

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CENTRO DE AQUICULTURA**

**Avaliação das condições limnológicas e
fauna associada de um "wetland" construído
em efluente de aquicultura**

ALINE MARCARI MARQUES

1310012204



Jaboticabal, SP

2016



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CENTRO DE AQUICULTURA

**Avaliação das condições limnológicas e
fauna associada de um "wetland" construído
em efluente de aquicultura**

Aline Marcari Marques

Orientadora: Prof^a Dra. Lúcia Helena Sipaúba Tavares

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura da UNESP - CAUNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Jaboticabal, SP

2016

CLAS	{	
TOMBO		

Marques, Aline Marcari
M357a Avaliação das condições limnológicas e fauna associada de um
"wetland" construído em efluente de aquicultura / Aline Marcari
Marques. -- Jaboticabal, 2016
iii, 46 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Centro
de Aquicultura da Unesp, 2016
Orientadora: Lúcia Helena Sipaúba Tavares
Banca examinadora: Maria da Graça Gama Melão; Maria Stela
Maioli Castilho Noll
Bibliografia

1. Planta aquática. 2. Fauna associada. 3. Aquicultura. 4.
Tratamento biológica. 5. Efluente. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de
Aquicultura da Unesp.

CDU 556.55

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação -
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

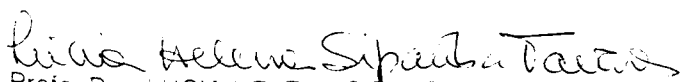
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Avaliação das condições limnológicas e fauna associada de um "wetland" construído em efluente de aquicultura

AUTORA: ALINE MARCARI MARQUES

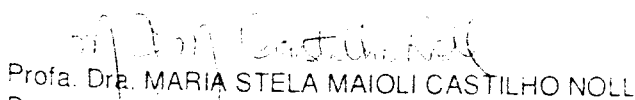
ORIENTADORA: LUCIA HELENA SIPAUBA TAVARES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AQUICULTURA, pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. LUCIA HELENA SIPAUBA TAVARES

Laboratório de Limnologia / Centro de Aquicultura da UNESP - CAUNESP



Profa. Dra. MARIA STELA MAIOLI CASTILHO NOLL

Departamento de Zoologia e Botânica - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - UNESP - Câmpus de São José do Rio Preto



Professor Adjunto MARIA DA GRAÇA GAMA MELÃO

Departamento de Hidrobiologia / UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Jaboticabal, 30 de junho de 2016

Dedico,

**Ao meu pai José e a minha mãe Dulce, as
pessoas mais importantes da minha vida
que sempre me deram força, incentivo e
exemplo de garra, dedicação e
competência.**

***“Todos os nossos sonhos podem se realizar se tivermos a coragem de
persegui-los.” (Walt Disney)***

AGRADECIMENTOS

À Profa Lúcia Helena Sipaúba Tavares pela oportunidade, confiança, pelas conversas, pela grande ajuda e valiosos ensinamentos durante estes dois anos e meio de convivência. Muitíssimo obrigada Professora pela possibilidade de realização e concretização de mais um sonho.

Aos amigos Rodrigo Ney Millan e a Fernanda Travaini de Lima por toda paciência, compartilhamento de informação e pela colaboração na realização das análises dos dados e nas análises estatísticas.

Ao Professor Antonio Sergio Ferraudo pelos ensinamentos, pela disposição e grande ajuda na realização e entendimento das análises estatísticas.

Aos meus companheiros de laboratório Iara C. Penariol, Bruno Scardoelli Truzzi, Taíse Florêncio, Lorena R. S. Peres, Juliane dos Santos Alves da Silva, Flávia, Érica, Ciça, e Fernanda o meu mais sincero obrigado pela grande ajuda durante a montagem e desenvolvimento de todo este trabalho, pelas conversas, debates, risadas e como deixar de lado o aprendizado em conjunto, pois cada um de vocês contribuiu para o meu crescimento pessoal e profissional.

A todos os funcionários do CAUNESP, que sempre me ajudaram, sendo extremamente solícitos e amigos. O meu mais sincero obrigado!

A minha amiga Cibele, que mesmo distante fisicamente, sempre foi muito presente. Suas palavras de ajuda, apoio e força sempre me motivaram a continuar em frente e a confiar mais em mim e em meu potencial.

A minha irmã, meus tios, tias e primos que sempre confiaram em mim e me incentivaram a alcançar todos os meus sonhos. Em especial agradeço as minhas tias Alexandrina e Élda que em todos os momentos que precisei me confortaram com sábias palavras de amor, carinho e incentivo! Todos vocês são um presente em minha vida, que eu não largo jamais!

Ao meu namorado Oswaldo J. A. Innocente, pela paciência, amor, gentileza, companheirismo e ajuda em todos os momentos de alegrias e, principalmente, dificuldades que passei na trilha deste sonho. Eu não poderia esperar atitudes melhores de você meu amor!

Aos maiores amores da minha, meu pai José e minha mãe Dulce, pois sem vocês isso nunca seria possível. Obrigada pelas conversas, pelo amor, pelo cuidado, pela amizade e pelas broncas! Vocês foram, são e sempre serão peças

fundamentais na minha vida! Obrigada por fazerem parte disso, obrigada pelo lindo, grandioso e valioso exemplo que são em minha vida!

APOIO FINANCEIRO

À FAPESP pela concessão do auxílio à pesquisa (Processo nº: 2014/24697-3) e da bolsa de mestrado (Processo nº: 2014/08186-9).

SUMÁRIO

	Pág.
Lista de figuras	I
Lista de tabelas	III
Resumo	1
Abstract	2
1. Introdução geral	3
2. Estudos de efluentes da fazenda de aquicultura do Caunesp	6
3. Fauna associada à <i>Eichhornia crassipes</i>	12
4. Objetivos	13
5. Referências bibliográficas	14
Capítulo I – Condições limnológicas e fauna associada à <i>Eichhornia crassipes</i> em um “wetlad” de uma fazenda de aquicultura	19
Resumo	20
Abstract	21
1. Introdução	22
2. Material e métodos	23
2.1. Área de estudo e implantação do “wetland”	23
2.2. Fauna associada à <i>Eichhornia crassipes</i>	25
2.3. Água e sedimento	25
2.4. Plantas	26
2.5. Fatores Climatológicos	27
2.6. Forma de análise dos dados	27
3. Resultados	28
4. Discussão	39
5. Conclusão	42
6. Referências bibliográficas	42

LISTA DE FIGURAS

Pág.

- Figura 1.** Imagem de satélite (Google Earth); **A.** Conjunto de viveiros e tanques do CAUNESP; **B.** Vista aproximada dos locais de estudo com “wetlands” em 1992 a 1999 (branco) e a partir de 2000 (vermelho). Linhas tracejadas indicam o efluente que alcança cada um dos canais 7
- Figura 2.** Sistema de entrada de água no CAUNESP. **A.** Conjunto de nascentes escoado para caixa de concreto; **B.** Viveiro 1 dominado por macrófitas. Seta vermelha indica saída de água do primeiro viveiro para o próximo viveiro. Imagens cedidas por: Profa Dra Lúcia Helena Sipaúba Tavares. 8
- Figura 3.** Vista do “wetland” no período de 1992 a 1999. **A. e B.** Evolução do “wetland” durante o ano de 1992; **C. e D.** Evolução do “wetland” em 1994/1999. Imagens cedidas por: Profa Dra Lúcia Helena Sipaúba Tavares. 9
- Figura 4.** Vista parcial do canal a partir de 2000, onde **EA** = Entrada de água da fazenda de aquicultura; **EC** = Entrada de água pluvial; **EB** = Entrada de resíduos dos biodigestores. 10
- Figura 5.** Procedimento de instalação do “wetland”. **A.** remoção do sedimento e material orgânico depositado; **B.** telas galvanizadas instaladas; **C.** “Wetland” alagado; **D.** “Wetland” com *Eichhornia crassipes*. 11
- Figura 6.** Procedimento de coleta da *Eichhornia crassipes* para amostragem da fauna associada. **A.** Uso de quadrante flutuante de 0,09 m²; **B.** Coleta manual de macrófitas por quadrante; **C.** Macrófitas armazenadas em baldes no transporte para o laboratório. 12
- Figura 7.** Procedimento, em laboratório, de lavagem das macrófitas. **A.** Lavagem das macrófitas de modo seqüencial até retirada completa do sedimento do rizoma; **B.** Amostras de água após a lavagem; **C.** Amostra sendo peneirada; **D.** Coleta manual de macroinvertebrados; **E.** Passagem

das amostras em rede com abertura de malha de 25 µm; **F.** Redução das amostras de água para posterior fixação e armazenamento. 13

Figura 8. Desenho esquemático do sistema de “wetland” construído, onde **A, B e C:** entradas de água provenientes da aquicultura, efluente de UASB (biodigestores) e escoamento de chuva, respectivamente; **E:** ponto de coleta antes do banco de *Eichhornia crassipes* (Entrada); **M:** ponto de coleta no meio do banco de *E. crassipes*..... 24

Figura 9. Variação mensal da precipitação e da temperatura na região em que se localiza o “wetland” durante o período experimental. 28

Figura 10. Gráfico biplot formado pelos dois primeiros componentes principais construídos com as variáveis ortofosfato (Orto-P); fósforo total (P-total); sólidos totais dissolvidos (STD); clorofila-a (Clo-a); demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅); amônia (NH₄); turbidez (Turb); sólidos totais solúveis (STS); temperatura (Temp); pH; coliformes termotolerantes (CT); nitrito (NO₂); nitrato (NO₃); alcalinidade (Alc); condutividade (Cond) e oxigênio dissolvido (OD) mensuradas nos pontos de coleta antes do banco de *E. crassipes* 1ª etapa (E1); no meio do banco de *E. crassipes* 1ª etapa (M1); antes do banco de *E. crassipes* 2ª etapa (E2); no meio do banco de *E. crassipes* 2ª etapa (M2). 29

Figura 11. Gráfico biplot formado pelos dois primeiros componentes principais construídos com os nutrientes de composição: MO; P; K; Ca; Mg; B; Cu; Fe; Mn; Zn; Al; N, e pH mensuradas nos pontos de coleta antes do banco de *Eichhornia crassipes* 1ª etapa (E1); no meio do banco de *E. crassipes* 1ª etapa (M1); antes do banco de *E. crassipes* 2ª etapa (E2); no meio do banco de *E. crassipes* 2ª etapa (M2).....31

Figura 12. Abundância relativa (%) da fauna associada à raiz da *Eichhornia crassipes* mantida em sistema de “wetland” construído durante duas etapas de crescimento da macrófita, sendo que Outros = Nematoda, Mollusca e Platyhelminthes. O tempo em dias foi considerado a partir do momento em que a *E. crassipes* foi colocada no “wetland”, sendo que o dia 1 a macrófita não apresentava fauna associada a sua raiz.....37

LISTA DE TABELAS

Pág.

Tabela 1. Correlação entre as variáveis originais de qualidade de água e as componentes principais (CP)	30
Tabela 2. Correlação entre as variáveis originais do sedimento e as componentes principais (CP)	31
Tabela 3. Biomassa, médias e desvio-padrão do comprimento do rizoma de <i>Eichhornia crassipes</i> durante as duas etapas de crescimento.....	32
Tabela 4 Acúmulo (mgPS m^{-2}) dos macro e micronutrientes em <i>Eichhornia crassipes</i> durante cada etapa de crescimento	33
Tabela 5. Composição e frequência da fauna associada à raiz da <i>Eichhornia crassipes</i> em um “wetland” construído. + = presença; - = ausência; A = abundante; D = dominante	34
Tabela 6. Análises quantitativas dos taxa de fauna associada: densidade (org. m^{-2}), riqueza, índice de Shannon–Wiener (H') na coletas realizadas nas duas etapas de crescimento da <i>E. crassipes</i> , sendo Outros = Nematoda, Mollusca e Platyhelminthes	38

RESUMO

As plantas aquáticas são componente importante de um “wetland” construído utilizado para tratamento de efluentes de aquicultura, devido a sua habilidade de absorver nutrientes da água. Estas macrófitas possibilitam melhores condições para microrganismos aquáticos que auxiliam na melhora da qualidade de água. O presente estudo objetivou avaliar o crescimento, a composição química e a fauna associada à *Eichhornia crassipes*, e as condições físicas e químicas da água e sedimento em um “wetland” (21°11’S; 48°18’O) de uma fazenda de aquicultura, em duas etapas de crescimento da macrófita (Fevereiro à Maio e Julho à Outubro de 2014). A fauna associada a *E. crassipes* foi amostrada com quadrantes flutuantes (0,09m²); as macrófitas foram lavadas e o plâncton e macrofauna foram fixadas com formalina a 4%; as espécies foram identificadas e contadas. Diptera, Odonata, Rotifera, Copepoda, Protozoa, Ostracoda and Nematoda estiveram presentes em todas as coletas nas duas etapas de crescimento da *E. crassipes*. *Vorticella* sp. foi o gênero dominante nas duas etapas, sendo que Protozoa e Rotifera apresentaram maior abundância. A 1ª etapa de crescimento apresentou maiores valores de nitrogênio e fósforo na água e a 2ª etapa a maior retenção de nutrientes no sedimento antes do banco de aguapé. De acordo com os resultados obtidos foi possível comprovar que o tempo máximo que a *E. crassipes* deve ser mantida no “wetland” para retenção dos resíduos provenientes da aquicultura é de 60 dias, sendo necessária a retirada total após este período. O aumento da diversidade e da riqueza de espécies foram acompanhados com o crescimento da biomassa do aguapé no período de menor precipitação, mas não houve relação com a qualidade de água e de sedimento. O papel da macrófita é importante para manter a alta diversidade de organismos, mas também para manter qualidade da água do efluente devido a acumulação de nutrientes na biomassa vegetal.

Palavras chave: planta aquática, fauna associada, aquicultura, tratamento biológico, efluente

ABSTRACT

The aquatic plants are a relevant component of a constructed wetland for the treatment of aquaculture effluents due to their capacity in absorbing nutrients from water. The macrophytes provide better conditions for aquatic microorganisms to improve water quality. Current research evaluated the growth, chemicals composition and fauna associated with *Eichhornia crassipes*, the physical and chemical conditions of water, and sediment within the system for effluent treatment on an aquaculture farm (21°11'S; 48°18'W) at two growth periods of aquatic plant growth (February to May and July to October 2014). Fauna associated to *E. crassipes* were sampled with floating quadrants (0.09 m²); the macrophytes were washed and the plankton and macrofauna were fixed with 4% formalin; the specimens were then identified and counted. Diptera, Odonata, Rotifera, Copepoda, Protozoa, Ostracoda and Nematoda occurred at all collections in both periods of *E. crassipes* growth. *Vorticella* sp. was the predominant genus in the two periods; Protozoa and Rotifera species were the most abundant. The first period of growth revealed higher nitrogen and phosphorus rates in the water, whilst in the second period there was a greater nutrient retention in the sediment in front of the stand of macrophyte. Results showed that 60 days is the maximum time that *E. crassipes* may be maintained in the wetland to retain wastes from aquaculture; after this period biomass and the accumulation of nutrients in the vegetal tissue decreased. Total removal is mandatory after this period. Increased diversity and species richness followed the growth of biomass of aquatic plant in period of low rainfall, but with no relationship with water quality and sediment. The role of macrophytes is important for maintaining high diversity of organisms, but also to maintaining desirable water-effluent quality due to the accumulation of nutrients in the vegetal biomass.

Keywords: aquatic plant, associated fauna, aquaculture, biological treatment, effluent

1. INTRODUÇÃO GERAL

A aquicultura é uma atividade de produção de organismos aquáticos, tais como peixes, camarões, rãs e algas (SIDONIO et al., 2012), extremamente dependente das condições da água, mas causadora de impacto ambiental (CYRINO et al., 2010; AMÉRICO et al., 2013) devido à descarga de elevadas concentrações de nitrogênio e fósforo, eutrofizando os corpos de água doce, com consequente aumento da biomassa fitoplanctônica, produtividade e do consumo de oxigênio (ZHOU et al., 2011).

Em piscicultura, o excesso de nutrientes (nitrogênio e fósforo) advém principalmente do arraçamento e da fertilização excessiva (SIPAÚBA-TAVARES et al., 2010). Da ração administrada aos peixes, parte é ingerida e absorvida, outra parte é mineralizada por meio de processos metabólicos e grande parte não é consumida e, conseqüentemente, torna-se resíduo (CYRINO et al., 2010; SIPAÚBA-TAVARES, 2013). A fertilização é utilizada em tanques e viveiros com a finalidade de aumentar a biomassa fitoplanctônica, para servir de alimento aos organismos aquáticos (SIPAÚBA-TAVARES et al., 2010).

O processo de eutrofização dos efluentes dos sistemas de aquicultura e dos corpos hídricos adjacentes é intensificado com o crescimento da produção de pescados em função do acúmulo da carga orgânica e inorgânica provenientes dos sistemas de criação de organismos aquáticos (ROCHA et al., 2013; SIPAÚBA-TAVARES, 2013).

O tratamento de efluentes em aquicultura promove redução do impacto desta atividade (SIPAÚBA-TAVARES et al., 2002; HENRY-SILVA e CAMARGO, 2008), mantendo o funcionamento do ecossistema aquático e possibilitando o reuso para diversas atividades (SRIVASTAVA et al., 2008). A redução dos resíduos gerados a partir das atividades de aquicultura será cada vez mais importante à medida que as normas ambientais se tornam mais rigorosas, sendo indispensável o uso de tecnologias para o manejo de resíduos, de modo a manter a legalidade, a rentabilidade e a sustentabilidade de qualquer empreendimento (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2008).

Uma alternativa segura, aplicável, de baixo custo de construção e manutenção, e de sucesso para o tratamento de diferentes efluentes aquícolas,

com flexibilidade do local a ser implantado, controle das vias hidráulicas e do tempo de retenção são os “wetlands” (KUMAR e ZHAO, 2011; VYMAZAL, 2014).

“Wetlands” caracterizam-se por apresentar solos encharcados, plantas adaptadas e capacidade de redução ou remoção de diferentes componentes na água (SIPAÚBA-TAVARES, 2013). “Wetland” construído é uma biotecnologia para o tratamento de águas residuais, que utiliza processos naturais envolvendo: vegetação aquática, solo e microrganismos associados (VYMAZAL, 2014). Os processos que ocorrem neste sistema de tratamento são, por exemplo, a sedimentação, a precipitação, a adsorção, a assimilação pelos tecidos das plantas e a transformações microbianas (VYMAZAL, 2010; KUMAR e ZHAO, 2011; ZHANG et al., 2015).

Dentre os vários tipos de “wetlands” construídos, os que apresentam fluxo superficial livre, caracterizados pela presença de uma lâmina de água sobre o solo com plantas enraizadas ou não (PIO et al., 2013), são eficazes em restaurações ecológicas de rios poluídos (ZHANG et al., 2015). Estes sistemas possibilitam maiores taxas de remoção de nutrientes do que em locais com apenas solo filtrante, porém ambos apresentam capacidade de melhorar a água residual em fazendas de aquicultura (MILLAN et al., 2014).

As plantas aquáticas nestes sistemas de tratamento removem, em função da capacidade que apresentam em reter em sua biomassa, excessiva carga de nutrientes da água, agindo como armadilhas para a matéria particulada, absorvendo íons minerais e influenciando a retenção de metais. As plantas aquáticas favorecem a sedimentação, retardam o fluxo de água e reduzem a ressuspensão do sedimento (SRIVASTAVA et al., 2008).

Uma variedade de plantas aquáticas pode ser utilizada em sistemas de tratamento de água, dentre elas é possível destacar a *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, popularmente conhecida como aguapé, que é uma macrófita de forma biológica flutuante que apresenta grande potencial para fitorremediação em ambientes eutrofizados (PALMA-SILVA et al., 2012). Pode crescer em diferentes tipos de ambientes úmidos, tais como lagos, córregos, lagoas, rios e áreas de remanso (AKHTER, 2013). Esta macrófita tem ganhado grande importância em função da elevada capacidade de retenção de nutrientes de ambientes aquáticos eutrofizados, acumulando-os em sua biomassa e metabolizando-os para seu crescimento e proliferação (REZANIA et al., 2015).

Para manter o potencial de absorção das macrófitas aquáticas é necessária a realização de manejo periodicamente com a finalidade de manter a densidade ótima no local, visto que o crescimento e a concentração de nutrientes no tecido vegetal são fatores limitantes do potencial de absorção destas plantas aquáticas (VYMAZAL, 2007). As plantas aquáticas, além de possibilitar a aceleração da ciclagem de nutrientes e influenciar na química da água, atuam como substrato para o estabelecimento de algas e ainda sustentam cadeias alimentares e de detritos (POMPÊO, 2008), sendo que o rizoma é o local de interação das plantas flutuantes, microrganismos, solos, poluentes e os processos físico-químicos e biológicos (AKINBILE e YUSOFF, 2012).

As plantas aquáticas possibilitam a estruturação de microhabitats para diversos microrganismos, tais como zooplâncton, micro e macroinvertebrados e peixes, podendo influenciar as relações existentes entre as espécies que ali habitam (THOMAZ e CUNHA, 2010; ROCHA et al., 2012), e oferecer abrigo e melhores condições de oxigênio e alimento (OHTAKA et al., 2011). O alimento fornecido pelas macrófitas é caracterizado como um importante recurso alimentar, podendo ser alimento vivo (para herbivoria) e matéria orgânica morta para animais detritívoros (THOMAZ e CUNHA, 2010).

A maior biomassa de macrófitas promove maior complexidade estrutural de microhabitats, o que possibilita maiores oportunidades para o zooplâncton explorar os recursos, aumentando sua diversidade. As macrófitas do tipo livre flutuantes e submersas são de grande importância para sustentar elevada abundância da população de zooplâncton, com predominância de espécies epifíticas, tais como: *Lecane sp.*, *Monostyla sp.* e *Trichocerca sp.* (CHOI et al., 2014).

Sipaúba-Tavares e Dias (2014) relataram que associado às macrófitas aquáticas *Eichhornia azurea* e *Salvinia auriculata*, de reservatório de abastecimento em uma fazenda de aquicultura, ocorreu a presença de Rotifera, Cladocera, Protozoa, Copepoda, Insecta, Ostracoda e Oligochaeta, sendo este último comumente encontrado associado às macrófitas. Com relação ao fitoplâncton, Zygnematomyxaceae, Chlorophyceae, Bacillariophyceae, Cyanobacteria, Oedogoniophyceae e Microsporaceae estiveram correlacionadas com a biomassa das plantas aquáticas.

O controle das macrófitas sobre a comunidade de fitoplâncton pode ser realizado pela competição direta por nutrientes, e pela disponibilização de habitats para invertebrados (SAYDER et al., 2010), podendo consequentemente, afetar o zooplâncton e os macroinvertebrados, interferindo em níveis tróficos superiores (CHOI et al., 2014). Alguns outros fatores podem afetar a densidade de organismos associados às macrófitas, tais como diversidade de plantas aquáticas e espécie de planta dominante, possibilitando maior abundância e número de espécies zooplanctônicas (CHOI et al., 2014). A acidez da água e a produtividade primária podem determinar a distribuição e a abundância de animais sésseis (OHTAKA et al., 2014). O aumento da cobertura vegetal pode afetar negativamente a diversidade de invertebrados associados, devido à competição por oxigênio dissolvido e também em função da qualidade da água (NGUYEN et al., 2015), possibilitando o aumento na diversidade de invertebrados nas bordas do banco de macrófitas (VILLAMAGNA e MURPHY, 2010).

Os diferentes microrganismos associados às plantas apresentam um papel de grande importância em “wetlands” para a transformação e mineralização de nutrientes (STOTTMEISTER et al., 2003), visto que estes microrganismos alimentam-se de diferentes componentes dos resíduos provenientes dos sistemas de criação de organismos aquáticos, metabolizando a matéria orgânica e oxidando amônia a nitrato pelas bactérias, funcionando como agente despoluidor ou mesmo como um competidor primário, principalmente na ocorrência de florescimento de algas (OLSON et al., 1998; CALHEIROS et al., 2007).

2. ESTUDOS DE EFLUENTES DA FAZENDA DE AQUICULTURA DO CAUNESP

O estudo de tratamento de efluente em aquicultura do CAUNESP, utilizando macrófitas aquáticas, vem sendo realizado desde 1992, com aprimoramento no tratamento do efluente de aquicultura através do uso de diversas plantas aquáticas, de material orgânico, de pedras como substrato para microrganismos, entre outros.

A fazenda de aquicultura do CAUNESP é composta por seis viveiros, com áreas variando entre 2.506 e 8.067 m², e por pequenos viveiros e tanques, com áreas de 50 a 100 m², berçários e estufas para a produção de pós-larvas, engorda

e manutenção de reprodutores de peixes, rãs e camarões de água doce (SIPAÚBA-TAVARES, 2013) (Figura 1A). Este sistema de produção apresenta estrutura em disposição sequencial com fluxo contínuo de água que passa diretamente de um viveiro para o outro sem tratamento prévio (Figura 1A). O tratamento do efluente da fazenda vem sendo realizado desde 1992 utilizando “wetlands” construídos localizados aproximadamente a $21^{\circ}15'S$ e $48^{\circ}18'O$, paralelamente ao sexto viveiro (Viveiro 6) (Figura 1B).

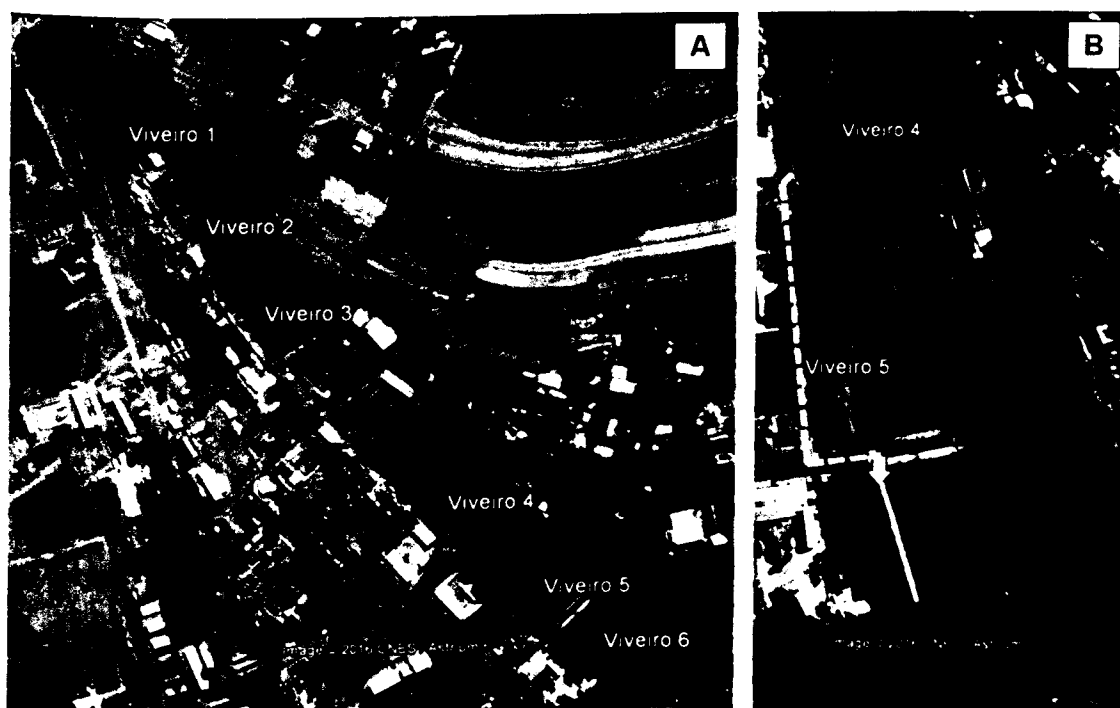


Figura 1. Imagem de satélite (Google Earth); **A.** Conjunto de viveiros e tanques do CAUNESP; **B.** Vista aproximada dos locais de estudo com “wetlands” em 1992 a 1999 (branco) e a partir de 2000 (vermelho). Linhas tracejadas indicam o efluente que alcança cada um dos canais.

Nesta fazenda, o suprimento de água ocorre através de várias nascentes canalizadas (Figura 2A), as quais são conduzidas para o primeiro viveiro que funciona como reservatório de água. Este viveiro apresenta área de 2816 m² e algumas espécies de peixes que ali permaneceram quando há aproximadamente cinco anos atrás se tornou um reservatório de abastecimento para a aquicultura deste local. Este reservatório é dominado por macrófitas aquáticas flutuantes

livres e emergentes enraizadas (*Salvinia auriculata* e *Eichhornia azurea*) (Figura 2B).



Figura 2. Sistema de entrada de água no CAUNESP. **A.** Conjunto de nascentes escoado para caixa de concreto; **B.** Viveiro 1 dominado por macrófitas. Seta vermelha indica saída de água do primeiro viveiro para o próximo viveiro. Imagens cedidas por: Profa Dra Lúcia Helena Sipaúba Tavares.

Nos primeiros estudos de tratamento de água residual, conduzidos de 1992 a 1999 (Figura 3), foi utilizada a macrófita *Eichhornia crassipes*, sendo que o “wetland” recebia água diretamente do quarto viveiro sequencial (Viveiro 4, Figura 1A e B-seta branca), o qual apresenta, até hoje, condições de água inadequadas devido à descarga direta do efluente do setor de ranicultura neste viveiro. O tratamento de água neste primeiro local foi para atender a piscicultura pertencente ao Colégio Técnico Agrícola da UNESP (CTA) localizada do outro lado da estrada Via de Acesso Professor Paulo Donato Castellane.

Com a canalização deste local pelo CTA, outro canal localizado paralelamente a este foi aproveitado (Figura 1B-seta vermelha). Este novo canal, onde atualmente está situado o “wetland” construído (Figura 1B), é o principal receptor do efluente de toda a fazenda de aquicultura do CAUNESP, exceto do último viveiro (viveiro 6), que também recebe diretamente o efluente da fazenda como água de abastecimento (SIPAÚBA-TAVARES et al., 2010). O canal onde está localizado o “wetland” estudado também recebe efluentes de biodigestores do processamento de fezes bovinas (UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket – Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo), proveniente do

Departamento de Engenharia Rural, e também da água de chuva que escoar, da região mais elevada da Universidade (Figura 4). Ao final do “wetland” a água é conduzida por um canal subterrâneo e outro semi aberto até desaguar no córrego Jaboticabal.

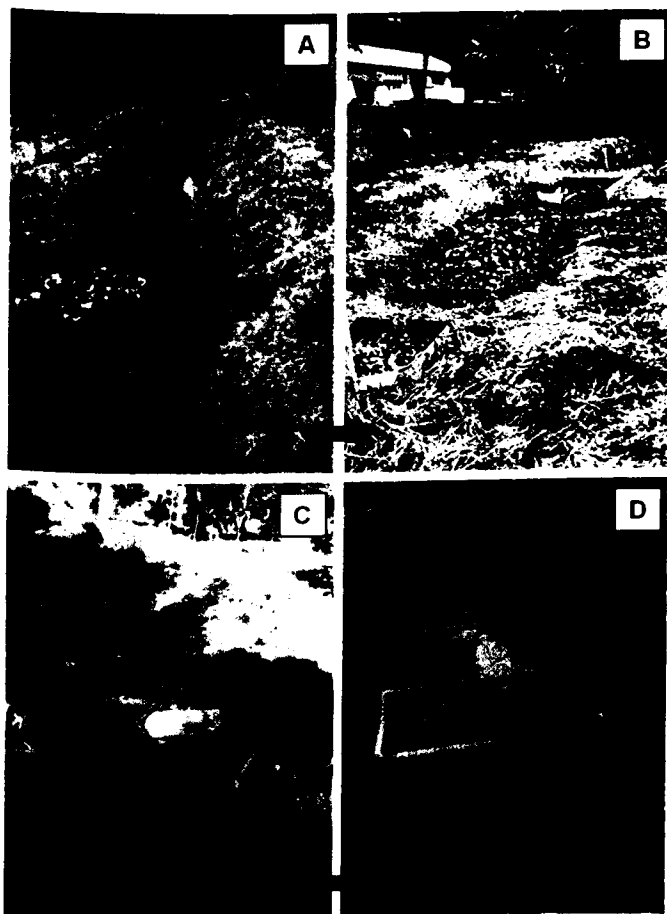


Figura 3. Vista do “wetland” no período de 1992 a 1999. **A.** e **B.** Evolução do “wetland” durante o ano de 1992; **C.** e **D.** Evolução do “wetland” em 1994/1999. Imagens cedidas por: Profa Dra Lúcia Helena Sipaúba Tavares.

O “wetland” possui área de 70 m² e 0,3 m de profundidade, por onde a água flui sobre o solo tipo latossolo vermelho-escuro e com textura argilosa (Figura 4). No período de 2002 e 2003 foram realizados experimentos utilizando *Typha domingensis* e *Eichhornia crassipes*. Posteriormente em 2003 e 2004, neste canal, com dimensões ampliadas em relação à largura e profundidade, foram utilizadas diferentes plantas aquáticas enraizadas como *Alternanthera philoxeroides*, *Heteranthera reniformis*, *Hydrocotyle umbeliferae*, *Ludwigia*

elegans, *Ludwigia sericea*, *Myriophyllum aquaticum* e *Typha domingensis*, além da macrófita flutuante *Eichhornia crassipes* (SIPAÚBA-TAVARES e BRAGA, 2008).

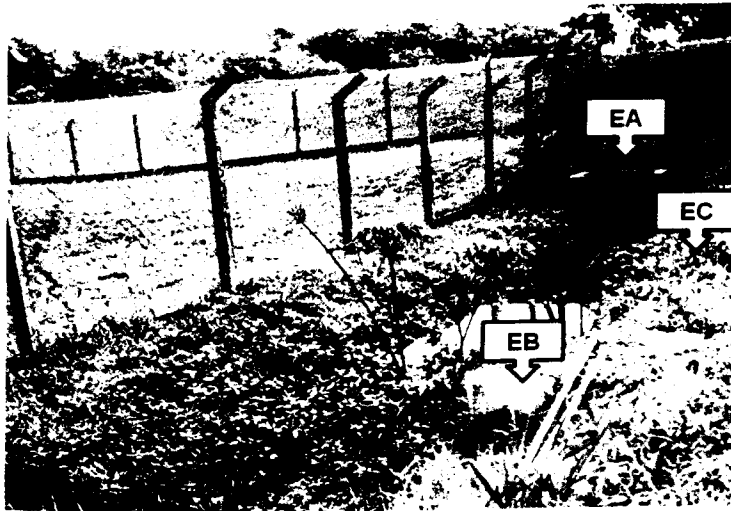


Figura 4. Vista parcial do canal a partir de 2000, onde **EA** = Entrada de água da fazenda de aquicultura; **EC** = Entrada de água pluvial; **EB** = Entrada de resíduos dos biodigestores.

A partir de 2006 o “wetland” construído foi novamente reformado utilizando, nesta fase, as macrófitas *Cyperus giganteus*, *Typha domingensis*, *Pontederia cordata*, *Eichhornia azurea* e *Eichhornia crassipes*. Foram instaladas três caixas plásticas circulares com área de aproximadamente 0,64 m² e altura de 0,55 m, preenchidas com pedras no fundo e a espécie de macrófita flutuante *Eichhornia crassipes*, um tambor plástico com tampa contendo pequenos pedaços de plástico, e duas caixas retangulares, de menor tamanho (0,18 m² de área e 0,30 m de altura) contendo apenas pedras. Novos estudos foram conduzidos durante os anos de 2008 e 2011 utilizando as plantas aquáticas *Cyperus giganteus*, *Typha domingensis*, *Pontederia cordata* e *Eichhornia crassipes*. Algumas alterações na estrutura do “wetland” foram realizadas, tais como o alargamento do canal, a implantação de grama nas encostas e fixação de barragem para impedir que as plantas flutuantes não fossem arrastadas com o intenso fluxo de água proveniente da fazenda de aquicultura e do período de intensa precipitação.

Após os diferentes estudos realizados sobre a eficiência do “wetland” implementado na saída do efluente da fazenda de aquicultura, em 2014, novas

alterações foram realizadas, onde foram plantadas as macrófitas enraizadas *Typha domingensis* e *Cyperus giganteus* próximo as entradas de água, com o objetivo de reter o fluxo de água que é muito intenso no período de chuva e quando ocorre o esvaziamento dos tanques de piscicultura. Logo em seguida, entre barreiras de tela hexagonal galvanizada de duas polegadas (Figura 5 B), a macrófita flutuante *Eichhornia crassipes* (Figura 5D) foi colocada com a finalidade de compreender a dinâmica da comunidade associada à raiz da *E. crassipes*. A escolha desta macrófita aquática foi baseada na capacidade e habilidade que esta planta tem em remover poluentes da água e do sedimento (SIPAÚBA-TAVARES et al., 2002; SIPAÚBA-TAVARES et al., 2003; SIPAÚBA-TAVARES e BRAGA, 2008; TRAVAINI-LIMA et al., 2015). Para a instalação do “wetland”, o terreno ao redor foi inicialmente roçado e limpo. A circulação de água foi reduzida em apenas um fio, sendo o maior fluxo desviado para o sexto viveiro. Plantas invasoras e parte do sedimento e o material orgânico depositado no fundo do “wetland” foram removidas (Figura 5 A e C).



Figura 5. Procedimento de instalação do “wetland”. **A.** remoção do sedimento e material orgânico depositado; **B.** telas galvanizadas instaladas; **C.** “Wetland” alagado; **D.** “Wetland” com *Eichhornia crassipes*.

Os resultados e conclusões sobre a flutuação da fauna associada, bem como o crescimento da macrófita *Eichhornia crassipes* e as variações de qualidade de água e retenção de nutrientes no sedimento foram descritos nesta dissertação.

3.FAUNA ASSOCIADA À *Eichhornia crassipes*

Para a avaliação e o conhecimento da dinâmica da fauna associada à raiz da macrófita *Eichhornia crassipes* localizadas em “wetlands” construídos para o tratamento de efluentes de aquicultura, amostras quinzenais foram realizadas durante dois períodos de crescimento desta macrófita. O 1º período de crescimento foi equivalente aos meses de Março e Abril, e outro equivalente aos meses de Agosto a Setembro do ano de 2014, totalizando quatro coletas por período de crescimento. Para a amostragem das macrófitas, foram utilizados dois quadrantes flutuantes de 0,09m², sendo coletados 0,18 m² do banco de *E. crassipes* (Figura 6). As coletas foram realizadas manualmente de modo rápido para evitar perda de organismos associados.

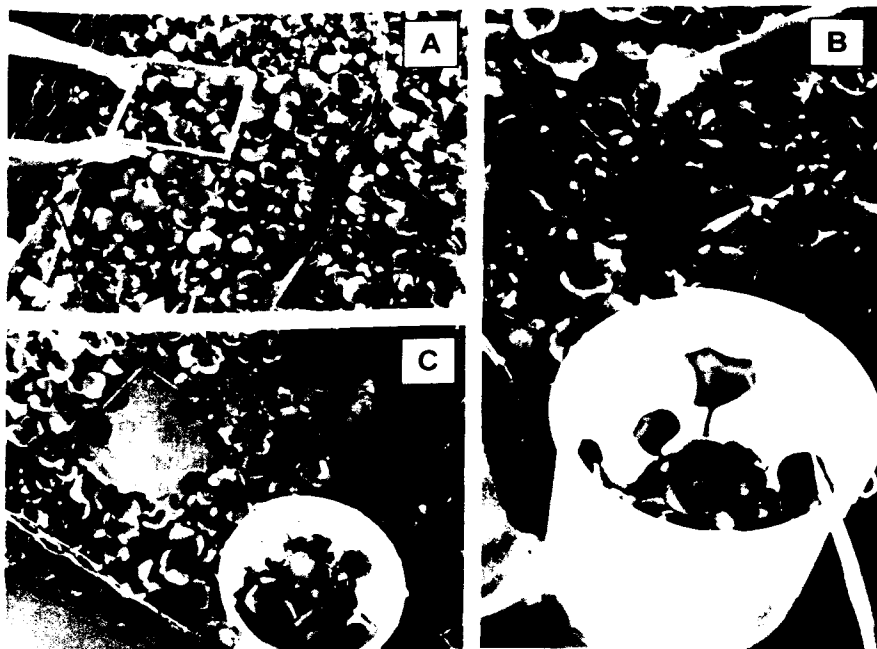


Figura 6. Procedimento de coleta da *Eichhornia crassipes* para amostragem da fauna associada. **A.** Uso de quadrante flutuante de 0,09 m²; **B.** Coleta manual de macrófitas por quadrante; **C.** Macrófitas armazenadas em baldes no transporte para o laboratório.

As plantas transportadas para laboratório foram cuidadosamente lavadas com água destilada, de modo a retirar todas as partículas orgânicas e inorgânicas (Figura 7 A e B). As amostras de água foram, em seguida, passadas por peneiras de 2 mm; 1,20 mm; 0,60 mm e 0,075 mm de abertura de malha (Figura 7 C). Os macroinvertebrados retidos nas peneiras foram coletados manualmente com o auxílio de uma pinça (Figura 7 D). Logo em seguida, as amostras de água foram passadas por uma rede de fitoplâncton, com abertura de malha de 25 μ m (Figura 7 E), e posteriormente as amostras foram reduzidas (Figura 7 F). Após esta lavagem, a fauna associada foi preservada em formol 4% e lugol a 1% e armazenada em frascos de vidro. A identificação e contagem da fauna associada foi realizada em câmara de Sedgewick-Rafter e placa de acrílico.

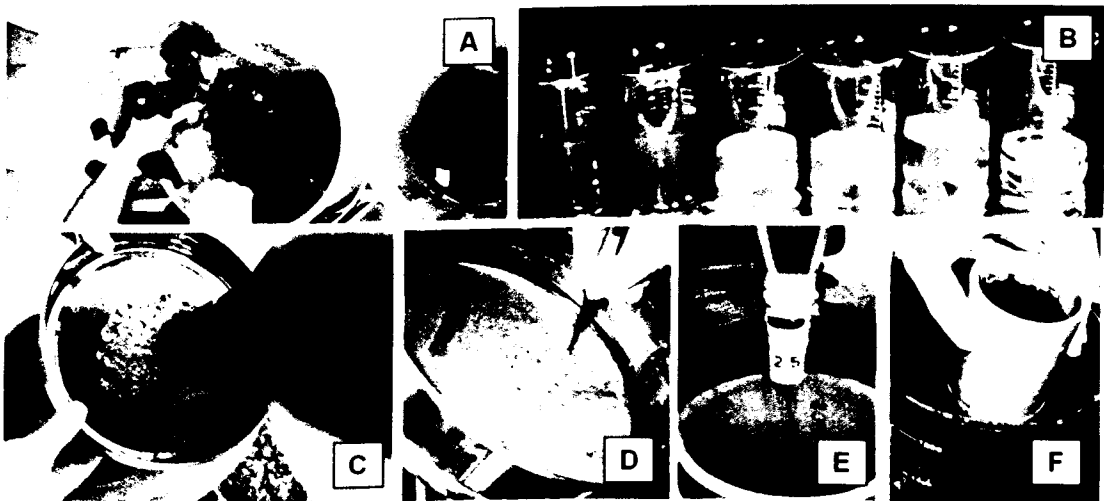


Figura 7. Procedimento, em laboratório, de lavagem das macrófitas. **A.** Lavagem das macrófitas de modo seqüencial até retirada completa do sedimento do rizoma; **B.** Amostras de água após a lavagem; **C.** Amostra sendo peneirada; **D.** Coleta manual de macroinvertebrados; **E.** Passagem das amostras em rede com abertura de malha de 25 μ m; **F.** Redução das amostras de água para posterior fixação e armazenamento.

4. OBJETIVOS

1. Avaliar a fauna associada à *Eichhornia crassipes* em duas etapas de crescimento da macrófita que correspondem ao período de chuva e seca;

2. Avaliar e comparar o aspecto limnológico antes e dentro do banco de *E. crassipes* estabelecido em um “wetland” construído que recebe efluente de um sistema de aquicultura, durante as duas etapas de crescimento da macrófita;
3. Avaliar o crescimento da *E. crassipes* e sua relação com a remoção de nutrientes durante duas etapas de crescimento da macrófita.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKINBILE, C. O.; YUSOFF, M. S. Assessing water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and lettuce (*Pistia stratiotes*) effectiveness in aquaculture wastewater treatment. *International Journal of Phytoremediation*, v.14, n.3, pp. 201-211, 2012.
- AKHTER, A. F. M. S. Performance assessment of macrophyte stabilization pond – a case study of eight parameters. *International Journal of Scientific and Research Publications*, v. 3, n. 6, 2013.
- AMÉRICO, H. P.; HORTENSE TORRES, J.; APARECIDA MACHADO, A.; LUÍS DE CARVALHO, S. Piscicultura em tanques-rede: impactos e consequências na qualidade da água. *Revista Científica ANAP Brasil*, v. 6, n. 7, 2013.
- CALHEIROS, C. S. C.; RANGEL, A. O. S. S.; CASTRO, P. M. L. Constructed wetland systems vegetated with different plants applied to the treatment of tannery wastewater. *Water Research*, v. 41, n. 8, pp. 1790–1798, 2007.
- CHOI, J. Y.; JEONG, K. S.; KIMA, S. K.; LA, G. H.; CHANG, K. H.; JOO, G. J. Role of macrophytes as microhabitats for zooplankton community in lentic freshwater ecosystems of South Korea. *Ecological Informatics*, v. 24, pp. 177–185, 2014.
- CYRINO, J. E. P.; BICUDO, A. J. A.; SADO, R. Y.; BORGHESI, R.; DAIRIKI, J. K. A piscicultura e o ambiente – o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, pp. 68-87, 2010.
- HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Impacto das atividades de aquicultura e sistemas de tratamento de efluentes com macrófitas aquáticas – relato de caso. *B. Inst. Pesca*, v. 34, n. 1, pp. 163-173, 2008.

- KUMAR, J. L. G.; ZHAO, Y. Q. A review on numerous modeling approaches for effective, economical and ecological treatment wetlands. *Journal of environmental management*, v. 92, n. 3, pp. 400-406, 2011.
- MILLAN, R. N. SIPAÚBA-TAVARES, L. H. TRAVAINI-LIMA, F. Influence of constructed wetland and soil filter systems in the dynamics of phytoplankton functional groups of two subtropical fish farm wastewaters. *Journal of Water Resource and Protection*, v. 6, pp. 8-15, 2014.
- NGUYEN, T. H. T.; BOETS, P.; LOCK, K.; AMBARITA, M.N. D.; FORIO, M. A. E.; SASHA, P.; DOMINGUEZ-GRANDA, L. E.; HOANG, T. H. T.; EVERAERT, G.; GOETHALS, P. L. M. Habitat suitability of the invasive water hyacinth and its relation to water quality and macroinvertebrate diversity in a tropical reservoir. *Limnologia*, v. 52, pp. 67-74, 2015.
- OHTAKA, A.; NARITA, T.; KAMIYA, T.; KATAKURA, H.; ARAKI, Y.; IM, S.; CHHAY, R.; TSUKAWAKI, S. Composition of aquatic invertebrates associated with macrophytes in Lake Tonle Sap, Cambodia. *Limnology*, v. 12, pp. 137-144, 2011.
- OHTAKA, A.; UENISHI, M.; WULANDARI, L.; LIWAT, Y.; GUMIRI, S.; NAGASAKA, M.; FUKUHARA, H. Structure and abundance of "interrhizon" invertebrates in an oxbow lake in the peat swamp area of Central Kalimantan, Indonesia. *Limnology*, v. 15, n. 2, pp. 191-197, 2014.
- OLSON, D. M.; CHERNOFF, B.; BURGESS, G.; DAVIDSON, I.; CANEVARI, P.; DINERSTEIN, E.; CASTRO, G.; MORISSET, V.; ABELL, R.; TOLEDO, E. Freshwater biodiversity of Latin America and the Caribbean: A conservation assessment. *WWF-US, Wetlands International, Biodiversity Support Program, and USAID*, Washington, DC, USA, 1998.
- PALMA-SILVA, C.; ALBERTONI, E. F.; TRINDADE, C. R. T.; FURLANETTO, L. M.; ACOSTA, M. C. Uso de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms para fitorremediação de ambientes eutrofizados subtropicais no sul do Brasil. *Perspectiva*, v. 36, n. 133, pp. 73-81, 2012.
- PIO, M. C. S.; ANTONY, L. P.; SANTANA, G. P. "wetlands" Construídas (Terras Alagadas): Conceitos, Tipos e perspectivas para remoção de metais potencialmente tóxicos de água contaminada: Uma Revisão. *Scientia Amazonia*, v. 2, n. 1, pp. 28-40, 2013.

- POMPÊO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. *Oecologica Brasiliensis*, v. 12, n. 3, pp. 406-424, 2008.
- REZANIA, S.; PONRAJ, M.; TALAIEKHOZANI, A.; MOHAMAD, S. E.; DIN, M. F. M.; TAIB, S. M.; SABBAGH, F.; SAIRAN, F. M. Review: Perspectives of phytoremediation using water hyacinth for removal of heavy metals, organic and inorganic pollutants in wastewater. *Journal of Environmental Management*, v. 163, pp. 125:133, 2015.
- ROCHA, C. M. C.; ALVES, A. E. CARDOSO, A. S. CUNHA, M. C. C. Macrófitas aquáticas como parâmetro no monitoramento ambiental da qualidade da água. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, n. 4, 2012.
- ROCHA, C. M. C.; RESENDE, E. K. D.; ROUTLEDGE, E. A. B.; LUNDSTEDT, L. M. Avanços na pesquisa e no desenvolvimento da aquicultura brasileira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 48, n. 8, pp. 4-6, 2013.
- SAYDER, C.D.; DAVIDSON, T. A.; JONES, J.I. Seasonal dynamics of macrophytes and phytoplankton in shallow lakes: a eutrophication-driven pathway from plants to plankton? *Freshwater Biology*, v. 55, n. 2, pp. 500-513, 2010.
- SIDONIO, L.; CAVALCANTI, I.; CAPANEMA, L.; MORCH, R.; MAGALHÃES, G.; LIMA, J. BURNS, V.; JÚNIOR, A. J. A.; MUNGIOLI, R. Panorama da aquicultura no Brasil: desafios e oportunidades. *BNDES Setorial*, v. 35, pp. 421-463, 2012.
- SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; FÁVERO, E. G. P.; BRAGA, F. M. S. Utilization of macrophyte biofilter in effluent from aquiculture:I. Floating plant. *Braz. J. Biol.*, v. 62, n. 4A, p. 713-723, 2002. *Brazilian Journal of Biology*, v. 68, n. 1, pp. 77-86, 2002.
- SIPAÚBA-TAVARES, L.H.; FERNANDES DE BARROS, A.; BRAGA, F. M.D.S. Effect of floating macrophyte cover on the water quality in fishpond. *Acta Scientiarum-Biological Sciences*, v. 25, n. 1, pp101-106, 2003.
- SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; BRAGA, F. M. D. S. Constructed wetland in wastewater treatment. *Acta Scientiarum: Biological Sciences*, v. 30, n. 3, pp. 261-265, 2008.

- SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; LOURENÇO, E. M.; BRAGA, F. M. S. Water quality in six sequentially disposed fishponds with continuous water flow. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 32, n. 1, pp. 9-15, 2010.
- SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Uso racional da água em aquicultura. Gráfica M. L. Brandel – ME, Jaboticabal, pp. 1-190, 2013.
- SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; DIAS, S. G. Water quality and communities associated with macrophytes in a shallow water-supply reservoir on an aquaculture farm. *Brazilian Journal of Biology*, v. 74, n. 2, pp. 420-428, 2014.
- SRIVASTAVA, J.; GUPTA, A.; CHANDRA, H. Managing water quality with aquatic macrophytes. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v. 7, n. 3, pp. 255-266, 2008.
- STOTTMEISTER, U.; WIEBNER, A.; KUSCHK, P.; KAPPELMEYER, U.; KASTNER, M.; BEDERSKI, O.; MÜLLER, A. R.; MOORMANN, H. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. *Biotechnology Advances*, v. 22, pp. 93–117, 2003.
- THOMAZ, S. M.; CUNHA, E. R. The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages composition and biodiversity. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 22, n. 2, pp. 218-236, 2010.
- TRAVAINI-LIMA, F.; DA VEIGA, M. A. M. S.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Constructed Wetland for Treating Effluent from Subtropical Aquaculture Farm. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 226, n. 3, p. 1-10, 2015.
- VILLAMAGNA, A. M.; MURPHY, B. R. Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): a review. *Freshwater Biology*, v. 55, pp. 282–298, 2010.
- VYMAZAL, JAN. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, v. 380, pp. 48–65, 2007.
- VYMAZAL, JAN. Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water*, v. 2, pp. 530-549, 2010.
- VYMAZAL, JAN. Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: A review. *Ecological Engineering*, v. 73, pp. 724–751, 2014.
- ZHANG, D. Q.; JINADASA, K. B. S. N.; GERSBERG, R. M.; LIU, Y.; TAN, S. K.; NG, W. J. Application of constructed wetlands for wastewater treatment in

tropical and subtropical regions (2000–2013). *Journal of Environmental sciences*, v. 30, pp. 30-46, 2015.

ZHOU, H. D.; JIANG, C. L.; ZHU, L. Q.; WANG, X. W.; HU, X. Q.; CHENG, J. Y.; XIE, M. H. Impact of pond and fence aquaculture on reservoir environment. *Water Science and Engineering*, v. 4, n. 1, pp. 92-100, 2011.

CAPÍTULO I

CONDIÇÕES LIMNOLÓGICAS E FAUNA ASSOCIADA À *Eichhornia crassipes* EM UM “WETLAND” DE UMA FAZENDA DE AQUICULTURA

LIMNOLOGICAL CONDITIONS AND FAUNA ASSOCIATED TO *Eichhornia crassipes* IN A WETLAND ON AN AQUACULTURE FARM

Os autores propõem submeter os dados obtidos à revista:

Hydrobiologia - The International Journal of Aquatic Sciences

As referências bibliográficas citadas estão formatadas de acordo com a norma da revista.

CONDIÇÕES LIMNOLÓGICAS E FAUNA ASSOCIADA À *Eichhornia crassipes* EM UM “WETLAND” DE UMA FAZENDA DE AQUICULTURA

RESUMO

O presente estudo objetivou avaliar o crescimento, a composição química e a fauna associada à *Eichhornia crassipes*, e as condições físico-química da água e sedimento em um “wetland” (21°11’S; 48°18’O) de uma fazenda de aquicultura, em duas etapas de crescimento da macrófita, de Fevereiro à Maio (verão/chuva) e de Julho à Outubro (inverno/seca) de 2014. A fauna associada a *E. crassipes* foi amostrada com quadrantes flutuantes (0,09m²); as macrófitas foram lavadas e o plâncton e macrofauna foram fixadas com formalina a 4%; as espécies foram identificadas e contadas. Diptera, Odonata, *Cephalodella gibba*, *Colurella obtusa*, *C. uncinata*, *Euchlanis dilatata*, *Epiphanes macrourus*, *Lecane bulla*, *L. furcata*, *L. lunaris*, *L. signifera*, *Lepadella* sp., *Proalinopsis caudatus*, *Proales doliare*, *Termocyclops decipiens*, *T. minutus*, *Vorticella* sp., *Arcella* sp., *Euglypha* sp., *Centropyxis* sp., Ostracoda e Nematoda ocorreram nas duas etapas de crescimento de *E. crassipes*. *Vorticella* sp. foi o gênero dominante, sendo que Protozoa e Rotifera apresentaram maior abundância. A 1ª etapa de crescimento apresentou maiores valores de nitrogênio e fósforo na água, enquanto que na 2ª etapa ocorreu maior retenção de nutrientes no sedimento antes do banco de aguapé. De acordo com os resultados obtidos foi possível comprovar que o tempo máximo que a *E. crassipes* deve ser mantida no “wetland” para retenção dos resíduos provenientes da aquicultura é de 60 dias, sendo necessário a retirada total após este período. O aumento da diversidade e riqueza de espécies seguiu o crescimento da biomassa de plantas aquáticas no período de baixa pluviosidade, destacando sua importância na dinâmica das comunidades associadas com a planta em um “wetland”. O papel das macrófitas é importante para manter a elevada diversidade de organismos, mas também para a manutenção da qualidade do efluente água desejável, devido à acumulação de nutrientes na biomassa vegetal.

Palavras chave: macrófita flutuante, plâncton, macrofauna, efluente de aquicultura

LIMNOLOGICAL CONDITIONS AND FAUNA ASSOCIATED TO *Eichhornia crassipes* IN A WETLAND ON AN AQUACULTURE FARM

ABSTRACT

Growth, chemicals analysis and fauna associated with *Eichhornia crassipes* and the physical and chemical conditions of water and sediment in a wetland (21°11'S; 48°18'W) of a aquaculture farm were evaluated during two periods of aquatic plant growth, February to May (summer/rainy) and July to October (winter/dry). Fauna associated to *E. crassipes* were sampled with floating quadrants (0.09 m²); the macrophytes were washed and the plankton and macrofauna were fixed with 4% formalin; the specimens were then identified and counted. Diptera, Odonata, *Cephalodella gibba*, *Colurella obtusa*, *C. uncinata*, *Euchlanis dilatata*, *Epiphanes macrourus*, *Lecane bulla*, *L. furcata*, *L. lunaris*, *L. signifera*, *Lepadella* sp., *Proalinopsis caudatus*, *Proales doliare*, *Termocyclops decipiens*, *T. minutus*, *Vorticella* sp., *Arcela* sp., *Euglypha* sp., *Centropyxis* sp., Ostracoda and Nematoda occurred in both periods of *E. crassipes* growth. *Vorticella* sp. was the predominant; Protozoa and Rotifera species were the most abundant. The first period of growth revealed higher nitrogen and phosphorus rates in the water, whilst in the second period there was a greater nutrient retention in the sediment in front of the stand of macrophyte. Results showed that 60 days is the maximum time that *E. crassipes* may be maintained in the wetland to retain wastes from aquaculture; after this period biomass and the accumulation of nutrients in the vegetal tissue decreased. Total removal is mandatory after this period. Increased diversity and species richness followed the growth of biomass of aquatic plant in period of low rainfall, highlighting its importance in the community dynamics associated with plant in a wetland. The role of macrophytes is important for maintaining high diversity of organisms, but also to maintaining desirable water-effluent quality due to the accumulation of nutrients in the vegetal biomass.

Keywords: floating macrophytes, plankton, macrofauna, aquaculture effluent

1. INTRODUÇÃO

“Wetland” construído é uma ferramenta de sucesso e de baixo custo que pode ser empregada no tratamento de efluentes de sistemas de produção aquícola, visando reduzir os impactos que esta atividade proporciona ao meio aquático (Millan et al., 2014). Esta biotecnologia utiliza processos naturais químicos, físicos e biológicos envolvendo macrófitas, solo e microrganismos associados (Vymazal, 2014), sendo eficaz na remoção de nutrientes, materiais orgânicos e sólidos em suspensão, possibilitando o tratamento de diferentes tipos de águas residuais (Zhang et al., 2015). Os processos que ocorrem em “wetlands” construídos são, dentre outros, sedimentação, precipitação, adsorção, assimilação pelos tecidos das plantas e transformações microbianas (Kumar & Zhao, 2011). As macrófitas aquáticas são, portanto, um importante componente que influencia a ciclagem de nutrientes e define a comunidade anexa a elas nesses sistemas (Thomaz & Cunha, 2010).

A macrófita flutuante *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms tem recebido ampla atenção devido a sua grande capacidade e habilidade de retenção de poluentes em sua biomassa, da água e do sedimento (Sipaúba-Tavares et al., 2002; Sipaúba-Tavares et al., 2003; Sipaúba-Tavares & Braga, 2008; Rezania et al., 2015; Travaini-Lima et al., 2015), sendo recomendada para restauração de águas, visando aumentar a biodiversidade de organismos e sustentar a cadeia alimentar ecologicamente saudável (Choi et al., 2014).

A alta heterogeneidade de habitats e complexidade estrutural proporcionada pelas raízes da *E. crassipes* possibilita que esta macrófita suporte a colonização e a interação de diferentes espécies de invertebrados aquáticos (Thomaz & Cunha, 2010; Barker et al., 2014), devido ao aumento de oportunidade de nichos ecológicos, contribuindo para o crescimento da abundância e diversidade de microrganismos associados (Van Onsem et al., 2010; Villamagna & Murphy, 2010).

A associação de diferentes espécies de invertebrados às partes submersas de macrófitas ocorre devido à busca destes organismos por melhores condições de oxigênio ao redor das raízes, habitats complexos para proteção física e alimentos de diferentes níveis tróficos (orgânicos e inorgânicos) (Neori & Agami, 2016), de modo que esta associação propicia o favorecimento da retirada de

nutrientes da água (Vymazal, 2002). A rizosfera, região de contato das raízes das macrófitas com o solo de “wetlands”, também atrai diferentes tipos de organismos, como vírus, bactérias, fungos, protozoários e macro e micro invertebrados (NEORI e AGAMI, 2016). As comunidades epifíticas apresentam vantagens sobre as comunidades planctônicas, devido ao seu pequeno tamanho e baixa atividade, proporcionando-lhes menor visibilidade às espécies predadoras (Choi et al., 2014).

A presença de macrófitas pode levar ao estabelecimento de elevada diversidade de invertebrados e auxiliar na remoção de cargas de nutrientes em função desta associação, sendo de grande importância no entendimento de “wetlands” para tratamento de efluentes em sistemas de criação de organismos aquáticos. Este estudo avaliou a dinâmica da fauna associada à *Eichhornia crassipes* em duas etapas de crescimento da macrófita, que correspondem ao período de chuva e seca; avaliou e comparou o aspecto limnológico antes e dentro do banco de *E. crassipes* estabelecido em um “wetland” construído que recebe efluente de um sistema de aquicultura, durante as duas etapas de crescimento da macrófita, verificando o crescimento da *E. crassipes* e sua relação com a remoção de nutrientes nestas etapas de crescimento da macrófita.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo e implantação do “wetland”

O “wetland” foi implantado no efluente da fazenda de Aquicultura (21°14’S, 48°17’O) que apresenta um sistema de fluxo contínuo de água proveniente de cinco viveiros com áreas variando entre 2.506 e 8.067 m². Estes viveiros maiores recebem água de nascente e de outros pequenos viveiros e tanques, totalizando aproximadamente 230 viveiros e/ou tanques de pequeno porte, com áreas de 50 a 100 m², além da água proveniente dos setores de cultivo de peixes ornamentais, nutrição animal, ranicultura, carcinicultura e tilapicultura (Sipaúba-Tavares et al., 2010). O “wetland” também recebe efluente de biodigestores (UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket – Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo), além da água de chuva que escoar da região mais elevada da Universidade (Figura 8) (Sipaúba-Tavares & Braga, 2008).

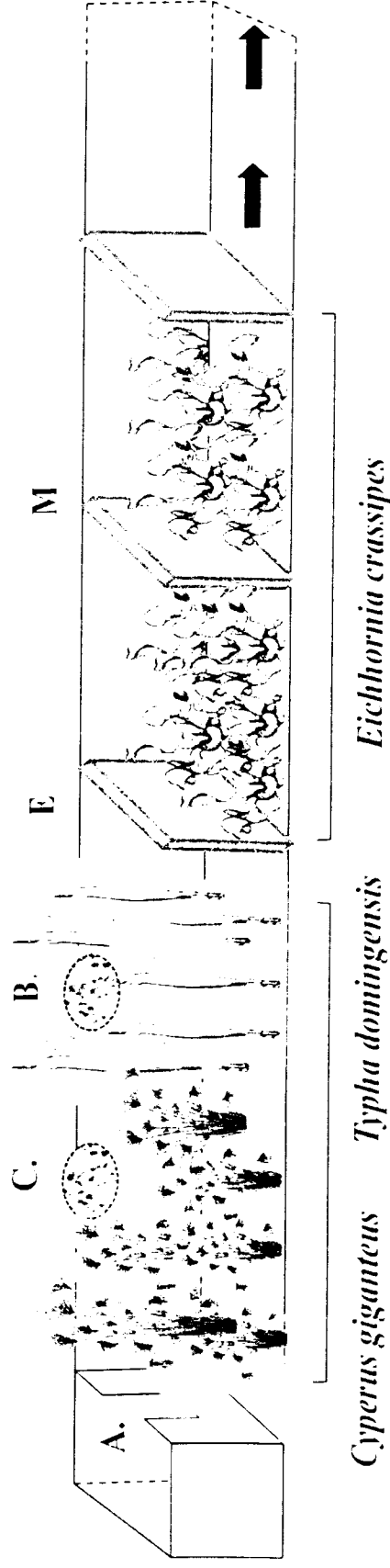


Figura 8. Desenho esquemático do sistema de "wetland" construído, onde **A, B e C:** entradas de água provenientes da aquicultura, efluente de UASB (biodigestores) e escoamento de chuva, respectivamente; **E:** ponto de coleta antes do banco de *Eichhornia crassipes* (Entrada); **M:** ponto de coleta no meio do banco de *E. crassipes*.

Este sistema apresenta área total de 166,29 m², com 65,94 m² coberta por plantas aquáticas, onde 32,01 m² foram utilizados para *Eichhornia crassipes* e 33,93 m² foram utilizados para *Typha domingensis* e *Cyperus giganteus* (Figura 8). O uso destas duas últimas macrófitas foi para reter o fluxo de água que é muito intenso no período de chuva e quando ocorre o esvaziamento dos tanques de piscicultura. A profundidade média na área de cobertura com macrófitas é de 0,75 metros e a vazão média do “wetland” é de $1,62 \pm 1,18 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

2.2. Fauna Associada à *Eichhornia crassipes*

As coletas dos organismos associados foram realizadas quinzenalmente a partir de 23 dias após a macrófita ser colocada no “wetland”, na 1ª etapa (Março e Abril de 2014), e a partir de 33 dias na 2ª etapa (Agosto e Setembro de 2014). Este tempo foi necessário para possibilitar o estabelecimento da fauna na raiz da *Eichhornia crassipes*, conforme relatado por Barker et al. (2014).

As amostras dos organismos associados foram obtidas a partir da lavagem cuidadosa das macrófitas com água destilada, conforme descrita no item 2.4. As amostras de água foram peneiradas em malhas com abertura de 2 mm; 1,20 mm; 0,60 mm e 0,075 mm. Nas peneiras com maior abertura de malha foram retidas e removidas as partículas maiores e, nas peneiras com menor abertura de malha foram retidos os macroinvertebrados. Posteriormente, as amostras de água foram passadas em malha de 0,25 mm para concentrar a comunidade de invertebrados menores. Em seguida as comunidades associadas foram preservadas em formalina a 4%. As comunidades de Rotifera e Protozoa foram analisadas em câmara de Sedgewick-Rafter em microscópio Leica Leitz DMRB com aumento de 100 vezes. As comunidades de Insecta, Mollusca, Platyhelminthes, Nematoda, Ostracoda, Harpacticoida, Cladocera e Copepoda foram contadas em placas de acrílico sob microscópio estereoscópico Wild Heerbrugg M3Z.

2.3. Água e sedimento

As amostragens de água e sedimento foram realizadas mensalmente em dois pontos; um antes do banco de *Eichhornia crassipes* (E) e outro dentro da do banco de *E. crassipes* (M) (Figura 8). O trabalho foi dividido em dois períodos de crescimento da macrófita, entre Fevereiro e Maio/2014 (1ª etapa), época com

elevada pluviosidade e outro entre Julho e Outubro/2014 (2ª etapa) período com baixa pluviosidade. Ao final da primeira etapa, ou seja, quando a *E. crassipes* atingiu o pico de crescimento, foi retirada toda a biomassa vegetal e posteriormente, colocado um novo lote.

Condutividade elétrica (Cond), pH, temperatura (Temp), turbidez (Turb) foram mensuradas *in situ* com sonda multiparâmetros Horiba U-5000G e oxigênio dissolvido (OD) com o oxímetro YSI-55. Para clorofila-a (Cloro-a), a água foi filtrada em filtro de fibra de vidro Whatman® (0,45 mm) e extraída durante 24 horas com etanol 90% e quantificada em espectrofotômetro, seguindo a metodologia de Nusch (1980). A alcalinidade (Alc) foi determinada como descrito por Mackereth et al. (1978). Os sólidos totais solúveis (STS), sólidos totais dissolvidos (STD) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) foram determinados de acordo com Boyd & Tucker (1992). Nitrato (NO₃), nitrito (NO₂), ortofosfato (Orto-P) e fósforo total (P-total) foram quantificados em espectrofotômetro seguindo a metodologia de Golterman et al. (1978). A amônia (NH₄) foi quantificada de acordo com Koroleff (1976). As análises foram realizadas imediatamente após as amostragens ou então devidamente armazenadas sob refrigeração a 4°C.

Para análise microbiológica (coliformes termotolerantes) da água, coletada em frascos esterilizados de 500 mL, foi utilizado o método dos tubos múltiplos. Estas amostras foram transportadas para laboratório, em caixa térmica, e processadas imediatamente com material previamente esterilizado (Greenberg et al., 1992).

As amostras de sedimento foram coletadas verticalmente na superfície, em aproximadamente 10 cm de profundidade, utilizando um coletor de PVC de quatro centímetros de diâmetro. O sedimento foi seco ao ar livre e desagregado. A determinação do pH, matéria orgânica (MO), P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Al e N, foi de acordo com a metodologia proposta por Ferreira et al. (1990).

2.4. Plantas

Para avaliação biológica e química da *E. crassipes* foram realizadas amostragens quinzenais nos meses de Março e Abril de 2014 (1ª etapa) e nos meses de Agosto e Setembro de 2014 (2ª etapa), perfazendo um total de quatro

amostragens por período de crescimento da macrófita. Para cada coleta de ambas as etapas, as plantas foram amostradas com dois quadrantes flutuantes de 0,09 m² cada, perfazendo um total de 0,18 m² de área total amostrada. A coleta das macrófitas com dois quadrantes foi realizada, visando tornar a amostragem mais representativa do local de cobertura vegetal de interesse e não afetar o desenvolvimento da macrófita.

Toda planta contida nos quadrantes foram utilizadas para obter os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, além de peso seco e úmido e determinação da biomassa (gPS m⁻²). Em laboratório, estas plantas foram cuidadosamente lavadas com água destilada, para remoção das partículas orgânicas e inorgânicas. O excesso de água das raízes da macrófita foi retirado com a utilização de papel toalha, e então essas plantas foram pesadas para obtenção do peso úmido. Em seguida, estas plantas foram colocadas ao sol para secagem prévia e em seguida colocadas em estufa a temperatura máxima de 85°C até completa desidratação e estabilização do peso, para a determinação do peso seco. Os teores dos nutrientes foram determinados de acordo com Bataglia et al. (1983).

Para a avaliação do crescimento radicular, foi realizada a determinação da medida do comprimento do rizoma da *E. crassipes* em 12 plantas escolhidas aleatoriamente em cada uma das etapas, as quais foram marcadas e avaliadas três vezes por semana durante o período experimental. Para a análise do crescimento radicular, foram medidas três vezes por semana e utilizados os dados semanais acompanhando as amostragens de fauna associada.

2.5. Fatores Climatológicos

As médias mensais de precipitação (mm) e temperatura do ar (°C) foram extraídas de um conjunto de dados pertencentes ao acervo da área de Agrometeorologia do Departamento de Ciências Exatas da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, Jaboticabal-SP.

2.6. Forma de análise dos dados

Em função da estrutura de dependência contida no conjunto original de variáveis, os dados de água e de sedimento foram submetidos à abordagem

exploratória multivariada utilizando a análise de componentes principais para identificar os padrões de qualidade em cada etapa de estudo (Statsoft, 2011). Os dados de comprimento do rizoma da *Eichhornia crassipes* e de densidade, diversidade e riqueza da fauna associada foram submetidos à análise de variância, ANOVA. As médias obtidas foram comparadas pela análise discriminante de TUKEY 5% pelo software Statsoft Statistica[®] versão 10 (Statsoft, 2011). A diversidade da fauna associada foi calculada para cada coleta realizada usando a fórmula de Shannon-Wiener (H') (Pielou, 1975). A riqueza foi calculada como o número total de espécies presentes em cada coleta. A dominância e a abundância foram consideradas, sendo dominantes quando a densidade foi maior que 50% do número de indivíduos presentes, e abundantes quando o número de indivíduos foi maior do que a densidade média de todas as espécies que ocorreram nas amostras (Lobo & Leighton, 1986).

3. RESULTADOS

A temperatura média entre os meses de Fevereiro à Outubro de 2014 foi de 22,7 °C, com mínima de 19,2 °C em Julho/2014 e máxima de 25,6 °C em Outubro/2014, e precipitação acumulada média de 43,1 mm, com mínima de 0,2 mm em Agosto/2014 e com máxima de 97,3 mm em Março/2014 (Figura 9).

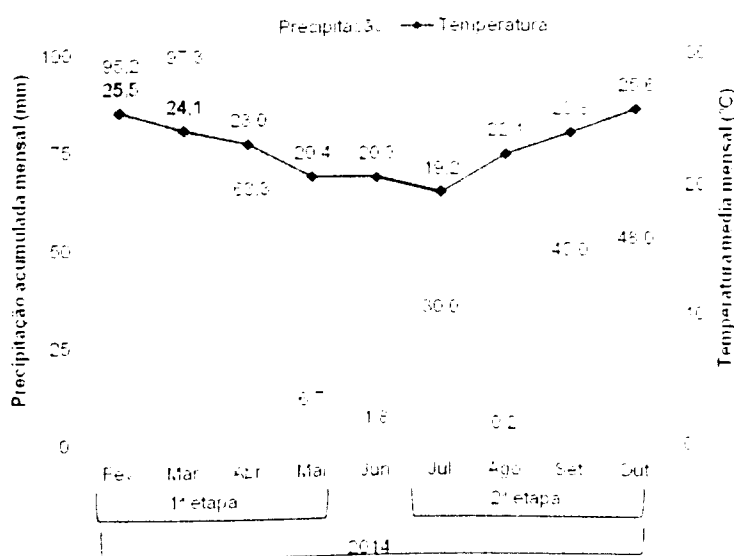


Figura 9. Variação mensal da precipitação e da temperatura na região em que se localiza o “wetland” durante o período experimental.

A temperatura média obtida durante a 1ª etapa de crescimento da *Eichhornia crassipes* (Fevereiro à Maio de 2014) foi de 23,2 °C e a precipitação acumulada média foi de 65,6 mm, sendo considerado o período de maior pluviosidade. Na 2ª etapa (Julho à Outubro de 2014), a temperatura média foi de 22,7 °C e a precipitação acumulada média foi de 30,8 mm, sendo considerado o período de menor pluviosidade.

Na análise de componentes principais (ACP), processada com as amostragens de água na entrada (E) e no meio do banco de macrófita (M), foram considerados os dois primeiros componentes principais que representam 76,5% (67,3% em CP1 e 19,2% em CP2) da variabilidade contida no grupo de variáveis originais, visto que estes componentes principais foram suficientes para explicar os padrões de qualidade de água para os dois pontos em cada etapa (Figura 10).

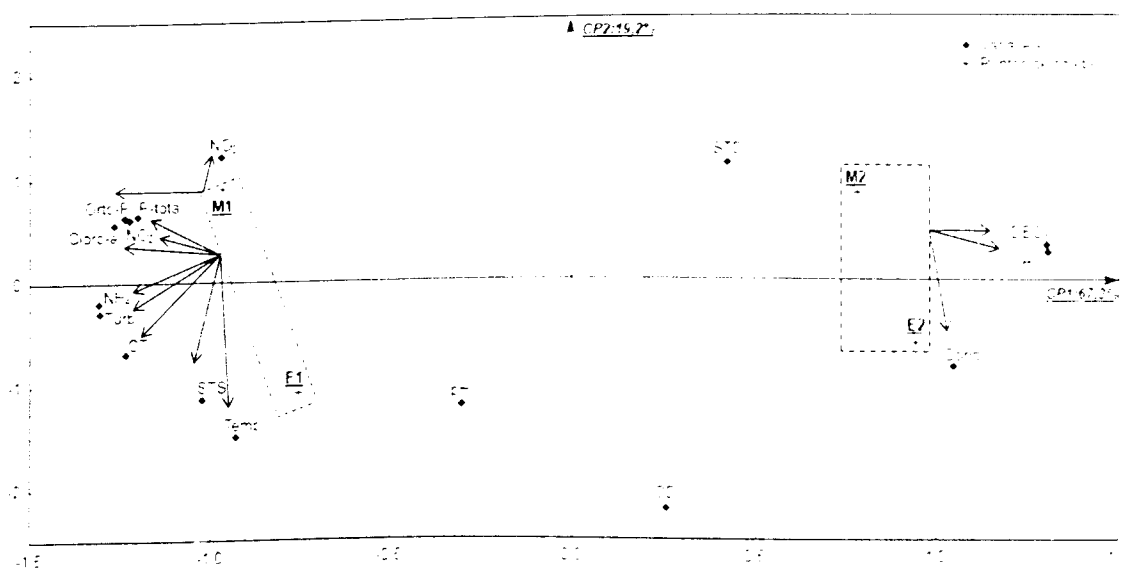


Figura 10. Gráfico biplot formado pelos dois primeiros componentes principais construídos com as variáveis ortofosfato (Orto-P); fósforo total (P-total); sólidos totais dissolvidos (STD); clorofila-a (Clo-a); demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅); amônia (NH₄); turbidez (Turb); sólidos totais solúveis (STS); temperatura (Temp); pH; coliformes termotolerantes (CT); nitrito (NO₂); nitrato (NO₃); alcalinidade (Alc); condutividade (Cond) e oxigênio dissolvido (OD) mensuradas nos pontos de coleta antes do banco de *E. crassipes* 1ª etapa (E1); no meio do banco de *E. crassipes* 1ª etapa (M1); antes do banco de *E. crassipes* 2ª etapa (E2); no meio do banco de *E. crassipes* 2ª etapa (M2).

Nesta análise multivariada é possível detectar um contraste nos padrões de amostragens de água contido no agrupamento dos pontos antes do banco de *E. crassipes* (E1) e dentro da do banco de *E. crassipes* (M1) na 1ª etapa, caracterizados pelas variáveis: nitrito, nitrato, ortofosfato, fósforo total, clorofila-a, amônia, turbidez, coliformes termotolerantes, sólidos totais solúveis e temperatura, e no agrupamento dos pontos antes do banco de *E. crassipes* (E2) e dentro da do banco de *E. crassipes* (M2) na 2ª etapa, caracterizados pelas variáveis: condutividade, alcalinidade e demanda bioquímica de oxigênio. As variáveis pH, oxigênio dissolvido e sólidos totais dissolvidos não foram relevantes para a determinação dos agrupamentos obtidos, visto que apresentaram maior correlação com as demais componentes principais (Figura 10/Tabela 1).

Tabela 1. Correlação entre as variáveis originais de qualidade de água e as componentes principais (CP)

	CP1	CP2
Variáveis		
NH ₄	-0,994250	-0,089805
NO ₂	-0,938790	0,278565
NO ₃	-0,735170	0,535389
Orto-P	-0,929364	0,271125
P-total	-0,912676	0,287084
STS	-0,774941	-0,507968
STD	0,322343	0,482976
Cloro-a	-0,960209	0,250558
DBO ₅	0,987713	0,137171
Alc	0,989746	0,107902
OD	0,195011	-0,979749
Temp	-0,702975	-0,671267
pH	-0,228624	-0,544469
Cond	0,792845	-0,376911
Turb	-0,990998	-0,131214
CT	-0,936886	-0,311984

* Em negrito, estão destacadas as variáveis que mais contribuem em cada uma das componentes principais

Na análise de componentes principais processada com macro e micronutrientes retidos no sedimento nos pontos avaliados, foram considerados os dois primeiros componentes principais que representam 85,38% (48,3% em CP1 e 37,1% em CP2) da variabilidade contida no conjunto de variáveis originais (Figura 11).

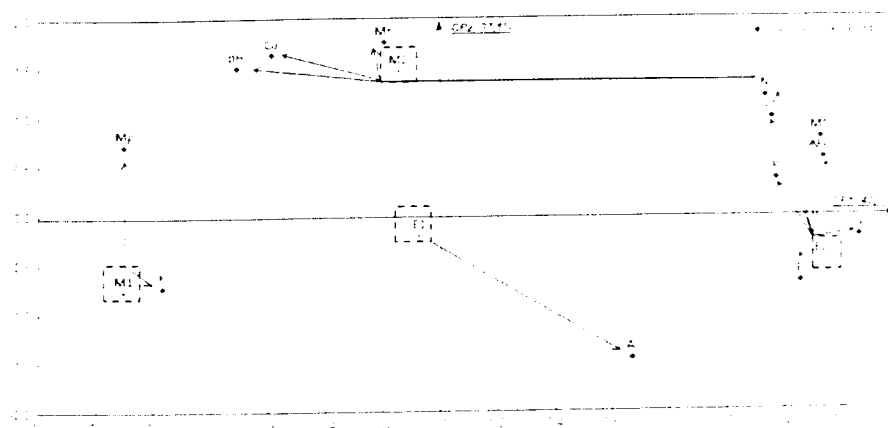


Figura 11. Gráfico biplot formado pelos dois primeiros componentes principais construídos com os nutrientes de composição: MO; P; K; Ca; Mg; B; Cu; Fe; Mn; Zn; Al; N, e pH mensuradas nos pontos de coleta antes do banco de *Eichhornia crassipes* 1ª etapa (E1); no meio do banco de *E. crassipes* 1ª etapa (M1); antes do banco de *E. crassipes* 2ª etapa (E2); no meio do banco de *E. crassipes* 2ª etapa (M2).

A CP1 detectou contraste na concentração de nutrientes no ponto E2 caracterizado pelos elementos P, N, B, Cu, Fe, MO e Zn, e no ponto M1, caracterizados apenas pelos elementos K e Mg. A CP2 correlaciona o ponto M2 as variáveis pH, N, Ca e Mn, e o ponto E1 caracterizado pela variável Al (Figura 11 e Tabela 2).

Tabela 2. Correlação entre as variáveis originais do sedimento e as componentes principais (CP)

	CP1	CP2
Variáveis		
pH	-0,465915	0,850698
MO	0,865174	0,431368
P	0,763312	0,200362
K	-0,633731	-0,409937
Ca	-0,385975	0,921996
Mg	-0,721459	0,403655
B	0,819270	-0,390538
Cu	0,953282	-0,129076
Fe	0,871378	0,317886
Mn	-0,130468	0,989834
Zn	0,752855	0,552658
Al	0,437863	-0,824599
N	0,737488	0,674774

*As variáveis de coleta que mais contribuem em cada componente principal estão destacadas em negrito

O comprimento médio do rizoma da *Eichhornia crassipes* na 1ª etapa foi significativamente menor ($p < 0,05$) do que o comprimento médio obtido durante a 2ª etapa, e a biomassa média desta macrófita não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) entre as etapas de crescimento (Tabela 3).

Tabela 3. Biomassa, médias e desvio-padrão do comprimento do rizoma de *Eichhornia crassipes* durante as duas etapas de crescimento

Tempo (Dias)	Comprimento do Rizoma (cm)	Comprimento médio do rizoma (cm)	Biomassa (gPS m ⁻²)	Biomassa média (gPS m ⁻²)
1ª Etapa				
1	5.71±1.95d	17.5±7.4b	95.56	339.5±184.5a
23	14.76±1.42c		232.61	
34	21.42±0.70b		337.33	
55	22.86±0.42b		477.89	
62	22.79±0.14b		554.06	
2ª Etapa				
1	20.60±0.13b	26.6±3.4a	113.72	368.5±183.6a
33	27.47±0.60a		239.28	
47	28.40±0.15a		469.06	
61	28.79±0.48a		548.19	
74	27.74±1.27a		472.28	

*Letras minúsculas diferentes comparam médias nas colunas

O comprimento do rizoma da macrófita, no momento em que as plantas foram colocadas no “wetland”, foi significativamente menor ($p < 0,05$) na 1ª etapa (maior precipitação) do que na 2ª etapa (menor precipitação). Nas duas etapas o crescimento só foi significativo até aproximadamente 30 dias. Na 1ª etapa o aumento no comprimento do rizoma foi significativo ($p < 0,05$) a 23 e 34 dias de experimento. No entanto, em 55 e 62 dias de experimento o aumento não foi mais expressivo quando comparado ao tamanho do aguapé a 34 dias. O comprimento do rizoma de 34 a 62 dias de experimento da 1ª etapa foi igual ao comprimento do rizoma colocado no “wetland” na 2ª etapa de crescimento. Na 2ª etapa, o aumento expressivo do comprimento do rizoma ($p < 0,05$) foi observado somente a 33 dias de experimento, porém nas coletas seguintes (47, 61 e 74 dias de experimento) o crescimento não foi significativo ($p > 0,05$) (Tabela 3).

A biomassa da *Eichhornia crassipes*, no momento em que foram colocadas no “wetland”, foi menor na 1ª etapa do que na 2ª. O aumento da biomassa da *E. crassipes* na 1ª etapa (maior precipitação) ocorreu até 62 dias de experimento,

variando de 95,56 gPS m⁻² a 554,06 gPS m⁻². No período de menor precipitação (2ª etapa) a biomassa teve aumento até aproximadamente 61 dias de experimento, variando de 113,72 gPS m⁻² a 548,19 gPS m⁻². Nesta mesma etapa, em 74 dias de experimento ocorreu redução de 75,91 gPS m⁻² de biomassa e de 2,75 cm no comprimento do rizoma do aguapé (Tabela 3).

A incorporação de elementos como N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn na biomassa da planta, por absorção, foi crescente nas duas etapas até aproximadamente 60 dias de permanência na macrófita no sistema de "wetland" construído. No entanto, na 2ª etapa (Jul/Out), foi observada certa redução de alguns elementos, como N, P, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e estabilização de B e Cu, na composição química da planta (Tabela 4).

Tabela 4 Acúmulo (mgPS m⁻²) dos macro e micronutrientes em *Eichhornia crassipes* durante cada etapa de crescimento

Dias do Experimento	Acúmulo de nutrientes (mgPS m ⁻²)										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
1ª etapa											
1	1835	182	3058	1242	535	48	2	0	51	90	3
23	5373	558	8351	2559	954	605	5	9	5443	558	41
34	8501	810	22331	4520	1687	1585	5	9	3765	737	51
55	12043	1434	42245	6499	2246	2055	7	11	4019	1049	73
62	13962	2050	43881	7535	2216	2881	9	16	6353	1718	94
2ª etapa											
1	1362	123	4353	1451	792	134	1	1	167	47	3
33	6795	670	18185	2871	1077	1053	3	7	1304	447	34
47	13321	1642	39588	6426	2205	2298	6	11	1738	1248	72
61	16391	2741	39963	7455	2302	2412	8	13	2563	1385	83
74	14121	2456	50675	6659	1984	2078	8	12	2166	821	75

A fauna associada à raiz da *Eichhornia crassipes* foi representada pelos filos Arthropoda (três espécies da ordem Cladocera; uma espécie da Ordem Calanoida, duas espécies da Ordem Cyclopoida e indivíduos da Ordem Harpacticoida, ambos pertencentes à Classe Copepoda; seis ordens pertencentes à Classe Insecta; e indivíduos pertencentes à Classe Ostracoda), Mollusca (Classe Gastropoda), Nematoda, Platyhelminthes (Classe Turbellaria) e Rotifera (44 espécies de 24 gêneros), e por Protozoários (sete gêneros) (Tabela 5).

Tabela 5. Composição e frequência da fauna associada à raiz da *Eichhornia crassipes* em um “wetland” construído. + = presença; - = ausência; A = abundante; D = dominante

Taxa	1ª Etapa				2ª Etapa			
	Tempo (dias)							
	23	34	55	62	33	47	61	74
Cladocera								
<i>Alona guttata</i> (Sars, 1862)	A	+	+	+	-	-	-	-
<i>Ilyocryptus spinifer</i> (Herrick, 1882)	A	+	+	+	-	-	-	-
<i>Diaphanosoma birgei</i> (Korinek, 1981)	+	+	+	+	-	-	-	-
Copepoda								
<i>Thermocyclops decipiens</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Thermocyclops minutus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
Nauplios de Cyclopoida	+	+	+	A	-	-	+	+
<i>Argyrodiaptomus furcatus</i> (Sars, 1901)	-	-	-	-	-	-	-	+
Nauplios de <i>Argyrodiaptomus furcatus</i>	-	-	-	+	-	-	-	-
Harpacticoida	+	+	+	+	+	+	-	+
Insecta								
Collembola	+	-	-	-	-	-	-	-
Coleoptera	+	+	+	+	+	+	-	+
Diptera	+	+	+	+	+	+	+	+
Hemiptera	+	-	-	+	-	+	-	-
Neuroptera	-	-	-	-	-	-	+	-
Odonata	+	+	+	+	+	+	+	+
Ostracoda	+	+	+	+	+	+	+	+
Ostracoda								
Protozoa								
<i>Vorticella</i> sp.	D	D	D	D	D	D	D	D
<i>Arcela</i> sp.	A	+	+	A	A	+	A	A
<i>Euglypha</i> sp.	A	+	+	A	+	+	+	+
<i>Centropyxis</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Paramecium</i> sp.	+	A	+	A	+	-	+	+
<i>Diffugia</i> sp.	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>Euplotes</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	+
Rotifera								
<i>Ascomorpha ovalis</i> (Bergendal, 1892)	-	-	-	-	-	-	-	A
<i>Ascomorpha saltans</i> (Bartsch, 1870)	+	+	+	-	-	-	-	+
<i>Asplanchnopus</i> sp (de Guerne, 1888)	+	-	+	-	+	+	A	+
<i>Brachionus falcatus</i> (Zacharias, 1898)	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Brachionus calyciflorus</i> (Pallas, 1766)	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Cephalodella misgurnus</i> (Wulfert, 1937)	+	+	-	-	+	+	-	+
<i>Cephalodella gibba</i> (Ehrenberg, 1830)	+	+	+	+	+	+	A	+

Tabela 5. Continuação

Taxa	1ª Etapa				2ª Etapa			
	Tempo (dias)							
	23	34	55	62	33	47	61	74
Rotifera								
<i>Collotheca mutabilis</i> (Hudson, 1885)	+	-	-	+	-	+	+	+
<i>Collotheca ornata</i> (Ehrenberg, 1832)	+	-	+	+	+	+	+	+
<i>Colurella obtusa</i> (Gosse, 1886)	A	A	+	+	+	+	+	+
<i>Colurella uncinata</i> (Müller, 1773)	A	A	+	+	+	+	+	+
<i>Conochilus</i> sp. (Ehrenberg, 1834)	-	-	-	-	+	+	+	+
<i>Dipleuchlanis propatula</i> (Gosse, 1886)	-	-	-	-	-	-	+	+
<i>Euchlanis dilatata</i> (Hauer, 1930)	+	+	+	+	+	+	A	A
<i>Epiphanes macrourus</i> (Barrois & Daday, 1894)	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Filinia opoliensis</i> (Zacharias, 1898)	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Heterolepadella heterostyla</i> (Murray, 1914)	+	+	+	-	-	+	+	+
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)	-	-	-	-	-	-	+	+
<i>Keratella tropica</i> (Apstein, 1907)	-	-	-	-	+	-	+	+
<i>Lecane aculeata</i> (Jakubski, 1912)	-	+	+	-	-	-	+	+
<i>Lecane bulla</i> (Grosse, 1851)	A	A	+	A	+	+	+	A
<i>Lecane calcaria</i> (Harring & Myers, 1926)	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Lecane cornuta</i> (Müller, 1786)	+	+	+	-	+	+	-	+
<i>Lecane curvicones</i> (Murray, 1913)	+	-	-	+	+	+	+	+
<i>Lecane furcata</i> (Murray, 1913)	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Lecane hornemanni</i> (Ehrenberg, 1834)	+	+	+	-	-	+	+	+
<i>Lecane inermis</i> (Bryce, 1892)	-	-	-	-	-	-	+	+
<i>Lecane ludwigii</i> (Eckstein, 1883)	+	-	-	-	+	-	+	+
<i>Lecane lunaris</i> (Ehrenberg, 1832)	A	+	+	+	+	+	+	+
<i>Lecane monostyla</i> (Daday, 1897)	+	-	-	-	-	+	-	+
<i>Lecane proiecta</i> (Hauer, 1956)	+	-	-	+	-	-	+	+
<i>Lecane signifera</i> (Jennings, 1896)	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Lepadella</i> sp. (Bory de St. Vincent, 1826)	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Philodina</i> sp. (Ehrenberg, 1830)	+	-	-	+	-	+	+	+
<i>Proalinopsis caudatus</i> (Collins, 1873)	+	+	+	+	+	+	A	+
<i>Proales doliaris</i> (Rousselet, 1895)	A	A	A	A	+	A	A	A
<i>Proales globulifera</i> (Hauer, 1921)	-	-	+	+	+	-	-	-
<i>Ptygura fucillata</i> (Kellicott, 1889)	-	-	-	-	+	+	+	+
<i>Rotaria</i> sp.	-	-	-	-	-	-	+	+
<i>Synchaeta stylata</i> (Wierzejski, 1893)	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Testudinella patina</i> (Hermann, 1783)	+	+	+	+	-	+	+	+
<i>Testudinella</i> sp.	+	+	+	+	+	-	+	-
<i>Trichocerca cavia</i> (Gosse, 1886)	+	-	-	-	+	-	-	-
<i>Trichocerca similis</i> (Wierzejski, 1893)	+	-	-	+	-	+	+	+
Outros								
Nematoda	+	+	+	+	+	+	+	+
Mollusca	-	+	+	+	+	+	+	+
Platyhelminthes	-	+	+	+	+	+	+	+

A ordem Collembola (Insecta), o gênero *Diffugia* sp. e as espécies *Brachionus falcatus*, *Filinia opoliensis* (Rotifera), *Alona guttata*, *Ilyocryptus spinifer*, *Diaphanosoma birgei* (Cladocera) e nauplios de *Argyrodaptomus furcatus* estiveram presentes apenas na 1ª etapa. Enquanto que a ordem Neuroptera (Insecta), o gênero *Euplotes* sp., e as espécies *Ascomorpha ovalis*, *Brachionus calyciflorus*, *Conochilus* sp., *Dipleuchlanis propatula*, *Keratella cochlearis*, *Keratella tropica*, *Lecane calcaria*, *Lecane inermis*, *Ptygura fucillata*, *Rotaria* sp., *Synchaeta stylata* (Rotifera) e adultos de *Argyrodaptomus furcatus* (Copepoda) estiveram presentes apenas na 2ª etapa (Tabela 5).

Algumas espécies de Rotifera, Copepoda e gênero de Protozoa estiveram presentes em apenas uma coleta durante todo o período experimental. As espécies *Brachionus falcatus* e *Filinia opoliensis*, e a ordem Collembola foram presentes apenas em 23 dias de experimento, e nauplios de *Argyrodaptomus furcatus* apenas apareceram em 62 dias, ambos da 1ª etapa. Na 2ª etapa a espécie *Lecane calcaria* apareceu somente em 47 dias, a ordem Neuroptera somente em 61 dias de experimento, e as espécies *Ascomorpha ovalis*, *Brachionus calyciflorus*, *Synchaeta stylata*, *Argyrodaptomus furcatus*, e o gênero *Euplotes* sp. apareceram somente em 74 dias de experimento, sendo *Ascomorpha ovalis* a espécie abundante (Tabela 5).

A maioria dos grupos analisados esteve presente em, pelo menos, uma coleta de cada etapa. As ordens Diptera e Odonata (Insecta), as espécies *Cephalodella gibba*, *Colurella obtusa*, *C. uncinata*, *Euchlanis dilatata*, *Epiphanes macrourus*, *Lecane bulla*, *L. furcata*, *L. lunaria*, *L. signifera*, *Lepadella* sp., *Proalinopsis caudatus* e *Proales doliare* (Rotifera), *Termocyclops decipiens* e *T. minutus* (Copepoda), os gêneros *Vorticella* sp., *Arcela* sp., *Euglypha* sp. e *Centropyxis* sp. (Protozoa), Ostracoda e Nematoda estiveram presentes em todas as coletas das duas etapas de crescimento da *E. crassipes* (Tabela 5).

O grupo Protozoa foi predominante nas duas etapas, com abundância relativa variando de 62,4% em 23 dias de experimento na 1ª etapa a 89,2% em 55 dias da 1ª etapa, e variando de 60,96% em 74 dias de experimento da 2ª etapa a 91,3% em 47 dias da 2ª etapa (Figura 12). Durante o período de maior pluviosidade (1ª etapa) a abundância de Protozoa foi crescente até 55 dias reduzindo para 68,3% na última coleta deste período (62 dias). No período de menor pluviosidade (2ª etapa) a abundância relativa do grupo Protozoa reduziu

constantemente de 33 a 74 dias. Esta predominância ocorreu devido à dominância do gênero *Vorticella* sp em todas as coletas das duas etapas (Tabela 5).

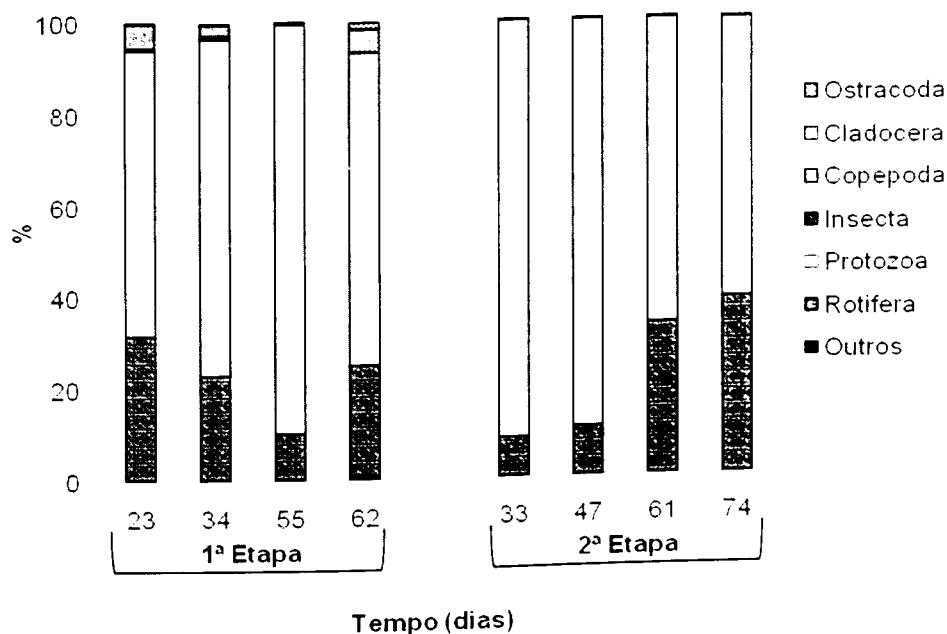


Figura 12. Abundância relativa (%) da fauna associada à raiz da *Eichhornia crassipes* mantida em sistema de “wetland” construído durante duas etapas de crescimento da macrófita, sendo que Outros = Nematoda, Mollusca e Platyhelminthes. O tempo em dias foi considerado a partir do momento em que a *E. crassipes* foi colocada no “wetland”, sendo que o dia 1 a macrófita não apresentava fauna associada a sua raiz.

Os demais grupos de fauna associada Rotifera, Cladocera, Copepoda, Ostracoda, Insecta e outros (Nematoda, Mollusca, Platyhelminthes) foram menos expressivos em relação à abundância relativa (Figura 12), sendo que o aumento da abundância relativa de Rotifera, Copepoda e Ostracoda ocorreu apenas em 62 dias abundância na 1ª etapa, e o aumento da abundância relativa de Rotifera, na 2ª etapa, ocorreu juntamente com a diminuição da abundância relativa de Protozoa (Figura 12). A média do índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') e da riqueza de espécies não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as duas etapas analisadas (Tabela 6).

Tabela 6. Análises quantitativas dos taxa de fauna associada: densidade (org. m⁻²), riqueza, índice de Shannon–Wiener (H') na coletas realizadas nas duas etapas de crescimento da *E. crassipes*, sendo Outros = Nematoda, Mollusca e Platyhelminthes

Etapas de Crescimento	1ª Etapa					2ª Etapa				
	23	34	55	62	Média	33	47	61	74	Média
Insecta	95,58	175,32	276,48	55,62	150,75±97,48a	4,32	4,86	1,44	1,08	2,93±1,94b
Rotífera	71442,00	25021,58	21997,44	6184,84	31161,47±28095,26a	20517,45	8141,13	10134,72	14490,22	13320,88±5481,47a
Protozoa	140130,00	79840,66	188258,69	17474,62	106425,99±74053,31a	220061,58	67886,10	20332,39	22925,21	82801,32±94075,07a
Cladocera	11569,50	2511,09	56,34	94,50	3557,86±5463,14a	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Copepoda	992,25	603,23	299,23	1218,35	778,26±408,07a	7,92	5,22	38,31	50,56	25,50±22,45b
Ostracoda	311,76	422,46	180,18	343,26	314,42±100,88a	82,62	8,82	10,80	96,84	49,77±46,51b
Outros	83,34	108,36	94,86	225,90	128,12±65,99a	257,40	42,48	116,64	47,16	115,92±100,23a
Riqueza	51,00	40,00	41,00	42,00	43,50±5,07a	39,00	42,00	47,00	56,00	46,00±7,44a
H'	2,12	1,53	0,78	2,14	1,64±0,64a	0,82	0,71	1,85	2,03	1,35±0,69a

*Letras minúsculas diferentes comparam as médias nas mesmas linhas

Na 1ª etapa, período de maior precipitação, a diversidade reduziu até 55 dias de experimento e a riqueza de espécies reduziu até 34 dias, enquanto foi observado aumento da biomassa e do rizoma da *Eichhornia crassipes*. Após este tempo de 34 dias, houve crescimento da diversidade e riqueza de espécies. Na 2ª etapa, período de menor precipitação, a diversidade apresentou uma pequena queda em 47 dias de experimento, e em seguida apresentou aumento até 74 dias de experimento. A riqueza de espécies, no entanto, aumentou constantemente até o final do experimento (Tabela 6). Estes aumentos ocorreram com o aumento da biomassa e com a estabilização do rizoma.

4. DISCUSSÃO

No período de engorda dos peixes, realizado de Novembro à Março, há intensa adição de alimentos em viveiros e tanques (Sipaúba-Tavares et al., 2010) contribuindo com elevada carga orgânica e inorgânica na coluna d'água e promovendo maior eutrofização do meio aquático (Pereira et al., 2012). Esta adição de ração se acumula e possibilita maiores valores das variáveis limnológicas no mês de Maio, após o período de engorda. Na 2ª etapa de crescimento (Julho à Outubro), elevados valores de demanda bioquímica de oxigênio e condutividade indicaram decomposição orgânica decorrente das adubações e excesso de alimentos provenientes dos tanques de piscicultura.

Em cada uma das etapas, o ponto antes do banco de *E. crassipes* (E) e o ponto no meio do banco de *E. crassipes* (M) apresentaram um padrão de semelhança, o que pode ter ocorrido devido à presença das plantas enraizadas no início do "wetland". O sedimento nos dois pontos de coleta durante a 1ª etapa apresentou baixa retenção de nutrientes, o que pode ser explicado pelo maior volume de precipitação nesta etapa e ao pequeno porte das plantas enraizadas plantadas no início desta etapa, possibilitando menor retenção da água e elevado fluxo de água do "wetland". O aumento do fluxo de água, no período de chuva, reduz a eficiência de remoção de cargas de nutrientes, visto que dificulta os processos de filtração, sedimentação de partículas e o metabolismo da comunidade microbiana (Travaini-Lima & Sipaúba-Tavares, 2012).

No período de baixa pluviosidade (2ª etapa) a concentração de nutrientes no sedimento foi maior no ponto antes do banco de macrófita, evidenciando maior

retenção da água pelas plantas enraizadas, favorecendo os processos de filtração e sedimentação de partículas. As macrófitas em geral possibilitam e favorecem a sedimentação de sólidos e impedem que compostos já precipitados retornem a coluna d'água (Srivastava et al., 2008).

Neste estudo, a concentração de nutrientes no aguapé foi crescente até aproximadamente 60 dias o que corrobora com os dados de Palma-Silva et al. (2012) que afirmam que, neste período de crescimento, ocorre elevada absorção de nitrogênio e fósforo da água pela biomassa da *E. crassipes*. Na 2ª etapa do experimento, ocorreu ligeira diminuição na concentração de alguns elementos (N, P, Ca, Mg, S, Fe e Mn) na planta, além da redução de sua biomassa após 60 dias de experimento, o que pode indicar o início do processo de senescência. Palma-Silva et al. (2012) afirmam que, após 60 dias, ainda pode haver incorporação de maiores concentrações de nutrientes na biomassa do aguapé. No entanto, é necessário considerar que o potencial de absorção de nutrientes por macrófitas é influenciado pelo aumento da biomassa e pela concentração de nutrientes no tecido vegetal (Vymazal, 2007). A retirada parcial e/ou total das macrófitas deve ser adotada a fim de manter a densidade ótima, a purificação da água e o crescimento da planta aquática (Akinbile & Yusoff, 2012). O procedimento de retirada periódica das plantas impede que os nutrientes absorvidos retornem para a coluna d'água por meio do processo de decomposição (Akinbile & Yusoff, 2012).

Na 2ª etapa foi colocado o aguapé com um rizoma maior do que aquele utilizado na primeira etapa, porém este não foi um fator determinante para ocasionar grande diferença na biomassa em 60 dias de experimento, possibilitando, nas duas etapas, aumento constante na concentração de nutrientes nas plantas.

A diversidade e riqueza de espécies não apresentaram diferenças significativas entre as duas etapas, evidenciando que os padrões de qualidade de água e de sedimento não interferiram na dinâmica da comunidade associada durante dois períodos distintos. A relação entre as variáveis de qualidade da água e a comunidade zooplancônica foi relatada por Choi et al. (2014) como menos relevante do que a complexidade estrutural de macrófitas.

Na 2ª etapa de crescimento do aguapé, a diversidade e riqueza de espécies aumentaram enquanto a biomassa da macrófita aumentava o que pode

ser atribuído à baixa precipitação pluviométrica, evitando que algumas espécies fossem carreadas, visto que na 1ª etapa, período de maior precipitação pluviométrica a diversidade e riqueza aumentaram apenas em 62 dias de experimento, quando se iniciou a redução das chuvas. A recuperação da riqueza e densidade média de macroinvertebrados tende a ocorrer após o período de elevada precipitação (Silva & Henry, 2013).

A complexidade estrutural de macrófitas, como apresentada pelo rizoma da *Eichhornia crassipes*, tem sido amplamente correlacionada com o aumento da diversidade, riqueza e abundância de espécies em diferentes localidades (Marçal & Callil, 2008; Wang et al., 2012; Choi et al., 2014; Nguyen et al., 2015). No entanto, em “wetlands” construídos com a finalidade de tratamento de efluentes de aquicultura a precipitação apresentou grande interferência na dinâmica da comunidade associada, permitindo maior diversidade e riqueza de espécies associadas à raiz da *E. crassipes* no período de menor precipitação pluviométrica (2ª etapa). A variação do nível de água causa alterações na biota aquática proporcionando alterações na composição de espécies (Silva & Henry, 2013), de modo que as espécies sésseis são amplamente favorecidas pela estrutura da *E. crassipes* (Marçal & Callil, 2008).

O curto tempo de reprodução e geração de novos indivíduos e a positiva adaptação de algumas espécies de Protozoa e Rotifera à elevada carga orgânica (Buosi et al., 2011; Dahms et al., 2011) possibilita a predominâncias destes taxos sobre os demais. A presença do grupo Protozoa foi expressiva em todas as coletas das duas etapas de crescimento do aguapé, apresentando elevada densidade aos 23 dias da 1ª etapa e aos 33 dias da 2ª etapa. A representatividade do grupo Protozoa na comunidade associada, durante todo o período experimental ocorreu devido à dominância do gênero *Vorticella* sp., pertencente aos protozoários ciliados da subclasse Peritricha. Os autores Safi et al. (2014) descreveram elevada abundância deste gênero no lago Guaíba localizado na cidade de Porto Alegre - Brasil devido à disponibilidade de bactérias como fonte alimentar, visto que estes protozoários são significantes predadores bacterianos. A ocorrência de bactérias é favorecida pela elevada quantidade de carbono orgânico em bancos de macrófitas (Foissner & Berger, 1996).

5. CONCLUSÃO

A partir dos dados obtidos neste estudo foi possível concluir que o período de engorda dos peixes na fazenda de aquicultura favorece elevada concentração de nutrientes na água, mesmo sendo um período de maior precipitação. O tamanho do rizoma do aguapé colocado inicialmente não é fator determinante para aumentar o acúmulo de nutrientes e a biomassa da *Eichhornia crassipes* durante aproximadamente 60 dias, mas há início de redução da biomassa e de nutrientes acumulados no tecido vegetal. Assim, o tempo máximo para a retirada de aguapé em sistemas de tratamento de águas residuais proveniente de sistemas de aquicultura deve ser de no máximo 60 dias, sendo necessária adotar como manejo a retirada periódica total para manter a retenção e incorporação dos nutrientes da água para a biomassa da planta. O aumento da diversidade e da riqueza de espécies acompanharam o crescimento da biomassa do aguapé no período de menor precipitação, evidenciando sua importância na dinâmica da comunidade associada à raiz do aguapé em “wetlands” construídos com a finalidade de tratamento de efluente de sistemas de aquicultura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akinbile, C. O. & M. S. Yusoff, 2012. Assessing water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and lettuce (*Pistia stratiotes*) effectiveness in aquaculture wastewater treatment. *International Journal of Phytoremediation* 14(3): 201-211.
- Barker, J. E., J. J. Hutchens Jr & J. O. Luken, 2014. Macroinvertebrates Associated with Water Hyacinth Roots and a Root Analog. *Freshwater Science* 33(1): 159-167.
- Bataglia, O. C., A. M. C. Furlani, J. P. F. Teixeira, P. R. Furlani & J. R. Gallo, 1983. Métodos de análise química de plantas. Campinas: Instituto Agrônomo. Boletim Técnico 78: 48 pp.
- Boyd, C. E. & C. S. Tucker, 1992. Water quality and pond soil analyses for aquaculture. Alabama: Agricultural Experiment Station: 183 pp.
- Buosi, P. R. B., G. M. Pauleto, F. A. Lansac-Tôha & L. F. M. Velho, 2011. Ciliate community associated with aquatic macrophyte roots: Effects of nutrient

- enrichment on the community composition and species richness. *European journal of protistology* 47(2): 86-102.
- Dahms, H. U., A. Hagiwara & J. S. Lee, 2011. Ecotoxicology, ecophysiology, and mechanistic studies with rotifers. *Aquatic Toxicology* (Amsterdam, Netherlands) 101(1): 1-12.
- Ferreira, M. E., M. C. P. Cruz & M. E. Ferreira Junior, 1990. Avaliação da fertilidade empregando o sistema IAC de análise do solo. UNESP: 94 pp.
- Foissner, W. & H. Berger, 1996. A user-friendly guide to the ciliates (Protozoa, Ciliophora) commonly used by hydrobiologists as bioindicators in rivers, lakes and waste waters, with notes on their ecology. *Freshwater Biology* 35(2): 375–482.
- Choi, J. Y., K. S. Jeong, S. K. Kima, G. H. La, K. H. Chang & G. J. Joo, 2014. Role of macrophytes as microhabitats for zooplankton community in lentic freshwater ecosystems of South Korea. *Ecological Informatics* 24: 177-185.
- Golterman, H. L., R. S. Clymo & M. A. M. Ohnstad, 1978. Methods for physical and chemical analysis of freshwater. London: Blackwell Sci Publ.: 213 pp.
- Greenberg, A. E., L. S. Clesceri & A. D. Eaton, 1992. Standard methods for examination of water wastewater. 18 ed., Washington: American Public Health Association, cap. 9: Microbiological examination: 32-39.
- Koroleff, F., 1976. Determination of nutrients. In: Grashof, E. & E. Kremling (Eds.). *Methods of seawater analysis*. Verlag Chemie Weinheim, New York: 117-181.
- Kumar, J. L. G. & Y. Q. Zhao, 2011. A review on numerous modeling approaches for effective, economical and ecological treatment wetlands. *Journal of environmental management* 92(3): 400-406.
- Lobo, E. & G. Leighton, 1986. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de ríos y esteros de la zona central de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 22(1): 1-29.
- Mackereth, F. J. H., J. Heron & F. J. Talling, 1978. Water analysis: some revised methods for limnologists. *Freshwater Publication Association Scientific Publication*, n.35. Kendall Titus Wilson & Sons: 117 pp.
- Marçal, S. F. & C. T. Callil, 2008. Structure of invertebrates community associated with *Eichhornia crassipes* Mart. (Solms-Laubach) after the introduction of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilidae) in the Upper Paraguay River, MT, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia* 20(4): 359-371.

- Millan, R. N., L. H. Sipaúba-Tavares & F. Travaini-Lima, 2014. Influence of constructed wetland and soil filter systems in the dynamics of phytoplankton functional groups of two subtropical fish farm wastewaters. *Journal of Water Resource and Protection* 6: 8-15.
- Neori, A. & A. Agami, 2016. The Functioning of Rhizosphere Biota in Wetlands – a Review. *Wetlands*: 1-19.
- Nguyen, T. H. T., P. Boets, K. Lock, M. N. D. Ambarita, M. A. E. Forio, P. Sasha, L. E. Dominguez-Granda, T. H. T. Hoang, G. Everaert & P. L. M. Goethals, 2015. Habitat suitability of the invasive water hyacinth and its relation to water quality and macroinvertebrate diversity in a tropical reservoir. *Limnologica* 52: 67–74.
- Nusch, E. A., 1980. Comparison of different method for chlorophyll and pheopigments determination. *Archiv fur Hydrobiologie Journa.:* 14-36.
- Palma-Silva, C., E. F. Albertoni, C. R. T. Trindade, L. M. Furlanetto & M. C. Acosta, 2012. Uso de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms para fitorremediação de ambientes eutrofizados subtropicais no sul do Brasil. *Perspectiva* 36(133): 73-81.
- Pereira, J. S., C. T. J. Mercante, J. V. Lombardi, A. M. Vaz-Dos-Santos, C. F. D. Carmo & J. A. S. Osti, 2012. Eutrophization process in a system used for rearing the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), São Paulo State, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia* 24(4): 387-396.
- Pielou, E. C., 1975. Ecological diversity. John Wiley: 165 pp.
- Rezania, S., M. Ponraj, A. Talaiekhosani, S. E. Mohamad, M. F. M. Din, S. M. Taib, F. Sabbagh & F. M. Sairan, 2015. Review: Perspectives of phytoremediation using water hyacinth for removal of heavy metals, organic and inorganic pollutants in wastewater. *Journal of Environmental Management* 163: 125-133.
- Safi, L. S., N. F. Fontoura, H. J. Severo & L. R. Utz, 2014. Temporal structure of the peritrich ciliate assemblage in a large Neotropical lake. *Zoological Studies* 53 (1): 17 pp.
- Silva, C. V. & R. Henry, 2013. Aquatic macroinvertebrates associated with *Eichhornia azurea* (Swartz) Kunth and relationships with abiotic factors in marginal lentic ecosystems (São Paulo, Brazil). *Brazilian Journal of Biology* 73(1): 149-162.

- Sipaúba-Tavares, L. H., E. G. P. Fávero & F. M. S. Braga, 2002. Utilization of macrophyte biofilter in effluent from aquaculture: I. Floating plant. *Brazilian Journal of Biology* 62(4a): 713-723.
- Sipaúba-Tavares, L. H., A. Fernandes De Barros & F. M. D. S. Braga, 2003. Effect of floating macrophyte cover on the water quality in fishpond. *Acta Scientiarum-Biological Sciences* 25(1): 101-106.
- Sipaúba-Tavares, L. H. & F. M. D. S. Braga, 2008. Constructed wetland in wastewater treatment. *Acta Scientiarum: Biological Sciences* 30(3): 261-265.
- Sipaúba-Tavares, L. H., E. M. Lourenço & F. M. S. Braga, 2010. Water quality in six sequentially disposed fishponds with continuous water flow. *Acta Scientiarum* 32(1): 9-15.
- Srivastava, J., A. Gupta & H. Chandra, 2008. Managing water quality with aquatic macrophytes. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 7(3): 255-266.
- Statsoft, 2011. Inc. Statistica, ver. 10.
- Thomaz, S. M. & E. R. Cunha, 2010. The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages composition and biodiversity. *Acta Limnologica Brasiliensia* 22(2): 218-236.
- Travaini-Lima, F. & L. H. Sipaúba-Tavares, 2012. Efficiency of a constructed wetland for wastewaters treatment. *Acta Limnologica Brasiliensia* 24(3): 255-265.
- Travaini-Lima, F., M. A. M. S. Da Veiga & L. H. Sipaúba-Tavares, 2015. Constructed wetland for treating effluent from subtropical aquaculture farm. *Water, Air, & Soil Pollution* 226(3): 1-10.
- Van Onsem, S., S. De Backer & L. Triest, 2010. Microhabitat–zooplankton relationship in extensive macrophyte vegetations of eutrophic clear-water ponds. *Hydrobiologia* 656(1): 67-81.
- Villamagna, A. M. & B. R. Murphy, 2010. Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): a review. *Freshwater Biology* 55: 282–298.
- Vymazal, J., 2002. The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience. *Ecological Engineering* 18(5): 633-646.

- Vymazal, J., 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment* 380: 48–65.
- Vymazal, J., 2014. Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: A review. *Ecological Engineering* 73: 724–751.
- Zhang, D. Q., K. B. S. N. Jinadasa, R. M. Gersberg, Y. Liu, S. K. Tan & W. J. Ng. 2015. Application of constructed wetlands for wastewater treatment in tropical and subtropical regions (2000–2013). *Journal of Environmental Sciences* 30: 30-46.
- Wang, Z., Z. Zhang, J. Zhang, Y. Zhang, H. Liu, S. Yan, 2012. Large-scale utilization of water hyacinth for nutrient removal in Lake Dianchi in China: the effects on the water quality, macrozoobenthos and zooplankton. *Chemosphere* 89(10): 1255-1261.