

PALMA FORRAGEIRA PARA BIORREMEDIAÇÃO DE ÁGUAS CONTAMINADAS: POSSIBILIDADES PARA O SEMIÁRIDO

Rener Luciano de Souza Ferraz¹; Patrícia da Silva Costa²; Franklin Alves dos Anjos³; Amanda Costa Campos²; Newcélia Paiva Barreto²

¹Doutorando em Engenharia Agrícola (Irrigação e Drenagem) pela Universidade Federal de Campina Grande, ferragroestat@gmail.com; ²Mestranda em Zootecnia pela Universidade Federal de Campina Grande, pathy_16costa@hotmail.com, amandacampos02@hotmail.com, newcelia.barreto@bol.com.br; ³Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Alagoa, franklin.anjos19@gmail.com

Resumo: O aumento do consumo e contaminação de recursos hídricos tem impulsionado a busca por produtos alternativos para tratamento de água. Objetivou-se evidenciar o potencial da palma forrageira para biorremediação de águas contaminadas, bem como verificar se esta forma de tratamento é utilizada no semiárido. Utilizou-se de revisão sistemática e meta-análise, realizando-se busca na base de dados *Scopus* utilizando os termos “*Opuntia fícus*” e “water treatment”. A variável resposta foi porcentagem de remoção de turbidez ou de algum metal ou pesticida contaminante da água. A palma forrageira possui elevado potencial para biorremediação de águas contaminadas, chegando a remover, em média, 82,71% dos contaminantes da água. Em um estudado, os autores reportam que esta cactácea é abundante e pode ser utilizada para biorremediação de água contaminada em regiões semiáridas como o Norte da Etiópia. Não foram encontrados estudos com uso do vegetal para biorremediação de água contaminada no semiárido do Brasil.

Palavras-chave: *Opuntia fícus indica*, adsorção, floculação, revisão sistemática, meta-análise.

FORAGE PALM FOR CONTAMINATED WATER BIORREMEDICATION: POSSIBILITIES FOR SEMI-ARID

Abstract: The increase in consumption and contamination of water resources has driven the search for alternative products for water treatment. The objective was to highlight the potential of forage palm for bioremediation of contaminated water, as well as to verify if this form of treatment is used in the semiarid. Systematic review and meta-analysis were used, searching the *Scopus* database using the terms "Opuntia fícus" and "water treatment". The response variable was percent removal of turbidity or some contaminating metal or pesticide from the water. The forage palm has a high potential for bioremediation of contaminated water, reaching to remove, on average, 82.71% of water contaminants. In one study, the authors report that this cactus is abundant and can be used for bioremediation of contaminated water in semi-arid regions such as northern Ethiopia. No studies were found with the use of the plant for bioremediation of contaminated water in the Brazilian semi-arid region.

Keywords: *Opuntia fícus indica*, adsorption, flocculation, systematic review, meta-analysis.

Introdução

O crescente desenvolvimento das nações tem impulsionado a expansão das atividades agroindustriais, refletindo em maior captação e consumo de recursos hídricos, tendo como consequência o aporte do volume de águas residuárias. Estas águas possuem expressivas quantidades de substâncias tóxicas e podem contaminar rios, lagos e águas costeiras, de modo a comprometer os ecossistemas (Shak & Wu, 2017).

O aumento no volume de águas residuárias no planeta implica em problema ambiental de difícil solução, sobretudo em virtude das características destas águas como sua coloração, elevada turbidez, demanda bioquímica e química de oxigênio, potencial hidrogeniônico e temperatura, evidenciando elevada complexidade para o tratamento adequado e posterior devolução ao ambiente (Freitas et al., 2017; Ncibi et al., 2017).

Atualmente, diversas fontes de adsorventes vêm sendo investigadas com a finalidade de serem utilizados para tratamento de água. No entanto, alguns dos adsorventes são de difícil desenvolvimento e elevado custo o que inviabiliza sua utilização em grande escala. Assim, o emprego de adsorventes à base de polissacarídeos é considerado uma alternativa sustentável e potencial no tratamento da água (Oladoja et al., 2017).

Os cactos da espécie *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. constituem-se em importante matéria-prima para obtenção de diversos produtos em diferentes segmentos, por exemplo, na fabricação de cosméticos e fármacos, além de seu emprego na nutrição humana e animal. Além disso, a comunidade científica vem investigando o potencial de polissacarídeos derivados desta espécie para tratamento de águas contaminadas (Jayalakshmi et al., 2017; Rachdi et al., 2017).

O custo de implantação e demanda de tempo com ensaios experimentais tem encorajado os cientistas a utilizarem a técnica de revisão sistemática e meta-análise para levantamento de evidências que sustentem suas hipóteses, sobretudo pelo fato desta técnica analisar estatisticamente resultados de estudos quantitativos (Shin, 2017). Neste sentido, a ausência de estudos meta-analíticos sobre o emprego de palma forrageira para remoção de contaminantes da água evidencia a necessidade de reunir a literatura especializada que comprovem a evidência de que esta cactácea pode ser utilizada como alternativa para purificação de água.

Objetivou-se com este trabalho utilizar revisão sistemática em bases de dados e meta-análise para evidenciar o potencial da palma forrageira para biorremediação de águas contaminadas, bem como verificar se esta forma de tratamento de água é utilizada em regiões semiáridas, em especial no semiárido do Brasil.

Metodologia

Para a realização desta pesquisa, utilizou-se de revisão sistemática e meta-análise, conforme metodologia descrita por Lee & DiGiuseppe (2018), com adaptações. Para tanto, foi realizada busca sistemática na base de dados *Scopus* no período compreendido entre 1999 (ano do primeiro registro disponível) e 08 de julho de 2017. Foram utilizados os termos “*Opuntia ficus*” e “water treatment” combinados com o operador booleano AND.

A busca resultou em 23 documentos, os quais foram criteriosamente analisados e submetidos aos critérios de inclusão e exclusão para posterior tratamento meta-analítico de dados. Foram incluídos 11 estudos, com a utilização de palma forrageira para purificação de água, tendo como variável resposta a turbidez ou porcentagem de remoção de algum metal ou pesticida contaminante da água. Devido às diferentes naturezas destas variáveis, as repostas foram expressas em termos de porcentagem de biorremediação de contaminantes, obtida por meio da relação: % de remoção = [(concentração inicial do contaminante – concentração do contaminante após o tratamento) * 100] / concentração inicial do contaminante.

Nos estudos incluídos após critérios de inclusão e exclusão, foram obtidos dados referentes ao tamanho da amostra (N), média da variável resposta (M) e desvio padrão (DP) no grupo experimental tratado com *Opuntia ficus indica* (OFI) e o grupo controle sem tratamento com OFI. A estimativa da variabilidade entre os estudos (τ^2) foi feita pelo método descrito por DerSimonian e Laird (1986) e o cálculo da ponderação de cada estudo foi feito utilizando o método do inverso da variância. Devido a elevada heterogeneidade, foi utilizado o modelo de efeitos aleatórios (Santos & Cunha, 2013). A meta-análise foi conduzida no *software* R utilizando-se do pacote “metafor” (Viechtbauer, 2010; R Core Team, 2017).

Resultados e Discussão

Os resultados da meta-análise estão apresentados na Tabela 1. Verificou-se média geral das diferenças positiva, indicando que o grupo tratado com *Opuntia ficus indica* foi efetivo em 82,71% na remoção de contaminantes da água, podendo remover 75,22% no cenário de menor remoção e 90,21% no cenário de maior remoção. Ressalte-se todos os estudos considerados convergem para eficiência de OFI para biorremediação. De fato, o efeito geral, Z, foi significativo ($p < 0,001$) ratificando a diferença entre o tratamento com OFI e o grupo controle. No entanto, a estimativa da variabilidade entre os estudos foi elevada ($\tau^2 = 159,9$) com heterogeneidade significativamente ($p < 0,001$) elevada ($I^2 = 99,9\%$), justificando a escolha do modelo de efeitos aleatório nesta pesquisa (Santos & Cunha, 2013).

Tabela 1. Resumo da meta-análise para 11 estudos visando identificar se a palma forrageira pode ser utilizada para biorremediação de águas contaminadas.

Estudo	NO	MO	DPO	NC	MC	DPC	Peso	MD [95% - IC]
Onditi et al., 2016	3,00	87,00	1,00	3,00	13,00	1,00	9,10	74,00 [72,40; 75,60]
Nharingo et al., 2015	3,00	97,00	1,00	3,00	3,00	1,00	9,10	94,00 [92,40; 95,60]
Belbahloul et al., 2015	4,00	97,96	2,15	4,00	2,04	2,15	9,00	95,91 [92,93; 98,89]
Nawel et al., 2015	3,00	87,00	0,80	3,00	13,00	0,12	9,10	74,00 [73,08; 74,92]
Fedala et al., 2015	5,00	82,20	1,00	5,00	17,80	1,00	9,10	64,40 [63,16; 65,64]
Betatache & Aouabed, 2015	3,00	92,66	1,00	3,00	7,34	1,00	9,10	85,32 [83,72; 86,92]
Vishali & Karthikeyan, 2014	3,00	80,44	1,00	3,00	19,56	1,00	9,10	60,88 [59,28; 62,48]
Bouatay & Mhenni, 2014	3,00	91,66	1,00	3,00	8,34	1,00	9,10	83,32 [81,72; 84,94]
Asha et al., 2014	3,00	98,75	1,00	3,00	1,25	1,00	9,10	97,50 [95,90; 99,10]
Gebrekidan et al., 2013	2,00	92,67	1,53	2,00	7,33	1,53	9,00	85,33 [82,34; 88,33]
Buttice et al., 2010	3,00	97,71	1,37	3,00	2,29	1,37	9,10	95,42 [93,23; 97,61]
Total [95% - IC]	35,00			35,00			100,00	82,71 [75,22; 90,21]

Heterogeneidade: $\tau^2 = 159,9$; $X^2 = 2471,41$; GL = 10; ($p < 0,0001$); $I^2 = 99,9\%$
Efeito geral: $Z = 331,66$; ($p < 0,0001$)

NO: tamanho da amostra tratada com *Opuntia ficus indica* (OFI); MO: média da variável resposta após tratamento; DPO: desvio padrão das amostras tratadas; NC: tamanho da amostra não tratada com OFI; MC: média da variável resposta sem tratamento; DPC: desvio padrão das amostras não tratadas; MD: média das diferenças; IC: intervalo de confiança; τ^2 : estimativa da variabilidade entre os estudos. X^2 : teste qui-quadrado; GL: grau de liberdade; p : probabilidade de significância; I^2 : heterogeneidade; e Z: teste Z.

Observa-se na Figura 1 a representação gráfica da meta-análise, mostrando que todos os estudos possuem médias positivas (à direita do gráfico) e que os intervalos de confiança não cruzam a média (0), evidenciando unanimidade do tratamento com OFI para biorremediação de águas contaminadas.

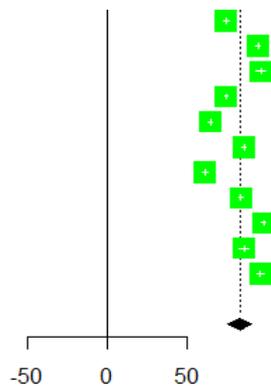


Figura 1. Representação gráfica, *forest plot*, dos efeitos individuais de cada estudo e do efeito combinado da utilização de *Opuntia ficus indica* para biorremediação de águas contaminadas.

Os mecanismos pelos quais *Opuntia ficus indica* promove a remoção de contaminantes da água ainda não foram completamente elucidados, de modo que muitas pesquisas são desenvolvidas com aplicação de componentes desta cactácea para remoção da turbidez, metais pesados e pesticidas. Sabe-se que este vegetal é utilizado na forma de mucilagem, pó de cladódios secos e até mesmo



porções ou suco de cladódios frescos, atuando na coagulação, floculação e sedimentação (Jayalakshmi et al., 2017; Rachdi et al., 2017).

A eficiência de OFI para coagulação está relacionada à desestabilização coloidal e formação de aglomerados de maior tamanho, os quais serão posteriormente separados da fração líquida. Quatro mecanismos são responsáveis pela desestabilização dos colóides, a saber: compressão de dupla camada, adsorção-desestabilização, varredura, e formação de pontes químicas (Nharingo et al., 2015). A medida do potencial zeta e da condutividade sugere que os mecanismos mais prováveis é a adsorção e a formação de ponte químicas, notadamente porque, apesar do aumento do OFI adicionado às soluções, o potencial zeta do filtrado ainda é negativo, o que exclui a tese de adsorção e de varredura (Betatache & Aouabed, 2015).

Conclusões

A palma forrageira (*Opuntia ficus indica*) possui elevado potencial para biorremediação de águas contaminadas, chegando a remover, em média, 82,71% dos contaminantes da água.

Em um dos 11 trabalhos estudados, os autores reportam que *Opuntia ficus indica* é abundante e pode ser utilizada para biorremediação de água contaminada em regiões semiáridas como o Norte da Etiópia. Não foram encontrados estudos com uso de *Opuntia ficus indica* para biorremediação de água contaminada no semiárido do Brasil.

Referências Bibliográficas

- ASHA, S.; TABITHA, C.; HIMABINDU, N.; KUMAR, R. B. Efficiency of *Opuntia ficus-indica* (L) Mill. in Removal of Chromium from Synthetic Solution. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences**, v. 5, n. 3, p. 1244-1251, 2014.
- BELBAHLOUL, M.; ZOUHRI, A.; ANOUAR, A. Biofloculants extraction from Cactaceae and their application intreatment of water and wastewater. **Journal of Water Process Engineering**, v. 7, p. 306-313, 2015.
- BETATACHE, H.; AOUABE, D. A. Sewage Sludge Conditioning using *Opuntia Ficus Indica* Juice. **Journal of Water Science**, v. 28, n. 1, p. 67-72, 2015.
- BOUATAY, F.; MHENNI, F. Use of the Cactus Cladodes Mucilage (*Opuntia Ficus Indica*) As an Eco-Friendly Flocculants: Process Development and Optimization using Stastical Analysis. **International Journal of Environmental Research**, v. 8, n. 4, p. 1295-1308, 2014.
- BUTTICE, A. L.; STROOT, J. M.; LIM, D. V.; STROOT, P. G.; ALCANTAR, N. A. Removal of Sediment and Bacteria from Water Using Green Chemistry. **Environmental Science & Technology**, v. 44, p. 3514-3519, 2010.
- DE SIMONIAN, R.; LAIRD, N. Meta-analysis in clinical trials. **Controlled Clinical Trials**, v. 7, p. 177-188, 1986.
- FEDALA, N.; LOUNICI, H.; DROUCHE, N.; MAMERI, N.; DROUCHE, M. Physical parameters affecting coagulation of turbid water with *Opuntia ficus-indica* cactos. **Ecological Engineering**, v. 77, p. 33-36, 2015.
- FREITAS, T. K. F. S.; ALMEIDA, C. A.; MANHOLER, D. D.; GERALDINO, H. C. L.; SOUZA, M. T. F. de; GARCIA, J. C. Review of utilization plant-based coagulants as alternatives to textile

- wastewater treatment. In: MUTHU, S. S. **Detox fashion waste water treatment**. Berlin: Springer, 2017. cap. 2, p. 27-79.
- GEBREKIDAN, A.; NICOLAI, H.; VINCKEN, L.; TEFERI, M.; ASMELASH, T.; DEJENIE, T.; ZERABRUK, S.; GEBREHIWET, K.; BAUER, H.; DECKERS, J.; LUIS, P.; DE MEESTER, L.; BRUGGEN, B. V. D. Pesticides Removal by Filtration over Cactus Pear Leaves: A Cheap and Natural Method for Small-Scale Water Purification in Semi-Arid Regions. **Soil Air Water**, v. 41, n. 3, p. 235-243, 2013.
- JAYALAKSHMI, G.; SARITHA, V.; DWARAPUREDDI, B. K. A Review on Native Plant Based Coagulants for Water Purification. **International Journal of Applied Environmental Sciences**, v. 12, n. 3, p. 469-487, 2017.
- LEE, A. H.; DIGIUSEPPE, R. Anger and aggression treatments: a review of meta-analyses. **Current Opinion in Psychology**, v. 19, p. 65-74, 2018.
- NAWEL, A.; FARID, D.; BELKACEM, M.; JEAN-PIERRE, L.; KHODIR, M. Improvement of electrocoagulation–electroflotation treatment of effluent by addition of *Opuntia ficus indica* pad juice. **Separation and Purification Technology**, v. 144, p. 168-176. 2015.
- NCIBI, M. C.; MAHJOUR, B.; MAHJOUR, O.; SILLANPÄÄ, M. Remediation of emerging pollutants in contaminated wastewater and aquatic environments: biomass-based technologies. **CLEAN – Soil, Air, Water**, v. 45, p. 1-19, 2017.
- NHARINGO, T.; ZIVURAWA, M. T.; GUYO, U. Exploring the use of cactus *Opuntia ficus indica* in the biocoagulation–flocculation of Pb(II) ions from wastewaters. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 12, p. 3791-3802, 2015.
- OLADOJA, N. A.; UNUABONAH, E. I.; AMUDA, O. S.; KOLAWOLE, O. M. Progress and prospects of polysaccharide composites as adsorbents for water and wastewater treatment. In: OLADOJA, N. A.; UNUABONAH, E. I.; AMUDA, O. S.; KOLAWOLE, O. M. **SpringerBriefs in Molecular Science**. Berlin: Springer, 2017. cap. 4, p. 65-90.
- ONDITI, M.; ADELODUN, A. A.; CHANGAMU, E. O.; NGILA, J. C. Removal of Pb²⁺ and Cd²⁺ from drinking water using polysaccharide extract isolated from cactus pads (*Opuntia ficus indica*). **Journal of Applied Polymer Science**, 2016.
- RACHDI, R.; SRARFI, F.; SHIMI, N. S. Cactus *Opuntia* as natural flocculant for urban wastewater treatment. **Water Science & Technology**, v. 76, n. 4, 2017.
- R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2017. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 24 Ago, 2017.
- SANTOS, E. J. F. dos; CUNHA, M. Interpretação crítica dos resultados estatísticos de uma meta-análise: estratégias metodológicas. **Millenium**, v. 44, p. 85-98, 2013.
- SHAK, K. P. Y.; WU, T. Y. Synthesis and characterization of a plant-based seed gum via etherification for effective treatment of high-strength agro-industrial wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v. 307, p. 928-938, 2017.
- SHIN, I. S. Recent Research Trends in Meta-analysis. **Asian Nursing Research**, v. 11, p. 79-83, 2017.
- VIECHTBAUER, W. Conducting meta-analyses in R with the metafor package. **Journal Statistical Software**, v. 36, n. 3, p. 1-48, 2010.
- VISHALI, S.; KARTHIKEYAN, R. Cactus opuntia (ficus-indica): an eco-friendly alternative coagulant in the treatment of paint effluent. **Desalination and Water Treatment**, p. 1-9, 2014.