

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA DE AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

MARIYÁ YUKI TOKUHO

Uso de *Brassica juncea* (L.) Czern, *Helianthus annus* L. e *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze na fitorremediação de solos contaminados com Chumbo e Níquel

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2019

MARIYÁ YUKI TOKUHO

Uso de *Brassica juncea* (L.) Czern, *Helianthus annuus* L. e *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze na fitorremediação de solos contaminados com Chumbo e Níquel

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito à obtenção do título de Engenheira Ambiental, pela coordenação de Engenharia Ambiental do Câmpus Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. José Hilton B. de Araújo

CAMPO MOURÃO

2019



TERMO DE APROVAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
INTITULADO

Uso de *Brassica juncea* (L.) Czern, *Helianthus annuus* L. e *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze na fitorremediação de solos contaminados com Chumbo e Níquel

DO(A) DISCENTE

Mariyá Yuki Tokuho

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 06 de dezembro de 2019 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão. O(A) discente foi arguido(a) pela Comissão Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a comissão considerou o trabalho aprovado com alterações.
(aprovado, aprovado com alterações ou reprovado).

Prof. Flávia Vieira da Silva Medeiros
Avaliador(a) 1 UTFPR

Prof. Nelson Consolin Filho
Avaliador(a) 2 UTFPR

Prof. José Hilton Bernardino de Araújo
Orientador(a) UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe Izabel Tomoko Hirano Tokuho, por todas as puxadas de orelha, sem elas não reconheceria a força que tenho e teria desistido, meu diploma e CREA são pela senhora.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, a todos os Orixás e meu Anjo da Guarda que me auxiliaram nessa caminhada, me amparando e não permitindo que eu sucumbisse ao cansaço e momentos tristes. Obrigada terreiro Gotas de Amor por ter sido o local onde encontrei minha paz.

Agradeço à minha família, em especial ao meu pai Romeu, pelos conselhos amorosos e lições de vida, minha batian Terue que me inspira a continuar firme e forte na luta. Minhas tias Norma e Toshi e meu tio Kazuo, que vieram até mim quando mais precisei. Agradeço também aos meus primos Cassi, pelo apoio em todos esses anos, Marcelo e Keiko.

Obrigada à todos os professores do curso de engenharia ambiental bem como todos os professores que um dia me deram aula, sem vocês esse TCC não teria acontecido. Agradeço ao meu orientador José Hilton e professor Nelson por toda a boa vontade em me auxiliarem com este trabalho; aos professores Caxambu, Kaiser, Flávia, Paulo Agenor, Felipe Gnoatto e Luciano Fiorin pela inspiração e conhecimentos (profissionais e de vida). Ao laboratório Acqua Sollus, pela oportunidade de estágio que contribuiu para elaboração deste trabalho.

Um agradecimento mais que especial ao psicólogo Fabrício, por ter me amparado emocionalmente com conselhos e cuidados e ao Léo por todo apoio e companhia durante a fase mais difícil da minha vida. Agradeço também à mãe Kau, por todo carinho e preocupação, à Harumi por estar presente em todas as barras que passei me confortando com suas palavras e à Dona Zélia, por ser minha amiga e guia dos primeiros dias aqui.

Obrigada aos amigos do Trampolim: Osvaldo, Billie, Sid, Bruna e Sheldon pelas risadas e lasanhas; à Atlética Demônios do Campo por todos os ensinamentos; às Cheerleaders Diablezas pelo orgulho de vê-las alcançando ouro; aos amigos do RPG: Bill, Danilo, Ratto e Celoni pela melhor história; ao Bonde Noites e Noites: Tha, Mini Mari, Bruno e Yang pelo melhor carnaval de todos (titanic_flute_version.mp3).

Agradeço também às minhas amigas da Rep. Casa do Chico: Bia, Fran, Vivi e Nati pelos dias felizes; aos meus amigos Majin, Miki, Serginho, Pri, Lukinha, Ivan e Leopoldo por todos esses anos de momentos alegres, cheios de fumaça, Mobile

e corote; ao meu amigo Monegat, por todas as conversas, músicas e, principalmente, proteção; à minha amiga Adriana, por me compreender e ouvir. Obrigada aos amigos que estão comigo desde que a faculdade “era mato”: Borto, Lulu e Dan por me inspirarem a terminar a facul. Aos meus amigos Douglas, Isa, Massao, Gui, Gi, Julio e Bruna por me acolherem em sua casa e oferecer o que existe de mais importante: alegria (Ragnarok, narquile e pão de alho do Julin também).

E por último, quero agradecer a mim, por todas as noites mal dormidas, lágrimas derramadas, crises de ansiedade, dores no estômago e irritação. Sem mim nada disso teria sido superado e estaria rendendo este trabalho.

Obrigada!

RESUMO

A fitorremediação é uma técnica de descontaminação de solos em que utiliza-se o potencial de espécies vegetais para extrair metais e outros contaminantes do ambiente. Neste trabalho foram utilizadas as espécies *Brassica juncea* (L.) Czern (Mostarda), *Helianthus annuus* L. (Girassol) e *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze (Maricá) para fitoextrair chumbo e níquel de solos. Para a realização do procedimento, foi feito o acompanhamento ao longo de 11 semanas de dois experimentos simultâneos em que o solo utilizado foi Latossolo Vermelho coletado dentro dos limites da Universidade Tecnológica federal do Paraná. No experimento 1, utilizaram-se 2 kg (massa seca) em potes de polipropileno contaminados com acetato de chumbo e sulfato de níquel em concentrações de 0,5, 1,0, 2,0 e 5,0 g/kg de chumbo e níquel, para identificar o potencial fitorremediador de *Brassica juncea* (L.) Czern e *Helianthus annuus* L. Para o segundo experimento, foi utilizado 1 kg (massa seca) de solo contaminado com acetato de chumbo em concentrações de 0,25, 0,5 e 1,0 g/kg para verificar se a *Mimosa bimucronata* (DC.) e O. Kuntze possuem potencial fitorremediador. O experimento foi realizado em triplicata. A digestão das amostras foi feita com base nos parâmetros estipulados pela Metodologia USEPA 3050B. Após o procedimento de digestão, as amostras foram analisadas em Espectrofotômetro de Absorção Atômica por Chama. Observou-se que as espécies que são consideradas hiperacumuladoras (Girassol e Mostarda) apresentaram resultados mais satisfatórios do que o Maricá para fitoextração sendo que, para chumbo, Girassol e Mostarda conseguiram fitoextrair mais do que 90% do contaminante e para o níquel foi possível verificar extração acima de 85%. O Maricá conseguiu fitoextrair até 55% de chumbo das amostras.

Palavras-chave: biorremediação, fitorremediação, fitoextração, metal pesado, solo contaminado, *Brassica juncea* (L.) Czern, *Helianthus annuus* L., *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze.

ABSTRACT

Phytoremediation is a soil decontamination technique in which the potential of plant species is used to extract metals and other contaminants from the environment. *Brassica juncea* (L.) Czern (Mustard), *Helianthus annus* L. (Sunflower) and *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze (Maricá) species were used to extract lead and nickel from soils. For the accomplishment of the procedure, it was made the follow-up throughout 11 weeks of two simultaneous experiments in which the soil used was Red Latosol collected within the limits of the Federal Technological University of Paraná. In experiment 1, 2 kg (dry mass) was used in polypropylene pots contaminated with lead acetate and nickel sulfate at concentrations of 0.5, 1.0, 2.0 and 5.0 g/kg of lead and nickel, to identify the phytoremediation potential of *Brassica juncea* (L.) Czern and *Helianthus annus* L. For the second experiment, 1 kg (dry mass) of lead acetate contaminated soil was used at concentrations of 0.25, 0.5 and 1.0 g / kg to verify that *Mimosa bimucronata* (DC.) and O. Kuntze have phytoremediation potential. The experiment was performed in triplicate. Sample digestion was based on the parameters stipulated by the USEPA 3050B Methodology. After the digestion procedure, the samples were analyzed by flame atomic absorption spectrophotometer. It was observed that the species that are considered hyperaccumulating (Sunflower and Mustard) presented more satisfactory results than Maricá for phytoextraction. For lead, Sunflower and Mustard were able to extract more than 90% of the contaminant and for nickel it was possible to verify extraction above 85%. Maricá was able to extract up to 55% lead from the samples.

Keywords: bioremediation, phytoremediation, phytoextraction, heavy metal, contaminated soil, *Brassica juncea* (L.) Czern, *Helianthus annus* L., *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - (A) Modelo esquemático de diferentes tecnologias de fitorremediação envolvendo remoção e contenção de contaminantes; (B) Processos fisiológicos que ocorrem em plantas durante a fitorremediação (© 2011 Nature Education. Todos os direitos reservados).....	18
Figura 2 - Curva de calibração para Pb (Autor, 2019).....	25
Figura 3 - Curva de calibração para Ni (Autor, 2019).....	25
Figura 4 - Porcentagem total fitorremediada de Pb e Ni para o experimento 1 (Autor, 2019).	28
Figura 5 - Porcentagem total fitorremediada de Pb para o experimento 2 (Autor, 2019).....	29
Figura 6 - Comparação da % fitorremediada de Pb entre os experimentos 1 e 2 (Autor, 2019).	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre as tecnologias de fitorremediação (Greipsson, 2011).	17
Tabela 2 - Vantagem de custo da fitoextração para metais (Schnoor, 1997).	19
Tabela 3 - Valores para onda de absorbância (nm) e R ² das curvas de calibração (Autor, 2019).	25
Tabela 4 - Porcentagens fitorremediadas e residuais das amostras para Pb no experimento 1 (Autor,2019).....	27
Tabela 5 - Porcentagens fitorremediadas e residuais das amostras para Ni no experimento 1 (Autor,2019).....	27
Tabela 6 - Porcentagens fitorremediadas e residuais das amostras para Pb no experimento 2 (Autor, 2019).....	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	12
1.1.1 Objetivos específicos	12
1.2 Justificativa	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Metais pesados	14
2.1.1 Chumbo (Pb).....	15
2.1.2 Níquel (Ni).....	16
2.2 Fitorremediação	16
2.3 Plantas hiperacumuladoras	20
2.3.1 Girassol.....	20
2.3.2 Mostarda.....	21
2.3.3 Maricá.....	21
3 METODOLOGIA	22
3.1 Local de estudo	22
3.2 Preparo das amostras	22
3.3 Metodologia USEPA 3050B	23
3.4 Espectrofotômetro de Absorção Atômica por Chama	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5 CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

A contaminação dos solos por elementos químicos é algo de grande preocupação nos dias de hoje. Guaracho *et al* (2004) explica que o solo poluído torna-se uma ameaça ao meio ambiente por apresentar substâncias tóxicas, entre estas substâncias podemos citar os metais pesados.

Em 2015 e 2019 o Brasil presenciou dois dos maiores desastres ambientais, o rompimento das barragens de mineração dos municípios de Mariana e Brumadinho, ambos no estado de Minas Gerais. No primeiro evento, foram transportados cerca de 50 milhões de m³ de resíduos de mineração na bacia do Rio Doce (Diniz *et al*, 2018; Zhouri *et al*, 2017). Já no segundo evento, 13 milhões de m³ de rejeitos da mineração foram lançados no meio ambiente sendo que a lama tóxica atingiu o Rio Paraopeba numa extensão aproximada de 250 km (Freitas *et al*, 2019). Apesar da predominância de minérios de ferro, a lama dos desastres contém concentrações de variados metais, inclusive metais pesados como níquel, chumbo, cádmio e manganês (Revista Rural, 2019; Ribeiro e Cruz, 2019). Esses acontecimentos evidenciam a necessidade de encontrar maneiras alternativas para depurar solos contaminados com metais pesados uma vez que é importante considerar que os metais, além de causar danos ao meio ambiente, também oferecem sérios riscos à saúde humana (Guaracho *et al*, 2004).

A descontaminação de solos poluídos com metais pesados continua a ser um dos problemas mais difíceis de serem contornados (U.S. Army Toxic and Hazardous Materials Agency, 1987 apud Baker *et al*, 1994). A seleção do método de remediação de solo e sedimento mais apropriado depende das características do local, concentração, tipo de poluente a ser removido e o uso final do meio contaminado (Mulligan *et al*, 2001).

As técnicas de remediação são variáveis, muitas destas tecnologias já são amplamente difundidas e utilizadas na remediação de solos, sedimentos, águas subterrâneas e superficiais, atmosfera e resíduos contaminados. Novas tecnologias estão sendo investigadas e entre estas, destaca-se a fitorremediação, a qual baseia-se na utilização de plantas como ferramenta principal. A técnica é complexa, por compreender um sistema vegetal dependente de vários fatores como por exemplo, adaptabilidade às condições edafoclimáticas locais, espécies

de plantas adaptadas e a própria natureza e nível de contaminação da área (Monteiro, 2005).

Para o presente estudo foram utilizadas sementes de Mostarda (*Brassica juncea* (L.) Czern), Girassol (*Helianthus annuus* L.) e Maricá (*Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze), para a fitorremediação de níquel e chumbo de amostras de solos contaminados. A escolha de Mostarda e Girassol deu-se por elas serem consideradas plantas hiperacumuladoras, ou seja, altamente especializadas em acumular ou tolerar concentrações elevadas de metais (Raskin *et al.*, 1994 apud Martinez *et al.*, 2013). Já o Maricá foi escolhido por ser uma espécie que consegue naturalmente crescer em condições adversas (Revista Rural, 2019).

1.1 Objetivos

Este estudo teve como objetivo fazer a comparação de níveis de fitoextração das espécies *Brassica juncea* (L.) Czern, *Helianthus annuus* L. e *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze, verificando se estas conseguem biorremediar solos contaminados com diferentes concentrações de Níquel (Ni) e Chumbo (Pb).

1.1.1 Objetivos específicos

- Verificar se as espécies *Brassica juncea* (L.) Czern, *Helianthus annuus* L. e *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze tem capacidade de fitoextrair Pb e Ni de solos;
- Verificar se a espécie *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze tem capacidade de fitoextrair Pb de solos;
- Comparar a fitoextração de Níquel (Ni) e Chumbo (Pb) utilizando as espécies *Brassica juncea* (L.) Czern, *Helianthus annuus* L. e *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze;

1.2 Justificativa

A industrialização e a urbanização têm exposto animais e vegetais a elementos químicos potencialmente tóxicos. Entre estes, os metais pesados representam os maiores contaminantes industriais dos ecossistemas (Cruvinel, 2009).

Entre os metais pesados existentes, a escolha para o estudo do chumbo como contaminante deu-se, pois segundo o Ministério da Saúde (2019) é uma substância capaz de persistir no solo e no fundo de rios durante várias décadas. Como consequência disso, há acumulação de chumbo ao longo das cadeias alimentares: os animais do topo da cadeia, entre eles o homem, acumulam altos teores de chumbo à medida que se alimentam de seres contaminados, podendo desenvolver problemas de saúde. Já o níquel é um metal pesado potencialmente tóxico que afeta vários órgãos dos sistemas vivos, além disso, as toxicidades do níquel se manifestam com base na maneira de exposição, dose e duração (Das *et al*, 2018).

Além dos riscos gerais para a saúde humana, o chumbo foi encontrado em concentrações acima do aceitável na lama proveniente do desastre de Brumadinho e o níquel, além de estar presente nos resíduos de Brumadinho, foi responsável pela intoxicação de pessoas em um município atingido pelo incidente de Mariana (Fabro, 2019; Mota, 2018). Esses fatores demonstram a importância de se identificar maneiras de depurar o chumbo e níquel dos solos.

A descontaminação de uma área pode ser realizada por diversos métodos como a escavação do solo, uso de microrganismos, extração “in situ”, vitrificação, entre outras, porém algumas dessas técnicas requerem muito tempo de execução, efeito visual e demanda de altos custos para efetivação do processo (Estrela *et al*, 2018).

O uso da fitorremediação é uma alternativa para a descontaminação de solos, Silva (2016) diz que esse método apresenta vantagens devido à sua natureza permanente, combinada a baixos custos de manutenção, proteção contra a erosão eólica e hídrica e maior estruturação dos solos.

Neste contexto, foram realizados procedimentos experimentais de fitorremediação para identificar se as espécies *Brassica juncea* (L.) Czern,

Helianthus annuus L. e *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze possuem potencial fitoextrator de metais de solos contaminados com chumbo e níquel, validando se estas podem ser utilizadas para fitorremediar solos em escala real.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Metais pesados

O termo metais pesados refere-se a qualquer elemento químico metálico que tem densidade relativamente alta e é tóxico ou venenoso em pequenas concentrações (Lenntech, 2018). Duffus (2002) em seu estudo analisou diversas referências e estas estipulavam a densidade de metais pesados acima da faixa de 3,5 - 7 g/cm³. Ocorrem no solo de duas maneiras: na fase líquida como íons hidratados ou complexos solúveis orgânicos ou inorgânicos; na fase sólida estão na superfície na forma de precipitados insolúveis como colóides orgânicos e inorgânicos, de forma permutável e especificamente absorvida (Cimboláková *et al*, 2019). Baker *et al* (1994) esclarece que os solos podem ficar poluídos com altas concentrações de metais pesados naturalmente, como resultado da proximidade de afloramentos minerais ou corpos minerais, ou antropogenicamente, como resultado de atividades industriais.

Diferem de outros agentes tóxicos porque não são sintetizados nem destruídos pelo homem (Nakano e Avila-Campos, 2018). Metais pesados podem entrar no corpo humano através alimentos, água, ar ou absorção através da pele quando entram em contato com humanos na agricultura e na indústria transformadora, farmacêutica, industrial ou configurações residenciais (Bharti, 2012). A superexposição a metais pesados pode resultar em intoxicação aguda ou crônica. O envenenamento ocorre dependendo de muitos fatores, incluindo a quantidade a qual a pessoa está exposta, como é a exposição e a forma química do metal, bem como a idade, estado nutricional e de saúde do indivíduo (NCDHHS, 2018).

A toxicidade e a carcinogenicidade induzidas por metais pesados envolvem muitos aspectos mecanicistas, alguns dos quais não são claramente elucidados ou compreendidos. No entanto, cada metal é conhecido por ter

características únicas e propriedades físico-químicas que conferem seus mecanismos de ação toxicológicos específicos (Tchounwou *et al*, 2012).

Os metais pesados são agressivos em grandes concentrações às plantas e demais seres vivos uma vez que pequenos animais utilizam das plantas como fonte de nutrientes e estes, por sua vez, tornam-se presas para animais maiores, incluindo os seres humanos que lideram o topo da cadeia alimentar.

2.1.1 Chumbo (Pb)

O chumbo (do latim *plumbum*) é um elemento químico de símbolo Pb, número atômico 82 (82 prótons e 82 elétrons), com massa atômica igual a 207,2. Pertencente ao grupo 14 da classificação periódica dos elementos químicos. À temperatura ambiente, o chumbo encontra-se no estado sólido. É um metal tóxico, pesado, macio, maleável e pobre condutor de eletricidade. Apresenta coloração branco-azulada quando recentemente cortado, porém adquire coloração acinzentada quando exposto ao ar. É usado na construção civil, baterias de ácido, em munição, proteção contra raios-X, e forma parte de ligas metálicas para a produção de soldas, fusíveis, revestimentos de cabos elétricos, materiais antifricção, metais de tipografia, etc. O chumbo tem o número atômico mais elevado entre todos os elementos estáveis (ICZ, 2018).

O Pb ocorre naturalmente nos solos em níveis muito baixos, não oferecendo maiores riscos ao ambiente. Porém, o enriquecimento dos solos com este elemento através de fontes antrópicas, tais como uso de insumos agrícolas com teores elevados de Pb, deposições atmosféricas, mineração e resíduos industriais, tem causado sérias preocupações devido à sua elevada toxicidade aos seres humanos e animais, mesmo em baixas concentrações (Kummer, 2008).

É um elemento tóxico não essencial que se acumula no organismo. Na sua interação com a matéria viva, o chumbo apresenta tanto características comuns a outros metais pesados quanto algumas peculiaridades (Moreira e Moreira, 2004). Os autores ainda ressaltam que esse metal afeta virtualmente todos os órgãos e sistemas do organismo, os mecanismos de toxicidade propostos envolvem processos bioquímicos fundamentais, que incluem a habilidade do chumbo de inibir ou imitar a ação do cálcio e de interagir com proteínas. Em níveis de exposição

moderada (ambiental e ocupacional), um importante aspecto dos efeitos tóxicos do chumbo é a reversibilidade das mudanças bioquímicas e funcionais induzidas.

2.1.2 Níquel (Ni)

O níquel é um elemento químico de símbolo Ni de número atômico 28 (28 prótons e 28 elétrons) e de massa atômica 58,7. À temperatura ambiente, o níquel encontra-se no estado sólido. É um elemento de transição situado no grupo 10 (8 B) da Classificação Periódica dos Elementos. O uso do níquel remonta aproximadamente ao século IV A.C, geralmente junto com o cobre. Atualmente, cerca de 65% do níquel consumido é empregado na fabricação de aço inoxidável austenítico (ligas de aço inoxidável austenítico recebem entre 8 e 10,5% de níquel em sua composição (Luminaço, 2019)) e outros 12% em superligas de níquel. Os 23% restantes são repartidos na produção de outras ligas metálicas, baterias recarregáveis, reações de catálise, cunhagens de moedas, revestimentos metálicos e fundição. O níquel é um minério como qualquer outro metal, pois pode ser obtido de rochas que o contenham (ICZ, 2018).

Efeitos genotóxicos estão associados com a exposição ao níquel e, em estudos realizados foi observado que este metal é capaz de cruzar a placenta tanto em animais quanto em seres humanos, podendo provocar embriotoxicidade e teratogenicidade. A exposição ao níquel também afeta o sistema imunológico, uma vez que a exposição induz resposta imune, resultando em dermatite, outros efeitos são a nefrotoxicidade e alterações hormonais (Oliveira, 2003 apud Kira, 2014).

2.2 Fitorremediação

Fitorremediação (em inglês *phytoremediation* em que '*phyto*' significa planta e '*remediation*' significa remediação) é um termo genérico para o grupo de tecnologias que utilizam plantas para remediar solos, lamas, sedimentos e água contaminada com contaminantes orgânicos e inorgânicos, pode ser definida como "o uso eficiente de plantas para remover, desintoxicar ou imobilizar contaminantes ambientais em uma matriz de crescimento (solo, água ou sedimentos) através de processos naturais biológicos, químicos ou físicos das plantas" (UNEP, 2018).

Como qualquer outro processo de remediação, o uso de plantas destina-se à redução dos teores de contaminantes a níveis seguros e compatíveis com a proteção à saúde humana, ou a impedir/dificultar a disseminação de substâncias nocivas ao ambiente (Andrade *et al*, 2007).

Greipsson (2011) salienta que é uma alternativa aos procedimentos de engenharia que geralmente são mais destrutivos para o solo, no entanto limita-se à zona das raízes das plantas. Além disso, esta tecnologia tem aplicação limitada, em que as concentrações de contaminantes são tóxicas para as plantas. As tecnologias de fitorremediação estão disponíveis para vários ambientes e tipos de contaminantes. Estas envolvem diferentes processos, tais como estabilização *in situ* ou degradação e remoção (isto é, volatilização ou extração) de contaminantes (Tabela 1).

Tecnologia	Ação sobre contaminantes	Tipo principal de contaminantes	Vegetação
Fitoestabilização	Retido <i>in situ</i>	Orgânicos e metais	Cobertura mantida
Fitodegradação	Atenuado <i>in situ</i>	Orgânicos	Cobertura mantida
Fitovolatilização	Removido	Orgânicos e metais	Cobertura mantida
Fitoextração	Removido	Metais	Colhido repetidamente

Tabela 1 - Comparação entre as tecnologias de fitorremediação (Greipsson, 2011).

Ainda segundo o autor supracitado, a fitoextração usa a capacidade das plantas de acumular contaminantes acima do solo, na biomassa colhida (Figura 1). Este processo envolve repetidas colheitas de biomassa a fim de diminuir a concentração de contaminantes no solo. Fitoextração é também um processo contínuo (utilizando plantas hiperacumuladoras de metal ou plantas de rápido crescimento) ou um processo induzido (usando produtos químicos para aumentar a biodisponibilidade de metais no solo). A fitoextração contínua baseia-se na habilidade de certas plantas de acumularem gradualmente contaminantes (principalmente metais) em sua biomassa.

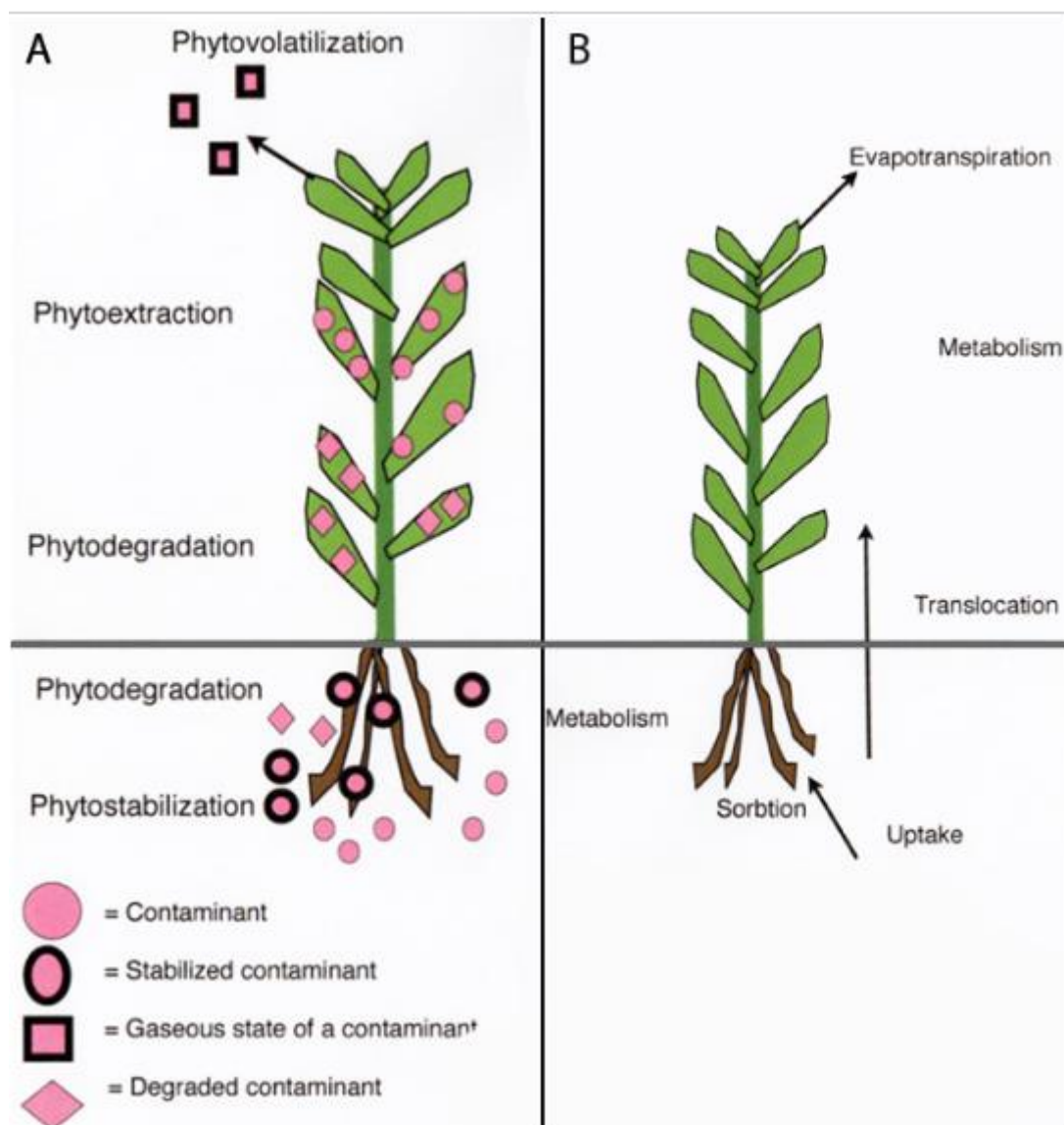


Figura 1 - (A) Modelo esquemático de diferentes tecnologias de fitorremediação envolvendo remoção e contenção de contaminantes; (B) Processos fisiológicos que ocorrem em plantas durante a fitorremediação (© 2011 Nature Education. Todos os direitos reservados).

Já na fitoextração induzida são utilizadas plantas não-hiperacumuladoras, mas que possuem crescimento rápido e elevada produção de biomassa. Neste caso, são adicionados ao solo substâncias químicas que reagem com os metais presentes no solo, reduzindo sua toxicidade e permitindo o desenvolvimento da vegetação no ambiente contaminado (Bueno, 2008).

Em relação aos custos do tratamento, Schnoor (1997) compara os valores de outras técnicas convencionais em relação à fitorremediação e dispõe na Tabela 2.

Tipo de tratamento	Custo por m ³ (dólares)	Tempo requerido (meses)	Fatores adicionais/despesas	Problemas de segurança
Fixação	90-200	6-9	Transporte/excavação, Monitoramento a longo prazo	Lixiviado
Aterro	100-400	6-9	Monitoramento a longo prazo	Lixiviado
Extração de solo, lixiviação	250-500	8-12	Mínimo 5,000 m ³ quimicamente reciclados	Eliminação de resíduos
Fitoextração	15-40	18-60	Tempo/compromisso com o solo	Eliminação de resíduos

Tabela 2 - Vantagem de custo da fitoextração para metais (Schnoor, 1997).

O autor ainda complementa que “a fitorremediação é mais barata, mas requer cinco anos em vez de períodos mais curtos das tecnologias concorrentes”.

Em relação à destinação final da biomassa resultante dos processos de fitorremediação, Alnselmo e Jones (2005) ressaltam que, caso esta seja mantida no local, ajudam no controle do processo erosivo, eólico e hídrico. Sendo que no último caso, evitam o carregamento de contaminantes para a água e o solo e, por conseguinte, reduzem a possibilidade de contaminação de lagos e rios. As plantas são mais favoráveis esteticamente (melhoria da paisagem), do que qualquer outra técnica de biorremediação, e podem ser implementadas com mínimo distúrbio ambiental, reduzindo o impacto ambiental. No entanto os autores salientam que pode haver propagação da contaminação na cadeia alimentar, se as plantas acumuladoras forem ingeridas por animais.

Caso a biomassa seja retirada do solo, Marques *et al* (2010) cita o estudo de McCutcheon e Schoor (2003) que estabelece algumas opções para o tratamento desta, como disposição dos resíduos vegetais contaminados em aterros sanitários; compostagem, para degradar resíduos xenobióticos e reduzir o volume final a ser disposto; incineração da biomassa, para destruir compostos orgânicos e reduzir o volume a ser disposto (no caso de metais que não são liberados para a atmosfera em quantidades significativas); uso energético, no caso de plantas lenhosas de crescimento rápido; produção de fibra, papel, produtos de madeira, madeira, matérias-primas industriais (por exemplo, resinas), matérias-primas para fabricar

diversos produtos; e fundição, para recuperação econômica de metais, quando economicamente viável.

2.3 Plantas hiperacumuladoras

Todas as plantas absorvem metais em diferentes graus do substrato em que estão enraizadas. As concentrações nas partes das plantas dependem tanto de um intrínseco (genética) e extrínseco (meio ambiente) fator e varia muito para diferentes espécies e para metais diferentes (Baker *et al*, 2000).

Certas plantas podem hiperacumular metais sem qualquer efeito tóxico. Estas plantas são adaptadas a solos metalíferos naturais. Mais de 400 espécies de plantas podem hiperacumular vários metais. No entanto, a maioria das plantas só pode hiperacumular um metal específico (Greipsson, 2011). As plantas hiperacumuladoras pertencem às famílias *Brassicaceae*, *Euphorbiaceae*, *Asteraceae*, *Lamiaceae* ou *Scrophulariaceae*. São exemplos dessas plantas: *Brassica juncea* (L.) Czern (Mostarda), *Brassica napus* L. (Canola), *Hybrid poplar trees* (Álamo Híbrido), *Helianthus annuus* L. (Girassol) e *Medicago sativa* L. (Alfafa) (Andrade *et al*, 2007).

Esta capacidade de acumulação deve-se à hiper tolerância ou fito tolerância que é o resultado da evolução adaptativa das plantas para ambientes hostis através de muitas gerações. Várias interações podem ser afetadas pela hiperacumulação de metal, incluindo proteção, interferências com plantas vizinhas de diferentes espécies, mutualismo (incluindo micorrizas, pólen e dispersão de sementes), comensalismo e biofilme (Maiti *et al*, 2014).

2.3.1 Girassol

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma dicotiledônea anual da família *Compositae* (conhecida também como *Asteraceae*), originária do continente Norte Americano. Atualmente, o girassol é cultivado em todos os continentes, em área que atinge aproximadamente 18 milhões de hectares. Destaca-se como a quarta oleaginosa em produção de grãos e a quinta em área cultivada no mundo (Castro *et al*, 1996).

2.3.2 Mostarda

Brassica juncea (L.) Czern, também conhecida como mostarda indiana, mostarda chinesa, mostarda oriental, mostarda foliar ou mostarda verde, é uma espécie da família de plantas *Brassicaceae*. Seu principal centro de origem é a Ásia central (noroeste Índia), com centros secundários na China Central e Ocidental, leste da Índia, Birmânia e através do Irã para o Oriente Próximo. A mostarda indiana é amplamente distribuída como cultivo e escape transgênico em climas subtropicais e temperados. Sementes desta planta são amplamente utilizados na América, Japão, China e outros países e regiões como um tradicional tempero picante, uma fonte de óleo comestível e proteína, e um tipo de complemento ou medicina alternativa. As folhas são usadas em uma variedade de medicamentos folclóricos como estimulantes, diuréticos e expectorantes, bem como especiaria (Farrell, 1985 apud Kumar *et al*, 2011).

2.3.3 Maricá

A *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze. é uma espécie da família Fabaceae que ocorre de Pernambuco ao Rio Grande do Sul, na mata pluvial atlântica e na floresta latifoliada semidecídua das Bacias do Paraná e Uruguai (Lorenzi, 2009). Árvore ou arbusto arborescente, semicaducifólia a caducifólia, aculeada, há indivíduos sem acúleos (raros). Comumente com 3 a 10 m de altura e 10 a 25 cm de Diâmetro Altura-Peito (DAP), podendo atingir até 15 m de altura e 40 cm de DAP na idade adulta (Carvalho, 2004). Sua madeira é muito utilizada para marcenaria, carpintaria, para usos externos, como estacas e mourões além de ótima para lenha que produz grande quantidade de calor, muito utilizada em olarias, padarias e aquecimento de caldeiras; muito cultivada no Sul do país como cerca viva defensiva em divisas de propriedades, principalmente em terrenos brejosos; muito florífera e ornamental, com flores perfumadas e apícolas (Lorenzi, 2009).

3 METODOLOGIA

A metodologia foi fundamentada com base nos parâmetros estabelecidos pela USEPA 3050B que institui o Método de Digestão Ácida de Sedimentos, Lodos e Solos. Esta análise é utilizada para quantificar metais em solos e serve como alternativa para determinar o potencial fitorremediador de plantas uma vez que estas extraem os metais do solo, acumulando-os em seu tecido vegetal. A escolha para o procedimento de digestão de solos ao contrário da digestão do tecido vegetal foi utilizada, pois além da metodologia USEPA 3050B ser aceita pela Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009 como procedimento padrão para extração de substâncias inorgânicas (exceto o mercúrio) de solos, buscou-se outra forma de procedimento para identificar a fitoextração de metais do solo.

3.1 Local de estudo

O estudo foi realizado nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (*campus* Campo Mourão), desta forma, o solo utilizado para a amostragem foi coletado no local. O solo da região é caracterizado como Latossolo Vermelho que apresenta cores vermelho acentuado devido aos teores mais altos e à natureza dos óxidos de ferro presentes, ocorrem predominantemente em áreas de relevo plano e suave ondulado, são profundos e porosos ou muito porosos, em condições naturais apresentam baixos níveis de fósforo (Ageitec, 2019).

3.2 Preparo das amostras

Foi retirada uma porção de 10 g do solo e colocado para secar em estufa com circulação de ar devidamente calibrada (Cienlab) para mensurar a porcentagem de umidade do solo utilizando a metodologia adaptada de Umidade Atual da Embrapa (1997), este procedimento foi necessário para que a quantidade de solo utilizado em cada amostra correspondesse à sua quantidade de solo seco, o que evita erros estequiométricos.

Foram feitos dois experimentos simultâneos sendo que, entre os dias 19 de agosto de 2019 e 04 de novembro de 2019, ocorreu o plantio e o acompanhamento das espécies, totalizando 11 semanas de cultivo das amostras. No experimento 1 foram utilizados os contaminantes chumbo e níquel (obtidos por meio dos sais Acetato de Chumbo ($Pb(C_2H_3O_2)_2$) e Sulfato de Níquel ($NiSO_4 \cdot 6H_2O$) ambos com pureza entre 98 e 100%) mesclados em uma mesma amostra, as concentrações para cada metal foram de 0,5, 1,0, 2,0 e 5,0 g/kg sendo a quantidade de solo seco igual a 2 kg, foram plantadas sementes de mostarda e girassol. Para o experimento 2, foram plantadas sementes de Maricá em amostras contendo 1 kg de solo seco, contaminados somente com chumbo utilizando o mesmo sal do experimento 1, as concentrações escolhidas foram de 0,25, 0,5 e 1,0 g/kg. Em ambos os experimentos foi utilizada amostragem em triplicatas sendo os resultados obtidos iguais às médias de cada tríplice. Observa-se também que o uso de somente um contaminante (chumbo) para o experimento 2 foi escolhido pois, como o Maricá não é considerado hiperacumulador pela literatura, a mistura de dois metais poderia atrapalhar o experimento e não gerar resultados satisfatórios. Para cada experimento foram estabelecidas triplicatas de amostras “branco”, ou seja, sem contaminantes.

3.3 Metodologia USEPA 3050B

Em relação às análises, fez-se uma adaptação da metodologia USEPA 3050B. Foi separado aproximadamente 10 g de cada amostra em béqueres de polipropileno (100 mL, J-Prolab), estas foram colocadas dentro de uma estufa de circulação de ar (Cienlab) para secagem por 24 horas à uma temperatura de $100 \pm 5^\circ C$. Após a secagem, as amostras foram maceradas com bastão de vidro e peneiradas em peneira de malha 100 (Mesh 100, Bertel), estas foram acondicionadas em recipientes com tampa de polipropileno.

As amostras foram digeridas em solução de ácido nítrico + ácido clorídrico. Para a realização do procedimento analítico, foram pesados 1 g de amostra em balança analítica (UW620H, Shimadzu), estas foram colocadas dentro em tubos de ensaio (50 x 250 mm). Em cada tubo contendo amostra foi adicionado 10 mL de ácido nítrico (HNO_3) P.A. e colocados em bloco digestor (Tecnal) por 10 minutos

em temperatura de $95\pm 5^{\circ}\text{C}$, após este tempo os tubos foram resfriados em água até temperatura ambiente. Foi acrescentado mais 5 mL de HNO_3 e levados novamente para aquecer à $95\pm 5^{\circ}\text{C}$ por 2 horas, posteriormente estas foram resfriadas novamente. Acrescentou-se 2 mL de água deionizada + 3 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) 35% às amostras e estas foram digeridas por mais 2 horas no bloco à temperatura de $95\pm 5^{\circ}\text{C}$, após a digestão as amostras foram resfriadas novamente. Como última etapa da digestão adicionou-se 5 ml de ácido clorídrico (HCl) P.A. + 10 mL de água deionizada aos tubos digerindo-os por mais 5 minutos à temperatura de $95\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Após o procedimento de digestão, as amostras foram filtradas em papel filtro qualitativo (diâmetro 15 cm, Unifil) e armazenadas em recipientes com tampa de polipropileno.

3.4 Espectrofotômetro de Absorção Atômica por Chama

As análises de concentrações foram feitas em Espectrofotômetro de Absorção Atômica por Chama - EAA (NOVAA300, Analytik Jena). Para a obtenção da curva de calibração (Figuras 2 e 3) foram pesados 0,01 g dos sais utilizados para contaminação das amostras e cada porção de sal foi diluída em água deionizada em balão volumétrico de 1 L a fim de se conseguir solução mãe de 10 mg/L, diluiu-se a solução mãe para obter concentrações de 2, 4, 6 e 8 mg/L.

O comprimento de onda de absorção do chumbo foi de 283,3 nm e para o níquel utilizou-se o comprimento de 232,0 nm, para ambas as curvas os valores para R^2 se aproximaram de 1 (Tabela 3) o que demonstra que a estimativa de qualidade das curvas foi satisfatória uma vez que quanto mais próximo de 1 for o valor de R^2 , melhor será a reta descrita pela regressão linear dos pontos (Martins, 2015).

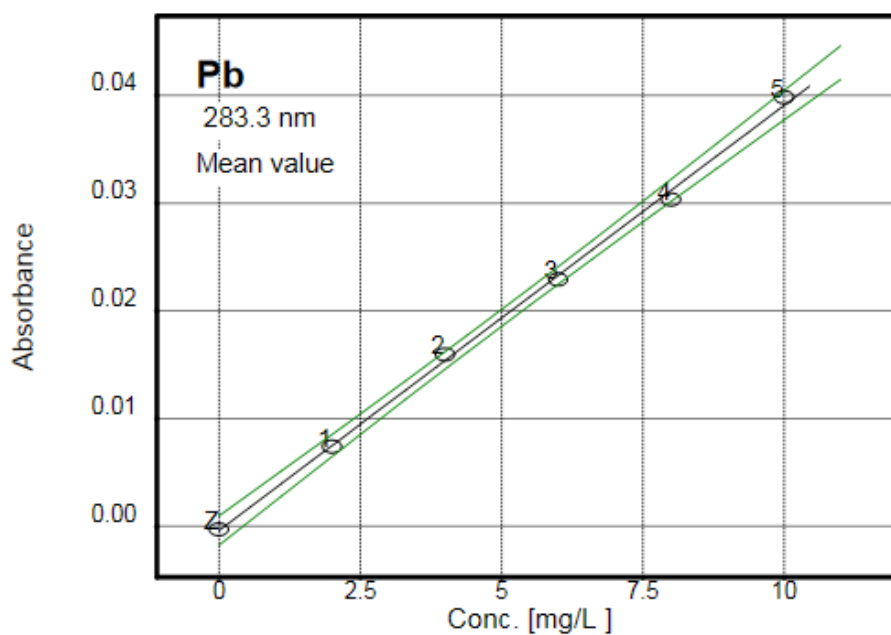


Figura 2 - Curva de calibração para Pb (Autor, 2019).

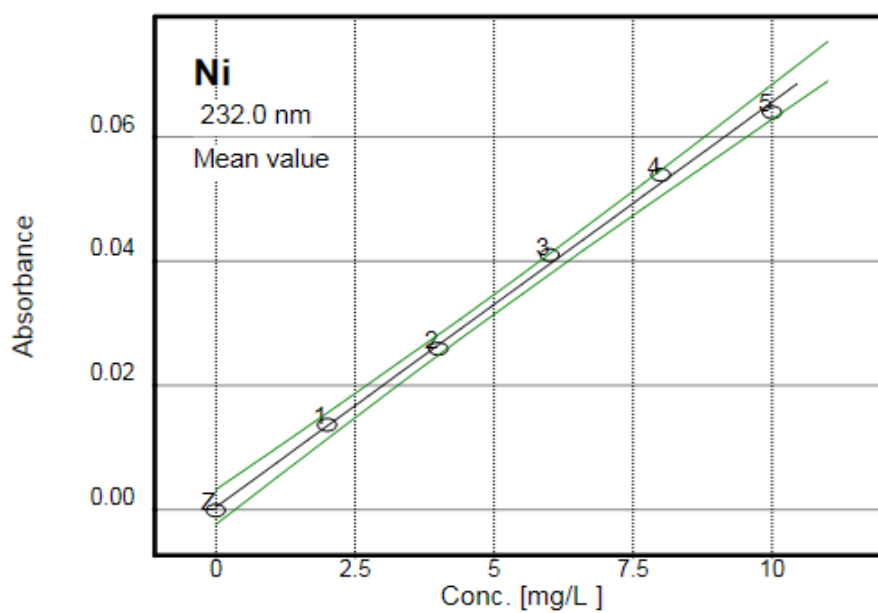


Figura 3 - Curva de calibração para Ni (Autor, 2019).

Valores para onda de absorvância (nm) e R ² das curvas de calibração		
Metal	Valor da onda (nm)	Valor de R ²
Chumbo	283,3	0,9973
Níquel	232,0	0,9959

Tabela 3 - Valores para onda de absorvância (nm) e R² das curvas de calibração (Autor, 2019).

Fez-se diluição de concentrações de 1/10 para o chumbo e 1/200 para o níquel. Para a primeira diluição, coletou-se 2,5 mL da amostra diluindo-a em água deionizada em balão volumétrico de 25 mL, para a segunda diluição, selecionou-se 0,5 mL de amostra diluindo em balão volumétrico de 100 mL.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise EAA as diluições foram necessárias para que as amostras não extrapolassem as curvas de calibração estabelecidas na metodologia. As amostras “branco” não apresentaram valores significativos de contaminação por chumbo ou níquel.

Para determinar o potencial fitoextrator das espécies estudadas, foi feito o cálculo da porcentagem fitorremediada em relação à concentração inicial de contaminante para o experimento 1 (Tabelas 4 e 5) e para o experimento 2 (Tabela 6), é importante lembrar que os valores dispostos nas Tabelas 4, 5 e 6 já estão multiplicados pelo valor de suas diluições.

É possível perceber que o experimento 1 obteve resultados mais satisfatórios de fitorremediação do que o experimento 2 considerando a porcentagem fitorremediada, isto ocorreu devido à maneira como foi feito o plantio das espécies. No experimento 1 as espécies foram plantadas juntas nas amostras então a porcentagem fitorremediada equivale à soma do potencial fitoextrator das duas espécies utilizadas (Girassol + Mostarda), o que impediu a determinação exata do potencial fitorremediador de cada espécie. Ambas as espécies são consideradas hiperacumuladoras de metais pela literatura, Boffe *et al* (2017) em seu estudo atribui ao Girassol o título de planta hiperacumuladora de chumbo sendo que a espécie foi capaz de fitoextrair concentrações superiores a 900 mg/kg de chumbo. Em estudo realizado por Cruvinel (2009) observou-se que a Mostarda conseguiu fitorremediar 39, 38 e 29% de chumbo para amostras com concentrações de 180, 360 e 540 mg/kg respectivamente.

Experimento 1 - Chumbo			
Concentração Inicial (g/kg)	Concentração residual (g/kg)	% de contaminante restante	% fitorremediada
0,5	0,01921	3,8	96,2
1,0	0,09898	9,9	90,1
2,0	0,13133	6,6	93,4
5,0	0,24246	4,8	95,2

Tabela 4 - Porcentagens fitorremediadas e residuais das amostras para Pb no experimento 1 (Autor,2019).

Experimento 1 - Níquel			
Concentração Inicial (g/kg)	Concentração residual (g/kg)	% de contaminante restante	% fitorremediada
0,5	0,011	2,2	97,8
1,0	0,082	8,2	91,8
2,0	0,2602	13,0	87,0
5,0	0,6796	13,6	86,4

Tabela 5 - Porcentagens fitorremediadas e residuais das amostras para Ni no experimento 1 (Autor,2019).

Observou-se que no experimento 1 para chumbo, a taxa de fitorremediação das espécies não apresentou linearidade em relação à quantidade crescente de contaminantes nas amostras (Figura 4), o que sugere que a concentração de chumbo não foi obstáculo para o potencial fitorremediador das espécies. Para todas as concentrações, as espécies apresentaram potencial fitorremediador similar (>90%) sendo que a média de variação entre as porcentagens fitorremediadas foi de 3,7%. A dose de 1,0 g/kg apresentou mais porcentagem de contaminante restante (9,9%) e a dose de 0,5 g/kg foi a amostra melhor fitorremediada restando 3,8% de chumbo.

Em relação ao níquel, a porcentagem de fitorremediação apresentou característica linear considerando o aumento de contaminantes no solo (Figura 4), sugerindo que o Girassol e a Mostarda apresentam dificuldades em fitoextrair níquel em concentrações elevadas no solo. A dose de 0,5 g/kg foi a amostra melhor fitorremediada restando 2,2% de níquel, já na dose 5,0 g/kg as espécies apresentaram maiores dificuldades de fitoextrair níquel do solo em relação as demais concentrações resultando em 13,6% de contaminante não fitorremediado.

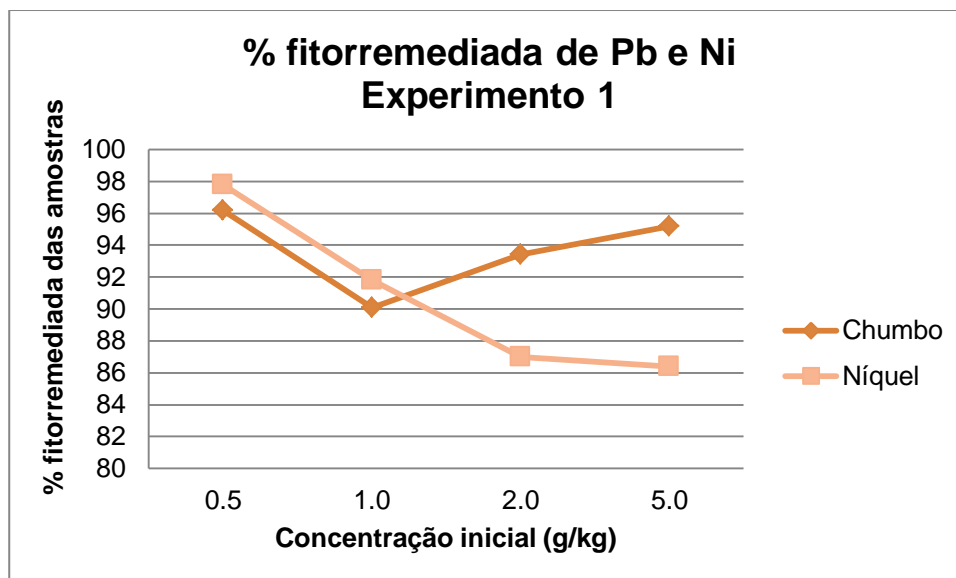


Figura 4 - Porcentagem total fitorremediada de Pb e Ni para o experimento 1 (Autor, 2019).

Para a primeira concentração as espécies apresentaram ótimo potencial fitoextrator de chumbo e níquel conseguindo retirar acima de 96,2 e 97,8% respectivamente dos contaminantes das amostras e para a segunda concentração as espécies conseguiram extrair 90,1% de chumbo e 91,8% de níquel. Verifica-se que para as concentrações mais baixas o Girassol e a Mostarda apresentam maior absorção de níquel do que de chumbo.

Na concentração de 2,0 g/kg foi fitoextraído 93,4% de chumbo e 87,0% de níquel e para a última concentração, as espécies conseguiram fitorremediar 95,2% de chumbo e 86,4% de níquel.

É importante observar que para os resultados do experimento 1, a mistura dos contaminantes e o cultivo de duas espécies de plantas em uma mesma amostra podem ter causado interferências devido à concorrência fitoextratora das espécies e afinidade destas para extrair um contaminante ou outro.

No segundo experimento, o Maricá obteve mais sucesso em fitorremediar a amostra contendo menor concentração de contaminante fitoextraído 55,3% de chumbo. Para as concentrações de 0,5 e 1,0 g/kg o potencial fitoextrator foi de 38,3 e 37,7% respectivamente (Tabela 6).

Experimento 2 - Chumbo			
Concentração Inicial (g/kg)	Concentração residual (g/kg)	% de contaminante restante	% fitorremediada
0,25	0,11184	44,7	55,3
0,5	0,3085	61,7	38,3
1,0	0,62297	62,3	37,7

Tabela 6 - Porcentagens fitorremediadas e residuais das amostras para Pb no experimento 2 (Autor, 2019).

Percebe-se pela Figura 5 que, conforme a concentração de chumbo aumentou, a espécie apresentou menores taxas de fitoextração. Para menor concentração o Maricá conseguiu retirar 55,3% de contaminante do solo, para a concentração de 0,5 g/kg foi fitorremediado 38,3% sendo que para a concentração de 1,0 g/kg, a porcentagem fitorremediada (37,7%) ficou bem próxima da porcentagem da concentração anterior.

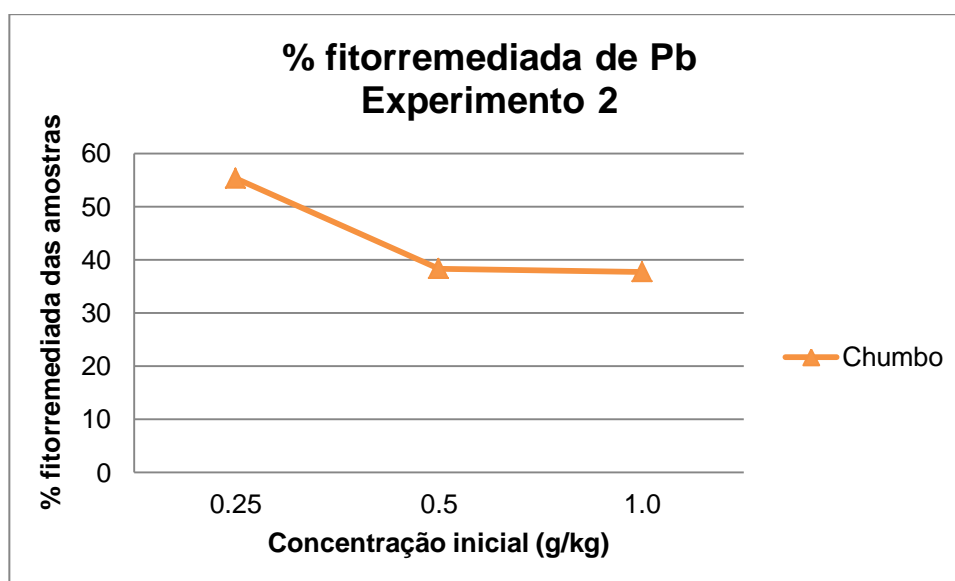


Figura 5 - Porcentagem total fitorremediada de Pb para o experimento 2 (Autor, 2019).

Comparando-se os resultados dos dois experimentos, é possível analisar que o Maricá apresentou potencial fitorremediador considerando que este foi capaz de fitorremediar sozinho 38,3 e 37,7% para as concentrações de 0,5 e 1,0 g/kg respectivamente sendo que para as mesmas concentrações, o Girassol e a Mostarda juntos fitorremediaram 96,2 e 90,1% de chumbo respectivamente (Figura 6).

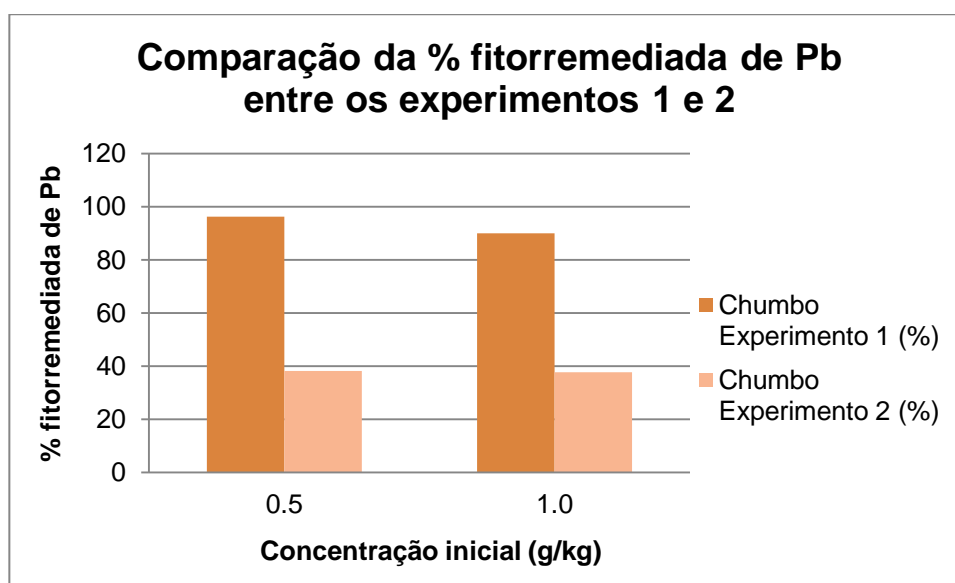


Figura 6 - Comparação da % fitorremediada de Pb entre os experimentos 1 e 2 (Autor, 2019).

O potencial fitorremediador do Maricá aproximou-se da metade do potencial fitorremediador Girassol + Mostarda o que demonstra que, mesmo não sendo uma espécie considerada hiperacumuladora pela literatura, a espécie apresentou bons resultados de fitoextração.

Deve-se considerar para este estudo que não foi feito a medição de parâmetros físicos das espécies como tamanho radicular, contagem de folhas, presenç a de manchas no indivíduo entre outros uma vez que a metodologia utilizada foi elaborada com ênfase na digestão do solo das amostras como alternativa aos procedimentos usuais de digestão do tecido vegetal.

5 CONCLUSÃO

As três espécies estudadas apresentaram resultados satisfatórios em relação   fitoextração de chumbo e níquel sendo que Girassol e Mostarda juntos conseguiram remediar acima de 90% o chumbo e acima de 85% o níquel. O Maricá sozinho fitorremediou até 55% o chumbo das amostras o que demonstra que a espécie possui potencial para fitorremediação mesmo não sendo considerada uma planta hiperacumuladora de metais. Considerando o chumbo, Girassol e Mostarda não apresentaram problemas em extrair contaminante de amostras com

concentrações mais elevadas, fato que não condiz com o níquel onde foi observado um decaimento do potencial fitorremediador conforme a concentração de níquel aumentava. O Maricá demonstrou dificuldade em extrair metais nas concentrações mais elevadas (0,5 e 1,0 g/kg) sendo que a porcentagem extraída manteve-se próxima para estas concentrações (38,3 e 37,7% respectivamente).

Em relação ao Maricá, há poucos estudos sobre o potencial fitoextrator da espécie fato que merece atenção, pois a planta conseguiu fitorremediar porcentagens significativas de chumbo se considerar que não é uma espécie adaptada para fitorremediação. Com estudos mais aprofundados seria possível determinar se a espécie consegue extrair outros tipos de metais como Níquel, Cádmio, Zinco, Cobre, Cobalto etc. Além de verificar o efeito destes contaminantes nos indicadores físicos da planta.

Foi possível verificar que o uso de Mostarda e Girassol para fitorremediar uma mesma amostra foi mais efetivo do que o uso de apenas Maricá, este dado deve ser mais estudado, pois o uso de diferentes indivíduos pode gerar conflito nos resultados uma vez que pode ter ocorrido concorrência fitoextratora entre as espécies e não foi verificado a afinidade destas para extrair cada contaminante. É importante considerar que também não foi verificado o potencial separado do Girassol e da Mostarda. Para que se tenham resultados mais abrangentes seria necessário testar o potencial do Girassol e da Mostarda separados e a combinação de diferentes espécies.

Apesar dos resultados satisfatórios, analisar os parâmetros físicos das plantas seria um procedimento que contribuiria com os resultados deixando-os mais completos, possibilitando uma visão mais abrangente do real potencial das espécies estudadas e os efeitos dos metais em seus processos de crescimento.

REFERÊNCIAS

- AGEITEC – AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Latossolos Vermelhos**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000fzyj_aywi02wx5ok0q43a0r9rz3uhk.html>. Acesso em: 11 nov 2019.
- ANDRADE J. C. M.; TAVARES S. R. L.; MAHLER C. F. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo, SP: Oficina de Textos. 2007.
- ANSELMO, A. L. F.; JONES, C. M. **Fitorremediação de solos contaminados – O estado da arte**. XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. ABEPRO – PUCRS. Porto Alegre, RS. 2005.
- BAKER A. J. M.; MCGRATH S. P.; REEVES R. D.; SMITH J. A. C. **Metal hiperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils**. *Phytoremediation Contaminated Soil and Water*. 2000. p 85.
- BAKER A. J. M.; MCGRATH S. P.; SIDOLI C. M. D.; REEVES R. D. **The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal-accumulating plants**. *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier Science B. V. 1994. p 41-49.
- BHARTI P. K. **Heavy metals in environment**. *Journal of Environmental Quality*. J Environ Qual. Vol 21. Alemanha. 2012. p 71.
- BOFFE P. M.; CALEGARI R. P.; SOUZA D. C. R.; CONCEIÇÃO P. S.; SZYMCAK D. A.; TESSARO D. **Potencial fitoextrator da espécie vegetal *Helianthus annuus* L. em solo contaminado por chumbo**. *Revista Espacios*. Vol. 39. No. 09. 2017. p 8.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Políticas de Saúde. **Chumbo**. Brasília, DF. 2019. Disponível em: < <http://www.saude.gov.br/vigilancia-em-saude/vigilancia-ambiental/vigipeq/contaminantes-quimicos/chumbo>>. Acesso em: 10 dez 2019.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 420**, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Publicado no D.O.U. de 30 de dezembro de 2009. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=111046>>. Acesso em: 07 nov 2019.
- BUENO C. **Pesquisa utiliza vegetação para descontaminar solos poluídos por metais**. *Midiaciencia*. Laboratório de Estudos Avançados em Jornalismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 2008. Disponível em: http://www.laboratorio.unicamp.br/midiaciencia/article.php3?id_article=604. Acesso em: 06 nov 2018.
- CARVALHO P. E. R. **Maricá – *Mimosa bimucronata***. *Circular Técnica*. EMBRAPA. Vol. 94. Colombo, PR. 2004. p 10.
- CASTRO C.; CASTIGLIONI V. B. R.; BALLA A.; LEITE R. M. V. B. C.; KARAM D.; MELLO H. C.; GUEDES L. C. A.; FARIAS J. R. B. **A cultura do girassol**. *Circular Técnica*, EMBRAPA-CNPSO. Vol 13. Londrina, PR. 1996. p 42.
- CIMBOLÁKOVÁ, I.; UHER, I.; LAKTIČOVÁ, K. V.; VARGOVÁ, M.; KIMÁKOVÁ, T.; PAPAJOVÁ, I. **Heavy Metals and the Environment [Online First]**. *IntechOpen*. DOI: 10.5772/intechopen.86876. 2019. Disponível em: <

<https://www.intechopen.com/online-first/heavy-metals-and-the-environment>>.

Acesso em: 16 dez 2019.

CRUVINEL D. F. C. **Avaliação da fitorremediação em solos submetidos à contaminação com metais.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias. Universidade de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto, SP. 2009. p 79.

DAS, K. K.; REDDY, C.; BAGOJI, I. B.; DAS, S.; BAGALI, S.; MULLUR L.; KHODNAPUR J. P.; BIRADAR, M. S. **Primary concept of nickel toxicity – an overview.** *Journal Of Basic And Clinical Physiology And Pharmacology*, [s.l.]. Vol. 30. No. 2. Editora Walter de Gruyter GmbH. 2018. p 141-152. <http://dx.doi.org/10.1515/jbcpp-2017-0171>

DINIZ A. P.; KOZIVITS A. R.; LANA C. C.; LEITE M. G. P. **Fitoextração de metais de espécies florestais nativas plantadas sobre rejeito de mineração de ferro.** Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG. 2018, p 104.

DUFFUS J. H. **“Heavy metals” – A meaningless term?**. *International Union of Pure and Applied Chemistry. Chemistry and Human Health Division. Clinical Chemistry Section, Commission on Toxicology.* Vol. 74. No. 5. Escócia, UK. 2002. p. 793-807. Disponível em: <<http://publications.iupac.org/pac/2002/pdf/7405x0793.pdf>>. Acesso em: 10 nov 2019.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise do solo.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ed. 2. 1997. p 7-8.

ESTRELA M. A.; CHAVES L. H. G.; SILVA L. N. **Fitorremediação como solução para solos contaminados por metais pesados.** *Ceuma Perspectivas.* Vol. 18. 2018. p 160-172.

FABRO, N. **Moradores de Brumadinho correm riscos de desenvolver doenças cardiovasculares.** *Revista Galileu.* São Paulo, SP. 2019. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Saude/noticia/2019/05/moradores-de-brumadinho-correm-riscos-de-desenvolver-doencas-cardiovasculares.html>>.

Acesso em: 10 dez 2019.

FREITAS C. M.; BARCELLOS C.; ASMUS C. I. R.; SILVA M. A.; XAVIER D. R. **De Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva.** *Cadernos de Saúde Pública.* Mineração e Desastres Ambientais. Rio de Janeiro, RJ. 2019. p 7.

GREIPSSON S. **Phytoremediation.** *Nature Education Knowledge* 3(10):7. 2011. Disponível em: <<https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/phytoremediation-17359669>>.

Acesso em: 05 nov 2018.

GUARACHO, V. V.; PONTE, M. J. J. S.; ADAMOSKI, L. F. **Remediação eletrocinética de chumbo e níquel em solos de landfarming de uma refinaria.** Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. 2004. Costão do Santinho, Florianópolis, SC. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ictr/2004/ARQUIVOS%20PDF/10/10-029.pdf>>.

Acesso em: 22 de agosto de 2018.

- INSTITUTO DE METAIS NÃO FERROSOS – ICZ. **Chumbo e a sociedade**. 2018. Disponível em: <<http://www.icz.org.br/chumbo-sociedade.php>>. Acesso em: 07 nov 2018.
- INSTITUTO DE METAIS NÃO FERROSOS – ICZ. **Níquel e a sociedade**. 2018. Disponível em: <<http://www.icz.org.br/niquel-sociedade.php>> Acesso em: 07 nov 2018.
- KIRA, C. S. **Determinação de valores de referência para chumbo, cádmio, mercúrio e níquel em sangue de crianças e adultos da cidade de São Paulo**. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2014. p 203.
- KUMAR V.; THAKUR A. K.; BAROTHIA N. D.; CHATTERJEE S. S. **Therapeutic potentials of *Brassica juncea*: an overview**. *International Journal of Genuine Traditional Medicine*. Vol. 1. 2011. p 17.
- KUMMER, L. **Mineralogia e fracionamento de metais pesados em solos de área de mineração e processamento de chumbo, Adrianópolis – PR**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2008. p 68.
- LENNTECH. **Heavy metals**. 2018. Disponível em: <<https://www.lenntech.com/processes/heavy/heavy-metals/heavy-metals.htm>>. Acesso em: 06 nov 2018.
- LORENZI, H. **Maricá - *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze**. *Árvores Brasileiras*. Instituto Plantarum. Vol. 2. Ed. 3. Nova Odessa, SP. 2009. p 168.
- LUMINAÇO. **A diferença entre o aço inoxidável 304 e 316**. Associação Brasileira de Aço Inoxidável. 2019. Disponível em: <<https://www.abinox.org.br/site/agenda-inox-noticias/a-diferenca-entre-o-aco-inoxidavel-304-e-316>>. Acesso em: 10 nov 2019.
- MAITI R; RODRIGUEZ H. G.; THAKUR A. K.; SARKAR N. C. **Applied Botany**. *Puspa Publishing House*. Kolkata, India. 2014. p 42-84.
- MARQUES, M.; AGUIAR, C. R. C.; SILVA, J. J. L. S. **Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias da fitorremediação de solos contaminados**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Sociedade Brasileira de Coência do Solo. Vol. 35. No. 1. Viçosa, MG. p 1-11.
- MARTINEZ, M. S.; CRUVINEL, D. F. C.; BARATTO, D. M. **Avaliação da fitorremediação de solos contaminados com metais pelo capim braquiária e mostarda da Índia**. *Revista DAE*. [s.l.]. Vol. 61. No. 191. Editora Cubo Multimidia. 2013. p 30-37. Disponível em: <<http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/dae.2014.099>>. Acesso em: 22 de agosto de 2018.
- MARTINS L. **Curva padrão**. Disponível em: <<https://docente.ifsc.edu.br/lucia.martins/MaterialDidatico/Processos%20bioquimicos/07Curva%20de%20calibra%C3%A7%C3%A3o.pptx>>. Acesso em: 16 nov 2019.
- MONTEIRO M. T. **Fitorremediação de rejeito contaminado proveniente do Canal do Fundão, na Baía da Guanabara-RJ**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2008. p 317.
- MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. **Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde**. *Panam Salud Publica*. 2004;15(2)119-129.
- MOTA, C. V. **Exames constatam intoxicação por metais pesados em moradores de cidade atingida pelo desastre de Mariana**. *BBC Brasil*. São

- Paulo, SP. 2018. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-43545468>>. Acesso em: 10 dez 2019.
- MULLIGAN C. N.; YONG R. N.; GIBBS B. F. **Remediation Technologies for metalcontaminated soils and groundwater: an evaluation.** *Engineering Geology.* Elsevier Science B. V. Vol 60. 2001. p 193-207.
- NAKANO V. E AVILA-CAMPOS M. J. **Metais pesados: um perigo eminente.** Departamento de Microbiologia, ICB, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2018. Disponível em: <http://www.icb.usp.br/bmm/mariojac/index.php?option=com_content&view=article&id=33&Itemid=56&lang=br>. Acesso em: 06 nov 2018.
- NCDHHS – NORTH CAROLINA DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. **Heavy metals.** 2018. Disponível em: <<https://epi.publichealth.nc.gov/oe/docs/HeavyMetalsInfo.pdf>>. Acesso em: 06 nov 2018.
- REVISTA RURAL. **Fitorremediação: Plantas para recuperar Brumadinho.** 2019. Disponível em: <<https://www.revistarural.com.br/2019/03/11/fitorremediacao-plantas-para-recuperar-brumadinho/>>. Acesso em: 11 nov 2019.
- RIBEIRO L.; CRUZ M. M. **Saiba quais são as impurezas da lama da barragem de Brumadinho e os riscos à saúde.** *Estado de Minas.* 2019. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2019/01/30/interna_gerais,1026007/saiba-quais-sao-as-impurezas-da-lama-de-brumadinho-e-os-riscos-a-saude.shtml>. Acesso em: 11 nov 2019.
- SCHNOOR J. L. **Phytoremediation.** Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center - GWRTAC. *Technology Evaluation Report (TE-98-01).* Iowa, EUA. 1997.
- SILVA T. J. **Fitorremediação em escala piloto: proposta para recuperação de solos contaminados com cobre e zinco.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Sorocaba, SP. 2016. p 93.
- TCHOUNWOU P.B.; YEDJOU C.G.; PATLOLLA A.K.; SUTTON D.J. (2012) **Heavy Metal Toxicity and the Environment.** In: Luch A. (eds) *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology. Experientia Supplementum, Vol 101.* Springer, Basel.
- UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Phytoremediation: An Environmentally Sound Technology for Pollution Prevention, Control and Redmediation.** Newsletter and Technical Publications, *Freshwater Management Serie.* No. 2. 2018. Disponível em: <<http://www.unep.or.jp/ietc/publications/freshwater/fms2/1.asp>>. Acesso em: 05 nov 2018.
- USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils.** EPA/3050B-SW-846. 1996. p 12.
- ZHOURI A.; OLIVEIRA R.; ZUCARELLI M.; VASCONCELOS M.; LOSEKANN C.; SANTOS R. S. P.; MILANEZ B.; ACSELRAD H. **Dossier “Mining, violence and resistance”. Part 1: The Samarco mining disaster – affectations, resistance, policies.** *Vibrant.* Associação Brasileira de Antropologia. Vol. 14. No. 2. Brasília, DF. 2017. p 81-183.