

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

**ALTERNATIVAS PARA FITORREMEDIAÇÃO DE METAIS
PESADOS NO NORTE DE MINAS GERAIS**

EDUARDO AQUINO COSTA



EDUARDO AQUINO COSTA

**ALTERNATIVAS PARA FITORREMEDIAÇÃO DE METAIS PESADOS
NO NORTE DE MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

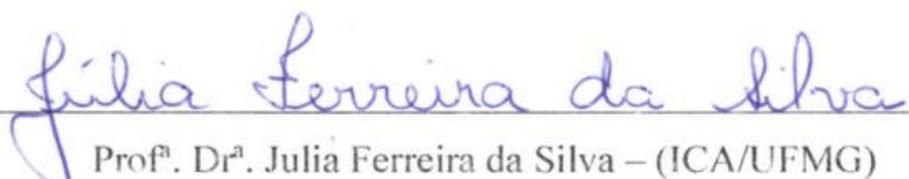
Orientador: Prof. Dr. Demerson Arruda Sanglard

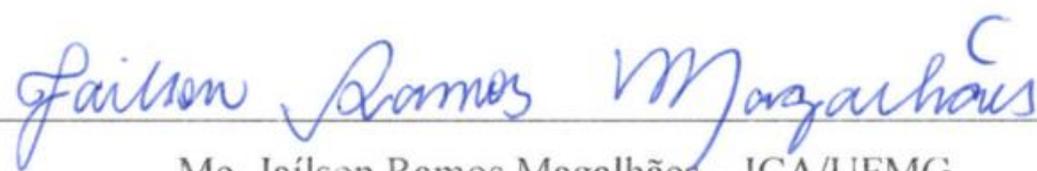
Montes Claros

2017

Eduardo Aquino Costa. **ALTERNATIVAS PARA FITORREMEDIAÇÃO DE METAIS PESADOS NO NORTE DE MINAS GERAIS**

Aprovada pela banca examinadora constituída por:


Prof. Dr.ª Julia Ferreira da Silva – (ICA/UFMG)


Me. Jaílson Ramos Magalhães – ICA/UFMG


Prof. Dr. Demerson Arruda Sanglard – Orientador (ICA/UFMG)

Montes Claros, 11 de Dezembro de 2017

Dedico a todas as pessoas que
acreditaram em mim e que não
pouparam esforços para essa
realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Ana Lúcia Ferreira de Aquino, avó Maria das Dores Ferreira de Aquino e a meu avô materno José Ferreira de Aquino (in memoriam) que não pouparam esforços para que eu conseguisse chegar até aqui.

Eu quero agradecer à minha irmã, minha namorada, meus familiares pelo apoio fundamental que sempre me deram nessa trajetória.

Agradeço ao meu orientador e amigo o professor Demerson Arruda Sanglard, por acreditar no meu potencial me dando a oportunidade de participar em seus projetos.

Agradeço a todos os professores, técnicos administrativos, técnicos de laboratório da Universidade Federal de Minas Gerais Campus Montes Claros que sempre me apoiaram.

Agradeço a minha *alma mater* Universidade Federal de Minas Gerais por todo conhecimento aqui adquirido, lapidado e transmitido para o enriquecimento da ciência.

Agradeço a todos meus amigos que fiz aqui nessa universidade que vou levar para minha vida e que não posso citar um por um, pois vai faltar folha para imprimir esse TCC.

Agradeço a banca pela compreensão frente às adversidades enfrentadas para que esse trabalho fosse apresentado.

*“Uma gota fura uma rocha caindo não só duas vezes, mas muitas; assim também, um homem se faz esperto não só lendo dois, mas muitos livros”
(Giordano Bruno)*

Resumo

A fitorremediação é um termo dentro da biorremediação que tem como significado a utilização de plantas para a descontaminação de áreas contaminadas por agentes orgânicos e inorgânicos. É uma metodologia de tratamento *in situ* de áreas degradadas bem eficiente, pois trata o local de contaminação sem alteração de seus aspectos físicos, ecossistema, fauna e flora. O objetivo desse trabalho foi identificar espécies de plantas nativas do Brasil com características fitorremediadoras, para serem usadas no tratamento de solos contaminados por metais pesados, no Norte de Minas Gerais. A metodologia consistiu na busca em caráter exploratório e descritivo por textos científicos na internet para desenvolvimento de uma revisão de literatura sobre o assunto. Foi utilizado na busca portais de busca de periódicos, artigos científicos, teses, dissertações e textos informativos sobre o assunto. A busca foi realizada através das palavras chave: “fitorremediação”; “metais pesados” a pesquisa foi feita em diversos idiomas para maior amplitude de resultados. A fitorremediação de solos contaminados por metais pesados se mostra efetiva com a utilização de plantas nativas do Cerrado, devido ao seu alto grau de absorção dos contaminantes do solo e sobrevivência neste meio. Há uma maior necessidade de estudos de fitorremediação utilizando espécies nativas do cerrado.

Palavras-chave: Fitoacumulação. Plantas nativas. Áreas degradadas. Cerrado.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Pesquisas em fitorremediação do elemento químico Chumbo (Pb) utilizando plantas nativas e exóticas.

Quadro 2 – Trabalhos sobre fitorremediação de Arsênio (As) utilizando espécies nativas e exóticas.

Quadro 3 – Trabalhos sobre fitorremediação de Cádmiio (Cd) utilizando espécies nativas e exóticas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Contaminações de solos	12
2.2 Metais Pesados	12
2.3 Fitorremediação.....	13
2.4 Plantas Fitorremediadoras	14
3 METODOLOGIA	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
REFERÊNCIAS	21

1 INTRODUÇÃO

A fitorremediação é uma metodologia de recuperação de áreas contaminadas que faz o uso de plantas para a retirada completa ou parcial de contaminantes de origem orgânica e inorgânica do solo. O seu uso em relação a outras metodologias *ex situ* é mais vantajoso, barato e benéfico, pois as plantas fitorremediadoras realizam o processo de retirada do contaminante sem promover alteração no ecossistema, estrutura do solo, ciclo hidrológico, fauna e flora local.

Accioly; Siqueira (2000) citam a fitorremediação como um método de grande potencial no nosso país devido a grande quantidade de áreas contaminadas com metais pesados. Dentre os mecanismos que a planta exerce na fitorremediação a fitoextração e fitoestabilização são os mais indicados para o processo de recuperação de áreas degradadas (FRANÇA, 2011).

As espécies de plantas do cerrado possuem grande potencial de estudos uma vez que são espécies que sobrevivem em características edafoclimáticas adversas a outras espécies vegetais e por se desenvolverem em solos com baixíssimo pH e altas concentrações de metais tendo sido necessário o desenvolvimento de estudos de espécies desse bioma que sejam tolerantes e hiperacumuladoras de metais pesados. O objetivo desse trabalho foi realizar um levantamento bibliográfico de espécies com potencial fitorremediador de metais pesado para recuperação de áreas degradadas no Norte de Minas Gerais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Contaminação de solos

Com o crescente aumento dos centros urbanos houve também um aumento da intervenção antrópica sobre os recursos naturais. Diversos ecossistemas têm sido alterados pelo homem tendo como exemplo contaminação de água, desmatamentos e destruição da biodiversidade (GOULART; CALLISTO, 2003). Dentre as contaminações, poluentes de natureza orgânica e inorgânica têm causado preocupações sobre seus efeitos no meio ambiente, saúde animal e humana, pois com o crescimento de atividades industriais houve também o aumento da inserção desses poluentes no meio ambiente (CRUVINEL, 2009).

Segundo Pineda; Rodriguez (2015) na gênese do solo, os metais pesados são componentes comuns em pequenas quantidades em um ambiente natural, mas com a intervenção antrópica em atividades industriais e agrícolas tem contribuído para o aumento do teor de metais pesados tornando-os nocivos para o meio biótico. Com registros desde a idade média, a poluição por metais pesados já era motivo de preocupação na atividade mineradora e também no século XIX quando houve o crescimento da industrialização de produtos químicos (BISINOTI; JARDIM, 2004). Contaminação e poluição são definições diferentes segundo do Accioly; Siqueira (2000), pois, contaminação é quando um determinado teor de um elemento químico se apresenta acima dos padrões para determinado local. Poluição é quando o teor de determinado componente afeta de forma negativa na cadeia biótica de um ecossistema.

2.2 Metais Pesados

Segundo Doffus (2002) não é possível ter uma definição geral do que é considerado um “metal pesado”, pois diversos autores utilizam uma definição diferente com base em propriedades químicas e também com base em sua densidade. Documento encomendado pela IUPAC para Doffus (2002) informa que muitos autores definem metais pesados como elementos com densidade de 3,5 g cm³ a 7 g cm³ e que cada metal para ser considerado “pesado” deve ser estudado de forma individual de acordo com diversos fatores como características químicas, físicas e toxicológicas. Serão considerados metais pesados segundo

Malavolta *et al.* (2016) elementos com densidade acima de 5,0 g cm³ e com número atômico acima de Z = 20.

Para Tsutiya (1999) no meio ambiente os metais pesados no solo são provenientes de rochas ígneas e outras origens como fertilizantes químicos, lixo, lodo de esgoto. Sendo que para os seres vivos a toxicidade dos metais pesados pode afetar processos bioquímicos no solo e crescimento de plantas. Quanto a sua função os metais pesados são classificados como essenciais (Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) ou seja que possui funções definidas no organismo de seres vivos, benéficos (Co, Ni, V) que são exercem melhorias na atividade metabólica e não essenciais (Al, Cd, Cr, Hg, Pb) que provocam danos nos organismos vivos. Mesmo sendo considerados micronutrientes essenciais e benéficos para as plantas estes elementos em concentrações excessivas são considerados fitotóxicos (Paiva *et al.* 2004).

2.3 Fitorremediação

A despoluição de solos contaminados é uma prática dispendiosa e complexa e, segundo Mazzuco (2008) estima-se gastos anuais de 25 a 30 milhões de dólares com despoluição ambiental. No entanto remediação de locais contaminados com metais tóxicos se mostra de complicada implantação dado a variedade de contaminantes (LAMEGO;VIDAL, 2007).

O processo de remediação segundo Novak; Santos (2013) consiste no conjunto de técnicas que visam à diminuição ou total remoção de um contaminante. Métodos ditos como *ex situ* como escavação, incineração, extração por solubilização ou oxidorredução são métodos ariscados, pois podem promover contaminações secundárias e tornarem ainda mais caro o processo de tratamento (OLIVEIRA *et al.* 2009).

Dentro das alternativas *in situ* se destaca a biorremediação que é um conjunto de várias técnicas eficientes, baratas e simples para o tratamento de solos contaminados, que consiste no uso de organismos vivos para a descontaminação desses locais sem que modifiquem a paisagem, ciclo hidrológico e o ecossistema (PIRES *et al.* 2003; FUNGARO *et al.* 2004).

No que se refere à biorremediação se destaca a fitorremediação, que é uma metodologia que envolve o uso de plantas que são inseridas no solo contaminado para que

removam, acumulem ou transformem o contaminante em suas folhas ou caule (NOVAK; SANTOS, 2013).

Segundo Procópio *et al.* (2009) das características da fitorremediação se destacam:

- Fitoextração: o contaminante é absorvido pela raiz da planta e pode ser transportado para parte aérea.
- Fitoestimulação: a planta libera no solo compostos estimulantes para a comunidade microbiana apta a degradar os contaminantes.
- Fitodegradação: posterior a fitoextração, o contaminante é convertido para uma forma menos nociva aos organismos vivos.
- Fitovolatilização: posterior a fitoextração, o contaminante é transformado em uma forma volátil.
- Fitoacumulação: posterior a fitoextração, a fitoacumulação consiste no acúmulo do metal pesado na parte aérea da planta.

2.4 Plantas Fitorremediadoras

Uma espécie fitorremediadora de metais pesados é aquela que, na presença de uma dada concentração de metais pesados, desenvolve um aumento na produção de proteínas como metalotioneínas e outras proteínas do grupo tiol como a fitoquelatina, que são capazes de se ligarem ao metal pesado formando um complexo que é transportado pelo vacúolo (MACOVEI *et al.* 2010; HEISS *et al.* 2003; SANTOS *et al.* 2011).

Deve ser capaz, segundo Pajevic (2009), de manter uma boa produção de biomassa, sobreviver sem diminuir sua taxa de crescimento, mesmo com altas taxas de contaminante em seus órgãos. Destaque deve ser dado às plantas hiperacumuladoras que são plantas capazes de absorver diversos metais pesados em simultâneo e em altas quantidades mantendo as características de considerável produção de biomassa e taxa de crescimento e com o acúmulo do metal pesado em sua maioria na parte aérea (DOUMETT *et al.* 2008; HAQUE *et al.* 2008; LOMBI *et al.* 2001).

3 METODOLOGIA

A metodologia se baseou na busca exploratória e descritiva por artigos científicos na internet para o desenvolvimento da revisão de literatura aqui apresentada. A busca foi realizada através dos principais bancos de dados de artigos e periódicos como *Scielo*, Periódicos CAPES e também por teses e dissertações em repositórios de universidades do Brasil. Os critérios de busca se basearam por meio das principais palavras-chave: *fitorremediação* e *metais pesados*, essas palavras chave associadas aos principais metais objetos da pesquisa que foram: chumbo, cádmio e arsênio.

A busca foi realizada em português para que os resultados tendessem para pesquisas realizadas no Brasil, sendo priorizadas publicações mais recentes quanto ao tema. Foi proposta a análise e discussão de dados obtidos pelos autores com enfoque nos resultados que apresentaram desenvolvimento satisfatório da produção de biomassa na presença do contaminante, taxa de crescimento significativa e elevado grau de acumulação nas partes subterrâneas e aéreas.

Foi colocada nas características de seleção dos trabalhos para essa revisão, a possível utilização dessas espécies em tratamento de contaminações por metais pesados, na região Norte de Minas, logo as características das plantas devem permitir se desenvolverem nas características edafoclimáticas da região, por isso o enfoque foi dado nos resultados de plantas nativas do Cerrado, com probabilidade maior de sucesso em descontaminar áreas localizadas nessa região do estado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a fitorremediação de metal Pb (Chumbo) há diversas pesquisas que utilizaram plantas nativas e exóticas das quais se destacam:

Quadro 1 - Pesquisas em fitorremediação do elemento químico Chumbo utilizando plantas nativas e exóticas.

Nome científico	Autor	Concentrações
<i>Canavalia ensiformes L.</i>	Romeiro <i>et al.</i> (2007)	100, 200,400 mmol L ⁻¹

<i>Canavalia ensiformes L.</i> <i>Helianthus annuus</i> <i>Zea mays</i>	Pereira (2005)	0, 100, 200, 350, 1200,2400 mg kg ⁻¹
<i>Stizolobium aterrimum</i>	Dos Santos <i>et al.</i> (2012)	18,8; 37,5; 75, 150, 300, 600,1. 200 mg kg ⁻¹
<i>Pistia stratiotes L.</i>	Oliveira (2010)	0;0,4;0,8;1,6;3,2 mg L ⁻¹
<i>Jatropha Curcas L.</i>	GOUVEIA, MACRUZ & ARAÚJO (2015)	100,500 e 1000 mg kg ⁻¹
<i>Ricinus Communis L.</i>	De Lima <i>et al.</i> (2010)	0,250,500,100 µg L ⁻¹

Fonte: Do Autor

Segundo Santos (2012) que utilizou a espécie *Stizolobium aterimum L.* (mucuna-preta) em seu experimento apresentou resultados de teores de Pb na parte aérea dentro da faixa tóxica para as plantas que é de 30 a 300 mg. kg⁻¹ demonstrando não somente que a planta consegue fitoextrair bem o Pb como ainda fazer o transporte da raiz para a parte aérea, indicando alta adaptabilidade à solos contaminados com metais pesados.

O autor ainda expõe que o acúmulo de Pb na parte aérea e nas raízes das plantas de mucuna preta em função das seguintes doses de Pb aplicadas no solo: 0mg. kg⁻¹; 18,8 mg.kg⁻¹; 37,5 mg.kg⁻¹; 75 mg.kg⁻¹; 150 mg.kg⁻¹; 300 mg.kg⁻¹; 600 mg.kg⁻¹; 1.200 mg.kg⁻¹ que o valor máximo de acúmulo de Pb no tratamento contendo o maior teor de Pb (1.200 mg. kg⁻¹).

Pierangeli *et al.* (2001) expuseram que o Pb é um dos elementos químicos com menor mobilidade no meio em que está presente e normalmente associado sempre a outros ânions. Logo a presença de Pb na parte aérea de *S. aterimum* indica a eficiência em seu potencial fitorremediador para o metal.

A espécie *S. aterimum L.* é uma planta de clima tropical e subtropical e resistente a altas temperaturas e secas, rústica, se desenvolve bem em solos ácidos e com baixa fertilidade (BARRETOS & FERNANDES, 2001). O seu potencial de desenvolvimento no Norte de Minas é propício à aplicação em fitorremediação.

Lima *et al.* (2010) utilizaram na experimentação a espécie *Ricinus communis L.* (mamona), para testar a extração de chumbo no solo utilizando concentrações de 0 (controle), 250, 500 e 1000 µg/L de chumbo em cada tratamento. A planta respondeu satisfatória para o

acumulo do metal pesado no sistema radicular. Larcher (2000) afirma que a absorção de metais pelas raízes é facilitada pelos mecanismos de transporte e acumulação como são as características do sistema radicular das plantas. A mamona como agente fitorremediador apresenta diversas vantagens pois, além de atuar no processo de fitorremediação, também ajuda no tratamento físico de áreas de solos degradados e economicamente pode representar uma fonte de renda para o proprietário do local, com a comercialização do fruto para produção do biodiesel.

Arsênio (As)

Dos estudos que envolviam a fitorremediação do elemento químico Arsênio (As) se destacam:

Quadro 2 – Trabalhos sobre fitorremediação de Arsênio (As) utilizando espécies nativas e exóticas.

Espécie	Autor	Concentrações do metal
<i>Baccharis dracunculifolia</i>	Gilberti <i>et al.</i> ,2012	0, 5, 10, 25, 50,100 e 200 mg L ⁻¹
<i>Pityrogramma calomelanos</i>	Gonzaga <i>et al.</i> ,2006	-
<i>Cajanus cajan</i> <i>Croatalaria spectabilis</i>	Felipe, Oliveira & Leão. (2009)	0;1,5;2,5;5,0 e 7,5 mg L ⁻¹

Fonte: Do Autor

Gilberti (2012) que testou a espécie *Baccharis dracunculifolia* (alecrim-do-campo) em diferentes níveis de arsênio (As), constatou que em seus tratamentos a produção de biomassa teve um aumento de 15% e 6% na biomassa total das plantas tratadas com 5 mg. kg⁻¹ e 10 mg.kg⁻¹ de As, respectivamente, nas demais concentrações de 25, 50, 100 e 200 mgkg⁻¹ de As a biomassa produzida diminuiu 5, 12, 15 e 17% respectivamente, com relação ao controle.

O autor ainda verificou que a produção de biomassa nas folhas, caule e raízes aumentou cerca de 20 para os valores de 5 e 10 mg Kg⁻¹ As e nas outras concentrações 25, 50, 100 e 200 mg.kg⁻¹ de As foi verificado o decréscimo na produção de biomassa com relação ao controle. Essas concentrações com a diminuição da biomassa da raiz reduzem automaticamente a produção de biomassa do caule e folhas haja vista que a raiz é porta de entrada dos nutrientes, fator regulador do desenvolvimento da planta. A *B. dracunculifolia*, encontrada em áreas de rejeito de mineração e encontrada em áreas ricas em arsênio

(BARROSO, 1976), é uma espécie nativa na região sul e sudeste encontrada amplamente no bioma cerrado, coloniza regiões perturbadas com uma alta capacidade de crescimento natural, sendo assim indicada para fitorremediação.

Para as espécies *Cajanus cajan* e *Croatalaria spectabilis* testadas por Felipe; Oliveira; Leão (2009) os autores obtiveram como resultado uma taxa de crescimento relativo das espécies que se desenvolveram sobre a presença do contaminante semelhante ao controle. *C. spectabilis*, ainda segundo o autor, apresenta maior acúmulo de As do que a espécie *C. Cajan*, se mostrando mais eficiente. Isso se deve a capacidade de armazenamento do As no vacúolo na raiz, refletindo em menor transporte para a parte aérea e reduzindo os efeitos tóxicos do As na parte aérea. (CARBONEL-BARRACHINA *et al.*,1997).

A periculosidade do arsênio é definida pela ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Control) (2007) como o metal mais perigoso à saúde humana, dado que sua presença é amplamente distribuída na crosta terrestre e as atividades de uso de compostos agroflorestais e mineração são uns dos principais meios nos quais esse metal entra no ambiente (GONZAGA *et al.*,2008).

Cádmio (Cd)

Em pesquisa bibliográfica sobre a extração de cádmio se destacam:

Quadro 3 – Trabalhos sobre fitorremediação de cádmio utilizando espécies nativas e exóticas

Espécie	Autor	Concentrações experimentais de cádmio
<i>Pennisetum purpureum</i> Schum.	Nascimento (2008)	-
<i>Echinochloa crusgalli</i> L.	Fernandes (2014)	0; 0,01; 0,1; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0 mgL ⁻¹
<i>Galianthe grandifolia</i> E.L. CABRAL <i>Campuloclinium chrolepis</i> BAKER	Vilhalva (2008)	0; 0,3; 3 mmolL ⁻¹

Para o teste em fitorremediação de cádmio (Cd), Vilhalva *et al.* (2008) utilizaram em seu experimento as espécies *Galianthe grandiflora* E.L. Cabral e *Campuloclinium chlorolepis* BAKER que foram irrigadas com solução aquosa contendo 0; 0,3 e 3 mmol. L⁻¹ de cloreto de cádmio (CdCl₂). Após análise, a espécie *C. chlorolepis* obteve maiores teores de cádmio na parte aérea do que nas raízes, sendo os valores obtidos entre 7 e 20 mg kg⁻¹ de Cd, para *G. grandifolia* a quantidade de Cd acumulada nas raízes foi muito maior que na aérea com valores entre 120 e 300 mg. kg⁻¹. Para Baker (1987) plantas com essas características de armazenar concentrações acima de 100 mg kg⁻¹ são consideradas hiperacumuladoras devido a esse acúmulo de metal pesado na parte aérea.

Em seus resultados foi visível a queda na taxa de crescimento das plantas de *C. chlorolepis* tratadas com cádmio em relação ao controle, evidenciando que a presença do metal pesado é bastante nociva ao crescimento da espécie. Os autores ainda verificaram um aumento no crescimento da parte aérea na presença de Cádmio em 0.3 mmol. L⁻¹ e depois uma queda a 3 mmol. L⁻¹ que pode indicar que valores maiores de concentração de cádmio podem fazer diminuir a taxa de crescimento da espécie.

Essa característica de acumular maiores teores de metais pesados na parte aérea mostra o quanto essa planta é tolerante a esse contaminante e suas funções de transporte de metais da porção subterrânea para a parte aérea mostram que não são tão afetadas com a presença do metal. A escolha de espécies vegetais capazes de revegetar solos contaminados por determinado metal pesado tem sido o primeiro passo para o sucesso para recuperação do solo.

Para Accioly & Siqueira (2000) a maioria de plantas fitorremediadoras de contaminação por Cd são de clima temperado como *Thlaspi caerulescens* e *Raphanus sativus*

CONCLUSÃO

Dada a necessidade de estudos na área de fitorremediação, o uso de espécies nativas se mostra uma área promissora no tratamento de solos contaminados por metais pesados.

Ainda são necessários maiores estudos nas áreas de fitorremediação de metais pesados em condições de campo.

Ainda se verifica muitos trabalhos que utilizam espécies exóticas na fitorremediação de metais, logo há uma maior necessidade de estudos que envolvam o uso de plantas nativas do Cerrado e demais biomas brasileiros para uma proposta de revegetação dessas áreas.

Das espécies que foram discutidas, os resultados se apresentam como ótimas alternativas de fitorremediação no Norte de Minas Gerais, porém, ainda são necessários mais trabalhos para um maior conhecimento de potencialidades dessas espécies e limitações.

A fitorremediação se mostra um método de tratamento *in situ* bem versátil pois não somente atua como agente extrator de metais pesados do solo, como também na revegetação de áreas, como barreiras físicas contra processos de erosão e em alguns casos na promoção de alternativas de plantas com potencial econômico para regiões contaminadas.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. V. 1, p. 299-351, 2000.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE CONTROL. **Toxic substances portal**. 2011. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=3>
Acesso em: 10/12/2017.
- BARROSO, G. M. *Compositae: subtribo Baccharidinae Hoffmann; estudo das especies ocorrentes no Brasil*. **Rodriguesia**, 1976.
- GOULART, M. D.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, v. 2, n. 1, p. 153-164, 2003.
- BISINOTI, Márcia Cristina; JARDIM, Wilson F. O COMPORTAMENTO DO METILMERCÚRIO (METILHg) NO AMBIENTE. **Quim. Nova**, v. 27, n. 4, p. 593-600, 2004.
- BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Recomendações técnicas para o uso da adubação verde em solos de tabuleiros Costeiros. **Embrapa Tabuleiros Costeiros - Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2001.
- CARBONELL-BARRACHINA, A. A. *et al.* The influence of arsenite concentration on arsenic accumulation in tomato and bean plants. **Scientia Horticulturae**, v. 71, n. 3, p. 167-176, 1997.
- CRUVINEL, DFC. **Avaliação Da Fitorremediação Em Solos Submetidos À Contaminação Com Metais**. 2009. 79f. 2009. Tese (Mestrado em Tecnologia Ambiental) -Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto.
- PAIVA, H. N. *et al.* Absorção de nutrientes por mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.) em solução nutritiva contaminada por cádmio. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, 2004.
- SANTOS, F. S. *et al.* Resposta antioxidante, formação de fitoquelatinas e composição de pigmentos fotoprotetores em *Brachiaria decumbens* Stapf submetida à contaminação com Cd e Zn. **Química Nova**, v. 34, n. 1, p. 16-20, 2011.
- NASCIMENTO, V. S. Avaliação de *Pennisetum purpureum Schum.* na Fitorremediação de zinco e cádmio em solo enriquecido com resíduo. 2008. Tese (Mestrado em Ciências) Universidade Federal do Rio de Janeiro – Seropédica - RJ

SANTOS, C. H. *et al.* Utilização da mucuna preta (*Stylosanthes aterrma* Piper & Tracy) para a fitorremediação de solo contaminado por chumbo. **Revista Agroambiente On-line**, v. 6, n. 3, 2012.

DOUMETT, S. *et al.* Heavy metal distribution between contaminated soil and *Paulownia tomentosa*, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: influence of different complexing agents. **Chemosphere**, v. 72, n. 10, p. 1481-1490, 2008.

SANTOS, C. F.; NOVAK, E. Plantas nativas do cerrado e fitorremediação. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 7, n. 1, p. 67-77, 2013.

LIMA, Anita Maria *et al.* Avaliação do potencial fitorremediador da mamona (*Ricinus communis* L) utilizando efluente sintético contendo chumbo. **HOLOS**, v. 1, 2010.

PROCÓPIO, S. O. *et al.* Efeito da densidade populacional de *Panicum maximum* (cultivar Tanzânia) na fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 2, 2009.

DUFFUS, J. H. " Heavy metals" a meaningless term? (IUPAC Technical Report). **Pure and applied chemistry**, v. 74, n. 5, p. 793-807, 2002.

FELIPE, Rafaella Teles Arantes; DE OLIVEIRA, Juraci Alves; ALVESLEÃO, Gabriela. Potencial de *Cajanus cajan* e *Crotalaria spectabilis* para fitorremediação: absorção de arsênio e respostas antioxidativas. **Rev. Árvore**, v. 33, n. 2, 2009.

FRANÇA, A. C. M. Levantamento florístico e características anatômicas de espécies nativas do cerrado em solos contaminados por metais pesados. 2011. Universidade Federal de Minas Gerais. Lavras - MG

FUNGARO, D. A.; FLUES, M. S.M.; CELEBRONI, A. P. Estabilização de solo contaminado com zinco usando zeolitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão. **Química Nova**. [completar](#)

GILBERTI, L. H. Potencial para o uso da espécie nativa, *Baccharis dracunculifolia* DC (asteraceae) na fitorremediação de áreas contaminadas por arsênio. 2012. Tese (Mestrado em Biologia Vegetal) Universidade Federal de Minas Gerais . Belo Horizonte -MG

GONZAGA, M. I. S.; SANTOS, J. A. G.; M.A, L. Q. Phytoextraction by arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. from six arsenic-contaminated soils: repeated harvests and arsenic redistribution. **Environmental Pollution**, v. 154, n. 2, p. 212-218, 2008.

GONZAGA, M. I. S.; SANTOS, J. A. G.; M.A, Lena Qiying. Arsenic phytoextraction and hyperaccumulation by fern species. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 1, p. 90-101, 2006.

GOUVEIA, A. F.; MACRUZ, P. D.; ARAÚJO, J. H. B. Fitorremediação de solos contaminados com chumbo utilizando *Jatropha curcas* L. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 8213-8219, 2015.

HAQUE, N. *et al.* Screening the phytoremediation potential of desert broom (*Baccharis arthroides* Gray) growing on mine tailings in Arizona, USA. **Environmental Pollution**, v. 153, n. 2, p. 362-368, 2008.

HEISS, S. *et al.* Phytochelatin synthase (PCS) protein is induced in *Brassica juncea* leaves after prolonged Cd exposure. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 389, p. 1833-1839, 2003

TSUTIYA, M. T. Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 753-761.

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

LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos-SP .RiMa. 2000. p 531 ISBN-13: 9788586552038

LOMBI, E. *et al.* Phytoremediation of heavy metal-contaminated soils. **Journal of Environmental Quality**, v. 30, n. 6, p. 1919-1926, 2001.

MOÇO, S. S. S. **Impregnação de fibras de celulose com nanopartículas de prata, óxido de zinco e óxido de cobre para aplicações anti-bacterianas**. 2013. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa - Portugal

MACOVEI, A. *et al.* Effects of heavy metal treatments on metallothionein expression profiles in white poplar (*Populus alba* L.) cell suspension cultures. **Analele Universitatii din Oradea-Fascicula Biologie**, v. 1, p. 194-198, 2010.

MAZZUCO, K. T. M. *et al.* Uso da *Canavalia ensiformis* como fitorremediador de solos contaminados por chumbo. 2008. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa - Portugal

OLIVEIRA, C. Características morfoanatômicas e fisiológicas na avaliação do potencial bioindicador e fitorremediador de *Pistia stratiotes* L. na presença de cádmio, chumbo e arsênio. 2010. Universidade Feral de Lavras. Lavras - MG

OLIVEIRA, D. *et al.* Plantas Nativas do Cerrado: uma alternativa para fitorremediação. **Estudos**, v. 36, n. 6, p. 1141-1158, 2009.

PAJEVIC, S. *et al.* Phytoremediation capacity of poplar (*Populus* spp.) and willow (*Salix* spp.) clones in relation to photosynthesis. **Archives of Biological Sciences**, v. 61, n. 2, p. 239-247, 2009.

PEREIRA, B.F. F. **Potencial fitorremediador das culturas de feijão de porco, girassol e milho cultivadas em Latossolo Vermelho contaminado com chumbo**, 2005. 68 Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas - Mg

PIERANGELI, M. A. P. *et al.* Efeito da força iônica da solução de equilíbrio sobre a adsorção/dessorção de chumbo em Latossolos brasileiros. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 36, p. 1077-1084, 2001.

PINEDA, M. E. B.; RODRÍGUEZ, A. M. G. Metales pesados (Cd, Cr y Hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación. **I3+**, v. 2, n. 2, p. 82-112, 2015.

PIRES, F. *et al.* Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 335-341, 2003.

ROMEIRO, S. *et al.* Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de *Canavalia ensiformes* L. **Bragantia**, v. 66, n. 2, 2007.

SANTOS Jr. A. V. *et al.* Avaliação da sustentabilidade da mineração de cobre e manganês em Carajás (PA) utilizando o método gaia e os indicadores de ecoeficiência. 2005. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina -SC

VILHALVA, D. A. A. *et al.* Estudo morfofisiológico do desenvolvimento das espécies *Galianthe grandifolia* EL Cabral (*Rubiaceae*) e *Campuloclinium chlorolepis* Baker (*Asteraceae*) submetidas a diferentes concentrações de cádmio. 2008. 135p. (Tese de Doutorado em Biologia Vegetal), Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2008