

Tratamento de efluente de aquicultura com macrófitas flutuantes: revisão sistêmica e metanálise

Treatment of aquaculture effluent with floating macrophytes: systemic review and meta-analysis

Tratamiento de efluentes de acuicultura con macrófitas flotantes: revisión sistémica y meta-análisis

Recebido: 03/02/2022 | Revisado: 16/02/2022 | Aceito: 13/03/2022 | Publicado: 20/03/2022

Gabriele dos Santos Nogueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0795-7086>
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
E-mail: gabirunogueira@gmail.com

Gildete de Souza Bezerra

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4514-1002>
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
E-mail: gildetesb@gmail.com

Pitágoras Augusto Piana

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4666-6663>
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
E-mail: pitapiana@yahoo.com.br

Resumo

A aquicultura é a produção de organismos que apresentam parcial ou total desenvolvimento na água, gerando um efluente rico em nutrientes. A utilização de alimentos artificiais é algo comum na produção aquícola, porém esses são altamente nutritivos em nitrogênio e fósforo. Tais nutrientes são fontes de energia para plantas aquáticas, como é o caso das macrófitas. O uso de macrófita para absorção de nutrientes é comum em alguns sistemas de tratamento, como os *wetlands*. Assim, este estudo traz uma revisão sistêmica e metanálise sobre a eficiência do uso de macrófitas flutuantes para o tratamento de efluente de aquicultura. As plataformas utilizadas foram Periódicos Capes, *Scopus* e *Web of Science*. Dos artigos encontrados foram coletados dados de autores, ano de publicação, periódico científico publicado, espécie da macrófita, características avaliadas no efluente e local de estudo. Médias e desvios padrões foram usadas na análise estatística, através da diferença média padronizada (DMP), método para a realização da metanálise. Apenas 24 artigos se enquadraram na revisão sistêmica, mas somente 9 artigos foram possíveis de extrair as informações necessárias para a realização da metanálise. Dentre as propriedades químicas, o pH foi a mais mensurada, estando presente em 21 artigos. Os gêneros de macrófitas mais encontrados foram *Eichhornia*, *Pistia*, *Lemna*, *Salvinia* e *Azolla*. Apenas a metanálise do ortofosfato não apresentou diferença estatística, enquanto que nitrogênio total, amônia, nitrito, nitrato, nitrogênio Kjeldahl total, nitrogênio inorgânico total, fósforo total e ortofosfato foram significantes. Pode-se observar que as macrófitas apresentam maior afinidade por determinados nutrientes.

Palavras-chave: Biofiltro; Eficiência de remoção; Nutrientes; Plantas aquáticas.

Abstract

Aquaculture is the production of organisms that present partial or total development in water, generating an effluent rich in nutrients. The use of artificial foods is common in production, but they are highly nutritious in nitrogen and phosphorus. Such nutrients are sources of energy for aquatic plants, such as macrophytes. The use of macrophytes for nutrient absorption is common in some treatment systems such as wetlands. The objective was to carry out a systemic review and meta-analysis of the efficiency of the use of floating macrophytes for the treatment of aquaculture effluent. The platforms used were Capes Journals, Scopus and Web of Science. From the articles found, data were collected from authors, year of publication, published scientific journal, macrophyte species, characteristics evaluated in the effluent and place of study. Means and standard deviations were used for statistical analysis, through the standardized mean difference (SMD), method for performing the meta-analysis. Only 24 articles were included in the systemic review, but only 9 articles were able to extract the necessary information to carry out the meta-analysis. Among the chemical properties, pH was the most measured, being present in 21 articles. The most common macrophyte genera were *Eichhornia*, *Pistia*, *Lemna*, *Salvinia* and *Azolla*. Only the meta-analysis of orthophosphate showed no statistical difference, while total nitrogen, ammonia, nitrite, nitrate, total Kjeldahl nitrogen, total inorganic nitrogen, total phosphorus and orthophosphate were significant. It can be seen that macrophytes have a greater affinity for certain nutrients.

Keywords: Biofilter; Removal efficiency; Nutrients ; Aquatic plants.

Resumen

La acuicultura es la producción de organismos que presentan desarrollo parcial o total en el agua, generando un efluente rico en nutrientes. El uso de alimentos artificiales es común en la producción, pero son altamente nutritivos como el nitrógeno y el fósforo. Dichos nutrientes son fuentes de energía para las plantas acuáticas, como las macrófitas. El uso de macrófitos para la absorción de nutrientes es común en algunos sistemas de tratamiento como los humedales. El objetivo fue realizar una revisión sistémica y meta-análisis de la eficiencia del uso de macrófitas flotantes para el tratamiento de efluentes acuícolas. Las plataformas utilizadas fueron Capes Journals, Scopus y Web of Science. De los artículos encontrados se recogieron datos de autores, año de publicación, revista científica publicada, especies de macrófitos, características evaluadas en el efluente y lugar de estudio. Para el análisis estadístico se utilizaron las medias y las desviaciones estándar de los estudios encontrados, a través de la diferencia de medias estandarizada (DME), método para la realización del metanálisis. En la revisión sistémica solo se incluyeron 24 artículos, de los cuales 9 artículos pudieron extraer la información necesaria para realizar el metanálisis. Entre las propiedades químicas, el pH fue la más medida, estando presente en 21 artículos. Los géneros de macrófitos más comunes fueron *Eichhornia*, *Pistia*, *Lemna*, *Salvinia* y *Azolla*. Solo el metanálisis de ortofosfato no mostró diferencia estadística, mientras que el nitrógeno total, el amoníaco, el nitrito, el nitrato, el nitrógeno Kjeldahl total, el nitrógeno inorgánico total, el fósforo total y el ortofosfato fueron significativos. Se puede observar que los macrófitos tienen una mayor afinidad por determinados nutrientes.

Palabras clave: Biofiltro; Eficiencia de eliminación; Nutrientes; Plantas acuáticas.

1. Introdução

A aquicultura é a produção de organismos que apresentam parcial ou total desenvolvimento na água (Siqueira, 2018). Dados da FAO (2020) indicaram que a produção mundial de peixes e crustáceos em 2016 alcançaram 54,1 e 7,9 milhões de ton, respectivamente. A produção de organismos aquáticos demanda alta concentração de água e apresenta um efluente rico em nutrientes, assim como efluentes domésticos, industriais, agrícolas e pecuários (Hu et al., 2012; Cyrino et al., 2010; De Lacerda et al., 2006). O uso de alimentos artificiais é um método comum e quando mal balanceados, podem ocasionar excesso de nutrientes como nitrogênio e fósforo disponíveis na água (Coldebella et al., 2017). O excesso desses nutrientes são uma problemática para qualidade da água, assim como sólidos orgânicos em suspensão, amônia e fosfato, entre outros compostos (Henry-Silva & Camargo, 2006; Hussar & Bastos, 2008).

Visando reduzir o potencial poluidor dos resíduos gerados pela aquicultura, diversos estudos foram efetuados para o desenvolvimento de novos métodos de tratamento de efluentes, com destaque para utilização de plantas aquáticas em *wetlands* construídos (Yan et al., 2020). Um *wetland* é constituído de uma área úmida com alta atividade biológica, capaz de converter os poluentes comuns em nutrientes essenciais e em produtividade biológica, conhecidos também como pântanos, brejos, mangue, entre outros (Kadlec & Wallace, 2008; Ferreira et al., 2022). Há também áreas úmidas construídas, que operam nas mesmas condições que as *wetlands* naturais, com processos de filtração, decantação e decomposição bacteriana (Vymazal, 2010; Chagas et al., 2012). Essas áreas possuem a vantagem de terem baixos custos de construção, operação e manutenção (Schwartz & Boyd, 1995; Iwa, 2000) e podem ser de superfície de água livre (com macrófitas emergentes), fluxo subsuperficial horizontal, fluxo subsuperficial vertical, híbridas (combinação entre os tipos de áreas úmidas) e flutuantes (Vymazal, 2010; Pavlineri et al., 2017).

A vegetação presente em *wetlands* naturais e construídas devem ser adaptadas a solos úmidos, como é o caso de macrófitas aquáticas (Brix, 1994). O metabolismo das macrófitas é eficiente quanto a remoção de nitrogênio e fósforo (Reddy & De Busk, 1985). Em casos de macrófitas submersas é possível ocorrer a absorção dos nutrientes por folhas e brotos, além de suas raízes (Vymazal, 2007). O nitrogênio, presente em diversas formas no meio aquático, é um dos elementos que influenciam no processo de eutrofização, assim como o fósforo, que é limitante para a produção primária (Coldebella et al., 2017; Cyrino et al., 2010). Um dos componentes metabólicos excretados pelos peixes é a amônia, uma das formas nitrogenadas encontradas em meios de cultivo (Macedo & Sipaúba-Tavares, 2010). No processo de decomposição da amônia, ocorre sua oxidação para nitrito através de ação bacteriana, tendo como exemplo um dos gêneros mais conhecidos as *Nitrosomonas*, posteriormente o nitrito é oxidado em nitrato, novamente por meio de ação bacteriana, sendo o gênero

Nitrobacter um dos mais conhecidos (Zoppas et al., 2016). Algumas formas nitrogenadas podem ocasionar mortalidade aos organismos aquáticos devido a sua toxicidade, como a amônia e o nitrito, que em altas concentrações ocasionam morte por asfixia, enquanto que o nitrato é uma das formas preferível de absorção para os produtores primários e é responsável pela formação de proteínas (Esteves, 1998; Swann, 1975; Vymazal, 2007; Metcalf & Eddy, 2003). Uma das formas em que o fósforo pode ser encontrado na água é o ortofosfato, que é a forma disponível para o metabolismo biológico, sendo a forma fosfatada mais assimilada por vegetais aquáticos e quando em clima tropical apresenta rápida absorção devido a altas temperaturas (Esteves, 1998; Metcalf & Eddy, 2003). A absorção de fósforo pelas macrófitas ocorre principalmente quando esta é jovem e, quando chega sua fase final de vida, é necessária sua retirada a fim de evitar a retroalimentação destes nutrientes (Vymazal, 2007).

Devido a capacidade de captação dos nutrientes presentes na água, o uso de plantas para a absorção dos nutrientes no interior das *wetlands* tem sido foco de estudos. Estudos comparando macrófitas aquáticas com outros tipos de plantas também foram desenvolvidos, no intuito de obter melhores resultados de absorção. Um dos tipos que as macrófitas possuem é a flutuante, sendo de fácil operação em comparação a outras que necessitam de substrato para fixação. A utilização de macrófitas de rápido crescimento e maior produção de biomassa demonstra ser mais eficiente no tratamento de águas residuais de piscicultura (Henry-Silva & Camargo, 2006). Uma pesquisa realizada por Osti et al. (2018) objetivou avaliar a remoção de nutrientes de efluente de piscicultura utilizando uma macrófita flutuante (*Eichhornia crassipes*) e outra emergente (*Typha domingensis*), chegando à conclusão de que a espécie flutuante apresentou melhor remoção de nitrogênio e fósforo.

Diante disto, o presente trabalho objetivou realizar uma revisão da literatura acerca do uso de macrófitas flutuantes no tratamento de efluente de aquicultura. Para o levantamento de dados uma revisão sistêmica foi elaborada com a temática de tratamento de efluente de aquicultura utilizando macrófitas aquática, onde posteriormente uma metanálise demonstrou a eficiência de absorção de cada macrófita encontrada nos estudos.

2. Metodologia

2.1 Método de busca

As buscas pelos artigos utilizados na revisão sistêmica ocorreram entre as plataformas Periódicos Capes, *Web of Science* e *Scopus*. Dentro de cada plataforma seguiu-se um critério rigoroso de seleção, pois apenas os trabalhos com abordagem sobre tratamento de efluente de aquicultura utilizando macrófita aquática flutuante foram selecionados.

2.2 Palavras-chave

As pesquisas ocorreram com o auxílio do método Booleano, que faz uso de símbolos ou palavras para ampliar ou especificar a busca de artigos através das plataformas de pesquisa. Os conjuntos foram AND, utilizado para incluir mais de um termo; OR, utilizado para realizar a inclusão de palavras similares; asterisco (*), utilizado como substituição, o que fez com que aparecesse diversas formas em que a palavra foi utilizada; parênteses, que serviu para agrupar as palavras. Desta forma, a combinação de palavras-chave utilizada foi: (wetland* Or efluente*) AND (macrophyte OR aquatic plant) AND (aquaculture). No caso da plataforma *Web of Science*, as palavras foram introduzidas no método de busca específico da plataforma, sem uso do método Booleano.

2.3 Revisão sistêmica

Os artigos foram separados por plataforma de pesquisa e dados de autor, ano de publicação, tipo de efluente tratado (carcinicultura ou piscicultura), periódico científico publicado, espécie de macrófita usada no tratamento, características avaliadas no efluente (variáveis resposta mensurada) e o local de estudo foram extraídos de cada artigo. Dados de propriedades

químicas e físicas do efluente foram tabulados de acordo com a presença nos trabalhos levantados. Durante o processo de revisão sistêmica foram encontrados 24 trabalhos publicados entre os anos de 2008 a 2018. Todos os trabalhos foram revisados por pares e a maioria tem autoria de pesquisadores brasileiros.

2.4 Metanálise

As análises estatísticas foram realizadas para nitrogênio total, amônia, nitrito, nitrato, nitrogênio Kjeldahl total, nitrogênio inorgânico total, fósforo total e ortofosfato. Os dados de número de réplicas, médias e desvios padrão dos tratamentos com macrófitas e dos tratamentos controles foram extraídos dos artigos.

O modelo utilizado para a análise foi a diferença média padronizada (DMP) entre o tratamento e o controle, obtida como estimativa não visada de variância amostral, utilizada como estatística teste no modelo de efeitos randômicos para metanálise, seguido do teste de permutação para efeito geral combinado. A diferença média padronizada foi computada de modo que valores negativos indicam que o valor do tratamento foi inferior ao do controle. Toda a metanálise seguiu o protocolo descrito em Viechtbauer (2010) para modelos de efeitos randômicos, com uso das funções `escalc`, `rma`, `permutest` e `forest` (Lewis & Clarke, 2001), do pacote “metafor” (Viechtbauer, 2010), no software R.

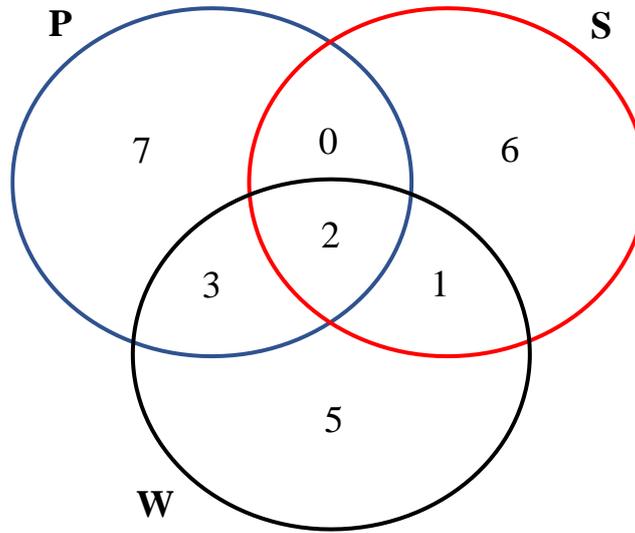
Cada tratamento foi disposto horizontalmente em gráficos, nos quais há linhas que representam o intervalo de confiança (IC), quanto mais robusto for os dados, menor será a linha de IC. A última linha que representa a diferença média padronizada serve de referência (Berwanger, 2007). A linha que se encontra ao centro na vertical é a nulidade, ou seja, ausência de efeito. Quando as linhas de IC se sobrepõem com a linha na vertical, significa que não há diferença significativa sobre os dados avaliados.

3. Resultados e Discussão

3.1 Revisão sistêmica

A partir do protocolo de busca foram encontrados 72, 193 e 435 artigos nas plataformas *Web of Science*, *Scopus* e Periódicos Capes, respectivamente. Destes, após seleção, foram identificados 12, 10 e 13 artigos que se enquadraram no critério de seleção, o que resultou em 35 artigos. Devido a repetição de artigos entre as plataformas (Fig. 1), a pesquisa totalizou em 24 artigos (Tabela 1). Muitos trabalhos foram desenvolvidos por pesquisadores brasileiros, o que demonstra a preocupação quanto a solucionar uma melhor forma de tratamento para esses efluentes.

Figura 1. Número de repetições dos trabalhos entre as plataformas de pesquisa. P = Periódico Capes; S = Scopus; W = Web of Science.



Fonte: Autores.

Tabela 1. Lista cronológica das publicações sobre tratamento de efluente de aquicultura com macrófitas flutuantes contendo os nomes dos autores, ano, revista de publicação, espécies de macrófitas utilizadas e país são apresentadas. A coluna ordem cronológica identifica de forma numérica os trabalhos encontrados nas plataformas.

Ordem Cronológica	Autores	Ano	Revista	Macrófita	País
1	Redding <i>et al.</i>	1997	Journal of Environmental Management	<i>Azolla filiculoides</i>	Reino Unido
2	Costa-Pierce	1998	Ecological Engineering	<i>Eichhornia crassipes</i>	Estados Unidos
3	Kerepeczki <i>et al.</i>	2003	Hydrobiologia	<i>Lemna gibba</i> , <i>Lemna minor</i>	Hungria
4	Staudenmann & Junge-Berberovic	2003	Journal of Applied Aquaculture	<i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Pistia stratiotes</i> , <i>Lemna spp</i>	Suíça
5	Ruenglerpanyakul <i>et al.</i>	2004	Water Science and Technology	<i>Lemna perpusilla</i>	Tailândia
6	Henry-Silva & Camargo	2006	Scientia Agricola	<i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Pistia stratiotes</i> , <i>Salvinia molesta</i>	Brasil
7	Gentelini <i>et al.</i>	2008	Ciências Agrárias	<i>Eichhornia crassipes</i>	Brasil
8	Henry-Silva & Camargo	2008	Sociedade Brasileira de Zootecnia	<i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Pistia stratiotes</i>	Brasil
9	Snow & Ghaly	2008	American Journal of Applied Sciences	<i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Pistia stratiotes</i>	Canadá
10	Pistori <i>et al.</i>	2010	Acta Limnologica Brasiliensia	<i>Salvinia molesta</i>	Brasil
11	Toledo & Penha	2011	Brazilian Journal of Biology	<i>Azolla caroliniana</i> , <i>Salvinia auriculata</i>	Brasil
12	Akinbile & Yusoff	2012	International Journal of Phytoremediation	<i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Pistia stratiotes</i>	Malásia
13	Mohapatra <i>et al.</i>	2012	Environmental Technology	<i>Lemna minor</i>	Índia

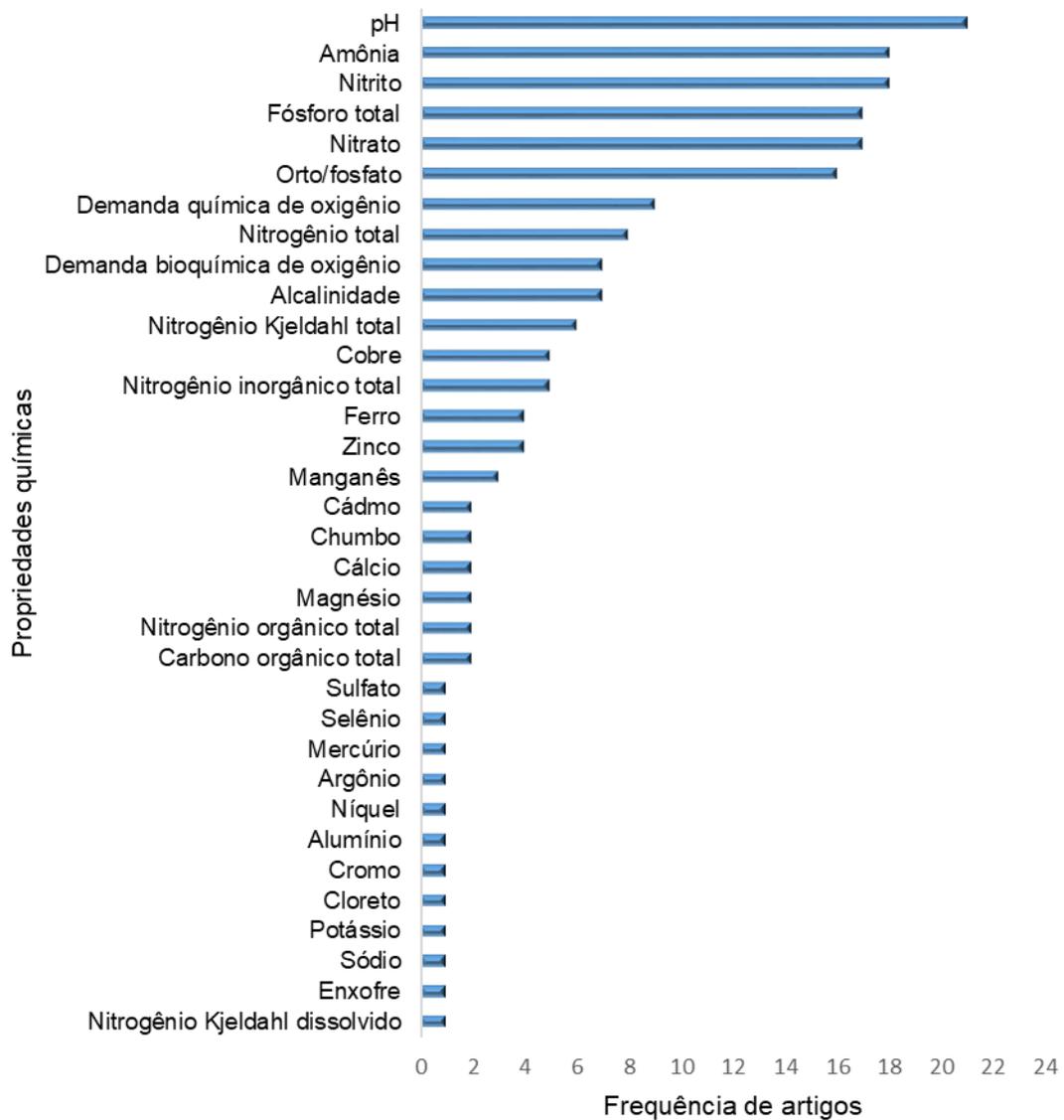
Ordem Cronológica	Autores	Ano	Revista	Macrófita	País
14	Henares & Camargo	2014a	Brazilian Journal of Biology	<i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Salvinia molesta</i>	Brasil
15	Henares & Camargo	2014b	Acta Limnologica Brasiliensia	<i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Salvinia molesta</i>	Brasil
16	Rubim <i>et al.</i>	2015	International Journal of Experimental Botany	<i>Eichhornia crassipes</i>	Brasil
17	Oliveira Santos & Camargo	2015	Aquaculture Research	<i>Eichhornia crassipes</i>	Brasil
18	Travaini-Lima <i>et al.</i>	2015	Water, Air, & Soil Pollution	<i>Eichhornia crassipes</i>	Brasil
19	Kiridi & Ogunlela	2016	International Journal of Environmental and Ecological Engineering	<i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Pistia stratiotes</i>	Nigéria
20	Souza & Vasconcelos	2016	Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia	<i>Pistia stratiotes</i>	Brasil
21	Popa <i>et al.</i>	2017	International Journal of Conservation Science	<i>Lemna</i> spp	Romênia
22	Dong <i>et al.</i>	2018	Aquaculture Environment Interactions	<i>Lemna minor</i>	China
23	Goswami & Das	2018	Chemosphere	<i>Eichhornia crassipes</i>	Índia
24	Osti <i>et al.</i>	2018	Aquaculture Research	<i>Eichhornia crassipes</i>	Brasil

Fonte: Autores.

As propriedades químicas (Figura 2) e físicas (Figura 3) da qualidade da água, do controle ou água residuária de aquicultura e tratamento, foram analisadas em todos os artigos. No entanto, o potencial hidrogeniônico (pH) foi a mais mensurada, estando presente em 21 artigos. Esse elevado índice pode estar relacionado, ao fato de o pH interferir no equilíbrio das formas amoniacais, amônia ionizada (NH_4^+) e amônia não ionizada (NH_3). Em águas com pH menor que 7, a maior parte da amônia encontra-se sob a forma ionizada, enquanto em águas básicas ou alcalinas a forma não iônica predomina (Arana, 1997). É possível que esta relação entre as propriedades seja o motivo da presença do pH na maioria dos artigos.

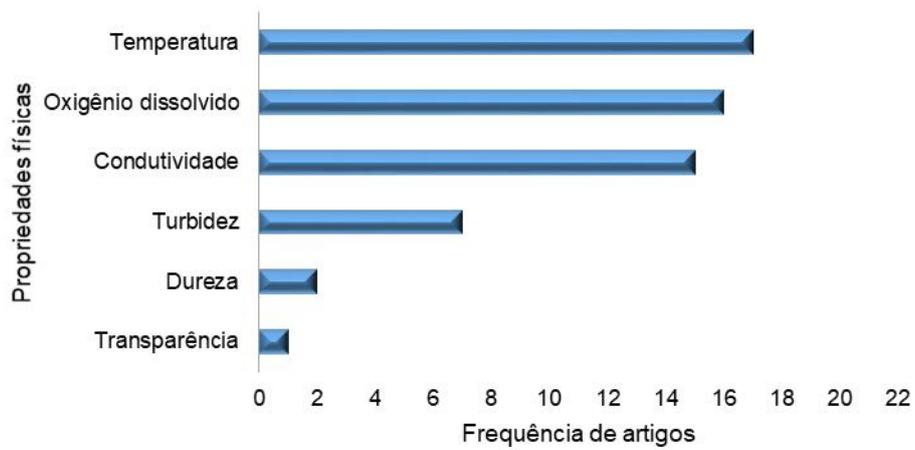
Temperatura, oxigênio dissolvido e condutividades foram mensuradas em mais de 10 estudos, possivelmente pelo grau de importância dessas propriedades nos meios de cultivo. Segundo Leira *et al.* (2017) diversas espécies de peixes toleram uma ampla variação de temperatura da água e cada espécie tem uma faixa considerada ótima, oscilando para valores acima dos limites da faixa ideal, os peixes reduzem, ou até mesmo interrompem seu crescimento, além de utilizar mais energia para obter oxigênio dissolvido (Ferraz *et al.*, 2011). Autores como Silva *et al.* (2014) dizem que a presença de macrófitas diminuem a temperatura da água, provavelmente, devido ao sombreamento da superfície e menor absorção de raios solares pela água. Turbidez esteve presente em 7 trabalhos, sólido suspenso total em 5, total de sólidos dissolvidos em 3, dureza e material particulado suspenso em 2 e transparência em apenas 1 artigo.

Figura 2. Quantificação das propriedades químicas mensuradas por presença nos artigos encontrados.



Fonte: Autores.

Figura 3. Propriedades físicas mensuradas por presença durante o tratamento de efluente de aquicultura nos artigos encontrados.



Fonte: Autores

Os gêneros das espécies de macrófitas flutuantes encontrados nos trabalhos foram *Eichhornia* (15), *Pistia* (7), *Lemna* (6), *Salvinia* (5) e *Azolla* (2), nessa ordem (Figura 4). O gênero *Eichhornia* em sistema de *wetland* construído obteve remoção de 90% do fósforo total e 75% do nitrogênio total de efluente de aquicultura de *Oreochromis niloticus* (Henry-Silva & Camargo, 2006; Oliveira Santos & Camargo, 2015). A taxa de remoção em efluente de carcinicultura para sólidos suspensos foi até 72%, turbidez redução até 55% e a demanda bioquímica de oxigênio com até 40% de remoção (Lin et al., 2010).

Figura 4. Gêneros das macrófitas encontradas nos trabalhos. A – *Eichhornia*; B – *Pistia*; C – *Lemna*; D – *Salvinia*; E – *Azolla*.



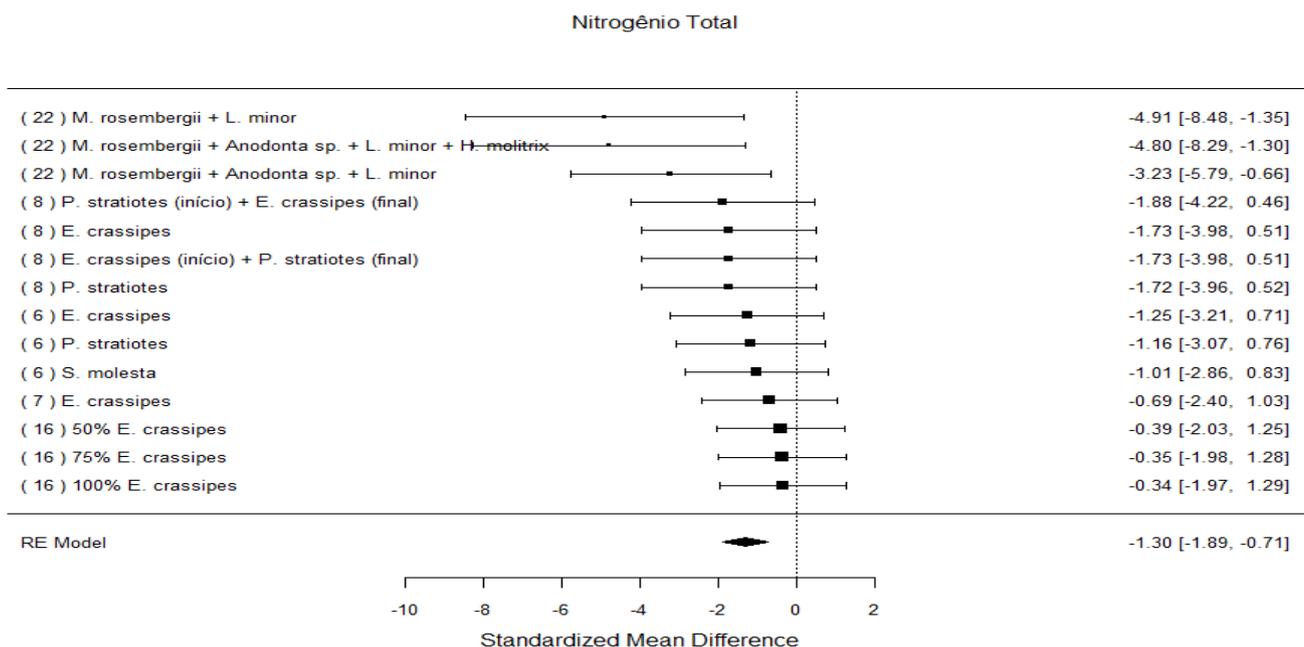
Fonte: Google imagens.

3.2 Metanálise

3.2.1 Nitrogênio total

O uso de macrófitas flutuantes para remoção do nitrogênio total, de acordo com o modelo estatístico, apresenta reduções satisfatórias (metanálise, efeito combinado DMP = -1,30; permuteste: p = 0,0010; Figura 5). Foram utilizados 5 trabalhos o que resultou em 14 tratamentos no total. O tratamento realizado por Dong et al. (2018) demonstrou melhores resultados de remoção, onde trataram efluente de carcinicultura ao longo de 64 dias, realizando coletas a cada 10 e no último dia de experimento aferiram as variáveis de qualidade da água. Os tratamentos consistiram em *Macrobrachium rosenbergii* e *Lemna minor* (PP), *M. rosenbergii*, *Anodonta* sp., *L. minor* e *Hypophthalmichthys molitrix* (PMPF) e *M. rosenbergii*, *Anodonta* sp., *L. minor* (PMP). Dentre os tratamentos, o sistema PMPF apresentou taxa de remoção de 44,3%, possivelmente essa remoção possa estar associada a presença de um bivalve, *Anodonta* sp., capaz de captar quantidades relativas de material em suspensão, inclusive os fitoplânctons que removem e depositam nutrientes na água (Haven & Morales 1966; Cohen et al., 1984). Devido ao rápido crescimento, maior remoção de poluentes e absorção de nutrientes das formas nitrogenadas através das raízes e folhas, o uso do gênero *Lemna* influencia na captação dos componentes nitrogenados (Thomaz et al., 2007). Schulz et al. (2003 & 2004) ao utilizar *Phragmites australis*, planta emergente, para tratar efluente de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) cultivadas durante 6 meses, apresentaram taxas de remoção de 20,6% no início e 68,5% no final do experimento. Provável que pelo tempo ser maior, a utilização de uma planta emergente apresentou melhores remoções. Sales (2011) ao utilizar *E. crassipes* e *P. stratiotes* para tratamento de efluente de cervejaria obteve remoções de 88,2% e 93,1%, respectivamente. Um experimento com intuito de tratar efluente de suinocultura utilizou *E. crassipes*, *P. stratiotes*, *Limnobium laevigatum* e *Lemna* sp. e constatou que a espécie *P. stratiotes* apresentou melhores resultados de remoção, com 63,1% (Sudiarto et al., 2019). Esses dados demonstram o potencial de remoção das espécies de macrófitas para a remoção de nitrogênio total.

Figura 5. Metanálise do nitrogênio total elaborado a partir das médias e desvios padrões nos tratamentos de efluentes com macrófitas flutuantes. Onde, 50%, 75% e 100% representam a porcentagem de cobertura vegetal na superfície do tanque experimental. Início e final são as posições onde as macrófitas foram posicionadas. Os números entre parênteses se referem a coluna de ordem cronológica na Tabela 1.

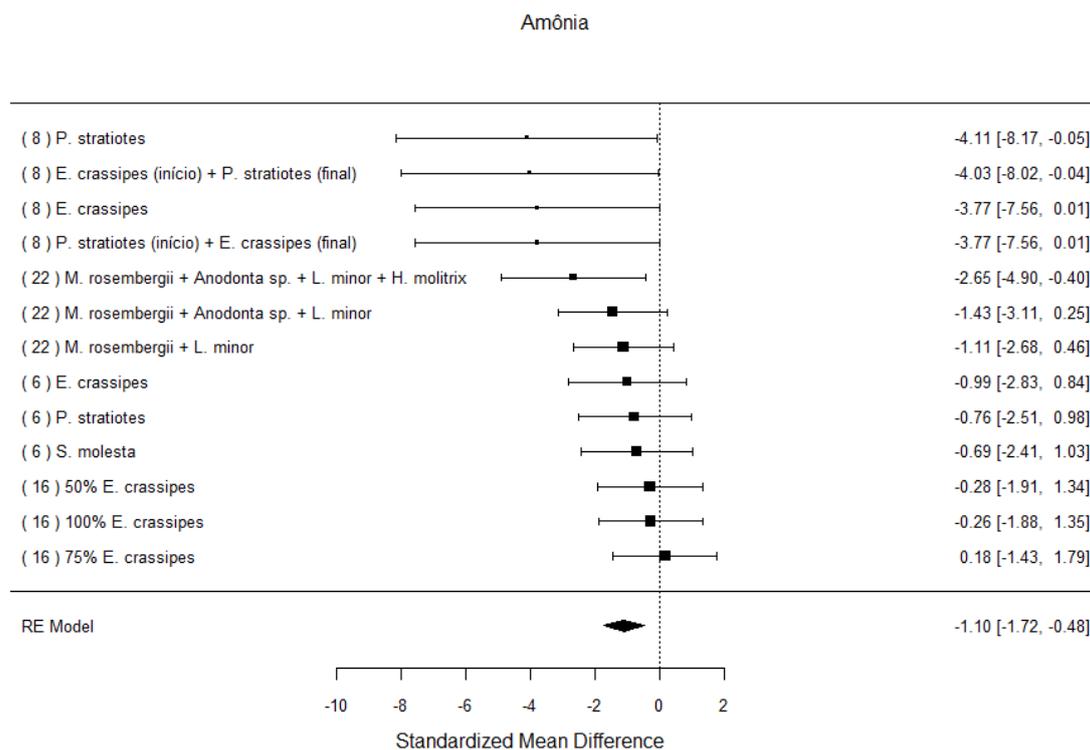


Fonte: Autores.

3.2.2 Amônia

Em geral, as macrófitas flutuantes foram eficientes na redução de amônia presente nos efluentes de aquicultura (metanálise, efeito combinado DMP = -1,10; permuteste: $p = 0,0010$; Figura 6). A amônia foi avaliada em 4 artigos, com 13 tipos de tratamentos. Dois dos tratamentos de Henry-Silva e Camargo (2008) e um do Dong et al. (2018) apresentaram maiores diferenças médias padronizadas. O resultado obtido por Henry-Silva e Camargo (2008) ao tratar efluente de carcinicultura utilizando duas espécies de macrófitas, *E. crassipes* e *P. stratiotes*, apresentou 50,4% de remoção da amônia. Um estudo realizado por Kutty et al. (2009), ao tratarem efluente municipal obteve valores de remoção de até 81% utilizando a *E. crassipes*, concluíram também que essa é uma espécie capaz de suportar altas concentrações de nutrientes. Tal resultado se encontra próximo ao encontrado por Hussar e Bastos (2008), que obteve taxa de remoção média de 82,9% ao utilizar a mesma macrófita para efluente de piscicultura. O uso da *E. crassipes* para remoção da amônia demonstrou ser eficiente e de fácil adaptação, pois a mesma adquiriu ótimos resultados em efluentes de carcinicultura, piscicultura e efluente municipal.

Figura 6. Metanálise do nitrato elaborado a partir das médias e desvios padrões nos tratamentos de efluentes com macrófitas flutuantes. Onde 50%, 75% e 100% representam a porcentagem de cobertura vegetal na superfície do tanque experimental. Início e final são as posições das macrófitas nos viveiros. Os números entre parênteses se referem a coluna de ordem cronológica na Tabela 1.



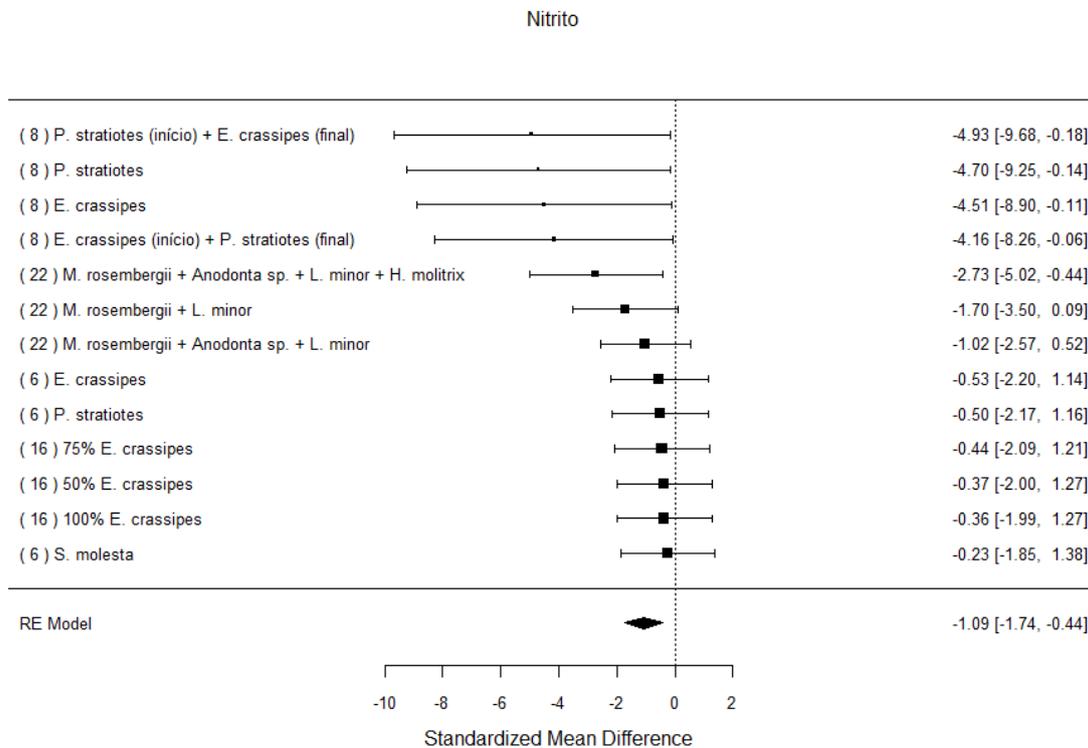
Fonte: Autores

3.2.3 Nitrito

A remoção do nitrito seguindo o modelo estatístico apresentou resultados satisfatórios (metanálise, efeito combinado DMP = -1,09; permuteste: $p = 0,0010$; Figura 7). O mesmo, esteve presente em 4 artigos com 13 tratamentos no total. Destes, todos os tratamentos de Henry-Silva & Camargo (2008) e um tratamento de Dong et al. (2018) demonstraram resultados aceitáveis de remoção do nitrito. Henry-Silva & Camargo (2008), avaliaram a eficiência de sistemas compostos de combinações entre duas espécies de macrófitas aquáticas flutuantes (*E. crassipes* e *P. stratiotes*) no tratamento de efluente de carcinicultura, o que resultou em remoções de 54,3% apenas com *E. crassipes*, 54,5% apenas com *P. stratiotes*. Lin et al.

(2005) avaliaram o uso das macrófitas *Typha angustifolia* e *Phragmites australis* para tratamento da água de carcinicultura em sistemas de recirculação e adquiriram remoções de até 94% de nitrito. Nenhuma das macrófitas que utilizaram eram flutuantes, provavelmente elas são mais adaptadas para esse sistema. Esta eficiência, pode ter relação com a composição orgânica do efluente, bem como as necessidades de cada macrófita e o sistema de cultivo (Boyd et al., 2007). No entanto, Gonzalez (2015) utilizou para tratamento de efluente de cervejaria duas espécies de macrófitas flutuantes, *Limnobium laevigatum* e *Salvinia molesta*, obtendo remoções de 98,4% e 93,2% respectivamente. O uso de macrófitas para a remoção de nutrientes como o nitrito demonstra ser promissor.

Figura 7. Metanálise do nitrito a partir das médias e desvios padrões nos tratamentos de efluentes com macrófitas flutuantes. Onde, 50%, 75% e 100% representam a porcentagem de cobertura vegetal na superfície do tanque experimental. Início e final são as posições ocupadas pelas macrófitas no viveiro. Os números entre parênteses se referem a coluna de ordem cronológica na Tabela 1.

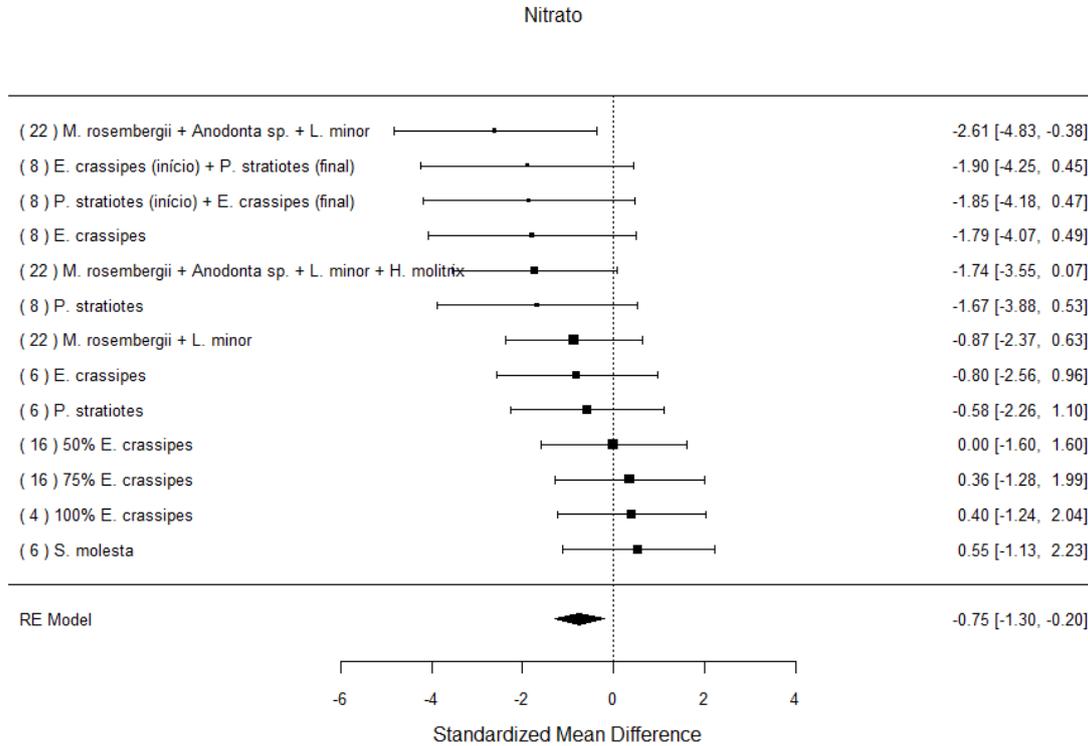


Fonte Autores.

3.2.4 Nitrito

O nitrato esteve presente em 4 artigos, totalizando 13 tratamentos e sua remoção utilizando macrófitas flutuantes é eficiente (metanálise, efeito combinado DMP = -0,75; permuteste: p= 0,0010, Figura 8). Um dos tratamentos realizado por Dong et al. (2018) apresentou uma maior DMP, sendo o tratamento PMP (*M. rosenbergii*, *Anodonta sp.* e *L. minor*). Hussar & Bastos (2008) ao utilizarem *E. crassipes* para tratamento de efluente de piscicultura, adquiriram uma remoção de 79,5% de nitrato. Altos valores de remoção também observado em Gonzalez (2015), que apresentou 93,7% e 93,4% utilizando *L. laevigatum* e *S. molesta*, respectivamente. A altas taxas de remoção de nitrato pode ocorrer devido este ser uma das principais fontes de nitrogênio para vegetais aquáticos (Esteves, 1998). Desta forma, estatisticamente pode-se observar resultados bons para absorção de nitrato, porém com maior afinidade para o tratamento utilizando *L. minor*.

Figura 8. Metanálise do nitrato elaborada a partir das médias e desvios padrões nos tratamentos de efluentes com macrófitas flutuantes. Onde 50%, 75% e 100% representam a porcentagem de cobertura vegetal na superfície do tanque experimental. Início e final são as posições das macrófitas no viveiro. Os números entre parênteses se referem a coluna de ordem cronológica na Tabela 1.

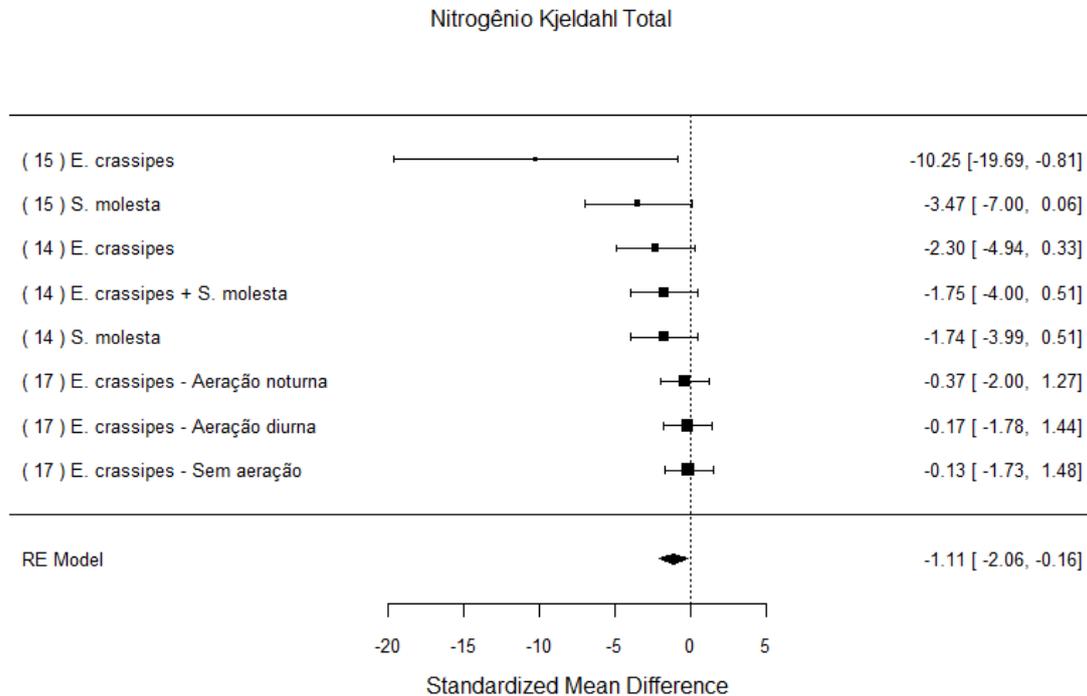


Fonte: Autores.

3.2.5 Nitrogênio Kjeldahl total

A eficiência da remoção do Nitrogênio Kjeldahl Total (NKT) pelas macrófitas ao ser analisado pela diferença média padronizada obteve resultados satisfatórios (DMP = -1,11, $p=0,0078$, Figura 9). O trabalho realizado por Henares & Camargo (2014b) foi o que apresentou uma maior DMP, onde obtiveram remoções de aproximadamente 61,7% para *E. crassipes* e de 47% para *S. molesta* ao tratarem efluente de aquicultura. Amorim (2014) ao analisar a eficiência de *wetlands* construídas e povoadas com duas espécies de macrófitas aquáticas flutuantes (*E. crassipes* e *P. stratiotes*) no tratamento do efluente de despesca de tanques de crescimento final de tilápias durante 150 dias, apresentou uma remoção de NKT de aproximadamente 75%. O trabalho realizado por Mendonça et al. (2012) teve como objetivo avaliar a eficiência do uso de *wetlands* construídas para o tratamento de efluente de laticínio, o que resultou em uma taxa máxima de remoção de 73,4% no sistema que era constituído por brita, areia e *Typha dominguensis*. Estes resultados reforçam a necessidade quanto a caracterização inicial do efluente e as necessidades das macrófitas, visto que a *E. crassipes* já demonstrou eficiência quanto a remoção de fósforo e compostos nitrogenados (Redding et al., 1997).

Figura 9. Metanálise do nitrogênio Kjeldahl total elaborado a partir das médias e desvios padrões nos tratamentos de afluentes com macrófitas flutuantes. Onde, aeração diurna, aeração noturna e sem aeração equivalem ao tipo de tratamento. Os números entre parênteses se referem a coluna de ordem cronológica na Tabela 1.

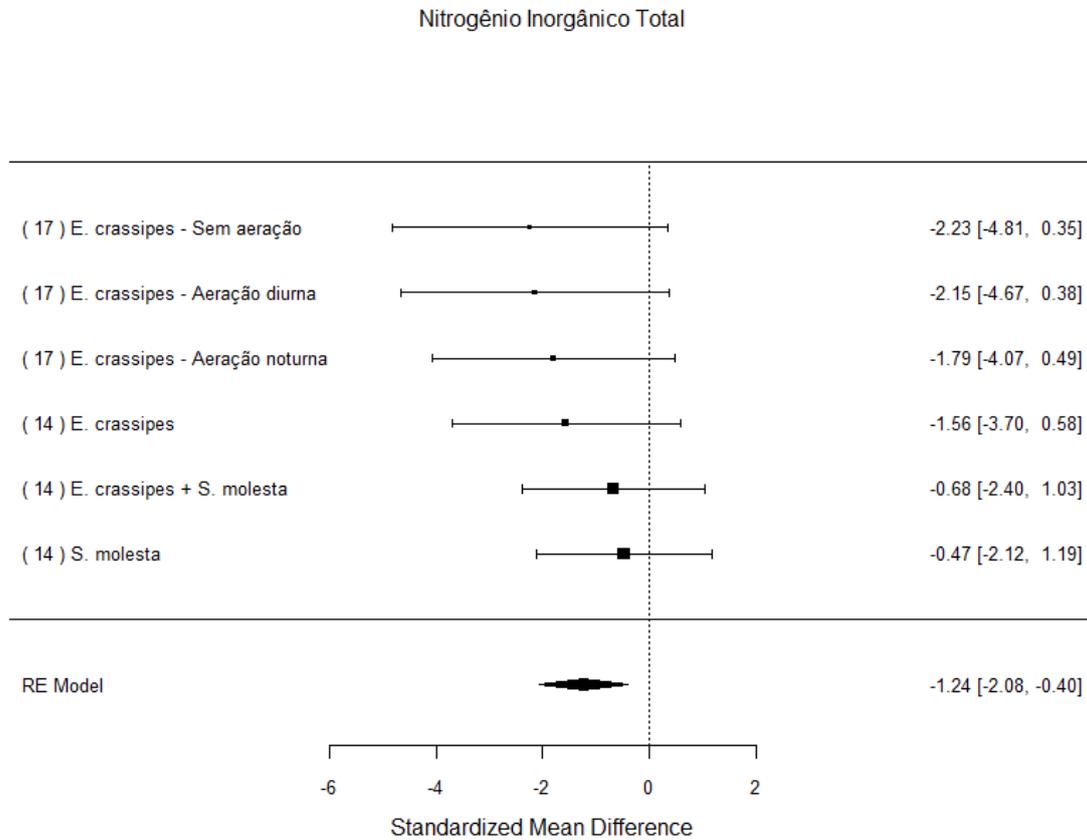


Fonte: Autores.

3.2.6 Nitrogênio inorgânico total

As macrófitas flutuantes, de acordo com o modelo estatístico utilizado, obtiveram reduções satisfatórias (metanálise, efeito combinado DMP = -1,24; permuteste: $p = 0,0312$; Figura 10) em relação ao Nitrogênio Inorgânico Total (NIT). O mesmo, esteve presente em 2 artigos e 6 tratamentos no total. Oliveira Santos e Camargo (2015), avaliaram a eficiência de sistemas compostos por *E. crassipes* e combinações sem aeração, aeração diurna e noturna, no tratamento de efluentes gerados por um viveiro de manutenção de reprodutores de camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) durante o período de 21 dias, os autores obtiveram remoção de 70% do NIT ao final do experimento. Enquanto que Henares & Camargo (2014a) utilizaram no sistema somente *E. crassipes* (Ec) ou *S. molesta* (Sm) e a junção das mesmas (EcSm), durante o período de 50 dias com efluente provindo de cultivo de camarão, a remoção do nitrogênio inorgânico total foi de 46% para Ec, 19,8% em Sm e 23% no EcSm. Amorim (2014) adquiriu taxas de remoções de 85% para *P. stratiotes* e 82% para *E. crassipes* no tratamento de efluente de despesca. O trabalho realizado por Henares e Camargo (2014b) apresentou taxas de remoções de aproximadamente 59,6% para *E. crassipes* e 35% para *S. molesta*. O uso dessas macrófitas para a remoção de NIT demonstra ser eficiente, devido as taxas de remoção adquiridas.

Figura 10. Metanálise do nitrogênio inorgânico total elaborado a partir das médias e desvios padrões nos tratamentos de efluentes com macrófitas flutuantes. Onde, aeração diurna, aeração noturna e sem aeração equivalem ao tipo de tratamento. Os números entre parênteses se referem a coluna de ordem cronológica na Tabela 1.

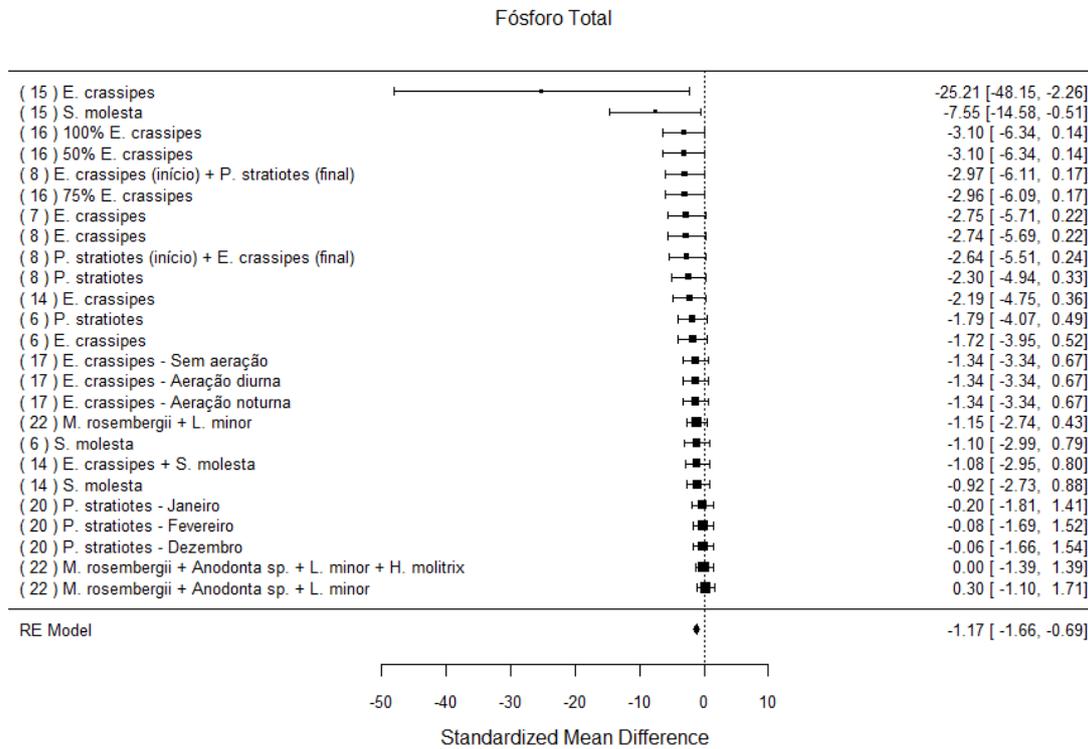


Fonte: Autores.

3.2.7 Fósforo total

O fósforo total esteve presente em todos os trabalhos, totalizando 25 tipos de tratamentos. A remoção por macrófitas flutuantes apresentou ser eficiente (metanálise, efeito combinado DMP = -1,06; permuteste: $p = 0,0010$; Figura 11). O trabalho realizado por Henares e Camargo (2014b) obteve maior diferença média padronizada, ao utilizarem *E. crassipes* e *S. molesta* para o tratamento de efluente de aquicultura. O experimento comparou os valores de fósforo total obtidos na entrada e saída do tratamento do efluente, com mensurações a cada 3 dias, por um período de tempo de 50 dias. Ao final do experimento obtiveram taxa de remoção de 25%. Um estudo realizado por Macagnan (2011) utilizando microalga para tratamento de efluente de cervejaria obteve taxas de remoções de até 77%, possivelmente devido ao rápido ciclo de vida. Segundo Martelo & Borrero (2012) a espécie *E. crassipes* pode chegar a valores de remoção de até 91,7%, enquanto que a *P. stratiotes* até 64,2%. O valor encontrado por Rubim et al. (2015) utilizando *E. crassipes* como biofiltro para efluente de piscicultura foi de 68%. Entretanto, para tratamento de efluente de carcinicultura com combinação de duas espécies de macrófitas flutuantes, *E. crassipes* e *P. stratiotes*, obteve remoção de até 72,5%, possivelmente pela junção de espécies (Henry-Silva & Camargo 2008). Possivelmente, a eficiência de remoção está relacionada com as características da água de cultivo e quanto maior a concentração de nutrientes na água, maior é o crescimento de biomassa das macrófitas, implicando no aumento das taxas de remoção dos compostos orgânicos (True et al., 2004; Pistori et al., 2010).

Figura 11. Metanálise do fósforo total elaborado a partir das médias e desvios nos tratamentos de efluentes com macrófitas flutuantes. Onde, 50%, 75% e 100% representam a porcentagem de cobertura vegetal na superfície do tanque experimental. Início e final são as posições onde as macrófitas foram posicionadas. Aeração diurna e noturna são os dados das coletas que estavam com valores especificados. Os números entre parênteses se referem a coluna de ordem cronológica na Tabela 1.

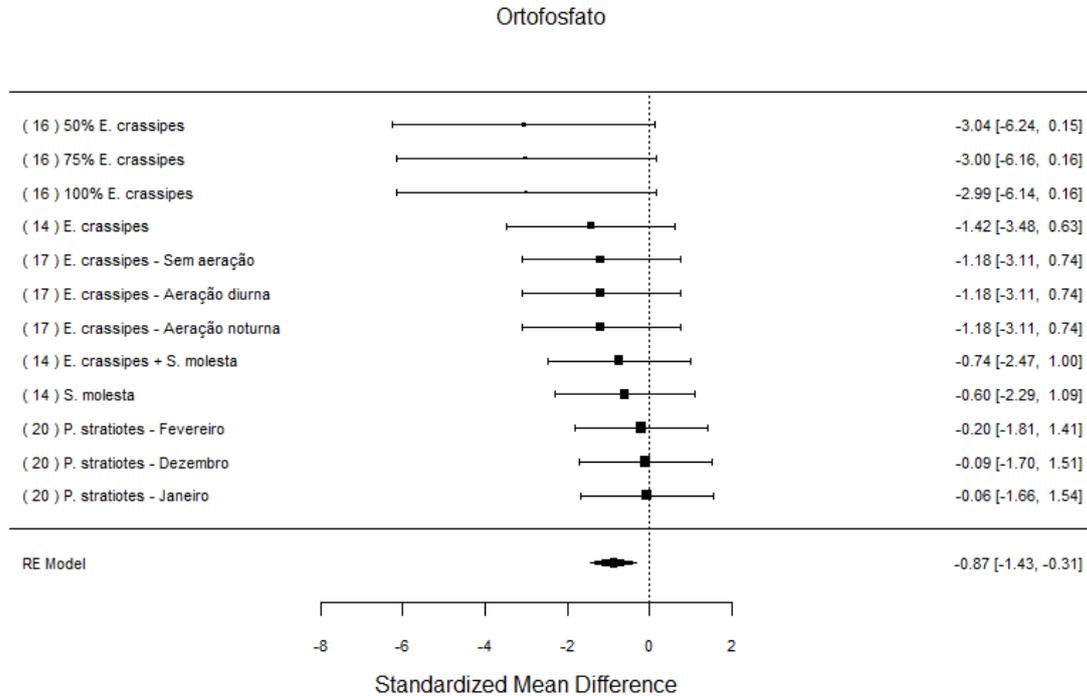


Fonte: Autores.

3.2.8 Ortofosfato

O ortofosfato foi avaliado em 4 artigos, consistindo em 12 tratamentos que ao serem analisados pela diferença média padronizada constatou-se que, no geral, as macrófitas flutuantes não foram eficientes na redução do mesmo em efluentes de aquicultura (metanálise, efeito combinado DMP = -0,87; permuteste: $p = 0,3810$; Figura 12). No entanto, há estudos que demonstram a eficiência de macrófita para a remoção de ortofosfato. Sipaúba-Tavares & Braga (2008) utilizaram oito espécies de macrófitas, sendo *E. crassipes*, *Alternanthera philoxerodos*, *Heteranthera reniformis*, *Hydrocotyly umbeliferae*, *Ludwigia elegans*, *L. sericea*, *Myriophyllum aquaticum* e *Thypha dominguensis*, para tratamento de efluente de suinocultura e obtiveram máximas taxas de remoção de 57,5%. Mesmo estatisticamente o valor de $p > 0,05$, o estudo realizado por Rubim et al. (2015) apresentou taxas de remoção de 77,8% para ortofosfato. No entanto, Lin et al. (2005) afirmaram que a eficiência da macrófita na remoção dos compostos orgânicos estão diretamente relacionadas com ao sistema radicular. E que a porcentagem de biomassa utilizada nos tratamentos interfere na melhoria da qualidade da água.

Figura 12. Metanálise do ortofosfato elaborada a partir das médias e desvios padrões nos tratamentos de efluentes com macrófitas flutuantes. Onde 50%, 75% e 100% representam a porcentagem de cobertura vegetal na superfície do tanque experimental. Aeração diurna, aeração noturna e sem aeração equivalem ao tipo de tratamento. Os números entre parênteses se referem a coluna de ordem cronológica na Tabela 1.



Fonte: Autores.

4. Conclusão

A revisão sistêmica evidenciou que mais estudos devem ser realizados, pois há poucos estudos ainda sobre o tema de tratamento de efluente de aquicultura utilizando macrófitas aquáticas flutuantes.

A metanálise demonstrou que o uso de macrófitas aquáticas flutuantes para o tratamento de efluente de aquicultura foi eficiente em diversas situações, exceto para o ortofosfato. Para cada tipo de efluente e suas condições de tratamento, o uso de determinadas macrófitas demonstram ser mais adequadas. A macrófita *E. crassipes* esteve presente em todos os trabalhos, com taxas de remoção consideráveis, demonstrando também que esta é uma espécie que se enquadra em todos os tipos de efluentes, sendo bem resistente. Para remoção do nitrogênio total a espécie *P. stratiotes* demonstrou ser mais eficiente. A remoção da amônia foi mais eficiente por *E. crassipes*. Segundo os dados apresentados neste trabalho, o uso de *P. stratiotes* teve melhor eficiência na remoção de nitrito, porém na literatura encontra-se taxas maiores para o uso de *S. molesta*. A remoção do nitrato apresentou bons resultados para a *E. crassipes*, porém há trabalhos que demonstram o uso da *L. laevigatum* para maiores remoções. O uso combinado de *E. crassipes* e *P. stratiotes* apresentou ótimos valores de remoção para nitrogênio kjeldahl total. O uso de *E. crassipes* para a remoção de nitrogênio inorgânico total demonstrou ser eficiente, porém há estudos que demonstram o uso de *P. stratiotes* para melhor remoção. A *E. crassipes* demonstrou eficiência quanto a remoção de fósforo total. Assim, nota-se que as distintas macrófitas possuem afinidades espécie-específicas pelos nutrientes e, desta forma, o uso combinado de espécies de macrófitas no tratamento de efluentes de aquicultura parece ser promissor. No entanto, estudos específicos com diferentes combinações ainda precisam ser realizados.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Capes pela bolsa de auxílio para desenvolvimento do mestrado de Gabriele dos Santos Nogueira.

Referências

- Akinbile, C. O. & Yusoff, M. S. (2012). Assessing water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and lettuce (*Pistia stratiotes*) effectiveness in aquaculture wastewater treatment. *International Journal of Phytoremediation*, 14 (3), 201-211.
- Amorim, R. V. (2014). Produção de tilápias-do-Nilo em sistemas sem renovação de água com Wetlands para tratamento de efluentes.
- Arana, L. V. (1997). Princípios químicos de qualidade de água em aquicultura: uma revisão para peixes e camarões. Florianópolis, SC: UFSC.
- Berwanger, O., Suzumura, E. A., Buehler, A. M. & Oliveira, J. B. (2007). Como avaliar criticamente revisões sistêmicas e metanálises. *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*. 19 (4), 475-80.
- Boyd, C. E., Tucker, C. S., Mcnevin, A., Bostick, K & Clay, J. (2007). Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*. 15 (4), 327-360.
- Brix, H. (1994). Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Water Science and Technology*. 29 (4), 71-78.
- Chagas, T. W. G., Salati, E. & Tauk-Tornisielo, S. M. (2012). Sistemas construídos de áreas alagadas: revisão da legislação e dos padrões de qualidade da água. *Holos Environment*. 12 (1), 87-98.
- Cohen, R. R. H., Dresler, P. V., Phillips, E. J. P & Cory, R. L. (1984). The effect of the Asian clam, *Corbicula fluminea*, on phytoplankton of the Potomac River, Maryland. *Limnology and Oceanography*. 29 (1), 170-180.
- Coldebella, A.; Gentelini, A.; Piana, PA.; Coldebella, P.; Boscolo, W. & Feiden, A. (2017). Effluents from fish farming ponds: a view from the perspective of its main components. *Sustainability*. 10 (1), 3.
- Costa-Pierce, B.A. (1998). Preliminary investigation of an integrated aquaculture-wetland ecosystem using tertiary-treated municipal wastewater in Los Angeles County, California. *Ecological Engineering*. 10 (4), 341-354.
- Cyrino, J. E. P., Bicudo, Á. D. A., Sado, R. Y., Borghesi, R. & Dairiki, J. K. (2010). A piscicultura e o ambiente – o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 39 (1), 68-87.
- De Lacerda, L. D., Vaisman, A. G., Maia, L. P., Silva, C. A. R. & Cunha, S. E. M. (2006). Relative importance of nitrogen and phosphorus emissions from shrimp farming and other anthropogenic sources for six estuaries along the NE Brazilian coast. *Aquaculture*. 253 (1-4), 433-446.
- Dong, X.; Lv, L.; Zhao, W.; Yu, Y & Liu, Q. (2018). Optimization of integrated multi-trophic aquaculture systems for the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture Environment Interactions*. 10: 547-556.
- Esteves, F. A. (1998). Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro, RJ: Interciência.
- Fao. (2020). FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of World Fisheries and Aquaculture. 2020. Rome.
- Ferraz, E. de M., Carvalho, G. C. S., Schaefer, A. L. C., Narahara, M. Y. & Cerqueira, V. R. (2011). Influência da temperatura de cultivo sobre crescimento e diferenciação sexual de robalo-peva, *Centropomus parallelus* Poey, 1860. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*. 6 (1), 1-16.
- Ferreira, M. A., Lopes, T. C., Nascimento, D. N. O. & Catro, A. P. S. (2022). Macrófitas e seu potencial fitorremediativos em estações de tratamento de esgoto: uma revisão bibliográfica. *Research, Society and Development*. 11(2)e13711225457.
- Gentelini, A. L., Gomes S. D., Feiden, A., Zenatti, D., Sampaio, S. C. & Coldebella, A. (2008). Produção de biomassa das macrófitas aquáticas *Eichhornia crassipes* (aguapé) e *Egeria densa* (egeria) em sistema de tratamento de efluente de piscicultura orgânica. *Semina: Ciências Agrárias*. 29(2): 441-448.
- Gonzalez, A. C. (2015). Macrófitas aquáticas e efluente de cervejaria: dinâmica e perspectivas.
- Goswami, D.; Das, S. (2018). *Eichhornia crassipes* mediated copper phytoremediation and its success using catfish bioassay. *Chemosphere*. 210: 440-448.
- Haven, D. S. & Morales, A. R. (1966). Aspects of biodeposition by oysters and other invertebrate filter feeders. *Limnology and Oceanography*. 11(4), 487-498.
- Henares, M. N. P. & Camargo, A. F. M. (2014a). Treatment efficiency of effluent prawn culture by wetland with floating aquatic macrophytes arranged in series. *Brazilian Journal of Biology*. 74 (4), 906-912.
- Henares, M. N. P. & Camargo, A. F. M. (2014b). Estimating nitrogen and phosphorus saturation point for *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Salvinia molesta* Mitchell in mesocosms used to treating aquaculture effluent. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 26 (4), 420-428.
- Henry-Silva, G. G. & Camargo, A. F. M. (2006). Efficiency of aquatic macrophytes to treat Nile tilapia pond effluents. *Scientia Agricola*. 63(5), 433-438.
- Henry-Silva, G. G. & Camargo, A. F. M. (2008). Tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 181-188.

- Hu, J.; Qiao, Y., Zhou, L. & Li, S. (2012). Spatiotemporal distributions of nutrients in the downstream from Gezhouba Dam in Yangtze River, China. *Environmental Science and Pollution Research*. 19 (7), 2849-2859.
- Hussar, G. J. & Bastos, M. C. (2008). Tratamento de efluente de piscicultura com macrófitas aquáticas flutuantes. *Engenharia Ambiental*. 5(3), 274-285.
- Iwa – International Water Association. (2000). Constructed wetlands for pollution control. processes, performance, design. and operation. 1st ed. London: IWA publishing.
- Kadlec, R. H. & Wallace, S. (2008). Treatment wetlands. CRC press: Boca Raton.
- Kerepeczki, E., Gál, D., Szabó, P. & Pekár, F. (2003). Preliminary investigations on the nutrient removal efficiency of a wetland-type ecosystem. *Hydrobiologia*. 506 (509), 665-670.
- Kiridi, E. A. & Ogunlela, A. O. (2016). Modelling phytoremediation rates of aquatic macrophytes in aquaculture effluent. *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*. 10 (3), 353-360.
- Kutty, S. R. M., Ngatenah, S. N. I., Isa, M. H. & Malakahmad, A. (2009). Nutrients removal from municipal wastewater treatment plant effluent using *Eichhornia crassipes*. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*. 3 (12), 414-419.
- Leira, M. H., Cunha, L. T., Braz, M. S., Melo, C. C. V., Botelho, H. A., Refhim, L. S. (2017). Qualidade da água e seu uso em pisciculturas. *Pubvet*. 11: 1102.
- Lewis, S. & Clarke, M. (2001). Forest Plots: Trying to See the Wood and the Trees. *Bmj*. 322 (7300), 1479-1480.
- Lin, Y. F., Jing, S. R., Lee, D. Y., Chang, Y. F., Chen, Y. M. & Shih, K. C. (2005). Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. *Environmental Pollution*. 134 (3), 411-421.
- Lin, Y. F., Jing, S. R., Lee, D. Y., Chang, Y. F. & Sui, H. Y. (2010). Constructed wetlands for water pollution management of aquaculture farms conducting earthen pond culture. *Water Environmental Research*. 82(8), 759-768.
- Macagnan, D. C. (2011). Tecnologia no tratamento de águas residuárias.
- Macedo, C. F. & Sipaúba-Tavares, L. H. (2010). Eutrofização e qualidade da água de piscicultura: consequências e recomendações. *Boletim do Instituto de Pesca*. 36(2), 149-163.
- Martelo, J. & Borrero, J. A. L. (2012). Macrófitas flotantes em el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*. 8(15), 221-243.
- Metcalf, Eddy. (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Boston: McGraw-Hill.
- Mohapatra, D. P., Ghangrekar, M. M., Mitra, A. & Brar, S. K. (2012). Sewage treatment in integrated system of UASB reactor and duckweed pond and reuse for aquaculture. *Environmental Technology*. 33(12), 1445-1453.
- Oliveira Santos, A. A. & Camargo, A. F. M. (2015). Constructed wetlands for treatment of harvest effluents from grow-out ponds of the Amazon river prawn. *Aquaculture Research*. 46 (11), 2676-2684.
- Osti, J. A., Henares, M. N. & Camargo, A. F. M. (2018). The efficiency of free-floating and emergent aquatic macrophytes in constructed wetlands for the treatment of a fishpond effluent. *Aquaculture Research*. 49 (10), 3468-3476.
- Pavlineri, N., Skoulikidis, N. T. & Tsihrintzis, V. A. (2017). Constructed floating wetlands: a review of research, design, operation and management aspects, and data meta-analysis. *Chemical Engineering*. 308, 1120-1132.
- Pistori, R. E. T., Henry-Silva, G. G., Biudes, J. F. V. & Camargo, A. F. M. (2010). Influence of aquaculture effluents on the growth of *Salvinia molesta*. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 22 (2), 179-186.
- Popa, R., Moga, I. C., Rissdorfer, M., Ilis, M. D. G., Petrescu, G., Craciun, N., Matache, M., Covaliu, C. & Stoian, G. (2017). Duckweed utilization for fresh water conservation (management) in recirculated aquaculture systems. *International Journal of Conservation Science*. 8 (4), 715-722.
- Redding, T.; Todd, S. & Midlen, A. (1997). The treatment of aquaculture wastewaters—a botanical approach. *Journal of Environmental Management*. 50(3), 283-299.
- Reddy, K. R. & De Busk, W. F. (1985). Nutrient removal potential of selected aquatic macrophytes 1. *Journal of Environmental Quality*. 14(4), 459-462.
- Rubim, M. A., Isolino Sampaio, P. R. & Parolin, P. (2015). Biofilter efficiency of *Eichhornia crassipes* in wastewater treatment of fish farming in Amazonia. *Phyton, International Journal of Experimental Botany*. 84 (1), 244-251.
- Ruenglerpanyakul, W.; Attasat, S. & Wanichpongpan, P. (2004). Nutrient removal from shrimp farm effluent by aquatic plants. *Water Science and Technology*. 50(6), 321-330.
- Sales, C. V. (2011). Uso de duas espécies de macrófitas aquáticas, *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes* em tratamento de resíduos de cervejaria na cidade de Toledo/PR.
- Schulz, C.; Gelbrecht, J. & Rennert, B. (2003). Treatment of rainbow trout farm effluents in constructed wetland with emergent plants and subsurface horizontal water flow. *Aquaculture*. 217(1-4), 207-221.
- Schulz, C.; Gelbrecht, J. & Rennert, B. (2004). Constructed wetlands with free water surface for treatment of aquaculture effluents. *Journal of Applied Ichthyology*. 20 (1), 64-70.

- Schwartz, M. E. & Boyd, C. E. (1995). Constructed wetlands for treatment of channel catfish pond effluents. *Progressive Fish-Culturist*. 57(4), 255-266.
- Silva, A. D. R., Santos, R. B., Bruno, A. M. S. S., Genteline, A. L., Silva, A. H. G. & Soares, E. C. (2014). Biofilter efficiency of water hyacinth on limnological variables in irrigation channels used for tambaqui farming. *Acta Amazonica*. 44 (2), 255-262.
- Sipaúba-Tavares, L. H. & Braga, F. M. D. S. (2008). Constructed wetland in wastewater treatment. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*. 30(3), 261-265.
- Sipaúba-Tavares, L. H., Favero, E. G. P. & Braga, F. M. S. (2002). Utilization of macrophyte biofilter in effluent from aquaculture: I. Floating plant. *Brazilian Journal of Biology*. 62 (4A), 713-723.
- Siqueira, T. V. (2018). Aquicultura: a nova fronteira para produção de alimentos de forma sustentável. *Revista do BNDES*. 25(49), 119-170.
- Snow, A. M. & Ghaly, A. E. (2008). A comparative study of the purification of aquaculture wastewater using water hyacinth, water lettuce and parrot's feather. *American Journal of Applied Sciences*. 5 (4), 440-453.
- Souza, A. F. L. & Vasconcelos, E. L. Q. (2016). Utilização de macrófita aquática flutuante *Pistia stratiotes* no tratamento de efluentes de piscicultura no estado do Amazonas. *Pubvet*. 10: 873-945.
- Staudenmann, J. & Junge-Berberovic, R. (2003). The Otelfingen aquaculture project: Recycling of nutrients from waste water in a temperate climate. *Journal of Applied Aquaculture*. 13 (1-2), 67-101.
- Sudiarto, S. I. A., Renggaman, A. & Choi, H. L. (2019). Floating aquatic plants for total nitrogen and phosphorus removal from treated swine wastewater and their biomass characteristics. *Journal of Environmental Management*. 231, 763-769.
- Swann, P. F. (1975). The toxicology of nitrate, nitrite and n-nitroso compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 26(11), 1761-1770.
- Thomaz, S. M., Chambers, P. A., Pierini, A. S. & Pereira, G. (2007). Effects of phosphorus and nitrogen amendments on the growth of *Egeria najas*. *Aquatic Botany*. 86 (2), 191-196.
- Toledo, J. J. & Penha, J. (2011). Performance of *Azolla caroliniana* Willd. and *Salvinia auriculata* Aubl. on fish farming effluent. *Brazilian Journal of Biology*. 71 (1), 37-45.
- Travaini-Lima, F., da Veiga, M. A. M. S. & Sipaúba-Tavares, L. H. (2015). Constructed wetland for treating effluent from subtropical aquaculture farm. *Water, Air, & Soil Pollution*. 226 (3), 1-10.
- True, B.; Johnson, W. & Chen, S. (2004). Reducing phosphorus discharge flow through aquaculture I: facility and effluent characterization. *Aquacultural Engineering*. 32 (1), 129-144.
- Viechtbauer, W. (2010). Conducting meta-analyses in R with the metaphor package. *Journal of Statistical Software*. 36(3), 1-48.
- Vymazal, J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*. 380(1-3), 48-65.
- Vymazal, J. (2010). Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water*. 2(3), 530-549.
- Yan, A., Wnag, Y., Tan, S. N., Yousof, M. L. M., Ghosh, S. & Chen, Z. (2020). Phytoremediation: A promising approach for revegetation of heavy metal polluted land. *Frontiers in Plant Science*, 11,359.
- Zoppas, F. M., Bernardes, A. M. & Meneguzzi, Á. (2016). Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. *Engenharia Sanitária e Ambiental: órgão oficial de informação técnica da ABES*. 21 (1), 29-42.