



ROTIFERA DE RESERVATÓRIOS COM DIFERENTES EXPOSIÇÕES ANTRÓPICAS EM UM FRAGMENTO PROTEGIDO DE MATA ATLÂNTICA

Alef Jonathan da Silva^{1}, Cláudio Simões de Morais Júnior¹, Felipe Antonio dos Santos¹, Susane Maria Fragoso da Silva², Tatiane Berta da Silva², Mauro de Melo Júnior¹ & Viviane Lúcia dos Santos Almeida de Melo²*

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Laboratório de Ecologia do Plâncton, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, CEP 52171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil.

² Universidade de Pernambuco, Campus Mata Norte, Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, Rua Amaro Maltez, nº 201, Centro, CEP 55800-000, Nazaré da Mata, PE, Brasil.

E-mails: a.lef93@hotmail.com (*autor correspondente); claudiosmjuniior@gmail.com; felipe_ozzy19@hotmail.com; susy.fragoso@hotmail.com; tianeberta@hotmail.com; mmelojunior@gmail.com; vls.almeida@yahoo.com.br

Resumo: Rotíferos são organismos geralmente planctônicos utilizados como indicadores da qualidade ambiental em corpos d'água, por apresentarem a capacidade de responderem rapidamente às variações do meio. O objetivo do presente estudo foi investigar se em uma mesma área protegida (Parque Estadual de Dois Irmãos, Pernambuco, Brasil), ambientes aquáticos submetidos a diferentes níveis de exposição antrópica apresentam atributos distintos da comunidade de rotíferos litorâneos. Foram avaliados quatro reservatórios, que foram agrupados em duas categorias de condições de exposição antrópica: (i) Expostos e (ii) Não Expostos, de acordo com as características ambientais do entorno dos reservatórios. Foram registradas 41 espécies, das quais 11 ocorreram nos quatro ambientes, e o gênero *Lecane* foi o mais rico em espécies ($S = 14$). A comunidade de rotíferos diferiu entre as duas condições de exposição, com uma maior riqueza e densidade encontrada para o grupo de reservatórios Expostos. A análise de grupos funcionais, através do índice de *Guild Ratio* (GR), resultou em maior dominância de micrófagos para o grupo de ambientes Expostos ($GR = -0,93$), em relação aos Não Expostos ($GR = -0,69$). Mesmo as duas condições de exposição tendo apresentado predominância de rotíferos de hábito alimentar micrófago, que são indicadores de degradação do ecossistema aquático, constatou-se uma menor representação desse grupo funcional nos reservatórios Não Expostos. Nossos resultados indicam que os rotíferos planctônicos litorâneos apresentam respostas confiáveis para a avaliação ambiental de reservatórios rasos, e que condições distintas de manejo podem influenciar o status ambiental de ecossistemas aquáticos de uma mesma área protegida.

Palavras-chave: bioindicadores; grupos funcionais; Guild Ratio Index; Unidade de Conservação; zooplâncton.

ROTIFERA FROM RESERVOIRS UNDER DIFFERENT ENVIRONMENTAL CONDITIONS IN A PROTECTED FRAGMENT OF ATLANTIC RAIN FOREST. Rotifers are generally planktonic organisms used as indicators of environmental quality in water bodies because they can quickly respond to environmental variations. The present research aimed to investigate whether in the same protected area (Dois Irmãos State Park, state of Pernambuco, Brazil) aquatic environments submitted to different levels of anthropic exposure present

different attributes of the community of littoral rotifers. Four reservoirs were evaluated and grouped into two categories according to antropic exposure conditions: (i) Exposed and (ii) Not Exposed, according to the environmental characteristics of the surroundings of the reservoirs. Forty-one species were recorded, of which 11 occurred in the four reservoirs, and the genus *Lecane* was the richest in species ($S = 14$). The rotifer community differed between both exposure conditions, with a greater richness and density found for the group of Exposed reservoirs. The analysis of functional groups, through the Guild Ratio index (GR), resulted in a higher dominance of microphages for the Exposed group ($GR = -0.93$), than for the Not Exposed group ($GR = -0.69$). Even though both exposure conditions were dominated by microphage rotifers, which are indicators of aquatic ecosystem degradation, a lower representation of this functional group was observed in the Not Exposed group of reservoirs. Our results indicate that coastal planktonic rotifers present reliable answers for the environmental evaluation of shallow reservoirs, and that different management conditions can influence the environmental status of aquatic ecosystems of the same protected area.

Keywords: bioindication; Conservation Unit; functional groups; Guild Ratio index; zooplankton.

INTRODUÇÃO

A comunidade zooplanctônica pode ser usada como instrumento de avaliação ambiental em ambientes aquáticos, indicando alterações, como a introdução de espécies exóticas, assoreamento, contaminação por esgotos domésticos ou industriais, entre outras (Barbosa *et al.* 2006). É notável que impactos ambientais antrópicos têm refletido no desequilíbrio das comunidades dos ecossistemas aquáticos, principalmente sobre o zooplâncton, podendo gerar a desestruturação dos demais níveis tróficos (Dantas-Silva & Dantas 2013). De fato, os diferentes usos e estratégias de manejo de reservatórios rasos afetam a constituição da biota como um todo, tendendo a reduzir a biodiversidade em condições eutróficas ocasionadas pelos impactos humanos (Moss 2017). Nesse contexto, a aplicação de índices biológicos para as comunidades zooplanctônicas em reservatórios em diferentes estados tróficos mostra-se sensível na avaliação da qualidade da água, evidenciando o potencial de organismos como os rotíferos na caracterização das condições ambientais de sistemas aquáticos (Almeida *et al.* 2012).

Os rotíferos respondem positivamente em situações de degradação dos ecossistemas com aumento do número de espécies e de indivíduos devido à capacidade de resposta rápida dos organismos às variações do ambiente onde se encontram (Cabianca & Sendacz 1985, Almeida *et al.* 2006). Sabe-se que os rotíferos são encontrados principalmente em águas continentais (Segers 2008) e apresentam geralmente maior riqueza na região litorânea de ecossistemas lênticos, como

os reservatórios, sobretudo devido à presença de vegetação promotora de maior espectro de nicho, quando comparada à região limnética (Maia-Barbosa *et al.* 2008). Além disso, o ciclo de vida curto desses animais, a capacidade de adaptação às mudanças ambientais e o fato de serem organismos caracterizados como oportunistas, condicionam os rotíferos a representarem a maior parte do zooplâncton de ambientes aquáticos continentais (Pereira *et al.* 2011). A comunidade de rotíferos possui a capacidade de responder ao processo de enriquecimento de nutrientes do ambiente (Balvay & Laurent 1990), estando assim relacionada à depleção da qualidade da água (Segers 2008). O aumento da condição de trofia dos ambientes também pode afetar a estrutura da comunidade dos rotíferos e acarretar o desaparecimento de espécies sensíveis à eutrofização (Segers 2008), causando o aumento da abundância de espécies consideradas tolerantes (Balvay & Laurent 1990, Landa *et al.* 2002).

Recentemente, um método baseado na diversidade funcional dos rotíferos foi proposto como métrica complementar às ferramentas usuais de densidade, dominância e diversidade de espécies. A análise consiste em uma abordagem baseada em grupos funcionais considerando o tipo de alimentação (espécies micrófagas *versus* raptorais), que permite avaliar a condição de trofia do ambiente (Obertegger *et al.* 2011). Espécies de rotíferos micrófagas podem ser beneficiadas em ambientes eutróficos, devido à alta concentração de nutrientes que resultam na quantidade e qualidade do alimento disponível, como pequenas algas, bactérias e detritos (Landa 2002). Os grupos funcionais indicariam a condição trófica e possíveis alterações sofridas

pelo ambiente, expressada no padrão alimentar da comunidade, ou em modificações resultantes das condições ambientais (Obertegger & Manca 2011). De forma geral, as condições ambientais podem influenciar a comunidade de rotíferos causando a diminuição da estrutura funcional (Arruda *et al.* 2017). A análise baseada em grupos funcionais pode ser outra ferramenta de mensurar a diversidade como indicador ambiental, aplicável em ambientes aquáticos, incluindo os que estão inseridos em Unidades de Conservação (UCs).

A criação de UCs surgiu como iniciativa fundamental para assegurar a preservação da biodiversidade e a utilização sustentável e regeneração dos ecossistemas (Hassler 2005), incluindo a manutenção da qualidade da água em muitos locais (Simões 2008). Entretanto, apesar dos avanços alcançados pelo Brasil nesta área (Farinha *et al.* 2017), o número de estudos ainda é pequeno para a extensão geográfica do país e para a quantidade de áreas protegidas, principalmente quando nos referimos aos ecossistemas aquáticos (Bittencourt & Paula 2012). Os diversos tipos de uso humano, como econômico, turístico e para lazer, são passíveis de algum impacto negativo a essas áreas (Vallejo 2013), sendo imprescindível a realização de estudos que considerem os resultados dos impactos sofridos, tipos e condições de uso dessas áreas. Essas informações são inerentes à realização de boas práticas de manejo e conservação. Baseado nessas informações, na presente pesquisa foi testada a seguinte hipótese: Ambientes aquáticos dentro de uma mesma UC, mas submetidos a diferentes condições de exposição antrópica, apresentam atributos distintos da comunidade de rotíferos litorâneos, como composição, riqueza, densidade, diversidade e estrutura funcional com maior participação numérica de rotíferos micrófagos nos reservatórios expostos à influência antrópica (*e.g.*, Obertegger & Manca 2011).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado no Parque Estadual Dois Irmãos (PEDI; 8°7'30" S e 34°52'30" W), composto por dois fragmentos de Mata Atlântica, com área total de 1.157,72 ha, localizado na Região Noroeste

do município do Recife, estado de Pernambuco, Brasil (Rodrigues & Silva 2014). O clima da região é do tipo tropical de monção (Am') baseado na classificação Köppen (Alvares *et al.* 2013); a estação chuvosa concentra-se entre os meses de março a agosto, com média de 239 mm, e a seca de setembro a fevereiro, com média de 68 mm, e temperatura média anual de 25°C (Pernambuco 2017). O PEDI abriga o zoológico da cidade do Recife, local de constante visitação de pessoas, e também quatro reservatórios: Dois Irmãos, Dentro, Meio e Prata (Tabela 1; Figura 1) (Silvestre & Carvalho 1998), os quais foram agrupados em duas categorias quanto à condição de exposição antrópica, baseado no fluxo de pessoas, ocorrência de vegetação ciliar e impactos ambientais em: (i) "Expostos" (Dois Irmãos e Dentro), sendo ambientes com fluxo contínuo de pessoas, vegetação ciliar pouca ou ausente, e presença de despejos de efluentes, e (ii) "Não Expostos" (Meio e Prata), com fluxo de pessoas restrito, cercados por vegetação ciliar e despejo de efluentes ausente (Tabela 1).

Etapas de campo e laboratório

Foram realizadas onze campanhas de amostragem com periodicidade aproximadamente mensal, entre setembro de 2013 e setembro de 2014. Para cada ambiente, foram definidos dois pontos fixos de coletas, próximos de áreas de maior influência antrópica, ambos situados na região litorânea dos reservatórios, geralmente com a presença de vegetação. As amostras foram obtidas a partir da filtração de 10 a 100 L de água com rede de plâncton de abertura de malha de 64 µm e fixadas com formol neutro a 4% (Expostos: N= 44, Não Expostos: N = 28). A quantidade de água filtrada foi condicionada à concentração de partículas em suspensão em cada etapa de amostragem. No laboratório, cada amostra foi analisada quali-quantitativamente através de subamostra de 1 mL, em câmara de Sedgwick-Rafter, a partir de microscópio óptico respeitando o número mínimo de 100 indivíduos. A identificação dos organismos seguiu as técnicas usuais para o grupo, baseada em bibliografia específica (*e.g.*, Koste 1978, Sládeček 1983), enquanto que a estimativa de biomassa de rotíferos foi obtida com a aplicação das equações de biovolume de Ruttner-Kolisko (1977). O uso dos valores de biomassa foi restrito ao método do *Guild Ratio* (ver mais adiante).

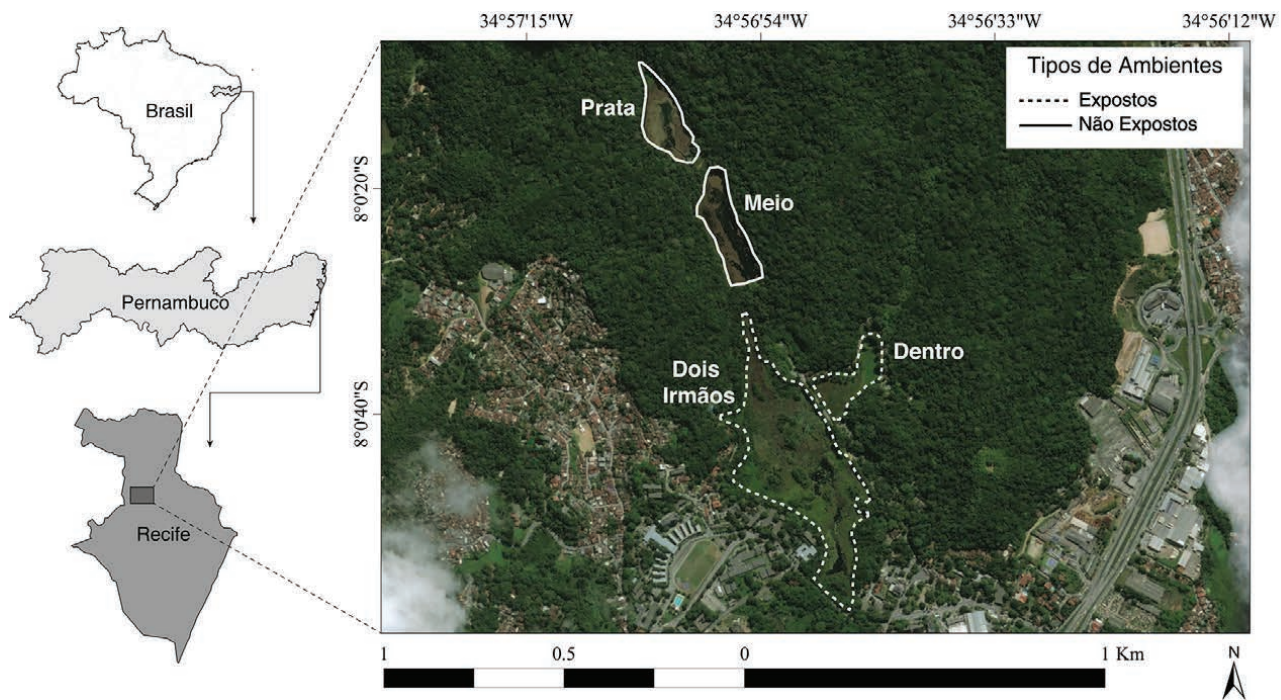


Figura 1. Reservatórios do Parque Estadual Dois Irmãos, estado de Pernambuco, Brasil, destacando as duas condições de exposição antrópica (Expostos = linha tracejada, Não Expostos = linha contínua).

Figure 1. Reservoirs of Dois Irmãos State Park, state of Pernambuco, Brazil, highlighting the conditions of anthropic exposure (Exposed = dashed line, Not Exposed = continuous line).

Tratamento e análise dos dados

Os atributos da comunidade de rotíferos foram avaliados quanto a sua composição, riqueza (S), densidade absoluta (ind. m⁻³) e relativa (%), e diversidade específica (série de Hill; ver mais adiante). Quanto aos grupos funcionais, os gêneros de rotíferos foram classificados em dois grupos de acordo com a estratégia alimentar definida pelo tipo de mástax, sendo: (i) Micrófagos (MIC): Maleado (*Anuraeopsis*, *Brachionus*, *Epiphanes*, *Euchlanis*, *Keratella*, *Lecane*, *Lepadella*, *Macrochaetus*, *Mytilina*, *Plationus*, *Platyias*, *Trichotria*), ramado (*Bdelloida*, *Rotaria*) e maleoramado (*Filinia*, *Testudinella*); e (ii) Raptoriais (RAP): Incudado (*Asplanchnopus*, *Asplanchna*) e vergado (*Trichocerca*). Devido ao amplo espectro de tamanho dos micrófagos, estes ainda foram divididos em dois subgrupos: Pequenos micrófagos (PMIC; tamanho ≤ 249 μm) e grandes micrófagos (GMIC; > 250 μm) (Moreira *et al.* 2016). A avaliação dos grupos funcionais foi realizada através do índice de *Guild Ratio* (GR), resultado do cálculo: $GR = R \text{ (biomassa raptorial - biomassa de micrófagos)} / R \text{ (biomassa total de rotíferos)}$. O resultado varia de -1 a +1, sendo que os valores $GR < 0$ indicam dominância micrófagos,

valores $GR > 0$ indicam dominância raptorial (Obertegger *et al.* 2011).

Para avaliar se a comunidade de rotíferos responde diferentemente quando submetidas a diferentes condições de exposição antrópica, as composições foram comparadas usando Análise de Variância Multivariada Não-Paramétrica (PERMANOVA), por meio de matriz de dissimilaridade com método de Bray-Curtis, pacote *Vegan* (Oksanen *et al.* 2016). Foi plotado um diagrama de Skaney, com o pacote *networkD3*, possibilitando a visualização contribuições de cada ambientes e cada espécie de rotíferos para a abundância registrada no estudo (Allaire *et al.* 2017). Para confirmar se existe diferença entre a densidade de rotíferos para as duas condições de exposição antrópica foi aplicado o Teste t de Student. Para as análises estatísticas o nível de significância utilizado foi $p < 0,05$. A riqueza estimada foi comparada entre ambas as categorias de ambientes estudados a partir de curvas de rarefação e extrapolação com base no esforço amostral (Chao & Jost 2012). Tais curvas foram plotadas com base na série de Hill com os índices de diversidade utilizando a riqueza de espécies, diversidade de Shannon (H') (Shannon & Weaver 1949) e Simpson (S') (Simpson 1949) sob

Tabela 1. Descrição ambiental dos reservatórios do Parque Estadual Dois Irmãos, estado de Pernambuco, Brasil.**Table 1.** Environmental description of the reservoirs of Dois Irmãos State Park, state of Pernambuco, Brazil.

Categoria	Expostos		Não Expostos	
	Dois Irmãos	Dentro	Meio	Prata
Reservatórios				
Coordenadas	8°00'41,7"S 34°56'50,0"W	8°00'38,3"S 34°56'47,3"W	8°00'27,0"S 34°56'55,7"W	8°00'15,7"S 34°57'01,9"W
Área	124.100 m ²	23.000 m ²	33.264 m ²	21.285 m ²
Profundidade máxima	3,76 m	3,25 m	6 m	5,59 m
Macrófitas presentes	Maior parte flutuante	Maior parte flutuante	Maior parte emersa e emergente	Maior parte emersa e emergente
Vegetação Ciliar	Presente (< 30%)	Ausente	Presente (> 75%)	Presente (> 75%)
Fluxo de pessoas	Contínuo fluxo de pessoas que visitam o PEDI	Contínuo fluxo de pessoas que visitam o PEDI	Acesso apenas de pessoas autorizadas	Acesso apenas de pessoas autorizadas
Impactos ambientais	1997 - Atual: descarte de resíduos sólidos de visitantes do PEDI; Anterior: tanques de piscicultura e entrada de esgoto clandestino.	Assoreamento e excreta dos animais silvestres do zoológico	Captação de água para o abastecimento urbano	Captação de água para o abastecimento urbano

as formas de diversidade verdadeira nas ordens q0, q1 e q2, respectivamente (Jost 2006). As unidades amostrais consideradas são constituídas de uma lista de espécies encontrada em cada visita ao campo e em cada ponto de coleta dos ambientes. Essa análise foi desenvolvida por meio do pacote *iNEXT* (Hsieh et al. 2016). Todas as análises foram realizadas utilizando o software R (R Development Core Team 2018).

RESULTADOS

Foram registradas 41 espécies de rotíferos compondo as comunidades litorâneas dos reservatórios estudados (Tabela 2), destacando-se o gênero *Lecane* por apresentar o maior número de espécies (S = 14). Os ambientes Expostos apresentaram o total de 35 espécies (14 exclusivas) e os Não Expostos, 27 espécies (6 exclusivas). Foram constatadas diferenças entre as comunidades de rotíferos dos grupos de reservatórios Expostos e Não Expostos através da PERMANOVA (p = 0,0036), sendo, portanto, uma medida indireta da

influência da condição ambiental sobre a estrutura das comunidades.

Nos ambientes Expostos, foram registrados 68% da densidade média total de rotíferos, enquanto que nos ambientes Não Expostos, apenas 32% (Figura 2). As espécies de rotíferos que mais contribuíram para a densidade média total no estudo foram *Rotaria rotatoria* (15%), *Lecane bulla* (13%), *Rotaria* sp. 2 (12%), *Lecane curvicornis* (7%), *Lecane papuana* (7%) e *Anuraeopsis fissa* (6%). Nos ambientes Expostos, as espécies mais representativas em densidade relativa foram *R. rotatoria* (20%), *L. bulla* (15%), *Rotaria* sp. 2 (14%) e *Lecane lunaris* (7%). Para os ambientes Não Expostos, *L. curvicornis* representou 19% do total, seguida por *L. papuana* (14%), *Macrochaetus collinsii* (10%) e *L. bulla* (8%).

A densidade de rotíferos variou com a condição de exposição (t = 2,26, p = 0,027, teste t) (Figura 3), sendo que os ambientes Expostos apresentaram os maiores valores (média ± D.P. = 22.548 ± 20.284 ind. m⁻³), mais que o dobro da média observada para os ambientes da condição Não Expostos (10.906 ± 16.313 ind. m⁻³). Nos ambientes Expostos, as

Tabela 2. Composição, riqueza taxonômica e grupo funcional dos rotíferos planctônicos dos reservatórios do Parque Estadual Dois Irmãos, estado de Pernambuco, Brasil, durante o período de setembro de 2013 a setembro de 2014. Grupos funcionais: RAP = raptoriais; PMIC = pequenos micrófagos; GMIC = grandes micrófagos. * Espécies de Rotifera que ocorreram em todos os ambientes estudados.

Table 2. Composition, taxonomic richness and functional group of the planktonic rotifers of the reservoirs of Dois Irmãos State Park, state of Pernambuco, Brazil, during the period from September 2013 to September 2014. Functional groups: RAP = raptorial; PMIC = small microphages; GMIC = large microphages. *Rotifera species that occurred in all studied environments.

Rotifera	Grupos de reservatórios		Grupo funcional
	Expostos	Não Expostos	
<i>Anuraeopsis fissa</i> (Gosse, 1851)*	X	X	PMIC
<i>Asplanchnopus hyalinus</i> Haring, 1913*	X	X	RAP
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse, 1850	X		RAP
Bdelloida	X		GMIC
<i>Brachionus calyciflorus</i> Brehm, 1909	X	X	PMIC
<i>Brachionus dolabratus</i> Haring, 1914		X	PMIC
<i>Brachionus falcatus</i> Zacharias, 1898	X	X	PMIC
<i>Brachionus</i> sp.	X		PMIC
<i>Epiphanes macroura</i> (Barrois e Daday, 1894)	X	X	PMIC
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1830	X		GMIC
<i>Euchlanis</i> sp.	X		GMIC
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)	X	X	PMIC
<i>Keratella tropica</i> (Apstein, 1907)	X	X	PMIC
<i>Keratella americana</i> Carlin, 1943		X	PMIC
<i>Lecane bulla</i> (Gosse, 1851)*	X	X	PMIC
<i>Lecane cornuta</i> (Müller, 1786)*	X	X	PMIC
<i>Lecane curvicornis</i> (Murray, 1913)*	X	X	PMIC
<i>Lecane furcata</i> (Murray, 1913)		X	PMIC
<i>Lecane glypta</i> Haring & Myers, 1926		X	PMIC
<i>Lecane leontina</i> (Turner, 1892)*	X	X	PMIC
<i>Lecane luna</i> (Müller, 1776)	X		PMIC
<i>Lecane lunaris</i> (Ehrenberg, 1832)	X	X	PMIC
<i>Lecane monostyla</i> (Daday, 1897)	X		PMIC
<i>Lecane papuana</i> (Murray, 1913)*	X	X	PMIC
<i>Lecane quadridentata</i> (Ehrenberg, 1830)*	X	X	PMIC
<i>Lecane ruttneri</i> Hauer, 1938	X	X	PMIC
<i>Lecane</i> sp.1		X	PMIC
<i>Lecane</i> sp.2	X		PMIC
<i>Lepadella patella</i> (Müller, 1773)	X		PMIC
<i>Macrochaetus collinsii</i> (Gosse, 1867)	X	X	PMIC
<i>Mytilina mucronata</i> (Müller, 1773)	X		PMIC
<i>Plationus patulus</i> (Müller, 1786)	X		PMIC
<i>Platyias quadricornis</i> (Ehrenberg, 1832)*	X	X	GMIC
<i>Rotaria rotatoria</i> (Pallas, 1766)*	X	X	GMIC

Tabela 2. Continua na próxima página...
Table 2. Continued on next page...

Tabela 2. ...Continuação
Table 2. ...Continued

Rotifera	Grupos de reservatórios		Grupo funcional
	Expostos	Não Expostos	
<i>Rotaria</i> sp.1	X		GMIC
<i>Rotaria</i> sp.2 *	X	X	GMIC
<i>Rotaria</i> sp.3	X	X	GMIC
<i>Testudinella patina</i> (Hermann, 1783)	X		PMIC
<i>Trichocerca</i> sp.1	X	X	RAP
<i>Trichocerca</i> sp.2		X	RAP
<i>Trichotria</i> sp.	X		PMIC
Riqueza de espécies	35	27	

espécies que mais contribuíram para a densidade apresentaram as seguintes médias: *R. rotatoria* (4.553 ± 10.760 ind. m^{-3}), *L. bulla* (3.408 ± 5.669 ind. m^{-3}), *Rotaria* sp. 2 ($3.193 \pm 4,968$ ind. m^{-3}) e *L. lunaris* (1.584 ± 2.506 ind. m^{-3}). Nos ambientes Não Expostos, destacaram-se *L. curvicornis* ($1.968 \pm$

7.658 ind. m^{-3}), *L. papuana* (1.465 ± 3.415 ind. m^{-3}), *M. collinsii* (1.083 ± 3.131 ind. m^{-3}) e *L. bulla* (893 ± 1.657 ind. m^{-3}).

De forma geral, ao observar as curvas plotadas para as condições de exposição antrópica, houve uma tendência de atingir a assíntota à medida que a

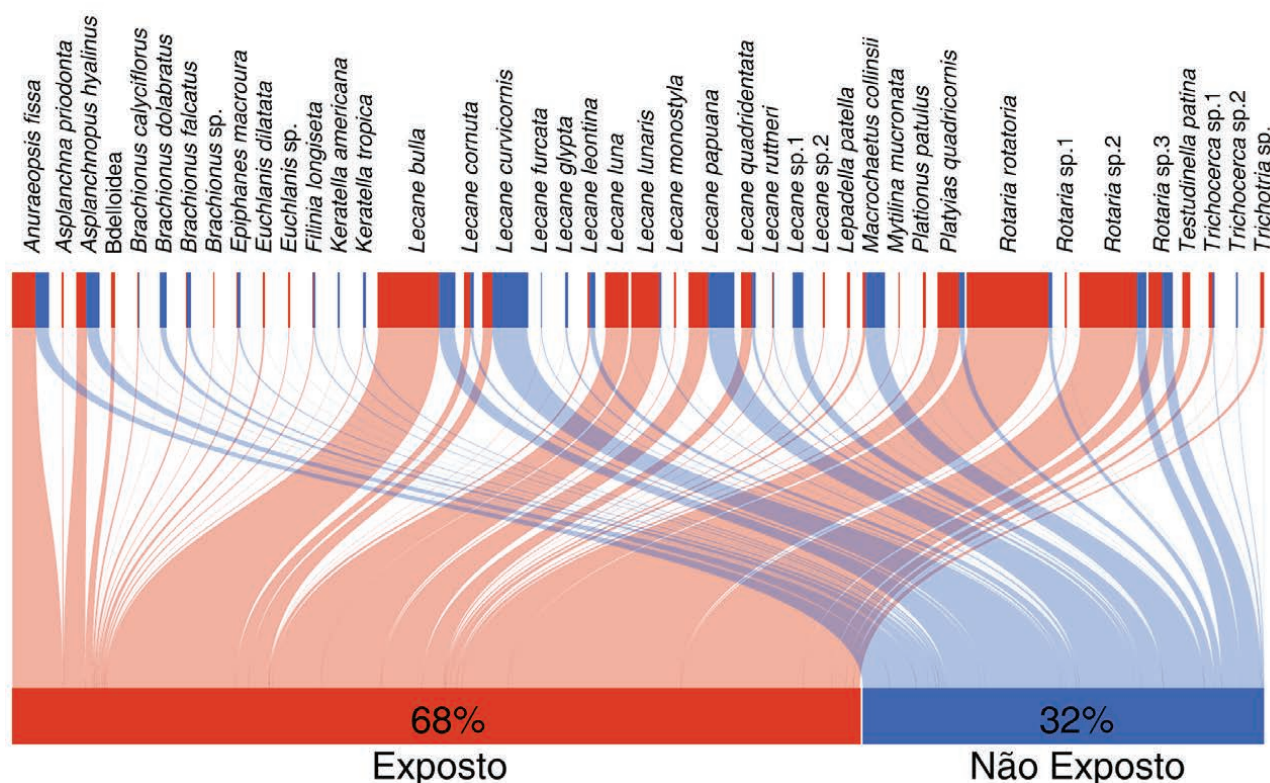


Figura 2. Diagrama de Sankey com a densidade relativa de rotíferos para as condições de exposição antrópica (Expostos e Não Expostos) e contribuições de cada espécie de rotíferos planctônicos dos reservatórios do Parque Estadual Dois Irmãos, estado de Pernambuco, Brasil, durante o período de setembro de 2013 a setembro de 2014.

Figure 2. Sankey diagram with relative density of rotifers regarding to environmental conditions of anthropic exposure (Exposed and Not Exposed) and contributions of each species of planktonic rotifers from reservoirs of Dois Irmãos State Park, state of Pernambuco, Brazil, during the period of September 2013 to September 2014.

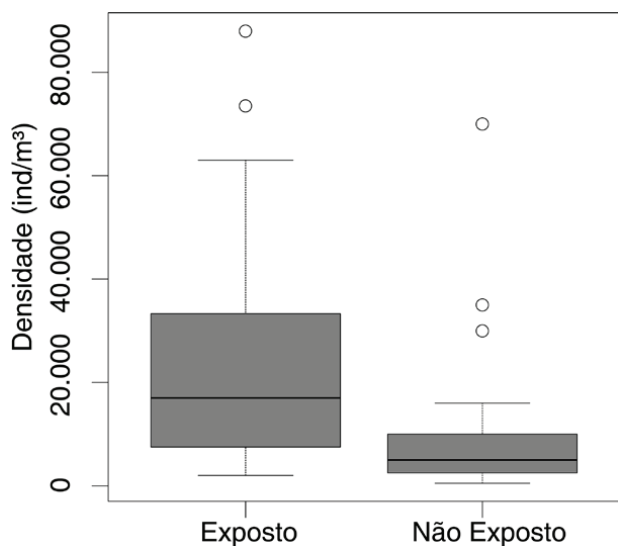


Figura 3. Boxplot de densidade de Rotifera (ind. m^{-3}) para as condições de exposição antrópica (Expostos e Não Expostos) dos reservatórios do Parque Estadual Dois Irmãos, estado de Pernambuco, Brasil, durante o período de setembro de 2013 a setembro de 2014.

Figure 3. Boxplot of rotifer density (ind. m^{-3}) according to environmental conditions of anthropic exposure (Exposed and Not Exposed) from the reservoirs of Dois Irmãos State Park, state of Pernambuco, Brazil, during the period from September 2013 to September 2014.

ordem de q aumenta, ou seja, quando se condiciona mais peso às espécies comuns. A riqueza de espécies está passível de aumentar fortemente em ambos os ambientes estudados. Por outro lado, ao observar a curva plotada com mais ênfase em espécies comuns (Simpson, $q = 2$), houve uma tendência de atingir a assíntota para os ambientes Expostos, enquanto que os ambientes Não Expostos tendem a ter maior riqueza (Figura 4).

Quanto à análise dos grupos funcionais, 37 espécies registradas são micrófagas, sendo 29 classificadas como PMIC ($\leq 249 \mu m$) e oito como GMIC ($> 250 \mu m$), e apenas quatro espécies são raptorais (Tabela 2). Para ambas as condições de exposição, foi observada maior densidade de PMIC, seguidos por GMIC (Figura 5). O grupo dos RAP teve maior participação relativa no grupo de reservatórios Não Expostos (Figura 5). O índice de GR indicou maior dominância de micrófagos no grupo Expostos (GR = -0,93), ao passo que para a categoria Não Expostos os micrófagos ainda foram dominantes, porém com valor menor (GR = -0,69).

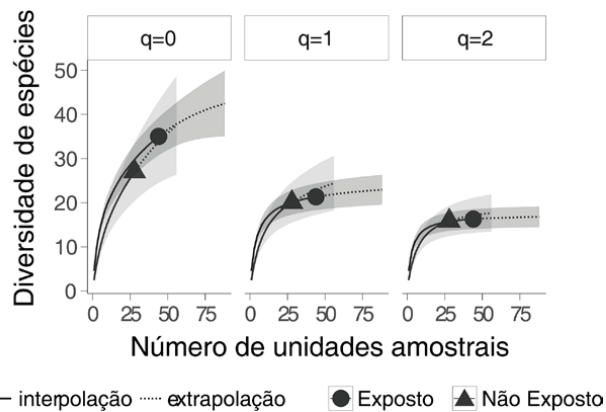


Figura 4. Curvas de rarefação e extrapolação para as condições de exposição antrópica (Expostos e Não Expostos), com a riqueza de espécies ($q = 0$), diversidade de Shannon ($q = 1$) e diversidade de Simpson ($q = 2$) considerando o número de amostras dos rotíferos planctônicos dos reservatórios do Parque Estadual Dois Irmãos, estado de Pernambuco, Brasil, durante o período de setembro de 2013 a setembro de 2014.

Figure 4. Rarefaction curves and extrapolation for both environmental conditions of anthropic exposure (Exposed and Not Exposed), with species richness ($q = 0$), Shannon diversity ($q = 1$) and Simpson diversity ($q = 2$) considering the number of sampling units for planktonic rotifers of the reservoirs of Dois Irmãos State Park, state of Pernambuco, Brazil, during the period from September 2013 to September 2014.

DISCUSSÃO

Nosso estudo indica que a condição de exposição antrópica pode afetar a comunidade de rotíferos litorâneos, alterando os atributos de composição, riqueza, densidade, diversidade e grupos funcionais. Esses resultados confirmam a hipótese proposta, uma vez que na Unidade de Conservação estudada, ambientes expostos a diferentes condições de antropização apresentaram comunidades de rotíferos distintas entre si.

A família Lecanidae apresentou maior número de espécies para as duas condições de exposição antrópica. A maior riqueza e densidade dessa família frequentemente está associada a regiões litorâneas, rasas e com rica vegetação (Neumann-Leitão & Nogueira 1986, Almeida *et al.* 2006, Pinese *et al.* 2015), condições observadas nos reservatórios do PEDI. As espécies *R. rotatoria* e *L. bulla* foram as que mais contribuíram em termos numéricos na condição Expostos. Essas espécies são beneficiadas por elevados índices de nutrientes e matéria

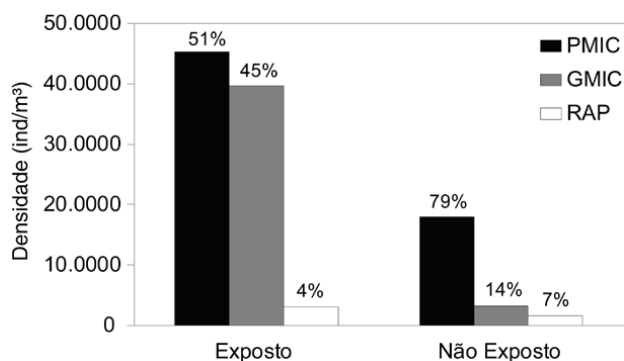


Figura 5. Densidade total por grupo funcional dos rotíferos (RAP = raptoriais; PMIC = pequenos micrófagos; GMIC = grandes micrófagos), para cada condição de exposição antrópica (Expostos e Não Expostos) dos reservatórios do Parque Estadual Dois Irmãos, estado de Pernambuco, Brasil, durante o período de setembro de 2013 a setembro de 2014.

Figure 5. Total density per rotifers functional group (RAP = raptorial; PMIC = small microphages; GMIC = large microphages), for each condition of anthropic exposure for the reservoirs of Dois Irmãos State Park, state of Pernambuco, Brazil, between 2013 and September 2014.

orgânica, reflexo de ações antrópica (Arimoro & Oganah 2010, Begum & Harikrishna 2010, Jorge-Filho *et al.* 2014, Arruda *et al.* 2017), confirmando que essas espécies são tolerantes a condições de alta produtividade.

A abundância da comunidade de rotíferos e participação relativa de espécies encontradas nesse estudo indicam respostas diferenciadas em atributos da comunidade, considerando o grau de exposição à antropização. A elevada abundância de rotíferos pode estar relacionada diretamente com a presença de impactos antrópicos, como o despejo de efluentes, ocasionando o aumento de nutrientes no ambiente (May *et al.* 2014). No presente estudo, as maiores densidades de rotíferos foram registradas para a condição que apresenta o maior grau de perturbação (*i.e.*, Expostos). Ambientes com maior grau de antropização, expressados por maiores concentrações de clorofila-a, nutrientes, e sólidos suspensos totais, tendem a apresentar maior densidade de rotíferos, por serem beneficiados por esses fatores (Brito *et al.* 2011).

A diversidade do zooplâncton nos ambientes sofre influência direta das condições antrópicas, as quais frequentemente acarretam na diminuição dessa diversidade e dominância de rotíferos

oportunistas (Dantas-Silva & Dantas 2013, Wen *et al.* 2017). Esta tendência foi registrada em nosso estudo para o grupo de ambientes Expostos. Por outro lado, é de conhecimento amplo que a quantidade de espécies raras tende a aumentar em ambientes Não Expostos a impactos humanos, pois neles as condições seriam favoráveis para o desenvolvimento de um maior número de populações (Moss 2017). Contudo, esse fato contraria o que foi observado no presente estudo bem como por Maia-Barbosa *et al.* (2014) em lagoas da bacia do rio Doce, nas quais o maior número de espécies de rotíferos foi encontrado em ambientes expostos à alteração humana. Além disso, o presente estudo mostrou que nos ambientes Expostos, embora o número de espécies tenha tendência ao aumento, a riqueza extrapolada tende a assíntota em ordens de q superiores, mostrando o efeito da grande abundância de algumas espécies frente à exposição a alterações antrópicas.

A análise de grupos funcionais resultou na dominância de micrófagos nas duas condições de exposição antrópica, porém tiveram maior participação para a condição Expostos, apontando para o elevado grau de influência humana, já que em um estudo prévio foi observado que há uma relação direta entre o estado de degradação na tipificação da água e a maior dominância desse grupo funcional (Obertegger & Manca 2011). Na condição Expostos, o valor de GR foi de -0,93, similar ao encontrado em ambientes hipereutróficos altamente impactado por piscicultura (GR entre -0,9 e -1), confirmando a predominância de micrófagos na comunidade de rotíferos (Arruda *et al.* 2017).

A comunidade de rotíferos pode responder a depleção ambiental causada por alteração dos níveis de nutrientes, devido às ações antrópicas, especialmente os teores de nitrogênio e fósforo no ambiente, que pode influenciar sobre o padrão alimentar dos rotíferos, influenciando sua composição e densidade populacional (Yin *et al.* 2018). Dessa forma, a dominância dos micrófagos na condição Expostos, assim como grande participação de GMIC, pode estar associada à maior quantidade de recurso alimentar disponível para os micrófagos. Outros estudos tem mostrado a dominância de micrófagos em reservatórios que sofrem com impactos antrópicos, sendo a maior parte composta pelos PMIC (Moreira

et al. 2016), confirmando a baixa diversidade e redundância funcional, provavelmente causadas pelas condições ambientais e recursos alimentares disponíveis. Tal fato ocorre por ambientes perturbados apresentarem teias alimentares mais simples, com grande participação de espécies tolerantes (Harig & Bain 1998). Neste contexto, o índice GR tem sido considerado como um excelente indicador de diminuição da qualidade da água oriunda de impactos humanos, uma vez que pode ser negativamente correlacionado com os valores elevados de clorofila *a* (Wen *et al.* 2017).

Implicações para a proteção de reservatórios em Unidades de Conservação

Através desse estudo é demonstrado novamente que os rotíferos podem ser utilizados como ferramenta para o monitoramento ambiental e que apresentam indícios confiáveis da condição em que os ambientes se encontram. O pequeno tamanho dos rotíferos e a falta de estudos abrangentes fizeram com que estes organismos dificilmente fossem utilizados na avaliação de estado trófico com intuito da conservação da biodiversidade (Segers 2008). Entretanto, o crescente número de estudos sobre esses organismos (Sládeček 1983, Segers 2008), sob diferentes abordagens, tem mostrado cada vez mais o potencial de uso como bioindicadores da qualidade ambiental. Sabe-se que é importante a manutenção de boas condições tróficas dos reservatórios, garantindo seus serviços ecossistêmicos e sociais, evitando a degradação desse recurso hídrico e o surgimento de problemas, que podem vir a acontecer pelo enriquecimento de nutrientes (Almeida *et al.* 2012) e, conseqüentemente, de florações algais (Liu & Qiu 2007). De acordo com a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (do inglês, *Millennium Ecosystem Assessment*) de 2005, os refúgios para a biodiversidade designados por órgãos governamentais como áreas protegidas têm um papel fundamental na manutenção dos serviços ecossistêmicos. Exemplo desta constatação recai sobre os quatro reservatórios do Parque Estadual de Dois Irmãos, cujas estratégias de manejo apontam comunidades de rotíferos distintas, em termos de composição, densidade, diversidade e estrutura funcional.

Considerando que as áreas de proteção ambiental desempenham o papel de manter e

recuperar serviços ecológicos, é imprescindível o aumento de estudos nesses locais e que contribuam para o desenvolvimento do conhecimento e para a caracterização do nível de degradação e/ou preservação dos ecossistemas aquáticos. Os resultados encontrados no presente estudo podem subsidiar tomadas de decisão sobre o estabelecimento de planos adequados de manejo de ambientes aquáticos protegidos, pois ampliam a importância da riqueza e diversidade de rotíferos no fornecimento de serviços ecossistêmicos dentro da unidade de conservação. Soma-se a isto o fato de esses animais apresentarem respostas rápidas, sobretudo com um esperado aumento na participação das espécies raptorais frente às condições de oligo-mesotrofia. Além disso, vários estudos mostram o papel dos rotíferos no fluxo de energia, na reciclagem de nutrientes e na produtividade dos ecossistemas de água continental (Peláez-Rodríguez & Matsumura-Tundisi 2002), mostrando que esses organismos possuem grande potencial de serem utilizados na avaliação da condição ambiental em unidades de conservação que apresentem diferentes estratégias de manejo em seus ecossistemas constituintes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade de Pernambuco pela concessão de bolsa de Iniciação Científica ao primeiro autor (Edital IC-PFAUPE-2014), à Companhia Independente de Policiamento do Meio Ambiente (CIPOMA) pela escolta da equipe de pesquisa para os açudes localizados no interior da reserva e à administração do Parque Estadual de Dois Irmão (PEDI), por autorizar a realização da pesquisa na reserva. Agradecemos também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsas de mestrado (Código de Financiamento 001), para os autores Alef Jonathan da Silva e Felipe Antonio dos Santos. Por fim, somos gratos aos revisores anônimos e à editora responsável, pelas sugestões e análises críticas do manuscrito.

REFERÊNCIAS

Allaire, J. J., Ellis, P., Gandrud, C., Owen, J., Russell, K., Rogers, J., & Sese, C. 2017. Package “networkD3” CRAN.

- Almeida, V. L. S., Larrazábal, M. E. L., Moura, A. D. N., & Melo-Júnior, M. 2006. Rotifera das zonas limnética e litorânea do reservatório de Tapacurá, Pernambuco, Brasil. *Iheringia, Série Zoologia*, 96(4), 445–451. DOI: 10.1590/S0073-47212006000400009
- Almeida, V. L. S., Melão, M. G. G., & Moura, A. N. 2012. Plankton diversity and limnological characterization in two shallow tropical urban reservoirs of Pernambuco State, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 84(2), 537–550.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- Arimoro, F. O., & Oganah, A. O. 2010. Zooplankton community responses in a perturbed Tropical stream in the Niger Delta, Nigeria. *The Open Environmental & Biological Monitoring Journal*, 3(1), 1–11. DOI: 10.2174/1875040001003010001
- Arruda, G. A., Diniz, L. P., Almeida, V. L. S., Neumann-Leitão, S., & Melo-Júnior, M. 2017. Rotifer community structure in fish-farming systems associated with a Neotropical semiarid reservoir in north-eastern Brazil. *Aquaculture Research*, 48(9), 4910–4922. DOI: 10.1111/are.13310
- Balvay, G., & Laurent, M. 1990. Evolution quantitative à long terme des rotifères au cours de l'eutrophisation du Lac Léman. *Aquatic Sciences*, 52(2), 162–175. DOI: 10.1007/BF00902378
- Barbosa, P. M. M., Brito, S., & Rietzler, A. C. 2006. Diversidade do zooplâncton de Minas Gerais. *Ciência Hoje*, 38(227), 67–73.
- Begum, A., & Harikrishna, S. 2008. Study on the quality of water in some streams of Cauvery River. *E-Journal of Chemistry*, 5(2), 377–384. DOI: 10.1155/2008/234563
- Bittencourt, L. A. F., & Paula, A. 2012. Análise cienciométrica de produção científica em Unidades de Conservação federais do Brasil. *Enciclopedia Biosfera*, 8, 2044–2054.
- Brito, S. L., Maia-Barbosa, P. M., & Pinto-Coelho, R. M. 2011. Zooplankton as an indicator of trophic conditions in two large reservoirs in Brazil. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 16(4), 253–264. DOI: 10.1111/j.1440-1770.2011.00484.x
- Cabianca, M. A. A., & Sendacz, S. 1985. Limnologia do reservatório do Borba (Pindamonhangaba, SP), II. Zooplâncton. *Boletim do Instituto de Pesca*, 12(3), 83–95.
- Chao, A., & Jost, L. 2012. Coverage-based rarefaction and extrapolation: Standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12), 2533–2547. DOI: 10.1890/11-1952.1
- Dantas-Silva, L. T., & Dantas, Ê. W. 2013. Zooplâncton (Rotifera, Cladocera e Copepoda) e a eutrofização em reservatórios do nordeste brasileiro. *Oecologia Australis*, 17(2), 53–58. DOI: 10.4257/oeco.2013.1702.06
- Farinha, M. J. U. S., Silva, L. E., & Bernardo, L. V. M. 2017. O estado da arte das Unidades de Conservação como instrumento de preservação da Biodiversidade Brasileira, *Espacios (Caracas)*, 38(7), 15.
- Harig, A. L., & Bain, M. B. 1998. Defining and restoring biological integrity in wilderness Lakes. *Ecological Applications*, 8(1), 71–87. DOI: 10.2307/2641312
- Hassler, M. L. 2005. A importância das Unidades de Conservação no Brasil. *Sociedade e Natureza*, 17(33), 79–89.
- Hsieh, T. C., Ma, K. H., & Chao, A. 2016. iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, 7(12), 1451–1456. DOI: 10.1111/2041-210X.12613
- Jorge Filho, S., Neumann-Leitão, S., Silva, T. D. A. E., & Melo-Júnior, M. 2014. Planktonic rotifers from a tropical estuary under high marine influence (Passos River, PE, Brazil). *Tropical Oceanography*, 42(3), 68–79. DOI: 10.5914/tropocean.v42i3.5770
- Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363–375. DOI: 10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x
- Koste, W. 1978. *Rotatoria Die Rädertiere Mitteleuropas, begründet von Max Voigt-Monogononta. 2. Auflage neubearbeitet von. Berlin: Gebrüder Borntraeger: p 673.*
- Landa, G. G., del Aguila, L. M. R., & Pinto-Coelho, R. M. 2002. Distribuição espacial e temporal de *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera) em um grande reservatório tropical (reservatório de Furnas), Estado de Minas Gerais, Brasil. *Acta Scientiarum - Biological Sciences*, 24(2), 313–319. DOI: 10.4025/actascibiolsci.v24i0.2272
- Liu, W., & Qiu, R. 2007. Water eutrophication in

- China and the combating strategies. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 82(9), 781–786. DOI: 10.1002/jctb.1755
- Maia-Barbosa, P. M., Menendez, R. M., Pujoni, D. G. F., Brito, S. L., Aoki, A., & Barbosa, F. A. R. 2014. Zooplankton (Copepoda, Rotifera, Cladocera and Protozoa: Amoeba Testacea) from natural lakes of the middle Rio Doce basin, Minas Gerais, Brazil. *Biota Neotropica*, 14(1), 1–20. DOI: 10.1590/S1676-06034040
- Maia-Barbosa, P. M., Peixoto, R., & Guimarães, A. 2008. Zooplankton in littoral waters of a tropical lake: a revisited biodiversity. *Brazilian Journal of Biology*, 68(4), 1069–1078. DOI: 10.1590/S1519-69842008000500014
- May, L., Spears, B. M., Dudley, B. J., & Gunn, I. D. M. 2014. The response of the rotifer community in Loch Leven, UK, to changes associated with a 60% reduction in phosphorus inputs from the catchment. *International Review of Hydrobiology*, 99(1–2), 65–71. DOI: 10.1002/iroh.201301705
- Moreira, F. W. A., Leite, M. G. P., Fujaco, M. A. G., Mendonça, F. P. C., Campos, L. P., & Eskinazi-Sant'Anna, E. M. 2016. Assessing the impacts of mining activities on zooplankton functional diversity. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 28(e7), 107. DOI: 10.1590/S2179-975X0816
- Moss, B. 2017. Ponds and small lakes: microorganisms and freshwater ecology. *Naturalists' Handbooks 32*. Exeter: Pelagic Publishing: p. 216.
- Neumann-Leitão, S., & Nogueira, J. D. D. C. 1986. Rotíferos, cladóceros e copépodos de Pernambuco. I. Algumas espécies que ocorrem em viveiros de cultivo de camarões de Nova Cruz. *Anais da Sociedade Nordestina de Zoologia*, 2(2), 87–118.
- Obertegger, U., & Manca, M. 2011. Response of rotifer functional groups to changing trophic state and crustacean community. *Journal of Limnology*, 70(2), 231–238. DOI: 10.3274/JL11-70-2-07
- Obertegger, U., Smith, H. A., Flaim, G., & Wallace, R. L. 2011. Using the guild ratio to characterize pelagic rotifer communities. *Hydrobiologia*, 662(1), 157–162. DOI: 10.1007/s10750-010-0491-5
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Roeland Kindt, P. L., McGlenn, D., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., & Wagner, H. 2016. *Vegan: community ecology package*. R package version 2.0-10.
- Peláez-Rodríguez, M., & Matsumura-Tundisi, T. 2002. Rotifer production in a shallow artificial lake (Lobo-Broa reservoir, SP, Brazil). *Brazilian Journal of Biology*, 62(3), 509–516. DOI: 10.1590/S1519-69842002000300016
- Pereira, A. P. S., Vasco, A. N., Britto, F. B., Mélo Júnior, A. V., & Nogueira, E. M. S. 2011. Biodiversidade e estrutura da comunidade zooplanctônica na Sub-bacia Hidrográfica do Rio Poxim, Sergipe, Brasil. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6(2), 191–205. DOI: 10.4136/ambi-agua.194
- Pernambuco. 2017. Agência Pernambucana de Águas e Clima. Monitoramento pluviométrico. Acesso em 13 de março de 2017, em <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/chuvas-rmr.php>
- Pinese, O. P., Pinese, J. F., & Del Claro, K. 2015. Structure and biodiversity of zooplankton communities in freshwater habitats of a Vereda Wetland Region, Minas Gerais, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 27(3), 275–288. DOI: 10.1590/S2179-975X0415
- R Development Core Team. 2018. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Rodrigues, M. F., & Silva, S. P. V. 2014. Plano de Manejo: Parque Estadual de Dois Irmãos. Recife-PE: SEMAS: p. 73.
- Ruttner-Kolisko, A. 1977. Suggestions for biomass calculations of planktonic rotifers. *Archiv Fur Hydrobiologie Beihefte*, 21, 71–76.
- Shannon, C. E., & Weaver, W. 1963. *The mathematical theory of communication*. Urbana, IL: University of Illinois Press: p 125.
- Segers, H. 2008. Global diversity of rotifers (Rotifera) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595(1), 49–59. DOI: 10.1007/s10750-007-9003-7
- Silvestre, A. N., & Carvalho, P. 1998. Bacia do Prata: aspectos qualitativos da água. In: I. Machado, A. Lopes, & K. Porto (Eds.), *Reserva ecológica de Dois Irmãos: Estudos em um remanescente de Mata Atlântica em área urbana*. pp. 51–64. Recife: Secretaria de Meio Ambiente-SECTMA.
- Simões, L. L. 2008. *Unidades de Conservação: conservando a vida, os bens e os serviços ambientais*. São Paulo: WWF-Brasil: p. 22.

- Simpson, E. H. 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163(4148), 688–688. DOI: 10.1038/163688a0
- Sládeček, V. 1983. Rotifers as indicators of water quality. *Hydrobiologia*, 100(1), 169–201. DOI: 10.1007/BF00027429
- Vallejo, L. R. 2013. Uso público em áreas protegidas: atores, impactos, diretrizes de planejamento e gestão. *Anais – Uso Público Em Unidades de Conservação*, 1(1), 13–26.
- Wen, X., Zhai, P., Feng, R., Yang, R., & Xi, Y. 2017. Comparative analysis of the spatio-temporal dynamics of rotifer community structure based on taxonomic indices and functional groups in two subtropical lakes. *Scientific Reports*, 7(1), 1–10. DOI: 10.1038/s41598-017-00666-y
- Yin, L., Ji, Y., Zhang, Y., Chong, L., & Chen, L. 2018. Rotifer community structure and its response to environmental factors in the Backshore Wetland of Expo Garden, Shanghai. *Aquaculture and Fisheries*, 3(2), 90–97. DOI: 10.1016/j.aaf.2017.11.001

Submetido em: 15/06/2018

Aceito em: 14/04/2019

Publicado online: 15/06/2019

Editores Associados: Ana Cláudia Delciellos, Izar Araújo Aximoff & Clarissa Alves da Rosa