

Plantas como Ferramentas para a Remediação Ambiental: uma Revisão da Literatura

Plants as Tools for Environmental Remediation: a Literature Review

Patrícia Tâmara Alves Rodrigues^{a*}; Ravelly Casarotti Orlandelli^b

^aUniversidade Estadual de Maringá. PR. Brasil.

^bUniversidade Estadual do Paraná (Campus Paranavaí). PR. Brasil.

*E-mail: patricia.engenhariaagri@gmail.com

Resumo

Diversos poluentes – tais como: os compostos orgânicos e inorgânicos e metais pesados, resultantes de atividades antrópica – contribuem com a degradação de ambientes terrestres e aquáticos. Nesse cenário, surge a fitorremediação: uma técnica de biorremediação, em que determinadas espécies de plantas são utilizadas como agentes de descontaminação, removendo, imobilizando ou tornando os contaminantes menos ofensivos ao ecossistema. Embora recente, essa técnica tem apresentado respostas positivas concernentes à descontaminação de água e solos. Assim, o presente artigo teve como objetivo relacionar diferentes espécies de plantas com potencial remediador frente a diversos tipos de contaminantes. Para tanto, foi realizada uma revisão da literatura científica nacional e internacional, a partir da busca de estudos disponíveis no Google Acadêmico, PubMed, Portal de Periódicos da CAPES, SciELO, além de livros de referência, dissertações e teses. As publicações analisadas atestaram que, embora seja uma tecnologia ainda em desenvolvimento, são notáveis diversas vantagens da fitorremediação, como o baixo custo de implantação e sua natureza não invasiva. Além disso, pode ser destacado o potencial fitorremediador recentemente descrito para diferentes espécies vegetais.

Palavras-chave: Fitorremediação. Descontaminação Ambiental. Metais Pesados. Herbicidas. Efluentes Industriais.

Abstract

Several pollutants – such as organic and inorganic compounds and heavy metals, resulting from anthropic activities – contribute to the terrestrial and aquatic environments degradation. In this scenario, phytoremediation emerges: a bioremediation technique in which certain plant species are used as decontamination agents, removing, immobilizing or making the contaminants less offensive to the ecosystem. Although recent, this technique has presented positive results concerning the water and soil decontamination. Thus, the present article aimed at relating different plant species with potential to remediate different types of contaminants. For this, a review of the national and international scientific literature was carried out, based on the search of studies available in Google Scholar, PubMed, CAPES Periodicals Portal, SciELO, as well as reference books, dissertations and theses. The analyzed publications show that, although it is a technology still in development, several advantages of phytoremediation are remarkable, such as the low cost of implantation and its noninvasive nature. Moreover, the phytoremediation potential recently described for different plant species can be highlighted.

Keywords: *Phytoremediation. Environmental Decontamination. Heavy Metals. Herbicides. Industrial Effluents.*

1 Introdução

Em contraste com os avanços tecnológicos e econômicos, que aumentam exponencialmente, surge a problemática em relação aos recursos naturais, utilizados indiscriminadamente, há séculos, em prol do êxito das atividades econômicas. O desenvolvimento populacional e industrial ocorre próximo a ambientes aquáticos e regiões costeiras e tal fator, evidentemente, ocasiona problemas de contaminação ambiental.

A fim de minimizar os efeitos decorrentes do impacto ambiental surge a fitorremediação: uma tecnologia que consiste no uso de vegetais para a recuperação ambiental, reduzindo ou, até mesmo, eliminando a toxicidade dos contaminantes.

A fitorremediação pode ser implantada em ambientes aquáticos, a fim de mitigar os efeitos danosos a partir do

uso de macrófitas aquáticas, que contêm, tornam inertes ou retiram os poluentes dispersos no ambiente (PIO; SOUZA; SANTANA, 2013). Apresenta-se também como um método de descontaminação de solos, consideravelmente vantajoso, no sentido econômico e ecológico (CHAVES *et al.*, 2010). Além do baixo custo, outras vantagens incluem: a capacidade de aplicação *in situ* em áreas de grande extensão e em diferentes tipos de poluentes, a facilidade no controle dos vegetais utilizados para remediação, a preservação da qualidade do solo e o fomento à vida dos organismos (VASCONCELLOS; PAGLIUSO; SOTOMAIOR, 2012).

Neste artigo se objetivou apresentar diferentes espécies de plantas que podem ser utilizadas para a remediação de solos e ambientes aquáticos contaminados por diferentes tipos de poluentes.

2 Desenvolvimento

2.1 Metodologia

O presente artigo consiste em um estudo exploratório, de revisão da literatura nacional e internacional, realizado por meio de busca em periódicos disponíveis no Google Acadêmico, PubMed, Portal da Capes, SciELO, além de livros de referência, dissertações e teses. Foram utilizadas as palavras-chave: fitorremediação, descontaminação ambiental, metais pesados, herbicidas, efluentes industriais,

fitoextração, fitoacumulação, fitoabsorção, fitovolatilização, fitoestabilização, fitofiltração, fitodegradação, rizodegradação e bioabsorção.

2.2 Fitorremediação de ambientes aquáticos contaminados por metais pesados

O processo de fitorremediação se baseia em processos fisiológicos das plantas, podendo ocorrer por diferentes mecanismos (Quadro 1), que podem ser empregados, simultaneamente, por esses organismos (FAVAS *et al.*, 2014).

Quadro 1 - Diferentes mecanismos que podem ser empregados no processo de fitorremediação

Mecanismos	Descrição	Exemplos de Plantas
Fitoextração, fitoacumulação ou fitoabsorção	Absorção dos contaminantes (metais pesados, hidrocarbonetos derivados de petróleo, pesticidas e herbicidas orgânicos) pelas raízes, seguida pelo transporte até as partes aéreas, nas quais são acumulados (FAVAS <i>et al.</i> , 2014).	samambaia chinesa (<i>Pteris vittata</i>) (MANDAL <i>et al.</i> , 2017) e milho (<i>Zea mays</i>) (BASHMAKOV <i>et al.</i> , 2017).
Fitovolatilização	Absorção e conversão dos contaminantes (metais pesados ou poluentes orgânicos) em uma forma volátil, a qual é liberada na atmosfera (WATANABE, 1997).	caniço (<i>Phragmites australis</i>) (SAN MIGUEL <i>et al.</i> , 2013) e abóbora cabotiã (híbrido (<i>Cucurbita maxima</i> x <i>C. moschata</i>)) (LI <i>et al.</i> , 2017).
Fitoestabilização	A planta reduz a mobilidade e a migração dos contaminantes presentes no solo, por meio da imobilização, lignificação ou humificação dos poluentes nos tecidos vegetais (TAVARES, 2013).	mamona (<i>Ricinus communis</i>) (SILVA, 2016) e aleluia (<i>Senna multijuga</i>) (DE MARCO <i>et al.</i> , 2017).
Fitofiltração	Absorção, concentração ou precipitação dos contaminantes (principalmente, metais pesados ou elementos radioativos) presentes em um meio aquoso (águas superficiais contaminadas ou águas residuais) (PRASAD; FREITAS, 2003).	mostarda-da-índia (<i>Brassica juncea</i>) (MORENO <i>et al.</i> , 2008) musgo aquático (<i>Warnstorfia fluitans</i>) (SANDHI; LANDBERG; GREGER, 2017).
Fitodegradação ou fitotransformação	Quebra de contaminantes absorvidos por plantas por meio de processos metabólicos na planta ou a quebra de contaminantes externamente à planta a partir do efeito de compostos produzidos pelas plantas (TANGAHU <i>et al.</i> , 2011).	caniço (<i>P. australis</i>) (HE <i>et al.</i> , 2017), taboa (<i>Typha angustifolia</i>) (CHANDANSHIVE <i>et al.</i> , 2015).
Fitoestimulação ou rizodegradação	O crescimento das raízes da planta estimula a proliferação de micro-organismos capazes de degradar contaminantes orgânicos na região da rizosfera (FAVAS <i>et al.</i> , 2014).	alfafa (<i>Medicago sativa</i>) (GARTLER <i>et al.</i> , 2014) e milho (<i>Z. mays</i>) (SÁNCHEZ <i>et al.</i> , 2017).
Bioabsorção ou bioadsorção	A biomassa de bactérias, fungos, plantas ou até mesmo cascas de frutos é utilizada para remoção de metais pesados de soluções contaminadas (MÓDENES <i>et al.</i> , 2013).	carneábia (<i>Copernicia prunifera</i>) e cajueiro (<i>Anacardium occidentale</i>) (PEREIRA, 2017).

Fonte: Os autores.

Tendo em vista a importância da água como insumo indispensável aos seres vivos, além do seu uso fundamental nas atividades de produção e desenvolvimento social e econômico, a contaminação por metais pesados é uma problemática que tem sido muito discutida, observados os

prejuízos causados no tocante à saúde e desenvolvimento dos seres vivos, afetando o equilíbrio do ecossistema em toda sua abrangência. Nesse sentido, a fitorremediação tem sido utilizada em estudos recentes de recuperação de ambientes aquáticos contaminados por metais pesados (Quadro 2).

Quadro 2 - Plantas recentemente descritas na literatura científica quanto ao seu potencial fitorremediador.

Continua...

Mecanismos	Plantas	Contaminantes	Referências
Bioabsorção	<i>Azolla filiculoides</i> (azola)	Amoxicilina em águas residuais de indústria farmacêutica	Balarak <i>et al.</i> (2017)
	<i>Haloxylon recurvum</i> (halófito)	Azul de metileno	Hassan <i>et al.</i> (2017)
	<i>Paspalum repens</i> (perimembeca)	Cu (cobre) e Zn (zinco)	Kimura <i>et al.</i> (2017)
	<i>Araucaria heterophylla</i> (araucária-de-norfolk)	Cd (cádmio)	Sarada <i>et al.</i> (2017)
	<i>Hydrilla verticillata</i> (macrófito submersa)	U (urânio)	Yi <i>et al.</i> (2017)
	<i>Solidago canadenses</i> (tango)	Cd	Zhang <i>et al.</i> (2017)
Fitoacumulação	<i>Salvinia biloba</i> (salvinia)	Cu	Freitas <i>et al.</i> (2017)

Mecanismos	Plantas	Contaminantes	Referências
	<i>Eichhornia crassipes</i> (aguapé) e <i>Alternanthera philoxeroides</i> (perna-de-saracura)	Cd, Cr (cromo), Cu, Ni (níquel), Pb (chumbo) e Zn (zinco)	Ramachandra <i>et al.</i> (2017)
	<i>E. crassipes</i>	Cr em águas residuais de indústrias de mineração	Saha, Shinde e Sarkar (2017)
Fitoacumulação rizofiltração	<i>Pistia stratiotes</i> (alface d'água)	Cd, Co (cobalto), Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn	Galal <i>et al.</i> (2017b)
Fitodegradação rizodegradação	<i>Panicum maximum</i> (capim-mombaça), <i>Urochloa brizantha</i> (capim-marandu) e <i>Zea mays</i> (milho)	Picloram	Souza <i>et al.</i> (2017)
Fitoestabilização	<i>Vossia cuspidata</i> (macrófita emergente)	Al (alumínio), Cd, Cr, Cu, Pb e Zn	Galal <i>et al.</i> (2017a)
	<i>Cinnamomum camphora</i> (canfofeireira), <i>Euonymus japonicas</i> cv. Aureo-mar (evônimo-do-Japão), <i>Loropetalum chinense</i> var. <i>rubrum</i> (amamélis), <i>Osmanthus fragrans</i> (jasmim-do-imperador)	Cd	Zeng <i>et al.</i> (2017)
Fitoextração	<i>Azolla pinnata</i> (feto aquático)	Violeta de metila 2B	Kooh <i>et al.</i> (2017)
	<i>Nicotiana tabacum</i> (tabaco)	Cd	Yang <i>et al.</i> (2017)
Fitofiltração	<i>Micranthemum umbrosum</i> (planta tapete para aquática)	As (arsênio)	Islam, Sikder e Kurasaki (2017)
	<i>P. stratiotes</i>	Nutrientes de águas residuais domésticas	Olguín <i>et al.</i> (2017)
Hiperacumulação	<i>Erato polymnioides</i> (asterácea)	Hg (mercúrio)	Chamba <i>et al.</i> (2017)
	<i>E. crassipes</i> , <i>Hydrilla verticillata</i> (macrófitas submersa), <i>Lagenandra toxicaria</i> (arácea indiana), <i>P. stratiotes</i> e <i>Salvinia molesta</i> (salvinia)	Cd, Cu e Pb	Gaya, Babu e Mathew (2017)
Rizodegradação	<i>Z. mays</i>	Pesticidas organoclorados	Blondel <i>et al.</i> (2017)

Fonte: Os autores.

Diferentes plantas desenvolveram mecanismos de tolerância associados à capacidade de degradar, de extrair, de conter ou imobilizar íons metálicos, podendo ser utilizadas para a fitorremediação de metais pesados (AMADO; CHAVES FILHO, 2015). Várias características, como fácil cultivo, elevada taxa de crescimento, produção de biomassa e tolerância a substâncias tóxicas, tornam as macrófitas aquáticas eficientes para a fitorremediação, tanto como fitoextratoras de metais pesados, quando cultivadas *in vivo* no local da contaminação (PIO; SOUZA; SANTANA, 2013), como também bio-sorventes, quando a biomassa morta é empregada para a adsorção dos contaminantes (MÓDENES *et al.*, 2013).

No caso da macrófita aquática *Eichhornia crassipes* (aguapé), essa tolerância está associada às modificações fisiológicas e anatômicas que são essenciais para a sua adaptação às condições ambientais adversas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Nesse contexto, Pereira *et al.* (2014) avaliaram modificações anatômicas e fisiológicas que possam estar associadas à tolerância ao chumbo (Pb) por *E. crassipes*. Plantas coletadas em açudes naturais de Alfenas/MG foram cultivadas por 20 dias em soluções nutritivas com Pb (0,5 a 4,0 mg/L). Na concentração de 1,0 mg/L ocorreu um aumento de 11,29% na taxa fotossintética; já nas concentrações mais altas, os valores oscilaram sem diferenças significativas em relação

ao controle. As modificações na anatomia foliar (aumento de 19% na espessura do mesófilo a partir da concentração de 1,0 mg/L; 32% de redução na distância entre feixes vasculares a partir da concentração de 0,5 mg/L; aumento de 15% na densidade estomática, a partir de 0,5 mg/L; aumento de ~18% na funcionalidade estomática a partir de 1,0 mg/L) melhoraram a captação e armazenamento de dióxido de carbono (CO₂), não demonstrando sinais de toxidez. O sistema antioxidante foi estimulado e as enzimas exibiram atividades mais altas (aumento nas atividades da catalase e da dismutase do íon superóxido, a partir das concentrações de 2,0 mg/L) nas folhas em relação às raízes, demonstrando maior necessidade dessas enzimas para a proteção do sistema fotossintético.

A absorção, acúmulo e tolerância ao Pb por *Echinodorus grandiflorus* (chapéu-de-couro) foram analisados por Ribeiro *et al.* (2015), que coletaram as amostras vegetais em uma região alagada e livre de fontes aparentes de contaminação em Lavras/MG. As concentrações do metal testadas variaram entre 0,75 e 9,0 µm de Pb(NO₃)₂ (nitrato de chumbo). A concentração máxima de Pb acumulada em *E. grandiflorus* foi de 113,74 mg/kg de massa seca, sendo que a absorção aumentou linearmente com o aumento da concentração de Pb. Além disso, o maior acúmulo do metal nas raízes pode ser um dos mecanismos de tolerância, permitindo que essa planta sobreviva em concentrações de Pb consideradas tóxicas para

a maioria das espécies (entre 30 e 300 mg/kg). Além disso, as raízes vegetais não demonstraram necrose em seus tecidos nem perda funcional para absorção de água e nutrientes.

Recentemente, Rodrigues *et al.* (2017) avaliaram o potencial de biossorção de metais pesados pela biomassa seca de *P. stratiotes* coletadas em Pirai/RJ. Para isso, amostras de alface de água permaneceram em contato com soluções de Zinco (Zn; 0, 1,8, 18 e 180 mg/L) e Cádmio (Cd; 0, 0,1, 1 e 10 mg/L) por 1 a 72 h. A presença de Zn nas raízes foi detectada em todas as doses e tempos avaliados, o que indica o potencial dessa planta para a absorção e armazenamento desse metal em seus tecidos. Em relação ao Cd, a redução nos níveis de contaminação da solução inicial foi proporcionada pela absorção e acúmulo de Cd nos tecidos da planta, que removeu acima de 30% desse metal em todas as doses testadas.

2.3 Fitorremediação solos contaminados com herbicidas

A utilização de herbicidas para o controle de plantas daninhas é frequente, principalmente, no tocante à implantação das lavouras, uma vez que se trata de um procedimento eficiente, de baixo custo e fácil aplicação. Além disso, demanda pouca mão de obra, atualmente escassa, de baixa qualidade e onerosa no meio rural. Todavia, esses produtos podem causar impactos negativos, como toxicidade em culturas sensíveis plantadas após a sua utilização. O efeito residual pode perdurar por mais de três anos, alterando a qualidade do solo, desencadeando uma série de malefícios potenciais (CARVALHO, 2014). Além disso, quando utilizados de maneira indiscriminada, podem resultar em intoxicações dos agricultores e consumidores, tornando-se um problema de saúde pública.

Assim, buscando mitigar os efeitos nocivos no uso dos herbicidas, surgem as pesquisas com a fitorremediação, que nesse caso, pode ocorrer por dois mecanismos: (i) fitoestimulação, em nível rizosférico, em que os micro-organismos degradantes associados às raízes de plantas tolerantes têm sua ação estimulada pela exsudação radicular dessas espécies; ou (ii) fitodegradação ou fitotransformação (Tabela 2), a qual ocorre pela absorção seguida de subsequente volatilização, ou degradação parcial ou completa, em que o contaminante é transformado em compostos menos tóxicos, combinados e/ou ligados nos tecidos das plantas (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000; CUNNINGHAM *et al.*, 1996; SCHNOOR; DEE, 1997). Segundo Santos *et al.* (2006), a densidade populacional de plantas remediadoras também pode proporcionar maior volume de raízes e de solo explorado, acarretando um incremento da absorção/degradação do contaminante e/ou degradação rizosférica.

Recentemente, Ferrazo *et al.* (2017) analisaram o efeito da densidade populacional de *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco) na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone, combinando quatro densidades populacionais do vegetal e três doses do herbicida (0, 200 e 400 g/ha). Plantas de *C. ensiformis* foram semeadas oito dias após a aplicação

do sulfentrazone e, aos 75 DAE, cortadas na altura do coleto e semeadas em solo contaminado com sulfentrazone, sendo o milho (*Pennisetum glaucum*) utilizado como parâmetro comparativo devido sua elevada suscetibilidade ao herbicida. O cultivo prévio de *C. ensiformis* reduziu a toxicidade do herbicida sobre de *P. glaucum*; já quando não se efetuou a fitorremediação, as plantas de *P. glaucum* não sobreviveram. Esses resultados corroboram com outros estudos recentes que descrevem o potencial de um *C. ensiformis* para a remediação de sulfentrazone (BELO *et al.*, 2016; MADALÃO *et al.*, 2017), como também para outros herbicidas como o trifloxysulfuron-sodium (SANTOS *et al.*, 2006), imazetapir e imazapique (OLIVEIRA; BRANCO; LINO, 2017).

2.4 Fitorremediação de águas residuais e efluentes industriais

É crescente a busca por técnicas, incluindo a fitorremediação (Tabela 2), capazes de minimizar os danos causados pelo descarte incorreto dos efluentes industriais (de indústrias têxteis, farmacêuticas, entre outras), o qual acarreta em graves consequências ao meio ambiente e à saúde pública.

Nesse contexto, Ismail *et al.* (2015) compararam o desempenho das macrófitas *E. crassipes* e *Pistia stratiotes* (alface-da-água), na remoção de nutrientes em águas residuais. Para tanto, as plantas foram cultivadas em tanques de fibra de vidro de 470 L contendo os efluentes da *Indah Water Konsortium*, empresa nacional de tratamento de esgoto da Malásia. Os tanques foram aclimatados durante uma semana antes das leituras de temperatura e pH da água, e concentrações de nitrogênio (N-NH₄, N-NO₃, N-NO₂) e fosfato (P-PO₄) por espectrofotometria em intervalos de cinco dias, durante quatro semanas. Ao final desse período, houve reduções nas concentrações de nitrogênio, sobretudo N-NH₄ (72% para *E. crassipes*) e (83% para *P. stratiotes*); já a concentração de P-PO₄ reduziu em 55% (*E. crassipes*) e 60% (*P. stratiotes*). Os autores consideraram que as macrófitas foram adequadas para o tratamento de águas residuais, pois melhoraram efetivamente a qualidade do efluente. Futuramente, o efeito sinérgico dessas plantas poderá ser testado.

Vários segmentos industriais liberam águas residuais ricas em cloreto de sódio (NaCl), o que, segundo Guzmán-Muñoz, Tavizón e Rodriguez (2016), pode acarretar em problemas na infraestrutura dos sistemas de tratamento. Portanto, tecnologias alternativas de baixo custo, como fitorremediação se tornam importantes para a remoção de NaCl presente nesses efluentes industriais. Assim, esses autores utilizaram a planta *Sporobolus airoides* (uma gramínea nativa da América do Norte) para verificar sua germinação e potencial para fitorremediação de águas residuais com alta concentração de NaCl. Para tanto, a germinação de plantas de *S. airoides*, em suportes contendo até 1,028 M de NaCl, foi avaliada por 15 dias. Os autores destacaram que concentrações de 0,80 M de NaCl alteraram as condições fisiológicas da planta de forma que o Na⁺ diminuiu nas raízes e aumentou nas folhas de modo

a formar cristais. Além disso, uma vez que a planta sobreviveu em ambientes salinos de 1,028 M de NaCl durante 15 dias, mostrou-se uma espécie com potencial para a remediação de efluentes contaminados com altas concentrações desse composto.

No recente trabalho de Chandanshive *et al.* (2017), *Typha angustifolia* (taboa) e *Paspalum crobiculatum* (macrófita aquática encontrada na Índia) foram avaliadas para a remoção de corantes dos efluentes de uma indústria têxtil. As amostras foram coletadas em intervalos de 24 h durante 4 dias e analisadas quanto ao seu uso individual ou conjunto (consórcio-TP). O consórcio-TP possibilitou uma redução notória dos níveis de contaminação do efluente, reduzindo os índices de importantes indicadores da qualidade da água como a DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio), ambos em 75%; 65% de redução do TDS (total de sólidos dissolvidos) e dos índices de turbidez (76%) em 48h. Em 60 h, o consórcio-TP promoveu a descoloração dos corantes Rubi GFL (85%), Escarlate RR (79%) e Verde HE4B (82%), em níveis maiores do que quando as plantas foram utilizadas individualmente. Já para o corante vermelho Congo, o consórcio-TP apresentou uma descoloração de 94% em 48 h. Dessa forma, o consórcio dessas macrófitas representa uma estratégia promissora para programas de tratamento de águas residuais.

3 Conclusão

Poluentes como detritos e resíduos sólidos, produtos químicos, matéria orgânica e o aquecimento das águas são os principais responsáveis pela contaminação de ambientes aquáticos. Vale destacar diversas espécies de macrófitas aquáticas se destacaram, entre as publicações científicas analisadas, quanto ao seu potencial fitorremediador, quando sujeitas a diferentes ambientes de contaminação, como metais pesados, efluentes industriais e águas residuais. O aumento dos herbicidas e outros insumos químicos utilizados na agricultura também representa uma preocupação crescente da sociedade em geral, em razão da contaminação ambiental e possíveis problemas para o meio ambiente e seres vivos, o que torna importante a descoberta de novas ferramentas para a fitorremediação do solo. Essa revisão mostra que, por meio da fisiologia de cada espécie submetida a diferentes contaminantes, a fitorremediação possui elevado potencial de utilização.

Referências

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.299-352.

AMADO, S.; CHAVES FILHO, J.T. Fitorremediação: uma alternativa sustentável para remedição de solos contaminados por metais pesados. *Natureza On Line*, v.13, n.4, p.158-164, 2015.

BALARAK, D. *et al.* Adsorption of amoxicillin antibiotic from

pharmaceutical wastewater by activated carbon prepared from *Azolla filiculoides*. *J. Pharm. Res. Int.*, v.18, n.3, p.1-13, 2017. doi: 10.9734/JPRI/2017/35607.

BASHMAKOV, D.I. *et al.* Lead accumulation and distribution in maize seedlings: relevance to biomass production and metal phytoextraction. *Int. J. Phytoremediation*, 2017. doi: 10.1080/15226514.2017.1319334

BELO, A.F. *et al.* Sulfentrazone phytoremediation under field conditions. *Rev. Caatinga*, v. 29, n.1, p.119-126, 2016. doi: 10.1590/1983-21252016v29n114rc.

BLONDEL, C. *et al.* Assessing the dynamic changes of rhizosphere functionality of *Zea mays* plants grown in organochlorine contaminated soils. *J. Hazard. Mater.*, v.331, n.5, p.226-234, 2017. doi: 10.1016/j.jhazmat.2017.02.056.

CARVALHO, F. P. *Implicações do uso de herbicidas em plantas de café micorrizadas*. 2014. 62 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. *Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos*. Lavras: UFLA, 2009.

CHAMBA, I. *et al.* *Erato polymnioides* - a novel Hg hyperaccumulator plant in ecuadorian rainforest acid soils with potential of microbe-associated phytoremediation. *Chemosphere*, v. 188, n. 633-641, p. 2017. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.08.160.

CHANDANSHIVE, V. V. *et al.* Co-plantation of aquatic macrophytes *Typha angustifolia* and *Paspalum scrobiculatum* for effective treatment of textile industry effluent, in India. *J. Hazard. Mater.*, v. 338, p. 1-34, 2017. doi: 10.1016/j.jhazmat.2017.05.021.

CHAVES, L.H.G. *et al.* Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-mansão. *Rev. Ciênc. Agron.*, v.41, n.2, p.167-176, 2010.

CUNNINGHAM, S. D. *et al.* Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. *Adv. Agron.*, v.56, p.55-114, 1996. doi: 10.1002/9780470944479.ch20.

DE MARCO, R. *et al.* *Senna multijuga* and peat in phytostabilization of copper in contaminated soil. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambiental*, v. 21, n. 6, p. 421-426, 2017. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v21n6p421-426.

FAVAS, P. J. C. *et al.* Phytoremediation of soils contaminated with metals and metalloids at mining areas: potential of native flora. In: SOARIANO, M.C.H. (Ed.). *Environmental risk assessment of soil contamination*. Rijeka: InTech, 2014. p.485-451.

FERRAÇO, M. *et al.* Efeito da densidade populacional de *Canavalia ensiformis* na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone. *Rev. Ciênc. Agron.*, v. 48, n. 1, p. 32-40, 2017.

FREITAS, F. *et al.* Accumulation of copper by the aquatic macrophyte *Salvinia biloba* Raddi (Salviniaceae). *Braz. J. Biol.*, 2017. doi: 10.1590/1519-6984.166377.

GALAL, T. M. *et al.* Phytostabilization of heavy metals by the emergent macrophyte *Vossia cuspidata* (Roxb.) Griff.: a phytoremediation approach. *Int. J. Phytoremediation*, v. 19, n. 11, 2017a. doi: 10.1080/15226514.2017.1303816.

GALAL, T. M. *et al.* Bioaccumulation and rhizofiltration potential of *Pistia stratiotes* L. for mitigating water pollution in the Egyptian wetlands. *Int. J. Phytoremediation*, 2017b. doi:10.1080/15226514.2017.1365343.

GARTLER, J. *et al.* Effects of rapeseed oil on the rhizodegradation of polyaromatic hydrocarbons in contaminated soil. *Int. J. Phytoremediation*, v. 16, n. 7-12, p. 671-83, 2014. doi: 10.1080/15226514.2013.856841.

- GAYA, K. S.; BABU, M. G. R.; MATHEW, L. A comparative study of metal hyper accumulation capacity of selected macrophytes. *Biotechnol. Res.*, v. 3, n. 4, p. 99-103, 2017.
- GUZMÁN-MUÑOZ, K. I.; TAVIZÓN, E. F.; RODRIGUEZ, G. C. Germinación y evaluación de *Sporobolus airoides* para la fitorremediación de aguas residuales con altas concentraciones de NaCl, in México. *Tecnociencia*, v. 10, n. 2, p. 90-100, 2016.
- HASSAN, W. *et al.* Potential biosorbent, *Haloxylon recurvum* plant stems, for the removal of methylene blue dye. *Arab. J. Chem.*, v. 10, sup. 2, p. 1512-1522, 2017. doi: 10.1016/j.arabjc.2013.05.002.
- HE, Y. *et al.* Metabolism of ibuprofen by *Phragmites australis*: uptake and phytodegradation. *Environ. Sci. Technol.*, v. 51, n. 8, p. 4576-4584, 2017. doi: 10.1021/acs.est.7b00458.
- ISLAM, M. S.; SIKDER, M. T.; KURASAKI, M. Potential of *Micranthemum umbrosum* for phytofiltration of organic arsenic species from oxic water environment. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, v. 14, n. 2, p. 285-290, 2017.
- ISMAIL, Z. *et al.* Comparative performance of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes*) in preventing nutrients build-up in municipal wastewater. *Clean Soil, Air, Water*, v. 43, n. 4, p. 521-531, 2015.
- KIMURA, S. P. R. *et al.* Dry biomass of the amazonian macrophyte *Paspalum repens* for evaluation as adsorbent material of heavy metals Zn and Cu. *Mat. Res.*, 2017. doi: 10.1590/1980-5373-mr-2017-0109.
- KOOH, M. R. R. *et al.* Phytoextraction potential of water fern (*Azolla pinnata*) in the removal of a hazardous dye, methyl violet 2B: artificial neural network modelling. *Int. J. Phytoremediation*, 2017. doi: 10.1080/15226514.2017.1365337.
- LI, Y. *et al.* Dechlorination and chlorine rearrangement of 1,2,5,5,6,9,10-heptachlorodecane mediated by the whole pumpkin seedlings. *Environ. Pollut.*, v. 224, p. 524-531, 2017. doi: 10.1016/j.envpol.2017.02.035.
- MADALÃO, J. C. *et al.* Action of *Canavalia ensiformis* in remediation of contaminated soil with sulfentrazone. *Bragantia*, v. 76, n. 2, p. 292-299, 2017. doi:10.1590/1678-4499.526.
- MANDAL, A. *et al.* Arsenic phytoextraction by *Pteris vittata* improves microbial properties in contaminated soil under various phosphate fertilizations. *Appl. Geochem.*, 2017. doi: 10.1016/j.apgeochem.2017.04.008.
- MÓDENES, A. N. *et al.* Remoção dos metais pesados Cd(II), Cu(II) e Zn(II) pelo processo de biossorção utilizando a macrófita *Eichhornia crassipes*. *Rev. Esc. Minas*, v. 66, p. 355-362, 2013. doi: 10.1590/S0370-44672013000300013.
- MORENO, F. N. *et al.* Phytofiltration of mercury-contaminated water: volatilisation and plant-accumulation aspects. *Environ. Exp. Bot.*, v. 62, n. 1, p. 78-85, 2008. doi: 10.1016/j.envexpbot.2007.07.007.
- OLIVEIRA, L. H. S.; BRANCO, E. P.; LINO, J. S. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas imazetapir e imazapique. *Rev. Bras. Iniciação Científica*, v. 4, n. 4, p. 78-111, 2017.
- OLGUÍN, E. J. *et al.* Year-round phytofiltration lagoon assessment using *Pistia stratiotes* within a pilot-plant scale biorefinery. *Sci. Total Environ.*, v.15, p.326-333, 2017. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.067.
- PEREIRA, F. J. *et al.* Lead tolerance of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Mart. - Pontederiaceae) as defined by anatomical and physiological trait. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, v. 86, n. 3, p. 1423-1433, 2014. doi: 10.1590/0001-3765201420140079.
- PEREIRA, J. E. S. *Biossorção de cobre em solução aquosa utilizando os pós das folhas do cajueiro (Anacardium occidentale L.) e da carnaúba (Copernicia prunifera)*. 2017. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- PIO, M. C. S.; SOUZA, K. S.; SANTANA, G. P. Capacidade da *Lemna aequinoctialis* para acumular metais pesados de água contaminada. *Acta Amaz.*, v.43, n.2, p.203-210, 2013. doi: 10.1590/S0044-59672013000200011.
- PRASAD, M. N. V.; FREITAS, H. M. O. Metal hyperaccumulation in plants: biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electron. J. Biotechnol.*, v.6, p.285-321, 2003. doi: 10.2225/vol6-issue3-fulltext-6.
- RAMACHANDRA, T. V. *et al.* Spatial patterns of heavy metal accumulation in sediments and macrophytes of Bellandur wetland, Bangalore. *J. Environ. Manag.*, 2017. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.10.014
- RIBEIRO, E. S. *et al.* Relações da anatomia radicular na absorção, no acúmulo e na tolerância ao chumbo em *Echinodorus grandiflorus*. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.*, v.19, n.6, p.605-612, 2015. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n6p605-612.
- RODRIGUES, A. C. D. *et al.* Biosorption of toxic metals by water lettuce (*Pistia stratiotes*) biomass. *Water, Air and Soil Pollut.*, v.228, 2017. doi: 10.1007/s11270-017-3340-6.
- SAHA, P.; SHINDE, O.; SARKAR, S. Phytoremediation of industrial mines wastewater using water hyacinth. *Int. J. Phytoremediation*, v.19, n.1, p.87-96, 2017. doi: 10.1080/15226514.2016.1216078.
- SAN MIGUEL, A.; RAVANEL, P.; RAVETON, M. A comparative study on the uptake and translocation of organochlorines by *Phragmites australis*. *J. Hazard. Mater.*, v. 244-245, p. 60-69, 2013. doi: 10.1016/j.jhazmat.2012.11.025
- SÁNCHEZ, V. *et al.* Assessing the phytoremediation potential of crop and grass plants for atrazine-spiked soils. *Chemosphere*, v.185, p.119-126, 2017. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.07.013.
- SANTOS, J. B. *et al.* Fitorremediação de solo contaminado com trifloxysulfuron-sodium por diferentes densidades populacionais de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L). DC.). *Ciênc. Agrotec.*, v.30, n.3, p.444-449, 2006. doi: 10.1590/S1413-70542006000300009.
- SARADA, B. *et al.* Biosorption of Cd²⁺ by green plant biomass, *Araucaria heterophylla*: characterization, kinetic, isotherm and thermodynamic studies. *Water Sci. Technol.*, v.7, n.7, p.3483-3496, 2017. doi: 10.1007/s13201-017-0618-1.
- SCHNOOR, J. L.; DEE, P. E. *Technology evaluation report: phytoremediation*. Pittsburgh: Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center, 1997.
- SANDHI, A., LANDBERG, T., GREGER, M. Phytofiltration of arsenic by aquatic moss (*Warnstorfia fluitans*). *Environ. Pollut.*, 2017. doi: 10.1016/j.envpol.2017.11.038.
- SILVA, W. R. *Fitoextração e bioacessibilidade de As, Cd, Pb e Zn em solos contaminados por resíduos metalúrgicos*. 2016. 58 f. Tese (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.
- SOUZA, W. M. *et al.* Rhizospheric activity of phytoremediation species in soil contaminated with picloram. *Pesqui. Agropecu. Trop.*, v. 47, n. 2, p.127-133, 2017. doi: 10.1590/1983-40632016v4743289.
- TAVARES, S. R. L. Técnicas de remediação. In: TAVARES, S. R. L. (Org.). *Remediação de solos e águas contaminadas: conceitos básicos e fundamentos*. São Paulo: Clube de Autores, 2013. p.59-90.

- TANGAHU, B. V. et al. A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *Int. J. Chem. Eng.*, v.31, 2011. doi:10.1155/2011/939161.
- VASCONCELLOS, M. C.; PAGLIUSO, D.; SOTOMAIOR, V. S. Fitorremediação: uma proposta de descontaminação do solo. *Estud. Biol.: Ambiente Divers.*, v.83, n.34, p.261-267, 2012. doi: 10.7213/estud.biol.7338.
- WATANABE, M. E. Phytoremediation on the brink of commercialization. *Environ. Sci. Technol.*, v.31, p.82-186, 1997. doi: 10.1021/es972219s.
- YANG, Y. et al. Phytoextraction of cadmium-contaminated soil and potential of regenerated tobacco biomass for recovery of cadmium. *Sci. Rep.*, v.7, n.1, 2017. doi: 10.1038/s41598-017-05834-8.
- YI, Z.-J. et al. Uranium biosorption from aqueous solution by the submerged aquatic plant *Hydrilla verticillata*. *Water Sci. Technol.*, v.75, n.6, p.1332-1341, 2017. doi: 10.2166/wst.2016.592.
- ZENG, P. et al. Phytostabilization potential of ornamental plants grown in soil contaminated with cadmium. *Int. J. Phytoremediation*, 2017. doi: 10.1080/15226514.2017.1381939.
- ZHANG, J.-W. et al. Characteristics and influencing factors of cadmium biosorption by the stem powder of the invasive plant species *Solidago canadensis*. *Ecol. Eng.*, 2017. doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.10.001.