diferentes formas dependendo do seu grupo taxonômico, do seu hospedeiro e do hábitat que ocupa (Lafferty, 1997), podendo

nos ajudar a detectar, identificar e até mesmo a prever tais impactos no ambiente (Lafferty, 1997; Vidal-Martínez et al., 2009).

Nas últimas décadas, os estudos que avaliam a força dos impactos ambientais sobre os parasitos e/ou parasitismo tiveram um aumento significativo (Sures et al., 2017), o que levou ao estabelecimento do termo “Parasitologia Ambiental” (Goater et al., 2013; Nachev e Sures, 2016), que torna-se uma disciplina aceita dentro da parasitologia e que engloba todos os estudos que relacionam parasitos e o meio ambiente, especialmente sobre o impacto antropogênico sobre eles e do papel dos parasitos como bioindicadores da qualidade ambiental. Atualmente, as duas áreas mais estudadas dentro desse espectro são 1) os parasitos como bioindicadores de acumulação e 2) os parasitos como bioindicadores de efeito.

Na bioindicação de acumulação, avalia-se o potencial dos parasitos em acumular um determinado poluente, geralmente em comparação aos tecidos do seu hospedeiro. Os metais-traço (também designados como elementos-traço ou metais pesados) são os compostos mais avaliados em estudos com bioacumulação (Sures et al., 2017), porém alguns poluentes orgânicos como bifenilos policlorados (PCBs), pesticidas organoclorados (OCPs), éteres de difenila polibromados (PBDEs), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), ftalados, inseticidas, piretróides, N,N-dietil-meta-toluamidas (DEET) (Molbert et al., 2020) e até mesmo fragrâncias e filtros-UV (protetores solares) (Mille et al., 2020) também já foram estudados. Muitos desses estudos mostram que os parasitos conseguem acumular os compostos em quantidades muito superiores à de seus hospedeiros ou em relação a outros bioindicadores de vida-livre, como, por exemplo, os mexilhões (Sures et al., 1997; Sures et al., 1999a; Sures et al., 1999b). Os grupos de parasitos mais utilizados para este fim são os acantocéfalos, cestoides e nematoides (Sures et., 2017), pois são os que geralmente preenchem os principais requisitos necessários para a utilização em estudos desse tipo, que são: facilidade de coleta e identificação, serem grandes em tamanho para que se tenha tecido suficiente para as análises das concentrações dos compostos e com vasta quantidade de informações sobre sua biologia disponível (Sures, 2003; Sures, 2004).

Na bioindicação de efeito, estuda-se as mudanças fisiológicas, de composição química, comportamental ou numérica dos parasitos frente à um agente estressor (Vidal-Martínez et al, 2009). Estes estudos podem ser realizados tanto ao nível de espécie quanto ao nível de comunidade e as métricas utilizadas para avaliar as respostas em relação aos

impactos ambientais podem ser vários, dependendo da área de estudo, do tipo de poluente ou qualquer que seja a variável interferente, química ou física. As comumente utilizadas são, ao nível de espécie: alterações nas taxas de prevalência, intensidade e abundância dos parasitos de acordo com as mudanças no meio, e ao nível de comunidade: composição, riqueza e diversidade das espécies de acordo com as áreas de estudo ou concentração dos poluentes ou variáveis químicas e físicas coletadas do ambiente (Blanar et al., 2009; Falkenberg et al., 2019; Gilbert e Avennant-Oldweage, 2017; Igeh et al., 2020; Lacerda et al., 2017; Poulin, 2020).

O avanço da parasitologia ambiental só reforça ainda mais o quão importantes e extremamente úteis estes pequenos, peculiares e frequentemente esquecidos organismos podem ser, não só para a manutenção da biodiversidade, agindo nas cadeias alimentares, mas também ao auxiliar na detecção e monitoramento dos impactos ambientais causados pelo ser humano. Os esforços de pesquisa, com os mais variados grupos de parasitos nas diferentes regiões do globo tornam-se de grande importância para criação de metodologias que incluam estes organismos de maneira aplicada em programas de monitoramento ambiental e conservação da biodiversidade (incluindo a de parasitos).

1.2 Os hospedeiros analisados no estudo

1.2.1 *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794)

Hoplias malabaricus (Bloch, 1794) (Characiformes: Erythrinidae) (Figura 1), popularmente conhecida no Brasil como traíra, é uma espécie de peixe que possui ampla distribuição por toda América do Sul e Central. Trata-se de um peixe carnívoro predador, se alimentando de pequenos peixes e crustáceos, adaptado à ambientes com baixa integridade, preferencialmente em ambientes lênticos, mas também podendo ser encontrado em ambientes lóticos (Gião et al., 2020; Leite et al., 2021; Guimarães et al. 2021).

Por possuir uma carne de alta qualidade, com índices baixos de gordura e muito saborosa, é muito visada na pesca e utilizada na alimentação, principalmente da população ribeirinha. Estima-se que até 9 toneladas deste peixe sejam capturadas anualmente no Brasil (Secretaria de Monitoramento e Controle do Ministério da Pesca e Aquicultura – MPA, 2011).



Figura 1: *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794) (Characiformes: Erythrinidae), coletada do rio Jacaré-Pepira, sub-bacia do Tietê-Jacaré, Estado de São Paulo, Brasil. Foto: L.A.R. Leite.

A fauna parasitológica de *H. malabaricus* já foi bastante estudada em diversas bacias da América do Sul. No Brasil, existem estudos nas bacias do rio Paraná, Amazônica, Uruguai, Atlântico Nordeste Ocidental e Oriental, São Francisco, Tocantins-Araguaia, Rio Paraguai e Atlântico Sudeste, com aproximadamente 50 espécies de parasitos já registrados, sendo Monogenea e Nematoda os grupos com mais espécies registradas (Gião et al. 2020), este último com registros de espécies de potencial zoonótico como as do gênero *Contracaecum* Railliet & Henry, 1912, *Eustrongylides* Jägersk, 1909 e *Hysterothylacium* Ward & Magath, 1917 (Gião et al., 2020; Leite et al., 2021).

1.2.2 *Cichla kelberi* Kullander & Ferreira, 2006

Cichla kelberi Kullander & Ferreira, 2006 (Cichliformes: Cichlidae), conhecido popularmente como tucunaré, é um peixe nativo da bacia dos rios Amazonas e do Tocantins-Araguaia no norte do Brasil (Kullander e Ferreira, 2006), mas amplamente introduzido em diversas bacias brasileiras (Espínola et al., 2010), inclusive na bacia do alto rio Paraná, através do escape de pescueiros recreacionais (Ota et al., 2018), onde é muito apreciado devido ao seu apreço na pesca esportiva (Winemiller, 2001). Trata-se de um predador voraz cuja dieta se baseia em crustáceos, pequenos peixes, incluindo casos de canibalismo, insetos e plantas (Mendonza et al., 2018), podendo ser encontrado preferencialmente em ambientes lênticos e de águas transparentes (Espínola et al., 2010).

Em áreas onde a espécie foi introduzida, a fauna parasitária de *C. kelberi* tende a possuir uma baixa riqueza de espécies, e é constituída basicamente de espécies generalistas (Yamada e Takemoto, 2013), com exceção de algumas que possuem especificidade parasito-hospedeiro, como *Proteocephalus macrophallus* (Diesing, 1850) (Scholz et al., 1996). Em ambientes introduzidos, os principais taxa registrados de parasitos são Monogenea, Digenea, Nematoda, Cestoda e, em alguns casos, Crustacea (Kohn et al., 2011; Santos- Clapp and Brasil-Sato, 2014; Yamada e Takemoto, 2013). Na bacia do Tietê-Jacaré, no rio Jacaré-Pepira, foram registradas 9 espécies, na maioria monogéticos do gênero *Gussevia* Kohn & Paperna, 1964 (Januário et al., 2019).



Figura 2: *Cichla kelberi* Kullander & Ferreira, 2006 (Cichliformes: Cichlidae). Foto: A.S. Leão.

1.2.3 *Serrasalmus maculatus* Kner, 1856

Serrasalmus maculatus Kner, 1856 (Characiformes: Serrasalmidae), popularmente conhecida como pirambeba, é a única espécie desse gênero endêmica da bacia do alto rio Paraná, (Ota et al., 2018) e que era anteriormente identificada como *Serrasalmus spilopleura* Kner, 1858 (Graça e Pavanelli, 2007). É um predador mutilante, com alimentação preferencialmente piscívora, mas com tendência generalista, englobando itens alimentares como insetos, crustáceos, moluscos e até plantas (Villares Junior et al., 2008) e que possui boa capacidade de adaptação à ambientes lânticos artificiais, onde se tornou muito abundante (Behr e Signor, 2008).

Na bacia do alto rio Paraná, a fauna parasitária de *S. maculatus* é composta por Monogenea, Digenea, Nematoda, Cestoda Acanthocephala e Copepoda, com pelo menos 17 espécies de parasitos registrados, a maioria pertencente ao filo Nematoda, com aproximadamente 7 espécies registradas (Takemoto et al., 2009; Lehun et al., 2020).



Figura 3: *Serrasalmus maculatus* Kner, 1856 (Characiformes: Serrasalminidae), coletada do rio Jacaré-Pepira, sub-bacia do Tietê-Jacaré, Estado de São Paulo, Brasil. Foto: F.F. Januário.

1.2.4 *Astronotus crassipinnis* (Heckel, 1840)

Astronotus crassipinnis (Heckel, 1840) (Cichliformes: Cichlidae), popularmente conhecido como oscar, é um peixe de hábitos diurnos, sedentário (Sánchez-Botero e Araujo-Lima, 2001), endêmico da bacia amazônica e introduzido na bacia do alto rio Paraná através do seu intenso uso no aquarismo (Ota et al., 2018). Na bacia do alto rio Paraná, essa espécie é comumente identificada erroneamente como *Astronotus ocellatus* (Agassiz, 1831) (Júlio Júnior et al., 2009). Trata-se de uma espécie com dieta onívora, com tendência à carnivorina, alimentando-se de pequenos peixes, crustáceos, insetos e plantas, e habitando preferencialmente locais rasos entre galhos e plantas aquáticas nas margens dos rios (Santos et al., 2018).

A fauna parasitária de *A. crassipinnis* é relativamente pouco conhecida. Na Amazônia, foram registradas ao menos 15 espécies de metazoários parasitando peixes dessa espécie (Atroch, 2018; Santos et al., 2018). Na bacia do Tietê-Jacaré, um levantamento realizado nos rios Jacaré-Pepira e Jacaré-Guaçú por Januário et al. (2018) encontrou 15 espécies de metazoários, divididas em Monogenea, Digenea, Nematoda, Crustacea, Oligoqueta e Myxozoa.



Figura 4: *Astronotus crassipinnis* (Heckel, 1840) (Cichliformes: Cichlidae), coletada do rio Jacaré-Pepira, sub-bacia do Tietê-Jacaré, Estado de São Paulo, Brasil. Foto: F.F. Januário.

1.3 As áreas de estudo

A Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré (BH-TJ) (Figura 5) está localizada na região central do Estado de São Paulo e abrange 34 municípios, fazendo divisa com as bacias do Piracicaba/Capivari/Jundiaí, do Mogi-Guaçu, do Tietê/Sorocaba, Tietê-Batalha e Médio Paranapanema (Estado de São Paulo, 2015). O clima na região da BH-TJ, segundo a classificação de Köppen-Geiser, é o Cwa, isto é, clima subtropical úmido com inverno seco e verão quente e chuvoso (Peel et al., 2007), com precipitação média anual de 1.500 a 2.000 mm e temperaturas médias superiores a 22°C no mês mais quente e menores que 18°C no mês mais frio (Instituto de Pesquisas Meteorológicas, 2017).

A BH-TJ está dividida em seis sub-bacias (Tabela 1) de acordo com a área de drenagem dos principais rios, que são: O rio Tietê e os rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, ambos desaguando no rio Tietê.

As principais atividades econômicas na BH-TJ estão ligadas principalmente à agroindústria, com destaque para indústria sucroalcooleira que é responsável por aproximadamente 13% de toda a produção de Estado de São Paulo, ocupando quase que 50% (5.810,192 Km²) da área total da bacia (Estado de São Paulo, 2016). Outro setor importante na região é a produção e processamento de cítricos, principalmente laranja, representando 11% de toda a produção nacional (Estado de São Paulo, 2016).

A região apresenta 1.106 Km² de vegetação natural remanescente que ocupa, aproximadamente 9% da área total da bacia, onde as fitofisionomias predominantes são compostas pela Floresta Estacional Semidecídua e Cerradão. A região ainda possui três Estações Ecológicas (EE) (EE de Bauru, EE de Itapirina e EE de São Carlos) e oito Unidades de Conservação de Uso Sustentável (APA Corumbataí-Tejupa, APA Ibitinga, APA Piracicaba-Juqueri Mirim e APA rio Batalha; Floresta Estadual Pederneiras; RPPN Floresta das Águas Perenes, Olavo Egydio Setúbal e Amadeu Botelho) (Estado de São Paulo, 2015).

Tabela 1: Caracterização espacial das sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré, Estado de São Paulo, Brasil (Fonte: adaptado de Estado de São Paulo, 2015).

	Sub-bacia	Área	
		Km ²	%
1	Sub-bacia do rio Jacaré-Guaçu e afluentes do rio Tietê.	4.183,47	35,4
2	Sub-bacia do rio Jacaré-Pepira e afluentes diretos do rio Tietê.	2.670,28	22,6
3	Sub-bacia do rio Jaú, ribeirão da Ave Maria, Ribeirão do Sapé e afluentes diretos do rio Tietê.	1.527,61	12,9
4	Sub-bacia do rio Lençóis, ribeirão dos Patos e afluentes diretos do rio Tietê.	1.436,61	12,2
5	Sub-bacia do rio Bauru, ribeirão Grande, ribeirão Pederneiras e afluentes diretos do rio Tietê.	826,8	7,0
6	Sub-bacia do rio Claro, ribeirão Bonito, ribeirão de Veado, ribeirão Água Limpa e afluentes diretos do rio Tietê.	1.159,1	9,8



Figura 5: Bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré, Estado de São Paulo, Brasil. Fonte: SigRH.

A BH-TJ possui apenas 26,5% de vegetação das Áreas de Preservação Permanente (APP) preservadas. Das seis sub-bacias que compõem a BH-TJ, as dos rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira possuem os menores índices de degradação, correspondendo a 66,41% e 64,83% de APP degradada, respectivamente. As duas sub-bacias também apresentam os maiores percentuais de fragmentos de vegetação remanescente de toda BH-TJ, que corresponde a 37% do total de vegetação remanescente da bacia (Estado de São Paulo, 2015).

A região possui três tipos de ecossistemas aquáticos bem definidos: lóticos – caracterizados por redes hídras correntes que transportam materiais físicos, químicos e biológicos (12.747 Km²); lênticos – caracterizado por ambientes aquáticos de água represada sem movimento corrente (172.126 Km²); e áreas úmidas – caracterizadas por

ambientes onde o solo está saturado com água ou inundadas em partes do ano (408.519 Km²) (Estado de São Paulo, 2016).

Com relação à qualidade das águas superficiais, a sub-bacia do rio Jacaré-Guaçú apresenta Índice de Qualidade das Águas (IQA) considerado bom, já com relação ao Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática (IVA), este é classificado como regular. Já a sub-bacia do Jacaré-Pepira apresenta IQA e IVA classificados como bom. Com relação ao Índice do Estado Trófico (IET), a sub-bacia do rio Jacaré-Guaçú apresenta um IET majoritariamente mesotrófico, isto é, situação intermediária entre o baixo teor de nutrientes e alto teor de nutrientes, enquanto a sub-bacia do rio Jacaré-Pepira possui um IET classificado como oligotrófico, ou seja, possuidor de grande enriquecimento em nutrientes (Estado de São Paulo, 2016).

Tanto a sub-bacia do rio Jacaré-Guaçú, quanto do rio Jacaré-Pepira são utilizados no abastecimento rural de diversos municípios do Estado de São Paulo, dentre eles Araraquara, Ibitinga, São Carlos, Brotas e Torrinha. Além disso, ambas as sub-bacias possuem potencial risco à contaminação, já que se encontram em áreas de consumo de agrotóxicos, maior produção agrícola, mineração e inundação (Estado de São Paulo, 2016).

1.3.1 Rio Jacaré-Pepira

O rio Jacaré-Pepira (Figura 6), Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré, localizado na porção central do Estado de São Paulo, é um rio de sexta ordem com área total de 2.612 Km². Sua nascente fica localizada a 900 m de altitude na Serra de Itaqueri, município de São Pedro (22°32'55"S e 47°54'50"O) e sua foz a 400 m de altitude, no rio Tietê no município de Ibitinga (21°45'28"S e 48°49'44"O) (Barrella, 1989; Almeida et al., 1999; Metzger et al., 1998). O rio é considerado um dos mais conservados de toda a bacia, sendo popularmente conhecido como “Pantaninho Paulista” devido à presença de áreas alagadas em sua várzea, tornando-o mantenedor de grande biodiversidade na região, estando inclusive inserido em uma Área de Proteção Ambiental (APA), a APA Ibitinga, que tem como objetivo proteger as várzeas formadas pelo rio onde ocorrem importantes remanescentes de vegetação em estágio avançado de regeneração e a fauna a ela associada (Estado de São Paulo, 2017).

1.3.2 Rio Jacaré-Guaçu

O rio Jacaré-Guaçu (Figura 6), Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré, também localizado na porção central do Estado de São Paulo, é um rio de quarta ordem e um importante tributário da margem direita do rio Tietê, possuindo uma extensão aproximada de 1.100 Km². O rio é formado pela junção do ribeirão do Feijão que nasce na Serra do Cruzeiro e do ribeirão Lobo, que tem sua nascente localizada na Serra de Itaqueri, e sua foz ocorre no rio Tietê, no município de Ibitinga (Esgúicero e Arcifa, 2011; Rodríguez, 2001). Este rio recebe uma grande quantidade de esgoto doméstico e industrial, principalmente através de seus tributários. Além disso, suas águas são caracterizadas pela alta concentração de coliformes fecais, pesticidas e metais (Esgúicero e Arcifa, 2011; Rodríguez, 2001).

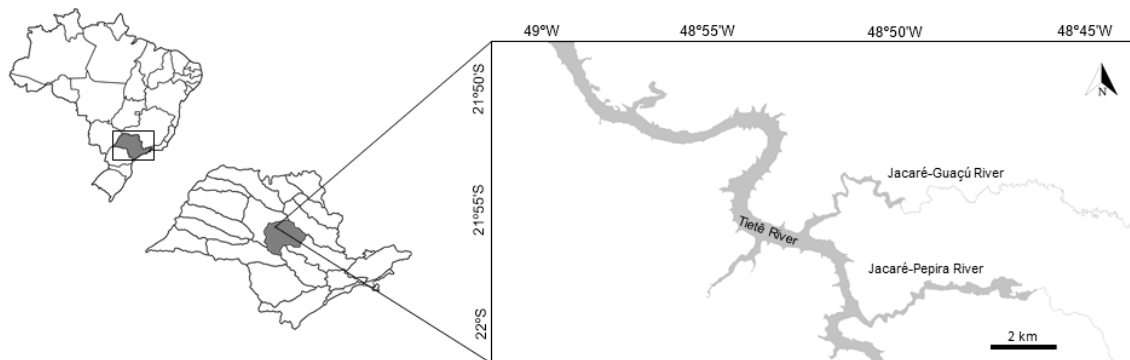


Figura 6: Mapa dos dois rios estudados, Jacaré-Pepira e Jacaré-Guaçu, localizados dentro da sub-bacia do Tietê-Jacaré, estado de São Paulo, Brasil. Fonte: Google Earth.

REFERÊNCIAS

- Araújo, A., Jansen, A.M., Bouchet, F., Reinhard, K., Ferreira, L.F., 2003. Parasitism, the Diversity of Life, and Paleoparasitology. Mem. Inst. Oswaldo Cruz 98, 5-11.
- Atroch, F.M., 2016. Metazoários parasitos de *Astronotus ocellatus* (Agassiz, 1831) e *Astronotus crassipinnis* (Heckel, 1840) (Perciformes: Cichlidae) em lagos de várzea na Amazônia, Amazonas, Brasil. Dissertação. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 92 p.

- Behr, E.R., Signor, C.A. Distribuição e alimentação de duas espécies simpátricas de piranhas *Serrasalmus maculatus* e *Pygocentrus nattereri* (Characidae, Serrasalminae) do rio Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia Zool.* 98, 501-507.
- Blanar, C.A., Munkittrick, K.R., Houlahan, J., MacLatchy, D.L., Marcogliese, D.J., 2009. Pollution and parasitism in aquatic animals: A meta-analysis of effect size. *Aquat. Toxicol.* 93, 18-28.
- Carlson, C.J., Burgio, K.R., Dougherty, E.R., Phillips, A.J., Bueno, V.M., Clements, C.F., Castaldo, G., Dallas, T.A., Cizauskas, C.A., Cumming, G.S., Doña, J., Harris, N.C., Jovani, R., Mironov, S., Muellerklein, O.C., Proctor, H.C., Getz, W.M., 2017. Parasite biodiversity faces extinction and redistribution in a changing climate. *Sci. Adv.* 3, 1-12.
- Carlson, C.J., Hopkins, S., Bell, K.C., Doña, J., Godfrey S.S., Kwak, M.L., Lafferty, K.D., Moir, M.L., Speer, K.A., Strona, G., Torchin, M., Wood, C.L., 2020. A global parasite conservation plan. *Biol. Conserv.* 250, 1-12.
- Dougherty, E.R., Carlson, C.J., Bueno, V.M., Burgio, K.R., Cizauskas, C.A., Clements, C.F., Seidel, D.P., Harris, N.C., 2015. Paradigms for parasite conservation. *Conserv. Biol.* 30, 1-10.
- Espínola, L.A., Minte-Vera, V., Júlio Jr., H.F. 2010. Invasibility of reservoirs in the Paraná Basin, Brazil, to *Cichla kelberi* Kullander and Ferreira, 2006. *Biol. Invasions.* 12, 1873-1888.
- Falkenberg, J.M., Golzio, J.E.S.A., Pessanha, A., 2019. Gill parasites of fish and their relation to host and environmental factors in two estuaries in northeastern Brazil. *Aquat. Ecol.* 53, 109-118.
- Gião, T., Pelegrini, L.S., Azevedo, R.K. DE, Abdallah, V.D., 2020. Biodiversity of parasites found in the trahira, *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794), collected in the Batalha River, Tietê-Batalha drainage basin, SP, Brazil. *An. Acad. Bras. Cienc.* 92, 1-23.
- Gilbert, B.M., Avenant-Oldewage, A., 2017. Parasites and pollution: the effectiveness of tiny organisms in assessing the quality of aquatic ecosystems, with a focus on Africa. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 18742- 18769.
- Goater, T.M., Goater, C.P., Esch, G.W., 2013. Parasitism: the diversity and ecology of animal parasites. Cambridge University Press, Cambridge.

- Guimarães, C.B.S., Pflanzler Junior, S.B., Pinheiro, H.P., Mendes, T.M.F., Ueta, M.T., 2021. Centesimal composition and meat yield of *Hoplias malabaricus*: association with intestinal parasites. *Braz. J. Vet. Parasitol.* 30, 1-7.
- Hudson, P., 2005. Parasites, diversity, and the ecosystem. In: Thomas, F., Renaud, F., Guégan J. (Eds.). *Parasitism and Ecosystems*. Oxford University Press, Oxford. p. 1-12.
- Hudson, P.J., Dobson, A.P., Lafferty, K., 2006. Is a healthy ecosystem one that is rich in parasites? *Trends Ecol. Evol.* 21, 381-385.
- Igeh, P.C., Gilbert, B.M., Avenant-Oldewage, A., 2020. Seasonal variance in water quality, trace metals and infection variables of *Cichlidogyrus philander* Douëlou, 1993 (Monogenea, Ancyrocephalidae) infecting the gills of *Pseudocrenilabrus philander* (Weber, 1897) in the Padda Dam, South Africa. *Afr. J. Aquat. Sci. In press*, 1-13.
- Januário, F.F., 2018. Metazoários parasitos de *Astronotus crassipinnis* (Heckel, 1840) (Perciformes: Cichlidae) provenientes dos rios Jacaré-Pepira e Jacaré-Guaçu, médio rio Tietê, São Paulo, Brasil. Dissertação. Universidade do Sagrado Coração, 44 p.
- Januário, F.F., Gião, T., Azevedo, R.K., Abdallah, V., 2011. Helminth parasites of *Cichla ocellaris* Bloch & Schneider, 1801 collected in the Jacaré-Pepira River, São Paulo state, Brazil. *An. Acad. Braz. Cienc.* 91, 1-11.
- Júlio Júnior, H.F., Dei Tós, C., Agostinho, A.A., Pavanelli, C.S., 2009. A massive invasion of fish species after eliminating a natural barrier in the upper Paraná River basin. *Neotrop. Ichthyol.* 7, 709-718.
- Kohn, A., Moravec, F., Cohen, S., Canzi, C., Takemoto, R.M., Fernandes, B.M.M.F., 2011. Helminths of freshwater fishes in the reservoir of the Hydroelectric Power Station of Itaipu, Paraná, Brazil. *Check List* 7, 681-690.
- Kullander, S.O., Ferreira, E.J.G., 2006. A review of the South American cichlid genus *Cichla*, with descriptions of nine new species (Teleostei: Cichlidae). *Ichthyol. Explor. Freshwaters* 17, 289-398.
- Lacerda, A.C.F., Roumbedakis, K., Bereta Junior, J.G.S., Nuñez, A.P.O., Petrucio, M.M., Martins, M.L., 2018. Fish parasites as indicators of organic pollution in southern Brazil. *J. Helminthol.* 92, 322-331.
- Lafferty, K.D., 1997. Environmental parasitology: What can parasites tell us about human impacts on the environment? *Parasitol. Today* 13, 251–255.

- Leite, L.A.R., Pedreira Filho, W.R., Azevedo, R.K., Abdallah, V.D., 2021. Patterns of distribution and accumulation of trace metals in *Hysterothylacium* sp. (Nematoda), *Phyllodistomum* sp. (Digenea) and in its fish host *Hoplias malabaricus*, from two neotropical rivers in southeastern Brazil. *Environ. Pollut.* 277, 1-12.
- Lehun, A.L., Hasuike, W.T., Silva, J.O.S., Ciccheto, J.R.M., Michelan, G., Rodrigues, A.F.C., Nicola, D.N., Lima, L.D., Correia, A.N., Takemoto, R.M., 2020. Checklist of parasites in fish from the upper Paraná River floodplain: An update. *Rev. Bras. Parasitol. Vet.* 29, 1-20.
- Mendonça, H.S., Santos, A.C.A., Martins, M.M., Araújo, F.G., 2018. Size-related and seasonal changes in the diet of the non-native *Cichla kelberi* Kullander & Ferreira, 2006 in a lowland reservoir in the southeastern Brazil. *Biota Neotrop.* 18, 1-8.
- Mille, T., Soulier, L., Caill-Milly, N., Cresson, P., Morandau, G., Monperrus, M., 2020. Differential micropollutants bioaccumulation in European hake and their parasites *Anisakis* sp. *Environ. Pollut.* 265, 1-10.
- Molbert, N., Alliot, F., Leroux-Coyau, M., Médoc, V., Biard, C., Meylan, S., Jacquin, L., Santos, R., Goutte, A., 2020. Potential Benefits of Acanthocephalan Parasites for Chub Hosts in Polluted Environments. *Environ. Sci. Technol.* 54, 5540-49.
- Nachev, M., Sures, B., 2016. Environmental parasitology: Parasites as accumulation bioindicators in the marine environment. *J. Sea Res.* 113, 45-50.
- Nee, S., Smith, M., 1990. The evolutionary biology of molecular parasites. *Parasitology* 100, S5-S18.
- Ota, R.R., Deprá, G.C., Graça, W.J., Pavanelli, C.S., 2018. Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes: revised, annotated and updated. *Neotrop. Ichthyol.* 16, 1-111.
- Poulin, R., 2020. Meta-analysis of seasonal dynamics of parasite infections in aquatic ecosystems. *Int. J. Parasitol.* 50, 501-510.
- Poulin, R., Morand, S., 2004. *Parasite Biodiversity*. Washington, Smithsonian Books. 216 p.
- Sanchez-Botero, J.L.S., Araujo-Lima, C.A.R.M., 2001. As macrófitas aquáticas como berçário para a ictiofauna da várzea do rio Amazonas. *Acta Amazon.* 31, 437-448.
- Santos, G.H., Oliveira M.S.B., Neves, L.R., Tavares-Dias, M., 2018. Parasite community of *Astronotus crassipinnis* (Cichlidae), a fish from the Brazilian Amazon. *Annals Parasitol.* 64, 121-128.

- Santos-Clapp, M.D., Brasil-Sato, M.C., 2014. Parasite Community of *Cichla kelberi* (Perciformes, Cichlidae) in the Três Marias Reservoir, Minas Gerais, Brazil. *Braz. J. Vet. Parasitol.* 23, 367-374.
- Scholz, T., Chambrier, A., Prouza, A., Royero, R., 1996. Redescription of *Proteocephalus macrophallus*, a parasite of *Cichla ocellaris* (Pisces: Cichlidae) from South America. *Folia Parasitol.* 43, 287-291.
- Sures, B., 2003. Accumulation of heavy metals by intestinal helminths in fish: an overview and perspective. *Parasitology* 126, 53-60.
- Sures, B., 2004. Environmental parasitology: relevancy of parasites in monitoring environmental pollution. *Trends Parasitol.* 20, 170-177.
- Sures, B., 2006. How parasitism and pollution affect the physiological homeostasis of aquatic hosts. *J. Helminthol.* 80, 151-157.
- Sures, B., Nachev, M., Selbach, C., Marcogliese, D.J., 2017. Parasite responses to pollution: what we know and where we go in 'Environmental Parasitology.' *Parasit. Vectors* 10, 1–19.
- Sures, B., Siddall, R., Taraschewski, H., 1999a. Parasites as accumulation indicators of heavy metal pollution. *Parasitol. Today* 15, 16–21.
- Sures, B., Steiner, W., Rydlo, M. & Taraschewski, H., 1999b. Concentrations of 17 elements in the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*), in different tissues of perch (*Perca fluviatilis*), and in perch intestinal parasites (*Acanthocephalus lucii*) from the subalpine lake Mondsee (Austria). *Environ. Toxicol. Chem.* 18, 2574-2579
- Sures, B., Taraschewski, M., Rydlo, M., 1997. Intestinal Fish Parasites as Heavy Metal Bioindicators: A Comparison Between *Acanthocephalus lucii* (Paleacanthocephala) and the Zebra Mussel, *Dreissena polymorpha*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 59, 14-21.
- Takemoto, R.M., Pavanelli, G.C., Lizama, M.A.P., Lacerda, A.C.F., Yamada, F.H., Moreira, L.H.A., Ceschini, T.L., Bellay, S., 2009. Diversity of parasites of fish from the Upper Paraná River floodplain, Brazil. *Braz. J. Biol.* 69, 691-705.
- Vidal-Martínez, V.M., Pech, D., Sures, B., Purucker, S.T., Poulin, R., 2009. Can parasites really reveal environmental impact? *Trends Parasitol.* 26, 44-51.
- Winemiller, K.O. 2001. Ecology of peacock cichlids (*Cichla* spp.) in Venezuela. *J. Aquaric. Aquat. Sci.* 9, 93-112.

- Villares Junior, G.A., Muller, L.G., Goitein, R., 2008. Alimentação de *Serrasalmus maculatus* (Kner, 1858) (Characiformes: Serrasalmidae) no trecho inferior bacia do rio Sorocaba, São Paulo, Brasil. Acta Scient. Biol. Sci. 30, 267-273.
- Yamada, F.H., Takemoto, R.M. 2013. Metazoan parasite fauna of two peacock-bass cichlid fish in Brazil. Check List 9, 1371-1377.