

## **FITORREMEDIAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS COM AGUAPÉ DO GÊNERO *Eichhornia*: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n5-049>

**Data de submissão:** 04/04/2025

**Data de publicação:** 04/05/2025

**Maria Eduarda Ribeiro**  
Engenheira Ambiental  
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba-MG  
dudaribeiro1606@gmail.com

**Lauro Gomes de Figueiredo Júnior**  
Químico e Pedagogo, Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental  
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba-MG  
gomes1machado@gmail.com

**Ana Paula Milla dos Santos Senhuk**  
Bióloga, Doutora em Ciências  
Docente do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental  
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba-MG  
ana.senhuk@uftm.edu.br

**Ana Carolina Borella Marfil Anhê**  
Bióloga, Pós-doutora em Medicina Tropical e Infectologia  
Docente do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental  
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba-MG  
ana.anhe@uftm.edu.br

### **RESUMO**

A fitorremediação, utilizando plantas para tratar contaminantes, tem emergido como uma solução promissora frente à crescente poluição dos corpos d'água. Este estudo se concentrou no gênero *Eichhornia*, buscando entender suas capacidades e limitações no processo de fitorremediação. Foi realizada uma análise criteriosa de 71 artigos do Portal de Periódicos CAPES, publicados entre 2013 e 2023, utilizando como palavras-chave: "Eichhornia" e "phytoremediación". Identificou-se que a *Eichhornia crassipes* é a espécie mais utilizada, representando 77,5% das pesquisas. Os contaminantes frequentemente tratados foram cobre, nitrogênio, cádmio, fósforo e cromo, com destaque para as altas eficiências de remoção de cromo, cianeto, antibiótico e potássio. Notavelmente, Índia e China surgem como líderes nas publicações sobre o tema, e 2019 foi identificado como o ano mais prolífico. Conclui-se que a fitorremediação utilizando *Eichhornia* é uma alternativa sustentável e economicamente viável, e a compreensão adquirida neste estudo oferece diretrizes valiosas para futuras pesquisas e aplicações na área.

**Palavras-chave:** Biorremediação. Poluição aquática. Planta aquática. Remoção.

## 1 INTRODUÇÃO

A água tem sido reconhecida como uma substância vital presente na natureza há milênios, sendo um componente essencial à conservação dos ecossistemas e à manutenção da vida no planeta (Botin, 2007). Apesar de sua importância, ações inadequadas do ser humano comprometem sua disponibilidade, gerando impactos significativos para a sociedade (Castro, 1988). Muitas regiões, por conseguinte, enfrentam sérios problemas relacionados à quantidade e qualidade da água. Entre as principais causas desses impactos destacam-se a ocupação de mananciais, a supressão de matas ciliares e o avanço da urbanização desordenada, que resultam em uma série de consequências ambientais, como alterações no ciclo hidrológico, contaminação e impermeabilização do solo, assoreamento, erosão e desmatamento.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), diariamente toneladas de esgoto inadequadamente tratado, efluentes industriais e resíduos de atividades agrícolas são lançados nos corpos d'água, gerando contaminação por patógenos, metais pesados e compostos tóxicos, além de alterações em parâmetros como pH, temperatura e salinidade. Esses impactos prejudicam ecossistemas aquáticos, comprometem a saúde pública e afetam o desenvolvimento econômico e social (Tomaz, 2023).

Em busca de alternativas para a recuperação de áreas contaminadas por diversos compostos orgânicos, observa-se uma crescente preferência por soluções eficazes, de execução simples, baixo custo e menor tempo de aplicação. Nesse cenário, a biorremediação tem se destacado como uma técnica promissora, pois utiliza organismos vivos, como microrganismos e plantas, para a descontaminação de solos e águas de maneira mais natural e sustentável (Pires et al., 2003).

Entre as vertentes da biorremediação, a fitorremediação tem atraído atenção mundial por empregar plantas na remoção de poluentes de ambientes contaminados. Essa técnica apresenta custos mais baixos em comparação aos métodos tradicionais, despertando o interesse de órgãos governamentais e do setor industrial (sendo uma alternativa de menor custo e maior viabilidade, especialmente para órgãos públicos e empresas). Além disso, oferece uma solução menos agressiva, contribuindo para prevenir a exposição de populações a substâncias tóxicas (Lamego, 2007).

Dentre as espécies vegetais utilizadas nesse processo, destaca-se o aguapé, uma macrófita aquática flutuante nativa da América tropical e pertencente à família Pontederiaceae, do gênero *Eichhornia*. Popularmente conhecido por diversos nomes no Brasil – como aguapé-de-barraço, camalote e dama-do-lago – o aguapé é essencial para o equilíbrio de ecossistemas naturais. Segundo Oliveira Júnior (2011), essa planta é útil em diversas aplicações, inclusive na despoluição de ambientes aquáticos. No entanto, seu crescimento descontrolado pode gerar impactos negativos. Suas

características, como facilidade de cultivo, rápido crescimento, elevada produção de biomassa e tolerância a substâncias tóxicas, evidenciam seu potencial na remoção de metais pesados e outros poluentes em ambientes contaminados (reforçam seu potencial na extração de contaminantes quando cultivadas em ambientes impactados) (Pio et al., 2013).

A crescente preocupação com a qualidade da água e os impactos da poluição tem incentivado estudos voltados à aplicação da fitorremediação, especialmente com espécies do gênero *Eichhornia*. A análise sistemática dessas pesquisas visa compreender não apenas a eficácia da técnica, mas também fornecer subsídios teóricos e práticos para estudos futuros. A revisão sistemática, nesse contexto, é uma metodologia científica que busca reunir, analisar criticamente e sintetizar os resultados de diversos estudos primários (visa reunir, avaliar e sintetizar resultados de pesquisas já existentes) (Cordeiro, 2007).

Diante disso, torna-se essencial compreender as características e tendências das pesquisas que envolvem a fitorremediação com aguapé do gênero *Eichhornia*, contribuindo para ampliar sua aplicação e fomentar novas investigações. Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão da literatura científica sobre a fitorremediação com aguapé do gênero *Eichhornia*, no período de 2013 a 2023, com a finalidade de identificar os principais aspectos, parâmetros e contaminantes abordados, além de oferecer subsídios para futuras pesquisas e aplicações no campo da remediação ambiental.

## 2 METODOLOGIA

As buscas foram realizadas pelo Portal de Periódicos CAPES no modo “Busca Avançada”. Como palavra-chave, foram utilizadas: “*Eichhornia*” e “*phytoremediati*on”, sendo estas, respectivamente, o gênero dos aguapés e também a palavra fitorremediação escrita em inglês. Analisaram-se apenas os artigos revisados por pares, de qualquer idioma, publicados entre 2013 e 2023 (período de 10 anos).

Dos 353 artigos, efetuou-se uma busca específica nos resumos e metodologias, e após uma análise criteriosa, descartaram-se aqueles que não estavam alinhados ao tema pesquisado, especialmente os que focavam em fitorremediação sem uso direto do aguapé, revisões sobre fitorremediação ou estudos gerais relacionados ao assunto, outros tipos de tratamento diferentes da fitorremediação, pesquisas que não apresentavam material para leitura. Ao final dessa seleção, restaram 71 artigos para análise.

Após a seleção, os 71 artigos foram analisados em detalhe, e diversas informações foram coletadas, como título, ano de publicação, revista onde foi publicado, contaminantes estudados, percentual de remoção, duração do tratamento, as espécies do gênero *Eichhornia* mais empregadas na

fitorremediação, outras plantas usadas em conjunto no tratamento e os países com maior número de pesquisas sobre o assunto.

Todos esses dados extraídos foram catalogados em planilhas do Microsoft Excel® para facilitar a visualização e análise. Na sequência, os dados foram analisados e os resultados discutidos.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 PLANTAS**

A Tabela 1 apresenta as espécies mencionadas nos artigos, bem como as possíveis relações entre elas. Nota-se que o tratamento com a *E. crassipes* foi analisado de forma individual ou em associação com outras plantas.

**Tabela 1 – Frequência de plantas encontradas nos artigos**

Tipos de Plantas	Número de artigos	% do total
<i>Eichhornia crassipes</i>	55	77,5
<i>Pistia stratiotes</i>	7	9,9
<i>Lemma minor</i>	2	2,8
<i>Cyperus alternifolius</i>	2	2,8
<i>Phragmites australis</i>	1	1,4
<i>Typha augustifolia</i>	1	1,4
<i>Salvinia molesta</i>	1	1,4
<i>Schoenoplectus americanus</i>	1	1,4
<i>Pontederiaceae</i>	1	1,4

Analisando os dados, percebe-se que o tratamento realizado individualmente pela *E. crassipes* (aguapé) foi encontrado em 55 artigos (77,5%) (Tabela 1). Foi a única espécie do gênero. De acordo com Center (1994), o aguapé é uma planta aquática invasora, originalmente da América do Sul, e pode ser considerada uma das mais predominantes no mundo. Esse tipo de planta é ideal para realizar a descontaminação de águas residuárias (Granato, 1995), por apresentar um crescimento acelerado e uma capacidade de se ajustar ao meio, juntamente com sua elevada absorção de nutrientes. Ademais, essa espécie distingue-se das demais pelo seu desenvolvimento vegetativo intenso e pela capacidade de resistir e adaptar-se em águas fortemente contaminadas por nutrientes, metais pesados, oscilações de temperatura, substâncias tóxicas, entre outros.

A segunda planta mais citada nos artigos foi a *P. stratiotes* com 6 artigos (8%) apresentados. Embora seja uma macrófita estudada individualmente, a pesquisa trouxe apenas artigos realizando combinações entre ela e o aguapé (*E. crassipes*). Ao unir essas plantas é possível tornar o tratamento ainda mais robusto e efetivo, uma vez que cada uma delas pode atuar em razão dos seus pontos fortes e entregar um tratamento mais completo (Ribeiro et al., 2018).

Também foi observada a associação com a *L. minor*, conhecida como lentilha d'água, com o aguapé. A *L. minor* estava presente apenas em 2 artigos (3%) da pesquisa. Como citado no parágrafo anterior, a combinação de diferentes plantas para fitorremediação pode ser muito positiva, porque cada macrófita tem habilidade específica de remover contaminantes e se flexibilizar a condições diversas. A lentilha d'água é uma planta de porte pequeno usada para remover, principalmente, nutrientes (McCann, 2016).

O mesmo ocorreu para a planta guarda-chuva (*C. alternifolius*) que foi associada com a *E. crassipes* e resultou em 2 artigos selecionados na revisão. Trata-se de uma planta perene, originária de Madagascar, que apresenta grande adaptabilidade a diferentes lugares por tolerar temperaturas baixas e elevadas e possui um crescimento acelerado dos seus caules. No entanto, a *C. alternifolius* não reage de forma positiva às podas contínuas, pois não conseguem recuperar seu tamanho inicial após múltiplas podas (Ferreira, 2022). Nos artigos onde a associação da planta guarda-chuva com aguapé aparece, elas estão relacionadas à remoção de metais (Chi-Tuan et al., 2021; Shirinpur-Valadi et al., 2019).

Ainda, foram encontradas outras espécies com porcentagem mínima de frequência nos estudos, como *Phragmites australis*, *Salvinia molesta*, *Typha angustifolia*, entre outras.

### 3.2 CONTAMINANTES

A pesquisa mostrou mais de trinta tipos de contaminantes diferentes. Os quinze mais citados estão apresentados na Tabela 2, assim como sua frequência.

Tabela 2 – Frequência dos tipos de contaminantes analisados

Tipos de Contaminantes	Número de Artigos	% do total
Amônia	3	4,2 %
Antibióticos	3	4,2 %
Arsênio	2	2,8 %
Cádmio	12	16,9 %
Cálcio	2	2,8 %
Chumbo	8	11,3 %
Cianeto	2	2,8 %
Cobre	15	21,1 %
Cromo	10	14,1 %
DBO	5	7,0 %
DQO	5	7,0 %
Ferro	4	5,6 %
Fosfato	5	7,0 %
Fósforo	10	14,1 %
Metais	10	14,1 %
Níquel	6	8,5 %
Nitrogênio	14	19,7 %
Pesticida Atrazina	2	2,8 %
Pesticida Simazina	1	1,4 %
Zinco	3	4,2 %

Como observado na Tabela 2, o contaminante mais citado nos artigos revisados foi o cobre (21,1%). Trata-se de um metal abundantemente difuso na natureza e devido à sua não degradação no meio ambiente o solo e os recursos hídricos sofrem com as contaminações. As fontes antropogênicas primárias desse metal incluem: mineração, processos de fundição, utilização de carvão para geração de energia e incineração de resíduos urbanos (CETESB, 2022).

O nitrogênio (19,7%) destacou-se como o segundo contaminante mais mencionado nos artigos (Tabela 2). Em virtude da sua variedade de formas presentes na natureza, como, por exemplo, nitrato, nitrito e amônia, há um resultado significativo de estudos sobre este elemento. De acordo com Galloway (2008), o nitrogênio atua, frequentemente, como um contaminante habitual no meio ambiente. Isso ocorre porque ele está contido em produtos amplamente utilizados no dia-a-dia, os corantes e também os fertilizantes, especialmente na agricultura, que são dispostos como fonte direta quando transportados por escoamento superficial para os corpos hídricos.

O cádmio (16,9%) foi frequentemente mencionado na busca pelos artigos (Tabela 2). Esse elemento é um metal encontrado na natureza, associado a sulfitos de minérios de zinco, cobre e chumbo (CETESB, 2022). No Brasil, os incêndios florestais representam a principal fonte natural de liberação de cádmio na atmosfera. A vastidão das florestas brasileiras, somada à alta incidência de queimadas, seja por causas naturais ou ações antrópicas, contribui significativamente para isso. Além disso, a chuva ácida pode liberar metais que, em circunstâncias normais, estariam "presos" ou fixados no solo. Ao acidificar o solo, certos metais, como cádmio e mercúrio, podem ser liberados e entrar em sistemas aquáticos ou serem absorvidos por plantas, potencializando os efeitos tóxicos da chuva ácida no ambiente (Hobuss, 2007).

Conforme apresentado na Tabela 2, o fósforo foi mencionado em 14,1% dos artigos avaliados, destacando-se entre os contaminantes. Além disso, o fosfato, um relevante ácido derivado do fósforo, foi citado em 7% das publicações. A fonte pontual de fósforo proveniente de instalações de tratamento de esgoto é um risco significativo para a eutrofização, particularmente o efluente de esgoto despejado em tributários ecologicamente sensíveis (Bowes et al., 2010; Stutter et al., 2010). Um estudo dos lagos ao longo do rio Yangtze na China também indicou que o P é o principal fator que regula o crescimento das cianobactérias (Wang, 2009). Portanto, o controle de P deve ser uma etapa essencial para a mitigação da eutrofização em corpos d'água doce, como lagos, rios e reservatórios.

O cromo (14,1%) também foi um dos elementos mais citados na busca pelos artigos (Tabela 2). Ele é um elemento químico encontrado naturalmente na crosta terrestre, porém, suas formas mais comuns, cromo trivalente (Cr(III)) e cromo hexavalente (Cr(VI)), possuem diferentes implicações ambientais e para a saúde. Enquanto o cromo trivalente é menos tóxico e tem funções biológicas

essenciais para humanos, o cromo hexavalente é altamente tóxico e conhecido por seus efeitos carcinogênicos. Em contextos industriais, o cromo é amplamente utilizado, seja no processamento de aço inoxidável, na produção de pigmentos ou no curtimento de couros. Infelizmente, o descarte inadequado de resíduos industriais contendo cromo, o escoamento de fertilizantes e pesticidas da agricultura e a lixiviação de aterros sanitários são vias comuns pelas quais este metal pode contaminar cursos d'água (CETESB, 2017).

O cianeto foi mencionado em somente 2 dos artigos analisados neste estudo, correspondendo a 2,8% (Tabela 2). De acordo com Araújo (2021), o cianeto é um tipo de composto químico que tem um grupo chamado ciano, que é uma ligação entre um átomo de carbono e um de nitrogênio. Essas substâncias são encontradas naturalmente em diversos alimentos e plantas, produzidos por fungos, bactérias e algas. Além de fontes naturais, são introduzidos no ambiente por meio de atividades humanas, como metalurgia, curtimento de couro, produção de pesticidas e indústrias farmacêuticas.

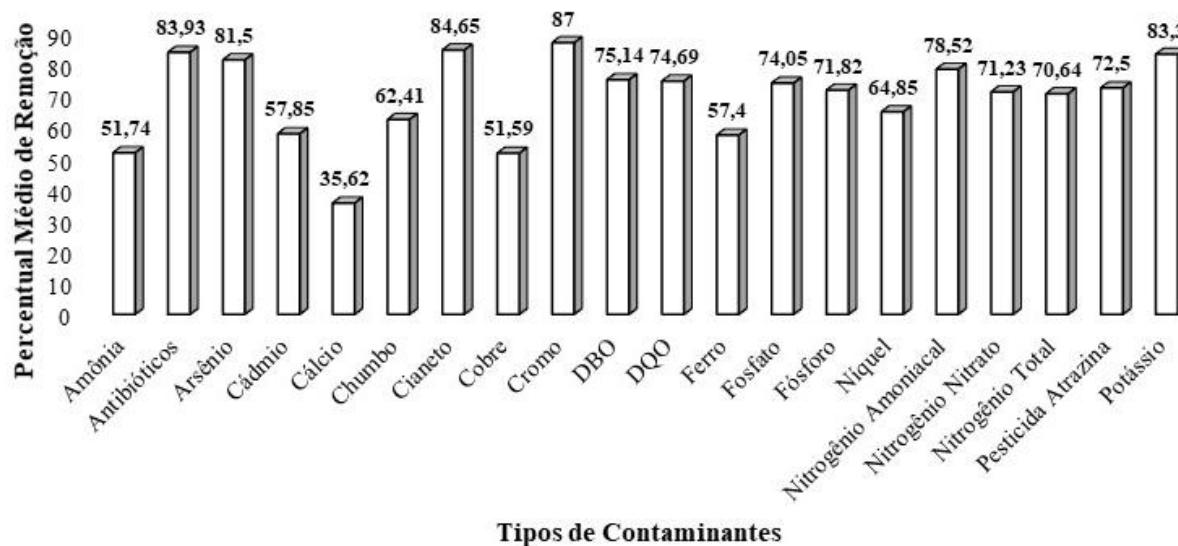
Em três artigos foram mencionados pesticidas, dos quais dois abordaram a Atrazina (2,8%) e um a Simazina (1,4%) (Tabela 2). Pesticidas são frequentemente empregados no combate a pragas, doenças e ervas daninhas, sendo essenciais para potencializar a produtividade no campo. Utilizadas em diversas culturas como herbicidas, a Atrazina e a Simazina possuem potencial de poluir fontes hídricas por meio do escoamento e lixiviação depois de sua aplicação (Fingler et al., 2017).

Os antibióticos foram mencionados como contaminantes em 3 artigos do total da pesquisa, representando 4,2% (Tabela 2). Em todo o mundo, os antibióticos são empregados na medicina humana e veterinária com o propósito de tratar e combater infecções. Contudo, uma grande parte dos antibióticos (até 90%) não é absorvida pelos animais, sendo excretada na urina ou nas fezes sem o devido tratamento (Sarmah et al., 2006). Esse processo leva, frequentemente, à liberação dessas substâncias no meio ambiente. Com o aumento na detecção de antibióticos na água nos últimos anos, cresceu o interesse em métodos de remoção desses poluentes. Enquanto tecnologias como processos oxidativos avançados e filtração por membrana são eficazes, mas caras e potencialmente poluentes, a fitorremediação surge como uma alternativa econômica e sustentável. Estudos mostraram que essa técnica conseguiu remover até 99,5% do antibiótico Sulfonamida em certas condições (Xian et al., 2010).

### 3.3 PERCENTUAL DE REMOÇÃO

O Gráfico 1 apresenta o percentual médio de remoção de cada um dos contaminantes. O contaminante com maior percentual de remoção foi o cromo, seguido do cianeto, dos antibióticos e do potássio. O percentual médio de remoção variou de 35,62% (cálcio) até 87% (cromo).

Gráfico 1 – Percentual Médio de Remoção dos Contaminantes



O contaminante que apresentou a maior taxa de remoção foi o cromo, com uma eficácia de 87% (Gráfico 1). Conforme pesquisa de Shanker et al. (2004), as células radiculares podem confinar o cromo nos seus vacúolos. Esse processo é uma estratégia da planta para se proteger, limitando a mobilidade do cromo dentro da planta e evitando que ele atinja e prejudique outras partes vitais da planta. Dessa forma, pode-se compreender porque o cromo apresentou o maior percentual médio de remoção. As plantas apresentaram uma elevada concentração de cromo nas raízes, todavia conforme foram envelhecendo o cromo acumulado nas raízes começa a ser translocado para outras partes da planta, incluindo o caule. A translocação é o movimento de substâncias dentro da planta, e neste caso, o cromo move-se das raízes para os caules.

O cianeto é o segundo contaminante com maior percentual de remoção entre os artigos revisados com 84,65% (Gráfico 1) Conforme apontado por Advincula (2023), a sinergia entre *Schoenoplectus americanus* e *Eichhornia crassipes* resultou em uma capacidade de remoção de cianeto significativamente mais eficaz do que quando as plantas foram utilizadas individualmente. Durante o tratamento, a *E. crassipes* apresentou um desenvolvimento radicular extenso, o que aumentou a área de interação com o efluente poluído e, consequentemente, intensificou a absorção do cianeto. Isso contribuiu para que o cianeto fosse um dos contaminantes com os mais altos índices de remoção média.

Dentre os artigos revisados, os antibióticos aparecem como o contaminante que ocupam a terceira posição em termos de eficiência de remoção, apresentando uma taxa de 83,93% (Gráfico 1). Segundo Yan (2019), no estudo sobre a fitorremediação do antibiótico SDZ, observou-se que as maiores concentrações do antibiótico eram mais prontamente diminuídas pela planta *E. crassipes*,

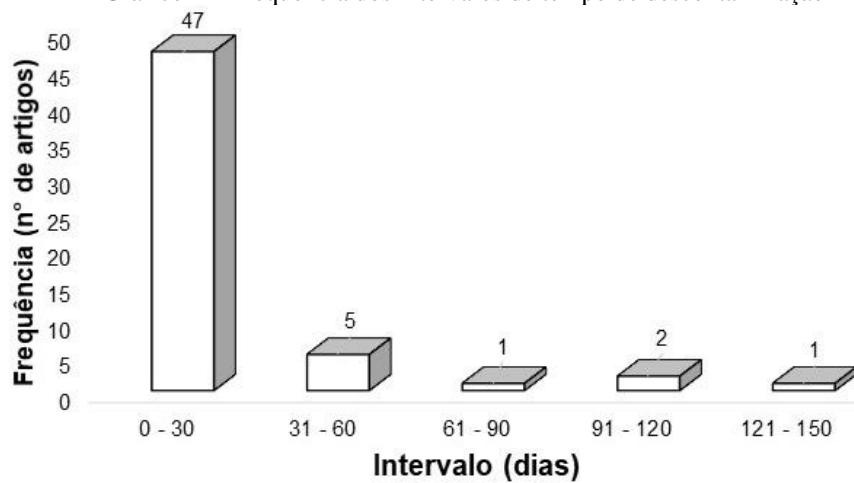
sinalizando uma notável capacidade da planta em absorver ou biotransformar o contaminante. Variações em certos indicadores da planta, como níveis de clorofila e atividade enzimática, indicam uma resposta da planta ao estresse provocado pelo antibiótico, adaptando-se à sua presença.

Na quarta posição, encontramos o potássio com uma taxa de remoção de 83,3% (Gráfico 1). Ele é seguido pelo nitrogênio em suas variantes: amoniacal (78,52%), nitrato (71,23%) e nitrogênio total (70,64%) (Gráfico 1). Além destes, temos também o fósforo (71,82%) e o fosfato (74,05%) (Gráfico 1). Para entender o alto percentual médio de remoção de potássio, nitrogênio e fósforo, deve-se considerar o fato de que o NPK - nitrogênio, fósforo e potássio - constitui o principal componente dos fertilizantes atuais. Por exemplo, o adubo mineral NPK 4-14-8 contém 4% de nitrogênio, 14% de fósforo e 8% de potássio. Similarmente, a formulação 4-30-16 apresenta 4% de nitrogênio, 30% de fósforo e 16% de potássio (EMBRAPA, 2022). Isso sugere que os artigos possam ter focado mais na fitorremediação desses elementos, uma vez que eles são mais abundantes em cursos hídricos comparados a outros macronutrientes.

### 3.4 TEMPO DE DESCONTAMINAÇÃO

O estudo da fitorremediação foi realizado em 71 artigos totais, mas apenas 56 artigos especificaram o tempo de duração para realizar o tratamento. O processo variou de 5 horas até 133 dias. O Gráfico 2 representa a distribuição destes 56 trabalhos e os intervalos de tempo mais utilizados. É possível observar que 66,2% dos trabalhos realizaram a descontaminação da água em um mês.

Gráfico 2 – Frequência dos intervalos de tempo de descontaminação



Embora a maioria dos artigos indique um tratamento de curta duração, a análise sobre o percentual de remoção revelou altos índices de eliminação de diversos contaminantes. Isso sugere que

o processo de fitorremediação é altamente eficiente. A combinação entre agilidade e efetividade destaca o potencial desse método como uma resposta sustentável aos desafios do tratamento da água.

### 3.5 SISTEMA

O sistema e/ou recipiente utilizado para realizar a fitorremediação também foram observados. A Tabela 5 apresenta estes dados.

Tabela 5 – Frequência dos tipos de sistemas/recipientes encontrados nos artigos revisados

Sistemas/Recipientes	Frequência (número de artigos)
Barril de plástico, bacias, bandejas, banheira de plástico, vasos e baldes	10
Recipientes de vidro, tanques de vidro acrílico, aquários	3
Lagos, lagoas, viveiros, pântano artificial e tanques de cultivo	22
Reatores, estufas e câmaras	6

Conforme citado anteriormente, não foram todos os artigos dessa revisão que mencionaram o sistema/recipiente que foi utilizado para realizar o experimento. Dos 71, apenas 41 artigos foram possíveis de fazer esta análise. Com 31%, aproximadamente, os lagos, lagoas, viveiros e tanques de cultivo foram os sistemas mais empregados na fitorremediação (Tabela 5).

Os artigos examinados neste estudo mostraram uma preferência pelo tratamento *in loco* para lidar com contaminantes em larga escala. Frequentemente, a intervenção direta no local é mais custo-efetiva do que tentar simular as condições ambientais em laboratório e, depois, adaptar para uso em campo. O trabalho de Zhang (2019), detalhou um projeto de fitorremediação com foco no cultivo extensivo de aguapés (*E. crassipes*) no Lago Caohai, China, visando eliminar poluentes e combater a eutrofização. O estudo ainda destacou que uma das principais atividades do Lago Caohai é o turismo recreativo. Isso sugeriu que a fitorremediação *in loco* pode ser mais bem recebida pela comunidade, visto que a estratégia é percebida como uma solução "verde" ou ecológica, demonstrando benefícios imediatos na purificação da água.

### 3.6 PAÍSES

Foram encontrados estudos realizados por vinte e dois países, com destaque para a Índia com quatorze artigos (Tabela 6).

Tabela 6 – Frequência dos diferentes países nos artigos analisados

Países	Frequência (número de artigos)
Arábia Saudita	2
Argentina	1
Austrália	1
Bogotá	1

Brasil	6
China	9
Colômbia	3
Costa do Marfim	1
Egito	1
Georgia	1
Índia	14
Indonésia	6
Irã	2
Malásia	6
México	2
Nigéria	3
Paquistão	4
Peru	1
Romênia	1
Rússia	3
Sri Lanka	1
Tailândia	2

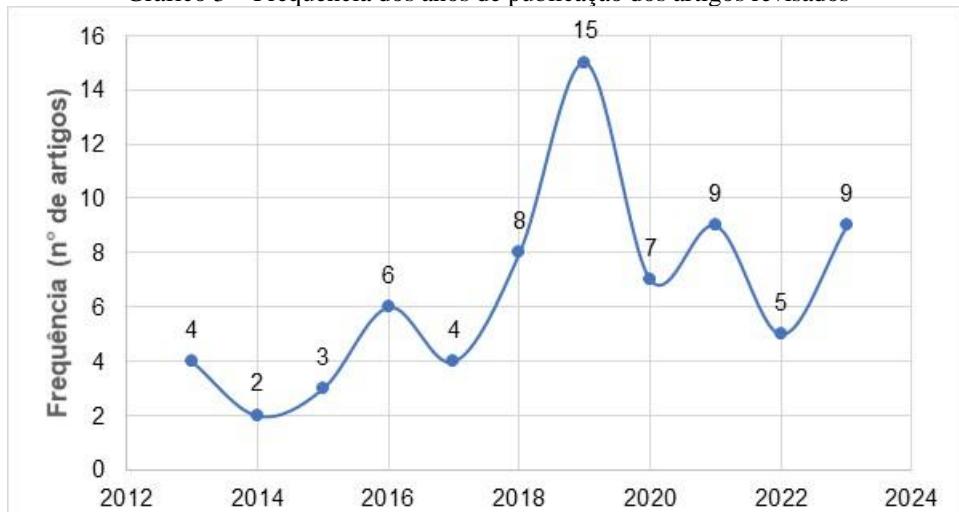
Logo, o fato da Índia ser o país predominante deve-se a evolução e maturidade dos sistemas de inovação nos BRICs através dos indicadores científicos e destaca a predominância pesquisas agrárias no país indiano e alerta à necessidade de avanço em estudos (Camara, 2011).

Assim, os países emergentes (Brasil, Rússia, Índia e China) têm ganhado cada vez mais importância na economia mundial. Com a sua formação, a dependência teórica, científica e produtiva dos países Brasil, Rússia, Índia e China (BRICs) em relação a outros países seriam reduzidas, possibilitando o desenvolvimento local de conhecimentos científicos e tecnológicos que permitiriam uma maior competitividade empresarial e a redução da dependência e vulnerabilidade de setores estratégicos.

### 3.7 ANO DE PUBLICAÇÃO

O Gráfico 3 apresenta o número de estudos por ano, com uma notável elevação em 2019.

Gráfico 3 – Frequência dos anos de publicação dos artigos revisados



Em 2019, notou-se um aumento significativo no número de publicações. Contudo, 2020, marcado pela pandemia de COVID-19, registrou uma redução no total de artigos publicados. Durante esse período atípico, a distância dos laboratórios dificultou para muitos pesquisadores a condução de estudos, experimentos e visitas in loco. Esse cenário sem precedentes globalmente pode explicar a retração nas publicações desse ano, indicando uma pausa involuntária nas pesquisas do setor (Garcia, 2023).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho promoveu uma revisão sistemática da literatura focada em pesquisas dos últimos 10 anos sobre a fitorremediação de águas residuárias utilizando plantas do gênero *Eichhornia* e suas respectivas associações. Notadamente, a *E. crassipes* emergiu como a espécie mais recorrente, sendo citada em 77,5% dos artigos analisados. A maioria dos estudos apresentou um período de investigação que variou entre 0 a 30 dias. Em relação ao ambiente de aplicação da fitorremediação, predominaram os lagos, lagoas e sistemas de cultivo. Uma diversidade de contaminantes, somando mais de 30 diferentes tipos, foi abordada nos artigos, sendo que os de maior eficiência média de remoção identificados foram: cromo, cianeto, antibiótico e fósforo. Geograficamente, as publicações estão majoritariamente concentradas na Índia e na China, observando-se um auge de publicações em 2019, com manutenção desta tendência durante o período pandêmico.

Essa revisão fundamenta futuras investigações na biorremediação, especialmente usando a fitorremediação e o gênero *Eichhornia*. Consolidando uma década de pesquisas, destacamos a eficácia da *E. crassipes* em tratamentos de água e a variedade de contaminantes abordados. A distribuição geográfica das pesquisas indica áreas-chave e sugere novos focos de estudo. Este trabalho é crucial

para orientar acadêmicos, ambientalistas e tomadores de decisão, ressaltando o valor da fitorremediação na gestão de águas residuais.

## REFERÊNCIAS

- ADVINCULA, A. G. M. et al. Phytoremediation with *Schoenoplectus Americanus* and *Eichhornia Crassipes* in Cyanide Effluents. *Chemical Engineering Transactions*, v. 100, p. 37-42, 2023.
- ARAÚJO, P. Remoção de cianeto de efluente galvânico, recuperação e reuso de metais e água. *TS - REV*, v. 148, n. 26, 2021.
- BOTIN, L. Mostra itinerante reforça a importância da água para o planeta. *Ciência e Cultura*, v. 59, n. 3, p. 17-17, 2007.
- BOWES, M. J.; NEAL, C.; JARVIE, H. P.; SMITH, J. T.; DAVIES, H. Predicting phosphorus concentrations in British rivers resulting from the introduction of improved phosphorus removal from sewage effluent. *Science of the Total Environmental*, v. 408, n. 19, p.4239-4250, 2010.
- CAMARA, M. R. G. Evidências empíricas sobre o desenvolvimento científico nos BRICS. *Revista Faz Ciência*, v. 13, n. 18, p. 69, 2011.
- CASTRO, C. M. B. de. Tratamento de água: Qualidade das águas naturais Introdução ao Tratamento de Água para consumo humano (Pontos 1 e 2). 1988. 36 f. (Mestrado em Engenharia em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Departamento de Obras Hidráulicas, Porto Alegre, 1988.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Cádmio: Ficha de Informação Toxicológica. 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Cadmio.pdf>.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Cobre: Ficha de Informação Toxicológica. 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Cobre.pdf>.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Cromio: Ficha de Informação Toxicológica. 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Cromio.pdf>.
- CHI-TUAN, M.; TRAN, T.; QUANG-TUONG, L. Use of *Cyperus alternifolius* and *Eichhornia crassipes* for removing heavy metal from shrimp farm effluent in wetlands. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021. p. 012042.
- CORDEIRO, A. M.; OLIVEIRA, G. M. D.; RENTERÍA, J. M. et al. Revisão sistemática: uma revisão narrativa. *Revista do colégio brasileiro de cirurgiões*, v. 34, p. 428-431, 2007.
- EMBRAPA. Adubos e Fertilizantes. Embrapa Hortalícias, 2022.
- FERREIRA, M. A. et al. Macrófitas e seu potencial fitorremediativo em estações de tratamento de esgoto: uma revisão bibliográfica. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 2, 2022.

FINGLER, S.; MENDAS, G.; DVORSCAK, M.; STIPICEVIC, S.; VISILIC, Z.; DREVENKAR, V. Herbicide micropollutants in surface, ground and drinking waters within and near the area of Zagreb, Croatia. *Environmental Science Pollution Research*, v. 24, p. 11017-11030, 2017.

GALLOWAY, J. N. et al. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science*, v. 43, n. 5, p. 641-648, 2008.

GARCIA, R. Produção científica brasileira caiu 7,4% no ano passado, a maior queda entre 51 países. O Globo, São Paulo, 24 Jul. 2023. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/noticia/2023/07/24/producao-cientifica-brasileira-diminui-pela-primeira-vez.ghtml>. Acesso em: 02 set. 2023.

GRANATO, M. Utilização do aguapé no tratamento de efluentes com cianetos. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1995. (Série Tecnologia Ambiental, 05).

HOBUSS, C. et al. Ciclo do enxofre. Livro Virtual de Química. UFPEL. Pelotas, 2007.

LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A. Fitorremediação: plantas como agentes de despoluição? Pesticidas: Revista de ecotoxicologia e meio ambiente, v. 17, 2007.

MCCANN, J. M. Response diversity of free-floating plants to nutrient stoichiometry and temperature: growth and resting body formation. *Environmental Sciences*, v. 7, n. 4, p. 1781-1788, 2016.

OLIVEIRA JUNIOR, M. J. de. Uso de macrófitas da espécie *Pistia stratiotes* (alface d'água) como combustível sólido para fornalhas industriais: uma análise de viabilidade técnica e econômica. 2011. Tese de Doutorado.

PIO, M. C. S.; SOUZA, K. S.; SANTANA, G. P. Capacidade da *Lemna aequinoctialis* para acumular metais pesados de água contaminada. *Acta Amazonica*, v.43, n. 2, p. 203-210, 2013.

PIRES, F. R., SOUZA, C., SILVA, A. et al. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. *Planta daninha*, v. 21, p. 335- 341, 2003.

RIBEIRO, V. H. V.; ALENCAR, B. T. B.; SANTOS, N. M. C. et al. Sensitivity of the macrophytes *Pistia stratiotes* and *Eichhornia crassipes* to hexazinone and dissipation of this pesticide in aquatic ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 168, n. 1, p. 177-183, 2018.

SARMAH, A. K.; MEYER, M. T.; BOXALL, A. B. A. A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (VAs) in the environment. *Chemosphere*, v. 65, n. 5, p. 725-759, 2006.

SHANKER, A. K.; DJANAGUIRAMAN, M.; SUDHAGAR, R.; CHANDRASHEKAR, C. N.; PATHMANABHAN, G. Differential antioxidative response of ascorbate glutathione pathway enzymes and metabolites to chromium speciation stress in green gram (*Vigna radiata* (L.) R.Wilczek) roots. *Plant Science*, v. 166, p. 1035-1043, 2004.

SHIRINPUR-VALADI, A.; HATAMZADEH, A.; SEDAGHATHOOR, S. Study of the accumulation of contaminants by *Cyperus alternifolius*, *Lemna minor*, *Eichhornia crassipes*, and *Canna× generalis* in some contaminated aquatic environments. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 26, p. 21340-21350, 2019.

STUTTER, M. I.; DEMARS, B. O. L.; LANGAN, S. J. River phosphorus cycling: separating biotic and abiotic uptake during short-term changes in sewage effluent loading. *Water Research*, v. 44, n. 15, p. 4425-4436, 2010.

TOMAZ, A. T.; BARTHUS, R. C., COSTA, C. R. et al. Descontaminação de Águas Residuais Contendo Poluentes Orgânicos: Uma Revisão. *Revista Virtual de Química*, v. 15, n. 1, 2023.

WANG, H; WANG, H. Mitigation of lake eutrophication: loosen nitrogen control and focus on phosphorus abatement. *Prog Nat Sci-Mater*, v. 19, n. 10, p. 1445-1451, 2009.

XIAN, Q.; HU, L.; CHEN, H.; CHANG, Z.; ZOU, H. Removal of nutrients and veterinary antibiotics from swine wastewater by a constructed macrophyte floating bed system. *Journal of Environmental Management*, v. 91, p. 2657-2661, 2010.

YAN, Y. et al. Effects and removal of the antibiotic sulfadiazine by *Eichhornia crassipes*: potential use for phytoremediation. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, v. 103, p. 342-347, 2019.

ZHANG, Y. et al. Phosphorus removal from the hyper-eutrophic Lake Caohai (China) with large-scale water hyacinth cultivation. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 26, p. 12975-12984, 2019.