



USO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS CONTAMINADAS

Antônio Rony da Silva Pereira Rodrigues, Universidade Estadual do Ceará (UECE),
ronny346silva@gmail.com

Resumo

Com o constante avanço da industrialização as áreas naturais começaram a ser invadidas, destruindo e provocando graves problemas ambientais, um desses problemas é a contaminação dos recursos hídricos, comumente ligados a ação antrópica nas indústrias, mineração e despejo irregular dos dejetos em rios, lagos e oceanos. Para a realização do estudo optou-se por uma revisão integrativa (RI). Com busca dos estudos realizada entre os meses de janeiro e fevereiro de 2022, nas bases de dados ScienceDirect, SciELO e Redalyc. Foram lidos completamente 52 artigos, onde 39 foram excluídos por não apresentarem resultados significantes e não responderem o objetivo do estudo. Ao final foram incluídos 13 artigos na versão da RI. Após a análise dos resultados da RI, foi possível observar que inúmeros métodos são utilizáveis como tecnologia para tratamento de água, seja para limpeza ou até para dessalinizar. Como o uso da *Moringa oleifera L* (Moringa), uma espécie vegetal capaz de sedimentar o agregado gráudo dentro de compostos aquoso. Desse modo, o presente trabalho contribui para o aprofundamento e desenvolvimento de novas reflexões acerca de alternativas sustentáveis para o tratamento da água, afim de proporcionar o consumo de água de qualidade e também de um meio ambiente mais saudável.

Palavras-chave: Tecnologias alternativas, Tratamento de água, Água contaminada.

1. Introdução

Com o crescimento da população os recursos naturais se tornaram cada vez mais finitos, o homem começou a se preocupar com o seu impacto frente ao meio ambiente, assim podendo agir e garantir um meio saudável para si e para as gerações futuras (Baptista & Costa, 2018).



Entre os recursos naturais que são amplamente prejudicados pela ação antrópica, está a água. A água é indispensável para as comunidades humanas, sendo necessária para saúde, agricultura e até mesmo o resfriamento do planeta. No entanto vem sendo utilizada de forma irresponsável e continuamente poluída, o que faz com que se torne escassa ou imprópria para o consumo em múltiplas regiões do planeta, causando assim, problemas e prejuízos às pessoas e a todos os outros seres vivos (Lima & Freitas, 2014).

No Brasil, ainda se enfrenta um grande problema de saneamento básico, muitas cidades do país despejam seus esgotos em rios, lagos ou até no próprio oceano. As cidades que se encontram mais afastadas dos grandes centros urbanos são as que possuem os piores índices de saneamento básico, mas nos grandes centros urbanos outros fatores estão ligados com a contaminação dos recursos hídricos, como a indústria têxtil, petrolífera, mineradora, entre outras (Cordeiro, 2008).

No país, o controle da qualidade da água potável esteve ligado à eliminação de bactérias e outros micro-organismos, mas não levando em consideração o risco da contaminação química, a exemplo da contaminação da água por corantes utilizados nas indústrias têxteis, alimentícias, automotivas, entre outras (Rummenigge, 2013).

Muitas empresas são responsáveis pela poluição de águas, como a indústria têxtil, mineradora e de produtos de limpeza. Empresas que fabricam materiais de limpeza utilizam grandes quantidades de surfactantes na composição de seus produtos. Assim, as correntes contendo produtos químicos variados, que devem ser descartadas para uma estação de tratamento, possui diferentes compostos químicos sendo alguns deles surfactantes como o LAS–lauril sulfato de sódio (Junior, Rocha & Moura, 2016).

Devido a alta contaminação das águas ocorrida pela liberação de substâncias químicas provenientes das indústrias, vários métodos físicos e químicos começaram a ser empregados como alternativa para o tratamento de efluentes contaminados, tais como adsorção, eletroquímica, precipitação química, ozonização, separação por membranas seletivas e processos



biológicos, sendo os processos de absorção o mais apropriado e utilizado (Freire *et al.*, 2018).

A adsorção é um dos métodos físicos mais utilizados e mostra - se altamente eficiente na remoção de substâncias em águas residuais. O processo de adsorção fornece um tratamento atraente, especialmente se o adsorvente é barato e facilmente disponível (Martínez, 2016). Cada vez são mais comum o uso de métodos alternativos como a associação de plantas ou bactérias remediadoras para o tratamento de água, além de métodos já conhecidos como uso de maquinário.

Tendo em vista, o impacto ambiental nos recursos hídricos causado pela ação antrópica, a necessidade de diminuir os danos causados pela mesma, se veem cada vez mais necessários. Muitas tecnologias estão sendo estudadas e aplicadas para melhorar o tratamento de água. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi analisar quais trabalhos trazem estudos relevantes quando se trata de alternativas tecnológicas sustentáveis para os tratamentos de recursos hídricos, além da sua aplicabilidade real.

2. Fundamentação teórica

Nas regiões áridas e semiáridas, a água se tornou um fator importante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Governos nos mais diversos âmbitos procuram continuamente, novas fontes de recursos para complementar a pequena disponibilidade hídrica ainda disponível (Hespanhol, 2002). No Brasil, a região que se destaca pela escassez de água é a Região Nordeste, por ter clima predominante o clima semiárido.

Segundo Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, o planeta irá enfrentar um déficit de 40% no abastecimento de água até 2030, a menos que a comunidade internacional melhore o gerenciamento do abastecimento de água. A demanda por água deve disparar em 55% em 2050, enquanto 20% das águas subterrâneas do planeta já estão em extrema exploração (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura [UNESCO], 2015).



Diante da escassez de água potável para o abastecimento de populações no mundo, constatou-se a necessidade de fazer um estudo sobre as alternativas para solucionar o problema, em busca de tratar as águas poluídas e conseguir melhorar a qualidade da água para os mais diversos setores que fazem uso (Bordignon, 2016).

3. Metodologia

Para a realização do estudo optou-se por uma revisão integrativa (RI). A revisão integrativa, é uma ampla abordagem metodológica que permite a inclusão de estudos experimentais e não-experimentais para uma compreensão completa do fenômeno analisado. Combina também dados da literatura teórica e empírica, além de incorporar um vasto leque de propósitos: definição de conceitos, revisão de teorias e evidências, e análise de problemas metodológicos de um tópico abordado (Whittemore, 2005).

Levando em conta o objetivo do estudo, na primeira fase, foi levantado o seguinte questionamento: quais são as principais tecnologias alternativas aplicadas ao tratamento sustentável de recursos hídricos contaminados?

Na segunda etapa, a busca dos estudos foi realizada entre os meses de janeiro e fevereiro de 2022, nas bases de dados ScienceDirect (*Elsevier*), SciELO (*Scientific Electronic Library Online*) e Redalyc (*Sistema de Información Científica Redalyc*). A pesquisa por artigos foi feita através dos termos em língua portuguesa e inglesa: tratamento da água, tecnologias alternativas e água contaminada, junto ao operador booleano *and*. Para selecionar os artigos foram aplicados critérios de inclusão e exclusão, que estão descritos no quadro 1.

Quadro 1 – Critérios inclusão e exclusão dos artigos.

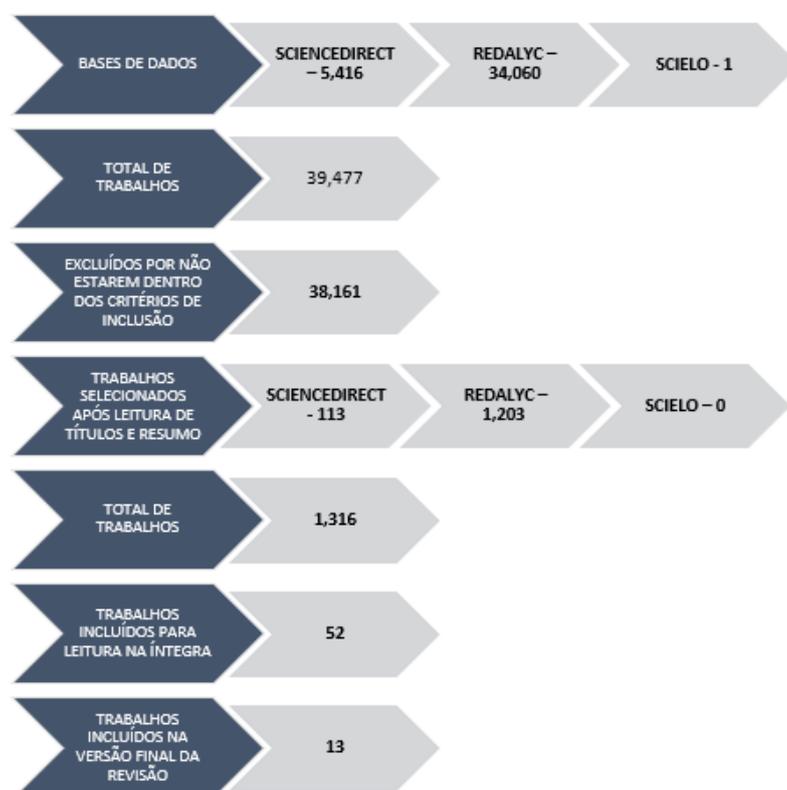
Inclusão	Artigos publicados entre 2018 a 2022, em qualquer idioma, que estivessem disponíveis na íntegra e que respondessem o objetivo do estudo
-----------------	---

Exclusão	Tipos de artigos: artigos repetidos, artigos incompletos, resumos de trabalhos, trabalhos publicados em anais de eventos, resenhas de livros e artigos que não respondiam o questionamento da RI e artigos que não estivessem dentro do delineamento de tempo de publicação proposto.
-----------------	---

Fonte: Autores, 2022

Os artigos foram selecionados com base na leitura dos títulos, resumos e palavras-chaves. Posteriormente, foi feita a leitura na íntegra, com objetivo de verificar se respondiam à pergunta norteadora. Os passos para seleção dos trabalhos que integram a RI, podem ser visualizados na figura 1.

Figura 1. Etapas para seleção e análise dos trabalhos que compõem a RI.



Fonte: Autores, 2022



4. Resultados

No levantamento bibliográfico foram obtidos 39,477 artigos, coletados ScienceDirect, SciELO, Redalyc, onde 38.161 foram excluídos após a aplicação dos critérios de ano de publicação, tipo de trabalho e duplicação, sobrando 1.316 trabalhos. Na etapa seguinte, os artigos passaram por uma seleção através da leitura dos títulos, resumos e palavras-chaves, nessa etapa 1.264 trabalhos foram excluídos por não responderem ao objetivo do estudo. Na última etapa de seleção foram lidos completamente 52 artigos, onde 39 foram excluídos por não apresentarem resultados significantes e não responderem o objetivo do estudo. Ao final foram incluídos 13 artigos na versão da RI.

Os pesquisadores realizaram as buscas, sem qualquer contato nesse período. Os resultados obtidos foram comparados, estabelecendo-se concordância quanto a formulação da amostra final. Os achados foram apresentados a partir do método de “nuvem de palavras”, utilizando-se o *software wordle*. Nuvem de palavras é uma forma de facilitar a demonstração de quais são as palavras mais frequentes quando pesquisado por determinado assunto ou tema. Os resultados estão demonstrados na figura 2.

Figura 2. Nuvem de palavras dos achados na RI.



Fonte: Autores, 2022.



Os principais aspectos dos estudos selecionados, a distribuição dos artigos quanto a autores e ano de publicação, país do estudo, periódico publicado, material utilizado e a aplicação de forma sustentável realizada, estão dispostos na tabela 1.

Tabela 1. Caracterização dos estudos que compõem a RI.

AUTOR/ANO	LOCAL	PERIÓDICO	REMEDIADOR/MÉTODO	RESULTADOS OBTIDOS
Nascimento, F.T et al., 2018	Brasil	Ambiente & Água	Destilador solar	100% dos coliformes e Escherichia coli e 4,5log (99,9V%) de HAd-5, que atende aos padrões para água potável.
Choque-Quispe, D et al., 2020	Peru	Dyna	<i>Echinopsis pachanoi</i> , <i>Neoraimondia arequipenses</i> e <i>Opuntia ficus</i>	Observou-se aumento do pH com o aumento da dose de coagulante. A otimização foi realizada considerando como função objetivo os %R que foram submetidos a FA, pH, dureza, alcalinidade e DBO ₅ de tratamento de água.
Valverde, K.C et al., 2018	Brasil	Ambiente & Água	<i>Moringa oleífera</i> L (MO) e policloreto de alumínio coagulante sintético (PAC)	MO contribuiu para a redução do coagulante sintético PAC. A associação de coagulantes, com 80%/20% ou 60%/40% de MO/PAC, melhorou os parâmetros de qualidade, bem como a possibilidade de produção de água com padrão de potabilidade.
Marra, L.C et al., 2019	Brasil	Revista ION	Mucilagem e o pó de quiabo	As agitações ajustadas em 150 rpm e depois 40 rpm foram efetivas para reduzir a turbidez a 39% usando coagulante inorgânico (FeSO ₄), mas a redução chegou a 76% e 88% com a adição de mucilagem e pó de quiabo.

IV SUSTENTARE & VII WIPIS
WORKSHOP INTERNACIONAL
Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos
 de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização: SUSTENTARE FUCAMP/FEUCAMP

Apoio: Agência das Bacias PCJ, COMITÊS PCJ

<i>Vesga-Rodríguez, C.P et al., 2019</i>	Colômbia	Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia	Uso de tanques de sedimentação de alta velocidade	Observou que o tanque em escala de laboratório permite a criação de uma manta de flocos e é um projeto versátil com restrições de visibilidade e acessibilidade e diminuindo a turbidez.
<i>Fuentes-López, L et al., 2018</i>	Colômbia	Dyna	Dupla filtração com carvão ativado granular	A dupla filtração com dois meios granulares adsorventes (GAC vegetal e mineral), o que resultou em uma redução eficiente de UV ₂₅₄ (86%) e Atrazina (99%)
<i>Bergamasco, R et al., 2019</i>	Brasil	Ambiente & Água	Membrana de poliamida por revestimento de nanopartículas de dióxido de titânio	A membrana fotocatalítica de TiO ₂ apresenta capacidade de remover o corante azul de metileno por decomposição fotocatalítica e separação física
<i>Chen, X et al., 2022</i>	China	Bioresource Technology	Biorreator à base de enxofre/pirita	Proteobacteria e Epsilonbacteraeota foram os filos predominantes e menos reduções dissimilatórias de nitrato para bactérias relacionadas a amônia foram enriquecidas em comparação com aquelas no biorreator à base de enxofre.
<i>Singh, S et al., 2022</i>	Índia	Ecological Engineering	<i>Phyllanthus amarus</i> e <i>Cyanodon dactylon</i> , <i>Eichhornia crassipes</i> e <i>Marsilea quadrifolia</i>	Mostraram potencial para tolerar e acumular As, Fe, Zn, Cu e Cr em seus tecidos.
<i>Lashen, Z.M et al., 2022</i>	Egito	Journal of Hazardous Materials	Nanomateriais derivados da sacarina da beterraba.	A sacarina da beterraba removeu até 99% de Cu e 91% de Cd em água e exibiu uma capacidade de sorção rápida e maior, (1111,1 para Cu e 33,3 para Cd) do que mesmo em pH ácido.

<i>Dey, S et al., 2021</i>	Índia	Cleaner Materials	Cascas de laranja	A biossorbente das cascas de laranja de 4gm é capaz de remover amônia e nitrato da água. A biossorção de amônia e nitrato foi obtida em pH = 5,5.
<i>Yuvaraj, A et al., 2021</i>	Índia	Chemosphere	Biocarvão através de exoenzimas induzidas por minhocas para produção de vermicarvão	A vermifiltração uma tecnologia adequada para remoção de metais de águas residuais/efluentes. Induzindo melhor turbidez e diminuindo a concentração de pH.
<i>Zhou, S et al., 2021</i>	China	Carbohydrate Polymers	Corante magnéticos de celulose derivados de biomassa	Os magnéticos de celulose exibiram a capacidade máxima de adsorção para CI Reactive Red 195 e CI Reactive Blue 222 de 58,21 mg/g e 86,06 mg/g em a temperatura de 303K

Fonte: Autores, 2022.

De modo geral, observou-se que o uso de tecnologias alternativas já é bastante utilizado, a utilização de diversas partes de algumas plantas é constante. O pó de quiabo foi avaliado como biofloculantes no tratamento de água por meio de *jar test* e demonstrou que as agitações em 150 rpm e 40 rpm foram efetivas para reduzir a turbidez. A redução da turbidez foi de 39% usando apenas coagulante inorgânico (FeSO_4), e chegando a 76% e 88% pela adição de mucilagem e pó de quiabo (Carneiro-Marra, Sad & Silva-Batista, 2019).

Estudo utilizando as sementes de *Moringa oleifera* foram empregadas em unidades de tratamento de água com baixa turbidez. Em águas com cor baixa, na condição de água com turbidez de 10 uT, evidenciou-se que dosagens baixas de coagulante são suficientes para promover elevada remoção. Para remoção de turbidez, em águas com baixa turbidez, não foram necessárias dosagens elevadas de coagulante – como ocorre em águas com alta turbidez, onde



são necessários emprego de dosagens elevadas (Balbinoti, Beghetto, Silva, Coral & Bassetti, 2018).

Estudos de Lima (2018), identificou que com apenas 0,1000 g de tensoativo obtido a partir de óleo de girassol frente ao corante têxtil Solophenyl preto, com pH ajustado em 12, foi possível obter uma eficiência de 97% de adsorção.

Franco (2016) realizou testes para adsorção do azul de metileno utilizando casca de arroz cru e obteve uma capacidade de adsorção igual a 1,30 mg/g, pelo modelo de Thomas. Enquanto Stoppe (2019) para a isoterma de adsorção, utilizando carvão da biomassa do coco verde e pelo carvão ativado granulado pelo modelo de Freundlich, alcançou a eficiência de remoção máxima foi de 99,65% para a concentração de 40 mg/L.

5. Conclusões

Após a análise dos resultados desta RI, foi possível observar que inúmeros métodos são utilizáveis como tecnologia para tratamento de água, seja para limpeza ou até para dessalinizar. Vale ressaltar, o uso da *Moringa oleifera L* (Moringa), como uma espécie vegetal capaz de sedimentar o agregado gráudo dentro de compostos aquoso, sendo capaz de separar a parte mais visível da água, outras espécies que tem destaque são a *Phyllanthus amarus* e a *Marsilea quadrifolia* que tem potencial de agregar os metais pesados em suas raízes e assim absorver os mesmo da água.

Métodos como destilação solar, uso de tanques de sedimentação de alta velocidade, dupla filtração com carvão ativado granular entre outras técnicas mecânicas merecem destaque, pois podem ser utilizadas em escala industrial, assim sendo um meio para o tratamento inicial principalmente de água de reuso. Desse modo, o presente trabalho contribui para o aprofundamento e desenvolvimento de novas reflexões acerca de alternativas sustentáveis para o tratamento da água, afim de proporcionar o consumo de água de qualidade e também de um meio ambiente mais saudável.



6. Agradecimentos

Universidade Estadual do Ceará - UECE

7. Referências bibliográficas

Balbinoti, J. R., Beghetto, C. L., Silva, L., Coral, L. A., & Bassetti, F. (2018). Uso de sementes de Moringa oleifera como agente coagulante para o tratamento de água. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11(05), 1748-1760.

Baptista, M., Costa, C. M., & Paulista-SP, C. B. Tratamento de água de reúso residencial.

Bergamasco, R., Coldebella, P. F., Camacho, F. P., Rezende, D., Yamaguchi, N. U., Klen, M. R. F., ... & Amorim, M. T. S. P. (2019). Self-assembly modification of polyamide membrane by coating titanium dioxide nanoparticles for water treatment applications. *Revista Ambiente & Água*, 14.

Bordignon, S. (2016). Dessalinização da água do mar como alternativa para obtenção de água potável.

Carneiro-Marra, L., Sad, L., & Silva-Batista, D. (2019). Evaluation of mucilage and powder of Okra as bio-flocculant in water treatment. *Revista Ion*, 32(2), 53-58.

Chen, X., Yang, L., Chen, F., Song, Q., Feng, C., Liu, X., & Li, M. (2022). High efficient bio-denitrification of nitrate contaminated water with low ammonium and sulfate production by a sulfur/pyrite-based bioreactor. *Bioresource Technology*, 126669.

Choque-Quispe, D., Ligarda-Samanez, C. A., Ramos-Pacheco, B. S., Solano-Reynoso, A. M., Choque-Quispe, Y., Peralta-Guevara, D. E., & Quispe-Quispe, Y. (2020). Optimization of the flocculating capacity of natural coagulants in water treatment. *Dyna*, 87(212), 90-95.

Cordeiro, W. S. (2008). Alternativas de tratamento de água para comunidades rurais. *Revista Vértices*, 12(1), 129.

Dey, S., Basha, S. R., Babu, G. V., & Nagendra, T. (2021). Characteristic and biosorption capacities of orange peels biosorbents for removal of ammonia and nitrate from contaminated water. *Cleaner Materials*, 1, 100001.

Franco, D. S. P. (2016). Modificações na casca de arroz para a adsorção de azul de metileno em batelada e leito fixo. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 73p. (dissertação de mestrado)

Freire, L. F. A., Formiga, W. J. F., Lagden, M. G., Luna, A. S. de, Alves, F. de L., Corrêa, M. de A., & Santos, M. A. G. dos. (2018). Avaliação da Adsorção de Efluente Têxtil por Compósitos de Quitosana. *Revista Processos Químicos*, 12(24), 9-17.

Fuentes-López, L., Amézquita-Marroquín, C., & Torres-Lozada, P. (2018). Application of double filtration with granular activated carbon for Atrazine reduction on water treatment processes. *Dyna*, 85(205), 184-190.

Hespanhol, I. (2002). Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 7(4), 75-95.

Junior, F. M. R., Rocha, N. R. A. F., & Moura, A. A. O. (2016). efeito do campo magnético no processo de coagulação para tratamento de água contaminada. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 2(2), 116–124.

Lashen, Z. M., Shams, M. S., El-Sheshtawy, H. S., Slaný, M., Antoniadis, V., Yang, X., ... & Elmahdy, S. M. (2022). Remediation of Cd and Cu contaminated water and soil using novel nanomaterials derived from sugar beet processing-and clay brick factory-solid wastes. *Journal of Hazardous Materials*, 128205.

Lima, L. G. D. S., & Freitas, A. C. D. (2014). estudo da qualidade da água de coari-am através de análises físico-químicas e microbiológicas e correlação com doenças causadas por vias hídricas. *IGAPÓ-Anais de iniciação científica*, 4.

Lima, L. N. (2018). Remoção do corante solophenyl preto utilizando floculação iônica. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. (Monografia de graduação), Mossóro, RN.

Martinez S. L. N. (2016). Sínteses de polímeros molecularmente impressos para adsorção seletiva de Quinolina em matriz orgânica. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG.



Nascimento, F. T. D., Nascimento, C. A. D., Spilki, F. R., Staggemeier, R., & Lauer Júnior, C. M. (2018). Efficacy of a solar still in destroying virus and indicator bacteria in water for human consumption. *Revista Ambiente & Água*, 13.

Organização das Nações Unidas Para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). (2015). Água para um mundo sustentável. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/multimedia/field/Brasilia/pdf/brz_sc_ww_dr2015_main_messages_pt_2015.pdf>.

Rummenige, K. (2013). A utilização da água no Mundo. Sete Lagoas: MG.

Singh, S., Karwadiya, J., Srivastava, S., Patra, P. K., & Venugopalan, V. P. (2022). Potential of indigenous plant species for phytoremediation of arsenic contaminated water and soil. *Ecological Engineering*, 175, 106476.

Stoppe, A. C. R., Faiad, J. C., Cunha, L. M. P., Santos, K. G., & Vieira Neto, J. L. (2019). Remoção do Corante Azul de Metileno no Tratamento de Efluentes por Adsorção em Carvão de Coco Verde e Carvão Ativado. In *CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, ENEMP* (Vol. 39).

Valverde, K. C., Paccola, E. A. D. S., Pomini, A. M., Yamaguchi, N. U., & Bergamasco, R. (2018). Combined water treatment with extract of natural *Moringa oleifera* Lam and synthetic coagulant. *Revista Ambiente & Água*, 13.

Vesga-Rodríguez, C. P., Donado-Garzón, L. D., & Weber-Shirk, M. (2019). Evaluation of high rate sedimentation lab-scale tank performance in drinking water treatment. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (90), 9-15.

Whittemore R, Knafl K. (2005). The integrative review: update methodology. *Journal of Advanced Nursing*. 52(5):546-53.

Yuvaraj, A., Thangaraj, R., Karmegam, N., Ravindran, B., Chang, S. W., Awasthi, M. K., & Kannan, S. (2021). Activation of biochar through exoenzymes prompted by earthworms for vermibiochar production: A viable resource recovery option for heavy metal contaminated soils and water. *Chemosphere*, 278, 130458.

IV SUSTENTARE & VII WIPIS
WORKSHOP INTERNACIONAL
Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos
de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização:
SUSTENTARE FUCAMP/RN
WIPES IBCOP

Apoio:
Agência das Bacias PCJ
COMITÊS PCJ

Zhou, S., Xia, L., Fu, Z., Zhang, C., Duan, X., Zhang, S., ... & Xu, W. (2021). Purification of dye-contaminated ethanol-water mixture using magnetic cellulose powders derived from agricultural waste biomass. *Carbohydrate Polymers*, 258, 117690.