

UNISALES - CENTRO UNIVERSITÁRIO SALESIANO

FABRÍCIO COLODETTI DA SILVA

**LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO DE ESTUDOS BRASILEIROS QUE
UTILIZARAM MÉTODOS BIOLÓGICOS PARA REDUÇÃO DE NUTRIENTES DE
CORPOS DE ÁGUA**

VITÓRIA - ES

2021

FABRÍCIO COLODETTI DA SILVA

**LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO DE ESTUDOS BRASILEIROS QUE
UTILIZARAM MÉTODOS BIOLÓGICOS PARA REDUÇÃO DE NUTRIENTES DE
CORPOS DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
UNISALES - Centro Universitário Salesiano como
requisito obrigatório para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas.
Orientador: Profº Danilo Camargo Santos

FABRÍCIO COLODETTI DA SILVA

**LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO DE ESTUDOS BRASILEIROS QUE
UTILIZARAM MÉTODOS BIOLÓGICOS PARA REDUÇÃO DE NUTRIENTES DE
CORPOS DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a UNISALES - Centro Universitário Salesiano como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovado em ___/___/___ por:

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as coisas. À minha esposa Camila, pelo amor, companheirismo, incentivo e dedicação. Te amo! Aos meus pais, dona Geruza e seu Zequinha, pelo apoio, suporte e orações, desde sempre, amo vocês. Ao meu filho Vinícius, uma das maiores fontes de motivação. Ao meu orientador e professor Danilo, por fazer parte da minha trajetória acadêmica, por sempre estar disponível para ajudar, pela amizade e pelo trabalho excelente. Aos professores do meu curso de Ciências

Biológicas bacharel e licenciatura.

A todos vocês, muito obrigado!

RESUMO

Eutrofização é o processo de enriquecimento das águas com nutrientes, sendo promovida principalmente por ações antrópicas como a industrialização. Tendo em vista vantagens do uso de métodos biológicos como sua viabilidade econômica e a necessidade de sistematizar o conhecimento da área, o presente trabalho teve por objetivo realizar uma revisão bibliográfica a fim de conhecer os principais e mais eficientes métodos biológicos de remoção de nutrientes que têm sido realizados em território brasileiro a partir de amostras de artigos em revistas científicas, publicados de 2015 a 2021. Incluíram-se estudos que tratavam somente do controle interno de nitrogênio e/ou fósforo e que fossem realizados em território brasileiro. A palavra-chave foi “eutrofização” combinada com as palavras “mitigação”; “recuperação”; “remoção”; “ambientes lacustres”; “*Eichhornia*”; “macrófitas”; “perifíton” e “wetlands”. Os bancos de dados foram o portal da CAPES e o google acadêmico. Dezesete artigos foram selecionados para compor a amostra. A maioria avaliou a restrição de nitrogênio e fósforo juntos, sendo mais frequentes esgotos e efluentes domésticos como corpos de água. Todas as técnicas tiveram como resultado alguma redução nos nutrientes avaliados. Notou-se que oito dos 17 estudos empregaram o sistema de Wetlands, e quatro empregaram a técnica de reatores com lodo ativado em bateladas sequenciais. O tipo de macrófita utilizada variou, mas as mais frequentes foram *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, e *Typha* sp. No geral, as reduções de nitrogênio foram mais eficientes se comparadas a redução de fósforo. Discute-se a necessidade de se replicar resultados com macrófitas menos comuns como a *Spirodela polirhiza*.

Palavras-chave: eutrofização; métodos biológicos; nitrogênio; fósforo.

ABSTRACT

Eutrophication is the process of enriching water with nutrients, being promoted mainly by human actions such as industrialization. In view of the advantages of using biological methods such as their economic feasibility and the need to systematize knowledge in the area, the present work aimed to carry out a literature review in order to know the main and most efficient biological methods for removing nutrients that have been carried out in Brazilian territory from articles in scientific journals, published since 2015 to 2021. Studies that dealt only with the internal control of nitrogen and/or phosphorus and that carried out in Brazilian territory were included. The keywords was “eutrophication” combined with the words “mitigation”; “recovery”; “removal”; “lake environments”; “*Eichhornia*”; “macrophytes”; “periphyton” and “wetlands”. The databases were the CAPES portal and academic google. Seventeen articles were selected to compose the sample. Most evaluated the restriction of nitrogen and phosphorus together, with water bodies such as sewage and domestic effluents more frequent. All techniques results in some reduction in the nutrients evaluated. It was noted that eight of the 17 studies used Wetlands system, and four used the technique of reactors with activated sludge in sequential batches. The type of macrophyte used varied, but the most frequent were *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, and *Typha* sp. Overall, nitrogen reductions were more eficiente compared to phosphorus reduction. The need to replicated the results with less common macrophytes such as *Spirodela polirhiza* is discussed.

Keywords: eutrophication; biological methods; nitrogen; phosphorus.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo da planilha criada para categorização dos artigos.....	14
Figura 2 - Rota de busca e seleção dos artigos componentes da amostra.....	15
Figura 3 - Número de artigos por tipo de corpo de água.....	18
Figura 4 - Número de artigos por tipo de nutriente.....	19
Figura 5 - Tipo de macrófita utilizada nas técnicas de restrição empregadas nos estudos da amostra.....	20
Figura 6 - Porcentagem média de remoção de nitrogênio por técnica de restrição empregada. Barras cinza indicam técnicas que foram testadas em um mesmo artigo. Barras pretas técnicas em diferentes artigos.....	21
Figura 7 - Porcentagem média de remoção de fósforo por técnica de restrição empregada. Barras cinza indicam técnicas que foram testadas em um mesmo artigo. Barras pretas técnicas em diferentes artigos.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados gerais dos artigos: autor, ano, técnica empregada e periódico em que foi publicado.....	16
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	09
2 MATERIAIS E MÉTODO.....	13
2.1 COLETA DE DADOS.....	13
2.2 BANCO DE DADOS.....	13
2.3 ANÁLISE DE DADOS.....	14
3 RESULTADOS.....	14
4 DISCUSSÃO.....	24
5 CONCLUSÃO.....	27
REFERÊNCIAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos, tais como rios, lagos e reservatórios, estão se deteriorando por conta de diversas ações antrópicas, como monocultura, pecuária, indústria, ou até mesmo pelo aumento da população humana (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2021).

Dentre os agravantes que afetam a qualidade dos recursos hídricos do globo, estão em destaque a desigualdade social, e a falta de manejo e mau uso dos recursos naturais e sustentáveis. Há ligação entre as condições das desigualdades sociais com a crise global dos recursos hídricos, de forma que os países com menores PIB apresentam maior comprometimento em seus recursos hídricos (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2021). No Brasil, a poluição de recursos hídricos é frequente, sendo agravada pelo descontrole da ocupação de suas margens, principalmente pela população de baixa renda, sem nenhuma proteção sanitária (GARCIAS; AFONSO, 2013).

As atividades antrópicas consistem em importante fator responsável pela diminuição da qualidade da água, uma vez que o desenvolvimento urbano promove entre outros impactos ambientais, a eutrofização dos corpos de água. Tanto no Brasil quanto no mundo, a eutrofização dos corpos de água representa um dos grandes problemas da qualidade da água, tanto no que se refere às águas continentais, quanto marinhas (FERREIRA; CUNHA-SANTINO; JUNIOR, 2015).

Eutrofização é definida como o processo de enriquecimento das águas com nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, que passou a ser reconhecido como um problema por volta da metade do século XX (FERREIRA; CUNHA-SANTINO, JUNIOR, 2015; HARPER, 1992). Pode ser causada por drenagem de fertilizantes agrícolas, águas pluviais de cidades, detergentes, resíduos de minas, drenagem de dejetos humanos, entre outros (BARRETO, BARROS, BONOMO, ROCHA, AMORIM, 2013). Os nutrientes facilitam o crescimento excessivo de produtores primários, como fitoplâncton, perifíton e macrófitas. Algumas das consequências desse crescimento são a morte de organismos com respiração aeróbia, aumento da mortalidade de peixes, floração de algas, cianobactérias e macrófitas aquáticas, produção de patógenos que afetam a saúde humana, diminuição da biomassa de produtores primários, restrição à pesca e navegação, mudanças na biodiversidade, aumento no custo para o tratamento da água, diminuição da transparência da água,

o que diminui a entrada de luz na água, mudanças no pH e no valor estético do corpo de água (FERREIRA; CUNHA-SANTINO, JUNIOR, 2015; SMITH & SCHINDLER, 2009).

Basicamente, o estado trófico de um corpo de água pode ser classificado como oligotrófico, mesotrófico e eutrófico. Ambientes oligotróficos apresentam baixas concentrações de nutrientes e baixa produtividade primária; ambientes mesotróficos apresentam produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas geralmente em níveis aceitáveis; e ambientes eutróficos apresentam alto nível de produtividade e são ricos em matéria orgânica e elementos minerais. Nesse contexto, pode-se utilizar o índice de estado trófico (IET), que auxilia no registro das atividades humanas nas várias bacias hidrográficas, fornecendo elementos para a formulação de planos de manejo de ecossistemas aquáticos, por meio de estratégias que visem a sustentabilidade dos recursos hídricos (VON SPERLING, 1996 apud BARRETO, BARROS, BONOMO, ROCHA, AMORIM, 2013)

A eutrofização pode ser natural, quando resulta do envelhecimento do corpo de água, que apresenta águas inicialmente oligotróficas, ou da entrada de nutrientes de origem natural, como folhas de árvores. Porém, é a eutrofização resultante de ações antrópicas, como a urbanização e industrialização, o principal problema que precisa ser enfrentado no que diz respeito aos ecossistemas aquáticos (FERREIRA; CUNHA-SANTINO, JUNIOR, 2015; SMITH & SCHINDLER, 2009).

Técnicas mais comuns na recuperação de corpos de água estão mais voltadas à questão do controle de efluentes, com realização de diversas intervenções no sistema de esgotamento sanitário a fim de retirar lançamentos de esgoto nos corpos de água (ALENCAR, 2017). Dentre as técnicas físicas de tratamento, pode-se citar gradeamento (retenção por barras), sedimentação (separação de partículas de densidade superior ao do corpo de água), flotação (suspensão de partículas por meio de um líquido), dentre outras (VON SPERLING, 2005). Entretanto, mesmo cessando as fontes externas de nutrientes, o ambiente aquático poderia se manter eutrofizado por muitos anos (KOHATSU, JESUS, MACHADO, HARADA, 2020).

Por essa razão, o controle interno de nutrientes em ecossistemas aquáticos se faz necessário e há evidências que indicam a restrição de nutrientes como meio de restaurar águas eutrofizadas (SMITH & SCHINDLER, 2009). O fósforo, em especial,

vem sendo apontado como o principal elemento para controle da eutrofização (KOHATSU, JESUS, MACHADO, HARADA, 2020).

Considerando os materiais que se deseja remover da água, os níveis de tratamento de efluentes podem ser classificados em preliminar, primário, secundário e terciário. O tratamento preliminar visa a remoção de sólidos grosseiros; o primário, a remoção de sólidos sedimentáveis; o secundário, a remoção de matéria orgânica e, ocasionalmente, de nutrientes; e, por fim, o tratamento terciário visa a remoção de poluentes específicos e nutrientes como o fósforo e nitrogênio que não foram removidos de forma suficiente no tratamento secundário. No tratamento secundário utilizam-se processos biológicos e no terciário, tanto processos biológicos quanto físicos e químicos podem ser aplicados (VON SPERLING, 2005).

Dentre algumas técnicas para controle e manejo da eutrofização, podemos citar as físico-químicas, e as técnicas biológicas, de especial interesse no presente trabalho. As técnicas físico-químicas envolvem métodos nos quais a remoção ou conversão de contaminantes ocorre pela adição de produtos químicos ou devidos às reações químicas. O método de precipitação química (cristalização), por exemplo, envolve a adição de um sal de um metal bi ou trivalente, causando a precipitação de um fosfato de metal insolúvel, que é separado por sedimentação. A adsorção, outra técnica comum, se refere a transferência de um soluto em fase líquida para um adsorvente em fase sólida, cujo mecanismo está baseado no desequilíbrio de forças de atração e ocorre pelas ligações de moléculas do adsorvente e a espécie adsorvida (VON SPERLING, 2005).

Já os métodos de remoção biológica de nutrientes, reproduzem, de certa forma, os processos naturais que incidem em um corpo de água, onde a matéria orgânica é convertida por mecanismos naturais em produtos mineralizados inertes (fenômeno da autodepuração). Para serem assim classificados, a remoção dos nutrientes precisa ocorrer por atividade biológica (VON SPERLING, 2005).

A remoção biológica de nitrogênio é a alternativa mais eficiente e economicamente mais atrativa em relação às físico-químicas (AHN, 2006 apud FERREIRA, 2014). É um método cujas substâncias orgânicas nitrogenadas são degradadas por bactérias decompositoras produzindo amônia, ao mesmo tempo que o nitrogênio gasoso presente na atmosfera pode ser transformado em amônia por meio da atuação das bactérias fixadoras de nitrogênio (BASSIN, 2012 apud REISMANN; VIEIRA; RODRIGUES, 2017). As etapas de remoção de nitrogênio são a nitrificação, em que

a amônio passa a nitrato em condições aeróbicas, tendo o oxigênio como acceptor na cadeia respiratória, admitindo a reoxidação das coenzimas e a geração de ATP; e a desnitrificação, em que o nitrato é transformado em nitrogênio gasoso (N₂) e possivelmente tem como intermediários gasosos o óxido nítrico (NO) e óxido nitroso (N₂O), lançados na atmosfera (REISMANN; VIEIRA; RODRIGUES, 2017)

Como alternativas biológicas para remoção de fósforo têm-se, como exemplo, a absorção por vários microrganismos imobilizados em géis de polissacarídeos ou mesmo sem imobilização; a remoção em sistemas de lodos ativados; e sistemas de microalgas (MAURER; BOLLER, 1999 apud FERREIRA, 2014). Outra técnica encontrada na literatura é a construção de Wetlands, terrenos alagados que desenvolvem uma vegetação adaptada à vida em solos alagados, que se constituem em um ecossistema equilibrado que degrada a matéria orgânica, recicla nutrientes e melhora a qualidade da água (REISMANN; VIEIRA; RODRIGUES, 2017).

Apesar de algumas técnicas de controle de nutrientes já serem utilizadas e estudadas, ainda não há consenso na literatura com relação ao melhor manejo de controle de nutrientes (SMITH & SCHINDLER, 2009). Nesse contexto, observa-se a importância de cada vez mais estudos que tratem de métodos para recuperação de águas eutrofizadas por ações antrópicas, bem como estudos que busquem sistematizar resultados já existentes.

Considerando que a principal tendência da evolução do tratamento de esgotos está na otimização dos processos biológicos e a inclusão de tratamento terciário de forma a melhorar as remoções de nitrogênio e fósforo, bem como as vantagens econômicas de se utilizar esse tipo de técnica (FERREIRA, 2014), o objetivo do presente trabalho é: realizar uma revisão bibliográfica a fim de conhecer os principais e mais eficientes métodos biológicos de remoção de nutrientes que têm sido realizados em território brasileiro a partir de amostras de artigos em revistas científicas, publicados de 2015 a 2021.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 COLETA DE DADOS

Foi realizada uma revisão qualitativa da literatura de artigos científicos publicados entre 2015 à 2021, buscando apenas trabalhos que tratavam de controle interno dos nutrientes nitrogênio (N) e fósforo (P) em corpos de água, dos quais, somente métodos biológicos foram incluídos. Foram excluídos da amostra artigos de revisões bibliográficas anteriores, discussões somente teóricas, que se propuseram apenas a caracterizar o estado trófico de um corpo de água ou que especificavam técnicas somente físicas ou químicas de controle de efluentes. Também foram excluídas publicações outras que não artigos de periódicos como teses e dissertações, trabalhos de conclusões de cursos, livros, informes e publicações de anais de congressos.

As pesquisas levantadas tinham como requisito terem sido realizadas em território brasileiro, mas poderiam ter sido publicadas em periódicos internacionais. As buscas foram focadas na obtenção de informações de tratamentos de corpos de água diversos em artigos de periódicos podendo ser: rios, lagos, reservatórios, lençóis freáticos, águas superficiais e subterrâneas, entre outros.

2.2 BANCO DE DADOS

Foram usados como banco de dados o portal de periódicos da Capes e o Google Acadêmico. Foi utilizada a palavra-chave “eutrofização”, combinada através do operador booleano “AND” com as demais palavras-chave: “mitigação”; “recuperação”; “remoção”; “ambientes lacustres”; “*Eichhornia*”; “macrófitas”; “perifíton” e “wetlands”.

Tais palavras-chave poderiam estar contidas nos títulos dos artigos, no resumo, nas palavras-chave ou no corpo do texto. Para seleção dos artigos que compuseram a amostra foram lidos os resumos de cada um. Por fim, no Google Acadêmico os resultados foram ordenados por relevância e os 150 primeiros resultados foram consultados.

2.3 ANÁLISE DE DADOS

Para organizar os dados obtidos, foi construída uma planilha em que as variáveis plotadas para análise foram “base de dados”; “autores”; “ano”; “título”; “resumo”; “periódico”; “link de acesso”; “palavras-chave”; “objetivo”; “tipo de corpo de água”; “nutrientes avaliados”; “técnica(s) de restrição”; “% de redução de nitrogênio”; “% de redução de fósforo”; “conclusão principal”. Para a realização da categorização e análise, os artigos selecionados foram lidos na íntegra.

Figura 1 - Exemplo da planilha criada para categorização dos artigos

Base de dados	Autores	Ano	Título	Resumo	Periódico	Link de acesso	Palavra-chave	Objetivo	Tipo de corpo de água	Nutrientes avaliados	Técnica(s) de restrição	% redução de nitrogênio	% redução de fósforo	Conclusão principal
Capes	COLARES, G. S.; DA SILVA, F. P.; CELENTE, G. S.; RADTKE, J. F.; MACHADO, E. L.	2018	Sistema integrado de tratamento de efluentes sanitários com reatores anaeróbios sequenciais em batelada e wetlands construídos de fluxos alternados	A concepção de um sistema integrado de wetlands construídos (WCs), de diferentes configurações, foi desenvolvida neste trabalho visando melhorias para remoção de nitrogênio e fósforo de efluentes de águas negras e amarelas, bem como da não utilização de suporte fixo para plantio das mudas de <i>Hymenoclype grumosa</i> em parte do sistema. Canos de PVC foram utilizados em parte para montagem do sistema nas unidades de wetlands construídos flutuantes de fluxo horizontal + flutuantes de fluxo alternado + de fluxo vertical. No último estágio foram aplicadas britas de números 1 e 2 para o sistema suporte. Os estudos foram feitos no campus da Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, RS. As taxas de aplicação de Carbono Orgânico Total (COT), nitrogênio amoniacal e fósforo solúvel foram controladas para não ultrapassar respectivamente os limites de 26, 1,2 e 0,2 g m ⁻¹ dia ⁻¹ nos três sistemas integrados, considerando tempo de detenção de 7 dias para cada compartimento. As disposições das macrofitas foram de 24 até 32 mudas m ⁻² , sendo que lentilhas (<i>Lemna sp.</i>) e alface d'água (<i>Pistia stratiotes</i>) foram utilizadas para controle de espaços em aberto na superfície do líquido nas configurações flutuante de fluxo horizontal (WCFFH) e flutuante de fluxo horizontal alternado (WCFFA). Os resultados revelaram faixas de reduções da carga poluente após os WCs de 50-72% para o COT, de 77,7-93,7% para N-NH ₃ e de 88,8-94,7% para fósforo solúvel. O desenvolvimento do sistema radicular das macrofitas dos sistemas flutuantes ainda não atingiu a potencial plenitude de até 40 cm, sendo, portanto, possíveis melhores resultados com o decorrer dos estudos.	Tecnológica	file:///C:/Users/nv/OneDrive/OneDrive/Trabalho/10496-Texto%20de%200do%20Atributo-47896-1-10-20180118.pdf	Eutrofização AND remoção	O objetivo desse estudo foi desenvolver sistema integrado de WCs em regime de batelada de diferentes configurações: flutuante de fluxo horizontal (WCFFH) + flutuante de fluxo horizontal alternado (WCFFA) + fluxo vertical (WCFV) para o tratamento de efluentes sanitários de campus universitário, visando principalmente à remoção de nitrogênio total e fósforo solúvel de efluente do pré-tratamento com reatores anaeróbios em batelada.	Brejos	Nitrogênio e Fósforo	Wetland construído com macrofita aquática (<i>Lemna sp</i> e <i>Pistia Stratiotes</i>)	98	68	Os resultados obtidos com o sistema integrado WCFFH+ WCFFA+ WCFV foram satisfatórios, principalmente em termos de remoção N-NH ₃ , fósforo solúvel e turbidez. Considerando a simplicidade de projeto, construção e manutenção, bem como potencial baixo custo, o sistema apresenta um grande potencial para aplicação em zonas rurais e/ou de baixa densidade populacional.

Fonte: autoria própria

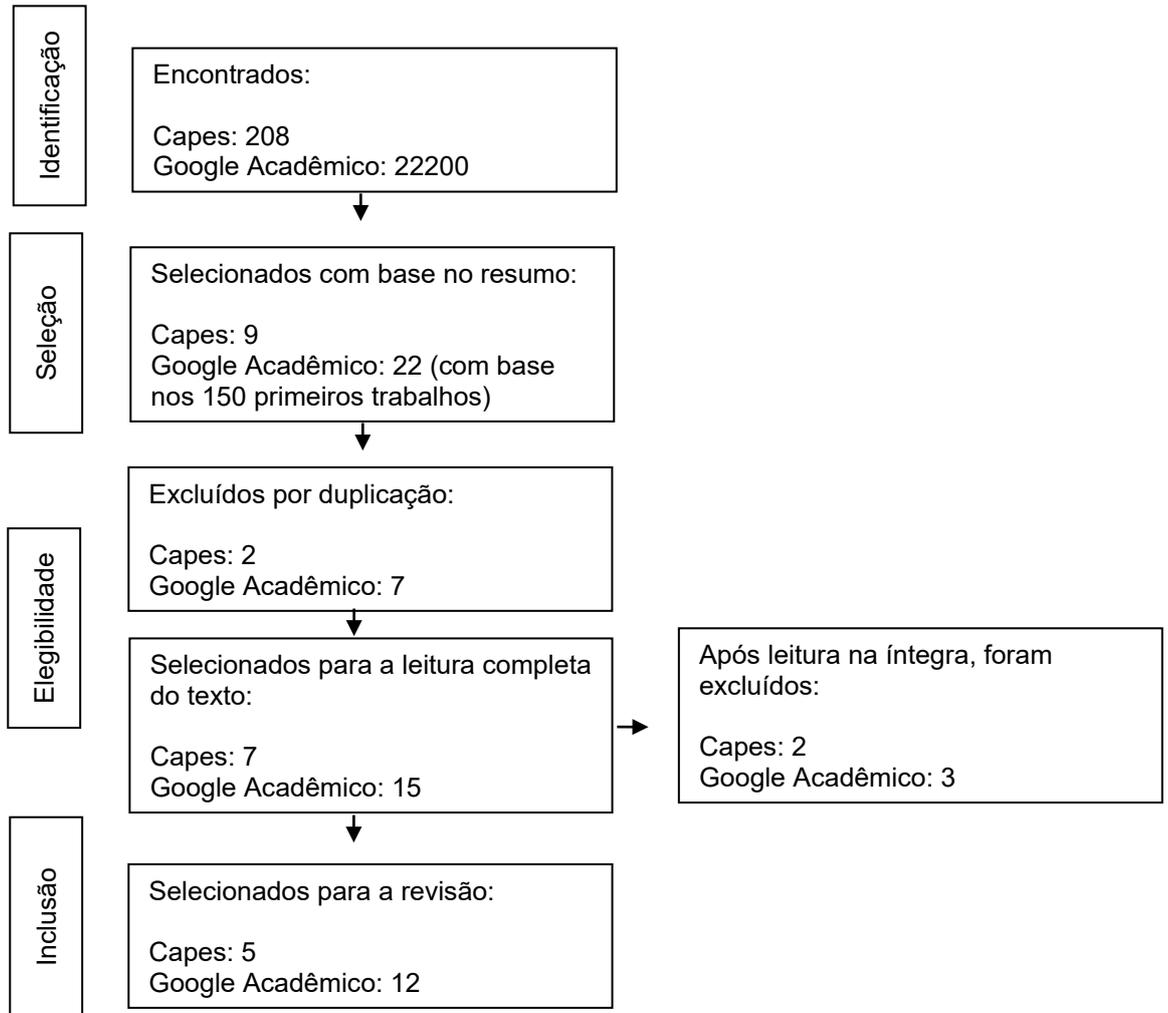
Os dados foram tabulados no Microsoft Office Excel, versão 2016. O uso do recurso de “tabela dinâmica” auxiliou na contagem com base nas categorias criadas.

3 RESULTADOS

A Figura 2, a seguir, apresenta a rota de busca até a seleção dos artigos componentes da amostra desta revisão bibliográfica. Observa-se que, com base nas palavras-chave definidas, encontraram-se 208 artigos no portal da Capes e 22.200 trabalhos no Google Acadêmico, entre artigos, testes, dissertações, publicações em anais de congresso, dentre outros. Por essa razão, consultaram-se os 150 primeiros, ordenados por relevância. Após a leitura dos resumos, selecionaram-se 9 artigos encontrados no portal da Capes e 22 no google acadêmico. No total, 9 artigos foram excluídos por duplicação e, após a leitura na íntegra dos 22 artigos restantes,

excluíram-se 5 por não atenderem aos critérios. Portanto, essa revisão contou com 17 artigos selecionados.

Figura 2 - Rota de busca e seleção dos artigos componentes da amostra



Fonte: Autoria própria

A Tabela 1 apresenta os dados gerais de cada artigo como autores, ano, técnica empregada e o periódico no qual foi publicado.

Tabela 1 - Dados gerais dos artigos: autor, ano, técnica empregada e periódico em que foi publicado

Autores	Ano	Técnica empregada	Periódico
RIBEIRO et al.	2015	Reator com Lodo Ativado em Bateladas Sequenciais (RSB) com a Aplicação de Tanino	Tecnologias para competitividade industrial
DIAS; BAPTISTA.	2015	Wetland natural (Pantanal de Riacho Fundo)	Acta Limnologica Brasiliensia
SOUZA; VASCONCELOS.	2016	Macrófita aquática (<i>Pistia stratiotes</i>)	PUBVET
SCHILLER et al.	2016	Wetland construído com macrófita aquática (<i>Spirodela polirhiza</i>)	Scientia Agraria Paranaensis
WINK et al.	2016	Wetlands construídos com Macrófitas (<i>Hymenachne grumosa</i>)	Jovens Pesquisadores
SCHIMITT et al.	2016	Wetland construído com macrófita aquática (<i>Typha</i> sp.) e uso de cinza de casca de arroz como substrato	Revista Tecnologia e Sociedade
BUENO et al.	2017	Reator com Lodo Ativado em Bateladas Sequenciais (RSB)	Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais
VIEIRA et al.	2017	Macrófita aquática (<i>Eichhornia crassipes</i> ; <i>Pistia stratiotes</i> ; <i>Salvinia articulata</i>)	Colloquium Agrariae
COLARES et al.	2018	Wetland construído com macrófita aquática (<i>Lemna sp</i> e <i>Pistia stratiotes</i>)	Tecno-Lógica

SILVA, J. M.	2018	Wetland construído com macrófita aquática (<i>Typha</i> sp.)	Revista Metropolitana de Sustentabilidade
VILA BOAS et al.	2018	Wetlands construídos com Macrófitas (<i>Cynodon spp.</i> e <i>Typha</i> sp.)	Engenharia Agrícola
CAMPOS; FILHO.	2019	Wetland construído com macrófita aquática (<i>Eichhornia crassipes</i>)	Engenharia Sanitária e Ambiental
MEDEIROS; MELLO.	2019	Fotobiorreator com <i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	Revista Intelecto
CALLADO et al.	2020	Reator com Lodo Ativado em Bateladas Sequenciais (RSB)	Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais
JOÃO et. al.	2020	Casca de arroz	Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental
OSTI et al.	2020	Ilhas Flutuantes Artificiais (AFIs) com <i>Eichhornia crassipes</i>	Aquaculture Reports
JUNIOR et al.	2021	Reator com Lodo Ativado em Bateladas Sequenciais (RSB); Lagoa de Alta Taxa de Algas; FAD	Revista AIDIS

Fonte: Autoria própria

Com base na Tabela 1, observa-se que o ano que teve maior número de publicações foi o de 2016, apresentando quatro publicações. Os anos de 2015, 2017, 2018, 2019 e 2020, variaram entre duas e três publicações. No ano corrente, 2021, foi encontrada uma publicação. Dentre os artigos selecionados, foram encontradas diversas técnicas de biorremediação, dentre elas: Wetlands (em 8 artigos); reator com lodo ativado ou RSB (em 4 artigos); macrófitas aquáticas (em 2

artigos); fotobiorreator (em 1 artigo); casca de arroz (em 1 artigo) e por último, ilhas flutuantes (em 1 artigo). Portanto, as técnicas levantadas mais comuns foram as de Wetlands e reator com lodo ativado (RSB). Quanto aos periódicos, percebe-se que houve variedade, com apenas dois artigos publicados no mesmo, a saber, Acta Limnológica. A maior parte dos periódicos é nacional, sendo interacional apenas o Aquaculture Reports.

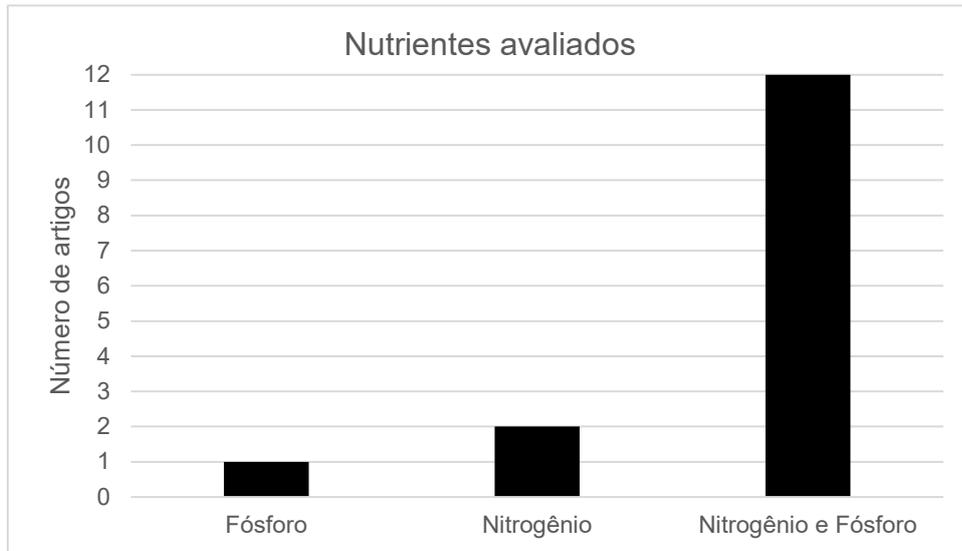
As Figuras 3 e 4 indicam que dos tipos de corpos de água pesquisados, os esgotos ou efluentes domésticos foram os mais representados nos artigos selecionados, seguidos de tanques de piscicultura, águas residuárias da suinocultura, brejos e lagos. Quanto aos nutrientes, a maior parte dos artigos abordou seu estudo englobando nitrogênio e fósforo, totalizando 12 artigos, enquanto que, apenas um artigo abordou apenas fósforo e dois artigos apenas nitrogênio. Embora tenham sido analisados apenas os nutrientes fósforo P e nitrogênio N neste estudo, outros parâmetros foram analisados em grande parte dos artigos da amostra, tais como: pH, turbidez, metais, etc.

Figura 3 - Número de artigos por tipo de corpo de água



Fonte: Autoria própria

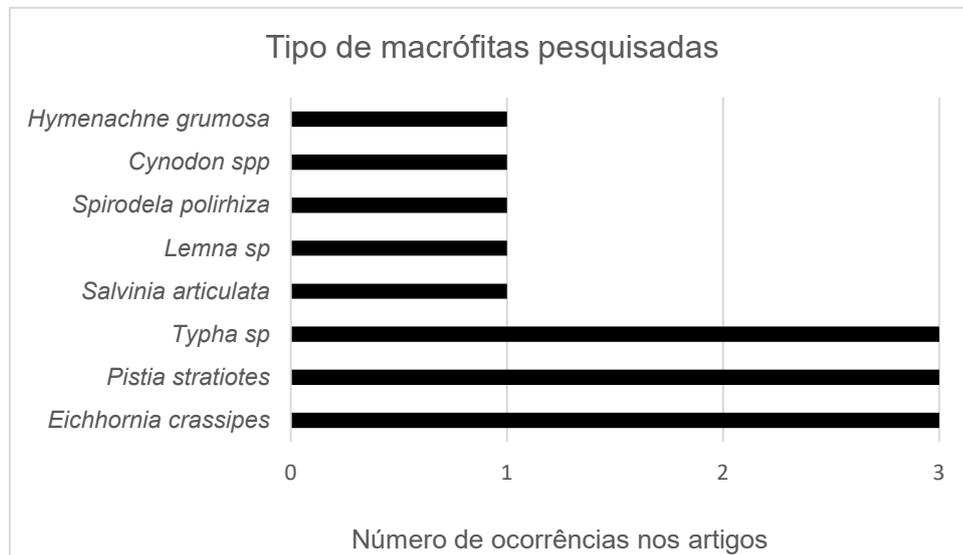
Figura 4 - Número de artigos por tipo de nutriente



Fonte: Autoria própria

A Figura 5 indica que mais de uma macrófita foi utilizada em alguns dos estudos, os quais avaliaram as diferenças nos resultados ou até utilizaram mais de uma espécie em associação. As macrófitas mais utilizadas foram: Alface d'água (*Pistia stratiotes* L.) – 3; Taboa (*Typha* sp.) – 3; Aguapé (*Eichhornia Crassipes*) – 3. As demais apareceram apenas uma vez nos estudos.

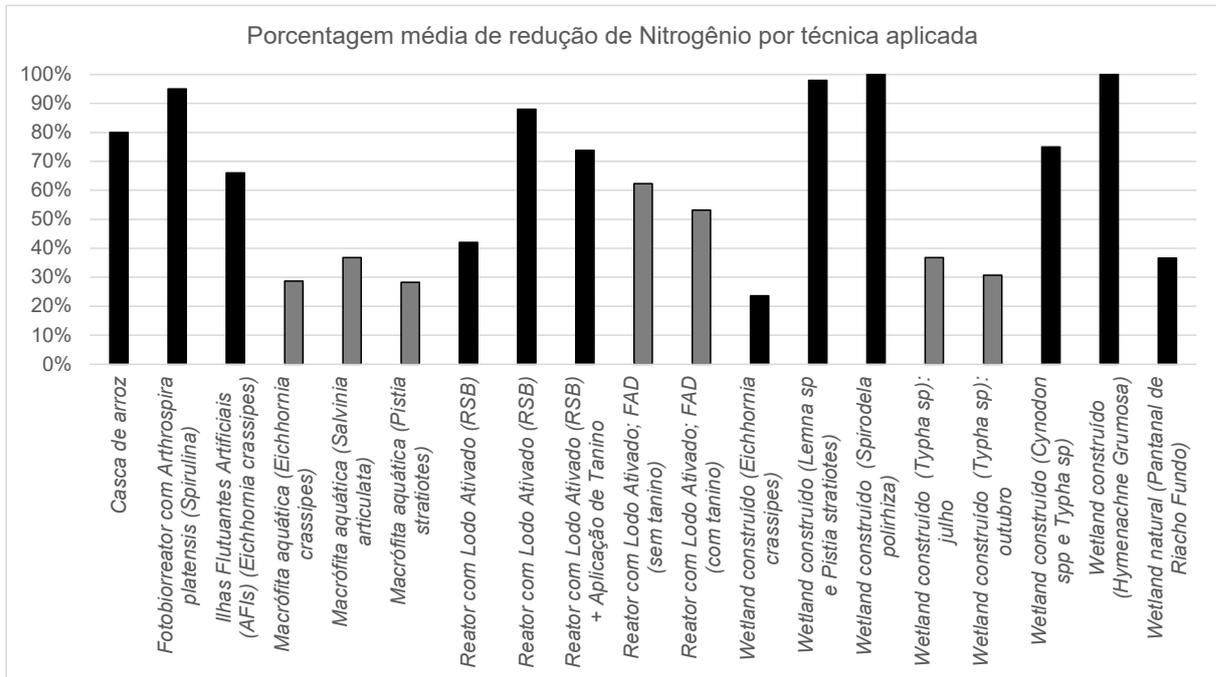
Figura 5 - Tipo de macrófita utilizada nas técnicas de restrição empregadas nos estudos da amostra



Nota: Autoria própria

As Figuras 6 e 7 apresentam a relação entre as técnicas empregadas e a porcentagem de redução média total de nitrogênio e fósforo, respectivamente.

Figura 6 - Porcentagem média de remoção de nitrogênio por técnica de restrição empregada. Barras cinza indicam técnicas que foram testadas em um mesmo artigo. Barras pretas técnicas em diferentes artigos



Fonte: Autoria própria

No que diz respeito aos resultados de redução média de N (nitrogênio), a Figura 5 mostra alguma porcentagem de redução do nutriente com todas as técnicas empregadas. Também indica que as técnicas mais eficientes (de 90% a 100% de redução) foram Fotobiorreator com *Arthrospira plantensis* (*Spirulina*) (MEDEIROS; MELLO, 2019); Wetlands construídos com *Lemna sp.* e *Pistia stratiotes* (COLARES et al., 2018); e Wetlands construídos com *Spirodela polirhiza* (SCHILLER, et al., 2016) e *Hymenachne grumosa* (WINK, 2016), sendo a associação dos alagados com essas duas últimas macrófitas o melhor resultado apresentado, com 100% de redução do nutriente.

De modo geral, a técnica de Wetlands construídos parece promissora quanto à redução do nitrogênio, com 4 de 6 estudos apresentando resultado superior a 70% de remoção. Exceções foram os resultados apresentados por Silva (2018) com uso de *Typha sp.*, com 36,8% e 30,7% de redução, sendo o melhor resultado apresentado em outubro, época mais quente do ano em relação a julho; e por Campos e Filho (2017), com 23,6% de redução com uso de *Eichhornia crassipes*.

Quando Wetland natural foi avaliada em Riacho Fundo, o resultado ficou em 36,6% de remoção (DIAS, 2015).

Os resultados de estudos que empregaram técnicas com a macrófita *Eichhornia crassipes* atingiram 23,6% quando associadas a wetlands (CAMPOS, FILHO, 2019); 28,7% sem Wetlands (VIEIRA et al., 2017); e o melhor resultado foi 66% quando a macrófita foi utilizada em ilhas artificiais (OSTI et al., 2020).

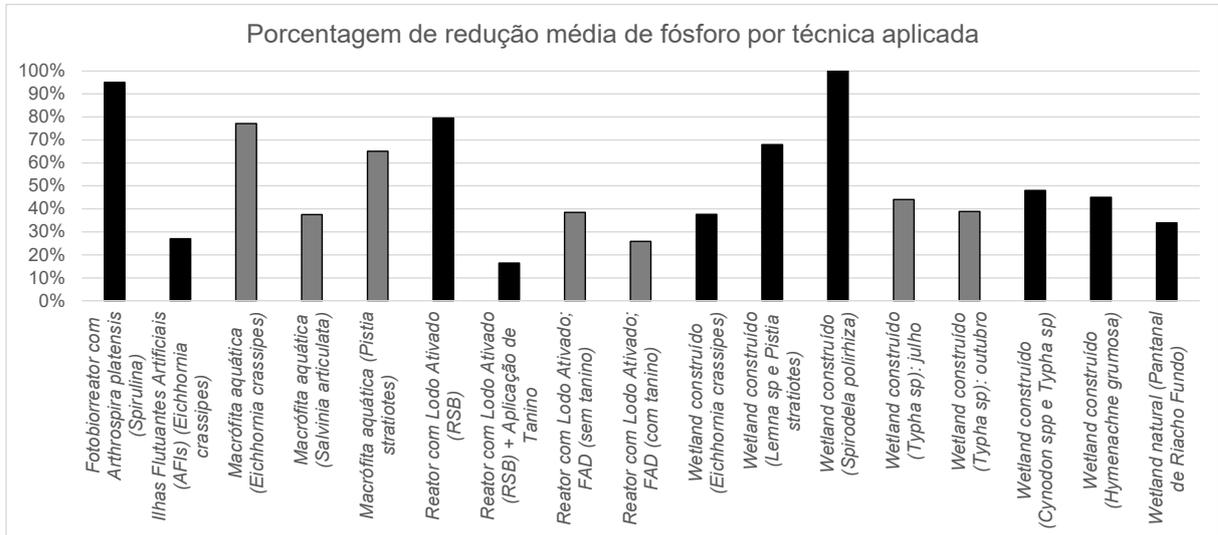
Em Vieira e colaboradores (2017), o uso da macrófita *Salvinia articulata* atingiu resultado levemente superior às demais neste mesmo estudo quanto à redução de nitrogênio, com 36,8% contra 29,7% e 28,3% para *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*, respectivamente. Vale ressaltar que esta última macrófita apresentou resultado satisfatório quando associada a Wetlands, como descrito anteriormente. Ao que parece o uso de macrófitas associadas ao sistema de wetlands construídos e ilhas artificiais tem maior potencial de redução deste nutriente em relação ao uso não associado.

Analisando os resultados da técnica de reator com lodo ativado em bateladas sequenciais (RSB) percebe-se variação de 42% (CALLADO et. al, 2020) a quase 90% (BUENO et al., 2017) de redução de nitrogênio. Os resultados apresentam menor variação quando as porcentagens são comparadas com a técnica de Wetland, indicando serem mais previsíveis. Quanto a aplicação de tanino como coagulante associado a essa técnica, o resultado variou em 73,4% (RIBEIRO et al.; 2015) a 53,5% (JUNIOR et al., 2021).

Por fim, a casca de arroz foi utilizada em um estudo com objetivo de geração, crescimento e propagação de microrganismos para utilização no tratamento de águas residuais, cujo resultado de remoção de nitrogênio ficou em 80% (JOÃO et al., 2020).

Já o estudo de Schmitt e colaboradores (2016), que teve por objetivo adaptar o sistema wetland, analisando a viabilidade da adição de resíduo de cinzas de cascas de arroz como um dos substratos na depuração do efluente líquido do sistema em substituição parcial a areia a base de sílica, não pode ter seu resultado comparado aos demais por não apresentá-lo em porcentagem média de redução de nitrogênio. No entanto, resultados indicaram vantagens nessa substituição com uso de cinza reduzindo a concentração de nitrogênio de 10,75mg/L para 0,2, enquanto a técnica sem o uso de cinzas de cascas de arroz indicou menor redução, de 10,75mg/L para 0,75mg/L.

Figura 7. Porcentagem média de remoção de fósforo por técnica de restrição empregada. Barras cinza indicam técnicas que foram testadas em um mesmo artigo. Barras pretas técnicas em diferentes artigos



Fonte: Autoria própria

No que diz respeito aos resultados de redução média de fósforo, todas as técnicas propiciaram redução na porcentagem média do nutriente. As maiores porcentagens de redução ocorreram para a técnica de Wetland construído com *Spirodela polirhiza*, sendo (SCHILLER et al., 2016), e fotobiorreator com *Arthrospira plantensis* (MEDEIROS; MELLO, 2019), com 95% e 100% respectivamente, similar a redução alcançada para nitrogênio.

Cinco dos sete estudos que utilizaram Wetlands apresentaram reduções inferiores a 40% de fósforo. Os dois estudos com melhores resultados foram os que empregaram a macrófita *Lemna sp.* e *Pistia stratiotes* (COLARES et al., 2018) e *Spirodela polirhiza* descrito anteriormente (SCHILLER et al., 2016).

Analisando resultados de estudos que empregaram a técnica de reatores com lodo ativado em bateladas sequenciais, percebe-se que em três dos quatro estudos as reduções de fósforo ficaram abaixo de 40%, e apenas um estudo alcançou reduções próximas de 80% (BUENO et al., 2017).

De modo geral, a maioria das técnicas foram mais eficazes na redução de nitrogênio (Figura 4) que fósforo. Comparando as reduções de nitrogênio e fósforo, em 8 de 12 artigos que mensuraram ambos os nutrientes, a redução de fósforo foi inferior ao nitrogênio. Somente em três dos 12 artigos a redução de fósforo foi maior. Nestes

três artigos utilizaram-se macrófitas aquáticas, associadas ou não aos Wetlands. Vieira e colaboradores (2017) utilizaram *Eichhornia crassipes* (redução de 77,1%), *Pistia stratiotes* (redução de 65,1%) e *Salvinia articulata* (35,7%); Campos e Filho (2019) também utilizaram a *Eichhornia crassipes*, obtendo reduções de 37,6%; e Silva (2018), utilizou a macrófita *Typha* sp. com reduções de fósforo de 44,1% em julho, e 38,9% em outubro. Algumas macrófitas, portanto, parecem demonstrar mais eficiência na redução de fósforo que nitrogênio.

Novamente, observa-se bastantes variações nas porcentagens de redução de fósforo ao analisar a técnica de wetlands, sendo as porcentagens obtidas: 33,96%; 37,6%; 38,9% 44,1%; 48%; 45%; 68% e 100%. Porém, esta também é a técnica mais frequente para redução de fósforo, sendo utilizada em sete dos 13 artigos que mensuraram este nutriente.

Dois estudos não foram representados na Figura 7 por não apresentarem os resultados em porcentagem. São eles o estudo de Souza e Vasconcelos (2016) que verificou a eficiência dos sistemas de tratamento de efluentes de piscicultura através do uso da macrófita aquática *Pistia stratiotes*, e indicaram que a planta é eficiente na absorção do nutriente, e de Schmitt et al. (2016) que avaliou a adição de resíduo de cinzas de cascas de arroz como um dos substratos na depuração do efluente líquido do sistema de wetlands, também indicando reduções no nutriente.

4 DISCUSSÃO

O presente estudo teve por objetivo realizar uma revisão bibliográfica a fim de conhecer os principais e mais eficientes métodos biológicos de remoção de nutrientes que têm sido realizados em território brasileiro, a partir de amostras de artigos em revistas científicas, publicados de 2015 à 2021.

No levantamento realizado selecionaram-se 17 artigos de acordo com os critérios de inclusão e de exclusão da metodologia. Destes, notou-se que a maioria avaliou a redução de nitrogênio e fósforo, ao invés de somente um dos nutrientes. Notou-se também que os estudos da amostra, em sua maioria, concentraram os esforços em pesquisar recuperação de esgotos ou efluentes domésticos enquanto corpos de água. A literatura indica que a eutrofização resultante de ações antrópicas é o principal problema que precisa ser enfrentado no que diz respeito ao ecossistema

aquático (FERREIRA; CUNHA-SANTINO; JUNIOR, 2015; SMITH & SCHINDLER, 2009).

No que diz respeito às técnicas empregadas, todas reduziram as concentrações de nitrogênio e fósforo em alguma medida. As técnicas mais comuns, considerando diferentes estudos, foram Wetlands e reator com lodo ativado com bateladas sequenciais. Wetlands são sistemas naturais projetados sob critérios de engenharia e empregados inicialmente para o tratamento de efluentes domésticos e industriais, visando a decomposição da matéria orgânica e remoção de P e N pela transformação e absorção direta pelas macrófitas aquáticas. Considerando que são sistemas de baixo custo e requerem uma reduzida entrada de energia, são técnicas atraentes para o tratamento em corpos d'água em países em desenvolvimento (SCHIMITT et al., 2016) e em locais com baixa densidade populacional (COLARES et al., 2018). De fato, dos 17 estudos, 8 empregaram a técnica de Wetlands, o que pode ter relação com o fato de ser econômico e ao mesmo tempo de simples aplicação.

Quanto a eficácia do sistema de Wetlands, verificou-se que quatro de seis estudos nesta revisão apresentaram resultados superiores a 70% de remoção de nitrogênio. As remoções de nitrogênio foram maiores em relação as de fósforo, uma vez que cinco de sete estudos tiveram reduções inferiores à 40% de fósforo. Silva (2018) também encontrou variações nas reduções de nutrientes comparando resultados de outubro com julho. Os valores foram menores em outubro, possivelmente devido a parâmetros ecofisiológicos da planta *Typha* sp., considerando que no mês de outubro há maior demanda climática para evapotranspiração.

A técnica de reatores com lodo ativado com bateladas sequenciais apareceram em quatro dos 17 estudos. No sistema de lodo ativado típico, as unidades principais são: o reator ou tanque de aeração, o decantador secundário ou tanque de decantação, o sistema de recirculação de lodo e em alguns casos, o decantador primário. Nesse processo, o resíduo é introduzido no reator, onde uma biomassa ativa formada principalmente por bactérias aeróbias é mantida em suspensão e realiza a estabilização da matéria orgânica (MARCONI, 2001). Na amostra de artigos desta revisão bibliográfica, as porcentagens de redução de nitrogênio variaram menos em relação à técnica de Wetlands, de 42% a quase 90% de redução. As reduções de fósforo, por sua vez foram novamente menores, geralmente abaixo de 40%, com exceção do estudo de Bueno et al. (2017), cuja redução alcançou um

valor próximo de 80%. Neste estudo utilizou-se o SCLA (sistema cíclico de lodo ativado), o qual os autores consideraram uma alternativa promissora na remoção de nutrientes, recomendando, no entanto, que futuros estudos avaliem o sistema em diferentes TDHs (tempo de detecção hidráulica) e taxas de aplicação orgânica hidráulica, bem como diversificar a idade do lodo.

Dois dos estudos investigaram a associação da técnica de reatores com lodo ativado à aplicação de tanino como coagulante. Considerando esses dois estudos, a aplicação de tanino como coagulante foi inconclusiva. Em Ribeiro et al. (2015) o resultado foi de 73,8% de redução de N e 16,4% de remoção de P na concentração de 40 mg/L. Porém, porcentagens inferiores foram obtidas quando outras concentrações foram utilizadas. Já em Junior et al. (2021), o tanino se mostrou menos eficiente em comparação com o coagulante inorgânico cloreto férrico.

Considerando os tipos de macrófitas utilizadas nas pesquisas, obtivemos uma maior frequência de *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Typha* sp. Já as demais macrófitas tiveram apenas uma ocorrência nos artigos. Interessante notar que nos três artigos nos quais a redução do P foi maior que a redução de N foram utilizadas macrófitas, indicando que algumas delas parecem demonstrar mais eficiência na redução de fósforo do que de nitrogênio, como é o caso da *Eichhornia crassipes*, exceto quando associada às ilhas artificiais. Entretanto, o bom resultado com o uso da macrófita *Spirodela polirhiza* ao reduzir 100% de nitrogênio e fósforo no estudo de Schiller et al. (2016) indica necessidade de se investir em estudos com espécies menos investigadas. Os autores salientam que a lentilha d'água se utiliza dos nutrientes presentes no meio ao qual está inserida para crescimento vegetativo e reprodução, de modo que nitrogênio e fósforo são absorvidos em grandes quantidades. Plantas aquáticas maiores como *Salvinia*, *Eichhornia crassipes*, *Pistia* não possuem crescimento acelerado como o das lentilhas d'água e é possível que esta seja a razão para a diferença de assimilação de nutrientes por estas plantas. No entanto, estudos com *Spirodela polirhiza* são escassos no Brasil (SCHILLER et al. 2016), sendo necessárias novas pesquisas a fim de verificar a replicação destes resultados.

CONCLUSÃO

Na presente revisão bibliográfica 17 artigos foram selecionados para compor a amostra de acordo com o critério de elegibilidade estabelecido na metodologia. Nestes, a maioria avaliou uso de técnicas de restrição de nitrogênio e fósforo simultaneamente, juntamente com outros parâmetros, sendo mais frequentes esgotos e efluentes domésticos como corpos de água.

Quanto às técnicas, observou-se que todas tiveram como resultado alguma redução nos nutrientes avaliados, sendo a menor redução de 16,4% de fósforo no estudo que empregou a técnica de reatores com lodo ativado e tanino como coagulante a 40mg/L (RIBEIRO et al., 2015). A maior porcentagem de redução foi de 100% na redução de nitrogênio e fósforo com o sistema de Wetland utilizando a macrófita *Spirodela polirhiza* (SCHILLER et al., 2016) e 100% de redução de nitrogênio no sistema de Wetland empregando *Hymenachne grumosa* (WINK et al., 2016).

Quanto às diferentes técnicas, notou-se que a maioria dos estudos empregou o sistema de Wetlands (oito estudos), embora o tipo de macrófita utilizada nesse sistema também tenha variado, e a técnica de reatores com lodo ativado em bateladas sequenciais (quatro estudos). No geral, as reduções de nitrogênio foram mais eficientes se comparadas às reduções de fósforo. A redução de fósforo somente foi maior que a de nitrogênio quando se utilizaram as macrófitas *Eichhornia crassipes* (VIEIRA et al., 2017; CAMPOS; FILHO, 2019), *Pistia stratiotes* e *Salvinia articulata* (VIEIRA et al., 2017), e *Typha* sp. (SILVA, 2018).

REFERÊNCIAS

ALENCAR, J. C. **Bacias Hidrográficas Urbanizadas: Renaturalização, Revitalização e Recuperação. Um Estudo da Bacia do Jaguaré.** 2017. 310 f. Tese (Doutorado e, Engenharia Hidráulica e Ambiental). Escola Politécnica/USP, São Paulo – SP, 2017

ARAGÃO, R. K. B. **O uso de HDLs na remoção de espécies eutrofizantes como uma gestão sustentável de qualidade de águas: uma revisão.** TCC, Instituto Federal de Educação da Paraíba, Paraíba, 2021.

BARRETO, L. V.; BARROS, F. M.; BONOMO, P.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S. Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 2165-2179, 2013.

BUENO, R. F.; SANTOS, F. M.; ASSIS, P. F.; CAMPOS, F. Remoção conjunta de nitrogênio e fósforo em um sistema de lodo ativado compartimentado (SLAC). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 8, n. 2, p. 121-129, out., nov., dez. 2016, Jan. 2017.

CALLADO, N. H.; CHAGAS, H. C. A.; DAMIANOVIC, M. H. R. Z. Remoção de matéria orgânica e nitrogênio em reator híbrido anaeróbio / aeróbio / anóxico operado em bateladas sequenciais. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 8, n. 2, p. 1-14, 2020.

CAMPOS, J. M; FILHO, J. T. Balanço de fósforo e nitrogênio em leitos cultivados com *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v.24 n.1, p. 1-11, jan./fev. 2019.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (São Paulo). Águas Interiores. In: **Águas Interiores**. São Paulo: Cetesb, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/o-problema-da-escasez-de-agua-no-mundo/>. Acesso em: 28 mar. 2021.

COLARES, G. S.; DA SILVA, F. P.; CELENTE, G. S.; RADTKE, J. F.; MACHADO, E. L. Sistema integrado de tratamento de efluentes sanitários com reatores anaeróbios sequenciais em batelada e wetlands construídos de fluxos alternados. **Tecnológica**, Santa Cruz do Sul, v. 22, n. 1, p. 18-24, jan./jun. 2018.

DIAS, R. Z.; BAPTISTA, G. M. M. Retenção de nutrientes e crescimento multitemporal de wetland – Estudo de caso da Wetland do Riacho Fundo. **Acta Limnológica Brasiliensis**, v. 27, n. 3, p. 254-264, jul./set. 2015.

FERREIRA, A. L. T. S. Remoção biológica simultânea de fósforo e nitrogênio de esgoto sanitário em reatores sequencias em batelada. 2014, 164 f. Teste (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife –PE, 2014.

FERREIRA, C. S.; CUNHA-SANTINO, M. B.; JUNIOR; I. B. Eutrofização: Aspectos conceituais, usos da água e diretrizes para a gestão ambiental. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v. 6, n. 1, p. 65-77, mai. 2015.

FLECK, L.; EYNG, E. Remoção biológica de nitrogênio em efluentes líquidos: uma revisão. **Revista Eixo**, Brasília, v.4, n.2, p. 77-88, jul./dez. 2015.

GARCIAS, C. M.; AFONSO, J. A. C. Revitalização de rios urbanos. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 131-144, 2013.

HARPER, D. **Eutrophication of freshwaters: principles, problems and restoration**. Chapman and Hall: London, 1992.

JOÃO, J. J.; LOCKS, L.; VIEIRA, J. L.; LUCIA, E. A. Utilização da casca de arroz como fonte microbiana para tratamento de efluentes. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 24, n. 5, p. 343-347, mai. 2020.

JUNIOR, J. C. A.; SILVA, M. C. A.; HOYOS, N. L. M.; GOMÉZ, E. F.; LEAL, F. K.; MONTEGGIA, L. O. Remoção e recuperação de nutrientes em sistema UASB seguido de LAT e posterior separação de microalgas por FAD. **REVISTA AIDIS**, V. 14, N. 2, p. 695-713, 6 de agosto de 2021.

KOHATSU, M. Y.; JESUS, T. A.; MACHADO, G.; HARADA, J. Emprego da nanoargila na remoção de ortofosfato em ensaios de bancada: contribuição para a mitigação do processo de eutrofização. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, Uberaba, v.5, n.1, p. 48-56, jan./jun. 2020.

MARCONI, R. G. **DEFINIÇÃO DO CICLO OPERACIONAL DE UM REATOR SEQUENCIAL EM BATELADA AERÓBIO (SBR) PARA TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO**. Orientador: Prof. Dr. Woodrow Nelson Lopes Roma. 2001. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos, 2001.

MATHEUS, W.; RIBEIRO, W.; POMMEREHN, S.; RADTKE, J. F.; SILVEIRA, E. O.; MACHADO, Ê. L. Unidade piloto em regime de batelada com sistema de reatores anaeróbios + microalgas + *wetlands* construídos em fluxo vertical. *Revista Jovens Pesquisadores*, Santa Cruz do Sul, v. 6, n. 2, p. 31-44, 2016.

MEDEIROS, A. B. C.; MELLO, P. C. M. Aplicação da “spirulina” *Arthrospira platensis* na remoção de macronutrientes de água de piscicultura. **Revista INTELECTO**, v. 2596, p. 0806, 2019.

MORASHASHI, A. C.; JESUS, T. A.; ROSA, D. S.; HARADA, J.; BICUDO, D. C. Avaliação e comparação do acúmulo de fósforo por biofilme formado sobre lâminas de vidro e filme polimérico biodegradável (Ecovio modificado). **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, Uberaba, v.4, n. 2, p. 131-145, jul./set. 2019.

NOYMA, N. P.; MAGALHÃES, L.; LEITE, V. B. G.; LURLING, M.; MARINHO, M. M. Avaliação da técnica “Flock & Lock” no controle da eutrofização e sobre variáveis da qualidade da água: estudo de caso em uma lagoa costeira hipereutrificada. **10º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental**, Porto Alegre: PUCRS, out. 2016.

OSTI, J. A. S.; DO CARMO, C. F.; CERQUEIRA, M. A. S.; GIAMAS, M. T. D.; PEIXOTO, A. C.; SANTOS, A. M. V.; MERCANTE, C. T. J. Nitrogen and phosphorus

removal from fish farming effluents using artificial floating islands colonized by *Eichhornia crassipes*. **Aquaculture Reports**, v. 17, p. 1-7, 2020.

REISMANN, H.; VIEIRA, B.; RODRIGUES, T. M. **Remoção de nitrogênio e fósforo de efluentes: principais técnicas existentes, características, oportunidades e desafios para o tratamento terciário de efluentes**. In: Congresso ABES, FENASAN 2017, São Paulo. Anais. Disponível em: [II-580.pdf \(tratamentodeagua.com.br\)](#). Acesso em 28 nov. 2021.

RIBEIRO, M. R. P.; SIMIONI, D.; PITOL-FILHO, L. Uso de tanino para remoção de nutrientes do esgoto sanitário da estação de tratamento de efluentes Nereu Ramos em Jaraguá do Sul-SC. **Tecnologias para Competitividade Industrial**, Florianópolis, v. 8, n. 1, p. 161-177, 2015.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (2012). A universalização do saneamento no Estado de São Paulo. **Governo do Estado de São Paulo, Sabesp**.

SCHILLER, A. P.; SCHWANTES, D.; SOMAVILLA, E.; MANFRIN, J.; GONÇALVES JR, A. C.; CAMPAGNOLO, M. A. Pós-tratamento de efluente doméstico por meio de Macrófita aquática *Spirodela polyrhiza*. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 3, p. 287-295, jul./set., 2017.

SCHIMITT, G. T.; MODOLO, R. G. E.; MORAES, C. A. M.; JOHANN, A. D. D.; NUNES, T. Uso de cinza de casca de arroz como constituinte da camada de substrato em sistema *wetland* para tratamento de efluentes. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 12, n. 26, p. 209-221, set./dez. 2016.

SILVA, J. L. A. **Remoção de cianobactérias por sedimentação após a aplicação da técnica “Flock & Sink”: estudo em escala laboratorial**. Monografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Engenharia Ambiental, Natal, 2019.

SILVA, J. M. Estudo do processo de tratamento de esgoto doméstico por Wetlands. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 119-134, 2018.

SMITH, V. H. & SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends in Ecology and Evolution*, Review, 2009.

SOUZA, A. F. L.; VASCONCELOS, E. L. Q. Utilização da macrófita aquática flutuante *Pistia stratiotes* no tratamento de efluentes de piscicultura no estado do Amazonas. **Pubvet**, v. 10, n. 12, p. 873-945, 2016.

VIEIRA, M. do C.; DOS SANTOS, C. H.; PINAFFI, C. D.; DE MORAES, M. H.; LEONARDO, A. da S. Remoção de N e P de efluente doméstico por plantas aquáticas flutuantes. **Colloquium Agrariae**, v. 13, n.3, p. 77-87, set./dez. 2017.

VILA BOAS, R. B.; FIA, R.; FIA, F. R. L.; CAMPOS, A. T.; SOUZA, G. R. Nutrient removal from swine wastewater in a combined vertical and horizontal flow constructed wetland system. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 3, p. 411-416, 2018.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 3ª Edição, 2005.